UDC

中华人民共和国行业标准

CJJ

CJJ/T 239－2016

P

备案号 J 2286－2016

城市桥梁结构加固技术规程

Technical specifications for structural strengthening of urban bridges

2016－11－15 发布　　2017－05－01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部　发布

中华人民共和国行业标准

城市桥梁结构加固技术规程

Technical specifications for structural strengthening of urban bridges

CJJ/T 239－2016

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 7 年 5 月 1 日

中国建筑工业出版社

2016 北 京

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

资料来源于互联网，由网友分享提供，仅内部学习交流用，请在下载后24小时内删除，如果您觉得满意，请购买正版。

中华人民共和国行业标准

城市桥梁结构加固技术规程

Technical specifications for structural strengthening of urban bridges

CJJ/T 239－2016

*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京海淀三里河路9号）

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本：850×1168毫米　1/32　印张：8　字数：214千字

2017年5月第一版　　2017年5月第一次印刷

定价：**40.00**元

统一书号：15112·30018

版权所有　翻印必究

如有印装质量问题，可寄本社退换

（邮政编码 100037）

本社网址：http://www.cabp.com.cn

网上书店：http://www.china-building.com.cn

中华人民共和国住房和城乡建设部
公　　告

第 1356 号

住房和城乡建设部关于发布行业标准《城市桥梁结构加固技术规程》的公告

现批准《城市桥梁结构加固技术规程》为行业标准，编号为 CJJ/T 239－2016，自 2017 年 5 月 1 日起实施。

本规程由我部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2016 年 11 月 15 日

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

前　言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2012年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》（建标［2012］5号）的要求，编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，编制了本规程。

本规程的主要技术内容是：1　总则；2　术语和符号；3　基本规定；4　材料；5　增大截面加固法；6　粘贴钢板加固法；7　粘贴纤维带加固法；8　预应力加固法；9　改变结构体系加固法；10　增加横向整体性加固法；11　桥梁下部结构及基础加固；12　支座和伸缩装置更换；13　桥梁抗震加固。

本规程由住房和城乡建设部负责管理，由广州市市政集团有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送广州市市政集团有限公司（地址：广州市环市东路338号银政大厦，邮编：510060）。

本规程主编单位：广州市市政集团有限公司
杭州市市政工程集团有限公司

本规程参编单位：中南大学
华南理工大学
福州大学
北京市首都公路发展集团有限公司
广州奔达建工补强专业有限公司
广州市第二市政工程有限公司
广州市市政工程设计研究总院
同济大学
法施达（大连）工程材料有限公司
广州市市政工程机械施工有限公司

西安市市政设施管理局
成都市市政工程（集团）有限责任公司
济南城建集团有限公司
沈阳市市政工程养护管理处
北京市市政工程研究院
北京万兴建筑集团有限公司

本规程主要起草人员：安关峰　杨　斌　周朝阳　单成林
逯彦秋　黄龙田　周松国　卓卫东
司海峰　刘添俊　宁平华　陈力波
程　进　叶锡钧　陈　军　熊洪波
张恒利　刘平原　邓小鹤　杨　丹
贺长发　孙　杰　段木子　王光明
高西洋　陈小亮　王连明

本规程主要审查人员：张　汎　周　良　向中富　叶见曙
宋建永　马　骉　张　恺　梁立农
李素华　丁尚辉　范厚彬

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

目　　次

1　总则 …… 1
2　术语和符号 …… 2
2.1　术语 …… 2
2.2　符号 …… 3
3　基本规定 …… 7
4　材料 …… 9
4.1　一般规定 …… 9
4.2　水泥和混凝土 …… 9
4.3　钢材及连接材料 …… 10
4.4　锚固件 …… 11
4.5　纤维复合材料 …… 11
4.6　结构胶粘剂 …… 13
4.7　混凝土用结构界面剂 …… 17
4.8　裂缝修补用材料 …… 17
4.9　混凝土表层缺陷修复及防护用材料 …… 18
5　增大截面加固法 …… 19
5.1　一般规定 …… 19
5.2　受弯构件加固设计 …… 19
5.3　受压构件加固设计 …… 26
5.4　新旧混凝土结合设计 …… 31
5.5　构造要求 …… 32
5.6　施工 …… 33
5.7　质量检验与验收 …… 36
6　粘贴钢板加固法 …… 39
6.1　一般规定 …… 39

6.2 受弯构件加固设计 …… 39
6.3 矩形截面偏心受压构件加固设计 …… 46
6.4 受拉构件加固设计 …… 51
6.5 构造要求 …… 57
6.6 施工 …… 59
6.7 质量检验与验收 …… 63
7 粘贴纤维带加固法 …… 67
7.1 一般规定 …… 67
7.2 受弯构件加固设计 …… 67
7.3 受压构件加固设计 …… 73
7.4 受拉构件加固设计 …… 76
7.5 构造要求 …… 77
7.6 施工 …… 79
7.7 质量检验与验收 …… 81
8 预应力加固法 …… 84
8.1 一般规定 …… 84
8.2 预应力钢筋加固设计 …… 84
8.3 预应力纤维带加固设计 …… 125
8.4 构造要求 …… 126
8.5 施工 …… 128
8.6 质量检验与验收 …… 130
9 改变结构体系加固法 …… 133
9.1 一般规定 …… 133
9.2 设计 …… 133
9.3 施工 …… 134
9.4 质量检验与验收 …… 135
10 增加横向整体性加固法 …… 138
10.1 一般规定 …… 138
10.2 设计 …… 138
10.3 构造要求 …… 139

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

10.4 施工 …… 140
10.5 质量检验与验收 …… 141
11 桥梁下部结构及基础加固 …… 143
11.1 一般规定 …… 143
11.2 设计 …… 144
11.3 施工 …… 144
11.4 质量检验与验收 …… 148
12 支座和伸缩装置更换 …… 151
12.1 一般规定 …… 151
12.2 设计 …… 151
12.3 施工 …… 151
12.4 质量检验与验收 …… 153
13 桥梁抗震加固 …… 156
13.1 一般规定 …… 156
13.2 地基与基础抗震加固 …… 157
13.3 结构系统抗震加固 …… 158
13.4 结构构件抗震加固 …… 161
13.5 施工与质量验收 …… 167
本规程用词说明 …… 169
引用标准名录 …… 170
附：条文说明 …… 173

Contents

1 General Provisions ····· 1
2 Terms and Symbols ····· 2
2.1 Terms ····· 2
2.2 Symbols ····· 3
3 Basic Requirements ····· 7
4 Material ····· 9
4.1 General Requirements ····· 9
4.2 Cement and Concrete ····· 9
4.3 Steel and Welding Material ····· 10
4.4 Anchorage ····· 11
4.5 Fiber Reinforced Polymer ····· 11
4.6 Structural Adhesive ····· 13
4.7 Interface Agent for Concrete Structures ····· 17
4.8 Materials for Repair of Cracks in Concrete ····· 17
4.9 Materials for Repair and Protection of Surface Defects in Concrete ····· 18
5 Method of Strengthening with Enlarged Reinforced Concrete ····· 19
5.1 General Requirements ····· 19
5.2 Strengthening Design for Flexural Member ····· 19
5.3 Strengthening Design for Compression Member ····· 26
5.4 Integration of New and Old Concretes ····· 31
5.5 Structural Requirements ····· 32
5.6 Construction ····· 33
5.7 Quality Inspection and Acceptance ····· 36

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

6 Method of Strengthening with Bonded Steel Plate ····· 39
6.1 General Requirements ····· 39
6.2 Strengthening Design for Flexural member ····· 39
6.3 Strengthening Design for Large Eccentric Compression Member of Rectangular Section ····· 46
6.4 Strengthening Design for Tension Member ····· 51
6.5 Structural Requirements ····· 57
6.6 Construction ····· 59
6.7 Quality Inspection and Acceptance ····· 63
7 Method of Strengthening with FRP ····· 67
7.1 General Requirements ····· 67
7.2 Strengthening Design for Flexural member ····· 67
7.3 Strengthening Design for Compression Member ····· 73
7.4 Strengthening Design for Tension Member ····· 76
7.5 Structural Requirements ····· 77
7.6 Construction ····· 79
7.7 Quality Inspection and Acceptance ····· 81
8 Method of Strengthening with Prestressing ····· 84
8.1 General Requirements ····· 84
8.2 Strengthening Design with Prestressed Bar ····· 84
8.3 Strengthening Design with Prestressed Fiber Layer ····· 125
8.4 Structural Requirements ····· 126
8.5 Construction ····· 128
8.6 Quality Inspection and Acceptance ····· 130
9 Method of Strengthening by Changing Structural System ····· 133
9.1 General Requirements ····· 133
9.2 Design ····· 133
9.3 Construction ····· 134
9.4 Quality Inspection and Acceptance ····· 135

10 Method of Strengthening by Enhancing Lateral Integrity ····· 138
10.1 General Requirements ····· 138
10.2 Design ····· 138
10.3 Structural Requirements ····· 139
10.4 Construction ····· 140
10.5 Quality Inspection and Acceptance ····· 141
11 Strengthening for Bridge Substructure and Foundation ····· 143
11.1 General Requirements ····· 143
11.2 Design ····· 144
11.3 Construction ····· 144
11.4 Quality Inspection and Acceptance ····· 148
12 Replacement of Bearing and Expansion Joints ····· 151
12.1 General Requirements ····· 151
12.2 Design ····· 151
12.3 Construction ····· 151
12.4 Quality Inspection and Acceptance ····· 153
13 Bridge Seismic Strengthening ····· 156
13.1 General Requirements ····· 156
13.2 Seismic Strengthening for Soil and Foundation ····· 157
13.3 Seismic Strengthening for Structural System ····· 158
13.4 Seismic Strengthening for Structural Member ····· 161
13.5 Construction and Acceptance ····· 167
Explanation of Wording in This Specification ····· 169
List of Quoted Standards ····· 170
Addition: Explanation of Provisions ····· 173

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

1 总　　则

1.0.1　为规范城市桥梁结构加固工程设计、施工及验收，统一设计技术指标与施工质量检验、验收标准，提高加固效果，制定本规程。

1.0.2　本规程适用于钢筋混凝土及预应力钢筋混凝土城市桥梁结构加固设计、施工及质量验收。

1.0.3　城市桥梁结构加固的设计、施工及质量验收，除应执行本规程外，尚应符合国家现行相关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术　　语

2.1.1 桥梁结构加固　structural strengthening of bridges

对原有桥梁受力结构及其相关部分采取补强、修复、调整内力等措施，从而满足安全性、适用性和耐久性要求。

2.1.2 加固设计　strengthening design

对原结构材料劣化、使用环境发生变化、结构缺陷等原设计条件发生变化后的一种调整设计。

2.1.3 增大截面加固法　method of strengthening with enlarged reinforced concrete

在利用原构件已有截面承载力的基础上，通过增大构件截面面积并增配普通钢筋（受力钢筋或构造钢筋），以提高构件承载力、刚度和耐久性的结构加固方法。

2.1.4 粘贴钢板加固法　method of strengthening with bonded steel plate

在混凝土构件表面用胶粘剂粘贴钢板并用锚固螺栓紧固，使钢板与混凝土构件牢固地形成一体，以提高构件的承载力和刚度的结构加固方法。

2.1.5 粘贴纤维带加固法　method of strengthening with FRP

将条带状的纤维复合材料粘贴在结构构件表面，以提高构件承载力的结构加固方法。

2.1.6 预应力加固法　method of strengthening with prestressing

在原结构混凝土体外或体内增设预应力体系，以改善构件控制截面受力的结构加固方法。

2.1.7 改变结构体系加固法　method of strengthening by chan-

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

ging structural system

通过增设支承结构、简支变连续等改变桥梁结构受力体系，以改善构件截面受力，改变内力分布和传力路径的加固方法。

2.1.8 增加横向整体性加固法 method of strengthening with reinforced lateral connections

通过加强横向联系以改善桥梁结构横向荷载的分布，以提高结构整体刚度的加固方法。

2.1.9 外包钢管抗震加固法 method of seismic strengthening with steel jacket

采用钢管外包原桥墩，在现场沿竖向接缝焊接成钢套，钢套与桥墩之间填充无收缩水泥砂浆，以提高桥墩的延性和抗剪强度的抗震加固方法。

2.1.10 纤维复合材料 fiber reinforced polymer(FRP)

连续纤维按一定规则排列，采用胶粘剂粘结固化后形成的具有纤维增强效应的复合材料。

2.1.11 预应力纤维带 prestressed fiber tape

通过施加预应力使桥梁原结构构件变形和受力得到改善或调整的特定带状纤维材料。

2.1.12 冲击传递装置 shock transmission unit（STU）

一种能容许非常缓慢的运动（如温度变化引起），然而在快速运动（如地震动引起）时又能转变为刚性连接装置的特制黏滞阻尼器，又称为锁定装置或 Lock-up 装置。

2.1.13 抗震能力 seismic capacity

结构或构件用于抵抗地震作用偶然组合的抗力，包括承载能力和延性等。

2.2 符　　号

2.2.1 材料性能

E_c——原加固构件混凝土的弹性模量；

E_f——纤维带的弹性模量；

E_s——原构件受拉区纵向普通钢筋的弹性模量；

E_{sp}——加固钢板的弹性模量；

f_{cc}——新旧混凝土组合截面的混凝土轴心抗压强度设计值；

f_{cd1}、f_{cd2}——原构件和新增截面混凝土轴心抗压强度设计值；

$f_{cu,k}$——混凝土边长为150mm立方体抗压强度标准值；

f_{du}——纤维复合材料抗拉强度设计值；

f_{fe}——加固梁达极限承载力时与剪切裂缝相交的纤维带的平均有效拉应力；

f_{fk}——纤维带抗拉强度标准值；

f_{pd}、f'_{pd}——纵向有粘结预应力钢筋的抗拉强度设计值和抗压强度设计值；

f_{sb}——普通弯起钢筋的抗拉强度设计值；

f_{sd1}、f'_{sd1}——原构件普通钢筋的抗拉强度设计值和抗压强度设计值；

f_{sd2}、f'_{sd2}——新增普通钢筋的抗拉强度设计值和抗压强度设计值；

$f_{sd,b}$、$f_{sd,v}$——分别为原梁普通弯起钢筋和箍筋的抗拉强度设计值；

f_{sp}、f'_{sp}——加固钢板的抗拉、抗压强度设计值；

f_{sv1}——原构件箍筋抗拉强度设计值。

2.2.2 作用效应及承载力

M_d——构件加固后的弯矩组合设计值；

M_s——按作用短期效应组合计算的弯矩值；

N_d——构件加固后的轴向力组合设计值；

N_s——按作用短期效应组合计算的轴向力值；

V_d——构件加固后剪力组合设计值；

ε_{cu}——混凝土极限压应变；

ε_f——纤维带的拉应变；

ε_{sp}——加固钢板的拉应变。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

2.2.3 几何参数

a——受拉区普通钢筋、原有粘结预应力钢筋及体外预应力筋的合力点至受拉区边缘的距离；

a'——受压区普通钢筋、原有粘结预应力钢筋的合力点至受压区边缘的距离；

a_s、a'_s——受拉区、受压区普通的钢筋合力点至受拉区边缘、受压区边缘的距离；

A_{c1}、A_{c2}——原构件和新增部分混凝土截面面积；

A_f——纤维复合材料的面积；

A_p、A'_p——截面受拉区、受压区新旧纵向预应力钢筋的截面面积之和；

A_{s1}、A'_{s1}——原构件受拉区和受压区纵向普通钢筋的截面面积；

A_{s2}、A'_{s2}——新增受拉区和受压区纵向普通钢筋的截面面积；

A_{sp}、A'_{sp}——受拉区和受压区加固钢板的截面面积；

b_1、b_2——构件加固前后截面宽度或T形、I形截面的腹板宽度；

b'_f——T形或I形截面受压翼缘的有效宽度；

h_0——原构件截面有效高度；

h_{00}——加固后构件的截面有效高度；

h'_{00}——受拉区所有新旧纵向有粘结预应力钢筋和普通钢筋合力点至截面受压边缘的距离；

h_{01}——构件受拉区原纵向普通钢筋A_{s1}合力点至原构件截面受压区边缘的距离；

h_{02}——构件受拉区新增纵向普通钢筋A_{s2}合力点至加固后截面受压区边缘的距离；

h_1、h_2——构件加固前后截面高度；

h_c、h'_c——构件在受拉区、受压区的新增混凝土加厚层厚度；

h'_{f1}、h'_{f2}——分别为原构件、加固后构件T形或I形截面受压

翼缘厚度；

l_0——加固后构件的计算长度。

2.2.4 计算系数及其他

α_{cs}——综合考虑新增混凝土和钢筋强度利用程度的修正系数；

α_s——新增钢筋强度利用系数；

α_{EP}——预应力筋（束）与混凝土的弹性模量之比；

α_{ES}——原构件普通钢筋与混凝土的弹性模量之比；

γ_0——桥梁结构的重要性系数；

ϕ_s——剪力强度折减系数；

ψ_c——截面翼缘扩大系数；

ψ_{cs}——与原构件斜裂缝有关的修正系数；

ψ_η——偏心距增大系数的修正系数；

κ_m——纤维带强度折减因子。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

3 基本规定

3.0.1 桥梁加固可根据实际情况采用动态设计、动态施工原则。

3.0.2 桥梁结构应经技术状况评估和承载能力检测评定并确定加固目标、内容、范围后，方可进行加固设计。

3.0.3 加固后桥梁的承载力，应根据桥梁加固目标的设计荷载，按相关规范进行相应计算。

3.0.4 桥梁加固不得损伤原结构。

3.0.5 有抗震设防要求的城市桥梁，加固设计时应进行抗震能力验算。对抗震能力不足的桥梁，应进行抗震加固。

3.0.6 加固设计时的荷载（或作用）效应应分阶段计算，并应符合下列规定：

1 在新旧材料有效结合前，构件应按原构件截面计算，荷载应包括原构件自重、新增材料自重、其他恒载、可变荷载等；

2 在新旧材料有效结合后，构件应按加固后的整体截面计算，荷载应包括加固后整体构件自重、二期恒载、可变荷载等。

3.0.7 加固设计应进行各阶段构件强度、挠度及稳定性等验算。

3.0.8 加固设计应符合国家现行标准《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476、《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》JTG/T B07－01 和《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T 251 的耐久性要求。

3.0.9 桥梁结构的加固设计使用年限，应按下列原则确定：

1 当结构的加固材料中含有合成树脂或其他聚合物成分时，其结构加固后的使用年限宜为 30 年；当结构加固后的使用年限为 50 年时，其所使用的胶和聚合物的粘结性能，应通过耐长期应力作用能力的检验。

2 对使用胶粘方法或掺有聚合物加固的结构、构件，尚应

定期检查其工作状态；加固后的桥梁在3年内应每年检查，加固效果达到设计要求，且经评定合格后应按国家现行相关标准规定频率检查。

3　当为局部加固时，应计入原结构剩余设计使用年限因素。

3.0.10　对有特殊使用要求的桥梁，加固设计荷载标准、基准期、功能要求应通过专门研究确定。

3.0.11　桥梁结构加固施工使用的材料应具有产品合格证、出厂检验报告和使用说明书等，材料进场后应抽样复检，合格后方可使用。

3.0.12　桥梁结构加固检测中所用的仪器和设备应有产品合格证和检定机构的有效检定（校准）证书。对新购置的、经过大修或长期停用后重新启用的设备，投入使用前应进行检定和校准。

3.0.13　桥梁结构加固施工前应编制施工组织设计及相关的专项施工方案，并应进行施工技术交底。

3.0.14　结构加固施工时，不得在结构上堆放施工需要以外的荷载。

3.0.15　在清理原桥梁结构构件时，应采取限载或结构加强措施。

3.0.16　桥梁结构加固施工安全应符合下列规定：

1　应建立健全安全生产管理制度，执行安全操作规程；

2　化学材料应按要求保存、配置使用，应采取人员防护和防火措施；

3　应编制交通疏导方案，实施安全疏导措施。

3.0.17　桥梁结构加固施工现场应采取相应措施，降低对周围环境影响，保护生态环境。

3.0.18　加固完工后，应按设计要求和国家现行相关标准进行相关试验。

3.0.19　当被加固构件有防火要求时，应符合现行国家标准《建筑设计防火规范》GB 50016规定的耐火等级及耐火极限。

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

4 材　　料

4.1 一 般 规 定

4.1.1 加固所用原材料、半成品或成品的质量及使用性能，应符合国家现行相关标准的规定，并应满足设计要求。

4.1.2 当采用纤维复合材料加固时，应采用与此纤维材料相配套的树脂类胶粘剂及其溶剂和表面防护材料等。

4.2 水泥和混凝土

4.2.1 加固所用混凝土的强度等级宜比原结构构件提高一级，且不应低于C30；当采用预应力混凝土进行加固时，其强度等级不应低于C40。

4.2.2 水泥选用应符合下列规定：

1 水泥性能应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175和《快凝快硬硫铝酸盐水泥》JC/T 2282的规定，并应有出厂检验报告和产品合格证。

2 应采用强度等级不低于42.5级的硅酸盐水泥、快硬硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥；当有耐腐蚀、耐高温的要求时，应采用相应的特种水泥。

4.2.3 混凝土集料的品种和质量应符合下列规定：

1 粗、细集料的质量应符合现行行业标准《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52的规定。

2 粗集料应选用耐久性好、强度高、质密的碎石或卵石。集料的最大粒径，现场拌和混凝土不宜大于20mm，短纤维混凝土不宜大于10mm。

3 细集料应选用中、粗砂。

4.2.4 混凝土拌合用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》

JGJ 63 的规定。

4.2.5 普通混凝土中掺用的外加剂应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 和《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119 的规定。

4.2.6 当加固选用聚合物混凝土、微膨胀混凝土、合成短纤维混凝土或喷射混凝土时，在施工前应进行试配，检验其强度、抗干缩性及耐腐蚀性等性能指标符合设计要求后，方可使用。

4.3 钢材及连接材料

4.3.1 加固用钢材，其品种、质量和性能应符合下列规定：

1 普通钢筋质量应符合现行国家标准《钢筋混凝土用钢 第一部分：热轧光圆钢筋》GB 1499.1 和《钢筋混凝土用钢 第二部分：热轧带肋钢筋》GB 1499.2 的规定。钢筋的基本性能指标应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 的规定。

2 钢板、型钢、扁钢和钢管质量应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 等的规定。钢材的基本性能指标应按国家现行相关标准的规定执行。

3 预应力钢材应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 的相关规定。体外预应力索应采用防腐性能可靠的产品，宜采用成品索；当采用环氧涂层预应力钢材时，涂层的质量及主要性能指标应符合现行国家标准《单丝涂覆环氧涂层预应力钢绞线》GB/T 25823 和行业标准《环氧涂层预应力钢绞线》JG/T 387 等标准的规定。

4.3.2 加固用焊条型号应与被焊接钢材的强度相适应；焊缝连接质量应符合现行行业标准《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 的要求。

4.3.3 高强度螺栓应符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228、《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230、《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 231 和《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632 的规定。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

4.4 锚 固 件

4.4.1 锚栓应根据环境条件差异和耐久性要求选用碳素钢、不锈钢或合金钢。

4.4.2 锚栓的性能应符合现行行业标准《混凝土用膨胀型、扩孔型建筑锚栓》JG 160 的相关规定。

4.4.3 碳素钢、合金钢或不锈钢锚栓，其钢材的性能指标应符合表 4.4.3-1 或表 4.4.3-2 中的规定。

表 4.4.3-1 碳素钢、合金钢锚栓的钢材性能指标

性能等级	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	9.8	10.9	12.9
抗拉强度标准值 f_{stk}（MPa）	300	400		500		600	800	900	1000	1200
屈服强度标准值 f_{yk}（MPa）	180	240	320	300	400	480	640	720	900	1080
屈服强度标准值/抗拉强度标准值（f_{yk}/f_{stk}）	0.6	0.6	0.8	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9
伸长率（%）	25	22	14	20	10	8	12	10	9	8

表 4.4.3-2 不锈钢锚栓的钢材性能指标

性能等级	50	70	80
螺纹公称直径（mm）	≤39	≤24	≤24
抗拉强度标准值（MPa）	500	700	800
屈服强度标准值（MPa）	210	450	600
伸长值（mm）	0.6d	0.4d	0.3d

注：表中的 d 表示锚栓的公称直径。

4.4.4 预应力纤维带张拉锚固装置所用材料、构造形式和尺寸应满足设计要求，安装时不应损伤既有受力钢筋。

4.5 纤维复合材料

4.5.1 碳纤维、玻璃纤维或芳纶纤维等复合材料的品种和性能应符合下列规定：

1　加固主要承重构件采用的碳纤维，应选用聚丙烯腈基（PAN基）不大于12k（1k=1000根）的小丝束纤维，不得使用大丝束纤维。

2　用于加固的玻璃纤维应采用高强度型玻璃纤维、含碱量小于0.8%的无碱玻璃纤维或耐碱玻璃纤维。不得使用中碱玻璃纤维或高碱玻璃纤维。

3　碳纤维与玻璃纤维复合材料的主要力学性能，应符合现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367的规定。

4　芳纶纤维复合材料的力学指标可按现行行业标准《桥梁结构用芳纶纤维复合材料》JT/T 531执行。

4.5.2　纤维复合材料与其配套使用的改性环氧树脂胶粘剂应按现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367的规定测定抗拉强度标准值、纤维复合材料与混凝土正拉粘结强度、层间剪切强度等，测定结果应符合表4.5.2的规定。

表4.5.2　桥梁加固用纤维复合材料主要力学性能指标

性能项目 / 纤维类别			抗拉强度标准值（MPa）	弹性模量（MPa）	伸长率（%）	弯曲强度（MPa）	纤维复合材料-混凝土正拉粘结强度（MPa）	层间剪切强度（MPa）
碳纤维	布材	Ⅰ级	≥3400	≥2.4×10^5	≥1.7	≥700	≥1.5且为混凝土内聚破坏	≥45
		Ⅱ级	≥3000	≥2.1×10^5	≥1.5	≥600		≥35
	板材	Ⅰ级	≥2400	≥1.6×10^5	≥1.7	—		≥50
		Ⅱ级	≥2000	≥1.4×10^5	≥1.5	—		≥40
高强度型玻璃纤维			≥2200	≥1.0×10^5	≥2.5	≥600		≥40
无碱玻璃纤维			≥1500	≥7.2×10^4	≥2.0	≥500		≥35

注：纤维复合材料的抗拉强度标准值是根据置信水平$C=0.99$、保证率为95%的要求确定。

4.5.3　用于粘贴加固的单向纤维布应符合下列规定：

1　纤维布的抗拉强度应按纤维布的净截面面积计算。

2　单层碳纤维布的单位面积纤维质量，不应低于200g/m²，不宜高于300g/m²。

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

3 单层玻璃纤维布的单位面积纤维质量，不应低于 300g/m²，且不宜高于 600g/m²。

4 单层芳纶纤维布的单位面积纤维质量，不应低于 280g/m²，且不宜高于 830g/m²。

5 受力加固时纤维布的条带宽度不应大于 200mm。

4.5.4 当纤维板用于受力加固时，宽度不应大于 100mm。

4.5.5 桥梁加固用预应力纤维带应选用Ⅰ级碳纤维布或板，两端带锚具的预应力纤维带的抗拉强度标准值不应低于相应Ⅰ级碳纤维布或板抗拉强度标准值的 0.8 倍。用于混凝土梁的 200 万次疲劳试验后，纤维带不应发生滑移。

4.6 结构胶粘剂

4.6.1 承重结构用的胶粘剂，宜按其基本性能分为 A 级胶和 B 级胶；对重要结构、悬挑构件、承受动力作用的结构、构件，应采用 A 级胶；对一般结构可采用 A 级胶或 B 级胶。

4.6.2 承重结构用的胶粘剂，必须进行安全性能检验。检验时，其粘结抗剪强度标准值，应根据置信水平为 0.90、保证率为 95%的要求确定。

4.6.3 粘贴钢板或型钢用的胶粘剂（包括配套的底胶和修补胶），应采用改性环氧类结构胶粘剂，其安全性能应符合表 4.6.3 的规定。

表 4.6.3 粘贴钢板或型钢用胶粘剂安全性能指标

性能项目		性能要求	
		A 级胶	B 级胶
胶体性能	抗拉强度（MPa）	≥30	≥25
	抗拉弹性模量（MPa）	≥3500（≥3000）	
	抗弯强度（MPa）	≥45	≥35
		且不得呈脆性破坏	
	抗压强度（MPa）	≥65	
	伸长率（%）	≥1.3	≥1.0

续表 4.6.3

性能项目		性能要求	
		A级胶	B级胶
粘结能力	钢-钢拉伸抗剪强度标准值（MPa）	≥15	≥12
	钢-钢对接接头抗拉强度（MPa）	≥33	≥25
	钢-钢T冲击剥离长度（mm）	≤25	≤40
	钢对混凝土正拉粘结强度（MPa）	≥2.5，且为混凝土内聚破坏	
不挥发物（固体）含量（%）		≥99	

注：1 表中括号内的抗拉弹性模量指标仅用于灌注粘结型胶粘剂。

2 表中各项性能指标除标有强度标准值外，其余均为平均值。

4.6.4 当采用纤维复合材料加固时，宜采用配套的底层树脂、找平材料、浸渍树脂或纤维板胶粘剂，粘结材料的主要性能指标应满足表4.6.4-1～表4.6.4-3的规定。

表4.6.4-1 底层树脂性能指标

项 目	混合后初黏度（25℃）	适用期（25℃）	凝胶时间（25℃）
性能指标	≤600mPa·s	≥40min	≤12h

表4.6.4-2 找平材料性能指标

项目	适用期（25℃）	凝胶时间（25℃）
性能指标	≥40min	≤12h

表4.6.4-3 浸渍树脂性能指标

项 目	性能指标
混合后初黏度（25℃）	≤4000mPa·s
触变指数TI	≥1.7
适用期（25℃）	≥40min
凝胶时间（25℃）	≤12h
抗拉强度（MPa）	≥38

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

续表 4.6.4-3

项　　目	性能指标
受拉弹性模量（MPa）	≥2500
伸长率（%）	≥1.5
抗压强度（MPa）	≥70
抗弯强度（MPa）	≥50
钢对钢拉伸抗剪强度（MPa）	≥14
钢对钢对接接头抗拉强度（MPa）	≥35
钢对钢 T 冲击剥离长度（mm）	≤20
钢对 C45 混凝土正拉粘结强度（MPa）	≥2.5，且为混凝土内聚破坏
不挥发物（固体）含量（%）	≥99

4.6.5　纤维复合板材用浸渍树脂的触变指数不应小于 4.0，且 25℃下垂流度不应大于 2.0mm。

4.6.6　种植后锚固件的胶粘剂，应采用配制的改性环氧类结构胶粘剂或改性乙烯基酯类结构胶粘剂，其安全性能指标应符合表 4.6.6 的规定。

表 4.6.6　植筋固件用胶粘剂的安全性能指标

性能项目			性能要求	
			A 级胶	B 级胶
胶体性能	劈裂抗拉强度（MPa）		≥8.5	≥7.5
	抗压强度（MPa）		≥60	
	抗弯强度（MPa）		≥50	≥40
粘结能力	钢对钢拉伸抗剪强度标准值（MPa）		≥16	≥12
	约束条件下带肋钢筋与混凝土的粘结强度(MPa)	C30　ϕ25　L=150mm	≥11	≥8.5
		C60　ϕ25　L=125mm	≥17	≥14
不挥发物（固体）含量（%）			≥99	

注：表中的性能指标，除标有强度标准值外，其余均为平均值。

4.6.7　当结构锚固工程采用快固结构胶时，其安全性能应符合

表 4.6.7 的规定。

表 4.6.7 锚固型快固结构胶安全性能鉴定标准

检验项目			性能要求	检验方法
胶体性能	劈裂抗拉强度（MPa）		≥8.5	《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728
	抗弯强度（MPa）		≥50，且不得呈碎裂状破坏	《树脂浇铸体性能试验方法》GB/T 2567
	抗压强度（MPa）		≥60.0	《树脂浇铸体性能试验方法》GB/T 2567
粘结能力	钢对钢（钢套筒法）拉伸抗剪强度标准值		≥16.0	《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728
	约束拉拔条件下带肋钢筋与混凝土粘结抗剪强度（MPa）	C30 ϕ25 埋深 150mm	≥12.0	《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728
		C30 ϕ25 埋深 150mm	≥18.0	
经 90d 湿热老化后的钢套筒粘结抗剪强度降低率（%）			<15	《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728
经低周反复拉力作用后的试件粘结抗剪强度降低率（%）			≤50	《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728

4.6.8 胶粘剂应按工程量一次进场到位，应对其钢对钢拉伸抗剪、钢对混凝土正拉粘结强度、7d 快速耐老化性能、不挥发物含量和抗冲击剥离能力进行见证取样复检。

4.6.9 混凝土桥梁加固用胶粘剂，其钢对钢粘接抗剪性能必须经过湿热老化检验合格，湿热老化检验应在 50℃温度和 98%相对湿度环境下进行；重要构件老化时间不得小于 90d，一般构件

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

老化时间不得小于60d；经湿热老化后的试件，应在常温条件下进行钢对钢粘接拉伸抗剪试验，其强度降低的百分率A级胶不得大于10%，B级胶不得大于15%。

4.6.10 结构胶粘剂工艺性能应满足现行国家标准《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550的相关要求。

4.6.11 胶粘剂不得掺入挥发性有害溶剂和非反应性稀释剂。

4.6.12 寒冷地区加固用胶粘剂应进行耐冻融性能试验验证，冻融环境温度宜－25℃～35℃；循环次数宜大于50次；每次循环时间应为8h；试验结束后，试件在常温条件下钢对钢拉伸剪切强度降低率不应大于5%。

4.6.13 浸渍树脂和纤维复合材料胶粘剂的热变形温度不应小于60℃；特殊环境下使用的浸渍树脂和纤维复合材料胶粘剂的热变形温度应大于70℃。

4.6.14 胶粘剂应进行毒性检验，对完全固化的胶粘剂，其检验结果应符合实际无毒卫生等级的规定。

4.7 混凝土用结构界面剂

4.7.1 混凝土用结构界面剂宜采用改性环氧类界面剂。

4.7.2 结构界面剂剪切粘结性能指标应符合表4.7.2的规定。

表4.7.2 界面剂剪切粘结性能指标

性能指标	界面剂等级		28d合格指标
剪切粘结强度（MPa）	A级	≥3.5	且为混凝土内聚破坏
	B级	≥2.5	

4.8 裂缝修补用材料

4.8.1 混凝土桥梁裂缝修补胶的性能指标应符合表4.8.1的规定。当修补目的仅为封闭裂缝，且不涉及补强、防渗的要求时，可不做灌注性检验。

表 4.8.1　裂缝修补用胶（注射剂）的性能指标

性能项目	胶体性能				钢对钢抗剪强度标准值（MPa）	不挥发物含量（固体含量）（%）	可灌注性
	抗拉强度（MPa）	抗拉弹性模量（MPa）	抗压强度（MPa）	抗弯强度（MPa）			
性能要求	≥20	≥1500	≥50	≥30，且不得呈脆性破坏	≥10	≥99	在产品说明书规定的压力下，能注入宽度为0.1mm

4.8.2　混凝土桥梁裂缝修补用聚合物水泥注浆料的性能指标应符合表 4.8.2 的规定。

表4.8.2　裂缝修补用聚合物水泥注浆料的性能指标

性能项目	浆体性能			注浆料与混凝土的正拉粘结强度（MPa）
	劈裂抗拉强度（MPa）	抗压强度（MPa）	抗折强度（MPa）	
性能要求	≥5	≥40	≥10	≥2.5，且为混凝土破坏

4.9　混凝土表层缺陷修复及防护用材料

4.9.1　混凝土表层缺陷修补采用的聚合物水泥砂浆的性能指标应符合本规程第 4.8.2 条的规定。

4.9.2　结构钢筋防锈应符合下列规定：

1　宜采用喷涂型阻锈剂，承重构件应采用氧基类或氨基类喷涂型阻锈剂，喷涂型阻锈剂的性能指标应符合现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 的规定。

2　不得在新浇筑的混凝土中采用以亚硝酸盐类为主要成分的阳极型阻锈剂。

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

5 增大截面加固法

5.1 一 般 规 定

5.1.1 当加固钢筋混凝土受弯、受压构件时，可采用增大截面加固法。

5.1.2 加固之前，应对原结构构件的混凝土进行现场强度检测，原构件混凝土强度应符合下列规定：

1 钢筋混凝土受弯构件不应低于C20；

2 钢筋混凝土受压构件不应低于C15。

5.1.3 增大截面加固时，在施工质量满足要求后，加固后构件可按新旧混凝土组合截面计算。

5.2 受弯构件加固设计

5.2.1 当采用增大截面加固受弯构件时，可根据原结构构造和受力的实际情况，选用仅在受拉区、或仅在受压区、或同时在受拉及受压区增设现浇混凝土加厚层的加固方式。

5.2.2 增大截面加固受弯构件的承载力计算基本假定应符合下列规定：

1 不同受力阶段的截面变形应符合平截面假设。

2 在受弯承载力极限状态下，截面受压区边缘混凝土应变应达到极限压应变值 $\varepsilon_{cu}=0.0033$。构件截面受压区混凝土压应力应简化为等效矩形应力图，其强度值 f_{cc} 应按下列规定确定：

1）当受压区无新增混凝土时，应取原构件轴心抗压强度设计值 f_{cd1} 或根据现场检测强度推算值按国家现行有关标准确定。

2）当受压区有新增混凝土时，f_{cc} 可近似按下式确定；若有可靠试验数据，也可按试验结果确定。

$$f_{cc} = 0.5(f_{cd1} + 0.9f_{cd2}) \leqslant 1.2f_{cd1} \qquad (5.2.2)$$

式中：f_{cc}——新旧混凝土组合截面的受压区混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm^2）；

f_{cd1}——原构件混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm^2），现场混凝土实测强度推算值大于原设计值时，按原设计值取用；小于原设计值时，根据现场检测强度推算值按国家现行有关标准确定；

f_{cd2}——新增混凝土的轴心抗压强度设计值（N/mm^2）。

3 截面受拉区混凝土的抗拉强度可不计算。

4 钢筋应力应等于钢筋应变与其弹性模量的乘积，但应力不应超过其强度设计值。纵向受拉钢筋的极限拉应变宜取 0.01。

5.2.3 当矩形截面或翼缘位于受拉区的 T 形截面钢筋混凝土受弯构件进行增大截面抗弯加固时，其正截面受弯承载力（图 5.2.3）计算应符合下列规定：

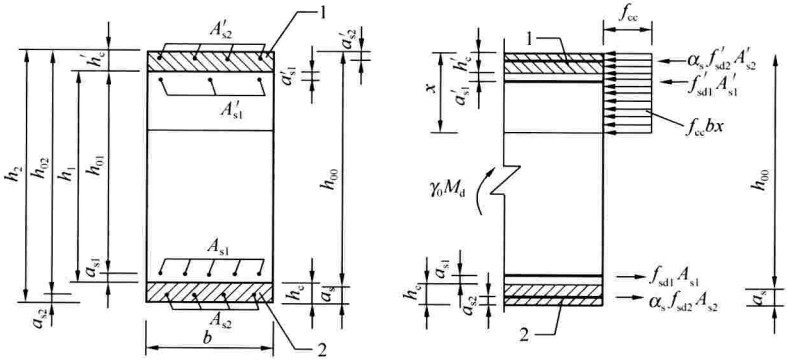


图 5.2.3 增大截面加固矩形截面受弯构件的正截面抗弯承载力计算

1—受压区混凝土加厚层；2—受拉区混凝土加厚层

1 混凝土受压区高度 x 计算应符合下列公式要求：

$$f_{cc}bx = f_{sd1}A_{s1} + \alpha_s f_{sd2}A_{s2} - f'_{sd1}A'_{s1} - \alpha_s f'_{sd2}A'_{s2} \qquad (5.2.3\text{-}1)$$

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

$$2(a'_{s1}+h'_c)\leqslant x\leqslant \xi_b h_{00} \tag{5.2.3-2}$$

$$h_{00}=h_2-\frac{f_{sd1}A_{s1}(a_{s1}+h_c)+\alpha_s f_{sd2}A_{s2}a_{s2}}{f_{sd1}A_{s1}+\alpha_s f_{sd2}A_{s2}} \tag{5.2.3-3}$$

2 当 x 满足公式（5.2.3-2）条件时，正截面抗弯承载力应符合下式要求：

$$\gamma_0 M_d\times 10^6\leqslant f_{cc}bx\left(h_{02}-\frac{x}{2}\right)+f'_{sd1}A'_{s1}(h_{02}-h'_c-a'_{s1})+\alpha_s f'_{sd2}A'_{s2}(h_{02}-a'_{s2})-f_{sd1}A_{s1}(h_c+a_{s1}-a_{s2}) \tag{5.2.3-4}$$

3 当 $2a'_{s2}\leqslant x<2(a'_{s1}+h'_c)$ 时，x 值应按公式（5.2.3-5）重新确定，正截面抗弯承载力应符合公式（5.2.3-6）要求：

$$f_{cc}bx=f_{sd1}A_{s1}+\alpha_s f_{sd2}A_{s2}-\alpha_s f'_{sd2}A'_{s2} \tag{5.2.3-5}$$

$$\gamma_0 M_d\times 10^6\leqslant f_{cc}bx\left(h_{02}-\frac{x}{2}\right)+\alpha_s f'_{sd2}A'_{s2}(h_{02}-a'_{s2})-f_{sd1}A_{s1}(h_c+a_{s1}-a_{s2}) \tag{5.2.3-6}$$

4 当 $x<2a'_{s2}$ 时，可近似取 $x=2a'_{s2}$，正截面抗弯承载力应符合下式要求：

$$\gamma_0 M_d\times 10^6\leqslant f_{sd1}A_{s1}(h_{01}+h'_c-a'_{s2})+\alpha_s f_{sd2}A_{s2}(h_{02}-a'_{s2}) \tag{5.2.3-7}$$

式中：A_{s1}、A'_{s1}——分别为原构件受拉区、受压区普通钢筋的截面面积（mm^2）；

A_{s2}、A'_{s2}——分别为受拉区、受压区新增普通钢筋的截面面积（mm^2）；

a_{s1}——受拉区原普通钢筋 A_{s1} 合力点至原构件截面受拉区边缘的距离（mm）；

a_{s2}——受拉区新增普通钢筋 A_{s2} 合力点至加固后构件截面受拉区边缘的距离（mm）；

a'_{s1}——受压区原普通钢筋 A'_{s1} 合力点至原构件截面受压区边缘的距离（mm）；

a'_{s2}——受压区新增普通钢筋 A'_{s2} 合力点至加固后构件截面受压区边缘的距离（mm）；

b——原构件矩形截面宽度（mm）；

f_{cc}——新旧混凝土组合截面的受压区混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm^2），按本规程第5.2.2条第2款确定；

f_{sd1}、f'_{sd1}——分别为原构件普通钢筋的抗拉、抗压强度设计值（N/mm^2）；

f_{sd2}、f'_{sd2}——分别为新增普通钢筋的抗拉、抗压强度设计值（N/mm^2）；

h_2——加固后的构件截面高度（mm）；

h_{00}——加固后构件的截面有效高度（mm）；

h_{01}——构件受拉区原纵向普通钢筋 A_{s1} 合力点至原构件截面受压区边缘的距离（mm）；

h_{02}——构件受拉区新增纵向普通钢筋 A_{s2} 合力点至加固后截面受压区边缘的距离（mm）；

h_c、h'_c——分别为构件在受拉区、受压区的新增混凝土加厚层厚度（mm）；

M_d——在新旧材料有效结合后，加固后受弯构件承受的弯矩组合设计值（kN·m）；

x——等效矩形应力图形的混凝土受压区高度（mm）；

α_s——新增钢筋强度利用系数，取0.9；

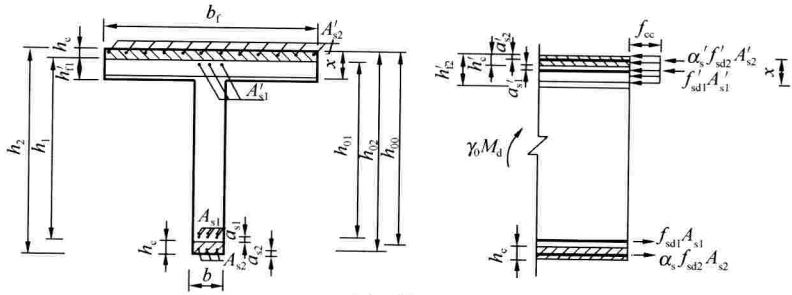
γ_0——桥梁结构的重要性系数，按现行行业标准《城市桥梁设计规范》CJJ 11规定采用；

ξ_b——正截面相对界限受压区高度，根据混凝土和受拉钢筋种类，按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62规定选用，当新旧混凝土或新旧钢筋为不同种类时，ξ_b 值应选用较小者。

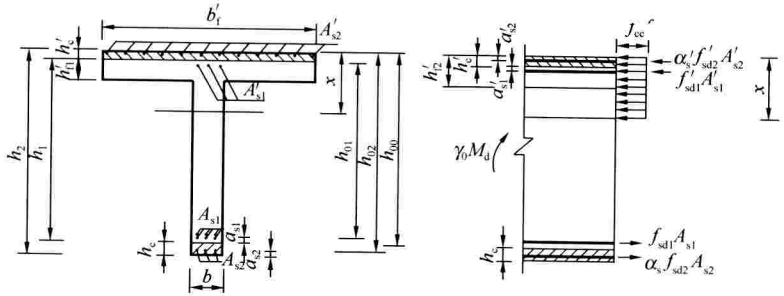
找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

5.2.4 对翼缘位于受压区的T形或I形截面钢筋混凝土受弯构件，在增大截面进行抗弯加固后，其正截面受弯承载力计算应符合下列规定：

1 当混凝土受压区高度 $x \leqslant h'_{f2}$ 时，应以宽度为 b'_f 的矩形截面（图5.2.4a），按本规程第5.2.3条计算正截面受弯承载力。



(a) $x \leqslant h'_{f2}$，第一类T形



(b) $x > h'_{f2}$，第二类T形

图5.2.4 增大截面加固T形截面受弯构件的正截面受弯承载力计算

2 当混凝土受压区高度 $x > h'_{f2}$，并满足本规程式（5.2.3-2）的要求时，其正截面受弯承载力（图5.2.4b）应符合下列公式要求：

$$\gamma_0 M_d \times 10^6 \leqslant f_{cc}\left[\begin{array}{l} bx\left(h_{02}-\dfrac{x}{2}\right)+ \\ (b'_f-b)h'_{f2}\left(h_{02}-\dfrac{h'_{f2}}{2}\right) \end{array}\right] + f'_{sd1}A'_{s1}(h_{02}-h'_c-a'_{s1})+\alpha_s f'_{sd2}A'_{s2}(h_{02}-a'_{s2})$$

$$-f_{sd1}A_{s1}(h_c+a_{s1}-a_{s2}) \tag{5.2.4-1}$$

$$f_{cc}bx=f_{sd1}A_{s1}+\alpha_s f_{sd2}A_{s2}-f_{cc}(b'_f-b)h'_{f2}$$
$$-f'_{sd1}A'_{s1}-\alpha_s f'_{sd2}A'_{s2} \tag{5.2.4-2}$$

式中：b——T形或I形截面腹板宽度（mm）；

b'_f——T形或I形截面受压翼缘的有效宽度（mm），按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62的规定采用；

h'_{f1}、h'_{f2}——分别为原构件、加固后构件T形或I形截面受压翼缘厚度（mm）。

5.2.5 钢筋混凝土受弯构件在增大截面加固后，其截面尺寸应满足下式要求：

$$\gamma_0 V_d \leqslant 0.51\times10^{-3}\sqrt{f_{cu,k}}b_2h_{00} \tag{5.2.5}$$

式中：b_2——加固后构件截面宽度（mm）；

$f_{cu,k}$——原构件混凝土边长为150mm的立方体抗压强度标准值（N/mm^2）；

h_{00}——增大截面加固后构件相应于剪力组合设计值处的截面有效高度（mm），按本规程公式（5.2.3-3）计算；

V_d——加固后构件验算截面处的剪力组合设计值（kN），含原构件重量、新增混凝土、后加恒载、车辆荷载及其他作用产生的剪力。

5.2.6 采用增大截面法加固钢筋混凝土受弯构件后，其斜截面受剪承载力应符合下列规定：

1 当仅在受拉区增设配筋混凝土层，并采用短U形筋与原箍筋底部逐个焊接时，斜截面受剪承载力（图5.2.6a）应符合下列公式要求：

$$\gamma_0 V_d\times10^3\leqslant0.45\alpha_1\alpha_3 bh_{00}\psi_{cs}\sqrt{(2+0.6P_2)\sqrt{f_{cu,k}}\rho_{sv1}f_{sv1}}$$
$$+0.75f_{sb}A_{sb}\sin\theta_s \tag{5.2.6-1}$$

$$\rho_{sv1}=A_{sv1}/(s_{v1}b_1) \tag{5.2.6-2}$$

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

$$P_2 = 100(A_{s1} + A_{s2})/(b_1 h_{00}) \qquad (5.2.6\text{-}3)$$

2 当增设钢筋混凝土三面围套，并在加厚混凝土内新增箍筋采用可靠措施与原构件混凝土连接时，斜截面受剪承载力（图5.2.6b）应符合下列公式要求：

$$\gamma_0 V_d \times 10^3 \leqslant 0.45\alpha_1\alpha_3 b_2 h_{00}\psi_{cs}\sqrt{(2+0.6P_2)\sqrt{f_{cu,k}}\rho_{sv2}f_{sv1}} + 0.75 f_{sb}A_{sb}\sin\theta_s \qquad (5.2.6\text{-}4)$$

$$\rho_{sv2} = \frac{A_{sv1}}{s_{v1}b_2} + \frac{0.8A_{sv2}}{s_{v2}b_2} \qquad (5.2.6\text{-}5)$$

$$P_2 = 100(A_{s1} + A_{s2})/(b_2 h_{00}) \qquad (5.2.6\text{-}6)$$

式中：A_{sb}——与斜裂缝相交的普通弯起钢筋的总截面面积（mm^2）；

A_{sv1}——配置在同一截面的原有箍筋各肢总截面面积（mm^2）；

A_{sv2}——三面围套混凝土中，配置在同一截面的新增箍筋

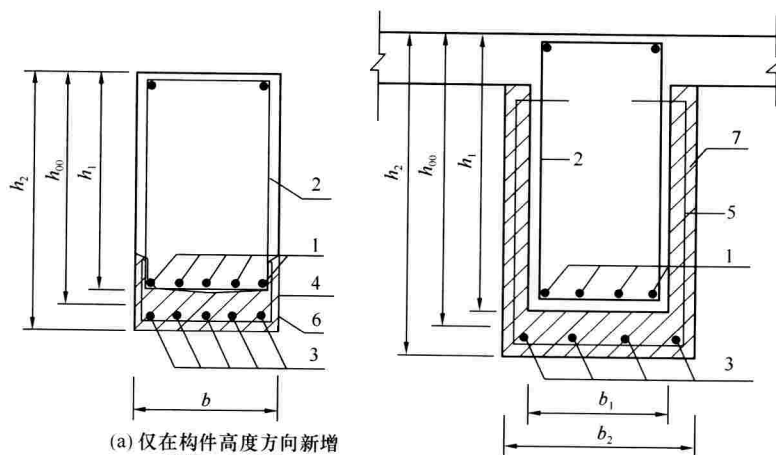


图 5.2.6　增大截面加固受弯构件的斜截面受剪承载力计算

1—原主筋；2—原箍筋；3—新增主筋；4—新增短U形筋（与原箍筋对应焊接）；5—新增箍筋（与原混凝土可靠连接）；6—新增受拉区混凝土；7—新增三面围套混凝土

各肢总截面面积（mm^2）；

b_1——原构件截面宽度（mm）；

b_2——加固后构件截面宽度（mm）；

f_{sv1}——原构件箍筋抗拉强度设计值（N/mm^2）；

f_{sb}——普通弯起钢筋的抗拉强度设计值（N/mm^2）；

h_{00}——加固后构件的截面有效高度（mm），按本规程公式（5.2.3-3）计算；

P_2——加固后计算截面斜裂缝范围纵向钢筋的配筋百分率，当 $P_2>2.5$ 时，取 $P_2=2.5$；

s_{v1}——构件斜截面内原有箍筋的间距（mm）；

s_{v2}——三面围套混凝土中，构件斜截面内新增箍筋的间距（mm）；

α_1——异号弯矩影响系数，计算简支梁和连续梁近边支点梁段的受剪承载力时，$\alpha_1=1.0$；计算连续梁和悬臂梁近中间支点梁段的受剪承载力时，$\alpha_1=0.9$；

α_3——受压翼缘的影响系数，对矩形截面 $\alpha_3=1.0$；对具有受压翼缘的 T 形或 I 形截面，取 $\alpha_3=1.1$；

ρ_{sv1}——构件斜截面内原有箍筋配筋率；

ρ_{sv2}——加固后构件斜截面内的箍筋配筋率；

θ_s——普通弯起钢筋的切线与水平线的夹角（°）；

ψ_{cs}——与原构件斜裂缝有关的修正系数，当加固前未出现斜裂缝时，取 $\psi_{cs}=0.89$；当斜裂缝宽度小于 0.2mm 时，取 $\psi_{cs}=0.835$；当斜裂缝宽度大于 0.2mm 时，取 $\psi_{cs}=0.78$。

5.3 受压构件加固设计

5.3.1 当采用增大截面加固钢筋混凝土轴心受压构件时，其正截面受压承载力应符合下式要求：

$$\gamma_0 N_d \times 10^3 \leqslant 0.9\varphi[f_{cd1}A_{c1}+f'_{sd1}A'_{s1}+\alpha_{cs}(f_{cd2}A_{c2}+f'_{sd2}A'_{s2})] \tag{5.3.1}$$

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

式中：A_{c1}、A_{c2}——分别为原构件混凝土、新增混凝土截面面积（mm^2），当加固后截面全部纵向钢筋配筋率大于3%时，应扣除纵向普通钢筋所占的截面面积；

A'_{s1}、A'_{s2}——分别为原有纵向受压钢筋、新增纵向受压钢筋的截面面积（mm^2）；

f_{cd1}、f_{cd2}——分别为原构件混凝土、新增混凝土的轴心抗压强度设计值（N/mm^2）；

f'_{sd1}、f'_{sd2}——分别为原构件普通钢筋、新增普通钢筋的抗压强度设计值（N/mm^2）；

N_d——加固后截面轴向压力组合设计值（kN）；

α_{cs}——综合考虑新增混凝土和钢筋强度利用程度的修正系数，取0.8；

γ_0——桥梁结构的重要性系数，按现行行业标准《城市桥梁设计规范》CJJ 11规定采用；

φ——轴心受压构件稳定系数，根据加固后的截面尺寸，按表5.3.1采用。

表5.3.1　钢筋混凝土轴心受压构件的稳定系数 φ

l_0/b_2	≤8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
l_0/d_2	≤7	8.5	10.5	12	14	15.5	17	19	21	22.5	24
l_0/r_2	≤28	35	42	48	55	62	69	76	83	90	97
φ	1.0	0.98	0.95	0.92	0.87	0.81	0.75	0.70	0.65	0.60	0.56
l_0/b_2	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50
l_0/d_2	26	28	29.5	31	33	34.5	36.5	38	40	41.5	43
l_0/r_2	104	111	118	125	132	139	146	153	160	167	174
φ	0.52	0.48	0.44	0.40	0.36	0.32	0.29	0.26	0.23	0.21	0.19

注：1　表中 l_0 为加固后构件计算长度，b_2 为加固后矩形截面短边尺寸，d_2 为加固后圆形截面直径，r_2 为加固后截面最小回转半径。

2　构件计算长度 l_0 的确定，两端固定为0.5l；一端固定、一端为不移动的铰为 l；一端固定、一端自由为2l；l 为构件支点间长度。

5.3.2 当采用增大截面加固钢筋混凝土矩形截面偏心受压构件时，其正截面承载力（图 5.3.2）应符合下列公式要求：

$$\gamma_0 N_d \times 10^3 \leqslant f_{cc} b_2 x + f'_{sd1} A'_{s1} + \alpha_s f'_{sd2} A'_{s2} - \sigma_{s1} A_{s1} - \sigma_{s2} A_{s2} \tag{5.3.2-1}$$

$$\gamma_0 N_d e_s \times 10^3 \leqslant f_{cc} b_2 x \left(h_{02} - \frac{x}{2}\right) + f'_{sd1} A'_{s1} (h_{02} - h'_c - a'_{s1}) + \alpha_s f'_{sd2} A'_{s2} (h_{02} - a'_{s2}) - \sigma_{s1} A_{s1} (a_{s1} + h_c - a_{s2}) \tag{5.3.2-2}$$

$$\sigma_{s1} = \left(\frac{0.8 h_{01}}{x} - 1\right) E_{s1} \varepsilon_{cu} \leqslant f_{sd1} \tag{5.3.2-3}$$

$$\sigma_{s2} = \left(\frac{0.8 h_{02}}{x} - 1\right) E_{s2} \varepsilon_{cu} \leqslant f_{sd2} \tag{5.3.2-4}$$

$$e_s = \eta e_0 + \frac{h_2}{2} - a_{s2} \tag{5.3.2-5}$$

$$e_0 = 1000 \times M_d / N_d \tag{5.3.2-6}$$

式中：A_{s1}、A_{s2}——分别为截面受拉区或受压较小区的原构件纵向普通钢筋、新增纵向普通钢筋截面面积（mm^2）；

A'_{s1}、A'_{s2}——分别为截面受压较大区的原构件纵向普通钢筋、新增纵向普通钢筋截面积（mm^2）；

a_{s1}——受拉区或受压较小区原普通钢筋 A_{s1} 合力点至同一侧原构件截面边缘的距离（mm）；

a_{s2}——受拉区或受压较小区新增普通钢筋 A_{s2} 合力点至同一侧加固后构件截面边缘的距离（mm）；

a'_{s1}——受压较大区原普通钢筋 A'_{s1} 合力点至同一侧加固后构件截面边缘的距离（mm）；

a'_{s2}——受压较大区新增普通钢筋 A'_{s2} 合力点至同一侧加固后构件截面边缘的距离（mm）；

E_{s1}、E_{s2}——分别为原构件普通钢筋、新增普通钢筋的弹性模量（N/mm^2）；

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

e_0——轴向压力对加固后截面重心轴的偏心距（mm）；

e_s——轴向力作用点至截面受拉区或受压较小区新增普通钢筋 A_{s2} 合力点的距离（mm）；

f_{cc}——新旧混凝土组合截面的混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm^2），按本规程第 5.2.2 条规定采用；

h_{01}——构件受拉区或受压较小区原纵向普通钢筋 A_{s1} 合力点至原构件截面受压区边缘的距离（mm）；

h_{02}——构件受拉区或受压较小区新增纵向普通钢筋 A_{s2} 合力点至加固后截面受压区边缘的距离（mm）；

h_2——加固后的构件截面高度（mm）；

h_c、h'_c——分别为构件在受拉边或受压较小边、受压较大边的新增混凝土厚度（mm）；

M_d——加固后相应于轴向压力 N_d 的截面弯矩组合设计值（kN·m）；

N_d——加固后截面轴向压力组合设计值（kN）；

x——等效矩形应力图形的混凝土受压区高度（mm）；

α_s——新增钢筋强度利用系数，取 0.9；

η——偏心受压构件轴向力偏心距增大系数，按本规程第 5.3.3 条的规定计算；

σ_{s1}——受拉区或受压较小区的原构件纵向普通钢筋应力（N/mm^2）；当计算的 $\sigma_{s1} > f_{sd1}$ 时，取 $\sigma_{s1} = f_{sd1}$；

σ_{s2}——受拉区或受压较小区的新增纵向普通钢筋应力（N/mm^2）；当计算的 $\sigma_{s2} > f_{sd2}$ 时，取 $\sigma_{s2} = f_{sd2}$。

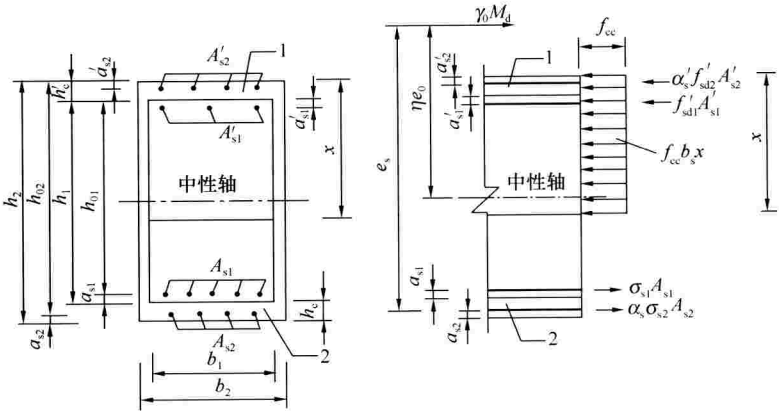


图 5.3.2　增大截面加固矩形截面偏心受压构件的正截面承载力计算

1—新增混凝土（受压较大边）；2—新增混凝土（受拉边或受压较小边）

注：当为小偏心受压构件时，图中 σ_{s1}、σ_{s2} 可能变向

5.3.3　当计算加固偏心受压构件正截面承载力时，对长细比大于 17.5 的构件应将轴向压力对加固后截面重心轴的偏心距 e_0 乘以偏心距增大系数 η（图 5.3.2），其值应按下列公式计算：

$$\eta = \left[1 + \frac{1}{1400 e_0 / h_{00}} \left(\frac{l_0}{h_2}\right)^2 \zeta_1 \zeta_2\right] \psi_\eta \qquad (5.3.3\text{-}1)$$

$$\zeta_1 = 0.2 + 2.7 \frac{e_0}{h_{00}} \leqslant 1.0 \qquad (5.3.3\text{-}2)$$

$$\zeta_2 = 1.15 - 0.01 \frac{e_0}{h_{00}} \leqslant 1.0 \qquad (5.3.3\text{-}3)$$

式中：η——偏心受压构件的轴向压力偏心距增大系数；

h_{00}——加固后构件的截面有效高度（mm），按本规程公式（5.2.3-3）计算；

l_0——加固后构件的计算长度（mm）；

ζ_1——荷载偏心率对截面曲率的影响系数；

ζ_2——构件长细比对截面曲率的影响系数；

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

ψ_η——偏心距增大系数的修正系数，可按截面增大形式选用：对采用对称形式的增大截面，当 $e_0/h_2 \geqslant 0.3$ 时，$\psi_\eta = 1.1$；当 $e_0/h_2 < 0.3$ 时，$\psi_\eta = 1.2$；对采用非对称形式的增大截面，当 $e_0/h_2 \geqslant 0.3$ 时，$\psi_\eta = 1.2$；当 $e_0/h_2 < 0.3$ 时，$\psi_\eta = 1.3$。

5.4 新旧混凝土结合设计

5.4.1 在受压区加厚混凝土增大截面加固的受弯构件，当满足本规程第 5.5.2 条、第 5.5.4 条构造要求时，原构件与新增混凝土现浇层之间结合面的受剪承载力应符合下式要求：

$$\gamma_0 V_d \times 10^3 \leqslant 0.12 f_{cc} b h_{00} + 0.85 f_{sv} \frac{A_{sv}}{s_v} h_{00} \quad (5.4.1)$$

式中：V_d——加固后最大剪力组合设计值（kN）；

γ_0——桥梁结构的重要性系数，按现行行业标准《城市桥梁设计规范》CJJ 11 规定采用；

f_{cc}——新旧混凝土组合截面的混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm^2），按本规程第 5.2.2 条规定采用；

b——新旧混凝土的结合面宽度(mm)；

h_{00}——加固后构件的截面有效高度(mm)，按本规程公式(5.2.3-3) 计算；

f_{sv}——结合面配置的箍筋或植筋抗拉强度设计值（N/mm^2）；

A_{sv}——结合面上同一竖向截面配置的箍筋各肢总截面面积或植筋总截面面积（mm^2）；

s_v——箍筋或植筋的间距（mm）。

5.4.2 在受压区增设现浇混凝土加厚层的板，其新旧混凝土结合面受剪承载力应符合下列规定：

1 当在新旧混凝土的结合面上不配置抗剪钢筋时，其结合面受剪承载力应符合下式要求：

$$\frac{\gamma_0 V_d \times 10^3}{bh_{00}} \leqslant 0.45 \qquad (5.4.2\text{-}1)$$

2 当结合面符合本规程第 5.5.4 条的构造规定，且同一竖向截面配置不少于 $0.3\frac{bs_v}{f_{sd}}$（以 mm^2 计）的竖向结合钢筋时，其结合面受剪承载力应符合下式要求：

$$\frac{\gamma_0 V_d \times 10^3}{bh_{00}} \leqslant 2 \qquad (5.4.2\text{-}2)$$

5.5 构 造 要 求

5.5.1 当 T 形梁采用增大截面法加固时，可采用底部单侧矩形加大、底部马蹄形加大或底部与腹板两侧同时加大等形式。

5.5.2 新浇混凝土应符合下列规定：

1 对板的新浇混凝土层厚度不宜小于 100mm，对梁和受压构件的新浇混凝土层厚度不宜小于 150mm。

2 当新浇筑混凝土层厚度小于 100mm 时，可采用小石子混凝土。在结构尺寸复杂和新浇混凝土施工条件差的情况下，可采用微膨胀或自密实混凝土。

5.5.3 加固用受力钢筋直径不宜小于 12mm，不宜大于 25mm；构造钢筋直径不宜小于 10mm；箍筋直径不宜小于 8mm。

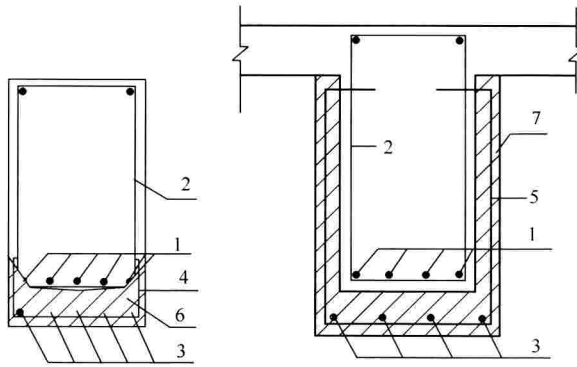
5.5.4 新增钢筋的保护层厚度、钢筋锚固、钢筋连接、纵向受力钢筋最小配筋率等应满足现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 的要求，并应符合下列规定：

1 新增受力钢筋与原受力钢筋可采用短筋焊接的方式连接；当分离布置时，新增受力钢筋与原构件受力钢筋的净距不应小于 30mm，且不应小于钢筋直径。

2 新增箍筋应与原构件牢固连接。当新增箍筋与原箍筋采用焊接式连接（图 5.5.4a）时，焊缝长度应满足钢筋焊接长度的要求；当新增箍筋与原结构采用植筋式连接（图 5.5.4b）时，

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

锚固结构胶及锚固长度应满足国家现行相关标准要求。



(a) 短U形筋焊接式连接　　(b) 新增箍筋植筋式连接

图 5.5.4　新增箍筋的连接构造

1—原主筋；2—原箍筋；3—新增主筋；4—新增短 U 形筋（与原箍筋对应焊接）；5—新增箍筋；6—新增受拉区混凝土；7—新增三面围套混凝土

5.5.5　在受拉区增设混凝土加固的受弯构件，新增纵向钢筋需截断时，应从计算截断点外至少增加一个锚固长度。受压构件新增纵向受力钢筋应伸入原结构中，并应满足锚固要求。

5.5.6　当在原构件混凝土中植抗剪钢筋时，数量应根据受力及构造要求确定，植筋设计应按国家现行相关标准进行。

5.6　施　　工

5.6.1　加固前应对原结构构件的截面尺寸、轴线位置、裂缝状况、外观特征等进行检查和复核。当与原设计或现有加固设计要求不符时，应及时通知设计单位处理。

5.6.2　混凝土构件增大截面工程的施工，应按下列步骤进行：

1　清理、修整原结构、构件；

2　界面处理；

3　植筋或锚栓施工；

4 新增钢筋制作与安装；

5 安装模板，浇筑混凝土；

6 养护及拆模；

7 施工质量检验。

5.6.3 新增截面施工前应对原构件已有的裂缝、孔洞、混凝土剥落等缺陷进行分析、评估和修补，缺陷及裂缝修补应符合下列规定：

1 应根据裂缝出现原因、位置、宽度、长度、深度、稳定性等特征选择合适的裂缝修补方法；

2 表面裂缝宜采用封闭修补法，其他裂缝宜采用压力灌浆法；

3 对外露钢筋的锈蚀层及其周边粘结失效的混凝土应清除，并应打磨钢筋至其表面露出金属光泽后，方可进行封闭处理。

5.6.4 新旧混凝土结合面的处理应符合下列规定：

1 结合面处理应按清理、凿毛、界面处理等步骤依次进行；

2 应清除原构件表面尘土、浮浆、污垢、油渍、原有饰面层、杂物、已风化、剥落、腐蚀、严重裂损的老混凝土及集料；

3 花锤打毛錾出麻点宜按深 3mm 、600 点/m^2～800 点/m^2 均匀分布；

4 砂轮机或高压水射流打毛宜在混凝土粘合面上打出方向垂直于构件轴线、纹深 3mm～4mm、间距 50mm 的横向纹路；

5 人工凿沟槽宜在坚实混凝土粘合面上凿出方向垂直于构件轴线、槽深 6mm、间距为 100mm～150mm 的横向沟槽；

6 当采用三面或四面新浇混凝土层外包梁、柱时，应在打毛同时凿除截面的棱角；

7 完成打毛或凿槽后，应采用钢丝刷等工具清除原构件混凝土表面松动的骨料、砂砾、浮渣和粉尘，并应采用清洁的压力水冲洗干净；

8 应按设计文件的要求涂刷结构界面剂。

6.5 增大截面加固法应采取下列措施减少构件在新旧材料有

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

效结合前的荷载或变形：

1 可采用减少部分恒载、封闭交通减少车辆活载、减少作业人员和机械的施工荷载等措施。

2 可采用在构件底部搭设支撑架、用临时体外预应力张拉梁体减少构件变形等措施。

5.6.6 新增截面混凝土强度达到设计要求前，应封闭交通。

5.6.7 在条件受限制时，新增截面的混凝土施工可选用自密实混凝土，并应按现行行业标准《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283 的规定执行。

5.6.8 当结构构件新增混凝土与原构件采用植筋、锚栓等后锚固技术施工时，应按现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 和《混凝土结构工程无机材料后锚固技术规程》JGJ/T 271 规定执行。

5.6.9 新增截面混凝土的模板、支架和拱架应结构简单、装拆方便，应有足够的强度、刚度和稳定性，其设计和施工应符合现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2 和《建筑施工模板安全技术规范》JGJ 162 的规定。

5.6.10 浇筑混凝土前，应对下列项目按隐蔽工程要求进行验收：

1 界面处理施工质量；

2 新增钢筋的品种、规格、数量和位置；

3 新增钢筋与原构件的连接构造及焊接质量；

4 植筋、锚栓施工质量；

5 预埋件的规格、位置。

5.6.11 混凝土养护应符合下列规定：

1 在浇筑混凝土完毕后应及时对混凝土采取浇水、覆盖、涂刷养护剂等方法养护。

2 对采用一般性能混凝土，养护时间不得少于 7d；对特殊性能混凝土的养护时间和方法应符合国家现行有关标准的规定。

5.7 质量检验与验收

主 控 项 目

5.7.1 增大截面的模板、支架的制作及安装应符合专项施工方案的要求，应稳固牢靠，接缝严密，并应符合本规程第5.6.9条的规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，查看方案及记录，用钢尺量。

5.7.2 钢筋进场时，必须按批抽取试件做力学性能和工艺性能试验，其质量必须符合国家现行标准的规定。

检查数量：以同牌号、同炉号、同规格、同交货状态的钢筋，每60t为一批，不足60t也按一批计，每批抽检1次。

检验方法：检查试件检验报告。

5.7.3 钢筋安装时，其品种、规格、数量、形状、位置必须符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，用钢尺量。

5.7.4 受力钢筋以及新旧钢筋的连接接头形式、接头位置、接头质量应符合设计和国家现行标准的要求。

检查数量：外观质量全数检查，力学性能检验应按现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2的规定抽样。

检验方法：观察，尺量，检查接头性能检验报告。

5.7.5 新增混凝土的强度等级必须符合设计要求。混凝土取样与留置试块应符合下列规定：

1 每拌制50盘且不超过50m^{3}的同一配合比的混凝土，取样不得少于1次。

2 每次取样应至少留置1组标准养护试件；同条件养护试件的留置组数应根据混凝土工程量及其重要性确定，且不应少于3组。

检查数量：全数检查。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

检验方法：检查施工记录及试件强度试验报告。

5.7.6 植筋、锚栓工程所用的钢筋、锚栓、胶粘剂、灌浆材料及其锚固承载力检验应符合国家现行有关标准及设计的规定。

检查数量：按现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 及设计规定。

检验方法：检查材料试验报告、合格证等，检查锚固承载力检验报告。

一 般 项 目

5.7.7 缺陷修补后，构件应表面平整，无裂缝、脱层、起鼓、脱落等，修补外表面与原结构表面色泽应一致。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，用尺量。

5.7.8 构件裂缝修补的表面封缝材料固化后，应平整、均匀、牢固，不得出现裂缝、脱落。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，用尺量。

5.7.9 增大截面加固构件模板安装允许偏差应符合表 5.7.9 的规定。

表 5.7.9 增大截面加固构件模板安装允许偏差

项　目	允许偏差（mm）	检验频率		检验方法
		范围	点数	
轴线位置	5	每个构件	2	用全站仪测量，纵横各一点
模内尺寸	±5		3	用钢尺量，长宽高各一点
模板面高程	±5	每个支承面	2	用水准仪测量
垂直度	$H/500$，且不大于 6	每个构件	2	用全站仪或垂线和钢尺量
表面平整度	3		4	用 2m 直尺和塞尺量
相邻两模板的表面高差	2		4	用钢板尺和塞尺量

注：H 为加固构件的竖向高度（mm）。

5.7.10 增大截面加固构件钢筋安装允许偏差应符合表 5.7.10 的规定。

表 5.7.10 增大截面加固构件钢筋安装允许偏差

项　目	允许偏差（mm）	检验频率		检验方法
		范围	点数	
受力钢筋间距、层距	±10	每个构件	3	用钢尺量，两端和中间各一个断面，每个断面连续量取钢筋间距（层距），取其平均值计 1 点
箍筋、水平钢筋间距	±10		5	用钢尺量，连续量取 5 个间距，取其平均值计 1 点
弯起筋弯起位置	±20		50%	用钢尺量
保护层厚度	±10		10	沿模板周边检查，用钢尺量

5.7.11 钢筋表面不得有裂纹、结疤、折叠、锈蚀和油污，钢筋焊接接头表面不得有夹渣、焊瘤。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

5.7.12 混凝土拌合物的坍落度应符合配合比设计及国家现行相关标准的要求。

检查数量：每工作班不少于 1 次。

检验方法：用坍落度仪检测。

5.7.13 采用增大截面加固后的构件成型允许偏差应符合表 5.7.13 的规定。

表 5.7.13 增大截面加固后的构件成型允许偏差

项　目	允许偏差（mm）	检验频率		检验方法
		范围	点数	
结构尺寸	±10	每个构件	6	用钢尺量，沿构件长宽高各 2 点
轴线位置	±10		4	用全站仪测量，纵横各 2 点
垂直度	$H/500$，且不大于 10		4	用全站仪或垂线和钢尺量
平整度	4		4	用 2m 直尺和塞尺量

注：H 为加固构件的竖向高度（mm）。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

6 粘贴钢板加固法

6.1 一 般 规 定

6.1.1 当加固钢筋混凝土受弯、受压及受拉构件时，可采用粘贴钢板加固法。

6.1.2 被加固混凝土构件的混凝土强度要求应符合本规程第5.1.2条的规定。

6.1.3 粘贴钢板外表面应进行防护处理。表面防护材料及胶粘剂应满足环境和安全要求。

6.1.4 当被加固构件处于高温、高湿、介质侵蚀等特殊环境时，应采用耐环境因素作用的胶粘剂，并应符合现行国家标准《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728的规定。

6.1.5 当粘贴钢板加固混凝土结构时，宜将钢板设计成仅承受轴向力作用。

6.2 受弯构件加固设计

6.2.1 粘贴钢板加固受弯构件的正截面承载力计算基本假定应符合下列规定：

1 不同受力阶段的截面变形应符合平截面假设。

2 构件截面受压区混凝土的压应力应简化为等效矩形应力图，其强度取混凝土的轴心抗压强度设计值 f_{cd}；截面受拉混凝土的抗拉强度可不予计算。

3 极限状态计算时，受拉区钢筋应力取其抗拉强度设计值 f_{sd} 或 f_{pd}（小偏压构件除外）；受压区或受压较大边钢筋应力取其抗压强度设计值 f'_{sd} 或 f'_{pd}。

4 钢筋应力等于钢筋应变与其弹性模量的乘积，但不应大于其强度设计值。

5 构件达到受弯承载能力极限状态时，按平截面假定确定钢板的拉应变 ε_{sp}。钢板应力 σ_{sp} 等于拉应变 ε_{sp} 与弹性模量 E_{sp} 的乘积，且小于钢板抗拉强度设计值。

6 在达到受弯承载能力极限状态前，不应发生钢板与混凝土之间的粘结剥离破坏或混凝土内聚破坏。

6.2.2 当矩形截面或翼缘位于受拉区 T 形截面钢筋混凝土受弯构件在受拉面粘贴钢板加固时，其正截面受弯承载力（图 6.2.2）计算应符合下列规定：

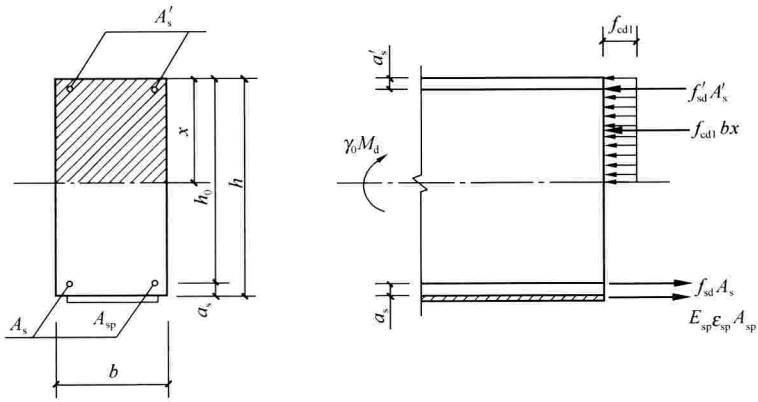


图 6.2.2　正截面受弯承载力计算

1 混凝土受压区高度 x 应按下列公式计算：

$$f_{cd1}bx = f_{sd}A_s + E_{sp}\varepsilon_{sp}A_{sp} - f'_{sd}A'_s \qquad (6.2.2\text{-}1)$$

$$\varepsilon_{sp} = \frac{\varepsilon_{cu}(\beta h - x)}{x} - \frac{\varepsilon_{c1}(h - x_1)}{x_1} \qquad (6.2.2\text{-}2)$$

$$\varepsilon_{c1} = \frac{M_{k1}x_1}{E_c I_{cr}} \qquad (6.2.2\text{-}3)$$

$$h_0 = h - a_s \qquad (6.2.2\text{-}4)$$

2 当混凝土受压区高度 x 符合式（6.2.2-5）时，正截面受弯承载力应按本规程式（6.2.2-6）计算：

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

$$2a'_s \leqslant x \leqslant \xi_b h_0 \tag{6.2.2-5}$$

$$\gamma_0 M_d \leqslant f_{cd1} bx\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + f'_{sd} A'_s (h_0 - a'_s) + E_{sp}\varepsilon_{sp} A_{sp} a_s \tag{6.2.2-6}$$

3 当混凝土受压区高度 x 符合式（6.2.2-7）时，正截面受弯承载力应按式（6.2.2-8）计算：

$$x < 2a'_s \tag{6.2.2-7}$$

$$\gamma_0 M_d \leqslant f_{sd} A_s (h_0 - a'_s) + E_{sp}\varepsilon_{sp} A_{sp} (h - a'_s) \tag{6.2.2-8}$$

式中：γ_0——桥梁结构的重要性系数，按现行行业标准《城市桥梁设计规范》CJJ 11 规定采用；

M_d——新旧材料有效结合后弯矩组合设计值（kN·m）；

f_{cd1}——原构件混凝土抗压强度设计值（N/mm^2）；

x——等效矩形应力图形的混凝土受压区高度，简称混凝土受压区高度（mm）；

b、h——分别为原构件截面宽度和高度（mm）；

f_{sd}、f'_{sd}——分别为原构件纵向普通钢筋的抗拉强度设计值和抗压强度设计值（N/mm^2）；

E_{sp}——加固钢板的弹性模量（N/mm^2）；

A_{sp}——加固钢板的截面面积（mm^2）；

A_s、A'_s——分别为原构件受拉区、受压区纵向普通钢筋的截面面积（mm^2）；

a_s、a'_s——受拉区、受压区普通的钢筋合力点至受拉区边缘、受压区边缘的距离（mm）；

h_0——原构件截面有效高度（mm）；

ε_{cu}——混凝土极限压应变，当混凝土强度等级为 C50 及以下时，取 $\varepsilon_{cu}=0.0033$；当混凝土强度等级为 C80 时，取 $\varepsilon_{cu}=0.003$；中间强度等级用直线插入求得；

ξ_b——正截面相对界限受压区高度，根据原构件混凝土和受拉钢筋种类，按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 规定选用；

M_{kl}——新旧材料有效结合前弯矩组合标准值（kN·m）；

x_1——加固前原构件开裂截面换算截面的混凝土受压区高度（mm），按本规程第 6.2.4 条或第 6.2.5 条计算；

I_{cr}——加固前原构件开裂截面换算截面的惯性矩（mm^4），按本规程第 6.2.4 条或第 6.2.5 条计算；

E_c——原加固构件混凝土的弹性模量（N/mm^2）；

ε_{cl}——在 M_{kl} 作用下，原构件截面受压边缘混凝土压应变；

β——截面受压区矩形应力图高度与实际受压区高度的比值，按表 6.2.2 选取。

表 6.2.2　系数 β 值

混凝土强度等级	C50 及以下	C55	C60	C65	C70	C75	C80
β=0.9	0.8	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74

6.2.3　当翼缘位于受压区的 T 形或 I 形钢筋混凝土截面受弯构件在受拉面粘贴钢板加固时，其正截面抗弯承载力计算应符合下列规定：

1　当混凝土受压区高度 $x \leqslant h'_f$ 时，应以宽度为 b'_f 的矩形截面（图 6.2.3a），按本规程第 6.2.2 条公式计算正截面受弯承载力。

2　当混凝土受压区高度 $x > h'_f$ 时，其正截面抗弯承载力（图 6.2.3b）应按下列公式计算：

$$\gamma_0 M_d \leqslant f_{cdl}\left[bx\left(h_0-\frac{x}{2}\right)-(b'_f-b)h'_f\left(h_0-\frac{h'_f}{2}\right)\right]+E_{sp}\varepsilon_{sp}A_{sp}(h-a'_s) \qquad (6.2.3\text{-}1)$$

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

混凝土受压区高度 x 应按本规程公式（6.2.2-2）～公式（6.2.2-4）和下式计算，并应满足本规程式（6.2.2-5）的要求：

$$f_{cd1}bx + f_{cd1}(b'_f - b)h'_f = f_{sd}A_s + E_{sp}\varepsilon_{sp}A_{sp} \quad (6.2.3\text{-}2)$$

式中：h'_f——T形截面受压翼缘厚度（mm）；

b'_f——T形截面受压翼缘的有效宽度（mm），按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62的规定采用。

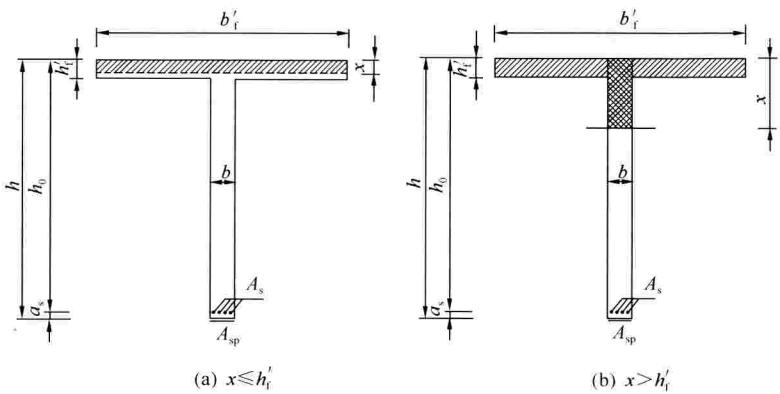


图 6.2.3　T形或I形截面受拉区钢板加固正截面受弯承载力计算

6.2.4　原构件开裂矩形截面换算截面的混凝土受压区高度 x_1 及惯性矩 I_{cr1}（图 6.2.4）的计算应符合下列规定：

1　加固前原构件开裂截面换算截面的混凝土受压区高度 x_1 应按下列公式计算：

$$x_1 = \sqrt{A_1^2 + B_1} - A_1 \quad (6.2.4\text{-}1)$$

$$A_1 = \alpha_{ES}(A_{s1} + A'_{s1})/b_1 \quad (6.2.4\text{-}2)$$

$$B_1 = 2\alpha_{ES}(A_{s1}h_{01} + A'_{s1}a'_{s1})/b_1 \quad (6.2.4\text{-}3)$$

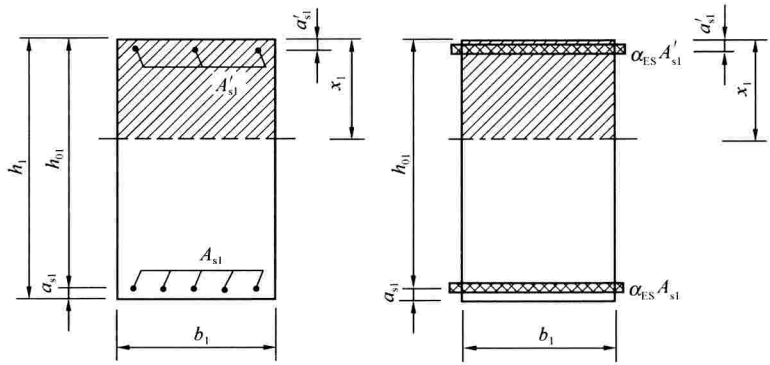


图 6.2.4　矩形截面换算截面示意图

$$\alpha_{ES} = E_{s1}/E_{c1} \tag{6.2.4-4}$$

2　加固前原构件开裂截面换算截面的惯性矩 I_{cr1} 应按下式计算：

$$I_{cr1} = b_1 x_1^3/3 + \alpha_{ES}A_{s1}(h_{01} - x_1)^2 + \alpha_{ES}A'_{s1}(x_1 - a'_{s1})^2 \tag{6.2.4-5}$$

式中：A_1、B_1——计算系数；

α_{ES}——原构件普通钢筋与混凝土弹性模量之比；

A_{s1}、A'_{s1}——分别为原构件受拉区、受压区纵向普通钢筋的截面面积（mm^2）；

b_1——原构件截面宽度（mm）；

x_1——加固前原构件开裂截面换算截面的混凝土受压区高度（mm）；

h_{01}——加固前截面高度（mm）；

a'_{s1}——受压区原纵向普通钢筋 A'_{s1} 合力点至原构件截面受压区边缘的距离（mm）；

I_{cr1}——加固前原构件开裂截面换算截面的惯性矩（mm^4）；

E_{s1}——原构件纵向受拉普通钢筋的弹性模量（N/

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

mm^2）；

E_{cl}——原构件混凝土的弹性模量（N/mm^2）。

6.2.5 原构件开裂T形或I形截面换算截面的混凝土受压区高度x_1及惯性矩I_{crl}（图6.2.5）的计算应符合下列规定：

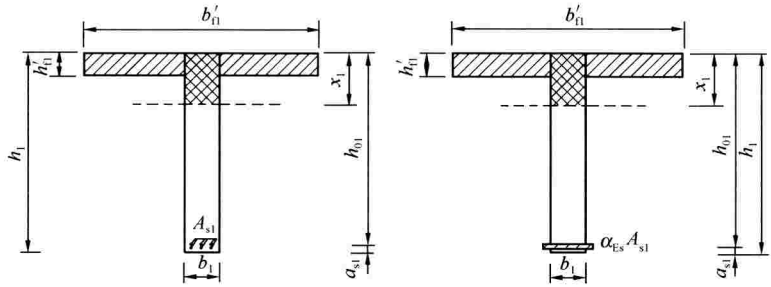


图6.2.5 T形截面换算截面示意图

1 加固前原构件开裂截面换算截面的混凝土受压区高度x_1应按下列公式计算：

$$x_1 = \sqrt{A_1^2 + B_1} - A_1 \tag{6.2.5-1}$$

$$A_1 = [\alpha_{Es}A_{sl} + (b'_{fl} - b_1)(h'_{fl})^2]/b_1 \tag{6.2.5-2}$$

$$B_1 = [2\alpha_{Es}A_{sl}h_{01} + (b'_{fl} - b_1)(h'_{fl})^2]/b_1 \tag{6.2.5-3}$$

2 加固前原构件开裂截面换算截面的惯性矩I_{crl}应按下式计算：

$$I_{crl} = b'_{fl}x_1^3/3 - (b'_{fl} - b_1)(x_1 - h'_{fl})^3/3 + \alpha_{Es}A_{sl}(h_{01} - x_1)^2 \tag{6.2.5-4}$$

式中：h'_{fl}——原构件T形或I形截面受压翼缘厚度（mm）；

b'_{fl}——原构件T形或I形截面受压翼缘的有效宽度（mm），按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62的规定采用。

6.2.6 对受弯构件的正截面加固，其受拉面沿轴向粘贴钢板的

截断位置，应从其强度充分利用的截面起算，取不小于按下式确定的粘贴延伸长度：

$$l_p = \frac{f_{sp}A_{sp}}{\tau_p b_p} + 300 \tag{6.2.6}$$

式中：l_p——受拉钢板粘贴延伸长度（mm）；

b_p——对梁为受拉面粘贴钢板的总宽度（mm）；对板为1m板宽范围内粘贴钢板的总宽度（mm）；

A_{sp}——加固钢板的截面面积（mm^2）；

f_{sp}——加固钢板的抗拉强度设计值（N/mm^2）；

τ_p——钢板与混凝土之间的粘结强度设计值（N/mm^2），设计值可按表6.2.6采用。

表6.2.6　钢板与混凝土之间的粘结强度设计值（N/mm^2）

混凝土强度等级	C15	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	≥C60
粘结强度设计值 τ_p	0.61	0.80	0.94	1.05	1.14	1.21	1.26	1.31	1.35

6.2.7　受弯构件粘贴钢板加固后的截面尺寸应满足下式要求：

$$\gamma_0 V_d \leqslant 0.51 \times 10^{-3} \sqrt{f_{cu,k}}\, b h_0 \tag{6.2.7}$$

式中：V_d——加固后构件验算截面处的新旧材料有效结合后剪力设计组合值（kN）；

$f_{cu,k}$——原构件混凝土边长为150mm立方体抗压强度标准值（N/mm^2）；

b——原构件截面宽度（mm）；

h_0——原构件截面有效高度（mm），按本规程公式（6.2.2-4）计算。

6.2.8　当采用加锚箍、粘贴各种U形箍、L形箍或斜向钢板对钢筋混凝土梁进行抗剪加固时，其斜截面承载力计算应符合本规程第5.2.6条的规定。

6.3　矩形截面偏心受压构件加固设计

6.3.1　当粘贴钢板加固钢筋混凝土偏心受压构件时，其正截面

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

承载力（图 6.3.1）应按下列公式计算：

$$\gamma_0 N_d \leqslant f_{cd1} bx + f'_{sd} A'_s + f'_{sp} A'_{sp} - \sigma_s A_s - E_{sp}\varepsilon_{sp} A_{sp} \tag{6.3.1-1}$$

$$\gamma_0 N_d e_s \leqslant f_{cd1} bx\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + f'_{sd} A'_s (h_0 - a'_s) + f'_{sp} A'_{sp} h_0 + E_{sp}\varepsilon_{sp} A_{sp} a_s \tag{6.3.1-2}$$

$$f_{cd1} bx\left(e_s - h_0 + \frac{x}{2}\right) = \sigma_s A_s e_s + E_{sp}\varepsilon_{sp} A_{sp}(e_s + a_s) - f'_{sd} A'_s e'_s - f'_{sp} A'_{sp}(e'_s - a'_s) \tag{6.3.1-3}$$

$$e_s = \eta e_0 + \frac{h}{2} - a_s \tag{6.3.1-4}$$

$$e'_s = \eta e_0 - \frac{h}{2} + a'_s \tag{6.3.1-5}$$

$$h_0 = h - a_s \tag{6.3.1-6}$$

$$e_0 = \frac{M_d}{N_d} \tag{6.3.1-7}$$

式中：γ_0——桥梁结构的重要性系数，按现行行业标准《城市桥梁设计规范》CJJ 11 规定采用；

N_d——新旧材料有效结合后轴向力组合设计值（kN）；

f_{cd1}——原构件混凝土抗压强度设计值（N/mm^2）；

f_{sd}、f'_{sd}——分别为原构件纵向普通钢筋的抗拉强度设计值和抗

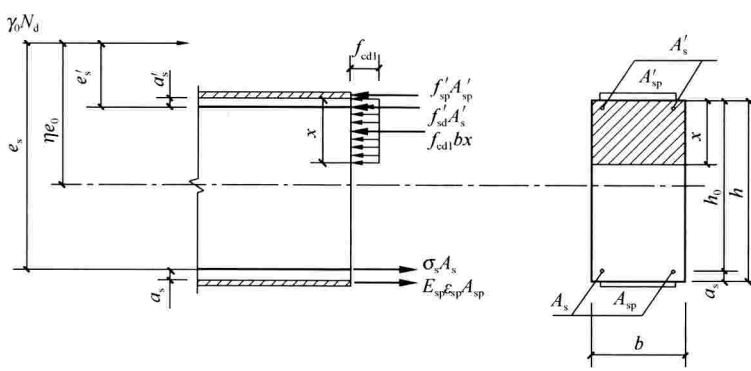


图 6.3.1　偏心受压构件正截面承载力计算

压强度设计值（N/mm^2）；

A_s、A'_s——分别为构件截面受拉边或受压较小边普通钢筋和受压普通钢筋的截面面积（mm^2）；

A_{sp}、A'_{sp}——分别为构件截面受拉边或受压较小边钢板和受压钢板的截面面积（mm^2）；

x——混凝土受压区高度（mm）；

b、h——分别为原构件截面宽度和高度（mm）；

h_0——原构件截面有效高度（mm）；

a_s、a'_s——受拉区、受压区普通钢筋合力点至受拉区边缘、受压区边缘的距离（mm）；

e_s、e'_s——分别为轴向力作用点至截面受拉普通钢筋 A_s 合力点和受压普通钢筋 A'_s 合力点的距离（mm）；

e_0——轴向力对截面重心轴的偏心距（mm）；

η——偏心受压构件考虑二阶弯矩影响的轴向压力偏心距增大系数，按本规程第5.3.3条的规定计算；

f'_{sp}——加固钢板的抗压强度设计值（N/mm^2）；

σ_s——受拉边或受压较小边纵向普通钢筋的应力（N/mm^2），取值按本规程第6.3.2条计算。

M_d——相应于 N_d 的新旧材料有效结合后弯矩组合设计值（kN·m）；

E_{sp}——加固钢板的弹性模量（N/mm^2）；

ε_{sp}——构件达到承载能力极限状态时加固钢板的拉应变。

6.3.2 两侧粘贴钢板加固的矩形截面偏心受压构件截面受拉边或受压较小边纵向普通钢筋的应力 σ_s 应按下列情况采用：

1 当 $\xi \leqslant \xi_b$ 时，为大偏心受压构件，截面受拉边原构件纵向普通钢筋 A_s 的应力取 $\sigma_s = f_{sd}$。

2 当 $\xi > \xi_b$ 时，为小偏心受压构件，截面受拉边原构件纵向普通钢筋 A_s 的应力可按下列公式计算：

$$\sigma_s = \varepsilon_{cu} E_s \left(\frac{\beta h_0}{x} - 1 \right) \tag{6.3.2-1}$$

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

$$-f_{sd} \leqslant \sigma_s \leqslant f_{sd} \tag{6.3.2-2}$$

$$\xi = \frac{x}{h_0} \tag{6.3.2-3}$$

式中：ε_{cu}——混凝土极限区应变，当混凝土强度等级为C50及以下时，取$\varepsilon_{cu}=0.0033$；当混凝土强度等级为C80时，取$\varepsilon_{cu}=0.003$；中间强度等级用直线插入求得；

E_s——原构件受拉区纵向普通钢筋的弹性模量（N/mm^2）；

β——截面受压区矩形应力图高度与实际受压区高度的比值，按本规程表6.2.2选取；

x——混凝土受压区高度（mm）；

ξ——相对受压区高度。

6.3.3 两侧粘贴钢板加固的矩形截面偏心受压构件截面受拉边或受压较小边钢板的应力σ_{sp}应按下列公式计算：

$$-f_{sp} \leqslant \sigma_{sp} = \varepsilon_{sp} E_{sp} \leqslant f_{sp} \tag{6.3.3-1}$$

$$\varepsilon_{sp} = \frac{\beta h - x}{x}\varepsilon_{cu} - \varepsilon_{p1} \tag{6.3.3-2}$$

式中：ε_{sp}——截面受拉边或受压较小边钢板的应变，拉应变为正号，压应变为负号；

ε_{p1}——原构件在新旧材料有效结合前荷载作用下钢板的滞后应变，按本规程第6.3.4条的规定计算，计算时应计入应变符号，拉应变为正号，压应变为负号；

f_{sp}——加固钢板的抗拉强度设计值（N/mm^2）。

6.3.4 两侧粘贴钢板加固的矩形截面偏心受压构件钢板的滞后应变ε_{p1}应按下列公式计算：

1 当原构件为轴心受压构件时：

$$\varepsilon_{p1} = \frac{N_{d1}}{[bh + \alpha_{ES}(A_s + A'_s)]E_c} \tag{6.3.4-1}$$

式中：N_{d1}——新旧材料有效结合前轴力组合设计值（kN）；

α_{ES}——原构件普通钢筋与混凝土弹性模量之比；

E_c——原构件混凝土弹性模量（N/mm^2）。

2 当原构件为大偏心受压构件时：

$$\varepsilon_{p1}=\frac{h-x_1}{x_1}\varepsilon_{c1} \tag{6.3.4-2}$$

式中：x_1——加固前原构件开裂截面换算截面的混凝土受压区高度（mm）；

ε_{c1}——原构件受压较大边混凝土的应变（负号），按行业标准《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22 的规定计算。

3 当原构件为小偏心受压构件时：

$$\varepsilon_{p1}=\varepsilon_{c1}-\frac{h}{h_0}(\varepsilon_{c1}-\varepsilon_{s1}) \tag{6.3.4-3}$$

式中：ε_{s1}——新旧材料有效结合前原构件截面受拉边或受压较小边纵向普通钢筋的应变，按行业标准《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22 的规定计算。

6.3.5 对小偏心受压构件，当轴向力作用在纵向普通钢筋 A_s 合力点与 A'_s 合力点之间时，抗压承载力计算尚应符合下列规定：

$$\gamma_0 N_d e' \leqslant f_{cd1} bh\left(h'_0-\frac{h}{2}\right)+$$

$$(f'_{sd1}A_{s1}+f'_{sd2}A_{s2})(h'_0-a_s)-f'_{sp}A'_{sp}a'_s \tag{6.3.5-1}$$

$$e'=\frac{h}{2}-e_0-a'_s \tag{6.3.5-2}$$

$$h'_0=h-a_s \tag{6.3.5-3}$$

式中：e'——轴向力作用点至截面受压较大边纵向普通钢筋 A'_s 合力点的距离（mm），计算时偏心距 e_0 可不考虑增大系数 η；

h'_0——截面受压较小边边缘至受压较大边纵向普通钢筋合力点的距离（mm）；

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

h——原构件截面高度（mm）。

6.3.6 当单侧粘贴钢板加固或两侧粘贴钢板加固I形截面偏心受压构件时，正截面承载力计算应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62和本规程第6.3.1条～第6.3.4条的规定。

6.4 受拉构件加固设计

6.4.1 当两侧粘贴钢板加固轴心受拉构件时，其正截面承载力（图6.4.1）应按下列公式计算：

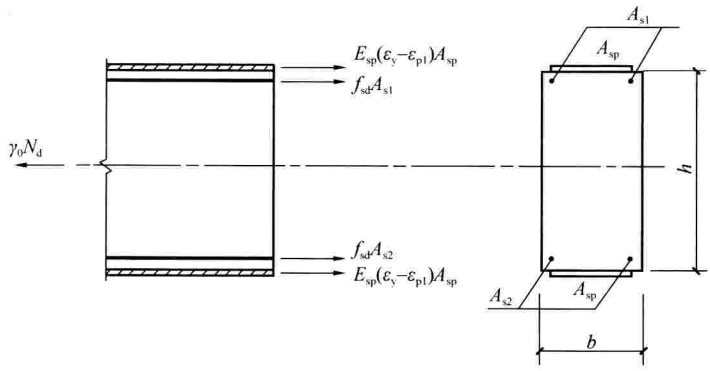


图6.4.1 轴心受拉构件正截面承载力计算

$$\gamma_0 N_{d2} \leqslant f_{sd}A_s + E_{sp}(\varepsilon_y - \varepsilon_{p1})A_{sp} \tag{6.4.1-1}$$

$$\varepsilon_{p1} = \frac{N_{d1}}{A_s E_s} \tag{6.4.1-2}$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_{sd}}{E_s} \tag{6.4.1-3}$$

式中：N_{d2}——新旧材料有效结合后轴向力组合设计值（kN）；

N_{d1}——新旧材料有效结合前轴向力组合设计值（kN）；

f_{sd}——原构件纵向普通钢筋的抗拉强度设计值（N/mm²）；

A_s——原构件受拉普通钢筋全部截面面积（mm²）；

A_{sp}——钢板全部截面面积（mm²）；

E_s——原构件受拉普通钢筋的弹性模量（N/mm^2）；

E_{sp}——加固钢板的弹性模量（N/mm^2）；

ε_y——与原构件受拉普通钢筋强度设计值相对应的应变；

ε_{p1}——原构件在新旧材料有效结合前荷载作用下受拉边钢板的滞后应变。

6.4.2 两侧粘贴钢板加固矩形截面，当轴向拉力 N_d 位于 A_{sp1} 和 A_{s1} 的合力与 A_{sp2} 和 A_{s2} 的合力之间时，属小偏心受拉构件，其正截面承载力（图 6.4.2）应按下列公式计算：

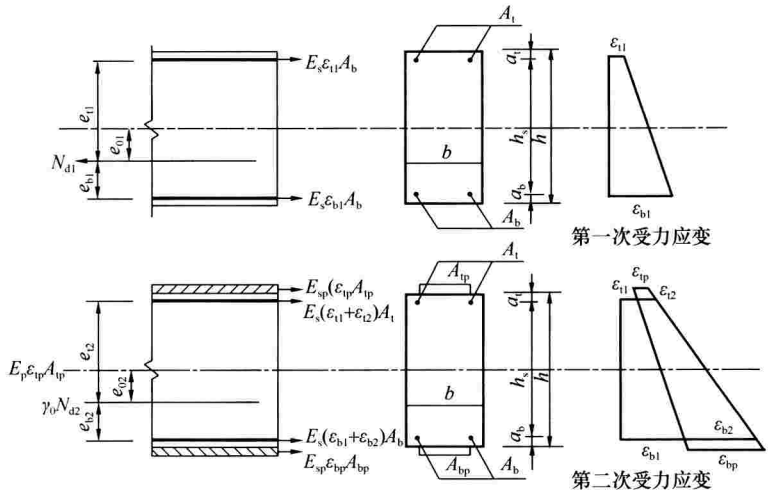


图 6.4.2 小偏心受拉构件正截面承载力计算

$$\gamma_0 N_{d2} \times 10^3 \leqslant f_{sd}A_b + E_s(\varepsilon_{t1} + \varepsilon_{t2})A_t + E_{sp}\varepsilon_{tp}A_{tp} + E_{sp}\varepsilon_{bp}A_{bp} \tag{6.4.2-1}$$

$$\gamma_0 N_{d2} e_{b2} \times 10^3 \leqslant E_s(\varepsilon_{t1} + \varepsilon_{t2})A_t h_s + E_{sp}\varepsilon_{tp}A_{tp}(h_s + a_t) - E_{sp}\varepsilon_{bp}A_{bp}a_b \tag{6.4.2-2}$$

$$\gamma_0 N_{d2} e_{t2} \times 10^3 \leqslant f_{sd}A_b h_s + E_{sp}\varepsilon_{bp}A_{bp}(h_s + a_b) - E_{sp}\varepsilon_{tp}A_{tp}a_t \tag{6.4.2-3}$$

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

钢筋和钢板的应变应按下列公式计算：

$$\varepsilon_{b1} = \frac{1}{1+\alpha_1} \frac{N_{d1} \times 10^3}{E_s A_b} \tag{6.4.2-4}$$

$$\varepsilon_{t1} = \frac{\alpha_1}{1+\alpha_1} \frac{N_{d1} \times 10^3}{E_s A_t} \tag{6.4.2-5}$$

$$\varepsilon_{b2} = \frac{f_{sd}}{E_s} - \frac{1}{1+\alpha_1} \frac{N_{d1} \times 10^3}{E_s A_b} \tag{6.4.2-6}$$

$$\varepsilon_{t2} = \frac{\alpha_2 \zeta \frac{f_{sd}}{E_s} + \psi[\zeta_b(\beta_b + \alpha_2 + \alpha_2\beta_b)(1+\beta_b) + \zeta_t(1+\beta_t+\alpha_2\beta_t)\beta_t]\varepsilon_{b2} - \varepsilon_{t1}}{1+\psi[\zeta_b(\beta_b+\alpha_2+\alpha_2\beta_b)\beta_b + \zeta_t(1+\beta_t+\alpha_2\beta_t)(1+\beta_t)]} \tag{6.4.2-7}$$

$$\varepsilon_{tp} = (1+\beta_t)\varepsilon_{t2} - \beta_t\varepsilon_{b2} \tag{6.4.2-8}$$

$$\varepsilon_{bp} = (1+\beta_b)\varepsilon_{b2} - \beta_b\varepsilon_{t2} \tag{6.4.2-9}$$

$$A_s = A_t + A_b \tag{6.4.2-10}$$

$$e_{0i} = \frac{M_{di} \times 10^3}{N_{di}} \tag{6.4.2-11}$$

$$e_{ti} = \frac{2e_{0i}}{1-\alpha_i} \tag{6.4.2-12}$$

$$e_{bi} = \frac{2\alpha_i e_{0i}}{1-\alpha_i} \tag{6.4.2-13}$$

$$0 \leqslant \alpha_i = \frac{e_{bi}}{e_{ti}} \leqslant 1 \tag{6.4.2-14}$$

$$\beta_b = \frac{a_b}{h_s} \tag{6.4.2-15}$$

$$\beta_t = \frac{a_t}{h_s} \tag{6.4.2-16}$$

$$\zeta = \frac{A_b}{A_t} \tag{6.4.2-17}$$

$$\zeta_t = \frac{A_{tp}}{A_t} \tag{6.4.2-18}$$

$$\zeta_b = \frac{A_{bp}}{A_t} \tag{6.4.2-19}$$

$$\psi = \frac{E_{sp}}{E_s} \tag{6.4.2-20}$$

式中：γ_0——桥梁结构的重要性系数，按现行行业标准《城市桥梁设计规范》CJJ 11 规定采用；

N_{d2}——新旧材料有效结合后轴向力组合设计值（kN）；

N_{d1}——原结构新旧材料有效结合前轴向力组合设计值（kN）；

f_{sd}——原构件纵向普通钢筋的抗拉强度设计值（N/mm^2）；

A_s——原构件纵向普通钢筋的截面面积（mm^2）；

A_t——原构件上缘纵向普通钢筋的截面面积（mm^2）；

A_b——原构件下缘纵向普通钢筋的截面面积（mm^2）；

A_{tp}、A_{bp}——分别为上缘和下缘加固钢板的截面面积（mm^2）；

h——原构件矩形截面的高度（mm）；

a_t、a_b——分别为上缘和下缘普通钢筋合力点至边缘的距离（mm）；

h_s——为上缘和下缘普通钢筋合力点之间的距离（mm）；

e_{0i}——轴向力对截面重心轴的偏心距（mm），第一次受力时 $i=1$，第二次受力时 $i=2$；

e_{ti}、e_{bi}——分别为轴向力作用点至截面上缘和下缘受拉普通钢筋合力点的距离（mm）；

E_{sp}——加固钢板的弹性模量（N/mm^2）；

f_{sp}——加固钢板的抗拉强度设计值（N/mm^2）；

ε_{tp}、ε_{bp}——构件达到承载能力极限状态时，两侧加固钢板的拉

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

应变，其值不应大于钢板极限应变；

α_i——轴向力作用点至截面下缘和上缘受拉普通钢筋合力点的距离的比值；

β_t、β_b——分别为上缘和下缘普通钢筋合力点至边缘的距离与作用点至截面上缘受拉普通钢筋合力点的距离的比值；

ζ、ζ_b、ζ_t——分别为下缘钢筋截面面积、上缘和下缘加固钢板的截面面积与上缘钢筋截面面积的比值；

ψ——为加固钢板与原结构钢筋弹性模量的比值。

6.4.3 两侧粘贴钢板加固矩形截面，当轴向拉力 N_d 不位于 A_{sp1} 和 A_{s1} 的合力与 A_{sp2} 和 A_{s2} 的合力之间时，属大偏心受拉构件，其正截面承载力（图 6.4.3）应按下列公式计算：

$$\gamma_0 N_d \leqslant f_{sd}A_s + E_{sp}\varepsilon_{sp}A_{sp} - f_{cd1}bx - f'_{sd}A'_s - f'_{sp}A'_{sp} \tag{6.4.3-1}$$

$$\gamma_0 N_d e_s \leqslant f_{cd1}bx\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + f'_{sd}A'_s(h_0 - a'_s) + f'_{sp}A'_{sp}h_0 + E_{sp}\varepsilon_{sp}A_{sp}a_s \tag{6.4.3-2}$$

$$e_s = e_0 - \frac{h}{2} + a_s \tag{6.4.3-3}$$

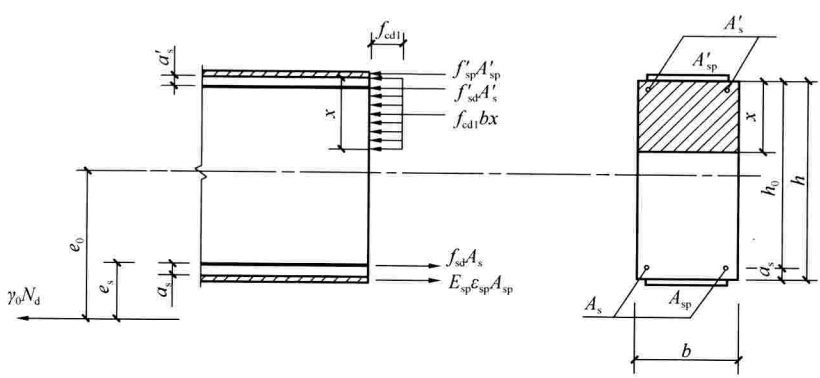


图 6.4.3 大偏心受拉构件正截面承载力计算

$$2a'_s \leqslant x \leqslant \xi_b h_0 \tag{6.4.3-4}$$

$$x < 2a'_s \tag{6.4.3-5}$$

1 当混凝土受压区高度 x 符合式（6.4.3-4）时，加固钢板的拉应变 ε_{sp} 应按本规程式（6.2.2-2）计算。

2 当混凝土受压区高度 x 符合式（6.4.3-5）时，加固钢板的拉应变 ε_{sp} 应按本规程第 6.4.4 条计算。

式中：f_{cd1}——原构件混凝土抗压强度设计值（N/mm^2）；

f_{sd}、f'_{sd}——分别为原构件纵向普通钢筋的抗拉强度设计值和抗压强度设计值（N/mm^2）；

A_s、A'_s——分别为原构件受拉和受压纵向普通钢筋的截面面积（mm^2）；

A_{sp}、A'_{sp}——分别为受拉钢板和受压钢板的截面面积（mm^2）；

x——混凝土受压区高度（mm）；

f'_{sp}——加固钢板的抗压强度设计值（N/mm^2）；

ε_{sp}——构件达到承载能力极限状态时，加固钢板的拉应变；

ξ_b——相对界限受压区高度，按原构件混凝土和受拉普通钢筋强度级别，应按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 规定选用。

6.4.4 两侧粘贴钢板加固的矩形截面大偏心受拉构件截面受拉边钢板的应变 ε_{sp} 应按下列公式计算：

$$\varepsilon_{sp} = \frac{\varepsilon_{cu}(\beta h - x)}{x} - \frac{\varepsilon_{c1}(h - x_1)}{x_1} \leqslant \frac{f_{sp}}{E_{sp}} \tag{6.4.4-1}$$

$$\varepsilon_{c1} = \frac{N_{d1} e_0 x_1}{E_c I_{cr}} \tag{6.4.4-2}$$

$$e_0 = \frac{M_{d1}}{N_{d1}} \tag{6.4.4-3}$$

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

式中：f_{sp}——加固钢板的抗拉强度设计值（N/mm^2）；

x_1——加固前原构件开裂截面换算截面的混凝土受压区高度（mm）；

β——截面受压区矩形应力图高度与实际受压区高度的比值，按本规程表 6.2.2 选取；

E_c——原构件混凝土的弹性模量（N/mm^2）；

E_{sp}——加固钢板的弹性模量（N/mm^2）；

I_{cr}——加固前原构件开裂截面换算截面的惯性矩（mm^4）；

e_0——轴向力对截面重心轴的偏心距（mm）；

ε_{c1}——在 N_{d1} e_0 作用下，原构件截面上边缘混凝土压应变。

6.5 构 造 要 求

6.5.1 对钢筋混凝土受弯构件进行正截面加固时，钢板宜采用条带粘贴，钢板的宽厚比不应小于 30。

6.5.2 当粘贴的钢板延伸至支座边缘仍不满足本规程第 6.2.6 条延伸长度的要求时，应采取下列锚固措施：

1 对梁，应在延伸长度范围内均匀设置 U 形箍（图 6.5.2），且应在延伸长度的端部设置一道加强箍。U 形箍应伸

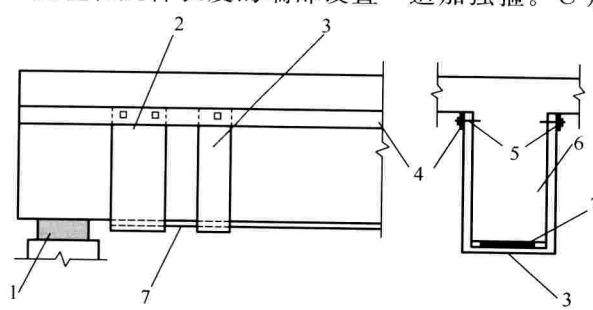


图 6.5.2 梁粘贴钢板端部锚固措施

1—支座；2—U 形箍（加强）；3—U 形箍；4—纵向压条；5—锚栓；6—梁；7—钢板

至梁翼缘板底面。U形箍的宽度，对端箍不应小于200mm；对中间箍不应小于受弯加固钢板宽度的1/2，且不应小于100mm。U形箍的厚度不应小于受弯加固钢板厚度的1/2。U形箍的上端应设置纵向钢压条；压条下面的空隙应加胶粘钢垫块填平。

2 对板，应在延伸长度范围内通长设置垂直于受力钢板方向的压条。压条应在延伸长度范围内均匀布置，且应在延伸长度的端部设置一道。钢压条的宽度不应小于受弯加固钢板宽度的3/5，钢压条的厚度不应小于受弯加固钢板厚度的1/2。

6.5.3 当采用钢板对受弯构件负弯矩区进行正截面承载力加固（图6.5.3）时，应采取下列构造措施：

1 对负弯矩区进行加固时，钢板应在负弯矩包络图范围内连续粘贴；其延伸长度的截断点应按本规程第6.2.6条确定。

2 对无法延伸的一侧，应对粘贴钢板压条进行锚固。钢压条下面的空隙应加胶粘钢垫块填平。

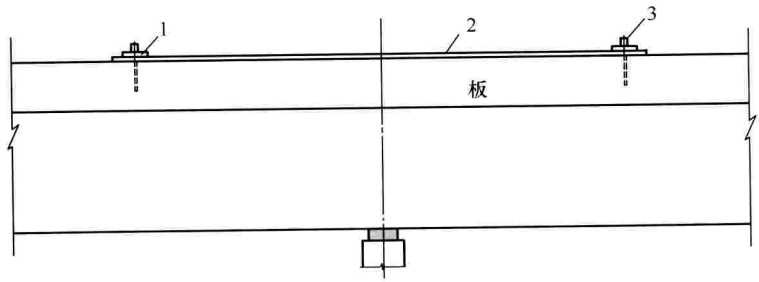


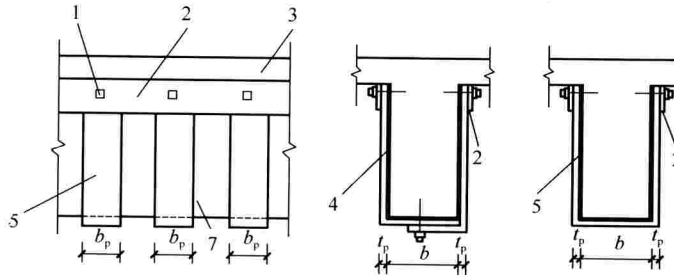
图6.5.3 负弯矩区粘贴钢板端部锚固措施

1—钢板压条；2—钢板；3—锚栓

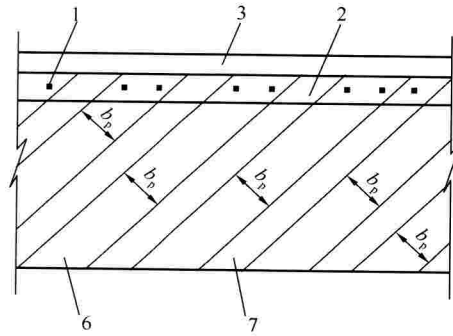
6.5.4 当采用钢板进行斜截面承载力加固时，应粘贴成斜向钢板、U形箍或L形箍（图6.5.4）。斜向钢板和U形箍、L形箍的上端应粘贴纵向钢压条，并应锚固。

6.5.5 直接涂胶粘贴钢板宜使用锚固螺栓，锚固深度不应小于5.5倍螺栓直径。螺栓布置间距应符合下列规定：

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取



(a) U形箍或L形箍粘贴方式



(b) 斜向钢板粘贴方式

图 6.5.4　钢板抗剪箍及其粘贴方式示意图

1—附加锚固栓；2—钢板压条；3—桥面板；4—L 形箍；5—U 形箍；6—斜向钢板；7—梁

1　螺栓中心最大间距应为 24 倍钢板厚度；最小间距应为 3 倍螺栓孔径；

2　螺栓中心距钢板边缘最大距离应为 8 倍钢板厚度或 120mm 中的较小者。最小距离宜为 2 倍螺栓孔径。

6.5.6　锚固螺栓设计应符合现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的相关规定。

6.6　施　　工

6.6.1　压力注胶粘贴钢板加固应按下列步骤施工：

1 施工准备；

2 粘贴界面处理，标定粘贴位置；

3 植入钢板锚固螺栓；

4 钢板加工制作；

5 钢板安装；

6 钢板封边处理；

7 配制胶粘剂；

8 压力注胶；

9 检查有效粘贴面积；

10 钢板表面涂装防护；

11 施工质量验收。

6.6.2 涂抹胶粘剂粘贴钢板加固应按下列步骤施工：

1 施工准备；

2 粘贴界面处理，标定粘贴位置；

3 植入钢板锚固螺栓；

4 钢板加工制作；

5 加压系统设置；

6 配制及涂抹胶粘剂；

7 加压粘贴钢板；

8 检查有效粘贴面积；

9 钢板表面涂装防护；

10 施工质量验收。

6.6.3 粘贴钢板加固施工环境应符合下列规定：

1 胶粘剂和混凝土缺陷修补胶应密封，并应存放于常温环境。

2 钢板粘贴宜在5℃～35℃环境温度条件下进行；当环境温度低于5℃时，应采用低温环境配套胶粘剂或采用升温措施。

3 当环境有露霜凝结时，应采取除湿措施，或采用可带水作业的特种胶粘剂粘贴。

6.6.4 粘贴界面处理应符合下列规定：

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

1 拟粘贴钢板部位的混凝土面应凿除粉饰层、油垢、污物，并应打磨、修补、吹洗干净。

2 构件表面裂缝均应修复和封闭，宽度大于 0.2mm 的裂缝，应采用压注裂缝修补用胶修复。

3 构件表面可采用电动打磨或高压水冲洗清理，应裸露混凝土结构层新面，清理后的表面应保持干燥。

4 施工现场宜配备防尘吸尘设施。

5 被加固混凝土构件表面的孔洞、麻面、高低差、露筋等缺陷应采用混凝土缺陷修复材料进行修复并打磨平整。

6.6.5 钢板锚固螺栓植入应符合下列规定：

1 螺栓直径、有效植入深度、间距、螺栓与钢板的边距应符合设计要求。当设计无要求时，应符合下列规定：

1） 根据钢板宽度，可采用 M10 或 M12 锚固螺栓；

2） 螺栓有效植入深度不宜小于 6.5 倍螺栓直径；

3） 螺栓与钢板的边距不应小于 3 倍螺栓直径；

4） 螺栓间距不应大于 500mm。

2 锚固螺栓成孔直径和施工工艺应符合现行国家标准《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550 规定。

3 确定锚固螺栓钻孔位置前应探测粘贴面的钢筋分布，当遇钢筋障碍时，应调整孔位并对原孔采用植筋胶填充密实。

6.6.6 钢板加工制作应符合下列规定：

1 钢板开料剪裁宜在工厂自动切割，钢板边缘应光滑无翘曲，边缘缺陷应清除。钢板的不平度应符合现行国家标准《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 709 的规定。

2 钢板开料长度应符合下列规定：

1） 当板长在 12m 以内，宜采用无拼接口的整板；

2） 板拼接时连接焊缝的强度不应低于钢材强度；

3） 拼接的接缝应避开结构构件受力最大的位置。

3 钢板粘贴面宜采用喷砂或抛丸除锈清除钢板表层氧化膜，

或采用电动角磨机打磨直至露出金属光泽，打磨后的纹路应与受力方向垂直，并应符合现行国家标准《涂覆涂料前钢材表面处理 表面清洁度的目视评定 第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1的相关规定。

4 钢板锚固螺栓孔位开孔应符合下列规定：

1）应按已植入的锚固螺栓实际位置建立坐标基线，对钢板放样；

2）宜采用机钻钻孔，孔的边缘应清除刺屑，孔缘不得有油污。

5 钢板粘贴完后，应按设计要求对其表面进行防腐处理。

6.6.7 压注粘贴钢板的安装与锚固应符合下列规定：

1 钢板安装时，钢板应处于已除尘、除锈状态，结构粘贴面应干燥。

2 安装紧固钢板时，应在钢板与粘贴界面间适当位置加设垫片。

3 当粘贴钢板上设有钢压条通过时，压条与构件间的缝隙应采用涂抹有胶粘剂的钢板填充。

4 钢板安装后锚固螺栓的螺帽宜加盖粘结密封。

6.6.8 胶粘剂配制应符合下列规定：

1 不得在雨中或尘土飞扬的环境中配制胶粘剂。

2 胶粘剂配制应按产品使用说明的规定进行，配制的容器不得有油污和杂质，胶粘剂应控制在产品使用说明规定的可操作时间内使用。

3 胶粘剂配制应按配比混合主剂和硬化剂，充分搅拌均匀，每次配制的量应在可操作时间内用完。

6.6.9 压力注胶应符合下列规定：

1 当钢板厚度大于5mm或小于10mm时，宜采用压力注胶粘结。

2 钢板的周边宜用修补混凝土缺陷的胶粘剂进行封闭，高

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

处位置预埋排气软管，间距不宜超过 2m；钢板低处应设注浆孔和粘装注浆座，间距不宜超过 2m。

3 压注胶粘剂前，应对已安装的钢板间隙进行通气密封测试，测试气压宜为 0.1MPa～0.2MPa。

4 应采用低压注胶，压力应控制在 0.1MPa～0.2MPa 之间，直至高处排气管流出胶液不含气泡，封闭排气管，稳压 5min 后封闭注浆孔。压注压力不得超过 0.3MPa。

5 胶粘剂厚度宜为 3mm～5mm，且不应超过 5mm。

6 当钢板粘贴长度超过 6m 时，宜从构件中部对称多点同时压注。

7 当采用压缩空气压注胶粘剂时，空压机应有水油分离器。

6.6.10 涂抹胶粘剂粘贴钢板应符合下列规定：

1 当钢板厚度小于或等于 5mm 时，宜直接涂抹胶粘剂粘贴。在钢板表面宜均匀涂刷胶粘剂，胶断面宜成三角形，板中胶厚宜为 3mm～5mm，紧固锚固螺栓，使钢板与界面紧密粘合，并清理板边被挤出的胶粘剂。

2 涂抹胶粘剂粘贴的钢板不应超过 2 层。

3 将钢板粘贴在混凝土表面后应采用加压系统加压，以胶液刚从钢板边缝挤出为控制指标。钢板加压的顺序应由中间向两边对称进行。

4 固化达到 18h 后方可拆除钢板外表的加压装置，温度低于 10℃时应延长拆除加压装置时间。

5 结构固化期间严禁扰动粘贴钢板。

6.6.11 钢板外露面应除锈，直至露出金属光泽，并应按设计要求涂装防护。

6.7 质量检验与验收

主 控 项 目

6.7.1 撤除临时固定设备后，应采用小锤轻轻敲击粘结钢板，

根据音响判断粘结效果和超声波法探测粘结密实度。有效粘结面积不得小于总粘贴面积的95%，否则应采取补救措施。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查检测报告及处理记录。

6.7.2 压注粘贴钢板的胶粘剂性能指标应符合表6.7.2中的规定和设计要求。

表6.7.2 压注粘贴钢板的胶粘剂性能指标

基本性能项目		规定指标	试验方法
胶体性能	抗压强度（MPa） 拉伸强度（MPa） 拉伸剪切强度（MPa）	满足设计要求	《树脂浇铸体性能试验方法》GB/T 2567 《胶粘剂 拉伸剪切强度的测定（刚性材料对刚性材料）》GB/T 7124
粘结性能	正拉粘结强度	不小于被加固混凝土的抗拉强度标准值	《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550
工艺性能	《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550		

检查数量：全数检查。

检验方法：检查出厂合格证、检验报告。

6.7.3 涂抹粘贴钢板的胶粘剂应每100kg抽样检测一次，不足100kg应按100kg计。其性能指标应满足表6.7.3的要求。

表6.7.3 涂抹粘贴钢板的胶粘剂性能指标

基本性能项目		规定指标	试验方法
胶体性能	抗压强度（MPa） 拉伸强度（MPa） 弹性模量（MPa） 拉伸剪切强度（MPa）	满足设计要求	《树脂浇铸体性能试验方法》GB/T 2567 《胶粘剂 拉伸剪切强度的测定（刚性材料对刚性材料）》GB/T 7124

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

续表 6.7.3

基本性能项目		规定指标	试验方法
粘结性能	正拉粘结强度（MPa）	不小于被加固混凝土的抗拉强度标准值	《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550
工艺性能	《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550		

检查数量：全数检查。

检验方法：检查出厂合格证、检验报告。

6.7.4 在混凝土裂缝两侧 10cm 范围内，钢板不应有顺混凝土裂缝方向的焊缝。

6.7.5 粘贴钢板加固检查项目应符合表 6.7.5 的规定。

表 6.7.5 粘贴钢板加固检查项目

项　　目	规定值或允许偏差	检验频率	检验方法
位置（mm）	中心线偏差≤10	全数	用钢尺量
锚栓植入深度（mm）	5	全数	用钢尺量
有效粘结面积（%）	≥95	100%	敲击检测法；超声波检测法；红外线检测法
钢板厚度、宽度	≥设计值	全数	用钢尺量
混凝土表面粗糙度	光滑	全数	肉眼观察

一 般 项 目

6.7.6 钢板不得有锈蚀，防锈漆应均匀。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

6.7.7 粘贴界面处理后，构件应裸露混凝土结构层新面，清理后的表面应保持干燥。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

6.7.8 缺陷修补后，构件应表面平整，无裂缝、脱层、起鼓、脱落等，修补外表面与原结构表面色泽应一致。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，用尺量。

6.7.9 钢板与混凝土应粘结紧密，不得有空隙。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

7 粘贴纤维带加固法

7.1 一 般 规 定

7.1.1 当加固钢筋混凝土受弯、受压及受拉构件时，可采用粘贴纤维带加固法。

7.1.2 当采用纤维带加固时，被加固构件现场实测的混凝土强度等级不宜低于C20，纤维带与混凝土表面的正拉粘结强度不应低于1.5MPa，且应满足拉拔试验要求，试验方法应符合现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367的规定。

7.1.3 粘贴在混凝土构件表面上的纤维带应进行表面防护处理。表面防护材料应对纤维及胶粘剂无害，且应与胶粘剂粘结可靠。

7.1.4 纤维带、结构胶粘剂和表面防护材料的性能及使用环境等均应符合本规程第4.5节、第4.6节和第4.9节的规定。

7.2 受弯构件加固设计

7.2.1 当采用纤维带加固受弯构件时，应验算正截面和斜截面，且斜截面不应先于正截面发生破坏。

7.2.2 对受弯构件进行正截面抗弯加固设计时，除应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62相关规定外，尚应符合下列规定：

1 纤维带应力σ_f应为其拉应变ε_f与弹性模量E_f的乘积。当达到正截面承载能力极限状态时，ε_f应按平截面假定确定，但不应超过其允许值$[\varepsilon_f]$。

2 达到正截面承载能力极限状态时，纤维带与混凝土之间不得发生粘结剥离破坏。

7.2.3 对矩形截面或翼缘位于受拉边的钢筋混凝土T形截面受弯构件，在受拉面粘贴加固时，正截面承载力（图7.2.3）应按

下列公式计算：

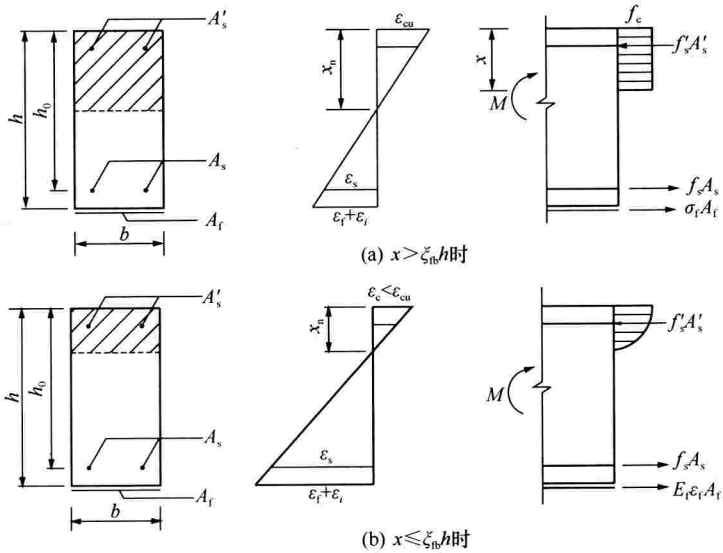


图 7.2.3　粘贴纤维带的矩形截面正截面受弯承载力计算

1　当混凝土受压区高度 $\xi_{fb}h<x<\xi_b h_0$ 时：

$$\gamma_0 M_d \leqslant f_{cd}bx\left(h_0-\frac{1}{2}x\right)+f'_{sd}A'_s(h_0-a'_s)+E_f\varepsilon_fA_fa_s \tag{7.2.3-1}$$

混凝土受压区高度 x 和受拉面纤维带拉应变 ε_f 应按下列公式联立求解：

$$f'_{sd}A'_s+f_{cd}bx=f_{sd}A_s+E_f\varepsilon_fA_f \tag{7.2.3-2}$$

$$(\varepsilon_{cu}+\varepsilon_f+\varepsilon_l)x=0.8\varepsilon_{cu}h \tag{7.2.3-3}$$

2　当受压区高度 $x\leqslant\xi_{fb}h$ 时：

$$\gamma_0 M_d \leqslant f_{sd}A_s(h_0-0.5\xi_{fb}h)+E_f\varepsilon_fA_fh(1-0.5\xi_{fb}) \tag{7.2.3-4}$$

$$\xi_{fb}=\frac{0.8\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu}+[\varepsilon_f]+\varepsilon_l} \tag{7.2.3-5}$$

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

$$[\varepsilon_f] = \kappa_m \varepsilon_{fu} \tag{7.2.3-6}$$

$$\kappa_{m1} = \begin{cases} 1 - \dfrac{n_f E_f t_f}{428000} & n_f E_f t_f \leqslant 214000 \\ \dfrac{107000}{n_f E_f t_f} & n_f E_f t_f > 214000 \end{cases} \tag{7.2.3-7}$$

3 当混凝土受压区高度 $x \leqslant 2a'_s$ 时：

$$\gamma_0 M_d \leqslant f_{sd} A_s (h_0 - a'_s) + E_f \varepsilon_f A_f (h - a'_s) \tag{7.2.3-8}$$

4 加固前在初始弯矩 M_{k1} 作用下，截面受拉边缘混凝土的初始应变 ε_1（纤维带的滞后应变）应按下式计算：

$$\varepsilon_1 = \frac{M_{k1}(h_0 - x_1)}{E_c I_{cr}} \tag{7.2.3-9}$$

式中：A_f——受拉面粘贴的纤维带的截面面积（mm^2），对任意一层纤维带，从其与构件表面的粘贴终端算起，锚板沿纤维带长度范围内，该层纤维带的面积不计入 A_f；

f_{cd}——原构件混凝土抗压强度设计值（N/mm^2），根据现场检测强度推算值按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 确定；

b、h——原构件截面宽度和高度（mm）；

h_0——原构件截面有效高度（mm）；

M_{k1}——包括恒载和新旧材料有效结合前的施工荷载产生的弯矩，当小于未加固截面受弯承载力的 20%时，可忽略二次受力的影响；

E_f——纤维带的弹性模量（N/mm^2）；

ε_f——纤维带的拉应变；

ξ_{fb}——纤维带达到其允许拉应变与混凝土压坏同时发生时的界限相对受压区高度；

ε_1——计入二次受力影响时，加固前构件在初始弯矩作用下，截面受拉边缘混凝土的初始应变；当不计

入二次受力时，取 0；

$[\varepsilon_f]$——纤维带的允许拉应变，且不大于纤维带极限拉应变 ε_{fu} 的 2/3 和 0.007 两者中的较小值，ε_{fu} 为纤维带的极限拉应变；

x_1——加固前原构件开裂截面换算截面的混凝土受压区高度（mm），按本规程第 6.2.4 条或第 6.2.5 条计算；

I_{cr}——加固前原构件开裂截面换算截面的惯性矩（mm^4），按本规程第 6.2.4 条或第 6.2.5 条计算；

E_c——原构件混凝土的弹性模量（N/mm^2）；

n_f——纤维带的层数；

t_f——每层纤维带的厚度（mm）；

κ_m——纤维带强度折减因子，取 κ_{m1} 与 κ_{m2} 中的较小值，κ_{m1} 应按公式（7.2.3-7）计算，κ_{m2} 应按表 7.2.3 取值；当 $\kappa_m>0.9$ 时，取 $\kappa_m=0.9$。

表 7.2.3　纤维带环境影响折减系数 κ_{m2}

环境分类	片材类型	折减系数
Ⅰ类	碳纤维	0.85
	芳纶纤维	0.75
	玻璃纤维	0.65
Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ类	碳纤维	0.85
	芳纶纤维	0.70
	玻璃纤维	0.50

7.2.4　当翼缘位于受压区的 T 形截面受弯构件在其受拉面粘贴纤维带时，其正截面承载力应按本规程第 7.2.3 条和现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 的规定计算。

7.2.5　正截面受弯承载力计算时，构件加固后受压区高度 x 不大于 $0.8\xi_b h_0$，其中加固前界限相对受压区高度 ξ_b 应按现行行

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 的规定确定。

7.2.6 纤维带粘贴于受拉区的梁侧时，正截面受弯承载力应按本规程式（7.2.3-1）～式（7.2.3-7）计算，其中 h 采用纤维带截面面积形心至梁受压区边缘的距离 h_{f0} 代替，并将侧面纤维带的截面面积乘以折减系数（$1-0.5h_f/h$）。其中 h_f 为侧面纤维带的粘贴高度。

7.2.7 加固后的受弯构件截面尺寸应满足下式要求：

$$\gamma_0 V_d \leqslant 0.51\times10^{-3}\psi_c\sqrt{f_{cu,k}}bh_0 \tag{7.2.7}$$

式中：ψ_c——截面翼缘扩大系数，对 T 形、I 形截面取 $\psi_c=1.1$，其余截面取 $\psi_c=1$。

7.2.8 当采用粘贴端部绕锚板自锁的纤维带对受弯构件进行斜截面抗剪加固设计时，其斜截面承载力（图 7.2.8）计算应满足下列公式要求：

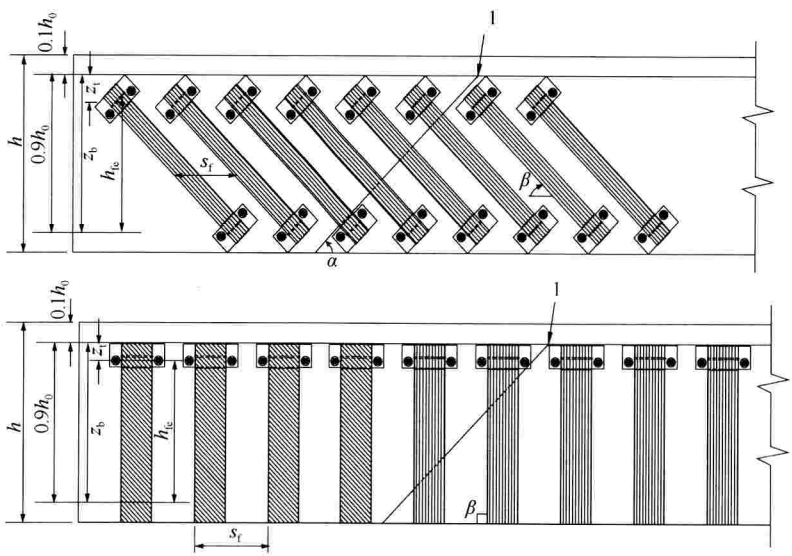


图 7.2.8 粘贴端部绕锚板自锁的纤维带抗剪加固设计示意图

1—剪切裂缝端部

$$\gamma_0 V_d \leqslant 0.43\times10^{-3}\alpha_1\alpha_3 b h_0 \psi_{cs}\sqrt{(2+0.6P)\sqrt{f_{cu,k}}\rho_{sv}f_{sv}} + 0.75\times10^{-3} f_{sd}\sum A_{sb}\sin\theta_b + V_f \quad (7.2.8\text{-}1)$$

$$V_f = 2 f_{fe} n_f t_f b_f \frac{h_{fe}(\sin\beta+\cos\beta)}{s_f} \quad (7.2.8\text{-}2)$$

$$f_{fe} = D_f \sigma_{f,max} \quad (7.2.8\text{-}3)$$

$$D_f = \frac{1+\zeta}{2} \quad (7.2.8\text{-}4)$$

$$\zeta = \frac{z_t}{z_b} \quad (7.2.8\text{-}5)$$

$$h_{fe} = z_b - z_t \quad (7.2.8\text{-}6)$$

$$s_f \leqslant s_{f,max} = \frac{h_{fe}(1+\cot\beta)}{2} \quad (7.2.8\text{-}7)$$

$$\sigma_{f,max} = \begin{cases} 0.8\dfrac{f_{fk}}{\gamma_f}, \dfrac{f_{fk}}{E_f} \leqslant \varepsilon_{max} \\ 0.8\dfrac{\varepsilon_{max}E_f}{\gamma_f}, \dfrac{f_{fk}}{E_f} > \varepsilon_{max} \end{cases} \quad (7.2.8\text{-}8)$$

式中：ψ_{cs}——与原梁斜裂缝有关的修正系数，加固前未出现斜裂缝时，取 $\psi_{cs}=1.0$；斜裂缝宽度小于 0.2mm 时，取 $\psi_{cs}=0.835$；斜裂缝宽度大于 0.2mm 时，取 $\psi_{cs}=0.78$；

A_{sb}——弯起钢筋截面面积（mm^2）；

θ_b——弯起钢筋与梁纵轴的夹角（$\leqslant 90°$）；

V_f——纤维带贡献的设计受剪承载力（N/mm^2）；

f_{fe}——加固梁达极限承载力时与剪切裂缝相交的纤维带的平均有效拉应力（N/mm^2）；

n_f——纤维带层数；

t_f——单层纤维带厚度（mm）；

b_f——纤维带宽度（mm）；

β——纤维方向与梁纵轴夹角（°）；

D_f——纤维带应变分布系数；

z_t——纤维带有效上端至剪切裂缝上端的垂直高差

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

(mm)，假设剪切裂缝终止于梁受压区边缘向下 $0.1h_0$ 处，其中 h_0 为有效梁高，取梁受压边缘至纵向受拉钢筋中心线间距；纤维带有效上端取上部自锁锚板的两锚栓连线中点；

z_b——纤维带有效下端至剪切裂缝上端的垂直高差(mm)，当采用U形箍时，有效下端取纵筋中心线；当采用侧面粘贴上下锚固时，有效下端比实际下端高（$h-h_0$），其中 h 为梁高（mm）；

h_{fe}——纤维带有效高度（mm）；

s_f——纤维带沿梁水平纵向的中心间距（mm）；

$\sigma_{f,max}$——纤维带允许最大拉应力（N/mm^2）；

f_{fk}——纤维带抗拉强度标准值（N/mm^2），依据纤维带分级按本规程第4.5.2条规定的最低值取用；

γ_f——纤维带的材料抗拉强度分项系数，取1.25；

E_f——纤维带弹性模量（N/mm^2）；

ε_{max}——纤维最大允许应变标准值，对碳纤维可取0.015，对于玻璃纤维可取0.044；

α_1——异号弯矩影响系数，计算简支梁和连续梁近边支点梁段的抗剪承载力时，$\alpha_1=1.0$；计算连续梁和悬臂梁近中间支点梁段的抗剪承载力时，$\alpha_1=0.9$；

α_3——受压翼缘的影响系数，对矩形截面 $\alpha_3=1.0$；对具有受压翼缘的T形或I字形截面，取 $\alpha_3=1.1$。

7.3 受压构件加固设计

7.3.1 轴心受压构件承载力加固计算应符合下列规定：

1 纤维带可粘贴成封闭环形或螺旋状，对符合下列条件的轴心受压构件进行加固：

1） 长细比 $l/d\leqslant12$ 的圆形截面柱；

2） 长细比 $l/b\leqslant14$、截面高宽比 $h/b\leqslant1.5$ 的正方形或矩形截面柱。

2 环向围束加固的轴心受压构件，正截面承载力应按下列公式计算：

$$\gamma_0 N_d \leqslant 0.9[(f_{cdl}+4\sigma_1)A_{cor}+f'_{sd}A'_s] \quad (7.3.1\text{-}1)$$

$$\sigma_1 = 0.5\beta_c k_c \rho_f E_f \varepsilon_{fe} \quad (7.3.1\text{-}2)$$

式中：f_{cdl}——原构件混凝土抗压强度设计值（N/mm^2）；

σ_1——有效约束应力（N/mm^2）；

A_{cor}——原构件截面有效面积（mm^2），按本规程式（7.3.3-1）、式（7.3.3-2）计算；

β_c——混凝土强度系数，当混凝土强度等级不大于C50时，$\beta_c=1.0$；当混凝土强度等级为C80时，$\beta_c=0.8$；其间按线性内插法确定；

k_c——环向围束的有效约束系数；

ρ_f——环向围束体积比；

E_f——纤维带的弹性模量（N/mm^2）；

ε_{fe}——纤维带的有效拉应变设计值；取$\varepsilon_{fe}=0.0035$。

7.3.2 有效约束系数k_c和体积比ρ_f的计算应符合下列规定：

1 有效约束系数k_c值

对圆形截面柱，$k_c=0.95$；

对正方形和矩形截面柱，应按下式计算：

$$k_c = 1-\frac{(b-2r)^2+(h-2r)^2}{3A_{cor}(1-\rho_s)} \quad (7.3.2\text{-}1)$$

式中：ρ_s——柱中纵向钢筋的配筋率（%）；

r——截面棱角的圆化半径（mm）；

b——正方形截面边长或矩形截面宽度（mm）；

h——矩形截面高度（mm）。

2 体积比ρ_f值

对圆形截面柱，应按下式计算：

$$\rho_f = \frac{4n_f t_f}{D} \quad (7.3.2\text{-}2)$$

对正方形和矩形截面柱，应按下式计算：

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

$$\rho_f = \frac{2n_f t_f (b+h)}{A_{cor}} \tag{7.3.2-3}$$

式中：n_f、t_f——分别为纤维带的层数及每层厚度（mm）；

D——圆形截面直径（mm）。

7.3.3 原构件截面有效面积 A_{cor} 的计算应符合下列规定：

1 对圆形截面，应按下式计算：

$$A_{cor} = \frac{\pi D^2}{4} \tag{7.3.3-1}$$

2 对矩形截面（图 7.3.3），应按下式计算：

$$A_{cor} = bh - (4-\pi)r^2 \tag{7.3.3-2}$$

式中：D——圆截面有效直径（mm）；

r——截面棱角的圆弧半径（mm）。

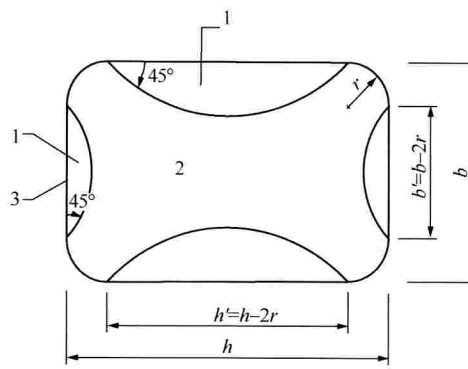


图 7.3.3 环向围束内矩形截面有效约束面积

1—无效约束面积；2—有效约束面积；3—环向围束

7.3.4 大偏心受压构件加固提高正截面承载力时，纤维带应粘贴在构件受拉区表面，纤维方向应沿受拉方向；大偏心受压构件加固提高斜截面承载力时，纤维带应粘贴成环形。

7.3.5 当矩形截面大偏心受压构件加固时，其正截面承载力（图 7.3.5）应按下列公式计算：

$$\gamma_0 N_d \leqslant f_{cdl} bx + f'_{sd} A'_s - f_{sd} A_s - \sigma_f A_f \tag{7.3.5-1}$$

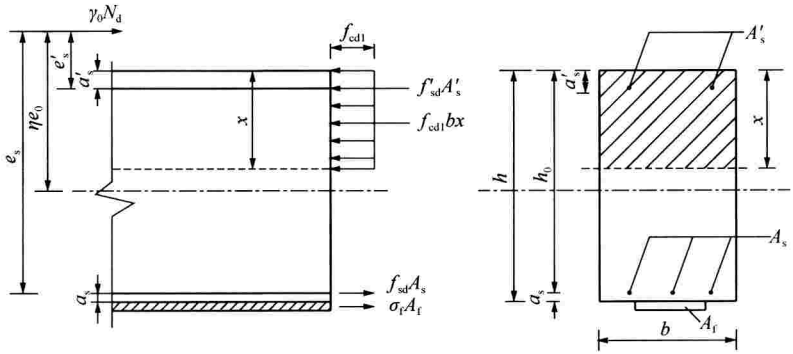


图 7.3.5　大偏心受压构件正截面承载力计算

$$\gamma_0 N_d e_s \leqslant f_{cd1} bx\left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + f'_{sd}A'_s(h_0 - a'_s) + \sigma_f A_f a_s \tag{7.3.5-2}$$

$$f_{cd1} bx\left(e_s - h_0 + \frac{x}{2}\right) = f_{sd}A_s e_s + \sigma_f A_f(e_s + a_s) - f'_{sd}A'_s e'_s \tag{7.3.5-3}$$

$$e_s = \eta e_0 + \frac{h}{2} - a_s \tag{7.3.5-4}$$

$$e'_s = \eta e_0 - \frac{h}{2} + a'_s \tag{7.3.5-5}$$

式中：f_{cd1}——原构件混凝土抗压强度设计值（N/mm^2）；

η——偏心受压构件计入二阶弯矩影响的轴向压力偏心距增大系数，按本规程第 5.3.3 条规定计算；

A_f——纤维带截面面积（mm^2）；

σ_f——纤维带应力计算值（N/mm^2），按平截面假定计算。

7.4　受拉构件加固设计

7.4.1　对受拉构件进行加固时，纤维方向应沿受拉方向。

7.4.2　当轴心受拉构件加固时，正截面承载力应符合下式要求：

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

$$\gamma_0 N_d \leqslant f_{sd} A_s + f_f A_f \tag{7.4.2}$$

式中：N_d——轴向拉力设计值（N/mm^2）；

f_f——纤维带抗拉强度设计值（N/mm^2），按《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 的规定取值。

7.4.3 对矩形截面大偏心受拉构件加固时，正截面承载力（图 7.4.3）应按下列公式计算：

$$\gamma_0 N_d \leqslant f_{sd} A_s + \sigma_f A_f - f_{cd1} bx - f'_{sd} A'_s \tag{7.4.3-1}$$

$$\gamma_0 N_d e_s \leqslant f_{cd1} bx \left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + f'_{sd} A'_s (h_0 - a'_s) + \sigma_f A_f a_s \tag{7.4.3-2}$$

$$e_s = e_0 - \frac{h}{2} + a_s \tag{7.4.3-3}$$

式中：e_s——轴向拉力作用点至纵向受拉钢筋合力点的距离（mm）。

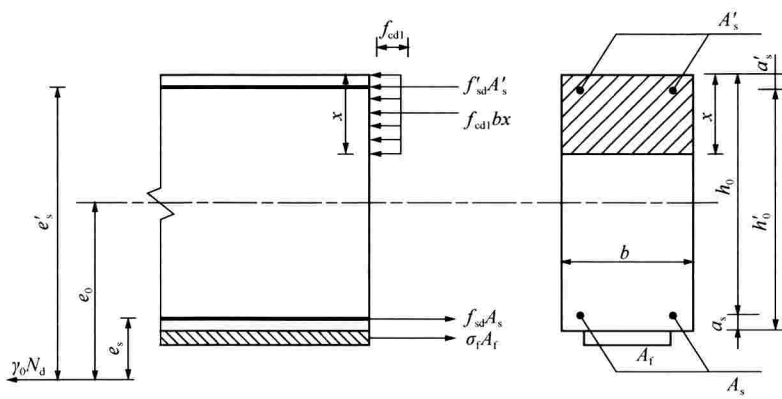


图 7.4.3 大偏心受拉构件正截面承载力计算

7.5 构 造 要 求

7.5.1 当粘贴纤维带加固时，宜采用宽度不大于 200mm 的纤

维布。

7.5.2 当采用纤维带两端相互搭接形成封闭环形对墩柱进行加固时，搭接长度不应小于200mm；当采用多条或多层纤维布时，其搭接位置应相互错开。当形成封闭环对梁进行抗剪加固时，搭接区不应位于梁侧面，且搭接长度不应小于200mm。

7.5.3 非封闭环形纤维带端部应加开缝锚板自锁（图7.5.3），并应采用锚栓锚固在构件上，锚栓设计应符合现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145的相关规定。

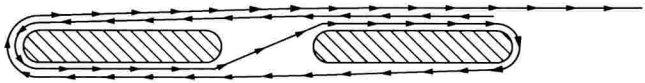


图7.5.3 纤维带绕锚板自锁示意图

7.5.4 对受弯构件进行正截面抗弯加固时，纤维带粘贴应符合下列规定：

1 应粘贴在构件受拉区表面，纤维方向应沿受拉方向；

2 当粘贴在梁的受拉区侧面时，粘贴高度不宜高于梁截面高度的1/4；

3 纤维带端部附加的开缝板应安装在弯矩较小的区域；

4 当需重叠布置多层纤维带时，各层长度宜有差异，端绕开缝板并全长粘贴的纤维带应按内长外短的方式进行安装，锚孔的纵向距离不应小于200mm。

7.5.5 当纤维带绕过构件表面凹角锚固时，应符合下列规定：

1 端部应绕开缝板自锁，且板内侧应压住转折点（图7.5.5）。

2 当采用多层纤维带且内层纤维带绕过凹角后伸向远处时，可利用外层纤维带端部所绕开缝板压住内层纤维带。

3 当绕过凹角即锚固时，板内侧应压住转折点（图7.5.5）。

4 当接近凹角即锚固时，板外侧应压住转折点。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

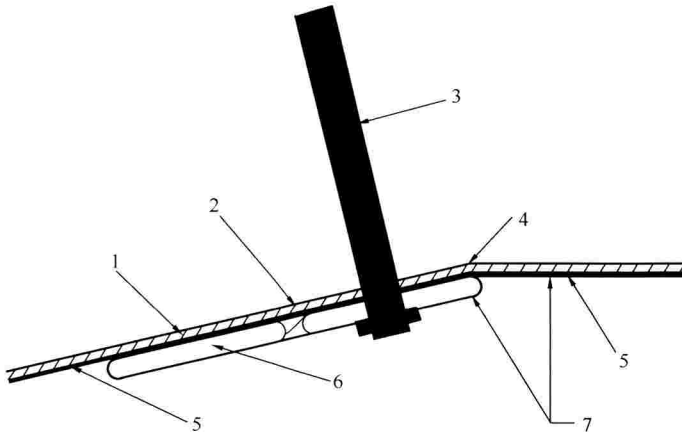


图 7.5.5　纤维带绕过构件表面凹角即绕开缝板锚固示意图（右侧正弯矩更大）

1—胶层；2—构件表面；3—锚栓；4—表面转折处；5—内层纤维布；6—锚板；7—外层纤维布

7.5.6　对受弯构件斜截面抗剪加固时，其构造应符合下列规定：

1　纤维方向宜与构件轴线垂直或与其主拉应力方向平行。

2　纤维带宜粘贴成 U 形，有条件时可粘贴成环形；当构件侧面的粘贴高度较大时，可粘贴成一字形。

3　U 形纤维带成一字形纤维带端部应附加自锁式锚板，并应采用锚栓锚固。

7.5.7　当纤维带绕过构件上的凸角时，应在粘贴前将凸角打磨成圆弧，或附加异形倒角零件，圆弧半径不应小于 20mm。

7.6　施　　工

7.6.1　底层处理应符合下列规定：

1　应采用裂缝修补胶灌注结构裂缝，其施工工艺应符合本规程第 5.6.3 条的相关规定。

2　应将混凝土表面剥落、疏松、蜂窝、腐蚀等劣化部分清除，并应进行清洗、打磨，待表面干燥后，应采用修补材料将混

凝土表面凹凸部位修复平整。毛刺应采用砂纸打磨。当找平面用手触摸感觉干燥后，方可进行下一工序的施工。

3 粘贴处凸角应打磨成圆弧状，凹角应采用修补材料填补成圆弧倒角。

7.6.2 当采用非封闭环形纤维带粘贴加固时，应设置锚栓，并应符合下列规定：

1 在待加固的混凝土表面应按设计图纸放样，并应确定锚栓孔位置。

2 锚栓施工工序应按混凝土钻孔、清孔、注胶、植入锚栓进行。

7.6.3 涂刷底胶应符合下列规定：

1 调制好的底胶应及时使用，应采用一次性软毛刷或特制滚筒将底胶均匀涂抹于混凝土表面，不得漏刷、流淌或有气泡。

2 底胶固化后应检查涂胶面，毛刺应采用砂纸打磨平顺，磨损的胶层应重新涂刷。

3 底胶固化后应及时进行下一道工序，若涂刷时间超过7d，应清除原底胶，用砂轮机磨除，重新涂抹。

7.6.4 粘贴纤维复合材料应符合下列规定：

1 雨天或空气潮湿条件下严禁施工。对玻璃纤维复合材料，相对湿度不宜大于80%。如确需在潮湿的构件上施工，应烘干构件表面或采用专门的胶粘剂。

2 纤维复合材料粘贴宜在5℃～35℃环境温度条件下进行，胶粘剂的选用应满足使用环境温度的要求。

3 应在待加固的混凝土表面按设计图纸放样，确定纤维复合材料各层的位置。

4 应按设计尺寸裁剪纤维复合材料。裁剪的纤维布材应呈卷状妥善摆放并编号。已裁剪的纤维复合材料应尽快使用。

5 粘贴纤维复合材料前，应对混凝土表面再次拭擦，粘贴面应无粉尘。混凝土表面涂刷胶粘剂时，胶体不应流淌，胶体涂刷不应出控制线，涂刷应均匀。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

6 当采用非封闭环形纤维带粘贴加固时，把持两端自锁式锚板将纤维带稍许拉紧并贴于构件表面，再拧紧螺帽安装端部锚板。

7 粘贴立面纤维复合材料时，应按由上到下的顺序进行。应采用滚筒将纤维复合材料从一端向另一端滚压，滚压过程中不应产生静电作用。

8 当采用多条或多层纤维复合材料加固时，在前一层纤维布表面用手指触摸感到干燥后，应立即涂胶粘剂粘贴后一层纤维复合材料。

9 当最后一层纤维复合材料施工结束后，应在其表面均匀涂抹一层浸渍树脂，并应自然风干。

7.7 质量检验与验收

主 控 项 目

7.7.1 纤维带与混凝土之间的粘结质量可采用敲击法或其他有效探测法进行检查。根据检查结果确认的有效粘结面积不应小于总粘结面积的95%。探测时，应将粘贴的纤维带分区，逐区测定空鼓面积；若单个空鼓面积不大于10000mm^2，可采用注射法充胶修复，或跨过纤维带宽度安装压板并用锚栓锚固；若单个空鼓面积大于10000mm^2，应割除修补，重新粘贴等量纤维带。当重新粘贴（1～3）层纤维带时，其受力方向每端的搭接长度不应小于200mm；当重新粘贴超过3层纤维带时，其受力方向每端的搭接长度不应小于300mm。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查检测报告及处理记录。

7.7.2 受力加固用纤维带与基材混凝土的正拉粘结强度，应进行见证抽样检验。其检验结果应符合表7.7.2的规定。若不合格，应清除重贴，并应重新检查验收。

表 7.7.2　现场检验加固材料与混凝土正拉粘结强度的合格指标

检验项目	原构件实测混凝土强度等级	检验合格指标	检验方法
正拉粘结强度及其破坏形式	≥C15	≥1.5MPa 且为混凝土内聚破坏	《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550

检查数量：全数检查。

检验方法：检查检验报告。

7.7.3　纤维带胶层厚度 δ 应符合下列规定：

1　对纤维布：$\delta=(1.5\pm0.5)$ mm；

2　对纤维板：$\delta=(2.0\pm0.3)$ mm。

检查数量：全数检查。

检验方法：每根构件检查 2 处，选在胶层最厚及最薄处，用刻度放大镜测量。

一　般　项　目

7.7.4　纤维带粘贴位置中心线偏差不应大于 15mm；长度负偏差不应大于 15mm。

检查数量：全数检查。

检验方法：钢尺测量。

7.7.5　自锁式开缝锚板与纤维布接触处上下表面应平整，弯转时平面与曲面应相切过渡，弯转半径不小于纤维布厚度的 10 倍，板缝有效宽度范围内锚板长度不应小于纤维布宽度的 0.4 倍，具体尺寸应根据纤维布层数、厚度、宽度、强度和锚点位置选用合适规格。同一块锚板中板缝有效宽度范围内，锚板厚度最大值和最小值相差不应大于 0.1mm，板缝宽度最大值与最小值相差不应大于 0.1mm，锚板长度最大值和最小值相差不应大于 2mm。纤维布绕开缝板形成整体时，接触面及板缝中胶均应

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

饱满。

检查数量：按每批锚板数量的3%抽样检查，且每批不少于3块。

检验方法：卡尺测量。

7.7.6 当纤维带在出锚板截面受拉时，可对该纤维带-钢筋混凝土组合截面取最不利弯矩组合按平截面假定计算拉应力上限值，纤维带-锚板组装件应进行拉伸性能静载试验，纤维带强度取极限荷载除以纤维带横截面面积，要求对于每个组装件，该强度不应低于平截面假定计算拉应力上限值。当纤维带在出锚板截面不受拉时，可不做此检验。

检查数量：同一批纤维带和同一规格锚板任意抽样组成3个组装件。

检验方法：检查拉伸性能静载试验报告。

8 预应力加固法

8.1 一 般 规 定

8.1.1 当加固钢筋混凝土或预应力混凝土受弯构件时，可采用预应力加固法，预应力材料可采用钢材或纤维带等。

8.1.2 被加固的混凝土桥梁构件，其现场实测混凝土强度等级不得低于C30。

8.1.3 预应力体系应采取可靠的防腐与防护措施。

8.1.4 当采用体内无粘结预应力筋加固时，可按体外预应力筋计算。

8.1.5 当采用体外索加固时，有效预应力应按本规程第8.2.1条、第8.2.2条计算；当采用有粘结预应力筋加固时，有效预加应力应按现行行业标准《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22相关规定计算。

8.1.6 体外索转向装置的设计应按现行行业标准《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22相关规定进行计算。

8.1.7 预应力纤维带表面防护应符合本规程第4.5节、第4.6节规定。

8.1.8 采用预应力纤维带加固的混凝土结构，其长期使用的环境温度不应高于60℃；对处于高温、高湿、介质侵蚀等特殊环境的混凝土结构采用预应力加固时，除应按国家现行有关标准的规定采取相应的防护措施外，尚应采用耐环境因素作用的结构胶粘剂，并应按专门的工艺要求施工。

8.2 预应力钢筋加固设计

（Ⅰ）新增预应力钢筋有效预应力计算

8.2.1 体外预应力钢筋的预应力损失计算应符合下列规定：

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

1 加固钢筋混凝土构件时应计算体外预应力钢筋的应力损失。

2 加固预应力混凝土构件时应计算体外预压力对原预应力钢筋引起的应力损失。

3 体外预应力钢筋的各项预应力损失计算应根据预应力筋的布置方式、锚固方式、张拉方式、保护方式等取舍。

8.2.2 预应力损失及有效预应力计算应符合下列规定：

1 当体外索采用有护套的无粘结预应力筋时，摩擦损失 σ_{l1} 可由两部分组成：体外索在转向和锚固构造管道内的摩擦引起的预应力损失部分应按现行行业标准《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22 相关条款规定计算，体外预应力筋与护套壁之间的摩擦引起的预应力损失部分应按现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 相关条款计算，两部分之和应为总的摩擦损失 σ_{l1}。

2 锚具变形、预应力筋回缩和接缝压密引起的预应力损失 σ_{l2}，体外预应力钢筋成直线布置时，应按现行行业标准《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22 相关条款规定计算；体外预应力钢筋成折线或曲线布置时，应按现行行业标准《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92 计算。

3 分批张拉损失 σ_{l4} 应按下列公式计算：

对体外预应力筋：

$$\sigma_{l4} = \frac{m_1 - 1}{2}\alpha_{EP} \cdot \Delta\sigma_{pc} \tag{8.2.2-1}$$

对构件内原预应力筋：

$$\sigma_{l4} = \alpha_{EP} \cdot m_1 \cdot \Delta\sigma_{pc} \tag{8.2.2-2}$$

式中：α_{EP}——预应力筋（束）与混凝土的弹性模量之比；

m_1——体外预应力筋（束）分批张拉的次数；

$\Delta\sigma_{pc}$——在计算截面先张拉的体外预应力筋（束）或原有预应力筋重心处，由后张拉每一批体外预应力筋（束）有效预加力产生的混凝土法向应力（N/mm^2）。

4 钢筋松弛引起的预应力损失 σ_{l5}、混凝土收缩和徐变引起的预应力损失 σ_{l6}、最大张拉控制应力 σ_{con} 应按现行行业标准《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22 相关规定计算。

5 正常使用阶段，体外预应力筋的有效预应力 σ_{pe} 应按下式计算：

$$\sigma_{pe} = \sigma_{con} - (\sigma_{l1} + \sigma_{l2} + \sigma_{l4} + \sigma_{l5}) \tag{8.2.2-3}$$

式中：σ_{pe}——体外预应力筋的有效预应力；

σ_{con}——最大张拉控制应力。

（Ⅱ）体外预应力筋对构件计算截面产生的内力计算

8.2.3 计算体外预应力筋对构件产生的内力前，应先计算体外筋与构件混凝土接触点处的等效荷载，再按结构力学的方法计算控制截面的内力。

8.2.4 当进行持久状况正常使用的抗裂、裂缝宽度、挠度、材料应力等计算时，体外预应力筋对计算截面产生的内力及次内力应作为永久作用效应的一部分。

（Ⅲ）持久状况承载能力极限状态计算

8.2.5 当采用预应力加固矩形截面或翼缘位于受拉边的 T 形截面受弯构件时，其正截面受弯承载力（图 8.2.5）计算应符合下列规定：

1 混凝土受压区高度 x 应按下列公式计算：

$$f_{sd}A_s + f_{pd}A_p + \sigma_p A_{pp} = f_{cd}bx + f'_{sd}A'_s + (f'_{pd} - \sigma'_{p0})A'_p \tag{8.2.5-1}$$

$$x \leqslant \xi_b h_{00} \tag{8.2.5-2}$$

$$h_{00} = h - a \tag{8.2.5-3}$$

$$a = \frac{A_s f_{sd} a_s + A_{pp}\sigma_p a_{pe} + A_p f_{pd} a_p}{A_s f_{sd} + A_{pp}\sigma_p + A_p f_{pd}} \tag{8.2.5-4}$$

2 当受压区配有纵向普通钢筋和预应力钢筋，且预应力钢筋受压即（$f'_{pd} - \sigma'_{p0}$）为正时，x 尚应满足下式要求：

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

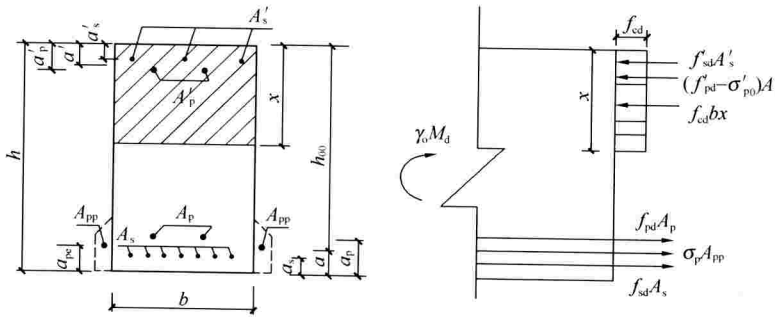


图 8.2.5　矩形截面受弯构件正截面承载力计算

$$x \geqslant 2a' \tag{8.2.5-5}$$

3　当受压区仅配有纵向普通钢筋或配普通钢筋和预应力钢筋，且预应力钢筋受拉即（$f'_{pd}-\sigma'_{p0}$）为负时，x 尚应满足下式要求：

$$x \geqslant 2a'_s \tag{8.2.5-6}$$

4　正截面受弯承载力应满足下式要求：

$$\gamma_0 M_d \times 10^6 \leqslant f_{cd}bx\left(h_{00}-\frac{x}{2}\right)+f'_{sd}A'_s(h_{00}-a'_s)+(f'_{pd}-\sigma'_{p0})A'_p(h_{00}-a'_p) \tag{8.2.5-7}$$

5　当受压区原预应力钢筋合力点处混凝土法向应力等于零时，预应力钢筋的应力 σ'_{p0} 计算应符合下列规定：

1）当采用有粘结预应力钢筋加固时，σ'_{p0} 应根据原构件是先张法或是后张法预应力受弯构件，分别采用本规程公式（8.2.16-5）或公式（8.2.16-8）计算。

2）当采用体外预应力钢筋加固时，σ'_{p0} 应由原预应力筋应力 σ'_{p01} 和新增预加力对截面受压区原预应力筋合力点处产生的应力增量 σ'_{p02} 两部分组成，σ'_{p01} 应按本规程公式（8.2.16-5）计算，σ'_{p02} 应按本规程公式（8.2.16-3）计算；

6　新增预应力筋的抗拉强度设计值 σ_p 计算应符合下列

规定：

1）当采用体外预应力筋时，σ_p 应取极限应力 σ_{pu}，σ_{pu} 应满足下式要求：

$$\sigma_{pu} = \sigma_{pe} + \Delta\sigma_{pe} \leqslant f_{pd} \tag{8.2.5-8}$$

2）当采用体内有粘结预应力筋时，$\sigma_p = f_{pd}$。

式中：γ_0——桥梁结构的重要性系数，按现行行业标准《城市桥梁设计规范》CJJ 11 规定采用；

f_{cd}——混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm^2）；

f_{sd}、f'_{sd}——纵向普通钢筋的抗拉强度设计值和抗压强度设计值（N/mm^2）；

f_{pd}、f'_{pd}——纵向有粘结预应力钢筋的抗拉强度设计值和抗压强度设计值（N/mm^2）；

σ'_{p0}——受压区原预应力钢筋合力点处混凝土法向应力等于零时预应力钢筋的应力（N/mm^2）；

M_d——计算截面的弯矩组合设计值（kN·m），超静定结构时包含预加力引起的次弯矩 M_{p2}，当其对结构有利时，预应力分项系数取 1.0，否则取 1.2；

A_{pp}——新增预应力筋的截面积（mm^2），体外预应力筋时取 A_{pe}，体内有粘结预应力筋时取 A_{ep}；

A_p、A'_p——分别为截面受拉区、受压区原有粘结预应力钢筋的截面面积（mm^2）；

A_s、A'_s——分别为截面受拉区、受压区纵向普通钢筋的截面面积，采用有粘结预应力钢筋加固时，包含新旧纵向普通受力钢筋的截面积之和（mm^2）；

b——构件矩形截面宽度或 T 形截面腹板宽度（mm）；

h_{00}——加固后构件的截面有效高度（mm）

h——原构件截面全高（mm）；

a——受拉区普通钢筋、原有粘结预应力钢筋及体外预应力筋的合力点至受拉区边缘的距离（mm）；

a'——受压区普通钢筋和原有粘结预应力钢筋的合力点

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

至受压区边缘的距离（mm）；

a_{pe}、a_s、a_p——分别为受拉区新增预应力筋合力点、普通钢筋合力点、原有粘结预应力钢筋合力点至受拉区边缘的距离（mm）；

a'_s、a'_p——受压区普通钢筋合力点、有粘结预应力钢筋合力点至受压区边缘的距离（mm）；

ξ_b——受弯构件的纵向受拉钢筋和截面受压区混凝土同时达到其强度设计值时，构件的正截面相对界限受压区高度 ξ_b，应按表 8.2.5 采用。

表 8.2.5　正截面相对界限受压区高度取值表

钢筋种类 \ 混凝土强度等级	C50 及以下	C55、C60	C65、C70	C75、C80
R235	0.62	0.60	0.58	—
HRB335	0.56	0.54	0.52	—
HRB400、KL400	0.53	0.51	0.49	—
钢绞线、钢丝	0.40	0.38	0.36	0.35
精轧螺纹钢筋	0.40	0.38	0.36	—

注：1　截面受拉区内配置不同种类有粘结钢筋的受弯构件，其 ξ_b 值应选用相应于各种钢筋的较小者；

2　$\xi_b=x_b/h_{00}$，x_b 为纵向受拉钢筋和受压区混凝土同时达到其强度设计值时的受压区高度。

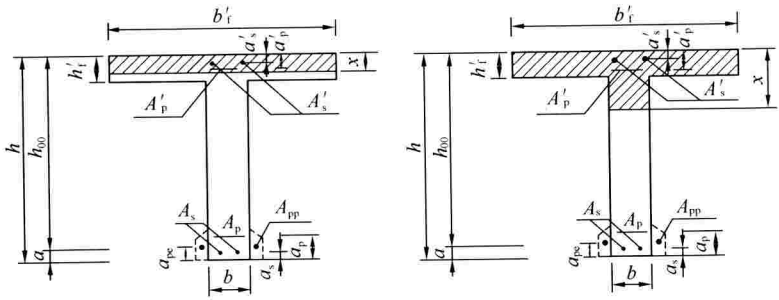
式（8.2.5-8）中，σ_{pu}、σ_{pe}——分别为体外预应力筋的极限应力、有效预应力（N/mm^2）；

$\Delta\sigma_{pe}$——体外预应力筋的应力增量，单跨梁时取 $110N/mm^2$，悬臂梁时取 $50N/mm^2$，连续梁时取 0。

8.2.6　当采用预应力加固翼缘位于受压区的 T 形截面或 I 形截面受弯构件时，其截面受弯承载力（图 8.2.6）计算应符合下列规定：

1　当符合式（8.2.6-1）条件时，应以宽度为 b'_f 的矩形截面（图 8.2.6a），按本规程式（8.2.5-7）计算正截面受弯承载力。

$$f_{sd}A_s + f_{pd}A_p + \sigma_p A_{pp} \leqslant f_{cd}b'_f h'_f + f'_{sd}A'_s + (f'_{pd} - \sigma'_{p0})A'_p \quad (8.2.6\text{-}1)$$



(a) $x \leqslant h_f$按矩形截面计算　　(b) $x > h_f$按T形截面计算

图 8.2.6　T 形截面受弯构件正截面承载力计算

（注：图 8.2.6 截面内力作用方向与图 8.2.5 相同）

2　当不符合公式（8.2.6-1）的条件时，计算中应计入截面腹板受压的作用（图 8.2.6b），其正截面受弯承载力计算应符合下列规定：

1） 受压区高度 x 应按下式计算，并应符合本规程第 8.2.5 条的规定。

$$f_{sd}A_s + f_{pd}A_p + \sigma_p A_{pp} = f_{cd}[bx + (b'_f - b)h'_f] + f'_{sd}A'_s + (f'_{pd} - \sigma'_{p0})A'_p \quad (8.2.6\text{-}2)$$

2） 正截面受弯承载力应按下式计算：

$$\gamma_0 M_d \times 10^6 \leqslant f_{cd}\left[bx\left(h_{00} - \frac{x}{2}\right) + (b'_f - b)h'_f\left(h_{00} - \frac{h'_f}{2}\right)\right] + f'_{sd}A'_s(h_{00} - a'_s) + (f'_{pd} - \sigma'_{p0})A'_p(h_{00} - a'_p) \quad (8.2.6\text{-}3)$$

式中：h'_f——T 形或 I 形截面受压翼缘厚度（mm）；

b'_f——T 形或 I 形截面受压翼缘的有效宽度（mm）。

8.2.7　受弯构件在满足本规程公式（8.2.5-2）条件时，可不按正常使用极限状态计算可能增加的纵向受拉钢筋截面面积和按构造要求配置的纵向钢筋截面面积。

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

8.2.8 当计算中计入受压区纵向钢筋但不符合本规程公式(8.2.5-5)、(8.2.5-6)的条件时，受弯构件正截面受弯承载力(图8.2.5)的计算应符合下列规定：

1 当受压区配有纵向普通钢筋和预应力钢筋，且预应力钢筋受压时，应符合下式要求：

$$\gamma_0 M_d \leqslant f_{sd} A_s (h - a_s - a') + f_{pd} A_p (h - a_p - a') + \sigma_p A_{pp} (h - a_{pe} - a') \quad (8.2.8\text{-}1)$$

2 当受压区仅配纵向普通钢筋或配普通钢筋和预应力钢筋，且预应力钢筋受拉时，应符合下式要求：

$$\gamma_0 M_d \leqslant f_{sd} A_s (h - a_s - a'_s) + f_{pd} A_p (h - a_p - a'_s) + \sigma_p A_{pp} (h - a_{pe} - a'_s) - (f'_{pd} - \sigma'_{p0}) A'_p (a'_p - a'_s) \quad (8.2.8\text{-}2)$$

8.2.9 预应力索的锚固装置应进行专项设计，体外索转向装置应根据受力需要及现场施工条件选择，其承载能力应按现行行业标准《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22的相关条款进行计算。

8.2.10 当受弯构件斜截面受剪承载力计算时，其计算位置应符合下列规定：

1 简支梁和连续梁近边支点梁段：

1) 距支座中心 $h/2$ 处截面(图8.2.10a截面1-1)；

2) 受拉区弯起钢筋起弯点处截面(图8.2.10a截面2-2、截面3-3)；

3) 锚于受拉区的纵向钢筋开始不受力处的截面(图8.2.10a截面4-4)；

4) 箍筋数量或间距改变处的截面(图8.2.10a截面5-5)；

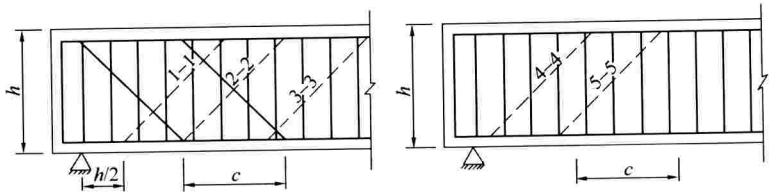
5) 构件腹板宽度变化处的截面。

2 连续梁和悬臂梁近中间支点梁段：

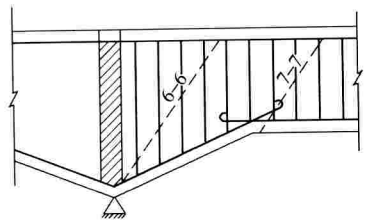
1) 支点横隔梁边缘处截面(图8.2.10b截面6-6)；

2) 变高度梁高度突变处截面(图8.2.10b截面7-7)；

3) 根据简支梁的要求，需要进行验算的截面。



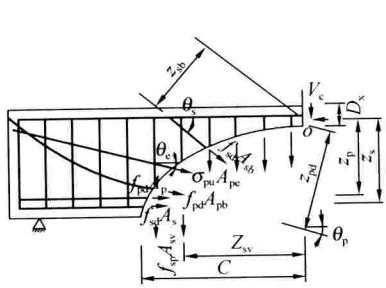
(a) 简支梁和连续梁近边支点梁段



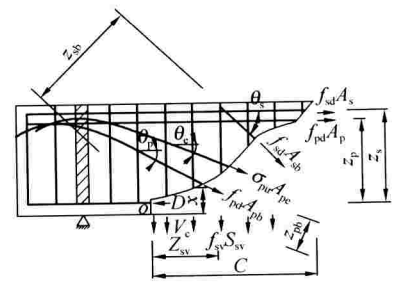
(b) 连续梁和悬臂梁近中间支点梁段

图 8.2.10　斜截面抗剪承载力验算位置示意图

8.2.11　矩形、T 形和 I 形截面的预应力混凝土受弯构件，当配置箍筋和弯起钢筋时，其斜截面受剪承载力（图 8.2.11）计算应符合下列规定：



(a) 简支梁和连续梁近边支点梁段



(b) 连续梁和悬臂梁近中间支点梁段

图 8.2.11　斜截面受剪承载力验算

1　斜截面抗剪承载力应按下列公式计算：

$$\gamma_0 V_d \leqslant V_{cs} + V_{sb} + V_{pb} + V_{pe} \qquad (8.2.11\text{-}1)$$

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

$$V_{cs} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 0.45 \times 10^{-3} b h'_{00} \sqrt{(2+0.6P)\sqrt{f_{cu,k}}\rho_{sv} f_{sv}} \quad (8.2.11\text{-}2)$$

$$V_{sb} = 0.75 \times 10^{-3} f_{sd} \sum A_{sb} \sin\theta_s \quad (8.2.11\text{-}3)$$

$$V_{pb} = 0.75 \times 10^{-3} f_{pd} \sum A_{pb} \sin\theta_p \quad (8.2.11\text{-}4)$$

$$V_{pe} = 0.8 \times 10^{-3} \sigma_{pu} \sum A_{pe} \sin\theta_e \quad (8.2.11\text{-}5)$$

$$\rho_{sv} = A_{sv}/(s_v b) \quad (8.2.11\text{-}6)$$

式中：V_d——斜截面受压端由作用（或荷载）效应所产生的最大剪力组合设计值（kN），超静定结构时包含预加力引起的次剪力 V_{p2}，当其对结构有利时，预应力分项系数取 1.0，否则取 1.2。

V_{cs}——斜截面内混凝土和新旧箍筋共同的受剪承载力设计值（kN）；

V_{sb}——与斜截面相交的新旧普通弯起钢筋受剪承载力设计值（kN）；

V_{pb}——与斜截面相交的有粘结预应力弯起钢筋抗剪承载力设计值（kN）；

V_{pe}——与斜截面相交的体外预应力弯起钢筋受剪承载力设计值（kN）；

α_1——异号弯矩影响系数，计算简支梁和连续梁近边支点梁段的受剪承载力时，$\alpha_1=1.0$；计算连续梁和悬臂梁近中间支点梁段的受剪承载力时，$\alpha_1=0.9$；

α_2——预应力提高系数，采用体外预应力筋加固钢筋混凝土受弯构件时，$\alpha_2=1.0$；采用体外预应力筋加固预应力混凝土构件或采用有粘结预应力筋加固钢筋混凝土或预应力混凝土受弯构件时，$\alpha_2=1.25$，当由钢筋合力产生的截面弯矩与外弯矩的方向相同时，或允许出现裂缝的预应力混凝土受弯构件，取 $\alpha_2=1.0$；

α_3——受压翼缘的影响系数，取 $\alpha_3=1.1$；

b——斜截面受压端正截面处，加固后矩形截面或T形和I形截面腹板的最终宽度（mm）；

h'_{00}——受拉区所有新旧纵向有粘结预应力钢筋和普通钢筋合力点至截面受压边缘的距离（mm），并将按本规程公式（8.2.5-3）计算的 h_{00} 代替 h'_{00}。采用体外预应力筋加固时，从原纵向受拉钢筋合力点起算，采用有粘结预应力筋加固时，从所有新旧纵向受拉钢筋合力点起算；

ρ——斜截面内纵向受拉钢筋的配筋百分数，$P=100\rho$，$\rho=(A_p+A_{pb}+A_s)/[bh'_{00}+(b'_f-b)h'_f]$，当 $P>2.5$ 时，取 $P=2.5$；

$f_{cu,k}$——边长为150mm的混凝土立方体抗压强度标准值（N/mm^2）；

ρ_{sv}——斜截面内箍筋配筋率；

f_{sv}——箍筋抗拉强度设计值（N/mm^2）；

f_{sd}——普通弯起钢筋抗拉强度设计值（N/mm^2）；

f_{pd}——有粘结预应力弯起钢筋抗拉强度设计值（N/mm^2）；

σ_{pu}——分别为体外预应力筋的极限应力（N/mm^2）；

A_{pe}——体外预应力筋的截面面积（mm^2）；

A_{sv}——斜截面内配置在同一截面的箍筋各肢总截面面积（mm^2）；

s_v——斜截面内箍筋的间距（mm）；

A_{sb}、A_{pb}——斜截面内在同一弯起平面的新旧普通弯起钢筋截面面积之和，以及新旧有粘结预应力弯起钢筋的截面面积之和（mm^2）；

θ_s、θ_p、θ_e——在斜截面受压端正截面处普通弯起钢筋、有粘结预应力弯起钢筋、体外预应力筋在竖直平面内的弯起角度（$\leqslant 45°$）。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

2 对变高度（承托）的连续梁和悬臂梁，当该界面处于变高度梁段时，应计入作用于截面的弯矩引起的附加剪应力的影响，并应按下式计算换算剪力设计值：

$$V_d = V_{cd} - \frac{M_d \times 10^3}{h'_{00}} \tan\alpha \qquad (8.2.11\text{-}7)$$

式中：V_{cd}——按等高度梁计算的计算截面的剪力组合设计值（kN）；

M_d——相应于剪力组合设计值的弯矩组合设计值（kN·m）；

α——为计算截面处梁下缘切线与水平线的夹角（°），当弯矩绝对值增加而梁高减小时，公式中的“－”改为“＋”。

3 当采用竖向预应力钢筋时，ρ_{sv}和f_{sv}应换为ρ_{pv}和f_{pd}，ρ_{pv}和f_{pd}分别为竖向预应力钢筋的配筋率和抗拉强度设计值。

8.2.12 当进行斜截面承载力验算时，斜截面水平投影长度C（图8.2.11）应按下列公式计算：

$$C = 0.6mh'_{00} \qquad (8.2.12\text{-}1)$$

$$m = M_d \times 10^3 / (V_d h'_{00}) \qquad (8.2.12\text{-}2)$$

式中：m——斜截面受压端正截面处的广义剪跨比，当$m>3.0$时，取$m=3.0$；

M_d——相应于最大剪力组合设计值V_d的弯矩组合设计值（kN·m）。

8.2.13 矩形、T形和I形截面的受弯构件，其抗剪截面验算应符合下列规定：

1 等高度连续梁抗剪截面应符合下式要求：

$$\gamma_0 V_d \leqslant 0.51 \times 10^{-3} \sqrt{f_{cu,k}}\, b h'_{00} \qquad (8.2.13)$$

2 对变高度（承托）连续梁，除验算近边支点梁段的截面尺寸外，尚应验算截面急剧变化处的截面尺寸。

8.2.14 对矩形、T形和I形截面的受弯构件，当符合下式条件时，可不进行斜截面受剪承载力验算，可按现行行业标准《公路

钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 构造要求配置箍筋：

$$\gamma_0 V_d \leqslant 0.50 \times 10^{-3} \alpha_2 f_{td} b h'_{00} \tag{8.2.14}$$

式中：f_{td}——混凝土抗拉强度设计值（N/mm²）。

8.2.15 对板式受弯构件，本规程公式（8.2.14）右边计算值可乘以 1.25 的提高系数。

（Ⅳ）持久状况正常使用极限状态计算

8.2.16 体外预应力钢筋及体内有粘结预应力钢筋引起的应力计算应符合下列规定：

1 体外预应力筋引起的应力计算应符合下列规定：

1） 体外预应力对计算截面产生的混凝土法向压应力 σ_{pc2} 和法向拉应力 σ_{pt2} 应按下式计算：

$$\sigma_{pc2} \text{ 或 } \sigma_{pt2} = \frac{N_{p2} \times 10^3}{A_0} \pm \frac{M_p \times 10^6}{I_0} y_0 \tag{8.2.16-1}$$

式中：N_{p2}、M_p——体外预应力筋极限应力计算值 σ_{pu} 相对应的预加力 N_{pu} 对计算截面产生的轴向压力（kN）、弯矩（总预矩）（kN·m），已包含对超静定结构产生的次弯矩 M_{p2}；

A_0、I_0——原计算截面的全截面换算截面面积（mm²）、惯性矩（mm⁴）；

y_0——相应换算截面重心至计算应力点处的距离（mm）。

2） 体外预应力对原预应力筋产生的应力增量应按下列公式计算：

$$\sigma_{p02} = \alpha_{EP} \sigma_{pc2} \tag{8.2.16-2}$$

$$\sigma'_{p02} = \alpha_{EP} \sigma'_{pc2} \tag{8.2.16-3}$$

式中：σ_{p02}、σ'_{p02}——体外预加力对截面受拉区、受压区原预应力筋合力点处产生的应力增量（N/mm²）；

σ_{pc2}、σ'_{pc2}——体外预加力对截面受拉区、受压区原预应力

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

筋合力点处混凝土的法向应力（N/mm^2），应按本规程公式（8.2.16-1）计算；

α_{EP}——原预应力钢筋与混凝土的弹性模量之比。

2 有粘结预应力筋引起的应力计算应符合下列规定：

1）原构件为先张法构件

由预加应力产生的混凝土法向压应力 σ_{pc1} 和拉应力 σ_{pt1}：

$$\sigma_{pc1} \text{ 或 } \sigma_{pt1} = \frac{N_{p0}}{A_0} \pm \frac{N_{p0} e_{p0}}{I_0} y_0 \qquad (8.2.16\text{-}4)$$

预应力钢筋合力点处混凝土法向应力等于零时的预应力钢筋应力 σ_{p01} 和 σ'_{p01}：

$$\left.\begin{aligned} \sigma_{p01} &= \sigma_{con} - \sigma_l + \sigma_{l4} \\ \sigma'_{p01} &= \sigma_{con} - \sigma'_l + \sigma'_{l4} \end{aligned}\right\} \qquad (8.2.16\text{-}5)$$

相应阶段预应力钢筋的有效预应力：

$$\left.\begin{aligned} \sigma_{pe} &= \sigma_{con} - \sigma_l \\ \sigma'_{pe} &= \sigma'_{con} - \sigma'_l \end{aligned}\right\} \qquad (8.2.16\text{-}6)$$

2）原构件为后张法构件

由预加力产生的混凝土法向压应力 σ_{pc1} 和拉应力 σ_{pt1}：

$$\sigma_{pc1} \text{ 或 } \sigma_{pt1} = \frac{N_p}{A_n} \pm \frac{N_p e_{pn}}{I_n} y_n \pm \frac{M_{p1}}{I_n} y_n \qquad (8.2.16\text{-}7)$$

预应力钢筋合力点处混凝土法向应力等于零时的预应力钢筋应力：

$$\left.\begin{aligned} \sigma_{p01} &= \sigma_{con} - \sigma_l + \alpha_{EP}\sigma_{pc1} \\ \sigma'_{p01} &= \sigma'_{con} - \sigma'_l + \alpha_{EP}\sigma'_{pc1} \end{aligned}\right\} \qquad (8.2.16\text{-}8)$$

相应阶段预应力钢筋的有效预应力：

$$\left.\begin{aligned} \sigma_{pe} &= \sigma_{con} - \sigma_l \\ \sigma'_{pe} &= \sigma'_{con} - \sigma'_l \end{aligned}\right\} \qquad (8.2.16\text{-}9)$$

式中：σ_{pt1}——被加固构件为预应力混凝土构件时，原预加力对计算截面受拉区产生的混凝土拉应力（N/mm^2）；

σ_{pc1}、σ'_{pc1}——被加固构件为预应力混凝土构件时，原预加力对

计算截面受拉区及受压区产生的混凝土法向压应力（N/mm^2）；

σ_{p01}、σ'_{p01}——计算截面受拉区、受压区原预应力筋合力点处混凝土法向应力等于零时原预应力筋应力（N/mm^2）；

A_n——原截面的净截面面积（mm^2），即为扣除管道等削弱部分后的混凝土全部截面面积与纵向普通钢筋截面面积换算成混凝土的截面面积之和；对不同混凝土强度等级组成的截面，应按混凝土弹性模量比值换算成同一混凝土强度等级的截面面积；

A_0——原截面的换算截面面积（mm^2），包括净截面面积A_n和全部纵向有粘结预应力钢筋截面面积换算成混凝土的截面面积；

N_{p0}、N_p——先张法构件、后张法构件的原预应力钢筋和普通钢筋合力（kN），按本规程公式（8.2.17-1）、（8.2.17-3）计算；

M_{p1}——原预加力N_p在后张法预应力混凝土连续梁等超静定结构中产生的次弯矩（kN·m）；

I_0、I_n——原截面的换算截面惯性矩（mm^4）、净截面惯性矩（mm^4）；

e_{p0}、e_{pn}——换算截面重心、净截面重心至有粘结预应力钢筋和普通钢筋合力点的距离（mm），按本规程公式（8.2.17-2）、（8.2.17-4）计算；

y_0、y_n——换算截面重心、净截面重心至计算纤维处的距离（mm）；

σ_{con}、σ'_{con}——受拉区、受压区预应力钢筋的张拉控制应力（N/mm^2），按现行行业标准《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22的规定确定；

σ_l、σ'_l——受拉区、受压区相应阶段的预应力损失值（N/mm^2），按本规程第8.2.1条至第8.2.2条规定计

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

算；使用阶段时为全部预应力损失值；

σ_{l4}、σ'_{l4}——受拉区、受压区由混凝土弹性压缩引起的预应力损失值（N/mm^2），按本规程第 8.2.2 条计算。

3 新增预加力与原预加力的有效预加力共同产生的混凝土和钢筋应力应按下列公式计算：

1） 计算截面应力点处混凝土的法向压应力：

$$\sigma_{pc}=\sigma_{pc1}+\sigma_{pc2} \tag{8.2.16-10}$$

2） 计算截面应力点处混凝土的法向拉应力：

$$\sigma_{pt}=\sigma_{pt1}+\sigma_{pt2} \tag{8.2.16-11}$$

3） 原预应力筋合力点处混凝土法向应力等于零时的预应力筋应力：

截面受拉区：$$\sigma_{p0}=\sigma_{p01}-\sigma_{p02} \tag{8.2.16-12}$$

截面受压区：$$\sigma'_{p0}=\sigma'_{p01}+\sigma'_{p02} \tag{8.2.16-13}$$

4 σ_{pc2}、σ'_{pc2}的计算应符合下列规定：

1） 当新增预加力为体外预应力筋时，σ_{pc2}与σ'_{pc2}应按本规程公式（8.2.16-1）计算；

2） 当新增预加力为体内有粘结预应力筋时，σ_{pc2}与σ'_{pc2}应按本规程公式（8.2.16-7）计算，并应以σ_{pc2}、M_{p2}代替式中的σ_{pc1}、M_{p1}或以σ'_{pc2}、M_{p2}代替式中的σ_{pt1}、M_{p1}，计算截面几何性质时计入新增受拉钢筋及混凝土作用，不考虑混凝土收缩、徐变引起的预应力损失时，并以有效预加力N_{ep}代替N_p。

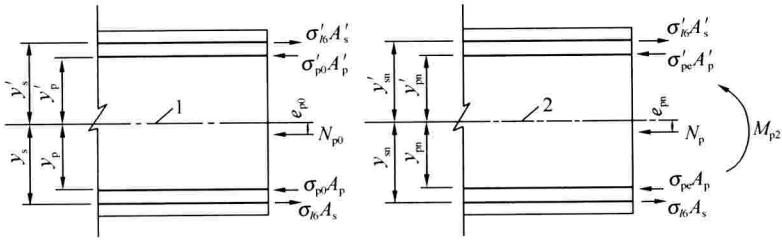
5 σ_{p01}与σ'_{p01}的计算应符合下列规定：

1） σ_{p01}与σ'_{p01}应按本规程公式（8.2.16-8）计算；

2） σ_{pc1}与σ'_{pc1}应按本规程公式（8.2.16-4）计算，并应以N_p代替式中的N_{p0}；

3） e_{p0}应按本规程公式（8.2.17-2）计算，并应以σ_{pe}、σ'_{pe}、N_p代替式中的σ_{p0}、σ'_{p0}、N_{p0}。

8.2.17 预应力钢筋和普通钢筋的合力N_{p0}、N_p及合力的偏心矩e_{p0}、e_{pn}（图 8.2.17）应按下列公式计算：



(a) 先张法构件　　(b) 后张法构件

图 8.2.17　预应力钢筋和普通钢筋合力及其偏心矩

1—换算截面重心轴；2—净截面重心轴

1　先张法构件：

$$N_{p0} = \sigma_{p0}A_p + \sigma'_{p0}A'_p - \sigma_{l6}A_s - \sigma'_{l6}A'_s \tag{8.2.17-1}$$

$$e_{p0} = \frac{\sigma_{p0}A_p y_p - \sigma'_{p0}A'_p y'_p - \sigma_{l6}A_s y_s + \sigma'_{l6}A'_s y'_s}{N_{p0}} \tag{8.2.17-2}$$

2　后张法构件：

$$N_p = \sigma_{pe}A_p + \sigma'_{pe}A'_p - \sigma_{l6}A_s - \sigma'_{l6}A'_s \tag{8.2.17-3}$$

$$e_{pn} = \frac{\sigma_{pe}A_p y_{pn} - \sigma'_{pe}A'_p y'_{pn} - \sigma_{l6}A_s y_{sn} + \sigma'_{l6}A'_s y'_{sn}}{N_p} \tag{8.2.17-4}$$

式中：σ_{p0}、σ'_{p0}——受拉区、受压区有粘结预应力钢筋合力点处混凝土法向应力等于零时的有粘结预应力钢筋应力（N/mm^2），按本规程公式（8.2.16-5）或公式（8.2.16-8）计算；

σ_{pe}、σ'_{pe}——受拉区、受压区有粘结预应力钢筋的有效预应力（N/mm^2），按本规程公式（8.2.16-6）或公式（8.2.16-9）计算；

A_p、A'_p——受拉区、受压区有粘结预应力钢筋的截面面积（mm^2）；

A_s、A'_s——受拉区、受压区普通钢筋的截面面积（mm^2）；

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

y_p、y'_p——受拉区、受压区有粘结预应力钢筋合力点至换算截面重心轴的距离（mm）；

y_s、y'_s——受拉区、受压区普通钢筋重心至换算截面重心轴的距离（mm）；

y_{pn}、y'_{pn}——受拉区、受压区有粘结预应力钢筋合力点至净截面重心轴的距离（mm）；

y_{sn}、y'_{sn}——受拉区、受压区普通钢筋重心至净截面重心轴的距离（mm）；

σ_{l6}、σ'_{l6}——受拉区、受压区预应力钢筋合力点处由混凝土收缩、徐变引起的预应力损失值（N/mm²）。

8.2.18 正截面抗裂验算应符合下列规定：

1 应按荷载短期效应和长期效应组合计算构件抗裂验算边缘混凝土的法向拉应力 σ_{st} 和 σ_{lt}：

$$\sigma_{st}=\frac{M_s}{I_0}y \tag{8.2.18-1}$$

$$\sigma_{lt}=\frac{M_l}{I_0}y \tag{8.2.18-2}$$

式中：M_s、M_l——按计算截面的荷载短期、长期效应组合计算的弯矩值（kN·m），不计汽车冲击系数；

σ_{st}、σ_{lt}——荷载短期、长期效应组合下构件抗裂验算边缘混凝土的法向拉应力（N/mm²）；

I_0、y——张拉预应力筋时全截面的换算截面惯性矩（mm⁴）、换算截面重心至受拉边缘的距离（mm），体外预应力筋加固时只按原截面尺寸及原配筋计算截面几何性质。有粘结预应力筋加固时该预应力筋增计到原截面几何性质中。

2 应按构件抗裂验算边缘混凝土的法向拉应力 σ_{st} 和 σ_{lt} 分类进行抗裂验算：

1）加固后成为全预应力的混凝土构件，应符合下列规定：

整体浇筑或整体预制构件：

$$\sigma_{st}-0.90\sigma_{pc}\leqslant 0 \tag{8.2.18-3}$$

分段浇筑或分段拼装的构件：

$$\sigma_{st}-0.85\sigma_{pc}\leqslant 0 \tag{8.2.18-4}$$

2）加固后成为A类预应力的混凝土构件，应符合下列公式要求：

$$\sigma_{st}-\sigma_{pc}\leqslant 0.75f_{tk} \tag{8.2.18-5}$$

$$\sigma_{lt}-\sigma_{pc}\leqslant 0 \tag{8.2.18-6}$$

式中：f_{tk}——混凝土的抗拉强度标准值（N/mm^2）；

σ_{pc}——新增预加力与原预加力共同产生的截面抗裂验算边缘混凝土预压应力（N/mm^2），按本规程公式（8.2.16-10）计算。

3）对加固后成为B类预应力混凝土构件，应满足下式要求，并应按本规程第8.2.22条验算裂缝宽度。

$$\sigma_{Gd}=\frac{M_{Gd}}{I_0}y<\sigma_{pc} \tag{8.2.18-7}$$

式中：M_{Gd}——结构自重作用下控制截面弯矩（kN·m）；

σ_{Gd}——结构自重作用下控制截面受拉边缘混凝土的拉应力（N/mm^2）。

8.2.19 斜截面抗裂验算应符合下列规定：

1 当预应力加固后成为全预应力混凝土构件时，在作用（或荷载）短期效应组合下的抗裂验算应符合下列公式要求：

整体浇筑或整体预制：

$$\sigma_{tp}\leqslant 0.65f_{tk} \tag{8.2.19-1}$$

分段浇筑或分段拼装：

$$\sigma_{tp}\leqslant 0.45f_{tk} \tag{8.2.19-2}$$

2 当预应力加固后成为A类和B类预应力混凝土构件时，在作用（或荷载）短期效应组合下斜截面抗裂验算应符合下列公要求：

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

整体浇筑或整体预制：

$$\sigma_{tp} \leqslant 0.75 f_{tk} \tag{8.2.19-3}$$

分段浇筑或分段拼装构件：

$$\sigma_{tp} \leqslant 0.55 f_{tk} \tag{8.2.19-4}$$

式中：f_{tk}——混凝土抗拉强度标准值（N/mm^2）；

σ_{tp}——预应力混凝土受弯构件斜截面上由作用（或荷载）短期效应组合和预加力引起的混凝土主拉应力（N/mm^2），按本规程第 8.2.20 条计算。

8.2.20 混凝土主拉应力 σ_{tp} 和主压应力 σ_{cp} 应按下列公式计算：

$$\sigma_{tp} = \frac{\sigma_{cx} + \sigma_{cy}}{2} - \sqrt{\left(\frac{\sigma_{cx} + \sigma_{cy}}{2}\right)^2 + \tau^2} \tag{8.2.20-1}$$

$$\sigma_{cp} = \frac{\sigma_{cx} + \sigma_{cy}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{cx} + \sigma_{cy}}{2}\right)^2 + \tau^2} \tag{8.2.20-2}$$

$$\sigma_{cx} = \sigma_{pc} + \frac{M_s y_0}{I_0} \tag{8.2.20-3}$$

$$\sigma_{cy} = 0.6 \frac{n\sigma'_{pe} A_{pv}}{b s_v} \tag{8.2.20-4}$$

$$\tau = \frac{V_s S_0}{b I_0} - \frac{\Sigma \sigma''_{pe} A_{pb} \sin\theta_p \cdot S_n}{b I_n} \tag{8.2.20-5}$$

式中：σ_{cx}——在计算主应力点，由新旧预加力及按作用（或荷载）短期效应组合计算的弯矩 M_s 产生的混凝土法向应力总和（N/mm^2）；

σ_{cy}——由竖向预应力钢筋的预加力产生的混凝土竖向压应力（N/mm^2）；

σ_{pc}——在计算主应力点，扣除全部预应力损失后由纵向新旧预加力的有效预加力共同产生的混凝土法向预压应力（N/mm^2），按本规程公式（8.2.16-10）计算；

y_0——换算截面重心轴至计算主应力点的距离（mm）；

n——在同一截面上竖向预应力钢筋的肢数；

σ'_{pe}、σ''_{pe}——竖向预应力钢筋、新旧有粘结纵向预应力弯起钢筋扣除全部预应力损失后的有效预应力（N/mm²），按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 规定计算；

A_{pv}——单肢竖向预应力钢筋的截面面积（mm²）；

s_v——竖向预应力钢筋的间距（mm）；

b——计算主应力点处构件腹板的宽度（mm）；

M_s——计算截面处按作用（或荷载）短期效应组合计算的弯矩（kN·m）；

V_s——计算截面处按作用（或荷载）短期效应组合计算的剪力（kN）；

A_{pb}——计算截面上同一弯起平面内新旧有粘结预应力弯起钢筋的截面面积（mm²）；

S_0、S_n——计算主应力点以上（或以下）部分换算截面面积对换算截面重心轴、净截面面积对净截面重心轴的面积矩（mm³）；

θ_p——计算截面上新旧有粘结预应力弯起钢筋的切线与构件纵轴线的夹角（°）；

τ——在计算主应力点，由新旧预应力弯起钢筋的预加力及 V_s 产生的混凝土剪应力总和（N/mm²）。对后张预应力混凝土超静定结构，在计算剪应力时，尚宜计入预加力引起的次剪力，当计算截面作用有扭矩时，尚应计入由扭矩引起的剪应力，按本规程第 8.2.21 条计算。

8.2.21 当计算主应力点的混凝土剪应力 τ 时，若计算截面作用有扭矩，则应叠加扭矩引起的剪应力 τ_t，并应符合下列规定：

1 剪应力 τ_t 应按下式计算：

$$\tau_t = \frac{T}{W_t} \tag{8.2.21-1}$$

式中：T——计算截面处的扭矩（kN·m）；

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

W_t——抗扭抵抗矩（mm^3）。

2 W_t 计算应符合下列公式要求：

1）对高和宽分别为 h 和 b 的矩形截面梁：

$$W_t=\beta b^3 \tag{8.2.21-2}$$

式中：β——截面尺寸系数，取值与 h 和 b 的比值有关，应按照相关规定取用。

2）对 T 形、I 形开口截面梁：

$$W_t=\frac{\eta}{3t}\sum_{i=1}^{n}l_i t_i^3 \tag{8.2.21-3}$$

式中：l_i——每一狭长矩形组成部分的边长（mm）；

t_i——厚度（mm）；

t——应力计算点处腹板的厚度（mm）；

η——修正系数，当截面各组成部分连接部位有承托设置时，T 形截面 $\eta=1.15$，I 字形截面 $\eta=1.2$；i、n 分别为组成截面的第 i 部分狭长矩形及狭长矩形的总数量。

3）对闭口箱形截面：

$$W_t=2A_0 t \tag{8.2.21-4}$$

式中：t——应力计算点处箱壁厚度（mm）；

A_0——闭口截面中心线所围成的面积（mm^2）。

8.2.22 裂缝宽度验算应符合下列规定：

1 对加固后为 B 类预应力混凝土构件，应限制裂缝宽度，其最大裂缝宽度 w_{fk} 应按下式计算：

$$w_{fk}=C_1C_2C_3\frac{\sigma_{ss}}{E_s}\left(\frac{30+d}{0.28+10\rho}\right) \tag{8.2.22-1}$$

式中：w_{fk}——最大裂缝宽度（mm）；

C_1——钢筋表面形状系数，对光面钢筋，$C_1=1.4$，对带肋钢筋，$C_1=1.0$；

C_2——作用（或荷载）长期效应影响系数，$C_2=1+0.5\frac{N_l}{N_s}$，其中 N_l 和 N_s 分别为按作用（或荷载）长期

效应组合和短期效应计算的内力值，含无粘结预应力筋产生的内力（受弯构件为弯矩）；

C_3——与构件受力性质有关的系数，当为钢筋混凝土板式受弯构件时，$C_3=1.15$，其他受弯构件 $C_3=1.0$；

d——等效纵向受拉钢筋直径（mm），按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 规定计算；

ρ——按有效受拉混凝土截面面积计算的新旧纵向受拉普通钢筋和有粘结预应力筋的等效配筋率，对钢筋混凝土构件，当 $\rho>0.02$ 时，取 $\rho=0.02$；当 $\rho<0.006$ 时，取 $\rho=0.006$，体外预应力筋加固时不计入；

E_s——采用有粘结受拉预应力钢筋和普通钢筋截面积较大者的弹性模量（N/mm^2）；

σ_{ss}——等效纵向受拉钢筋合力点处的钢筋拉应力（N/mm^2）。

2 等效纵向受拉钢筋合力点处的钢筋拉应力 σ_{ss} 应分别按下列 4 种情况进行计算：

1） 体外预应力筋加固钢筋混凝土受弯构件纵向受拉钢筋的等效应力 σ_{ss} 应按下列公式计算：

$$\sigma_{ss}=\frac{N_s\times 10^3(e_s-z)}{A_s z} \tag{8.2.22-2}$$

$$e_s=\eta_s e_0+y_s \tag{8.2.22-3}$$

$$z=\left[0.87-0.12(1-\gamma'_f)\left(\frac{h'_{00}}{e_s}\right)^2\right]h'_{00} \tag{8.2.22-4}$$

$$\eta_s=1+\frac{1}{4000e_0/h'_{00}}\left(\frac{l_0}{h}\right)^2 \tag{8.2.22-5}$$

$$e_0=\frac{M_s\pm M_{p2}}{N_s}\times 10^3 \tag{8.2.22-6}$$

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

$$r'_f = \frac{(b'_f - b)h'_f}{bh'_{00}} \tag{8.2.22-7}$$

式中：N_s——按作用短期效应组合计算的轴向力值（kN），对钢筋混凝土构件，$N_s = N_{p2}$；

N_{p2}——体外预应力筋极限应力计算值 σ_{pu} 相对应的预加力 N_{pu} 对计算截面产生的轴向压力（kN）；

e_s——轴向压力 N_s 作用点至原纵向普通受拉钢筋合力点的距离（mm）；

z——原纵向普通受拉钢筋合力点至截面受压区合力点的距离（mm）；

η_s——使用阶段的轴向压力偏心距增大系数，当 $l_0/h \leqslant 14$ 时，η_s 为 1.0；

e_0——按作用短期效应组合计算的偏心距（mm）；

M_s——按作用短期效应组合计算的弯矩值（kN·m）；

M_{p2}——体外预应力筋预加力 N_{pu} 对超静定结构产生的次弯矩（kN·m），与 M_s 作用方向相同时取正号，相反时取负号；

y_s——原全截面换算截面的重心至原受拉钢筋重心的距离（mm）；

A_s——原受拉普通钢筋截面面积（mm^2）；

h'_{00}——受拉区所有新旧纵向有粘结预应力钢筋和普通钢筋合力点至截面受压边缘的距离（mm），并将按本规程公式（8.2.5-3）计算的 h_{00} 代替 h'_{00}。采用体外预应力筋加固时，从原纵向受拉钢筋合力点起算，采用有粘结预应力筋加固时，从所有新旧纵向受拉钢筋合力点起算；

r'_f——受压翼板截面积与腹板有效截面积之比，矩形截面时，$r'_f = 0$；

b、h——梁或腹板宽度及高度（mm）；

b'_f、h'_f——受压翼板宽度和厚度（mm）；

l_0——构件的计算长度（mm）。

2）有粘结预应力筋加固钢筋混凝土受弯构件纵向受拉钢筋的等效应力 σ_{ss} 应按下列公式计算：

$$\sigma_{ss}=\frac{(M_s\pm M_{p3})\times 10^6-N_{p0}\times 10^3(z-e_p)}{A_{sp}z} \tag{8.2.22-8}$$

$$e=e_p+\frac{M_s\pm M_{p3}}{N_{p0}}\times 10^3 \tag{8.2.22-9}$$

$$N_{p0}=N_{ep}\left[1+\alpha_{EP}A_{ep}\left(\frac{1}{A_0}+\frac{y_{p0}^2}{I_0}\right)\right] \tag{8.2.22-10}$$

式中：M_{p3}——新增有粘结筋的有效预加力 N_{ep} 在超静定结构中产生的次弯矩（kN·m），与 M_s 作用方向相同时取正号，相反时取负号；

N_{p0}——计算截面处混凝土法向应力等于零时，新增预应力钢筋和所有新旧普通钢筋的合力（kN）；

z——受拉区所有新旧纵向普通钢筋和新增有粘结预应力钢筋合力点至截面受压区合力点的距离（mm），按本规程公式（8.2.22-4）计算，并将按公式（8.2.22-9）计算的 e 代替 e_s；

e_p——合力 N_{p0} 作用点至受拉区新增预应力钢筋和所有新旧普通钢筋合力点的距离（mm）。当不考虑受压区普通钢筋时，$e_p=0$；

A_{sp}——新增有粘结预应力筋截面积 A_{ep} 与原纵向受拉普通钢筋截面积 A_s 之和（mm^2）；

A_{ep}、N_{ep}——分别为新增有粘结预应力钢筋的截面面积（mm^2）及有效预加力（kN）；

α_{EP}——新增有粘结预应力钢筋与混凝土的弹性模量之比；

A_0、I_0——含新增混凝土截面积和有粘结预应力钢筋在内的换算截面面积（mm^2）、换算截面惯性矩（mm^4）；

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

y_{p0}——预应力钢筋和普通钢筋合力点至换算截面重心轴的距离（mm）。

3） 体外预应力筋加固预应力混凝土受弯构件纵向受拉钢筋的等效应力 σ_{ss} 应按下列公式计算：

$$\sigma_{ss}=\frac{(M_s\pm M_{p1}\pm M_{p2})\times 10^6-N_{p0}\times 10^3(z-e_{ps})}{A_{ps}z} \tag{8.2.22-11}$$

$$e_{ps}=(N_{p01}e_{p1}+N_{p02}e_{p2})/N_{p0} \tag{8.2.22-12}$$

$$e_{p1}=\frac{1}{N_{p01}\times 10^3}[\sigma'_{l6}A'_s(h'_{00}-a'_s)-\sigma'_{p0}A'_p(h'_{00}-a'_p)] \tag{8.2.22-13}$$

$$e_{p2}=\eta_s e_0+y_{ps} \tag{8.2.22-14}$$

$$e_0=\frac{M_s\pm M_{p2}}{N_{p02}}\times 10^3 \tag{8.2.22-15}$$

$$e=e_{ps}+\frac{M_s\pm M_{p1}\pm M_{p2}}{N_{p0}}\times 10^3 \tag{8.2.22-16}$$

$$N_{p0}=N_{p01}+N_{p02} \tag{8.2.22-17}$$

式中：M_{p1}——原有粘结预应力筋对超静定结构产生的次弯矩（kN·m），与 M_s 作用方向相同时取正号，相反时取负号；

M_{p2}——体外预应力筋预加力 N_{pu} 对超静定结构产生的次弯矩（kN·m），与 M_s 作用方向相同时取正号，相反时取负号；

N_{p0}——计算截面处混凝土法向应力等于零时，新增体外预应力筋、原有粘结预应力钢筋和普通钢筋的合力（kN）；

N_{p01}——原有粘结预加力作用下混凝土法向应力等于零时原预应力钢筋和普通钢筋的合力（kN），根据构件是先张法构件或是后张法构件均按本规程公式（8.2.17-1）计算，并结合本规程第 8.2.16 条第

2款及第5款的规定计算；当原预应力混凝土受弯构件的受拉区和受压区都设置有预应力筋时，计入混凝土收缩、徐变对原有粘结预应力筋产生的预应力损失 σ_{l6} 和 σ'_{l6}；

N_{p02}——体外预应力筋作用下混凝土法向应力等于零时体外预应力钢筋的合力（kN），不计原构件混凝土收缩和徐变对体外筋产生的应力损失且不考虑受压区原预应力筋作用时，实际上为无粘结筋的有效预拉力 $\sigma_{pe}A_{pe}$；

A_{ps}——原预应力钢筋和原普通受拉钢筋截面积之和（mm^2）；

A'_s、A'_p——截面受压区普通钢筋及预应力钢筋截面积（mm^2）；

a'_s、a'_p——截面受压区普通钢筋至截面受压边缘的距离及预应力钢筋至截面受压边缘的距离（mm）；

σ'_{p0}——受压区原预应力钢筋合力点处混凝土法向应力等于零时的预应力钢筋应力（N/mm^2），按本规程第8.2.16条计算；

σ'_{l6}——受压区预应力钢筋合力点处由混凝土收缩、徐变引起的预应力损失值（N/mm^2）；

e_{ps}——合力 N_{p0} 作用点至截面受拉区纵向有粘结预应力钢筋和普通钢筋合力点的距离（mm）；

e_{p1}——计算截面处混凝土法向应力等于零时原有粘结纵向预应力钢筋和普通钢筋的合力 N_{p01} 的作用点至受拉区原纵向预应力钢筋和普通钢筋合力点的距离（mm）；

e_{p2}——体外预应力筋作用下合力 N_{p02} 的作用点至截面受拉区原纵向预应力钢筋和普通钢筋合力点的距离（mm）；

y_{ps}——原换算截面重心至截面受拉区原纵向预应力钢筋和普通钢筋合力点的距离（mm）；

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

z——受拉区原纵向普通钢筋和原预应力钢筋合力点至截面受压区合力点的距离（mm），按本规程公式（8.2.22-4）计算，并将按公式（8.2.22-16）计算的 e 代替 e_s。

4）有粘结预应力筋加固预应力混凝土受弯构件纵向受拉钢筋的等效应力 σ_{ss} 应按下式计算：

$$\sigma_{ss}=\frac{(M_s\pm M_{p1}\pm M_{p3})\times 10^6-N_{p0}\times 10^3(z-e_{ps})}{A_{ps1}z} \tag{8.2.22-18}$$

式中：N_{p0}——计算截面处混凝土法向应力等于零时，所有新旧纵向有粘结预应力筋及普通钢筋的合力（kN），将 N_{p02} 用 N_{p03} 代替并按公式（8.2.22-17）计算；

N_{p03}——新增有粘结预应力筋作用下混凝土法向应力等于零时新增预应力钢筋和普通钢筋的合力（kN），仅按后张法构件考虑，且不计入混凝土的收缩、徐变应力损失 σ_{l6} 和 σ'_{l6}，当不考虑受压区原预应力钢筋作用时，N_{p03} 仅为新增预应力筋的拉力，用 N_{p03} 代替 N_{p0} 按本规程公式（8.2.22-10）计算，截面几何性质 A_0、I_0 计算时应计入所有新旧纵向预应力钢筋和普通钢筋的换算面积；

M_{p3}——新增有粘结预应力筋对超静定结构产生的次弯矩（kN·m），与 M_s 作用方向相同时取正号，相反时取负号；

A_{ps1}——包含所有新旧纵向有粘结预应力钢筋和普通钢筋的截面积（mm^2）；

z——计算截面处受拉区所有新旧有粘结纵向预应力钢筋和普通钢筋合力点至截面受压区合力点的距离（mm）。

8.2.23 对采用预应力加固后仍带裂缝工作的混凝土受弯构件，其裂缝宽度的限值应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应

力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 的规定，并应符合下列规定：

1 体外预应力筋加固钢筋混凝土构件时，应符合钢筋混凝土构件的裂缝宽度限值。

2 体外预应力筋加固预应力混凝土构件时，应符合预应力混凝土构件裂缝宽度限值。

3 有粘结预应力筋加固钢筋混凝土构件或预应力混凝土构件时，应符合预应力混凝土构件的裂缝宽度限值。

8.2.24 钢筋混凝土和预应力混凝土受弯构件正常使用极限状态下的挠度计算应符合下列规定：

1 全预应力混凝土或 A 类预应力混凝土构件刚度应按下式计算：

$$B_0 = 0.95E_cI_0 \tag{8.2.24-1}$$

2 B 类预应力混凝土构件刚度应按下列公式计算：

在开裂弯矩 M_{cr} 作用下：

$$B_0 = 0.95E_cI_0 \tag{8.2.24-2}$$

在（$M_s - M_{cr}$）作用下：

$$B_{cr} = E_cI_{cr} \tag{8.2.24-3}$$

3 截面开裂弯矩 M_{cr} 应按下式计算：

$$M_{cr} = \left(\sigma_{pc} + \frac{2S_0}{W_0}f_{tk}\right)W_0 \tag{8.2.24-4}$$

式中：S_0——全截面换算截面重心轴以上（或以下）部分面积对重心轴的面积矩（mm^3）；

W_0——换算截面抗裂边缘的弹性抵抗矩（mm^3）；

I_{cr}——开裂截面的换算截面惯性矩（mm^4）；

f_{tk}——混凝土抗拉强度标准值（N/mm^2）；

σ_{pc}——新增预加力与原预加力的有效预加力共同产生的构件抗裂验算边缘混凝土的预压应力（N/mm^2），按本规程公式（8.2.16-10）计算。

8.2.25 预应力加固受弯构件持久状况使用阶段，应验算正截面混凝土的最大法向压应力 σ_{cc}、正截面受拉区新旧预应力钢筋的

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

总拉应力 σ_{pk} 和 σ_{pp}、斜截面混凝土的主压应力 σ_{cp}。

8.2.26 体外预应力筋加固钢筋混凝土受弯构件持久状况条件下，应验算正截面混凝土最大法向压应力 σ_{cc} 和斜截面的主压应力 σ_{cp}，并应符合下列规定：

1 当加固后的构件为全预应力混凝土或A类预应力混凝土受弯构件时，由作用标准值对截面受压边缘产生的混凝土法向压应力 σ_{kc} 应按下列公式计算：

$$\sigma_{kc} = \frac{M_k}{I_0} y_0 \tag{8.2.26-1}$$

$$M_k = M_G + M_q \tag{8.2.26-2}$$

正截面混凝土的法向总压应力 σ_{cc} 应按下式计算：

$$\sigma_{cc} = \sigma_{kc} + \sigma_{pt} \tag{8.2.26-3}$$

式中：M_k——作用标准值组合计算的弯矩值（kN·m）；

M_G——除预加力外的永久作用产生的弯矩（kN·m）；

M_q——计入汽车冲击系数的汽车荷载及温度作用等可变作用产生的弯矩（kN·m）；

I_0——包含全部有粘结受拉钢筋在内的全截面换算截面的惯性矩（mm^4）；

y_0——原截面换算截面重心轴至受压区边缘的距离（mm）；

σ_{pt}——体外预应力筋的预加力对截面受压边缘产生的混凝土法向拉应力，用 σ_{pt} 代替式（8.2.16-1）中的 σ_{pt2} 计算。当 σ_{pt} 的应力方向与 σ_{kc} 相反时，取负数。

2 当加固后的构件成为允许开裂的B类预应力混凝土受弯构件时，可将构件作为压弯构件，直接按大偏心受压构件计算出截面受压边缘混凝土的最大法向压应力 σ_{cc}，并应符合下列规定：

1） T形或I字形截面开裂截面的换算截面中性轴至截面受压边缘的距离 x 应按下列公式计算：

$$Ax^3 + Bx^2 + Cx + D = 0 \tag{8.2.26-4}$$

$$A = b \tag{8.2.26-5}$$

$$B = 3be_N \tag{8.2.26-6}$$

$$C = 6\alpha_{ES}[(e_N + a'_s)A'_s + (e_N + h_s)A_s] + 3(b'_f - b)(2e_N + h'_f)h'_f \tag{8.2.26-7}$$

$$D = -6\alpha_{ES}[a'_s(e_N + a'_s)A'_s + h_s(e_N + h_s)A_s] - (b'_f - b)(3e_N + 2h'_f)(h'_f)^2 \tag{8.2.26-8}$$

$$e_N = (M_k \pm M_{p2})/N_{p0} - c \tag{8.2.26-9}$$

式中：b、b'_f、h'_f——分别为梁肋宽度、受压翼缘宽度及厚度（mm），矩形截面时，$b'_f = b$；

A_s、h_s——分别为原受拉钢筋截面积及其重心至截面受压边缘的距离（mm）；

A'_s、a'_s——分别为原受压钢筋截面积及其重心至截面受压边缘的距离（mm）；

α_{ES}——原构件普通钢筋的弹性模量与混凝土弹性模量之比；

e_N——轴向力作用点至截面受压边缘的距离（mm）；

c——开裂换算截面重心轴至截面受压边缘的距离（mm）；

M_{p2}——计算截面处体外有效预加力对超静定结构产生的次弯矩（kN·m），与 M_k 作用方向相同时取正号，相反时取负号；

N_{p0}——混凝土法向应力等于零时预应力钢筋和普通钢筋的合力，不计原构件混凝土收缩、徐变应力损失时 $N_{p0} = N_{p2}$。

2）正截面受压区混凝土最大压应力 σ_{cc} 应按下列公式计算：

$$\sigma_{cc} = \frac{N_{p0} \cdot x}{S_o} \tag{8.2.26-10}$$

$$S_o = \frac{1}{2}b'_f x^2 - \frac{1}{2}(x - h'_f)^2(b'_f - b) + \alpha_{ES}A'_s(x - a'_s) - \alpha_{ES}A_s(h_s - x) \tag{8.2.26-11}$$

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

式中：S_o——最终形成的计算开裂截面的换算截面对其中性轴的静矩（mm^3）。

3 斜截面的主压应力 σ_{cp} 计算应符合下列规定：

1） 作用标准值组合及预加力产生的混凝土主压应力 σ_{cp}，应按本规程公式（8.2.20-2）计算，式中 M_s、V_s 应为计算截面处的作用标准值组合计算弯矩值 M_k 及相应的剪力值 V_k。

2） 计算主应力点的混凝土法向应力总和 σ_{cx} 应按本规程公式（8.2.20-3）计算，式中的 σ_{pc} 应按本规程公式（8.2.16-1）的 σ_{pc2} 计算。

3） 当计算截面作用有扭矩时，计算主应力点的混凝土剪应力 τ 应叠加按本规程公式（8.2.21-1）计算扭矩引起的剪应力。

8.2.27 体外预应力筋加固预应力混凝土受弯构件持久状况条件下，应验算正截面混凝土的最大法向应力 σ_{cc}、斜截面主压应力 σ_{cp}、原有粘结预应力钢筋的总拉应力 σ_{pp}，并应符合下列规定：

1 当加固后的构件为全预应力混凝土和 A 类预应力混凝土受弯构件时，体外预加力对正截面混凝土的法向最大压应力 σ_{cc}、原预应力钢筋总拉应力 σ_{pp} 计算应符合下列规定：

1） 受压边缘混凝土产生的法向拉应力 σ_{pt} 应按本规程公式（8.2.16-11）计算，其中 σ_{pt1} 应根据原构件是先张法或是后张法预应力混凝土构件按本规程第 8.2.16 条及第 8.2.17 条计算，σ_{pt2} 应按本规程公式（8.2.16-1）计算。

2） σ_{cc} 应按本规程公式（8.2.26-3）计算，其中 σ_{kc} 按本规程公式（8.2.26-1）计算。

3） σ_{pp} 应按下列公式计算：

$$\sigma_{pp} = \sigma_{ep1} \pm \sigma_{p} \tag{8.2.27-1}$$

$$\sigma_{p} = \sigma_{p1} \pm \sigma_{p02} \tag{8.2.27-2}$$

$$\sigma_{pl} = \alpha_{EP} \frac{M_k}{I_0} y_p \qquad (8.2.27\text{-}3)$$

式中：σ_{epl}——原有粘结受拉预应力筋的有效预应力（N/mm^2），按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 的规定计算；

σ_{pl}——作用标准值产生的原有粘结预应力钢筋应力增量（N/mm^2）；

σ_{p02}——新增预应力筋对原预应力钢筋产生的应力增量（N/mm^2），按本规程公式（8.2.16-2）或本规程公式（8.2.16-3）计算；

y_p——最终形成的计算截面换算截面重心轴至最外层有粘结受拉预应力钢筋重心的距离（mm）；

I_0——包含全部有粘结受拉钢筋在内的全截面换算截面惯性矩（mm^4）。

2 当加固后的构件为允许开裂的 B 类预应力混凝土受弯构件时，正截面混凝土的最大法向压应力 σ_{cc}、原预应力钢筋总拉应力 σ_{pp} 计算应符合下列规定：

1） 开裂截面的换算截面中性轴至截面受压边缘的距离 x 应按本规程公式（8.2.26-4）计算，其中 C、D 参数应按下列公式计算：

$$C = 6\alpha_{EP}[(e_N + a'_p)A'_p + (e_N + h_p)A_p] + 6\alpha_{ES}[(e_N + a'_s)A'_s + (e_N + h_s)A_s] + 3(b'_f - b)(2e_N + h'_f)h'_f \qquad (8.2.27\text{-}4)$$

$$D = -6\alpha_{EP}[a'_p(e_N + a'_p)A'_p + h_p(e_N + h_p)A_p] - 6\alpha_{ES}[a'_s(e_N + a'_s)A'_s + h_s(e_N + h_s)A_s] - (b'_f - b)(3e_N + 2h'_f)(h'_f)^2 \qquad (8.2.27\text{-}5)$$

式中：A_p、A'_p——分别为截面受拉区和受压区原预应力钢筋截面积（mm^2）；

h_p、a'_p——分别为截面受拉区和受压区原预应力钢筋重心至受压区边缘的距离（mm）；

α_{EP}——原预应力钢筋与混凝土的弹性模量之比。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

2）开裂截面的换算截面对其中性轴的静矩 S_0 应按下式计算：

$$S_0=\frac{1}{2}b'_f x^2-\frac{1}{2}(x-h'_f)^2(b'_f-b)+\alpha_{ES}A'_s(x-a'_s)$$
$$-\alpha_{ES}A_s(h_s-x)+\alpha_{EP}A'_p(x-a'_p)-\alpha_{EP}A_p(h_p-x) \quad (8.2.27\text{-}6)$$

3）σ_{cc} 应按本规程公式（8.2.26-10）和下式计算：

$$N_{P0}=N_{p01}+N_{p02} \quad (8.2.27\text{-}7)$$

式中：N_{p01}——原有粘结预应力筋预加力作用对计算截面产生的合力（kN），根据原构件是后张法或先张法预应力混凝土受弯构件，并考虑混凝土收缩、徐变引起的预应力损失，按本规程第 8.2.17 条中 N_{p0} 的规定计算。

N_{p02}——新增体外预应力筋的预加力对计算截面产生的合力（kN），后张法构件不计原构件混凝土收缩、徐变应力损失，且不考虑受压区原预应力筋作用。

4）原有粘结预应力钢筋的拉应力增量应按下式计算：

$$\sigma_p=\alpha_{EP}\sigma_{cc}\frac{h_p-x}{x} \quad (8.2.27\text{-}8)$$

式中：h_p——截面受拉区原预应力钢筋重心至截面受压边缘的距离（mm），当截面受拉区有多层预应力钢筋时，h_p 取最外层预应力钢筋重心至截面受压边缘的距离。

5）原预应力筋总拉应力按本规程公式（8.2.27-1）计算。

3 斜截面的主压应力 σ_{cp} 计算应符合下列规定：

1）作用标准值组合及预加力产生的混凝土主压应力 σ_{cp} 应按本规程公式（8.2.20-2）计算，式中 M_s、V_s 应为计算截面处的作用标准值组合计算弯矩值 M_k 及相应的剪力值 V_k。

2）计算主应力点的混凝土法向应力总和 σ_{cx} 应按本规程公

式（8.2.20-3）计算，式中的 σ_{pc} 应由新旧预加力产生的混凝土法向应力 σ_{pc2} 和 σ_{pc1} 组成，可按本规程公式（8.2.16-10）计算。

3）当计算截面作用有扭矩时，计算主应力点的混凝土剪应力 τ 应叠加按本规程公式（8.2.21-1）计算扭矩引起的剪应力。

8.2.28 有粘结预应力筋加固钢筋混凝土受弯构件持久状况条件下，应验算正截面受压区混凝土的最大法向应力 σ_{cc}、斜截面主压应力 σ_{cp}、新增有粘结预应力筋总拉应力 σ_{pk}，并应符合下列规定：

1 当加固后构件为全预应力混凝土和A类预应力混凝土受弯构件时，正截面受压区混凝土的最大法向应力 σ_{cc}、新增有粘结预应力筋总拉应力 σ_{pk} 计算应符合下列规定：

1）σ_{kc} 应按本规程公式（8.2.26-1）计算，截面几何性质应计入新增受拉钢筋及混凝土。

2）σ_{pt} 应代替本规程公式（8.2.16-7）中的 σ_{pt1} 计算，并应用新增有粘结预应力钢筋的有效预加力 N_{ep} 和计算截面处 N_{ep} 对超静定结构产生的次弯矩 M_{p2} 代替式中的 N_p、M_{p1}。

3）正截面混凝土的法向总压应力 σ_{cc} 应按本规程式（8.2.26-3）计算。

4）由作用标准值组合计算弯矩值产生的预应力钢筋的应力增量 σ_p 应按本规程公式（8.2.27-3）中的 σ_{p1} 计算。

5）新增有粘结预应力筋总拉应力 σ_{pk} 应按下式计算：

$$\sigma_{pk}=\sigma_{ep2}+\sigma_{p} \tag{8.2.28-1}$$

式中：σ_{ep2}——新增有粘结预应力钢筋的有效预应力（N/mm^2），按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 的规定计算。

2 当加固后构件为允许开裂的B类预应力混凝土受弯构件时，正截面受压区混凝土的最大法向应力 σ_{cc} 计算应符合下列

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

规定：

1） σ_{cc}应按本规程公式（8.2.26-10）计算，换算截面对中性轴的静矩 S_0 应按本规程公式（8.2.27-6）计算，换算截面中性轴至截面受压边缘的距离 x 应按本规程式（8.2.26-4）计算，其中的参数 C、D 按本规程公式（8.2.27-4）、公式（8.2.27-5）计算，应将原有粘结预应力钢筋改为新增有粘结预应力钢筋。

2） 混凝土法向应力等于零时预应力钢筋和普通钢筋的合力 N_{p0} 应按下列公式计算：

$$N_{p0} = \sigma_{p0} A_{ep} \tag{8.2.28-2}$$

$$\sigma_{p0} = \sigma_{ep2} + \alpha_{EP}\left(\frac{N_{ep}}{A_0} + \frac{N_{ep}}{I_0} y_p^2 \pm \frac{M_{p2}}{I_0} y_{p0}\right) \tag{8.2.28-3}$$

式中：σ_{p0}——受拉区预应力钢筋合力点处混凝土法向应力等于零时的预应力钢筋应力（N/mm^2）；

σ_{ep2}——新增有粘结预应力钢筋的有效预应力（N/mm^2）；

N_{ep}——新增有粘结预应力钢筋的有效预加力（kN）；

M_{p2}——计算截面处体外有效预加力对超静定结构产生的次弯矩（kN·m）；

y_p——最终形成的计算截面换算截面重心轴至最外层有粘结受拉预应力钢筋重心的距离（mm）；

y_{p0}——最终形成的换算截面重心轴至新增有粘结预应力钢筋合力点的距离（mm）；

A_0、I_0——分别为最终形成的混凝土与所有纵向钢筋的换算截面面积（mm^2）及惯性矩（mm^4）；

A_{ep}——为新增有粘结预应力筋的截面积（mm^2）。

3） 新增有粘结预应力钢筋的拉应力增量 σ_p 应按本规程公式（8.2.27-8）计算，式中的 h_p 应为最外层新增有粘结预应力筋束重心至截面受压边缘的距离。

4） 新增有粘结预应力筋宜在截面受拉区设置，且不计混凝土收缩、徐变应力损失，σ_{p0} 应按本规程公式

（8.2.28-3）计算。

5）新增预应力筋总拉应力 σ_{pk} 应按下式计算：

$$\sigma_{pk}=\sigma_{p0}+\sigma_{p} \tag{8.2.28-4}$$

3 斜截面的主压应力 σ_{cp} 计算应符合下列规定：

1）作用标准值组合及预加力产生的混凝土主压应力 σ_{cp} 应按本规程公式（8.2.20-2）～本规程公式（8.2.20-5）计算，式中 M_s、V_s 应为计算截面处的作用标准值组合计算弯矩值（$M_k \pm M_{p2}$）及相应的剪力值 V_k，M_{p2} 为新增预加力 N_{p0} 在超静定结构中产生的次弯矩，与 M_k 方向相同时取正号，相反时取负号。

2）计算主应力点的混凝土法向应力总和 σ_{cx} 应按本规程公式（8.2.20-3）计算，式中新增预加力对计算主应力点的混凝土法向预压应力 σ_{pc} 应按本规程式（8.2.16-7）的 σ_{pc1} 计算，并应用 N_{ep} 和 M_{p2} 代替式中的 N_p 和 M_{p1}。

3）当计算截面作用有扭矩时，计算主应力点的混凝土剪应力 τ 应叠加按本规程公式（8.2.21-1）计算扭矩引起的剪应力。

8.2.29 有粘结预应力钢筋加固预应力混凝土受弯构件持久状况条件下，应验算正截面受压区混凝土的最大法向应力 σ_{cc}、斜截面主压应力 σ_{cp}、新旧预应力筋总拉应力 σ_{pk} 和 σ_{pp}，并应符合下列规定：

1 构件应视为不同混凝土龄期施加预应力的受弯构件，除计算受压区混凝土的最大压应力和主应力外，尚应计算新旧预应力钢筋的应力，截面几何性质应计入全部新旧纵向受力钢筋及混凝土的作用。

2 当加固后构件为全预应力混凝土和A类预应力混凝土受弯构件时，正截面受压区混凝土的最大法向应力 σ_{cc} 计算应符合下列规定：

1）由作用标准值对截面受压边缘混凝土产生的压应力 σ_{kc}

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

应按本规程公式（8.2.26-1）计算。

2） 新旧预加力对受压区边缘混凝土产生的法向拉应力 σ_{pt} 应由原预加力产生的受压区边缘混凝土法向拉应力 σ_{pt1} 和新增预加力产生的受压区边缘混凝土法向拉应力 σ_{pt2} 两部分组成，并应按本规程式（8.2.16-11）计算。

3） σ_{pt1} 应根据原构件是先张法或是后张法构件按本规程第8.2.16条及第8.2.17条计算。

4） σ_{pt2} 应按本规程公式（8.2.16-7）计算，并应用 σ_{pt2}、N_{ep} 和 M_{p2} 代替式中的 σ_{pt1}、N_p 和 M_{p1}。

5） 正截面混凝土的最大法向应力 σ_{cc} 应按本规程式（8.2.26-3）计算；当 σ_{pt} 的应力方向与 σ_{kc} 相反时，取负数。

6） 新增有粘结预应力钢筋的拉应力增量 σ_p 应按本规程公式（8.2.27-3）中的 σ_{p1} 计算，其中 I_0 应为所有新旧纵向受力钢筋在内的全截面换算截面惯性矩，y_p 应为全截面换算截面重心轴至新增预应力钢筋最外层钢筋重心的距离。

7） 新增预应力筋总拉应力 σ_{pk} 应按本规程公式（8.2.28-1）计算。

8） 作用标准值产生的原预应力筋应力增量 σ_{p1} 应按本规程公式（8.2.27-3）计算，其中 y_p 为全截面换算截面重心轴至原预应力钢筋最外层钢筋重心的距离。

9） 新增预加力对原预应力筋产生的应力增量 σ_{p02} 应按下式计算：

$$\sigma_{p02} = \alpha_{EP}\left(\frac{N_{ep}}{A_0} \pm \frac{N_{ep}e_{p02}}{I_0}y_p\right)\times 10^3 \qquad (8.2.29\text{-}1)$$

式中：e_{p02}——新增有粘结预应力钢筋的有效预加应力 N_{ep} 至换算截面重心轴的距离（mm）。

10） 原有粘结预应力钢筋的总拉应力增量 σ_p 应按下式计算：

$$\sigma_p = \sigma_{p1} \pm \sigma_{p02} \qquad (8.2.29\text{-}2)$$

11）原预应力筋总拉应力 σ_{pp} 应按本规程公式（8.2.27-1）计算。

3 当加固后构件为允许开裂的B类预应力混凝土受弯构件时，应验算正截面受压区混凝土的最大法向应力 σ_{cc}、斜截面主压应力 σ_{cp}、新旧预应力筋总拉应力 σ_{pk} 和 σ_{pp}，并应符合下列规定：

1）应根据新旧预应力施加时混凝土龄期不同，分别计算有效预加力后再叠加在一起，构件仍应作为大偏心受压构件计算。

2）开裂截面的换算截面中性轴至截面受压边缘的距离 x 应按本规程公式（8.2.26-4）计算，参数 C、D 应按本规程式（8.2.27-4）和（8.2.27-5）计算，轴向力 N_{p0} 作用点至截面受压边缘的距离 e_N 应按下式计算：

$$e_N = \frac{(M_k \pm M_{p1} \pm M_{p2})}{N_{p0}} \times 10^3 - c \qquad (8.2.29\text{-}3)$$

式中：M_{p1}、M_{p2}——新旧预加力在超静定结构中产生的次弯矩（kN·m），与 M_k 方向相同时取正号，相反时取负号；

c——开裂的换算截面重心轴至截面受压边缘的距离（mm）。

3）换算截面对中性轴的静矩 S_0 应按本规程式（8.2.27-6）计算。

4）截面混凝土法向应力等于零时预应力钢筋和普通钢筋的合力 N_{p0} 应按本规程公式（8.2.22-17）计算，体外预应力筋应改为新增有粘结预应力筋。

5）原预加力作用下混凝土法向应力等于零时原纵向预应力钢筋和普通钢筋合力点处的合力 N_{p01} 应根据原构件是先张法或后张法预应力混凝土受弯构件，考虑混凝土收缩、徐变引起的预应力损失，应按本规程第

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

8.2.16 条及第 8.2.17 条中 N_{p0} 的规定计算。

6） 新增预加力作用下混凝土法向应力等于零时新增预应力钢筋和普通钢筋合力点处的合力 N_{p02} 应按下式计算：

$$N_{p02}=\sigma_{p0}A_{ep} \tag{8.2.29-4}$$

式中：σ_{p0}——受拉区预应力钢筋合力点处混凝土法向应力等于零时的预应力钢筋应力（N/mm^2），按本规程公式（8.2.28-3）计算。

7） 正截面受压区混凝土的最大法向应力 σ_{cc} 应按本规程公式（8.2.26-10）计算。

8） 原预应力钢筋的最外层钢筋的应力增量 σ_p 应按本规程公式（8.2.27-8）计算。

9） 新增预应力钢筋的最外层钢筋的应力增量 σ_p 应按本规程公式（8.2.27-8）计算，在计算 σ_{cc} 时 N_{p0} 应取 N_{p02}，式中 h_p 应为相应的最外层预应力筋束重心至截面受压边缘的距离。

10） 原预应力筋总拉应力 σ_{pp} 应按下式计算：

$$\sigma_{pp}=\sigma_{p01}+\sigma_{p02}+\sigma_p \tag{8.2.29-5}$$

式中：σ_{p01}——原有粘结预应力钢筋合力点处混凝土法向应力等于零时的预应力钢筋应力（N/mm^2），应根据原构件是先张法或后张法按本规程公式（8.2.16-5）或本规程公式（8.2.16-8）计算；

σ_{p02}——新增有粘结预应力钢筋合力点处混凝土法向应力等于零时的预应力钢筋应力（N/mm^2），应按本规程公式（8.2.28-3）中的 σ_{p0} 计算。

11） 新增有粘结预应力筋总拉应力 σ_{pk} 应按下式计算：

$$\sigma_{pk}=\sigma_{p03}+\sigma_p \tag{8.2.29-6}$$

式中：σ_{p03}——新增有粘结预应力钢筋合力点处混凝土法向应力等于零时的预应力钢筋应力（N/mm^2），应按本规程公式（8.2.28-3）中的 σ_{p0} 计算，其中 A_0、I_0

应为扣除新增预应力筋孔道面积后含原所有纵向钢筋的全截面换算截面面积和惯性矩。

4 斜截面的主压应力 σ_{cp} 计算应符合下列规定：

1） 作用标准值组合及预加力产生的混凝土主压应力 σ_{cp} 应按本规程公式（8.2.20-2）计算，式中 M_s、V_s 应为计算截面处的荷载标准值组合计算弯矩值（$M_k \pm M_{p1} \pm M_{p2}$）及相应的剪力值 V_k。

2） 计算主应力点的混凝土法向应力总和 σ_{cx} 应按本规程公式（8.2.20-3）和下式计算：

$$\sigma_{pc} = \sigma_{pc1} + \sigma_{pc2} \tag{8.2.29-7}$$

式中：σ_{pc1}——有粘结预应力筋混凝土法向压应力（N/mm^2），按本规程公式（8.2.16-7）计算；

σ_{pc2}——体外预应力对计算截面产生的混凝土法向压应力（N/mm^2），按本规程公式（8.2.16-7）计算，计算时应以 N_{ep}、e_{p0}、M_{p2} 代替 N_p、e_{pn}、M_{p1}，e_{p0} 应为换算截面重心至新增有粘结预应力钢筋及普通钢筋合力点的距离。

3） 当计算截面作用有扭矩时，计算主应力点的混凝土剪应力 τ 应叠加按本规程公式（8.2.21-1）计算扭矩引起的剪应力。

8.2.30 预应力混凝土受弯构件使用阶段正截面受压区混凝土的最大法向压应力 σ_{cc}，以及新旧有粘结预应力钢筋的最大拉应力 σ_{pk} 或 σ_{pp}，应符合下列规定：

受压区混凝土的最大压应力：

$$\sigma_{cc} \leqslant 0.5 f_{ck} \tag{8.2.30-1}$$

受拉区预应力钢筋的最大拉应力：

1） 对钢绞线、钢丝

$$\sigma_{pp} \text{或} \sigma_{pk} \leqslant 0.65 f_{pk} \tag{8.2.30-2}$$

2） 对精轧螺纹钢筋

$$\sigma_{pp} \text{或} \sigma_{pk} \leqslant 0.8 f_{pk} \tag{8.2.30-3}$$

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

式中：f_{ck}——混凝土抗压强度标准值（N/mm^2）；

f_{pk}——预应力钢筋抗拉强度标准值（N/mm^2）。

8.2.31 预应力混凝土受弯构件由作用标准值组合和预加力产生的混凝土斜截面主压应力 σ_{cp} 应符合下式要求：

$$\sigma_{cp} \leqslant 0.6 f_{ck} \tag{8.2.31}$$

8.3 预应力纤维带加固设计

8.3.1 当采用预应力纤维带对梁、板等受弯构件进行加固时，预应力损失包括锚具变形和纤维带内缩引起的预应力损失 σ_{fl1}、纤维带松弛引起的预应力损失 σ_{fl2}、混凝土收缩和徐变引起的预应力损失 σ_{fl3}、由温差造成的预应力损失 σ_{fl4}，其计算应符合下列规定：

1 锚具变形和纤维带内缩引起的预应力损失 σ_{fl1}：

$$\sigma_{fl1} = \frac{a}{l} E_f \tag{8.3.1-1}$$

式中：a——张拉锚具变形和纤维带内缩值（mm），自锁式锚具可取 1mm；

l——张拉端至锚固端之间的净距离（mm）；

E_f——纤维带的弹性模量（N/mm^2）。

2 预应力纤维带的松弛损失 σ_{fl2}：

$$\sigma_{fl2} = r\sigma_{fcon} \tag{8.3.1-2}$$

式中：σ_{fcon}——预应力纤维带的张拉控制应力（N/mm^2）；

r——松弛损失率，可近似取用 2.2%；

3 混凝土收缩和徐变引起的预应力损失 σ_{fl3} 和温差造成的预应力损失 σ_{fl4} 应按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 的规定计算。

4 预应力纤维带有效预应力 σ_{fpe} 应按下式计算：

$$\sigma_{fpe} = \sigma_{fcon} - (\sigma_{fl1} + \sigma_{fl2} + \sigma_{fl3} + \sigma_{fl4}) \tag{8.3.1-3}$$

8.3.2 当采用预应力纤维带对梁、板等受弯构件进行加固时，除应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设

计规范》JTG D62 正截面承载力计算的基本假定外，尚应符合下列规定：

1 当构件达到承载能力极限状态时，粘贴预应力纤维带的拉应变 ε_f 应按平截面假设确定；

2 纤维带应力 σ_f 应为拉应变 ε_f 与弹性模量 E_f 的乘积；

3 在达到受弯承载力极限状态前，不得发生粘贴预应力纤维带与混凝土粘结剥离破坏或混凝土内聚破坏。

8.3.3 当采用预应力纤维带加固钢筋混凝土及预应力钢筋混凝土受弯构件时，正截面抗弯承载力及斜截面抗剪承载力计算应符合下列规定：

1 应按本规程第 8.2.5 条～第 8.2.8 条及本规程第 8.2.10 条～第 8.2.15 条计算。

2 应将直线布置的有粘结预应力纤维带的相关内容代替新增有粘结预应力筋的相关内容，即用预应力纤维带的截面面积 A_f 代替 A_{pp}、用纤维带的抗拉强度设计值 f_f 代替 σ_p，当纤维带张拉后粘贴于构件截面受拉边缘时 $\alpha_{pe}=0$。

8.3.4 当采用预应力纤维带加固钢筋混凝土及预应力钢筋混凝土受弯构件时，其截面抗裂验算与应力验算应符合下列规定：

1 应进行正常使用极限状态下的正截面及斜截面抗裂验算、斜截面混凝土主拉应力和主压应力验算、挠度验算、正截面混凝土的法向应力验算、预应力纤维带的拉应力验算。

2 当加固后构件成为 B 类预应力混凝土受弯构件时，尚应进行裂缝宽度验算。

3 截面抗裂验算与应力验算应符合本规程第 8.2 节规定，并应将直线布置的有粘结预应力纤维带的相关内容代替新增有粘结预应力筋的相关内容，在计算截面几何性质时可忽略纤维带的截面积影响。

8.4 构 造 要 求

8.4.1 当采用体外索加固混凝土梁时，自由长度超过 8m 时，

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

应设置定位装置和防振装置。体外索应有良好的防腐措施，且宜具有可换性。其锚固结构和转向装置应进行专项设计。

8.4.2 当采用体外索加固混凝土梁时，其构造应符合现行行业标准《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22 的规定。转向钢导管的两端应为喇叭口，体外索钢束宜采用可换式体系。

8.4.3 当采用有粘结预应力筋加固混凝土梁时，其构造应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 的规定。

8.4.4 当采用预应力纤维带加固混凝土桥梁构件时，纤维带受力方式应设计成仅承受拉应力作用。抗剪加固时预应力纤维带可垂直于构件纵轴设置。

8.4.5 当采用预应力纤维带加固混凝土桥梁构件时，纤维带应采用机械锚固方式紧贴混凝土表面安装，安装后距离构件表面不应超过 5mm。张拉锚固部分以外的纤维带与混凝土之间应填充结构胶粘结牢固。

8.4.6 预应力纤维带成套系统宜由纤维带、固定端锚具、张拉端锚具、张拉端预锚装置、拉杆、锚栓及配套的胶粘剂组成。锚具应采用自锁式锚板（图 8.4.6）。

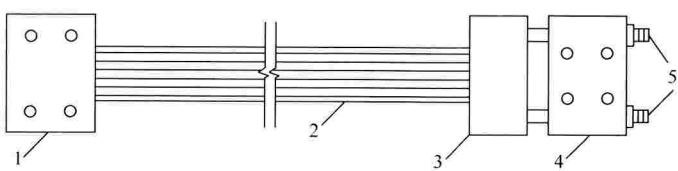


图 8.4.6 预应力纤维带加固系统安装后示意图

1—锚固端锚具；2—纤维带；3—张拉端锚具；4—张拉端预锚装置；5—拉杆

8.4.7 预应力纤维带的宽度不应超过 100mm；对截面宽度较大的构件，宜安装多条平行预应力纤维带进行加固。相邻纤维带的端部锚固系统可沿纤维带纵向错位布置。

8.4.8 锚栓系统应进行锚固能力验算，并应符合现行行业标准

《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的规定。

8.5 施　　工

8.5.1 施工前，应根据不同预应力体系的加固设计方案确定相应施工工艺，应编制预应力加固桥梁施工专项方案。

8.5.2 预应力加固桥梁结构穿孔孔道，宜采用开孔机成型，开孔前应探测原桥梁结构钢筋位置，钻孔时应避开桥梁中的原有钢筋，当无法避开时，应采取相应措施。

8.5.3 新增预应力钢束或钢筋的制作除应符合国家现行标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2 的规定外，尚应符合下列规定：

1 应根据孔道长度、锚具厚度、千斤顶长度、张拉伸长值、混凝土压缩变形量以及根据不同张拉方法和锚固形式预留的张拉长度等因素计算预应力筋下料长度。

2 制作或组装预应力筋时，宜采用砂轮锯或切断机切断，不得采用电焊或电弧切割，且应避免施工过程中因电火花和电流而造成的预应力损失。

3 当钢绞线采用挤压锚具时，挤压前应在挤压模内腔或挤压套外表面涂润滑油，压力表读数应符合机具操作说明书的规定。

8.5.4 新增预应力钢束或钢筋所用夹具、钢导管及各种锚固件、预埋件与原构件的连接和安装，应符合国家现行标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 和《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2 的规定。

8.5.5 新增预应力钢束或钢筋植筋和锚栓工程的施工及检验应符合国家现行标准《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550 和《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的规定。

8.5.6 转向装置和锚固系统安装应符合下列规定：

1 体外预应力加固混凝土桥梁结构时，转向装置和锚固系统应坚固、耐久。转向装置的偏角制造误差应小于 1.2°，安装

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

误差不应超过±5%。

2 转向装置和锚固系统应与梁体连接可靠，其连接强度应进行验算，新浇混凝土与梁体间连接处应凿毛处理，并应配置足够的抗剪抗拔等钢筋。

3 转向装置可采用钢部件、现浇混凝土块体或附加锚箱结构。

4 混凝土转向装置宜采用低收缩、低水化热的混凝土。

5 转向装置宜轻型化。

8.5.7 预应力筋宜整束穿筋。在穿筋过程中应采取防护措施，不得损害其表面防护层。

8.5.8 预应力张拉应符合下列规定：

1 张拉设备应满足体外预应力筋的张拉和锚具的锚固要求，设备、仪表应定期维护和校验，标定期限不应超过半年，当在使用过程中张拉设备出现异常现象或千斤顶检修后，应重新标定；张拉设备应配套标定、配套使用。

2 预应力筋应在转向装置和锚固系统安装完成后，且连接材料达到设计强度时，方可进行张拉。

3 体外预应力筋的张拉控制应力 σ_{con} 应符合下列公式要求：

1） 钢绞线：

$$0.40f_{ptk} \leqslant \sigma_{con} \leqslant 0.60f_{ptk} \qquad (8.5.8\text{-}1)$$

2） 预应力螺纹钢筋：

$$0.50f_{pyk} \leqslant \sigma_{con} \leqslant 0.70f_{pyk} \qquad (8.5.8\text{-}2)$$

式中：f_{ptk}——钢绞线极限强度标准值（N/mm^2）；

f_{pyk}——预应力螺纹钢筋屈服强度标准值（N/mm^2）。

4 张拉过程中，应对伸长值和拉力值实施双值控制，实际伸长值与计算伸长值之差应控制在±6%以内，拉力值与设计张拉控制应力相对偏差不应超过±5%。不得发生预应力筋断裂或滑脱。当有断裂时，应进行更换；当有滑脱时，应对滑脱的预应力重新穿筋张拉。

8.5.9 在预应力张拉过程中，应对旧桥控制截面和关键位置进

行监控。

8.5.10 预应力纤维带的施工应符合下列规定：

1 应根据梁板加固的需要配置合格的锚夹具。

2 施工前应进行基层处理，露出密实层，凿除劣质层后应采用环氧砂浆进行修复。转角安装粘贴处应倒角处理，打磨成圆弧状并粘贴薄铁片。

3 宜采用空压机的风枪将混凝土梁板裂缝清除干净。

4 应按设计要求在相应位置打孔用于预埋螺栓，在锚固钢板和安装夹具处切割部分槽口。应采用压缩空气对裂缝进行清孔，清孔后应采用植筋胶将螺栓植入孔内。

5 应采用胶纸等封住裂缝，留部分注胶口和溢胶口对裂缝进行灌胶。应采用滚筒刷将底胶均匀涂刷于混凝土表面，胶固化后方可进行下一工序施工。

6 应按设计要求的尺寸及层数裁剪纤维布，并应与锚具组装成套，接触处应采用浸渍胶安装纤维布。

7 应待锚固处胶硬化后，方可在纤维布表面抹浸渍胶，封闭纤维束间的空隙，待浸渍胶稍干硬后，用灌注胶在纤维布和混凝土表面间进行灌胶，应同时施加预应力。预应力张拉施工时，应通过测定纤维布的伸长量进行控制。

8 施加预应力至设计控制应力，锚定后卸除张拉设备，再安装压板附加中部锚固，单节纤维带长度宜小于 3m，充分挤压粘结层，并将挤出的粘胶均匀地涂在纤维布表面，待胶初步硬结后，表面撒中砂。

9 待粘结层养护完毕后，应抹砂浆进行纤维带表面防护处理。

8.5.11 预应力纤维带锚具外露部分应采取防腐措施。

8.6 质量检验与验收

主 控 项 目

8.6.1 混凝土的质量检验应符合本规程第 5.7.5 条规定。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

8.6.2 预应力筋进场应进行检验，质量应符合国家现行有关标准的规定。

检查数量：按进场的批次抽样检验。

检验方法：检查产品合格证、出厂检验报告和进场试验报告。

8.6.3 预应力筋用锚具、夹具和连接器进场应进行检验，质量应符合国家现行有关标准的规定。

检查数量：按进场的批次抽样检验。

检验方法：检查产品合格证、出厂检验报告和进场试验报告。

8.6.4 预应力筋的品种、规格、数量应符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察或用钢尺量、检查施工记录。

8.6.5 预应力筋张拉和放张时，混凝土强度应符合设计规定；设计无规定时，不得低于设计强度的75%

检查数量：全数检查。

检验方法：检查同条件养护件试验报告。

8.6.6 预应力筋张拉控制和尺寸偏差应符合表8.6.6的规定。

表8.6.6 预应力筋张拉控制及尺寸偏差实测项目

项目		规定值或允许偏差	检验频率	检验方法
钢索坐标（mm）	梁长方向	±30	抽查50%；各转折点	用钢尺量
	梁高方向	±10		
张拉力值		符合设计要求	全部	查油压表读数
张拉伸长率		符合设计要求，设计无规定时，±6%	全数	查张拉记录
断丝滑丝数	钢束	每束一根，且每断面不超过钢丝总数的1%	全数	目测：每根（束）并查张拉记录
	钢筋	不允许		

8.6.7 孔道压浆的水泥浆强度应符合设计规定，压浆时排气孔、排水孔应有水泥浆溢出。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察、检查压浆记录和水泥浆试件强度试验报告。

8.6.8 预应力纤维带的张拉控制应力不宜超过纤维带抗拉强度设计值的0.5倍。张拉时可采用力或伸长量进行控制，并应满足设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察、用钢尺量、检查施工记录。

8.6.9 预应力纤维带锚固装置的质量检查，各项指标应符合设计规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察、检查产品合格证和出厂检验报告。

一 般 项 目

8.6.10 预应力加固后构件外观质量不宜有一般缺陷。对已经出现的一般缺陷，应按技术处理方案进行处理，并应重新检查验收。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查技术处理方案。

8.6.11 预应力加固后构件尺寸偏差应符合现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2的相关要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：量测，检查施工记录。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

9 改变结构体系加固法

9.1 一 般 规 定

9.1.1 当通过改变结构受力体系加固桥梁时，可采用改变结构体系加固法。

9.1.2 当采用改变结构体系加固法加固桥梁时，应根据被加固桥梁的受力性质、构造特点和现场条件，选择适当的结构体系。

9.1.3 当采用改变结构体系加固法加固桥梁时，应对新旧整体结构的各受力阶段进行验算，可与增大截面加固法、粘贴钢板加固法、粘贴纤维带加固法、预应力加固法等综合使用。

9.1.4 改变结构体系加固法可包括增设支点法和简支变连续加固法。

9.2 设　　计

9.2.1 增设支点法结构加固设计应符合下列规定：

1 桥下空间应满足桥梁相关的功能要求。

2 支承结构按结构受力性能不同可分为刚性支点和弹性支点。

3 按支承结构与原结构的连接形式可分为固结法和铰支法。

4 设计支承结构或构件时，宜采用有预顶力的方案。当施加预顶力时，支点处被支顶构件表面不应出现裂缝，并不应增设附加钢筋。

5 当采用固结法加固时，新增结构与主梁应固结。计算时应根据主梁预顶情况对结构进行必要的验算。基础验算时应计入新增结构传递弯矩的影响。

6 当采用铰支法加固时，主梁应与新增结构铰接。主梁应验算预顶力及位移所产生的效应；同时应验算支承结构及基础在

预顶力作用下的效应。

9.2.2 简支变连续加固设计应符合下列规定：

1 应根据原支座的完好程度选择保留原支座或进行更换。

2 简支变连续加固可采用在墩顶部位结构上缘加设普通钢筋或增设预应力束并现浇接头混凝土形成结构连续体系（图9.2.2）。

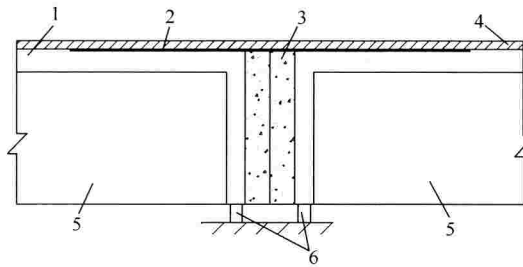


图 9.2.2 简支变连续加固桥梁墩顶构造

1—桥面板；2—加设普通钢筋或预应力束；3—现浇段；4—桥面铺装；5—预制梁；6—临时支座

3 当原梁的截面尺寸不足时，应采用增大截面法等措施。

4 当原梁为T梁时，中支点处应新增横系梁。

5 除对主梁墩顶部位连接段进行计算分析外，尚应对其他相关截面进行验算。

6 简支梁体系转换前后正截面承载力和斜截面承载力应按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62规定进行计算和验算。

7 对桥龄10年以上的桥梁，可不计入原混凝土收缩、徐变的影响。

8 简支变连续后桥梁伸缩缝等附属构造的性能应满足新体系的使用要求。

9.3 施　　工

9.3.1 增设支点法结构加固施工应符合下列规定：

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

1 新增支承结构应满足现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2 的要求。

2 制作支承结构和构件的材料，应根据被加固结构所处的环境及使用要求确定。当在高湿或高温环境中使用钢构件及其连接时，应采用有效的防锈或隔热措施。

3 当新建桥墩与梁体固结时，固结部分与梁的接触面均应凿毛，清除浮渣，洒水湿润，并用干硬性混凝土浇筑。

9.3.2 简支变连续加固施工应符合下列规定：

1 应凿除原桥面铺装和梁端部混凝土，使主筋外露。应连接梁端钢筋，并应在梁顶增设受力钢筋。

2 当简支变连续采用预应力时，可在梁顶凿槽布设波纹管道，波纹管道应采用胶带缠裹。按设计要求焊接梁端的连接钢筋，安装预应力束和锚具，待连接混凝土达到设计强度后进行张拉。

3 当双支座改为单支座时，墩顶新支座安装宜与接缝底模安装同时进行。

4 浇筑连接缝处混凝土集料粒径不宜大于 20mm。混凝土浇筑宜选择在温度较低的时间段进行。混凝土浇筑速度宜缓慢，应振动密实。

9.4 质量检验与验收

主 控 项 目

9.4.1 主要材料的质量检验应符合本规程第 5.7 节相关规定。新增混凝土强度的原位检测可采用超声回弹综合法、钻芯法等方法，检测方法应满足现行国家标准《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344 的要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查施工记录和检验报告。

9.4.2 新增结构与原桥梁结构之间的连接应符合设计要求。当

连接处钢筋或预埋件采用焊接或机械连接时，接头质量应符合现行行业标准《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 和《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107 的规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查施工记录。

一 般 项 目

9.4.3 新增构件外观质量不宜有一般缺陷。对已经出现的一般缺陷，应按技术处理方案进行处理，并应重新检查验收。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查技术处理方案。

9.4.4 新增构件外观质量、尺寸偏差及结构性能应符合表 9.4.4 的规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，量测，检查技术处理方案。

表 9.4.4 新增构件尺寸的允许偏差及检验方法

项目		允许偏差（mm）	检验频率		检验方法
			范围	点数	
长度	板、梁	+10，−5	每个构件	6	钢尺检查
	柱	+5，−10			
	薄腹梁、桁架	+15，−10			
宽度、高（厚）度	板、梁、柱、薄腹梁、桁架	±5		6	钢尺量一端及中部，取其中较大值
侧向弯曲	梁、柱、板	$L/750$ 且≤20		4	拉线、钢尺量最大侧向弯曲处
	薄腹梁、桁架	$L/1000$ 且≤20			
预埋件	中心线位置	10	每个预埋件	2	钢尺检查
	螺栓位置	5			
	螺栓外露长度	+10，−5			

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

续表 9.4.4

项　目		允许偏差（mm）	检验频率		检验方法
			范围	点数	
预留孔	中心线位置	5	每个孔	2	钢尺检查
预留洞	中心线位置	15	每个洞	2	钢尺检查
主筋保护层厚度	梁、柱、薄腹梁、桁架	+10，−5	每个构件	6	钢尺或保护层厚度测定仪量测
表面平整度	柱、梁	5		4	2m 靠尺和塞尺检查
预应力构件预留孔道位置	梁、薄腹梁、桁架	3	每个孔	2	钢尺检查

注：1　L 为构件长度（mm）；

2　检查中心线、螺栓和孔道位置时，应沿纵横两个方向量测，并取其中的较大值；

3　对开头复杂或特殊要求的构件，其尺寸偏差应符合标准图集设计的要求。

10 增加横向整体性加固法

10.1 一 般 规 定

10.1.1 当需提高桥梁横向整体性时，可采用增加横向整体性加固法。

10.1.2 增加横向整体性加固法可采用增设横隔板加固法、桥面补强层加固法、增设横向系梁加固法、增大截面加固法、粘贴钢板加固法、粘贴纤维带加固法、预应力加固法等方法或综合使用。

10.1.3 在设计荷载作用下，加固后的桥梁混凝土构件的强度、刚度和裂缝最大宽度应满足国家现行相关标准要求和设计要求。

10.2 设 计

10.2.1 梁桥横向整体性加固设计应符合下列规定：

1 当混凝土 T 形梁桥横向联系失效时，可采用横向预应力加固法、增设横隔板加固法、桥面补强层加固法等方法进行加固。

2 当混凝土空心板梁横向联系失效时，可采用重新灌注铰缝材料、桥面补强层加固法、横向预应力加固法、剪力钢筋加固法等方法进行加固。

3 当箱梁顶、底板因承载力不足纵向开裂时，可采用粘贴横向钢板、粘贴横向纤维复合材料或新增横肋等方法进行加固。

4 应进行结构加固后整体计算，并应计入加强部分的结构刚度。必要时，应对加固后结构进行荷载试验，并应评价结构的改善情况。

5 新浇筑的横系梁混凝土强度等级不应小于 C30。

6 增设钢横梁时被加固构件本身强度不应小于 C15。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

10.2.2 拱桥加固设计应符合下列规定：

1 圬工拱桥采用加强横向联系加固后的主拱截面应按现行行业标准《公路圬工桥涵设计规范》JTG D61 的有关规定验算。

2 桁架（刚架）拱计算应包括各构件承载力和稳定性以及整体刚度和稳定性。加固后的桥梁整体刚度应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 的有关规定。

3 钢筋混凝土肋拱桥增加横向整体性加固后应对截面强度、整体稳定性进行验算。加固后的主拱刚度应符合现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 的有关规定。

10.3 构 造 要 求

10.3.1 增强横向联系宜在梁（板）端部及其他控制截面进行。新增横梁（横隔板）应采取措施与原结构可靠锚固，使用植筋或锚栓技术时应符合现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 和《混凝土结构工程无机材料后锚固技术规程》JGJ/T 271 的有关规定。

10.3.2 拱桥增加横向整体性构造应符合下列规定：

1 当增设横向拉杆加固时，根据跨度大小可在跨中、1/8 跨径和 1/4 跨径设置横向拉杆；

2 当增设横向系梁加固时，其位置宜选择在拱顶、拱肋分段接头处、腹拱墩（或立柱）下和拱脚附近。

10.3.3 当混凝土桥面板采用增大截面法加固时，应符合下列规定：

1 可采用钢筋混凝土、钢纤维混凝土、聚合物混凝土或膨胀混凝土加厚；

2 在既有桥面板顶面加厚时，接合处应凿毛处理，并应加锚固钢筋；

3 在既有桥面板底面加厚时，应焊接钢筋网，并应浇筑混

凝土。

10.4 施　　工

10.4.1 梁桥增加横向联系加固法加固施工应符合下列规定：

1 增设新的横系梁应满足下列要求：

1）应凿除增加横系梁部位的表面混凝土，露出梁桥纵向主筋；

2）新增横梁钢筋应与梁桥横向钢筋焊接，不足部分可采用植筋后连接。

2 横隔板施工应满足下列要求：

1）当既有横隔板存在错位时，应先凿除部分老横隔板的混凝土，保留原结构中的钢筋，再植入部分钢筋，使相邻两片主梁的横隔板通过钢筋焊接连接，绑扎完钢筋后，浇筑为一个整体；

2）凿除主梁混凝土时不应损伤原普通钢筋及预应力筋；

3）浇筑混凝土时，严禁车辆通行。待混凝土强度达到设计强度时，方可完全开放交通。

3 增设钢横梁施工应满足下列要求：

1）钢横梁和被加固构件应整体受力；

2）钢板表面应作防腐处理。

10.4.2 拱桥增加横向联系加固法加固施工应符合下列规定：

1 拱肋与横系梁或横隔板结合面应凿毛至露出粗骨料，凹凸差不应小于6mm。

2 横系梁或横隔板受力钢筋宜通长设置。

10.4.3 混凝土桥面板加固应符合下列规定：

1 桥面板凿毛处理应先凿去桥面铺装层及桥面防水层，然后凿除梁顶面混凝土，使表面粗糙凹凸差不应小于6mm。

2 桥面板若出现裂缝，应按本规程第5.6.3条规定进行修补。

3 应凿除梁顶面混凝土破损部分，被凿除部分与桥面混凝

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

土补强层应同时浇筑，修补完成后应恢复桥面防水层。

4 植锚固钢筋应符合现行行业标准《公路桥梁加固施工技术规范》JTG/T J23 和《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 的相关规定。桥面板加强钢筋的施工应符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50 的相关规定。

5 浇筑混凝土前应清洁表面并保持湿润，新浇混凝土应振捣密实并及时养生。

6 空心板顶板厚度不足引起的桥面板破损和开裂，应凿除顶板厚度不足部分，在箱内立模，按设计厚度重新浇筑顶板混凝土，新浇筑顶板混凝土的强度等级不应低于原空心板混凝土强度等级。

7 空心板间铰缝或现浇箱梁湿接缝混凝土破损时，应凿除破损处混凝土，表面应整洁粗糙，应按设计要求进行植筋和布置钢筋，并浇筑混凝土。

10.5 质量检验与验收

主 控 项 目

10.5.1 横向联系中的混凝土、钢筋等的质量检验和验收应符合现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2 的相关规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查混凝土配合比报告、试件试验报告；检查钢筋的产品合格证，出厂检验报告，试件试验报告，专项检验报告，接头性能检验报告，观察、用钢尺量等方法。

10.5.2 横向联系与原结构衔接部位应接触严密，焊接牢固，混凝土浇筑应密实，混凝土强度应符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察、检查施工记录、用焊缝量规量测，检查试件试验报告。

10.5.3 横向联系结构尺寸偏差应符合现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2 的相关规定。

10.5.4 混凝土结构的横向联系的表面应无孔洞、露筋、蜂窝、麻面和缺棱掉角现象。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

11 桥梁下部结构及基础加固

11.1 一 般 规 定

11.1.1 当对桥梁下部结构及基础加固时，可按本规程第11.1.2条和第11.1.3条采用适合的方法。

11.1.2 桥梁下部结构加固可分为盖梁、墩柱、桥台、承台等桥梁下部结构加固，加固方法选择应符合下列规定：

1 盖梁可采用施加体外预应力、增大截面、粘贴钢板或纤维复合材料等方法。

2 墩柱可采用增大截面、钢套管内灌注混凝土、粘贴钢板或纤维复合材料等方法。

3 桥台可采用外包钢筋混凝土套箍、更换台后填土、增设辅助挡墙、框架梁加注浆锚杆等方法。

4 承台可采用增大截面、粘贴钢板或纤维复合材料等方法。

11.1.3 桥梁基础加固方法选择应符合下列规定：

1 地基可采用高压旋喷桩注浆、土体注浆等方法。

2 扩大基础可采用增大基础面积、增设支撑梁等方法。

3 桩基础可采用增大桩头面积或增加基桩、增设支撑梁等方法。

4 沉井基础可采用基础置换、高压注浆或灌注树根桩、沉井内钻孔加桩、高压旋喷桩加固等方法。

11.1.4 下部结构加固应在其结构表层裂缝、缺陷等病害处理后进行构件主体加固，对加固区宜对称进行施工。

11.1.5 当采用预应力加固盖梁、柱、薄壁墩台、空心墩等钢筋混凝土构件时，原构件混凝土强度等级不应低于C25；当采用其他方法加固时，原构件混凝土强度等级不宜低于C15。

11.1.6 对基础冲刷过大的墩台，可采用河床铺砌、抛石、砌石

防护、石笼、板桩防护、上游设导流坝、下游设拦砂坝等方法加固。

11.2 设　　计

11.2.1 桥梁下部结构及基础加固设计应符合现行行业标准《城市桥梁设计规范》CJJ 11 和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 的规定。

11.2.2 桥梁盖梁加固设计应符合下列规定：

1 加固盖梁的混凝土的强度等级不应低于 C30，且不应低于原盖梁实际的混凝土强度等级。

2 当采用增大截面法加固时，宜对原盖梁表面处理，并应配置锚筋，与原盖梁可靠拉结，可施加预应力。

11.2.3 桥梁墩柱加固设计应符合下列规定：

1 加固墩柱的混凝土强度等级不应低于 C30，且不应低于原桥墩实际的混凝土强度等级。

2 新增主筋应有可靠的锚固措施。

3 桥梁墩柱加固应进行强度和变形验算。

11.2.4 桥梁基础加固设计应符合现行行业标准《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D63 的规定，且应符合下列规定：

1 桥台加固应进行稳定性、变形验算。

2 扩大基础应进行抗弯、抗冲切等计算，计算应按两阶段受力，并应对地基进行承载力、稳定性、沉降等计算。

3 桩基础应进行承载力、沉降等计算。增补桩基加固计算应按两阶段受力并应计入新旧桩基支撑条件、桩径等方面的差异。

11.3 施　　工

11.3.1 盖梁加固应符合下列规定：

1 盖梁接长应凿除连接部位的混凝土，接长钢筋应与原主筋焊接。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

2　盖梁接宽应植筋。新旧混凝土连接表面应粗糙干净。

11.3.2　墩柱加固应符合下列规定：

1　当采用注浆法外包钢加固时，墩柱表面应凿毛、清理干净，注浆压力不应低于0.1MPa。

2　当采用干式外包型钢加固时，型钢与墩柱之间应采用水泥砂浆填实，钢板应进行防锈处理。

3　当采用套箍加固时，墩身裂缝应压浆封闭处理，墩台身表面应凿毛，其缺陷部分应先凿除并清理干净。

11.3.3　承台加固应符合下列规定：

1　水中承台加固应综合承台尺寸、埋深、损坏位置、水流流速、桥下净空、航道等因素，确保实施的技术性与安全性。水中承台宜采用围堰施工。

2　水中承台加固宜采用立模灌浆法。加固材料宜采用水下环氧砂浆、水下不离析混凝土以及其他水下混凝土。加固前应对原结构结合面进行清理。

3　承台加固基坑开挖深度以及土坡稳定性应符合现行行业标准《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120的规定，否则应采取加固或支护措施。

4　承台缺陷应凿除并清理干净，连接表面应凿毛。

5　扩大承台应进行植筋。

11.3.4　桥台加固应符合下列规定：

1　基础因不均匀沉降产生裂缝，应先加固地基基础，再封闭裂缝，必要时应根据设计要求加固上下结构。

2　当浆砌片石桥台采用注浆加固时，应符合本规程第11.3.7条的有关规定。

3　当侧墙及台身前缘采用现浇钢筋混凝土补强时，应在原台身内植入连接钢筋。

4　当台后填土不密实时，可采用换填或注浆加固等方法，换填施工应重做台后防排水系统。

5　桥台加固时应进行监测，必要时应增加临时支护措施。

11.3.5 扩大基础加固应符合下列规定：

1 基坑应按设计要求开挖，开挖后应对原基础采取保护措施。

2 基坑开挖至设计标高后，应对地基承载力进行检测，如达不到要求，应对地基进行加固。

3 应对原基础的缺陷部位进行清理，并将连接面凿毛，按设计植筋和增设新钢筋骨架，新旧混凝土应结合牢固。

11.3.6 桩基加固应考虑对原桩基的影响，且应符合下列规定：

1 增补灌注桩应符合下列规定：

1） 当选择灌注桩成孔方法时，应根据原桩基深度、地基类型、原桥结构高度等因素确定。

2） 当钻孔清孔排渣时，应保持孔内水头高度。

3） 施工过程中应对原桥的沉降、位移进行观测。

2 增补静压桩应符合下列规定：

1） 当静压桩对临近桩基以及地面隆起的影响过大时，应采取可靠措施消除影响。

2） 压桩架应保持竖直，锚固螺栓的紧固应均衡，并应一直保持紧固状态。

3） 就位的桩节应保持竖直，使千斤顶、桩节及压桩孔轴线重合，不得偏心加压。

4） 整根桩应一次连续压到设计高程，当中途需停止时，停压的时间间隔不宜超过 24h。

5） 同一基础压桩施工应对称进行，不应数台压桩机在一个独立基础上同时加压。

6） 压桩应以压力控制为主，桩长控制为辅。压桩达到设计荷载后应持压稳定 30min。

11.3.7 地基加固应符合下列规定：

1 地基注浆加固施工应符合下列规定：

1） 施工时应对原桥梁及其邻近建（构）筑物、地下管线和地面的沉降、倾斜、位移和裂缝进行监测。并应采

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

取多孔间隔注浆和缩短浆液凝固时间等措施。

2）浆体应充分搅拌均匀后方可开始压注，并应在注浆过程中缓慢连续搅拌，搅拌时间应小于浆液初凝时间。浆液在泵送前应经过筛网过滤。

3）当日平均温度低于5℃或最低温度低于－3℃的条件下注浆时，应在施工现场采取保温措施。

4）对渗透系数相同的土层，应注浆封顶，然后由下向上进行注浆。当土层的渗透系数随深度而增大时，应自下向上注浆。对互层地层，首先应对渗透性或孔隙率大的地层进行注浆。

5）应对桥梁的沉降、开裂等进行监测。

2 旋喷桩加固施工应符合下列规定：

1）在制定旋喷桩施工方案时，应收集相关工程地质、临近建（构）筑物、地下埋设物等资料。旋喷桩方案确定后应结合工程情况进行现场试验，根据工程经验确定施工工艺参数。

2）旋喷桩施工前应检查高压设备和管路系统，其压力和流量应满足设计要求。注浆管及喷嘴内不得有杂物，注浆管接头的密封圈应良好。

3）垂直施工时，钻孔的倾斜度不应大于1.5%。

4）旋喷时，应对压力、流量和喷浆量进行量测，并应按要求逐项记录。

5）钻杆的旋转和提升应连续，不得中断。

6）拆卸钻杆继续旋喷时，应保持钻杆有0.1m的搭接长度，不得使旋喷固结体脱节。

7）应采用速凝浆液或跳孔喷射和冒浆回灌等措施。

8）应对桥梁的沉降、开裂等进行监测。

11.3.8 基础冲刷加固应符合下列规定：

1 基础冲刷加固应依据水深、河床地质和加固材料选择适宜方法。

2　河床铺砌宜采用围堰分段疏干排水施工，且砌石应与上游河床接顺。

3　抛石防护施工前应测量水流流速、流向，确定抛石位置。石笼应采用铁丝、型钢或钢筋相互连接。抛石结束后，应按设计要求进行理坡。

4　板桩防护时板桩顶面高程不应高于河床。

11.4　质量检验与验收

主 控 项 目

11.4.1　桥梁下部结构及基础加固所使用的原材料应符合现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2 的规定和加固设计文件要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查混凝土配合比报告、试件试验报告；检查钢材（筋）的产品合格证，出厂检验报告，试件试验报告，专项检验报告，接头性能检验报告；观察、用钢尺量等方法。

11.4.2　当桥梁下部结构及基础采用外包钢材时，应对外包钢材的粘贴性能进行试验，检测方法应符合本规程第 6 章有关规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：用敲击检测法或超声波检测法、红外线检测法检验。

11.4.3　结合面处理、预埋件、锚固等应符合设计文件和相关施工技术规范的规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：目测和锤击检查，或辅以超声波检测法、红外线检测法检验。

11.4.4　承台加固质量检验应符合加固设计文件和现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2 的相关规定。

检查数量：全数检查。

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

检验方法：水下修补工程可由潜水员或水下电视检验，修补质量可采用钻芯取样、超声波检测等方法进行检验。

11.4.5 桩基加固的质量检验应符合下列规定：

1 灌注桩的质量检验项目、检查数量和检验方法应符合现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2 的相关规定。

2 静压桩的质量检验应符合现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2 的相关规定，并应符合下列规定：

1）最终压桩力或压入深度应满足加固设计文件的要求；

检查数量：全数检查。

检验方法：观察、用尺量和检查施工原始记录资料。

2）桩身试块强度和封桩混凝土强度应满足加固设计文件的要求，其性能应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 的相关规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查试验报告

11.4.6 墩柱套箍加固质量检验项目、检查数量和检验方法应符合加固设计文件和相关质量标准的规定，并应符合下列规定：

1 结构尺寸应满足设计要求。

2 宽度和厚度应均匀，混凝土表面应平整、密实。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察检查，或用尺量。

3 套箍加固质量检验实测项目应满足表 11.4.6 的要求。

表 11.4.6 套箍加固质量检验项目、检验频率及检验方法

项　目	规定值或允许偏差（mm）	检验频率	检验方法
套箍位置	±20	一周 8～10 点	水准仪测
套箍宽度	≥设计值	一周至少 10 点	尺量
套箍厚度	≥设计值	一周至少 10 点	尺量
预埋锚筋位置	±20	抽检 10%	尺量

检查数量：全数检查。

检验方法：采用表 11.4.6 的检验方法逐个检验。

11.4.7 地基基础注浆加固质量检验项目、检查数量和检验方法应符合加固设计文件和相关质量标准的规定，并应符合下列规定：

1 注浆检验时间应在注浆结束 28d 后进行。可选用标准贯入、轻型动力触探或静力触探对加固地层进行检测。对重要工程可采用荷载试验检验。

2 注浆检验点应为注浆孔数的 2%～5%。当检验点合格率小于或等于 80%，或虽大于 80%但检验点的平均值达不到强度或防渗的设计要求时，为不合格注浆区。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查施工原始记录、质量检查验收资料和检验报告等。

11.4.8 地基基础旋喷桩加固质量检验项目、检查数量和检验方法应符合加固设计文件和相关质量标准的规定，并应符合下列规定：

1 旋喷桩可采用开挖检查、取芯、荷载试验等方法进行检验，并应结合工程测试、观测资料及实际效果综合评价加固效果。

2 检验点应布置在下列部位：

1）有代表性的桩位；

2）施工中出现异常情况的部位；

3）地基情况复杂时，可能对旋喷桩质量产生影响的部位。

3 检验点的数量应为施工孔数的 1%，并不应少于 3 点。

4 质量检验宜在旋喷桩成桩 28d 后进行。

5 荷载试验应在成桩 28d 后桩身强度满足试验条件时进行，检验数量为桩总数的 0.5%，且每项单体工程不应少于 3 点。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查施工原始记录、质量检查验收资料、钻芯与荷载试验报告等。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

12 支座和伸缩装置更换

12.1 一 般 规 定

12.1.1 当出现桥梁支座和伸缩装置损坏并影响桥梁使用时，应进行支座和伸缩装置更换。

12.1.2 更换的新支座和新伸缩装置应符合国家现行标准《桥梁球型支座》GB/T 17955、《公路桥梁板式橡胶支座》JT/T 4 和《公路桥梁伸缩装置通用技术》JT/T 327 的规定。

12.2 设 计

12.2.1 更换安装各种支座时，应计算校核支座承载力和位移量。

12.2.2 支座更换时，顶升位置、顶升顺序和支座允许顶升量应通过计算确定。

12.2.3 新换支座的使用功能和几何尺寸应根据当前交通量确定，并应适当留有一定的余量。

12.2.4 更换后新支座的承载能力不应低于原支座的承载能力。

12.2.5 更换各种伸缩装置时，应计算校核伸缩量。

12.2.6 更换伸缩装置应满足结构变形要求，并应控制伸缩量、安装平整，锚固可靠。

12.2.7 保护带新浇混凝土强度等级应比原结构混凝土提高一级，宜采用早强混凝土。

12.2.8 更换后新伸缩装置的伸缩能力不宜低于原伸缩装置的伸缩能力。

12.3 施 工

12.3.1 支座更换应符合下列规定：

1　支座更换施工应符合现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2 的相关规定。

2　支座更换应根据现场环境、老支座类型等情况选择合理的顶升更换方案，同一墩位的支座更换时应同步顶升。

3　应对顶升梁体的临时支撑设施进行受力计算，且应满足强度、刚度及稳定性要求。

4　梁体的顶升和回位顺序应按设计要求进行。

5　应根据环境温度进行支座偏移量的验算，并宜选择在有利的温度条件下施工。

6　支座更换过程中应采取交通组织和安全防护措施。

12.3.2　支座更换应符合下列规定：

1　顶升前应对桥梁基础、下部结构、梁体、桥面系和附属工程的技术状况逐一进行检查。

2　应对基础、下部结构及上部承重结构的缺陷按本规程规定的方法先行处理。

3　操作平台应有足够的操作空间。

4　在千斤顶与梁体之间应用垫板扩大接触面，千斤顶顶面、垫板、梁体底面之间应密合、平稳，不得损伤梁体结构。

5　检查、校正顶升设备并就位，支座整体顶升更换的系统宜选用可编程逻辑控制液压同步顶升系统。

6　顶升装置验收合格后方可进行试顶加载，顶至梁体脱空 2mm～5mm 时应停止，并应停放 5 min～10min 进行观察，无任何异常后方可进行后续顶升。

7　千斤顶同步顶升应控制起梁速度，宜采用观测梁体起顶高度和千斤顶的起顶力施行双控。

8　顶升到设计高度后应垫实梁体，回落千斤顶应使梁板支承于临时支撑设施上。

9　在梁体顶升完成后，应修整、更换支承垫石、梁底钢板和支座。

10　支座更换完成后，应同步顶起梁体，逐步撤除垫块，同

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

步缓慢回落梁板至更换好的支座，并应详细检查垫石及支座，确认压紧密贴、位置正确后，方可撤除顶升系统。

12.3.3 伸缩装置更换应符合下列规定：

1 更换伸缩装置施工应符合现行行业标准《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2 的相关规定。

2 应根据施工环境温度确定新伸缩装置伸缩量。

3 更换前应清理伸缩装置。

4 更换伸缩装置时，宜临时封闭交通；当采用分幅施工时，新伸缩装置横向连接应平顺、可靠。

5 伸缩缝两侧保护带尺寸应满足新伸缩装置的安装连接要求，同时应控制开口深度及宽度。

6 伸缩装置的锚固预埋件有缺损时，应按本规程规定的方法先行处理。

7 在浇筑保护带混凝土前，应封闭开口。

12.4 质量检验与验收

12.4.1 支座更换质量检验应符合下列规定：

主 控 项 目

1 支座应进行进场检验。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查合格证、出厂性能试验报告。

2 支座安装前，应检查跨距、支座栓孔位置和制作垫石顶面高程、平整度、坡度、坡向，确认符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：用经纬仪、水准仪与钢尺量测。

3 支座与梁底及垫石之间应密贴，间隙不得大于 0.3mm。垫层材料和强度应符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察或用塞尺检查，检查垫层材料产品合格证。

4 支座锚栓的埋置深度和外露长度应符合设计要求。支座锚栓应在其位置调整准确后固结，锚栓与孔之间隙应填捣密实。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

5 支座的粘结灌浆和润滑材料应符合设计要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：检查粘结灌浆材料的配合比通知单，检查润滑材料的产品合格证和进场验收记录。

一 般 项 目

6 支座安装允许偏差应符合表 12.4.1 的规定。

表 12.4.1 支座安装允许偏差

支座安装允许偏差				
项目	允许偏差（mm）	检验频率		检验方法
		范围	点数	
支座高程	±5	每个支座	1	用水准仪测量与墩台上基准点比对
支座偏位	3	每个支座	2	用全站仪、钢尺量与墩台上基准点比对

12.4.2 伸缩装置更换质量检验应符合下列规定：

主 控 项 目

1 伸缩装置的形式和规格应符合设计要求，缝宽应根据设计规定和安装时的气温进行调整。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察、钢尺量测。

2 伸缩装置安装时焊接质量和焊缝长度应符合设计要求和规范规定，焊缝应牢固，严禁用点焊连接。大型伸缩装置与钢梁连接处的焊缝应采用超声波检测。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查焊缝检测报告。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

3 伸缩装置锚固部位的混凝土强度应符合设计要求，表面应平整，与路面衔接应平顺。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察，检查同条件养护试件强度试验报告。

一 般 项 目

4 伸缩装置安装允许偏差应符合表 12.4.2 的规定。

表 12.4.2 伸缩装置安装允许偏差

项 目	允许偏差（mm）	检验频率		检验方法
		范围	点数	
顺桥平整度	符合道路标准	每条缝	每车道1点	按道路检验标准检测
相邻板差	2			用钢板尺和塞尺量
缝宽	符合设计要求			用钢尺量，任意选点
与桥面高差	2			用钢板尺和塞尺量
长度	符合设计要求		2	用钢尺量

5 伸缩装置应无渗漏、无变形，伸缩缝应无阻塞。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

13 桥梁抗震加固

13.1 一 般 规 定

13.1.1 当抗震设防地区的城市桥梁不满足抗震要求时，应对桥梁进行抗震加固。

13.1.2 桥梁桥址处地震基本烈度应按现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 的规定执行。

13.1.3 桥梁抗震加固前，宜根据桥址场地地震基本烈度、桥梁抗震设防类别和设防标准，进行专门的抗震鉴定。

13.1.4 对建造于抗震危险地段的桥梁，宜结合规划更新或迁移；对暂时不能更新或迁移的，应进行专门研究，并应采取应急的安全措施。

13.1.5 桥梁抗震加固时，其抗震设防类别、设防标准及相应的抗震措施和抗震验算要求，应按现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 的相应规定执行。

13.1.6 现有桥梁抗震加固的设计原则应符合下列规定：

1 加固方案应根据抗震鉴定结果，按能力设计原则经综合分析后确定，可分别采用结构系统加固或构件加固方法。

2 加固方案应具有传递地震作用到地基的途径和地震能量耗散的部位。

3 加固方案应控制结构地震位移，不得发生落梁破坏。

4 加固或新增构件的布置，不应发生因部分构件的破坏而导致整个结构丧失抗震能力或对重力荷载的承载力。

5 新增构件与原有构件之间应有可靠连接。

6 加固所用材料类型与原结构相同时，其强度等级不应低于原结构材料的实际强度等级。

13.1.7 抗震加固的方案、结构布置和连接构造，应符合下列

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

规定：

1 对抗震薄弱部位、易损部位和不同类型结构的连接部位，其承载力或变形能力宜采取比一般部位增强的措施。

2 宜减少地基基础的加固工程量，优先采用结构系统抗震加固的方法。

3 加固方案应结合原结构的具体特点和技术经济条件分析确定。

4 加固方案宜结合维修改造、改善使用功能，并外表美观。

5 加固措施应便于施工，并应减少对交通的影响。

13.1.8 抗震加固的施工应符合下列规定：

1 应减少损伤原结构构件。

2 发现原结构或相关工程隐蔽部位的构造有严重缺陷时，应会同加固设计单位采取有效处理措施后，方可继续施工。

3 对可能导致的倾斜、开裂或局部倒塌等现象，应预先采取安全措施。

13.2 地基与基础抗震加固

13.2.1 桥梁地基与基础的抗震加固应根据具体情况，采取因地制宜的措施。抗震加固设计时，地基和基础的承载力验算应按现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 的相应规定执行。

13.2.2 当地基承载力不满足要求时，可采取加固地基、增大基础底面积或增加基桩等措施加固。

13.2.3 存在液化土层的地基，应根据桥梁的抗震设防类别、地基的液化等级，按现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 的规定，采取相应的抗液化措施。

13.2.4 当承台或扩大基础承载力不满足要求时，可采取增大截面、粘贴钢板或纤维复合材料、增设预应力钢筋等措施来提高其抗弯和抗剪强度。

13.2.5 当承台或扩大基础倾覆抗力不满足要求时，可采用增大

基础（承台）底面积、增加基桩或增设地锚等措施加固。

13.2.6 当桩基础或桩与承台连接节点的承载力不满足要求时，可在承台附近或地面以下的原状土上增设连系梁，或采用增加基桩、下拉锚等措施加固。

13.3 结构系统抗震加固

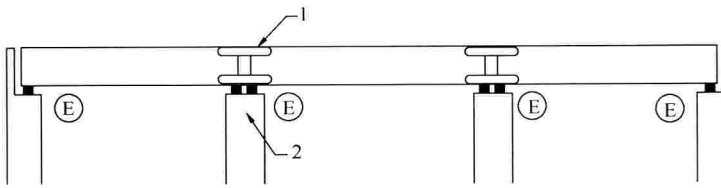
13.3.1 宜采用分散水平地震力加固法、功能性支承系统加固法、隔震加固法或减震加固法等结构系统抗震加固方法。

13.3.2 当采用分散水平地震力加固法加固桥梁时，可选用下列措施：

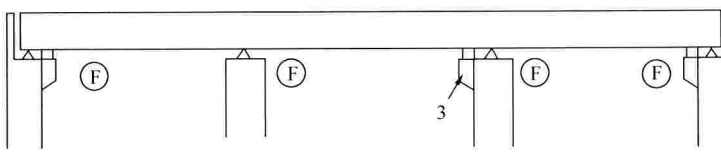
1 将简支梁桥改造为连续梁桥，并将全桥支座更换为弹性支承（图13.3.2a）。

2 对中小跨径连续梁桥，将全桥支座更换为弹性支承。

3 对连续梁桥，在活动支座墩与主梁之间安装冲击传递装置（图13.3.2b）。



(a) 上部结构连续化，并将支座更换为弹性支承



(b) 在活动支座墩与主梁之间安装STU装置

图13.3.2 分散水平地震力加固法示意图

1—上部结构连续化；2—弹性支座；3—冲击传递装置

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

13.3.3 当采用功能性支承系统加固法（图 13.3.3）加固桥梁时，应符合下列规定：

1 支承系统应有适当摩擦力，在 E2 地震作用下可产生摩擦滑动机制。

2 支承系统应设置限位装置。

3 应提供足够的梁端防落梁长度。

4 支承系统在 E2 地震作用下可损坏。

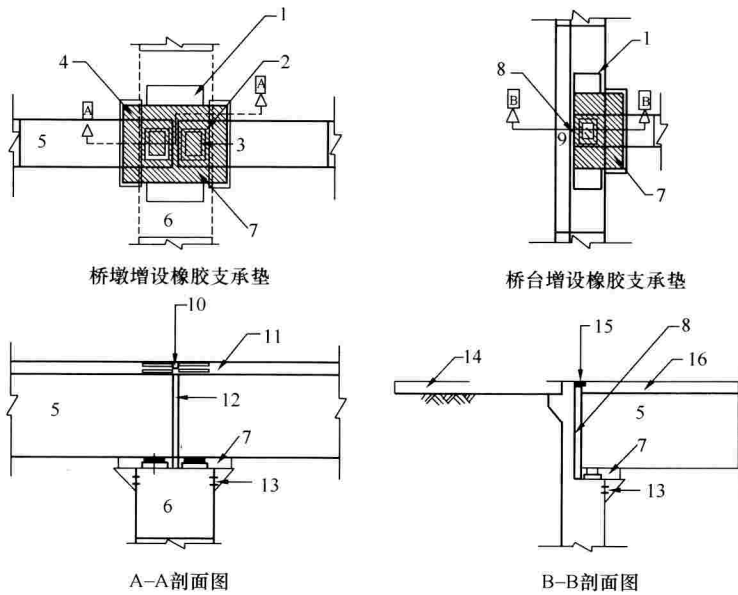


图 13.3.3 功能性支承系统加固法示意图

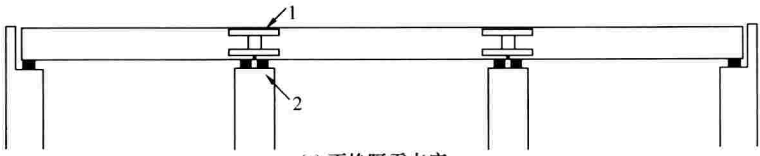
1—新设抗震挡块；2—原有支座垫石；3—原有橡胶支座；4—新设防落梁措施；5—主梁；6—盖梁；7—增设橡胶支座；8—增设橡胶填缝板；9—桥台胸墙；10—铰接；11—弹性支撑；12—填缝板；13—增设防落措施钢制托架（TYP）；14—桥台搭板；15—伸缩缝；16—桥面板

13.3.4 当采用隔震加固法加固桥梁时，隔震装置类型、构造及隔震桥梁抗震验算要求，应按现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 的相应规定执行。

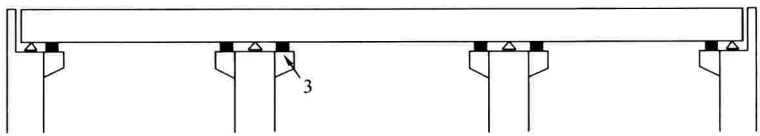
13.3.5 当采用隔震加固法加固桥梁时，可选用下列措施：

1 将简支梁桥改造为连续梁桥，并将全桥支座更换为隔震支座（图 13.3.5a）。

2 对连续梁桥，将全桥支座更换为隔震支座；或在桥墩上安装托架，并增设隔震支座（图 13.3.5b）。



(a) 更换隔震支座



(b) 墩上安装托架，并增设隔震装置

图 13.3.5 隔震加固法示意图

1—上部结构连续化；2—隔震支座；3—托架与隔震支座

13.3.6 当采用减震加固法（图 13.3.6）加固桥梁时，减震装置类型、构造及减震桥梁抗震验算要求，应按现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 的相应规定执行。

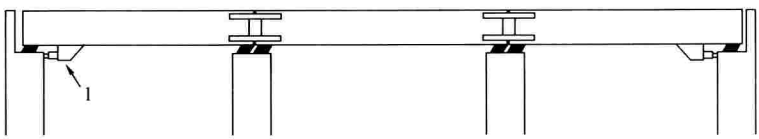


图 13.3.6 减震加固法示意图

1—阻尼器

13.3.7 桥梁梁端防落梁长度应符合现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 的相应规定。当梁端防落梁长度不足时，应采取下列措施防止地震时产生落梁破坏：

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

1 对桥墩、台帽或盖梁应采取扩座措施。

2 应增设防落梁装置或限位装置；落梁装置和限位装置应符合本规程第 13.3.8 条的有关规定。

13.3.8 对未安装防落梁装置或限位装置的现有乙类和丙类桥梁，宜增设防落梁装置或限位装置。防落梁装置和限位装置应符合下列规定：

1 应留设可动距离，不应影响主梁的正常使用功能，并应设置缓冲材料。

2 不应影响正常使用状态下支座的移动或转动功能。

3 不应影响支座维护管理或其他装置功能。

4 应有足够的强度，应能有效防止地震时落梁。

5 当相邻主梁永久作用下支反力的比值达 2.0 倍以上，或相邻主梁振动单元基本振动周期的比值达 1.5 倍以上时，不宜采用相邻主梁互相连接形式的防落梁装置。

13.3.9 对现有甲类、乙类和丙类桥梁，在梁与梁之间和梁与桥台胸墙之间未设置缓冲材料的，宜加装橡胶垫或其他弹性衬垫(图 13.3.9)。

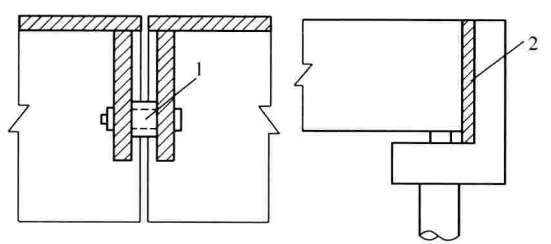


图 13.3.9 缓冲设施示意图

1—橡胶垫；2—弹性衬垫

13.4 结构构件抗震加固

13.4.1 当桥梁的桥墩抗震能力不满足要求时，可采用增大截面加固法、外包钢管加固法或粘贴纤维复合材料加固法等进行

加固。

13.4.2 当采用增大截面法加固钢筋混凝土桥墩时，应符合下列规定：

1 混凝土的强度等级不应低于C30，且不应低于原桥墩实际的混凝土强度等级。

2 当需提高桥墩的抗弯强度时，新增纵筋应伸入承台并满足锚固要求；对多柱式桥墩，尚应伸入盖梁并满足锚固要求。

3 新增纵筋、箍筋的配置应符合现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166的相应规定。

4 加固后桥墩应按整体截面进行抗震验算，新增的混凝土和钢筋的材料强度应乘以0.85的折减系数。

13.4.3 当采用增大截面法提高钢筋混凝土桥墩的抗弯强度时，承台和基础宜进行相应的补强加固。

13.4.4 当采用外包钢管加固法加固钢筋混凝土桥墩时，应符合下列规定：

1 对圆柱式桥墩，宜采用两块半圆形的钢管外包原桥墩，并应在现场沿竖向接缝焊接成钢套，钢管与桥墩侧面宜留有25mm～40mm的空隙，其间可填充无收缩水泥砂浆。

2 对矩形截面的柱式桥墩，宜采用椭圆形钢管外包加固(图13.4.4)，原墩柱四个折角宜修整为圆弧形，钢管与原墩柱之间的空隙可灌注与原墩柱同强度等级的微膨胀混凝土。

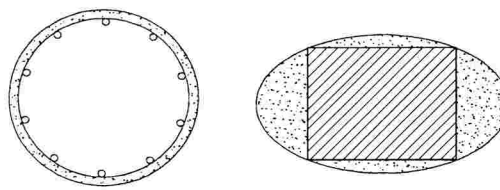


图13.4.4 外包钢管加固法

3 外包钢管的下端与承台顶面宜有50mm的间隙。

4 钢管壁厚宜为10mm～25mm。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

13.4.5 当采用外包钢管加固法对延性不足的钢筋混凝土圆柱式桥墩进行加固时，应符合下列规定：

1 外包钢管的厚度 t_j 应按下式计算：

$$t_j \geqslant \frac{(\varepsilon_{cu}-0.004)Df'_{cc}}{5.6f_{yj}\varepsilon_{su}} \tag{13.4.5-1}$$

式中：t_j——外包钢管厚度（mm）；

ε_{cu}——E2 地震作用下墩底截面混凝土的最大压应变；

D——外包钢管内径（mm）；

f'_{cc}——受钢管约束混凝土的抗压强度（N/mm^2）；

f_{yj}——外包钢管抗拉强度标准值（N/mm^2）；

ε_{su}——外包钢管的极限拉应变。

2 E2 地震作用下墩底截面混凝土的最大压应变 ε_{cu} 应按下式计算：

$$\varepsilon_{cu}=\phi_m c \tag{13.4.5-2}$$

式中：ϕ_m——E2 地震作用下墩底截面的最大曲率；

c——墩底截面曲率达到最大曲率 ϕ_m 时，中性轴至混凝土受压侧最外缘的距离，可先假设加固前与加固后 c 值相同进行分析。

3 受钢管约束混凝土的抗压强度 f'_{cc} 应按下式计算：

$$f'_{cc}=f'_c\left(2.254\sqrt{1+\frac{15.88t_jf_{yj}}{Df'_c}}-\frac{4t_jf_{yj}}{Df'_c}-1.254\right) \tag{13.4.5-3}$$

式中：f'_c——加固前混凝土的抗压强度标准值（N/mm^2）。

13.4.6 当采用外包钢管加固法对抗剪强度不足的钢筋混凝土圆柱式桥墩进行加固时，应符合下列规定：

1 外包钢管的厚度 t_j 应按下式计算：

$$t_j \geqslant \frac{\dfrac{V_0}{\phi_s}-(V_c+V_s)}{0.5\pi f_{yj}D\cot\theta}=\frac{V_{sj}}{1.57f_{yj}D\cot\theta} \tag{13.4.6-1}$$

式中：t_j——外包钢管厚度（mm）；

ϕ_s——抗剪强度折减系数，可取为 0.85；

V_0——E2 地震作用下墩柱剪力设计值（N）；

V_c——墩柱塑性铰区域混凝土的抗剪能力贡献（N）；

V_s——墩柱塑性铰区域横向钢筋的抗剪能力贡献（N）；

V_{sj}——外包钢管承担的剪力设计值（N）；

f_{yj}——外包钢管抗拉强度标准值（N/mm^2）；

D——外包钢管内径（mm）；

θ——剪切裂缝与墩柱轴线的夹角（°）。

2 塑性铰区域混凝土的抗剪能力贡献 V_c 应按下列公式计算：

$$V_c = 1.66\left(0.33+\frac{N}{140A_g}\right)\sqrt{f'_c}A_e \quad (N\text{ 为轴压力时}) \tag{13.4.6-2}$$

$$V_c = 1.66\left(0.33+\frac{N}{35A_g}\right)\sqrt{f'_c}A_e \quad (N\text{ 为轴拉力时}) \tag{13.4.6-3}$$

式中：N——E2 地震作用下墩柱轴力设计值（N）；当 N 为压力时取正值，为拉力时取负值；

A_g——按全截面计算的墩柱截面积（cm^2）；

f'_c——混凝土抗压强度标准值（N/mm^2）；

A_e——有效剪切面积，可取为 $0.8A_g$（cm^2）。

3 横向钢筋的抗剪能力贡献 V_s 应按下式计算：

$$V_s = \frac{\pi}{2}\frac{A_h f_{yh} D' \cot\theta}{s} \tag{13.4.6-4}$$

式中：A_h——圆环箍筋或螺旋箍筋截面积（mm^2）；

f_{yh}——圆环箍筋或螺旋箍筋抗拉强度标准值（N/mm^2）；

D'——核心混凝土直径（cm）；

s——螺旋箍筋间距（cm）；

θ——剪切裂缝与墩柱轴线的夹角（°）。

4 剪切裂缝与墩柱轴线的夹角 θ，应按下列公式计算：

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\rho_v n + 1.26\dfrac{\rho_v}{\rho_l}}{1+\rho_v n}\right)^{\frac{1}{4}} > \alpha\text{（一端固定一端铰接的墩柱）} \tag{13.4.6-5}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\rho_v n + 0.46\dfrac{\rho_v}{\rho_l}}{1+\rho_v n}\right)^{\frac{1}{4}} > \alpha\text{（两端固定的墩柱）} \tag{13.4.6-6}$$

$$\rho_v = 2t_j / r \tag{13.4.6-7}$$

式中：r——桥墩半径（mm）；

ρ_l——墩柱纵向钢筋配筋率；

n——钢筋与混凝土弹性模量比，$n=E_s/E_c$；

α——$\alpha=D'/H$；

H——墩高（cm）。

13.4.7 当采用粘贴纤维复合材料加固法加固钢筋混凝土桥墩时，应符合下列规定：

1 粘贴的纤维复合材料下方与承台顶面宜留有 50mm 的间隙。

2 对矩形截面的柱式桥墩，宜将原截面四个折角修整为圆弧形，并将截面扩大为椭圆形后，再粘贴纤维复合材料。

13.4.8 当采用粘贴纤维复合材料加固法对延性不足的钢筋混凝土圆柱式桥墩进行加固时，应符合下列规定：

1 粘贴纤维复合材料的厚度 t_j 可按下式计算：

$$t_j \geqslant \frac{0.1(\varepsilon_{cu}-0.004)Df'_{cc}}{f_{du}\varepsilon_{du}} \tag{13.4.8-1}$$

式中：t_j——粘贴纤维复合材料布材的厚度（mm）；

ε_{cu}——E2 地震作用下墩底截面混凝土的最大压应变，可按本规程式（13.4.5-2）计算；

D——墩柱直径（mm）；

f'_{cc}——受纤维复合材料约束混凝土的抗压强度（N/mm^2）；

f_{du}——纤维复合材料抗拉强度设计值（N/mm^2）；

ε_{du}——与纤维复合材料设计抗拉强度相应的应变。

2 受纤维复合材料约束混凝土的抗压强度 f'_{cc} 可按下式计算：

$$f'_{cc}=f'_{c}\left(2.254\sqrt{1+\frac{15.88t_{j}f_{du}}{Df'_{c}}}-\frac{4t_{j}f_{du}}{Df'_{c}}-1.254\right) \tag{13.4.8-2}$$

式中：f'_{c}——加固前混凝土抗压强度标准值（N/mm^2）。

13.4.9 当采用粘贴纤维复合材料加固法对抗剪强度不足的钢筋混凝土圆柱式桥墩进行加固时，纤维复合材料布材的厚度 t_j 可按下式计算：

$$t_{j}\geqslant\frac{\frac{V_{0}}{\phi_{s}}-(V_{c}+V_{s})}{0.5\pi f_{j}D\cot\theta}=\frac{V_{sj}}{1.57f_{j}D\cot\theta} \tag{13.4.9}$$

式中：t_j——纤维复合材料布材厚度（mm）；

ϕ_s——抗剪强度折减系数，可取为 0.85；

V_0——E2 地震作用下墩柱剪力设计值（N）；

V_c——墩柱塑性铰区域混凝土的抗剪能力贡献（N），可按本规程式（13.4.6-2）或式（13.4.6-3）计算；

V_s——墩柱塑性铰区域横向钢筋的抗剪能力贡献（N），可按本规程式（13.4.6-4）计算；

V_{sj}——纤维复合材料承担的剪力设计值（N）；

f_j——纤维复合材料抗拉强度标准值（N/mm^2）；

D——墩柱直径（mm）；

θ——剪切裂缝与墩柱轴线的夹角（°），可按本规程式（13.4.6-5）或本规程式（13.4.6-6）计算。

13.4.10 对多柱式桥墩，可在墩柱中间偏上位置设置系梁。

13.4.11 对抗弯强度或抗剪强度不足的盖梁，可采用粘贴纤维带、增大截面等方法进行补强加固，增大截面时原盖梁表面宜粗糙化，并应配置穿过原盖梁的锚筋与原盖梁可靠拉结；纤维带可施加预应力。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

13.4.12 对抗剪强度不足的墩柱与盖梁节点，可采用混凝土包覆加固（图 13.4.12）。

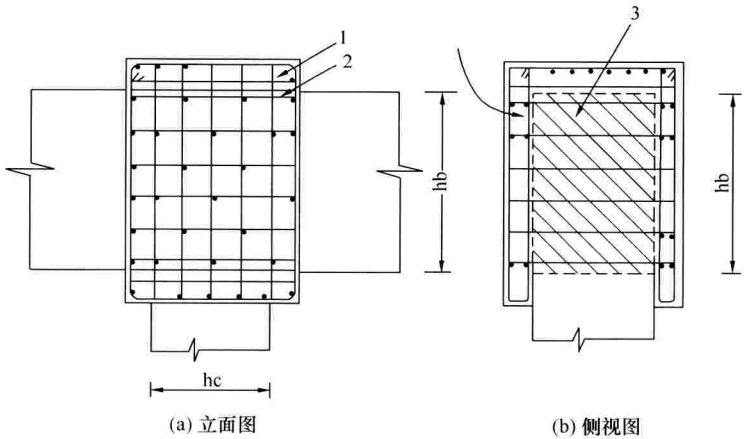


图 13.4.12 盖梁与墩柱接头抗剪加固示意图

1—盖梁包裹混凝土；2—增设结合系筋；3—原盖梁

13.4.13 当桥台结构承载力、稳定性、基础承载力不满足要求，或台背填土区沉陷时，应进行加固。

13.4.14 桥台加固时应根据桥台的类型合理选择加固方法。可采取加厚墙身尺寸、增加扶壁或翼墙、桥台前趾加桩、台背填土区增设密排桩、增设地锚、胸墙与主梁之间填充耗能材料等措施。

13.5 施工与质量验收

13.5.1 简支梁桥改造为连续梁桥的施工与质量验收应按本规程第 9.3 节和第 9.4 节的有关规定执行。

13.5.2 支座更换施工与质量验收应按本规程第 12.3 节和第 12.4 节的有关规定执行。

13.5.3 增设防落梁装置或限位装置的施工与质量验收应按本规程第 13.3.8 条的有关规定执行。

13.5.4 地基与基础、墩台、盖梁的抗震加固施工与质量验收可按本规程第11.3节和第11.4节的有关规定执行。

13.5.5 多柱式桥墩增设系梁的施工与质量验收可按本规程第10.4节和第10.5节的有关规定执行。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”或“可”，反面词采用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为“应按……执行”或“应符合……的规定”。

引用标准名录

1 《建筑设计防火规范》GB 50016

2 《混凝土外加剂应用技术规范》GB 50119

3 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202

4 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204

5 《建筑结构检测技术标准》GB/T 50344

6 《混凝土结构加固设计规范》GB 50367

7 《混凝土结构耐久性设计规范》GB/T 50476

8 《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550

9 《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728

10 《通用硅酸盐水泥》GB 175

11 《碳素结构钢》GB/T 700

12 《热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差》GB/T 709

13 《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228

14 《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230

15 《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231

16 《钢筋混凝土用钢　第一部分：热轧光圆钢筋》GB 1499.1

17 《钢筋混凝土用钢　第二部分：热轧带肋钢筋》GB 1499.2

18 《低合金高强度结构钢》GB/T 1591

19 《树脂浇铸体性能试验方法》GB/T 2567

20 《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632

21 《胶粘剂　拉伸剪切强度的测定(刚性材料对刚性材料)》

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

GB/T 7124

22 《混凝土外加剂》GB 8076

23 《涂覆涂料前钢材表面处理　表面清洁度的目视评定　第1部分：未涂覆过的钢材表面和全面清除原有涂层后的钢材表面的锈蚀等级和处理等级》GB/T 8923.1

24 《桥梁球型支座》GB/T 17955

25 《单丝涂覆环氧涂层预应力钢绞线》GB/T 25823

26 《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2

27 《城市桥梁设计规范》CJJ 11

28 《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166

29 《快凝快硬硫铝酸盐水泥》JC/T 2282

30 《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18

31 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》JGJ 52

32 《混凝土用水标准》JGJ 63

33 《无粘结预应力混凝土结构技术规程》JGJ 92

34 《钢筋机械连接技术规程》JGJ 107

35 《建筑基坑支护技术规程》JGJ 120

36 《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145

37 《建筑施工模板安全技术规范》JGJ 162

38 《建筑钢结构防腐蚀技术规程》JGJ/T 251

39 《混凝土结构工程无机材料后锚固技术规程》JGJ/T 271

40 《自密实混凝土应用技术规程》JGJ/T 283

41 《混凝土用膨胀型、扩孔型建筑锚栓》JG 160

42 《环氧涂层预应力钢绞线》JG/T 387

43 《公路工程混凝土结构防腐蚀技术规范》JTG/T B07-01

44 《公路圬工桥涵设计规范》JTG D61

45 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62

46 《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D63

47 《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50

48 《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22
49 《公路桥梁加固施工技术规范》JTG/T J23
50 《公路桥梁板式橡胶支座》JT/T 4
51 《公路桥梁伸缩装置通用技术条件》JT/T 327
52 《桥梁结构用芳纶纤维复合材料》JT/T 531

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

中华人民共和国行业标准

城市桥梁结构加固技术规程

CJJ/T 239－2016

条 文 说 明

编 制 说 明

《城市桥梁结构加固技术规程》CJJ/T 239－2016，经住房和城乡建设部2016年11月15日第1356号公告批准、发布。

本规程编制过程中，编制组进行了认真细致的调查研究，总结了我国城市桥梁结构加固的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《城市桥梁结构加固技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

目　　次

1　总则 …… 177
2　术语和符号 …… 178
2.1　术语 …… 178
3　基本规定 …… 179
4　材料 …… 181
4.2　水泥和混凝土 …… 181
4.3　钢材及连接材料 …… 181
4.4　锚固件 …… 182
4.5　纤维复合材料 …… 182
4.6　结构胶粘剂 …… 182
4.7　混凝土用结构界面剂 …… 183
4.9　混凝土表层缺陷修复及防护用材料 …… 183
5　增大截面加固法 …… 184
5.1　一般规定 …… 184
5.2　受弯构件加固设计 …… 185
5.3　受压构件加固设计 …… 192
5.4　新旧混凝土结合设计 …… 195
5.5　构造要求 …… 195
5.6　施工 …… 196
5.7　质量检验与验收 …… 199
6　粘贴钢板加固法 …… 200
6.1　一般规定 …… 200
6.2　受弯构件加固设计 …… 200
6.3　矩形截面偏心受压构件加固设计 …… 201
6.4　受拉构件加固设计 …… 201

6.5 构造要求 …… 201
6.6 施工 …… 201
6.7 质量检验与验收 …… 202
7 粘贴纤维带加固法 …… 203
7.1 一般规定 …… 203
7.2 受弯构件加固设计 …… 203
7.5 构造要求 …… 204
7.7 质量检验与验收 …… 204
8 预应力加固法 …… 205
8.1 一般规定 …… 205
8.2 预应力钢筋加固设计 …… 205
8.3 预应力纤维带加固设计 …… 212
8.5 施工 …… 212
9 改变结构体系加固法 …… 213
9.1 一般规定 …… 213
9.2 设计 …… 213
9.3 施工 …… 214
10 增加横向整体性加固法 …… 216
10.1 一般规定 …… 216
11 桥梁下部结构及基础加固 …… 217
11.1 一般规定 …… 217
11.2 设计 …… 217
11.3 施工 …… 217
12 支座和伸缩装置更换 …… 218
12.3 施工 …… 218
13 桥梁抗震加固 …… 221
13.1 一般规定 …… 221
13.2 地基与基础抗震加固 …… 224
13.3 结构系统抗震加固 …… 226
13.4 结构构件抗震加固 …… 233

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

1 总 则

1.0.1 在未来10年～20年内，城市新建桥梁工程将逐渐减少，桥梁的养护、维修、加固以及改造工程将逐渐成为主流。鉴于桥梁加固工程已经越来越多，规范桥梁加固设计、施工及验收，为加固工程提供必要的技术依据已势在必行。

2 术语和符号

2.1 术　　语

2.1.5 该加固方法用于提高正截面承载力、斜截面承载力，适用于钢筋混凝土受弯构件、轴心受压构件、大偏心受压构件及受拉构件的加固。

2.1.6 加固对象为钢筋混凝土和预应力混凝土受弯构件或大偏心受压构件。

2.1.10 纤维复合材料用于加固时，主要采用纤维布和纤维板等片状材料（简称片材）。

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

3 基本规定

3.0.1 桥梁加固工程施工是对在役桥梁缺陷和病害的处理，与新、改建相比，情况更复杂，动态施工在加固工程中尤为重要。要加强施工前的复查和施工中的观测与检查，及时反馈信息指导施工。在施工前，若发现原结构或相关工程隐蔽部位的构造有严重缺陷或与设计不相符的情况，应通知设计单位修改方案。动态设计非常必要。施工过程中若出现异常变形、裂缝有较大较快发展，应立即停止施工，采取有效措施进行处理，经确认后方可继续进行。加固完工后，应检验加固效果，特大桥与技术复杂桥梁应进行荷载试验。

3.0.2 桥梁加固依据原桥梁检测评估报告、竣工图、设计图及现场调查等资料进行设计。桥梁技术状况评估包括桥梁构件、部件、桥面系、上部结构、下部结构和全桥评定。承载能力检测评定包括四个方面：桥梁缺损状况调查评估、质量状况检测评定、结构检算评定和荷载试验评定。

3.0.4 桥梁加固不得对原结构损伤，主要是避免不必要的拆除及更换。

3.0.5 根据桥梁加固的目标，桥梁加固通常可分为以提高承载力为目的的静力补强加固和以满足抗震设防要求的抗震加固两种。

对位于地震基本烈度为6度～9度地区、有抗震要求的现有桥梁，可能存在承载力不足（不考虑地震作用）或抗震能力不足或承载力和抗震能力两者都不足的几种情况。对仅是承载力不足的桥梁，在进行静力补强加固设计时仍要验算其抗震能力；对抗震能力不足的桥梁，则应进行必要的抗震加固；尤其是当承载力和抗震能力都不足时，在静力补强加固的同时进行抗震加固，具

有最优的投资效益。

3.0.6 结构构件加固前，拆除原桥上的部分恒载，减少活动荷载和施工荷载，可以提高加固效果。这也说明，结构构件是分阶段受力的，加固的设计计算应符合构件受力历史，并且新旧材料有效结合前的受力状态会影响新旧材料有效结合后的加固效果。

在进行新增材料施工时，有可能对原构件产生荷载效应，这也就是所谓的带载加固，此时应按本条第1款对原构件进行验算，以确保原结构的安全性。

在新旧材料有效结合前，考虑到施工安全性，原构件的承载力宜根据实际情况考虑钢筋腐蚀、混凝土裂缝等影响；新旧材料有效结合后，在对原构件的裂缝进行必要的处理后，原构件钢筋腐蚀、混凝土裂缝对加固后的构件承载力可不考虑此影响。

作用效应组合系数取值：恒载的荷载效应分项系数1.2；使用阶段的可变作用效应分项系数按现行行业规范《公路桥涵设计通用规范》JTG D60取用。

3.0.9 此条是依据桥梁加固特点对《混凝土结构加固设计规范》GB 50367－2013第3.1.7条的改写。

3.0.10 有特殊使用要求的桥梁指高温、高寒、高腐蚀环境下的桥梁。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

4 材　　料

4.2 水泥和混凝土

4.2.2 水泥混凝土的强度与水灰比、集料的配合比等多种因素有关，而关系最大的是水泥的强度（砂浆抗压强度）。选用水泥强度应与需要配制的混凝土的强度相适应，若以低强度的水泥配制高强度混凝土，而每立方米混凝土需用的水泥量（kg/m^3）大为增加，不仅不经济，而且水泥用量多，水化热大，易发生收缩裂纹，影响混凝土的质量。若以较高强度的水泥配制低强度混凝土，虽然可以少用水泥，但不能符合现行行业标准《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50 的规定，否则，混凝土的和易性不好，容易离析，浇筑混凝土质量差。水泥的强度与配制混凝土强度的具体比例参考现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204。

4.2.3 缺陷修补现场拌和混凝土粗集料的最大粒径不宜大于20mm，其他增大截面法等现浇混凝土粗集料的最大粒径可不受此限制。

4.3 钢材及连接材料

4.3.1 环氧涂层预应力钢材涂层的质量及主要性能指标应满足现行国家、行业标准《单丝涂覆环氧涂层预应力钢绞线》GB/T 25823 和《环氧涂层预应力钢绞线》JG/T 387 的要求。

4.3.2 焊条的质量应符合《非合金钢及细晶粒钢焊条》GB/T 5117 和《热强钢焊条》GB/T 5118 等现行国家标准的规定；焊缝连接的质量指标应符合《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205、《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 等现行国家标准的规定。

4.4 锚 固 件

4.4.3 表 4.4.3-1 和表 4.4.3-2 参考国家现行标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145 和《紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3098.1。

4.5 纤维复合材料

4.5.2 表 4.5.2 根据《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22－2008 表 4.5.1 修改制定。

4.5.3 第 1 款：净截面积为纤维布的计算厚度乘以宽度。纤维布的计算厚度应为其单位面积质量除以纤维密度。

第 2、3、4 款：纤维布材的单位面积纤维质量参考《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22－2008 第 4.5.4 条。

4.6 结构胶粘剂

4.6.1 胶粘剂性能应符合现行国家标准《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728、《混凝土结构加固设计规范》GB 50367 的规定。

4.6.2 引用《混凝土结构加固设计规范》GB 50376 的规定。

4.6.3 引用《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728 的规定。

4.6.4 粘贴纤维和混凝土的胶粘剂根据工艺不同分两类：由配套的底层树脂、找平材料、浸渍树脂或纤维板胶粘剂组成的胶粘剂；免底胶且浸渍、修补胶和粘结胶兼用的单一胶粘剂。

4.6.7 当结构锚固工程采用快固结构胶时，其安全性能应符合表 4.6.7 的规定。其中，钢对钢（钢套筒法）拉伸抗剪强度标准值应按《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728－2011 附录 H 检验；经低周反复拉力作用后的试件粘结抗剪强度降低率（%）应按《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728－2011 附录 F 检验。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

快固结构胶系指在16℃～25℃环境中，其固化时间不超过45min的胶粘剂，且应按A级的要求采用。计算抗剪强度标准值时，取强度保证率为95%；置信水平为0.90，试件数量不应少于15个。

4.7 混凝土用结构界面剂

4.7.1 混凝土用结构界面剂也称结构界面胶。

4.9 混凝土表层缺陷修复及防护用材料

4.9.1 混凝土表层缺陷修补可采用细石混凝土、水泥砂浆、聚合物水泥砂浆、改性环氧混凝土（砂浆）等材料。

桥梁表面缺陷采用改性环氧混凝土（砂浆）修复时，改性环氧基液的安全性能指标应符合相关标准和规范的有关规定。并且在原结构混凝土表面涂抹改性环氧混凝土（砂浆）修复前，应先在已凿毛混凝土表面涂一层改性环氧基液，使其充分浸润。

4.9.2 喷涂型阻锈剂的性能指标应符合现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367－2013表4.7.3的规定。

5 增大截面加固法

5.1 一 般 规 定

5.1.1 增大截面加固法适用于下列几种情况：

1 钢筋混凝土受弯构件因抗弯或抗剪强度不足，或刚度不足而需要加固的，例如梁式桥的预制或现浇梁板、盖梁，T形钢构桥或刚架桥的梁等；

2 混凝土受压构件因强度、刚度、稳定性不足而需要加固的，例如墩柱、桁架式梁桥的受压杆等；

3 拱桥的主拱圈（或腹拱圈）因强度、刚度不足而需要加固的。

5.1.2 本条规定了原构件混凝土强度的最低值要求，即原构件的可加固性。如果原构件混凝土强度过低，新旧混凝土截面的粘结强度很难得到保证，将会较大影响加固效果。若采用植入剪切一摩擦筋来改善结合面的粘结抗剪和抗拉能力，也会因基材强度过低而无法提供足够的锚固力。

一般情况下，不应简单采用原构件设计时的混凝土强度设计值，而应进行现场强度检测，并按相应的检测规程规定得到强度推算值。

当遇到原构件混凝土不仅强度等级低，而且密实性差，甚至还有蜂窝、空洞等缺陷时，不应直接采用增大截面法进行加固，而应先置换原有局部缺陷或密实度太差的混凝土，然后再进行加固。

5.1.3 本条规定了增大截面加固后构件能采用整体截面计算的构造要求。新增混凝土与原构件的结合面应可靠传力，新增混凝土加厚层在构件受力过程中应与原构件保持变形协调、协同工作。本章的设计计算方法均是基于这一前提建立的。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

5.2 受弯构件加固设计

5.2.1 对桥梁受弯构件采用增大截面加固主要有三种情况：

第一种是仅在截面受拉区增设现浇混凝土加厚层，比如矩形梁或T形梁的底部加厚混凝土，在受拉区增设纵向受拉钢筋，提高正截面抗弯承载力。为了保证新增纵向钢筋的正常工作，需要按构造要求浇筑混凝土保护层，进而增大了截面尺寸。

第二种是仅在截面受压区增设现浇混凝土加厚层，比如加厚现浇混凝土桥面板，这样也就增大了整个正截面高度，进而提高正截面受弯承载力和刚度。

第三种是在截面受拉区和受压区同时增设现浇混凝土加厚层，这也同时在受拉区增配纵向钢筋和在受压区增大截面，可以较大地提高正截面受弯承载力和刚度。

5.2.2 本条是关于受弯构件承载力计算的基本假定，说明如下：

2 采用新旧混凝土轴心抗压强度设计值的加权平均值 f_{cc} 来作为组合截面的混凝土抗压强度设计值，是参考《混凝土结构加固设计规范》GB 50367－2013 第 5.4.2 条的规定。采用加权平均值 f_{cc} 来作为组合截面的混凝土抗压强度设计值主要居于以下考虑：(1) 新增混凝土的强度一般比旧混凝土高一个等级，这个加权平均值 f_{cc} 基本上就同旧混凝土强度设计取值差不多，这样偏于安全；(2) 如果精确计算，组合截面的抗压强度设计值与新增混凝土的厚度及截面高度等因素有关，计算起来很繁琐，采取这种近似取值并不会引起很大误差，完全能够满足工程实例计算需要。

4 按《混凝土结构设计规范》GB 50010－2010 第 6.2.1 条第 4 款，纵向受拉钢筋的极限拉应变取 0.01，本规程引用此规定。

对于受弯构件，其正截面承载能力极限状态有下列两种情况：

(1) 截面受压区边缘压应变达到混凝土极限压应变 ε_{cu}；

（2）截面受拉区钢筋拉应变达到钢筋的极限拉应变。

5.2.3 本条是矩形截面受弯构件在增大截面加固后的正截面受弯承载力计算。

1 γ_0的取值

γ_0为桥梁结构的重要性系数，按《城市桥梁设计规范》CJJ 11－2011的规定，对桥梁设计安全等级为一级、二级、三级的分别采用1.1、1.0、0.9；

2 受拉区新增钢筋抗拉强度的取值

对于二次受力构件的受拉区新增钢筋取值问题一直存在不少争议。国家现行标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367－2013和《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22－2008就有不同的做法。本规程的做法说明如下：

在极限状态下，对于加固后的梁仍然为适筋梁（即满足$x \leqslant \xi_b h_0$）时，受弯构件新增钢筋的应力等于抗拉（或抗压）强度设计值乘以强度利用系数。受拉区新增受拉钢筋的拉应力$\sigma_{s2} = \alpha_s f_{sd2}$；对于双筋截面，受压区新增受压钢筋的压应力$\sigma'_{s2} = \alpha_s f'_{sd2}$。$\alpha_s$为新增钢筋强度利用系数，取$\alpha_s = 0.9$。一般情况下，加固受弯构件应该按适筋梁进行设计。

一次浇筑的适筋梁破坏特征是：首先受拉区钢筋达到屈服强度而发生屈服，其钢筋应力保持不变而应变显著地增大，直到压区边缘混凝土的应变达到极限压应变ε_{cu}时，受压区出现纵向水平裂缝，随之因混凝土压碎而破坏。这种破坏属于塑性破坏。

加固受弯构件为二次受力构件，其适筋梁的破坏特征也与一次浇筑的受弯构件类似，首先也是受拉区钢筋达到屈服强度，加固受弯构件受拉区有两种钢筋，根据两阶段受力特征，一般情况下，旧钢筋会首先达到其屈服强度，然后旧钢筋保持其应力不变而变形进一步增大，根据平截面假定，随后新增钢筋也达到其屈服强度，这样新旧钢筋均达到各自的屈服强度后，保持各自的拉应力不变而变形再继续增大，直到压区边缘混凝土的应变达到极限压应变ε_{cu}时，加固构件才破坏。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

ξ_b 为正截面相对界限受压区高度，它是指受弯构件界限破坏的相对受压区高度。界限破坏是适筋梁破坏与超筋梁破坏的分界状态，是指当受弯构件的受拉区钢筋达到屈服强度时，受压区混凝土边缘也同时达到其极限压应变 ε_{cu} 而破坏。

由 ξ_b 的概念可知，当加固受弯构件满足 $x \leqslant \xi_b h_0$ 时，构件属于适筋梁，其承载力极限状态时的受拉区新旧钢筋均可达到各自的抗拉强度设计值。《混凝土结构加固设计规范》GB 50367－2013 第 5.2.3 条的条文说明中提到："试验结果表明，倘若原构件主筋的极限拉应变能达到现行设计规范规定的 0.01 水平，而新增的主筋又按规范的规定采用了热轧钢筋，则正截面受弯破坏时，两种受力性质的新增主筋均能屈服。因此，不论哪一种受力构件，均可近似地按一次受力计算，只是在计算中应考虑到新增主筋在连接构造上和受力状态不可避免地要受到种种影响因素的综合作用，从而有可能导致其强度难以充分发挥，故仍应从保证安全的角度出发，对新增钢筋的强度进行折减，并统一取 $\alpha_s = 0.9$。"本规程引入新增钢筋强度利用系数 $\alpha_s = 0.9$ 也是出于同样的考虑，在受拉区和受压区的新增钢筋中均引入了该系数。

《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22－2008 第 5.2.4 条规定，受弯构件受拉区的新增钢筋拉应力为钢筋的弹性模量 E_{s2} 与其拉应变 ε_{s2} 的乘积（即 $\sigma_{s2} = \varepsilon_{s2} E_{s2}$），新增普通钢筋的拉应变 ε_{s2} 按平截面假定确定。该规范在第 5.2.6 条规定了 ε_{s2} 的计算方法。这种计算方法从原理上讲没有大的错误，但有以下两点值得探究：

1）经过大量的工程实例计算表明，新增钢筋应力 $\sigma_{s2} = E_{s2}\varepsilon_{s2} \leqslant f_{sd2}$ 的计算结果均大于 f_{sd2}，最终还是取 $\sigma_{s2} = f_{sd2}$，这样导致虽然经过大量的计算工作，最终的结果仍然都是一样的，即 $\sigma_{s2} = f_{sd2}$。这是由适筋梁的定义及 ξ_b 的含义而决定的，当 $x \leqslant \xi_b h_0$ 时，按《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22－2008 计算的结果必定是 $\sigma_{s2} = f_{sd2}$。

2）从上述加固受弯构件适筋梁破坏的特征分析可以看出，一般情况下，新增钢筋的拉应力无须进行计算，而可以类似于一次浇筑的适筋梁，根据其极限状态下的破坏特征而得出。

考虑到简化有关计算过程，本规程对适筋梁的抗弯计算是参考《混凝土结构加固设计规范》GB 50367－2013 的有关规定，受拉区新增钢筋取 $\sigma_{s2}=\alpha_s f_{sd2}=0.9f_{sd2}$，受压区新增钢筋取 $\sigma'_{s2}=\alpha_s f'_{sd2}=0.9f'_{sd2}$，这样计算更安全、更简易。

3 ξ_b 的计算

本规程中，公式 5.2.3-2 中的 ξ_b 仍按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 的规定采用，对应的截面高度为 h_0。

《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22－2008 对受弯构件增大截面加固后的相对界限受压区高度 ξ_b 的取值没有列出具体的计算公式，而是采用简化，直接取原构件按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62－2004 表 5.2.1 规定选用，其对应的截面高度为 h_{01}。

《混凝土结构加固设计规范》GB 50367－2013 的第 5.2.4 条对受弯构件增大截面加固后的相对界限受压区高度 ξ_b 的计算公式如下：

$$\xi_b=\frac{\beta_1}{1+\dfrac{\alpha_s f_{sd2}}{\varepsilon_{cu}E_s}+\dfrac{\varepsilon_{s1}}{\varepsilon_{cu}}} \tag{1}$$

$$\varepsilon_{s1}=\left(1.6\frac{h_{00}}{h_{01}}-0.6\right)\varepsilon_{s0} \tag{2}$$

$$\varepsilon_{s0}=\frac{M_{0k}}{0.87h_{01}A_{s1}E_{s1}} \tag{3}$$

式中：β_1——计算系数，当混凝土强度等级不超过 C50 时，β_1 值取为 0.8；当混凝土强度等级为 C80 时，β_1 值取为 0.74，其间按线形内插法确定；

ε_{cu}——混凝土极限压应变，取 $\varepsilon_{cu}=0.0033$；

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

ε_{s1}——新增钢筋位置处，按平截面假设确定的初始应变值；

M_{0k}——加固前受弯构件验算截面上原作用的弯矩标准值；

ε_{s0}——加固前，在初始弯矩 M_{0k} 作用下原受拉钢筋的应变值。

值得指出的是，《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22－2008 与《混凝土结构加固设计规范》GB 50367－2013 的 ξ_b 值的概念是有差别的。《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22－2008 直接选用原构件的 ξ_b 取值，ξ_b 对应的截面高度为 h_{01}；而在《混凝土结构加固设计规范》GB 50367－2013 中，进行了二次受力构件 ξ_b 的计算，部分采用经验公式，ξ_b 对应的截面高度为 h_{02}。

为了使用简便，本书建议增大截面加固后 ξ_b 的针对对象为 h_0，这样 ξ_b 可考虑直接引用一次受力构件的相对界限受压区高度 ξ_b，这种取法不太精确，还有待考证，但能适用于大部分的情况。

几个国家现行标准对 ξ_b 取值的规定与本规程规定对比见表 1。

表 1　几个标准对 ξ_b 取值及相关规定

项目	《混凝土结构加固设计规范》GB 50367－2013	《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22－2008	本规程
ξ_b 取值	公式（1）～（3）	按规范 JTG D62－2004 表 5.2.1 规定，按原构件混凝土和原受拉钢筋强度级别取值	按规范 JTG D62－2004 表 5.2.1 规定，按新旧混凝土和新旧受拉钢筋强度级别取较小值
ξ_b 对应的截面高度	h_{02}	h_{01}	h_0
对混凝土受压区高度 x 的规定（防止超筋破坏）	$x \leqslant \xi_b h_{02}$	$x \leqslant \xi_b h_{01}$	$x \leqslant \xi_b h_0$

4 对原纵向受拉钢筋可能达不到其强度设计值的特殊情况

在《混凝土结构加固设计规范》GB 50367－2013 第 5.2.5 条有下列规定：当按本规程公式（5.2.3-1）算得的加固后混凝土受压区高度 x 与加固前原截面有效高度 h_{01} 之比 x/h_{01} 大于原截面相对界限受压区高度 ξ_{b1} 时，即 $\xi_{b1}h_{01}<x\leqslant\xi_b h_0$，此时应考虑原纵向受拉钢筋应力 σ_{s1} 可能尚达不到其抗拉强度设计值 f_{sd1}，应将公式（5.2.3-1）中的 f_{sd1} 改为 σ_{s1}，并重新进行验算。验算时，σ_{s1} 值按下式确定：

$$\sigma_{s1}=\left(\frac{0.8h_{01}}{x}-1\right)\varepsilon_{cu}E_{s1}\leqslant f_{sd1} \tag{4}$$

在《混凝土结构加固设计规范》GB 50367－2013 中，只考虑了仅在受拉区加厚混凝土的增大截面加固形式，如果将此规定扩展至同时在受拉区和受压区加厚混凝土的通用增大截面加固形式，则 $\xi_{b1}h_{01}<x\leqslant\xi_b h_0$ 的条件应修改为 $(\xi_{b1}h_{01}+h'_c)<x\leqslant\xi_b h_0$。

经过分析，在桥梁结构加固中出现这种情况的概率非常小，通常情况下，$(\xi_{b1}h_{01}+h'_c)$ 的计算值大于 $\xi_b h_0$ 的计算值，即几乎不可能出现 $(\xi_{b1}h_{01}+h'_c)<x\leqslant\xi_b h_0$ 的情况，即使出现，其 f_{sd1} 与 σ_{s1} 的差值也是很小的。故本规程未对此特殊情况进行详细规定。

5.2.4 根据混凝土受压区高度 x 位置分成两种情况，即 $x\leqslant h'_{f2}$（第一类 T 形）、$x>h'_{f2}$（第二类 T 形）。在工程加固计算实例中，直接进行两类 T 形的判断较难，可以通过下式条件进行判断：

$$f_{cc}b'_f h'_{f2}+f'_{sd1}A'_{s1}+\alpha_s f'_{sd2}A'_{s2}\geqslant f_{sd1}A_{s1}+\alpha_s f_{sd2}A_{s2} \tag{5}$$

满足公式（5）的，属第一类 T 形；不满足公式（5）的，属第二类 T 形。

5.2.5 本条是关于受弯构件“抗剪上限值”的规定，以防止受弯构件的斜裂缝开展过宽或出现斜压破坏。在计算中如不能满足本条的要求，则应继续加大受弯构件的截面尺寸；只有在满足本

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

条规定的条件下，才能按本规程第5.2.6条的规定进行斜截面承载力计算。

本条是引用行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62－2004的规定，没有考虑加固构件二阶段受力特点。在《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22－2008中，考虑了加固构件二阶段受力特点。本规程编制组认为考不考虑二阶段受力的差别不大，该条文的作用为截面复核，没必要进行过多的计算，从简便易用角度出发，不再考虑二阶段受力特点。

5.2.6 受弯构件在截面增大后，斜截面受剪承载力的计算方法综合参考了《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22－2008、《混凝土结构加固设计规范》GB 50367－2013的相关规定。

在《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22－2008中，受弯构件加固后的斜截面受剪承载力计算表达式包括三项：第一项为原构件箍筋综合抗剪承载力，但b_2h_0按加固后截面计算，同时采用了与原构件斜裂缝有关的修正系数ψ_{cs}，箍筋配筋率采用了原构件的箍筋配筋率ρ_{sv1}；第二项为原构件的弯起钢筋受剪承载力；第三项为新增箍筋的抗剪承载力，引进了修正系数ψ_{vb}。其中第三项的计算过于简化，系数ψ_{vb}的理论依据不足，计算结果与实际偏差可能较大。

在《混凝土结构加固设计规范》GB 50367－2013中，该规范基本上没有考虑加固构件两阶段受力对斜截面受剪承载力的影响，只是按试验和分析结果给出了新增混凝土和新增钢筋的强度利用系数，将新旧混凝土上的斜截面受剪承载力分开计算并叠加。

本规程参照《混凝土结构加固设计规范》GB 50367－2013根据增大截面加固部位的不同分成两类来计算，并且也不考虑加固构件两阶段受力对斜截面受剪承载力的影响。按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62－2004的做法，混凝土和箍筋的受剪承载力不再像《混凝土结构加固设计规范》GB 50367－2013分别计算，而是计算混凝土和箍筋的共同受剪

承载力 V_{cs}。本规程是按一次受力构件的计算公式来计算增大截面后的构件混凝土和箍筋的共同受剪承载力 V_{cs}，构件截面宽度取 b 或 b_2，截面有效高度取 h_0，三面围套混凝土加固的箍筋配筋率采用了加固后构件的箍筋配筋率 ρ_{sv2}，在 ρ_{sv2} 的计算公式（5.2.6-5）中，考虑到新增箍筋没有像原有箍筋一样做到闭合，故引入了 0.8 的系数。

本条规定还对《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22－2008 的一些错漏进行了修正。

1 经查证张树仁教授原著，原梁混凝土箍筋综合受剪承载力表达式前面的系数 0.43 应为 0.45。

2 与原构件斜裂缝有关的修正系数 ψ_{cs}，经查张树仁教授于 2003 年 7 月发表于《中国公路学报》的“桥梁加固钢筋混凝土受弯构件斜截面承载力计算方法及试验研究”及 2004 年 6 月发表于《公路交通科技》的《桥梁加固薄弱受弯构件承载力极限状态计算》等文章，对 ψ_{cs} 的规定为：当加固前未出现斜裂缝时，取 $\psi_{cs}=0.89$；当斜裂缝宽度小于 0.2mm 时，取 $\psi_{cs}=0.835$；当斜裂缝宽度大于 0.2mm 时，取 $\psi_{cs}=0.78$。而在《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22－2008 规范的规定是“加固前未出现斜裂缝时，取 $\psi_{cs}=1.0$”，本规程将其修正过来。

3 《公路桥梁加固设计规范》在 JTG/T J22－2008 规范中，受剪承载力计算表达式的第二项（原构件的弯起钢筋受剪承载力）为 $f_{sb}A_{sb}$，漏掉 θ_s，修正为 $f_{sb}A_{sb}\sin\theta_s$，其中 θ_s 为普通弯起钢筋的切线与水平线的夹角（°）。

5.3 受压构件加固设计

5.3.1 本条计算公式没有采用《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22－2008 第 5.3.1 条的规定，而是参考《混凝土结构加固设计规范》GB 50367－2013 第 5.4.1 的规定，主要原因如下：

1 《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22－2008 第 5.3.1 [illegible]的部分计算式有理论上的缺陷。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22－2008 对轴心受压构件加固，考虑了二阶段受力特征，但新增混凝土的压应力的计算公式（$\alpha_{c2} = E_c\varepsilon_{c2}$）有问题。混凝土材料不是理想的弹性材料，受压时其应力-应变曲线有多种不同的计算图示，我国《混凝土结构设计规范》GB 50010－2010 采用欧洲混凝土协会的标准规范（CEB-FIP 规范）给出的一条二次抛物线及水平线所组成的曲线，如图 1 所示，具体数学表达式如下：

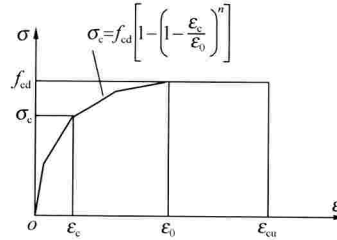


图 1　混凝土应力-应变曲线图（规范采用）

当 $\varepsilon_c \leqslant \varepsilon_0$ 时：

$$\sigma_c = f_{cd}\left[1-\left(1-\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0}\right)^n\right] \tag{6}$$

当 $\varepsilon_0 < \varepsilon_c \leqslant \varepsilon_{cu}$ 时：

$$\sigma_c = f_{cd} \tag{7}$$

$$n = 2-\frac{1}{60}(f_{cu,k}-50) \tag{8}$$

$$\varepsilon_0 = 0.002+0.5(f_{cu,k}-50)\times 10^{-5} \tag{9}$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.0033-(f_{cu,k}-50)\times 10^{-5} \tag{10}$$

式中：σ_c——混凝土压应变为 ε_c 的混凝土压应力（N/mm^2）；

f_{cd}——混凝土轴心抗压强度设计值（N/mm^2），按现行规范取值；

ε_0——混凝土压应力达到 f_{cd} 的混凝土应变，当计算的 ε_0 值小于 0.002 时，取为 0.002；

ε_{cu}——正截面的混凝土极限压应变。当处于非均匀受压且按公式（10）计算的值大于 0.0033 时，取为

0.0033；当处于轴心受压时取为 ε_0。

由图 1 可以看出，混凝土应力-应变的比值不是一个常数。在目前我国《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62－2004 中给出的混凝土弹性模量 E_c 是根据混凝土棱柱体标准试件，用标准的试验方法所测得的规定压应力（压应力由 0～0.5f_{cd}反复加卸载）与其对应的压应变值的比值，可见混凝土弹性模量 E_c 可理解为 0.5f_{cd} 应力时的变形模量（或称割线模量）。

2 《混凝土结构加固设计规范》GB 50367－2013 规范的计算公式简单，方便使用。本条的计算公式（5.3.1）虽然在 α_{cs} 的取值上没有理论依据，可以理解为试验统计值或经验值，经过 20 多年的工程应用实践并没有发现重大安全问题，并且该计算方法比《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22－2008 的方法更安全可靠。

正如《混凝土结构加固设计规范》GB 50367－2013 条文说明中指出，“至于 α_{cs} 值今后是否有调整必要的问题，留待积累更多试验数据后再进行论证”。

另外，目前对加固后构件稳定系数 φ 的研究资料较少，故式（5.3.1）的 φ 值仍采用《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62－2004 的规定。

另外需要说明的是，本条是针对配有普通箍筋的钢筋混凝土轴心受压构件，如果轴心受压构件配置螺旋式或焊接环式间接钢筋（且其间接钢筋的换算截面面积不小于全部纵向钢筋截面面积的 25%），其正截面受压承载力应考虑间接钢筋的“套箍作用”，具体计算方法可参照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62－2004 的第 5.3.2 条。

5.3.2 本条计算公式没有采用《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22－2008 第 5.3.3 条的规定，而是引用《混凝土结构加固设计规范》GB 50367－2013 第 5.4.2 的规定。两个规范的计算结果比较接近，《混凝土结构加固设计规范》GB 50367－2013 的计

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

算更为简便，结果更安全。

5.3.3 计算加固偏心受压构件正截面承载力时，对长细比 $l_0/i > 17.5$ 的构件，应考虑构件在弯矩作用平面内的挠曲对轴向力偏心距的影响。此时，应将轴向压力对加固后截面重心轴的偏心距 e_0 乘以偏心距增大系数 η。

构件计算长度 l_0 的确定：两端固定为 $0.5l$（l 为单跨计算跨径）；一端固定、一端为不移动的铰为 l；一端固定、一端自由为 $2l$。

5.4 新旧混凝土结合设计

5.4.1 增大截面加固混凝土构件能采用整体截面计算的前提条件是：新增混凝土与原构件的结合面应可靠传力，新增混凝土加厚层在构件受力过程中应与原构件保持变形协调、协同工作。本条是进行新旧混凝土结合面的受剪承载力计算公式，参照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62－2004 的第 8.1.6 条对组合式受弯梁，预制构件与现浇混凝土层之间结合面的抗剪承载力计算公式。

$$V_d \leqslant 0.12 f_{cd} b h_0 + 0.85 f_{sv} \frac{A_{sv}}{s_v} h_0 \tag{11}$$

在《混凝土结构设计规范》GB 50010－2010 附录 H 无支撑叠合梁板中，叠合梁的叠合面受剪承载力应满足下式要求：

$$V_d \leqslant 0.12 f_t b h_0 + 0.85 f_{yv} \frac{A_{sv}}{s_v} h_0 \tag{12}$$

式（11）与式（12）的计算结果相差不大，本规程引用 JTG D62－2004 的公式规定，并将组合截面的混凝土轴心抗压强度设计值 f_{cc} 替换原来的 f_{cd}。尽管本条是针对在受压区加固受弯构件的情况，但在对受拉区加固受弯构件和受压构件加固时也可参考应用。

5.5 构 造 要 求

5.5.1 本条是说明 T 形梁增大截面加固的几种常见类型，在实

际工程中，应根据各自条件选择合适的加固形式。

5.5.2 根据加固工程的经验，对新浇筑混凝土的强度等级、最小厚度等提出要求。

在桥梁局部位置、尺寸等施工条件限制时，采用微膨胀混凝土和自密实混凝土可以取得较好效果。

5.5.3 根据桥梁加固工程的特点，对新增纵向受力钢筋、构造钢筋、箍筋等的直径规格提出要求。

5.5.4 在增大截面加固钢筋混凝土构件时，新增钢筋应满足现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 关于混凝土保护层、钢筋锚固、钢筋连接、纵向受力钢筋最小配筋百分率等的要求。

新增加固的纵筋、箍筋都应与原构件混凝土或钢筋有牢固的连接，以保证新增钢筋有效发挥作用。

5.5.5 对普通受弯构件和加固受弯构件的钢筋截断的要求都是基本一致的。按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62－2004，钢筋混凝土梁内纵向受拉钢筋不宜在受拉区截断；如需截断时，应从按正截面抗弯承载力计算充分利用该钢筋强度的截面至少延伸（l_a+h_0）长度，此处 l_a 为受拉钢筋最小锚固长度，h_0 为梁截面有效高度。

受压构件新增纵向受力钢筋应伸入原结构中并满足锚固要求，这是防止加固钢筋因在混凝土中的锚固破坏而丧失作用。

5.5.6 植筋设计可参见《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22－2008 附录 A、《混凝土结构加固设计规范》GB 50367－2013 第 15 章、《混凝土结构工程无机材料后锚固技术规程》JGJ/T 271－2012 第 4 章。

5.6 施　　工

5.6.1 加固工程与新建工程的一个重要区别是：新建工程是一次设计、一次施工，加固工程是两次设计、两次施工，并且两次时间相差很远（十余年或数十年以上）。增大截面法加固工程是

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

在充分发挥原结构构件强度的基础上作出的增强受力措施，故在加固前应对原结构构件进行有关截面尺寸、裂缝、外观等的复核，如发现有与设计不符之处，应及时通知设计单位，以分析相关原因并采取相关措施。

5.6.2 混凝土构件增大截面工程的施工程序与一般现浇新建工程混凝土施工相比，增加了原构件清理修整、界面处理、新旧钢筋连接等步骤。这些工序对保证新增截面与原构件的共同工作至关重要，在施工过程中应强调对这几道工序的质量监督与检查。

对一般构件，增大混凝土的加厚层通常采用安装模板、浇筑混凝土的形式；对于桥面板加厚加固则可直接利用原构件作为支撑面，无须安装底模；对于拱桥拱圈顶面加厚也可利用原拱圈作为底模。

5.6.3 对原构件存在的表层缺陷及裂缝应进行鉴定分析和危害性评定，应依据评定结果在进行增大截面加固之前进行缺陷与裂缝修补工作。

1 裂缝深度分类。目前对裂缝深度分类没有统一的规定，工程界通常按下表进行结构裂缝的分类：

表 2 结构裂缝深度分类

裂缝分类	表面裂缝	浅层裂缝	纵深裂缝	贯穿裂缝
裂缝深度	$h \leqslant 0.1H$	$0.1H < h < 0.5H$	$0.5H \leqslant h < H$	$h = H$

注：H 为结构厚度，h 为裂缝深度。

2 不同宽度的裂缝宜按如下方法处理：

1） 对于宽度小于 0.1mm 的裂缝适合采用表面封闭法处理；

2） 对于数量较多、宽度在 0.1mm～0.15mm 间的裂缝适合采用自动低压渗注法处理；

3） 对于较深，宽度在 0.15mm～0.5mm 的裂缝适合采用压力灌注法。

4） 对于宽度大于 0.5mm 的裂缝适合采用填充密封法

处理。

3 封闭修补法应满足下列要求：

1）填缝修补前应先将裂缝清理干净，根据裂缝宽度不同分别用勾缝刀、抹子、刮刀等工具进行操作，灰浆宜采用1∶2.5或1∶3水泥砂浆。

2）表面涂刷修补采用水泥浆、水泥砂浆材料时，涂刷前应将裂缝用水冲净，使构件表面清洁湿润；采用沥青、环氧基液或环氧砂浆时，涂刷前应要求构件表面清洁干燥。

3）凿槽嵌补对于稳定裂缝宜采用水泥砂浆、膨胀砂浆、环氧树脂砂浆等刚性材料填充；对于活动裂缝则宜采用弹性嵌缝材料进行填充。

4 压力灌浆工艺如下：

1）水泥灌浆工艺流程为：裂缝检查及处理→钻孔及清孔→止浆或堵漏处理→压水或压气实验→灌浆→收尾处理。

2）化学灌浆工艺流程为：裂缝检查及处理→钻孔埋嘴→嵌缝止浆→压水或压气实验→灌浆→收尾处理。

3）壁可法灌浆工艺流程为：裂缝检查及处理→封闭裂缝、粘胶注入→采用注入器灌注胶体→胶体硬化后敲掉注入器，打磨混凝土表面。

5.6.4 结合面处理一般包括：1）表面处理；2）浇粘结层或涂胶粘剂；3）植筋或锚栓。表面处理是使表面粗糙度增加，提高新旧混凝土的机械咬合力；胶粘剂是提高新旧混凝土的化学粘结力；植筋或锚栓是增加新旧混凝土之间的“抗剪销”销结，极大地提高界面的结合力。

5.6.5 增大截面加固法属于被动加固方法，根据受弯或受压构件加固的分阶段受力特点，在施工前，应拆除部分恒载，减少活动荷载和施工荷载，这样就可有效地减少新旧材料有效结合前原件的变形，从而提高新旧材料有效结合后增加截面的加固效果

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

（主要是在控制构件挠度和裂缝宽度方面）。

如果构件增大截面加固时，设计同时要求对桥面铺装更换、拱上填料更换或实腹拱改为空腹拱，这时可以先进行桥面铺装层凿除、拱上建筑减轻施工，然后再进行构件增大截面施工，这就可以使加固效果更有效。

如果在桥底、构件底部或侧边采用支架或构件支撑，千斤顶预顶，临时体外预应力预拉等措施，使原构件处于无负荷加固或少负荷加固状态，可以非常有效地减少新旧材料有效结合前构件的受力变形，从而更有效地保证加固效果。

5.7 质量检验与验收

5.7.5 在《城市桥梁工程施工与质量验收规范》CJJ 2－2008中，混凝土取样与留置试块的规定是“每拌制100盘且不超过100m^{3}的同配比的混凝土，取样不得少于1次”，考虑到加固工程的混凝土工程量不大的特点，并结合《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550－2010的有关规定，将混凝土取样的规定有所严格，对保证加固工程的混凝土质量是必要的。

6 粘贴钢板加固法

6.1 一 般 规 定

6.1.1 粘贴钢板法加固法一般适用于下列情况：1）现行使用荷载下，原受弯构件或大偏心受压构件受拉主筋或斜筋配筋不足；2）原构件受拉主钢筋严重腐蚀或受损；3）为增加构件的抗裂性和刚度；4）提高偏心受压构件的承载力，对构件进行封闭围套包钢加固，对小偏心受压构件不适宜采用单边粘钢加固。

6.2 受弯构件加固设计

6.2.2 ξ_b——相对界限受压区高度，按原构件混凝土和受拉普通钢筋强度级别，按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62－2004 表 5.2.1 规定选用。

6.2.3 本条是 T 形或 I 形受弯构件仅在受拉区单侧粘贴钢板加固后的正截面受弯承载力计算。根据混凝土受压区高度 x 位置分成两种情况，即 $x \leqslant h'_f$（第一类 T 形）、$x > h'_f$（第二类 T 形）。由于加固构件为二阶段受力，故直接进行两种情况判断较难。在截面复核计算中，可先按 $x \leqslant h'_f$ 情况求解受压区混凝土高度计算值 x，如计算值 $x \leqslant h'_f$，则按本条第 1 款规定进行计算；若计算值 $x > h'_f$，则按本条第 2 款重新计算受压区混凝土高度，再进行承载力计算。

T 形或 I 形受弯构件一般为单筋截面，故本条未考虑双筋截面。

6.2.4、6.2.5 计算原受弯构件开裂截面在一次受力情况下截面几何特性，参照《公路桥梁加固设计规范应用计算示例》（邬晓光等著）编写。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

6.3 矩形截面偏心受压构件加固设计

6.3.6 单侧粘贴钢板加固或两侧粘贴钢板加固的I形截面偏心受压构件，正截面承载力计算应按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62－2004第5.3.6条和本规程第6.3.1～6.3.4条方法进行。

6.4 受拉构件加固设计

6.4.2 对于小偏心受拉构件，由于其作用点在上、下缘普通钢筋合力点之间，无论第一受力阶段还是第二受力阶段，钢筋和加固钢板只受拉应力，故不考虑混凝土参与受力。

根据结构加固作用特点，加固前后结构受力特性变化较小，故本条款仅考虑两个受力阶段作用点在结构中心线的同一侧，且按此侧钢筋应力达到屈服时为极限状态。其他受力状况可参照本条款的应变图，根据实际受力情况，按单侧钢筋达到极限强度时结构失效求出相应的正截面承载力。

6.4.3 ξ_b 为相对界限受压区高度，按原构件混凝土和受拉普通钢筋强度级别，应按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62－2004表5.2.1选用。

6.5 构 造 要 求

6.5.4 U形、L形箍的宽度（重量）宜根据施工能力确定。

6.6 施　　工

6.6.4 构件表面裂缝均应修复和封闭，以保证注胶后不因胶液渗出而形成空隙；宽度0.2mm以上裂缝如未经压注修复，将无助于恢复和提高结构刚度。

构件表面可采用电动打磨或高压水冲洗，清除粘贴界面的污迹和松散、剥落的混凝土；清除打磨残余的混凝土粉末和混凝土表面碳化层（酚酞检验合格）。混凝土粘钢加固时，其含水率不

得大于6%，含水量过高时应采用人工方法加速干燥。

6.6.5 锚固螺栓成孔直径和施工工艺应符合现行国家标准《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550－2010第20.2节的规定。

植入锚固螺栓前应探测粘贴面的钢筋分布位置，并以此确定锚固螺栓钻孔位，当遇到钢筋障碍需另选孔位时，原孔应用植筋胶填充密实。

6.6.7 螺帽宜加盖粘结密封用，以避免压注胶粘剂泄漏而形成粘贴层空隙，影响粘贴效果；采用镀锌钢板压制的帽盖，同时可美化外观。

6.6.9 压注粘贴钢板的胶粘剂宜具有快速固化的性能，以避免受环境振动的影响。

6.6.10 在粘贴钢板部位的底表面应采用千斤顶、垫板、顶杆所组成的加压系统。在侧表面应采用膨胀螺栓、角钢、垫板所组成的加压系统。

6.7 质量检验与验收

6.7.2 压注粘贴钢板的胶粘剂性能指标应符合表6.7.2中的规定和设计要求。其中正拉粘结强度应按《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550－2010附录E试验；工艺性能应参照《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550－2010表4.4.6执行。

6.7.3 涂抹粘贴钢板的胶粘剂性能指标应符合表6.7.3中的规定和设计要求。其中正拉粘结强度应按《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550－2010附录E试验；工艺性能应参照《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550－2010表4.4.6执行。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

7 粘贴纤维带加固法

7.1 一 般 规 定

7.1.2 纤维片材用于结构加固时，通常裁剪或制作成为长度较大、宽度较小的带状，其产品形态有纤维布和纤维板2类，无需特别区分时，可用纤维带统一简称。纯粹耐久性加固时可采用幅宽较大的纤维布。

7.2 受弯构件加固设计

7.2.3 公式（7.2.3-7）引用ACI-448-2008规范。纤维带极限拉应变ε_{fu}按下式计算：

$$\varepsilon_{fu}=\frac{f_{frp}}{\gamma_{frp}E_{frp}} \tag{13}$$

式中：f_{frp}——纤维复合材料的抗拉强度；

γ_{frp}——纤维复合材料抗拉强度的分项系数，一般为1.25；

E_{frp}——纤维复合材料的弹性模量。

通常纤维复合材料的极限拉应变通过实验计算。对于碳纤维复合材料，ε_{fu}通常取值在0.01～0.015之间，可取为0.015。

7.2.4 对翼缘位于受压区的T形截面受弯构件，当在其受拉面粘贴纤维带时，应按本规程第7.2.3条和现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62-2004第5.2.3条的规定计算。

7.2.8 纤维带端部绕锚板自锁可以有效避免粘贴纤维带抗剪加固梁发生剥离破坏，其最终破坏模式为纤维带拉断破坏或混凝土剪压破坏。（7.2.8-8）式引入纤维最大允许应变，以控制混凝土剪切裂缝的宽度，并避免破坏时纤维带应力取值过高。

为了保证受剪加固方式有效性，引入式（7.2.8-7）限制纤维带水平间距，以确保至少有两条纤维带与剪切裂缝相交，而其中至少一条有较高应力水平。

7.5 构 造 要 求

7.5.1 过宽的纤维带易因粘贴表面不平整对均匀受力乃至加固效率造成不利影响。

7.5.3 普通粘贴的非封闭环形纤维带两端特别容易发生粘结剥离破坏，中南大学的试验研究结果表明，纤维带端部加锚板自锁并用锚栓锚固在构件上可有效抑制端部剥离破坏，并且简便易行。抗剪加固可参考本规程图7.2.8，开缝锚板应位于构件受拉区并沿受拉方向布置。

7.5.5 普通粘贴的纤维带绕过构件上的凹角时，最易发生粘结失效，故转折处要附加自锁锚板或安装压板进行锚固。

需要重叠布置多层纤维带时，各层长度不同可以节约材料，端绕开缝板不仅有利于本层纤维带端部剥离防治，而且外层较短纤维带端部锚板通过压靠有利于内层较长纤维带中部剥离防治。

7.5.7 构件上的凸角指柱角、梁面转折处等构件部位。

7.7 质量检验与验收

7.7.2 受力加固用纤维带与基材混凝土的正拉粘结强度应按《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550－2010 附录U规定检验。

7.7.5 板缝有效宽度范围内锚板长度指纤维布长度方向锚板外缘尺寸。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

8 预应力加固法

8.1 一 般 规 定

8.1.1 预应力加固是通过增设预应力索（包括钢绞线、高强钢丝束和精轧螺纹钢筋）对既有混凝土结构主动施加外力，以改善原结构受力状况，提高结构的承载力或改善使用性能。预应力纤维带加固法适用于截面偏小或配筋不足的钢筋混凝土或预应力混凝土桥梁构件的加固，特别是控制裂缝及挠度的加固。

8.1.5 预应力加固的实质是无粘结预应力筋加固和有粘结预应力筋加固。当预应力筋或索布置在混凝土体外，或者采用单根或多根无粘结预应力筋布置在混凝土体内，如通过钻孔或在旧混凝土外布索后再浇筑新混凝土覆盖，其预应力钢筋都与混凝土无粘结，属无粘结预应力筋加固。而当通过在旧混凝土钻孔穿裸钢索（束）张拉后再灌浆，或者预应力索管道布置在旧混凝土外，经穿裸钢索、浇筑混凝土覆盖、张拉钢索后再灌浆，其预应力钢筋都与混凝土有粘结，属有粘结预应力筋加固。即体外索肯定属无粘结预应力筋，布置在混凝土内的预应力索则可以是无粘结预应力筋，也可以是有粘结预应力筋。

8.2 预应力钢筋加固设计

8.2.1、8.2.2 新增预应力筋的张拉控制应力及预应力损失计算内容和方法，参照现行行业标准《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22 相关条款计算，同时按以下补充规定进行：

1 体外预应力筋的最大张拉应力（含超张拉应力）不应超过张拉控制应力 σ_{con}；

2 直线布置时按现行行业推荐性标准《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22－2008 第 8.2.4 条的式（8.2.4-4）计算。

3 一般新增预应力钢束数量相对少，张拉批次不多，也可通过超张拉或重复张拉措施消除此应力损失的影响。

8.2.3 新增无粘结预应力筋与梁体接触点处，如锚固点和转向点处的应力损失项会有所不同，使 σ_{pe} 也会不同。有效预加力：$N_{pe}=\sigma_{pe}A_{pe}$，A_{pe} 为新增无粘结预应力筋的截面积。

8.2.5 根据新增预应力钢索的布置形式及与构件混凝土接触点处的倾角，由预加力 N_{pu} 计算该接触点处的等效荷载作用：节点力或均布力，再采用结构力学的方法计算控制截面的内力。

对超静定结构，上述截面内力计算应包括新增预加力产生的二次内力，并注意对其他非计算截面产生的影响应在可承受范围内，否则将成为新的控制截面。几种桥型无粘结预应力索的布置示意图如图 2～图 6 所示。

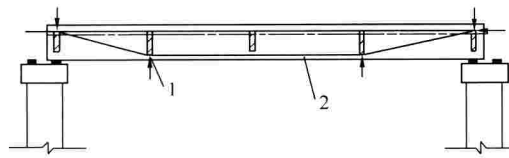


图 2 简支梁桥布置体外预应力索示意

1—转向承托；2—体外预应力筋

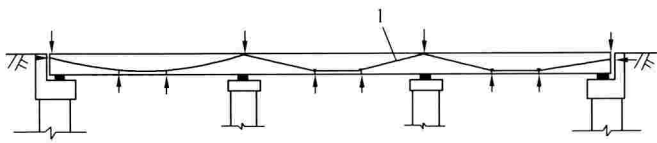


图 3 等高度连续箱梁内布置折线形体外预应力索示意

1—体外预应力索

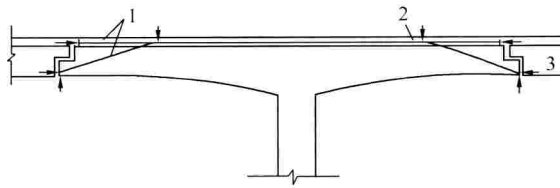


图 4 T 形刚构桥布置折线形无粘结预应力索示意

1—无粘结预应力筋；2—铺装层；3—挂梁

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

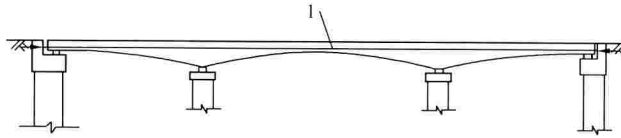


图 5　变等高度连续梁箱内布置直线形体外预应力索示意

1—体外预应力索

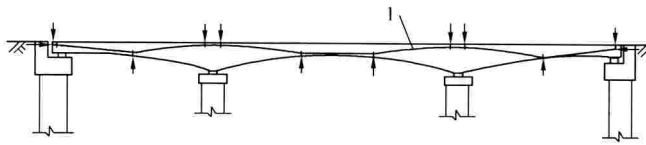


图 6　变等高度连续梁箱内布置折线形体外预应力索示意

1—体外预应力索

8.2.7～8.2.12　受弯及受剪承载力计算假设参照现行行业标准《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22 相应条款的条文说明，但体外索或无粘结筋只在转向点和锚固点与梁体有接触，其应变与相同位置处的混凝土应变不一致，在整个正截面变形中是不满足平截面假定的。本规程征求意见稿的做法是将体外索对梁接触点的作用当成等效节点力的作用，其对构件产生的内力作为永久作用的一部分，参与到永久作用效应组合设计值中，并乘以相应的预加力分项系数，而不当成有粘结预应力筋计入截面承载力设计值中，并进行正常使用极限状态的各种计算，这样做概念清楚。本规程暂按传统的做法：将体外筋的抗拉强度设计值取其极限应力后，当成体内有粘结筋来计算截面的承载能力，但这种做法是受到质疑的，除了平截面假定外，还有一些力学概念不能解释，如体外筋对梁的作用，实际上是锚固点和转向点对梁的作用，只要在接触点相同位置施加相同外力，无论体外索是否存在，对梁来说效果是一样的，这时体外索就是一种加力的装置。体外索应力变化对梁的影响是通过锚固点和转向点的节点力大小和位置来体现的，构件破坏时也只与这些接触点是否失效有关。此外，将

体外筋当成体内筋计算，计算截面受拉钢筋的配筋率时，体外筋是否要计入？再则实践中体外索也不一定就紧靠计算截面受拉边布置。因此，在正截面受弯承载力计算时将体外索作为与混凝土有粘结的钢筋一起计算截面抗力，以上问题是解释不通的。

实际上，在斜截面受剪承载力计算时，传统的做法是将体外预应力弯起钢筋提供的受剪能力放在不等式右边的截面抗力中，将此项移到左边就成为作用效应组合设计值的一部分，只不过是分项系数（或安全系数）的取值问题。而且计算截面有效高度 h_0 和纵向钢筋配筋率 ρ 时，只与原截面的受拉钢筋有关，与体外筋无关，也就是征求意见稿的做法。在《城市桥梁结构加固技术指南》的体外索加固钢筋混凝土简支梁和预应力混凝土连续梁的两个算例中，对受弯及受剪承载能力计算，分别采用上述两种方法计算，以资比较。

采用预应力筋加固时，如果伴随有截面增大，则截面尺寸和普通受力钢筋截面积也应计入截面承载力设计值中。

体外预应力筋的应力增量计算与原构件的形式、截面尺寸，各种配筋的数量和位置、材料强度，体外筋布置形式等因素有关，要计算出满足工程精度的量值比较繁琐。参照德国规范 DIN4227 中的单跨梁，悬臂梁和连续梁近似取值，该条中的应力增量也按此取用。

8.2.16、8.2.17 计算混凝土各种应力时，要考虑新增预加力和原预加力对计算点共同产生的应力。施加预应力阶段，自重作用下计算截面受拉边缘混凝土不得消压，因此要用全截面的几何性质。

在计算原预应力筋产生的各项应力时，如果检查发现旧桥的原预应力筋有相关应力损失的现象，在现场还未能使用相关仪器测量出满足工程精度要求的关心位置处混凝土有效预压应力时，应根据病害类型和程度对原预应力筋的有效预应力适当折减。

在公式（8.2.16-4）、公式（8.2.16-7）中，右边第二、第三项与第一项的应力方向相同时取正号，相反时取负号，正号为

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

压，负号为拉；

公式（8.2.16-8）中的 σ_{pc1}、σ'_{pc1} 系由 N_p 产生的受拉区、受压区有粘结预应力钢筋重心处的混凝土法向应力，按本条公式（8.2.16-4）计算，但式中的 N_{p0} 以 N_p 代替；e_{p0} 按本规范公式（8.2.17-2）计算，该式中的 σ_{p0}、σ'_{p0}、N_{p0} 以 σ_{pe}、σ'_{pe}、N_p 代替。

8.2.18、8.2.19 抗裂要求参照了现行行业标准《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22 相关条款的做法。

8.2.20 有粘结预应力筋加固时，计算主应力点处预应力弯起钢筋的预加力产生的混凝土剪应力应包括新旧预应力弯起钢筋。计算截面的惯性矩、截面积及面积矩时也应包括新旧有粘结预应力筋的截面积和混凝土截面积。

公式（8.2.20-3）、公式（8.2.20-4）中的 σ_{cx}、σ_{cy}、σ_{pc} 和 $\frac{M_s y_0}{I_0}$，当为压应力时以正号代入，当为拉应力时以负号代入；

对变高度预应力混凝土梁，当计算由作用（或荷载）引起的剪应力时，应计算截面上弯矩和轴向力产生的附加剪应力。

8.2.22 该条详细给出了体外预应力筋和有粘结预应力筋分别加固钢筋混凝土受弯构件和预应力混凝土受弯构件 4 种情况时，纵向受拉钢筋的应力 σ_{ss} 的计算式和参数取值说明，使之具有操作性。

采用体外预应力筋加固钢筋混凝土受弯构件时，按钢筋混凝土偏心受压构件计算原普通受拉钢筋的应力 σ_{ss}。采用体外预应力筋加固预应力混凝土受弯构件时，纵向受拉钢筋的应力 σ_{ss} 取原有粘结预应力筋和普通受拉钢筋合力点处的钢筋应力。

采用有粘结预应力筋加固钢筋混凝土受弯构件时，纵向受拉钢筋的应力 σ_{ss} 取新增有粘结预应力筋和原普通受拉钢筋合力点处的钢筋应力。采用有粘结预应力筋加固预应力混凝土受弯构件时，纵向受拉钢筋的应力 σ_{ss} 取所有新旧受拉预应力筋和原普通钢筋合力点处的钢筋应力。加固后的构件按预应力混凝土受弯构件考虑。预应力筋布置在受拉区，且不考虑混凝土收缩、徐变

损失。

预应力加固预应力混凝土受弯构件时，由于新增预应力的有效预加力计算与原有效预加力的计算在张拉控制应力、应力损失、截面几何性质等方面有所不同，可将混凝土法向应力等于零时预应力钢筋和普通钢筋的合力 N_{p0} 分为两个部分计算再叠加：第一部分为原预加力作用下混凝土法向应力等于零时原预应力钢筋和普通钢筋的合力 N_{p01}，第二部分为新增预加力作用下混凝土法向应力等于零时新增预应力钢筋和普通钢筋的合力 N_{p02}。

8.2.24 预应力加固后的钢筋混凝土和预应力混凝土受弯构件，在正常使用极限状态下的挠度计算，主要是先解决好加固构件的刚度，而刚度计算又主要体现在加固后截面的全截面和开裂截面的几何性质计算上，再按此刚度用结构力学的方法或电算计算挠度：

1 对于变截面连续梁和连续刚构，当支承截面刚度不大于跨中截面刚度的两倍时，构件刚度仍可采用跨中截面刚度。

2 体外预应力钢筋加固混凝土受弯构件时，构件刚度按原截面尺寸和配筋计算。有粘结预应力钢筋加固混凝土受弯构件时，构件刚度的计算除原截面尺寸和配筋外，要计入新增有粘结钢筋和新增混凝土截面积，并扣除新增有粘结预应力筋占用的钻孔截面积。

3 刚度计算、结构挠度计算和挠度长期增长系数的取值 η_θ 按现行行业标准《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22－2008 第 8.2.4 的第 6 款进行。

8.2.25 预应力加固钢筋混凝土或预应力混凝土受弯构件后成为 B 类预应力混凝土受弯构件时，混凝土的法向压应力 σ_{cc} 可按现行行业标准《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》JTG D62 相关条款的方法计算，但考虑到计算开裂截面的几何性质较繁琐，采用本规程方法相对简便，精度满足工程要求。本规程应力计算中并未包含温差产生的应力。

体外预应力索加固钢筋混凝土或预应力混凝土受弯构件时，

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

由于体外筋张拉控制应力本身规定得不高，再加上正常使用时体外筋可滑动，整根钢束的拉应力相对均匀，其拉应力一般不会超过抗拉设计强度，不必验算。

8.2.26 体外预应力筋加固钢筋混凝土受弯构件时，无需验算受拉钢筋的应力。计算截面几何性质时不计入体外预应力筋的截面积。

8.2.27 体外预应力筋加固预应力混凝土受弯构件时，需要验算混凝土的最大压应力和主应力，构件原有预应力钢筋的拉应力受新增预加力的影响，有可能减小，有可能增大，特别对于截面拉、压区均设置预应力钢筋的梁，这取决于新增预加力对计算点处产生的是压应力或是拉应力。原有粘结预应力钢筋的总拉应力 σ_{pp} 由原受拉预应力筋的有效预应力 σ_{epl} 、作用标准值产生的原预应力筋拉应力增量 σ_{pl} 、体外筋对原预应力筋产生的应力增量 σ_{p02} 三部分组成。

一般是受拉区的原预应力钢筋应力减少，则可不验算，而受压区的原预应力钢筋应力会增加。另外，如果荷载等级提高，可变作用会使受拉区原预应力钢筋拉应力增加超过新增预加力对其的减少，需要验算原有粘结预应力钢筋的拉应力。同样，计算截面几何性质时不计入体外预应力筋的截面积。

公式（8.2.27-6）计算开裂截面的换算截面对其中性轴的静矩 S_0 ，其中预应力项只与原有粘结预应力筋有关。当构件为矩形截面时，取 $b'_f = b$ ，受压区不配预应力钢筋时 $A'_p = 0$ ，不考虑普通受压钢筋作用时 $A'_s = 0$ 。

8.2.28 有粘结预应力筋加固钢筋混凝土受弯构件时，相当于一般的预应力混凝土受弯构件，截面几何性质计算时要计入新增纵向有粘结预应力筋截面积、普通受拉钢筋的截面积和相应增加的混凝土截面积的作用，但不计入混凝土的收缩、徐变应力损失，有关预应力项只与新增有粘结预应力筋有关。

8.2.29 有粘结预应力筋加固预应力混凝土受弯构件时，截面几何性质计算要计入新增纵向有粘结预应力筋截面积和相应增加的

混凝土截面积，有关预应力项与新旧有粘结预应力筋有关，混凝土和原有粘结预应力筋的应力会受到新增有粘结预应力筋的影响。

当计算截面承受正、负弯矩，受拉区、受压区均设置预应力钢筋，则新增预应力筋使同侧的原预应力钢筋拉应力减少，但使异侧的原预应力钢筋拉应力增加，而新旧预应力筋因有效预加力计算有些不同，如原预应力筋要计入混凝土收缩、徐变应力损失，新增预应力筋则可不计，张拉控制应力也可能不同，被加固的构件可以是后张法的，也可以是先张法的预应力混凝土受弯构件，新增预加力则只按后张法施加。因此还需计算新旧预应力钢筋的应力，截面几何性质计算中要计入全部新旧纵向受力钢筋的作用。

当计算受拉区的原预应力筋应力增量时，σ_{p02} 取负号，σ_{p1} 取正号；当计算受压区的原预应力筋应力增量时，σ_{p02} 取正号，σ_{p1} 取负号。

8.3 预应力纤维带加固设计

8.3.1 预应力纤维带加固法适用于钢筋混凝土或预应力混凝土桥梁构件的裂缝或变形控制，也可用于提高承载能力。

8.5 施　　工

8.5.8 当要求部分抵消由于应力松弛、摩擦、预应力筋分批张拉等因素产生的预应力损失时，张拉控制力可增加 $0.05f_{ptk}$；当有可靠依据时，可提高张拉控制应力。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

9 改变结构体系加固法

9.1 一 般 规 定

9.1.2 增设支承结构（柱或托架）可以减小结构构件的计算跨度，降低计算弯矩，大幅度提高结构构件承载力，减小挠度，缩小裂缝宽度。当对增设的支承结构施加预应力时，效果更佳。增设支承结构法多用于大跨度结构，它的缺点是较多地影响了使用空间，托梁拔柱法是在不拆或少拆上部结构的情况下，拆除、更换或接长柱子的一种处理方法。它适用于要求改变使用功能或增大空间的桥梁结构改造。

对于原由多跨简支梁构成的桥梁结构，也常采用在梁上增配负弯矩钢筋，浇筑混凝土的加固办法加固，亦即把原来的单跨简支梁，变为多跨连续梁，改变梁的受力状态，提高其承载力。

9.2 设 计

9.2.1 增设支点加固法是通过在原结构下增设支承结构及构件，减小被加固结构的跨度或位移，来改变结构不利的受力状态，以提高其承载力。

按支承结构的变形性能，分为刚性支点和弹性支点。

刚性支点法是通过支承结构的轴心受压或轴心受拉将荷载直接传给基础或柱子的一种加固方法（图 7），由于支承结构的轴向变形远远小于被加固结构的挠度变形，对被加固结构而言，支承结构可简化按不动支点考虑，结构受力较为明确，内力计算大大简化。

弹性支点法是以支承结构的受弯或桁架作用间接传递荷载的一种加固方法，由于支承结构和被加固结构的变形同属一数量级，支承结构只能按可动点——弹性支点考虑，内力分析较为

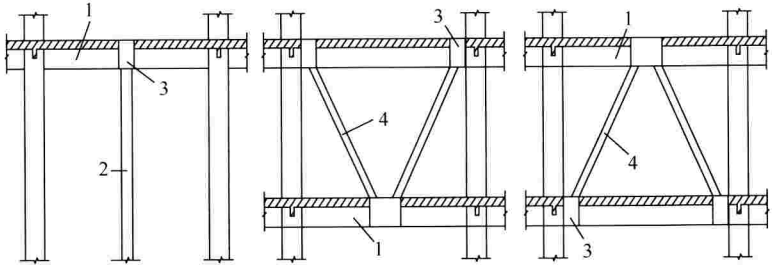


图 7　刚性支点

1—被加固梁；2—支柱；3—节点包套；4—斜拉杆

复杂。

按支承结构与原结构的连接形式不同分为固结法和铰支法两种。

固结以支顶的方式直接将荷载传给基础，支顶新增构件需承受一定的弯矩，对新增构件基础要求较高。

铰支加固是主梁与新构件以铰形式联结，支座位置由该点主梁截面所容许承担的弯矩和剪力来确定。

9.2.2　简支变连续加固是将相邻简支梁墩顶部位结构上缘纵向用普通钢筋或用预应力钢筋加以连接，并现浇接头混凝土形成结构连续体系。有保持原支座（双支座）和更换支座两种做法。用预应力钢束（钢筋）做连接时，可采用后张法。也可采用开槽后，张拉裸束，浇筑混凝土直接粘结钢束（钢筋）的“先张法”。

简支变连续后应对中间支点梁段的抗剪能力进行验算，必要时对其抗剪区进行加固处理；支点连续构造的纵向受力钢筋（预应力钢束）要有足够的布设长度，而且此处桥面的防裂和排水也很重要。

9.3　施　　工

9.3.2　简支变连续加固采用单支座时，墩顶支座安装应该在连接缝钢筋连接之前完成，与连接缝底板模板同时进行安装。底模

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

采用泡沫板时应该考虑预留一定的压缩沉降量，一般取 2mm 即可。钢筋连接中采用焊接时容易烧伤，为防止焊渣烧伤泡沫板，浇筑混凝土前应将残渣清理干净。底板与支座之间的缝隙用胶布或砂浆封住，防止浇筑混凝土时漏浆。

10 增加横向整体性加固法

10.1 一 般 规 定

10.1.1 本方法可适用于需要增设桥梁横向联系以改善结构横向荷载分布的桥梁结构加固。桥梁常用增加横向联系加固法包括：加强横隔板（梁）、增大横隔板截面、设置横向拉紧钢筋、加强横梁与纵梁的联结作用、增设横隔板（梁）、增加柱式墩之间的连系梁、增设横向体外预应力、改企口缝为湿缝、T形梁改箱型梁、铺设桥面补强层、在新增桥面混凝土中设置钢丝网或掺入钢纤维等方法，以提高整体性。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

11 桥梁下部结构及基础加固

11.1 一 般 规 定

11.1.1～11.1.3 主要依据桥梁下部结构特点、缺陷等级、分布选择合理可靠的加固方法。粘贴钢板或纤维复合材料等方法仅适用于普通钢筋混凝土盖梁。

11.2 设 计

11.2.4 增补桩基数量及群桩基础沉降量计算应根据现行行业标准《公路桥涵地基与基础设计规范》JTG D63 的规定进行。增补桩基加固应结合原桩基、地质水文条件、周边环境考虑成桩工艺。

11.3 施 工

11.3.6 灌注桩的成孔工艺主要有回旋钻成孔、冲击钻成孔、旋挖钻成孔、人工挖孔等。选择成孔工艺时除考虑地质水文条件、桩长、净空、周边环境等因素外，尚应考虑成桩对原桩的影响，鉴于旋挖桩技术进步快，宜优先使用旋挖桩，若受到环境与地质条件限制，也可采用对桩周土体加固后，采用人工挖孔桩等对原桩影响小的成桩工艺。

静压桩应充分考虑压桩对临近桩基及周边环境的影响，选择合适桩断面尺寸、桩长、桩形。

11.3.8 抛石防护加固一般用于深水墩台冲刷加固。采用双层或单层块（片）石做河床铺砌时，若河床面有淤泥杂物，应清除淤泥回填砂砾，夯实后再砌石。

12 支座和伸缩装置更换

12.3 施　　工

12.3.1 支座整体顶升更换的方法可分为三种。

1 按联逐联整体顶升：即将一联梁体作为一个整体进行顶升，该方法特点是能够大大降低桥面板顶升的次数，对道路交通的干扰可适当降低，整个工期相对较短，但顶升时支点多、设备复杂，人员协调较困难，工程不可预测性较大，具有较大的不确定性和风险性。

2 按单墩逐墩整体顶升：在不断开桥面联系（不包括栏杆）的前提下，只在单个桥墩处使用顶升设备抬升桥面板，待桥面板抬升到一定高度后再进行支座更换。该方法的优点在于施工时间较短，施工时不需封闭交通，不足之处是由于没有断开桥面铺装联系，对桥面板的抬升类似于连续梁的强制位移，因此需要较大的顶升力，对顶升设施的下部基础要求较高。但这种方法对交通影响很小，施工简便，可采取流水作业施工。

3 按跨逐跨整体顶升：即断开每跨之间的桥面联系（包括铺装层、栏杆及照明线路），使被顶升的桥跨成为完全简支，再使用顶升设备将整跨顶升后更换支座。这种方法施工时间较长，整个工程对交通的干扰较大。

12.3.2 PLC控制液压同步升降是一种力和位移综合控制的顶升方法，这种力和位移综合控制方法，建立在力和位移双闭环的控制基础上。由液压千斤顶，精确地按桥梁的实际荷重，平稳地顶举桥梁，使顶升过程中桥梁受到的附加应力下降至最低，同时液压千斤顶根据分布位置分成组，与相应的位移传感器组成位置闭环，以便控制桥梁顶升的位移和姿态，这样可以保证顶升过程的同步性，确保顶升时板、梁结构安全。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

支座主要有三种类型。

1 板式橡胶支座的更换要求：

1）检查、处理原支座垫石的缺陷使结构完好，顶面高程及平整度符合设计要求。

2）按设计要求放置橡胶支座，支座中心线应与支承垫石中心线重合。

3）弯、坡、斜桥的支座垫石高程应按桥梁纵、横坡要求逐个进行核算。

4）梁板落梁时应位置准确，且与支座密贴。

2 盆式橡胶支座的更换要求：

1）支座组装时其底面与顶面的钢垫板应埋置密实。垫板与支座间平整密贴，支座四周不得有 0.3mm 以上的缝隙。活动支座的四氟板和不锈钢板不得有刮痕、撞伤。氯丁橡胶板块密封在钢盆内应排除空气、保持紧密。

2）活动支座更换安装前，清洗滑移面，在储油槽内注满清洁的硅脂类润滑剂。

3）盆式橡胶支座的顶板和底板可用焊接或锚固螺栓栓接在梁体底面和墩台顶面的预埋钢板上。采用焊接时，应防止烧坏混凝土；安装锚固螺栓时，其外露螺杆的高度应不大于螺母的厚度。盆式橡胶支座的顶板与梁体底面也可采用胶粘剂连接。

4）按考虑预偏量的位置安装支座。

3 球形支座的更换要求：

1）制作出厂时，应由生产厂家将支座调平，并拧紧连接螺栓，防止运输安装过程中发生转动和倾覆。支座可根据设计需要预设转角和位移，但需在厂内装配时调整好。

2）支座安装前应开箱检查配件清单、检验报告，支座产品合格证及支座安装养护细则。施工单位开箱后不得

拆卸、转动连接螺栓。

3）当下支座板与墩台采用螺栓连接时，应先用钢楔块将下支座板四角调平，高程、位置应符合设计要求，用环氧砂浆灌注地脚螺栓孔及支座底面垫层。环氧砂浆硬化后，方可拆除四角钢楔，并用环氧砂浆填满楔块位置。

4）当下支座板与墩台采用焊接连接时，应采用对称、间断焊接方法将下支座板与墩台上预埋钢板焊接。焊接时应采取防止烧伤支座和混凝土的措施。

5）当梁体落梁归位后，应拆除上、下支座板连接板。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

13 桥梁抗震加固

13.1 一 般 规 定

13.1.1 城市交通系统是维持城市生存功能和对国计民生有重大影响的生命线工程；在抗震救灾中，城市交通系统更是抢救人民生命财产和尽快恢复生产、重建家园、减轻次生灾害的重要环节。近二十几年来国内外历次中心城市的震害教训都表明，作为交通枢纽的桥梁一旦遭受地震严重破坏，将造成城市交通系统局部或全线瘫痪，从而导致极大的经济损失。另一方面，发达国家对现有桥梁进行抗震鉴定（抗震评估）、加固的实践和震害经验表明，对现有桥梁进行抗震鉴定，并对不满足抗震要求的桥梁进行抗震加固，是减轻地震灾害的基本途径之一。

本规程抗震加固部分可适用于地震基本烈度为6度～9度地区、经抗震鉴定后需要进行抗震加固的现有城市梁式桥。其他体系的现有桥梁，可按本规程给出的设计原则进行抗震加固设计及施工。

梁式桥是地震中最易损的一类桥梁结构体系，从国内外桥梁抗震加固的实践看，抗震加固的主要对象为梁式桥，各种抗震加固措施也主要适用于梁式桥。其他体系桥梁的抗震加固设计及施工往往较为独特且复杂，可参考使用。

由于新建桥梁应满足现行设计规范的要求，对属于文物的古桥有专门的要求，因此，本条文所指的现有城市桥梁，是指除新建城市桥梁和古桥外迄今仍在使用的既有城市桥梁。

13.1.2 桥梁桥址处地震基本烈度应按现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166－2011第1.0.3条的规定执行。

13.1.3 抗震鉴定是抗震加固的前提，不进行抗震鉴定，则抗震加固设计缺乏基本的依据，成为盲目加固，然而我国目前还没有

专门的城市桥梁抗震鉴定方面的技术标准。在开展现有城市桥梁抗震鉴定或抗震评估时，除可参考我国现行行业标准《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22 的相关规定外，也可参考美国联邦公路局（FHWA）、我国台湾地震工程研究中心（NCREE）等单位所建议的既有桥梁抗震评估方法。

13.1.4 桥梁桥址所处是否属于抗震有利、不利或危险的地段，应依据现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》GJJ 166－2011 第 4.1.1 条的规定判定。

建于危险地段的桥梁在强震作用下极可能发生倒塌破坏，目前还没有可采用的经济、有效的工程构造措施，因此，主要靠避让来减轻危险性。

13.1.5 现有桥梁进行抗震加固时，其设防标准分为四类，与现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 相一致。衡量抗震加固是否达到规定的设防目标，也应以现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 对应章节的相关规定为依据。

13.1.6 震害调查及理论分析表明，桥梁抗震体系、场地情况及构件受力状况均对桥梁结构的抗震性能有显著的影响。与新建桥梁抗震设计相同，现有桥梁的抗震加固也应考虑概念设计，本条文规定了概念设计中应遵循的一些基本原则。

1 城市桥梁抗震鉴定或抗震评估结果是抗震加固设计的主要依据。然而在抗震加固设计之前，仍应对桥梁的现状进行深入的调查，特别查明是否存在局部损伤。对已存在局部损伤的要进行专门分析，在抗震加固时一并处理，以便达到最佳效果。

2 能力设计原理（philosophy of capacity design）由新西兰学者在 20 世纪 70 年代中期首先提出、目前已成为国际结构抗震设计的基本原理。能力设计原理类似于电路设计中的“保险丝”原理，其基本概念为：将结构体系分为延性构件（延性抗震设计中允许发生塑性变形的构件）和能力保护构件（延性抗震设计中不允许发生塑性变形的构件统称为能力保护构件，例如基础等），通过适当的设计，使延性构件与能力保护构件之间以及延性构件

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

的脆性破坏模式与延性破坏模式之间形成强度等级差异，从而确保结构不发生脆性的破坏模式。

对现有梁式桥，基于能力设计原理的抗震加固方案应考虑以下几个方面：

1）一般选择墩柱作为延性构件，盖梁、桥台及基础等作为能力保护构件；

2）强震作用下非隔震桥的非弹性变形主要出现在墩柱上，盖梁、节点及基础不发生塑性变形；

3）对普通支座，一般按能力保护构件设计；采用隔震支座加固时，非弹性变形应主要出现在隔震支座上。

13.1.7 抗震加固的结构布置和连接构造的概念设计，直接关系到加固后桥梁整体的综合抗震性能是否能得到应有的提高。抗震加固设计时，根据结构的实际情况，正确处理好下列关系，是改善结构整体抗震性能、使加固达到有效合理的正确途径：

1 改善受力状态。加固设计要防止结构构件的脆性破坏；要避免局部加强导致刚度和承载力发生突变，加固设计要复核原结构的薄弱位置，采取适当的加强措施，并防止薄弱部位的转移。

2 加强薄弱部位的抗震构造。对不同结构类型的连接处，结构局部突出部位，地震反应加大。对这些薄弱部位，加固时要采取相应的加强构造。

3 考虑场地影响。针对桥梁和场地条件的具体情况，加固后的结构要选择地震反应较小的结构体系，避免加固后地震作用的增大超过结构抗震能力的提高。

4 加强新旧构件的连接。连接的可靠性是使加固后结构整体工作的关键，设计时要予以足够的重视。

5 随着技术的进步，加固的手段和方法不断发展，当现有桥梁的具体条件合适时，应尽可能采用新的成熟的技术，包括采用隔震、减震技术等进行加固。

13.1.8 针对抗震加固的特殊性，本条在施工方面提出以下

要求：

1 对特殊的加固工法，应要求由具有相应资质的专业队伍施工。

2 采取有效措施，避免损伤原构件，并加强对新旧构件连接效果的检查。

3 原图纸的尺寸只是名义尺寸，加固施工前要复核实际尺寸，作相应调整。

4 注意发现原结构存在的隐患，及时采取补救措施。

5 努力减少施工对交通的影响，并采取措施防止施工安全事故发生。

13.2 地基与基础抗震加固

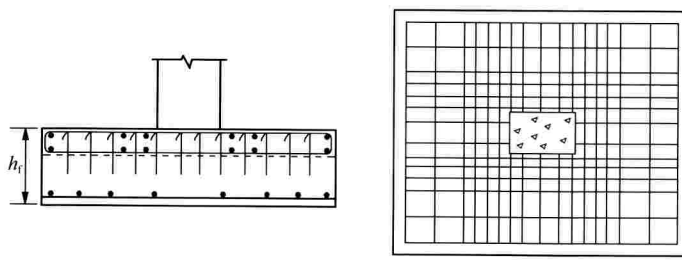
13.2.1 地基及基础抗震加固不仅施工难度较大，而且往往花费不菲，因此，桥梁抗震加固设计应尽量避免额外增加基础的地震需求，以免对地基和基础进行抗震加固。桥梁在过去的破坏性地震中极少因基础破坏而倒塌，因此，需要权衡不做加固的后果（震灾损失风险）与加固的费用。只有经鉴定确系地基承载力不足或基础抗震能力无法满足地震需求，且采用结构系统抗震加固措施无法奏效时，才要考虑对地基及基础进行抗震加固。地基及基础抗震加固需十分慎重，应根据具体情况和问题的严重性，采取因地制宜的对策，并充分考虑施工的安全性、经济性和便利性。

地基抗震加固可简单概括为提高承载力、减少土层压缩性、改善透水性、消除液化沉降以及改善土层的动力特性等方面。提高承载力即通过增加土层的抗压强度来提高地基的承载力和稳定性；减少土层压缩性即减少土层的弹性变形、压密变形和上部土层的侧向位移所引起的地基沉陷；改善透水性即采取措施使地基不透水或减少动水压力；消除液化沉降即改变土层的组成或含水率等，避免地震作用下时土层液化沉降；改善土层的动力特性即采取措施提高松散土层的密实度。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

基础抗震加固的目标是提高其承载力和倾覆抗力，前者可通过各种基础静力补强加固方法实现，后者可通过增大基础底面积、增加基桩等方法实现。

13.2.4 若承台的弯曲强度不足，可采用增大截面法补强加固（图 8）。即可在原有承台表面、侧面等增设钢筋混凝土，并通过植筋与原有承台连接，来提高承台的弯曲强度（主要是提高承台抵抗负弯矩的能力）。受力主筋宜布置在距离桥墩侧面一倍承台厚度的范围内，远离桥墩的主筋所能发挥的作用较小。



(a)剖面图　　(b) 平面图

图 8　承台抗弯加固

一般很难在承台底部增设主筋，因此，如果承台抵抗正弯矩的能力不足，可通过增大承台厚度的方法来提高其抵抗正弯矩的能力。若基础埋深不足，也可以考虑采用预应力加固法；预应力筋宜穿过原有承台，并尽可能靠近桥墩布置；如果施工困难，也可从新增的钢筋混凝土中穿过，但后一种做法比前一种做法的实际效果可能要差。

与抗弯加固相比，承台抗剪加固要困难得多，需要承台有足够的有效深度。承台遭受地震作用时，其最大剪力出现在墩底截面压应力合力至桩基础最大反力之间所形成的受压斜杆内（图 9），然而承台内能形成此有效抗剪机制的条件是，承台底部配有足够数量的主筋，且锚固可靠（例如钢筋末端做成 90°弯钩）。如果承台底部受拉钢筋数量或锚固不足，或受压斜杆的倾斜角度小于 30°，则需通过增加承台厚度，设置穿过承台的竖向钢筋或

预应力筋（相当于增加额外的箍筋），或设置穿过承台的水平向预应力筋等措施，来提高其抗剪强度（图 9）。

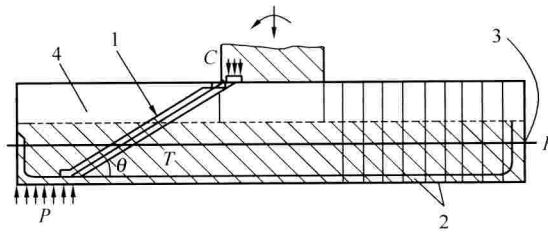


图 9　承台抗剪加固

1—受压斜杆；2—增设贯穿箍筋；3—预应力筋；4—加厚承台

13.2.5　扩大基础或桩基承台在地震作用下可能会产生摇摆，这种摇摆可以起到一定的隔震效果。然而，如果摇摆幅度过大或可能导致基础破坏，就需要加固，以提高其倾覆抗力。

如果桩基承台存在稳定性问题，一般采用增大承台底面积的方法进行加固，并同时对承台进行补强。在采用增加基桩的方法进行加固时，通常需要同时增大承台的截面尺寸。

13.2.6　当桩基础抗压强度或侧向抗力不足时，可采取增设连系梁（也可用于桩与承台连接节点承载力不足时）或增设基桩等措施。当桩基础抗拔力不足时，可采取增设抗拔桩或下拉锚（pile tie-down）等措施。下拉锚可参考美国联邦公路局（FHWA）等单位所建议的相关做法。

13.3　结构系统抗震加固

13.3.1　与构件抗震加固措施相比，结构系统抗震加固措施的效果明显较优。因此，本规程推荐优先考虑结构系统抗震加固措施，以提升桥梁结构的整体抗震性能或降低地震需求。

从桥梁抗震概念出发，宜优先考虑依下列原则进行桥梁结构系统加固：

1　上部结构连续化、轻量化。

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

2　延长结构自振周期，并提高桥梁系统整体阻尼比。

3　改善支承系统性能，以减少下部结构加固需求。

4　采取两种以上的防落梁构造措施，具体措施可参见本规程第13.3.8条的条文说明。

13.3.2　对梁式桥，因上部结构质量产生的地震力若仅由单个或少数几个固定支座墩所承受，则可能造成固定支座墩甚至其下部基础较严重的破坏。为改善这种现象，可通过改变支承系统或增设适当装置等措施，使水平地震力均匀分散至所有桥墩，从而降低桥墩和基础的地震需求，减轻其破坏程度。

当桥梁位于较坚硬场地、下部结构基本振动周期较短且上部结构为多跨连续时，可将原支座更换为弹性支座（如板式橡胶支座），从而将水平地震力较均匀地分散至所有桥墩。当采用板式橡胶支座时，应采取有效的连接措施，使支座与梁底及墩顶固结，并确保连接装置所提供的剪切强度大于板式橡胶支座的剪切强度。

对连续梁桥，在活动支座墩上增设冲击传递装置也可作为分散水平地震力的可选方案。冲击传递装置也称为锁定装置，它是一种特殊的黏滞阻尼器，通常安装在活动支座墩与主梁之间，是一种类似速度开关的限位装置，当桥梁运动到某一速度时启动并锁定装置上两个安装点间的相对位移。用在桥梁上的锁定装置，在温度和正常活荷载下可以自由变形；然而对于中小地震作用等所引起的桥梁各部分间的运动、受力和碰撞，可有效地起到减少、转移和限制作用。

13.3.3　功能性支承系统的概念由台湾学者提出，这种概念源自梁式桥的震害经验：当梁桥支座产生滑动后可产生隔震的效果，从而降低了传递至下部结构的地震力，因此下部结构受损轻微。这种加固方法可使下部结构仅产生轻微损坏，然而大地震时上部结构将有较大的残余变形与附属设施损坏现象，一般推荐用于交通量不大的路段。

功能性支承系统的破坏机制定义为：板式橡胶支座在地震中产生滑动位移，消散部分地震能量，上部结构的位移受到限位装

置（如防落拉杆、抗震挡块等）限制，然而允许该装置损坏以避免传递过大地震力至桥梁墩柱，同时须提供足够的防落长度以防止落梁。

13.3.5 当桥梁位于较坚硬地段、下部结构的基本振动周期较短且上部结构为多跨连续时，可将原支座更换为隔震支座，以延长结构的基本振动周期，降低传递至下部结构的地震力。

如有下列情形，则应避免采用隔震加固法：

1 场地条件依《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166－2011 第 4.1 节与第 4.2 节判定为软弱土层或可能液化的砂土层时；

2 下部结构刚度较小或基本振动周期较长时；

3 支座可能产生拉力时；

4 场地邻近土层较软，可能发生桥梁与地基共振情形时。

隔震加固时应依据《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166－2011 第 9 章的规定，进行隔震支座设计与验算。如桥梁横向抗震能力不足，宜考虑使用双向隔震设计，一般情况下则以桥轴向的单向隔震为主。

13.3.6 减震加固时应依据《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166－2011 第 9 章的规定，进行耗能系统设计与验算。耗能系统分析应包括耗能装置的特性及其平面与立面的配置，且应能反映振动频率、环境及温度等因素的影响。所有耗能装置的力学特性须经试验验证与设计参数相符。

13.3.7 梁端防落梁长度 L_N 定义为梁端至墩、台帽或盖梁边缘的距离（图 10）。

对于防落梁长度不足的混凝土桥墩台，可在墩、台帽或盖梁的一侧或两侧采用增设混凝土块（通过植筋或预应力筋与原有墩、台帽或盖梁连接）或钢托架等扩座方式（图 11），来增加梁端防落梁长度。

1 增设混凝土块设计

原则上应沿墩、台帽或盖梁横向全长增设。现浇时，混凝土应用高流动性的自密实混凝土。混凝土块的最小宽度（纵桥向）

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

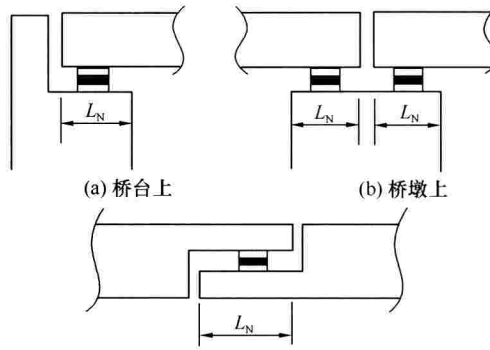


图 10　梁端防落梁长度定义

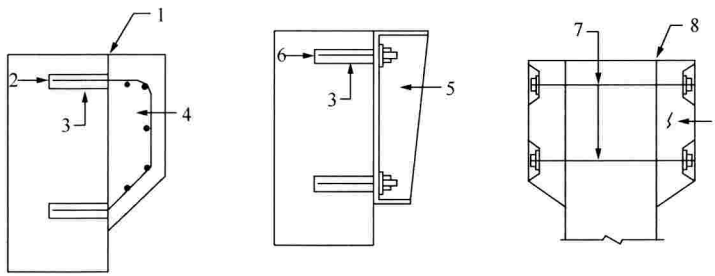


图 11　墩台帽及盖梁扩座示意图

1—接触面凿毛；2—锚碇钢筋；3—注入环氧树脂；4—混凝土；5—钢制托架；6—锚碇螺栓；7—预应力钢筋；8—结合面采用树脂粘结；9—预制混凝土块

应满足植筋或锚栓锚固深度及施工要求，通常不小于 30cm；其最小高度 h 如图 12 所示，钢筋或锚栓最上层位置距顶端宜为 15cm～20cm。

增设混凝土块应复核锚筋拉力、剪力及混凝土块局部受压承载力，增设混凝土块应能承受各支座的支反力 R_d，其作用点取为混凝土块的边缘（图 13）。复核混凝土块局部受压承载力时，其有效承载宽度 B 取为支座宽度 b 加混凝土块最小高度 h（图 13）。植筋或锚栓设计可参见现行行业标准《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22－2008 附录 A 或附录 B。

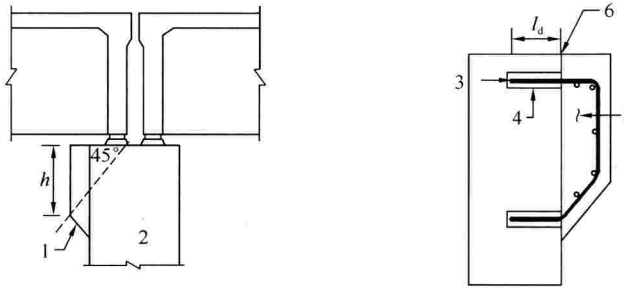


图 12　增设混凝土块尺寸大小

1—混凝土块；2—桥墩；3—锚碇钢筋；4—注入环氧树脂；5—混凝土；6—接触面凿毛

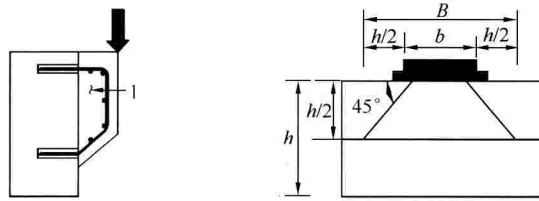


图 13　增设混凝土块作用力及承载宽度示意图

1—混凝土

2　钢制托架设计

钢制托架横向长度 B 不宜小于 $b+2S$（图 14，b 为支座宽

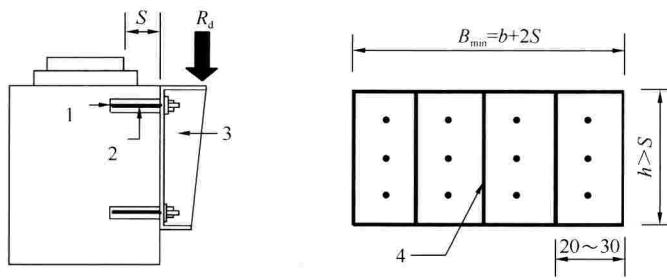


图 14　钢制托架受力及尺寸示意图

1—锚栓；2—注入环氧树脂；3—钢制托架；4—加劲肋板

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

度；S 为支座外边缘至梁端的距离），最小宽度（纵桥向）应满足锚栓锚固深度及施工要求；最小高度 h 应大于 S；钢板最小厚度不宜小于 20mm，且间隔 20cm～30cm 设置加劲肋板（图 14）。

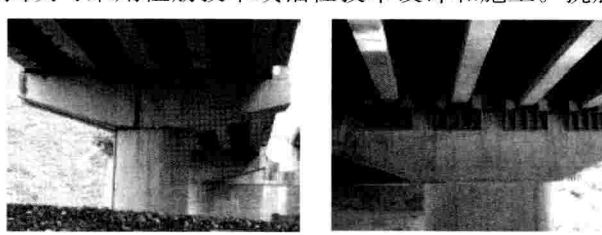
钢制托架所承受荷载及作用点与增设混凝土块相同，应复核锚栓剪力及拉力。锚栓设计可参见现行行业标准《公路桥梁加固设计规范》JTG/T J22－2008 附录 B。

13.3.8 目前，国内外常用的防落梁构造措施主要包括加大梁端防落梁长度、增设防落梁装置以及设置限位装置等三类。

1 当梁端防落梁长度不足时，可依照本规程第 13.3.7 条的规定，对墩、台帽或盖梁做扩座处理。

2 防落梁装置是用于防止地震作用下上部结构因上、下部结构间发生无法预期的较大相对位移（包括可能的下部结构或支座遭受破坏情况）而塌落下来的一种防护设施。其主要形式有：1）利用预应力钢材（预应力钢筋或钢绞线）或拉杆等连接上部结构与下部结构的装置；2）在上部结构及下部结构设置突出的装置；3）利用预应力钢材或拉杆等将相邻两跨上部结构相互连接的装置。

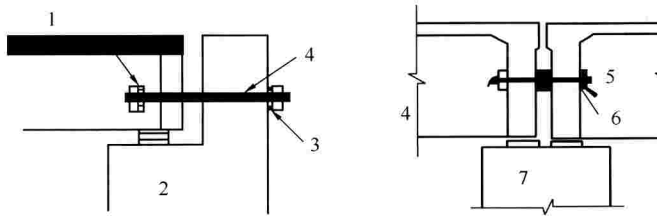
防落梁装置不得限制支座因上部结构温度变化、混凝土收缩徐变或可变作用等引起的平动及转动功能，而且不能影响支座检查和维修。其常用构造为：1）混凝土或钢制抗震挡块；2）拉杆式；3）预应力钢绞线、拉环式、锁链式等（图 15～图 17）。新增的抗震挡块可设在墩、台帽及盖梁的上方或侧面，混凝土或钢制抗震挡块可采用植筋技术或锚栓技术设计和施工。抗震挡块与



(a) 混凝土抗震挡块　　(b) 钢托架及抗震挡块

图 15　抗震挡块

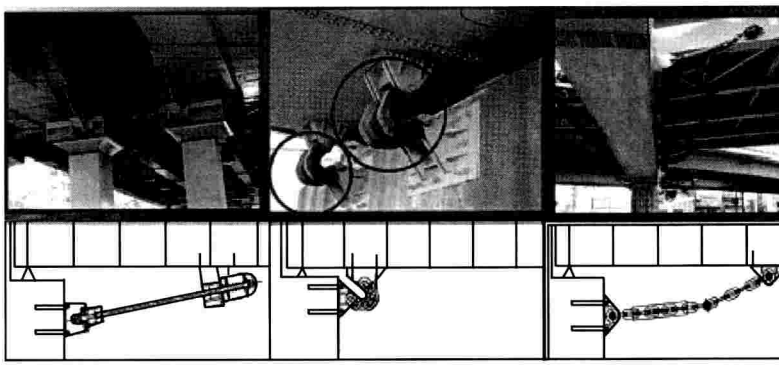
上部结构的接触面应设置缓冲材料（如橡胶垫等），以降低地震作用下的撞击力。预应力钢材、拉杆式、锁链式、拉环式等可用于连接上、下部结构或相邻的两跨简支上部结构，其屈服强度不宜小于支座在恒载作用下所承受的支反力的 1.5 倍。



(a) 桥台处　　(b) 桥墩处

图 16　拉杆式防落梁装置示意图

1—钢扣件；2—桥台；3—缓冲材料；4—预应力钢材；5—钢板；6—橡胶垫；7—桥墩



(a) 钢绞线　　(b) 拉环式　　(c) 锁链式

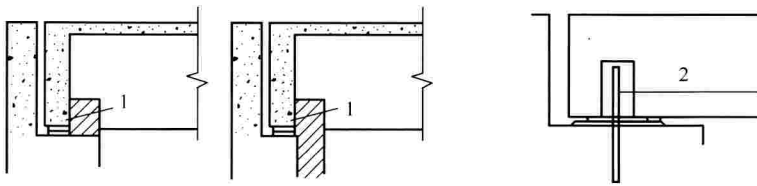
图 17　防落梁装置示意图及实例

3　限位装置是为限制梁墩以及梁台间的相对位移而设计的构造装置。一般可分为与支座结合的限位装置、混凝土或钢制挡块、剪力键等（图 18）。应当指出，挡块和剪力键既可作为限位装置，又可作为防落梁装置，其功能须视其与主梁之间的间距判

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

断：如紧贴梁侧无间隙设置，则视为限位装置；如容许支座滑动后再碰撞挡块或剪力键，则视为防落梁装置。

限位装置设计可参见日本道路协会《公路桥梁抗震设计规范》的相关规定。



(a) 挡块式　　(b) 剪力键式

图 18　限位装置示意图

1—缓冲材料；2—锚栓

13.4　结构构件抗震加固

13.4.1　在梁式桥的抗侧力体系中，桥墩是关键构件，其抗震性能直接影响整个桥梁结构的抗震性能。因此，结构构件抗震加固重点是对桥墩进行加固。

自 1971 年美国 San Fernando 地震爆发后，国内外对钢筋混凝土墩柱的抗震性能及加固措施开展了大量的研究工作，并开发了多种有效的抗震加固方法。目前应用较多的加固技术主要有增大截面加固法、外包钢管加固法和粘贴纤维复合材料加固法等。

从过去的破坏性地震中桥梁震害调查发现，桥墩遭受破坏的原因包括：抗弯或抗剪强度不足、弯曲延性不足以及纵向钢筋的搭接或锚固性能不足等。因此，对现有桥梁的桥墩进行抗震加固时，应针对性地采取相应的加固措施。

13.4.2、13.4.3　增大截面法是一种常用的静力补强加固方法，当其用于抗震加固时，宜以提高钢筋混凝土墩柱的抗剪强度和弯曲延性为主要目的。增大截面法通常适用的截面形式有圆形、矩形等，加固方式可分为全截面加固和部分截面加固两种。

为提高加固后钢筋混凝土墩柱的延性能力，要保证新增箍筋对原有墩柱混凝土的约束作用；对圆形墩柱而言，这比较容易实现，可采用密布环形箍筋或螺旋箍筋；而对于矩形或方形截面的墩柱，除了密布箍筋外，还需要凿去原有墩柱折角处的混凝土，并增设复合箍筋，以获得较好的约束效果。

当需要提高混凝土墩柱的抗弯强度时，新增的纵向钢筋应可靠锚固于承台中；对多柱式桥墩，尚应同时可靠锚固于盖梁中。若新增纵筋在承台表面处被切断，则抗弯强度不会增加。当墩柱的抗弯强度因加固而得到提高时，原则上承台及基础也需要补强加固，以便承受增加的弯矩、剪力及倾覆力矩。

采用增大截面法加固时，加固后桥墩按整体截面、依照现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166 的规定进行抗震验算。

13.4.4 外包钢管加固法主要用于提高钢筋混凝土墩柱的抗剪强度和弯曲延性。这种加固技术最初是针对圆柱式桥墩提出的，系采用两块半圆形的钢管外包原有桥墩，钢管内径宜比桥墩直径大25mm～40mm，并在现场沿竖向接缝焊接成钢套，在钢套与原桥墩间的空隙中灌注添加微膨胀剂的水泥砂浆，钢套的下端宜与承台顶面留有 50mm 的间隙，以防止桥墩在地震作用下弯曲时因钢管受压而增加截面的弯曲强度，从而避免增大基础的地震内力。

采用外包钢管加固混凝土圆柱式桥墩，钢套可提供有效的被动约束应力，这种被动约束应力来自于混凝土受压而引起的侧向膨胀受到钢套的限制。当钢筋混凝土桥墩发生剪切破坏、出现斜裂缝时，也存在类似的效应。因此，钢套可视为沿墩高方向连续设置的环向箍筋。

对于矩形截面的钢筋混凝土桥墩，若直接外包矩形钢管，虽可提高其抗剪强度，然而对原有桥墩截面混凝土的约束效果较差，加固后的矩形桥墩可能无法获得所需的弯曲延性。为取得类似于圆柱式桥墩的连续的约束效果，宜将矩形墩柱扩大为椭圆形

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

墩柱，并以椭圆形钢管套箍，矩形墩柱的四个折角处宜修整为圆弧形或倒角形状（图 19）。椭圆形钢套与原有矩形桥墩之间的较大空隙可灌注与原桥墩同强度等级的微膨胀混凝土。

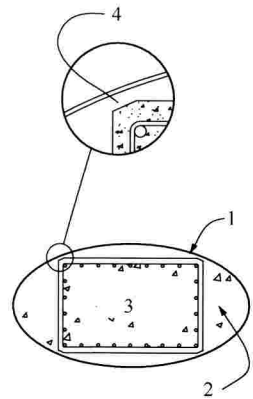


图 19　矩形桥墩外包钢管加固示意图

1—椭圆形钢管；2—钢板与 RC 墩柱间填充混凝土；
3—RC 墩柱断面；4—倒角处至少保留 25mm 间隙

13.4.5　延性是衡量桥梁抗震性能的一个重要指标，也是实现桥梁抗震性能目标的基础。然而，在我国桥梁抗震设计实践中，长期不关注桥梁的延性，致使我国现有桥梁中有相当部分存在延性不足的缺陷，尤其是在《公路桥梁抗震设计细则》JTJ /T B02-01 - 2008 颁布实施之前设计的桥梁。延性不足可能导致桥梁结构在地震作用下遭受严重破坏甚至倒塌，因此，有必要对延性不足的桥梁进行抗震加固，以提高其延性。对梁式桥而言，提高其延性的唯一途径是提高桥墩的延性（其余构件不适宜发生非弹性变形）。国内外已有的大量试验和理论研究表明，钢筋混凝土桥墩的延性主要通过约束混凝土的概念获得，外包钢管加固可对原有圆柱式桥墩的混凝土提供有效的约束（矩形墩柱需扩大为椭圆形墩柱，并以椭圆形钢管套箍方可奏效），因而可提高其延性。

本条文规定了采用外包钢管加固法对混凝土桥墩进行延性加

固（以提高延性为目的的加固简称为延性加固）的加固设计，其设计计算公式源于桥梁延性抗震设计理论。根据桥梁延性抗震设计理论，若已知混凝土墩柱在设计地震作用下的需求位移延性系数 μ_Δ（实际上也是墩柱延性加固预期要具备的目标位移延性系数 $[\mu_\Delta]$），则可以利用约束混凝土的概念，得到延性加固所需的钢板厚度。具体推导过程如下：

假设 E2 地震作用下混凝土墩柱的需求位移延性系数为 μ_Δ，则有

$$\Delta_p = (\mu_\Delta - 1)\Delta_y = \frac{\mu_\Delta - 1}{3}\phi_y H^2 \tag{14}$$

上式中，Δ_p 为 E2 地震作用下墩柱的最大塑性位移（cm）；Δ_y 为墩柱的屈服位移（cm）；ϕ_y 为墩底截面的屈服曲率；H 为悬臂墩高度或墩底截面至反弯点的距离（cm）。

进一步可求得 E2 地震作用下墩底截面的最大塑性转角 θ_p、最大塑性曲率 ϕ_p 和最大曲率 ϕ_m：

$$\theta_p = \frac{\Delta_p}{(H - 0.5L_p)} \tag{15}$$

$$\phi_p = \frac{\theta_p}{L_p} \tag{16}$$

$$\phi_m = \phi_p + \phi_y \tag{17}$$

$$L_p = 0.08H + 0.022 d_W f_y \tag{18}$$

其中，L_p 为等效塑性铰长度（cm）；d_W 为墩柱纵向钢筋直径（cm）；f_y 为墩柱纵向钢筋抗拉强度标准值（N/mm^2）。

在求得墩底截面的最大曲率 φ_m 后，利用平截面假定，可求得 E2 地震作用下墩底截面混凝土受压区最外缘预期的最大压应变 ε_{cu}^D（这里，上标“D”表示地震需求的含义）：

$$\varepsilon_{cu}^D = \phi_m c \tag{19}$$

其中，c 为墩底截面达到 ϕ_m 时、中性轴至混凝土受压区最外缘的距离。

根据约束混凝土的本构关系，计算受钢管约束混凝土的抗压

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

强度 f'_{cc}。国际上目前应用最多的约束混凝土本构关系为 Mander 模型，该模型经试验验证，较适用于约束良好的混凝土墩柱。根据 Mander 模型，受钢管约束混凝土的抗压强度 f'_{cc} 可由下式计算：

$$f'_{cc} = f'_c\left(2.254\sqrt{1+\frac{7.94f_l}{f'_c}}-\frac{2f_l}{f'_c}-1.254\right) \tag{20}$$

上式中，f'_c 为加固前无约束混凝土的抗压强度标准值（N/mm²）；f_l 为外包钢管对混凝土提供的有效约束应力，且有

$$f_l = \frac{2t_j f_{yj}}{D} \tag{21}$$

上式中，t_j 为所需的钢管厚度（cm）；D 为外包钢管内径（cm）；f_{yj} 为外包钢管抗拉强度标准值（N/mm²）。

将式（21）代入式（20），得

$$f'_{cc} = f'_c\left(2.254\sqrt{1+\frac{15.88t_j f_{yj}}{Df'_c}}-\frac{4t_j f_{yj}}{Df'_c}-1.254\right) \tag{22}$$

受钢管约束混凝土的极限压应变 ε_{cu}^{C}（这里，上标“C”表示能力的含义）与抗压强度 f'_{cc} 之间具有如下的关系：

$$\varepsilon_{cu}^{C} = 0.004+\frac{1.4\rho_s f_{yj}\varepsilon_{su}}{f'_{cc}} \tag{23}$$

上式中，ε_{su} 为外包钢管的极限拉应变；ρ_s 为体积配箍率，对钢管套箍情况，$\rho_s = \frac{4t_j}{D}$。

将 ρ_s 的表达式代入式（23），得

$$\varepsilon_{cu}^{C} = 0.004+\frac{5.6t_j f_{yj}\varepsilon_{su}}{Df'_{cc}} \tag{24}$$

令

$$\varepsilon_{cu}^{C} \geqslant \varepsilon_{cu}^{D} = \varepsilon_{cu}$$

最终推得

$$t_j \geqslant \frac{(\varepsilon_{cu}-0.004)Df'_{cc}}{5.6f_{yj}\varepsilon_{su}} \tag{25}$$

在利用式（25）计算延性加固所需的钢管厚度时，需要迭代

计算。具体计算步骤如下：

1）计算混凝土墩柱的需求位移延性系数 μ_Δ。为简化计算，一般可取 $[\mu_\Delta] \geqslant \mu_\Delta = 5$。

2）可假定加固前后墩底截面的屈服曲率 ϕ_y 和 c 值相同；采用截面弯矩-曲率分析方法，求得加固前墩底截面的屈服曲率 ϕ_y 和 c。

3）利用式（15）～式（19），计算 E2 地震作用下墩底截面混凝土受压区最外缘预期的最大压应变 ε_{cu}^{D}（ε_{cu}）。

4）假定 $f'_{cc} = 1.7f'_c$，将其代入式（25），求得 t_j 的初始值（初始计算时，受钢管约束混凝土的抗压强度 f'_{cc} 可偏保守地取为 $1.7f'_c$）；

5）将求得的 t_j 代入式（22），可求得 f'_{cc} 的计算值。

6）将求得的 f'_{cc} 代入式（25），可再次求得 t_j 的计算值。

7）重复第（5）至第（6）步骤，直至计算收敛为止，从而求得延性加固所需的钢管厚度 t_j。

应当指出，以上求得的钢管厚度 t_j 仅是延性加固所需的计算厚度。若外包钢管加固法同时用于延性加固和抗剪加固（以提高剪切强度为目的的加固简称为抗剪加固）等，则所需加固钢板的设计厚度应由各自计算得到的最大值确定，且不宜小于 10mm，也不宜大于 25mm。

对矩形截面的钢筋混凝土柱式桥墩，当采用椭圆形钢管套箍加固时，其设计计算可参照圆柱式桥墩办理。具体简化计算过程如下：

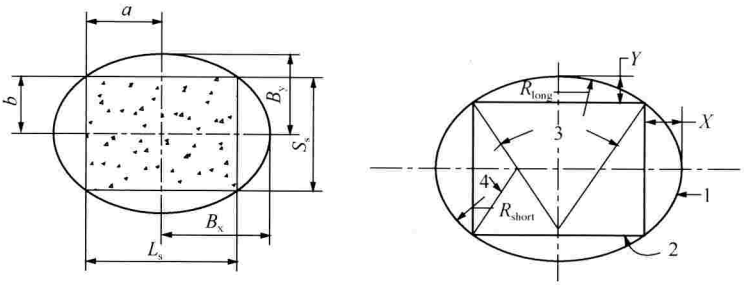
设外包椭圆形钢管墩柱的截面如图 20 所示，则其 X 轴端点的曲率半径 r_1 与 Y 轴端点的曲率半径 r_3 可分别按下列公式计算：

$$r_1 = \frac{B_y^2}{B_x} \tag{26}$$

$$r_3 = \frac{B_x^2}{B_y} \tag{27}$$

式中，B_x 与 B_y 分别为椭圆 X 向与 Y 向的半轴长度。

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取



(a) 加固后截面形状　　(b) 利用两组圆弧曲线近似椭圆曲线

图 20　外包椭圆形钢管近似计算示意图

1—钢管；2—原 RC 矩形墩柱；3—长边角度；4—短边角度

矩形墩柱四个折角处的曲率半径 r_2 可假设等于 r_1 与 r_3 的平均值。加固后形成的椭圆形截面可视为由四个圆弧组合而成，X 轴前后两个圆弧的半径 r_x 与 Y 轴上下两个圆弧的半径 r_y 可取为如下的平均值：

$$r_x = \frac{(r_1 + r_2)}{2} \tag{28}$$

$$r_y = \frac{(r_3 + r_2)}{2} \tag{29}$$

实际加固计算时，此两组圆弧对应截面处所需加固钢板的厚度可分别按相同半径的圆形桥墩办理，即分别按直径为 $2r_x$ 和 $2r_y$ 的圆形桥墩外包钢管设计所需厚度的计算流程计算。所需加固钢板的设计厚度应由两者计算得到的较大值确定。

13.4.6　外包钢管加固法用于钢筋混凝土圆柱式桥墩的抗剪加固时，钢套的抗剪机理与箍筋的抗剪机理类似。钢套可视为截面积为 A_s、竖向间距为 $s = \dfrac{A_s}{t_j}$ 的环形箍筋。代入 t_j = 10mm～25mm 进行试算，计算得到的角度最多相差 5 度，影响较小。因此，可假设加固后的桥墩斜截面所承受的剪力设计值 V_0 由三部分组成，即

$$V_0 = \phi_s(V_c + V_s + V_{sj}) \tag{30}$$

上式中，V_c、V_s 和 V_{sj} 分别为混凝土的抗剪能力贡献、横向钢筋

的抗剪能力贡献和外包钢管的抗剪能力贡献；ϕ_s 为考虑地震作用偶然组合引进的抗剪强度折减系数。

横向钢筋的抗剪能力贡献 V_s 和外包钢管的抗剪能力贡献 V_{sj} 可分别由下列公式计算：

$$V_s = \frac{\pi}{2}\frac{A_h f_{yh} D\cot\theta}{s} \tag{31}$$

$$V_{sj} = \frac{\pi}{2} t_j f_{yj} D\cot\theta \tag{32}$$

式中，A_h 和 f_{yh} 分别为圆环箍筋或螺旋箍筋的截面积和抗拉强度标准值；θ 为剪切裂缝与墩柱轴线的夹角。

混凝土的抗剪能力贡献 V_c 须计及塑性铰区抗剪强度随延性增加而减小以及与随轴力变化的关系。目前，各国相关技术标准的规定不尽相同。本规程采用了我国台湾地区《公路桥梁抗震设计规范》（2008 年版）建议的如下公式：

$$V_c = 1.66\left(0.33 + \frac{N}{140A_g}\right)\sqrt{f'_c}A_e（N\text{ 为轴压力时}） \tag{33}$$

$$V_c = 1.66\left(0.33 + \frac{N}{35A_g}\right)\sqrt{f'_c}A_e（N\text{ 为轴拉力时}） \tag{34}$$

由式（30）～式（34），可推得本条文的设计计算公式。

E2 地震作用下墩柱的剪力设计值 V_0，可参见现行行业标准《城市桥梁抗震设计规范》CJJ 166－2011 第 6.6 节计算。

条文公式（13.4.6-7）中 t_j 初值可先行假设为条文 13.4.4 中 t_j 最小构造要求 10mm 或式（13.4.5-1）计算得到的 t_j 进行计算，依据结果再行迭代计算。

13.4.7 国内外已有的大量试验表明，粘贴纤维复合材料加固法同样可用于提高混凝土墩柱的抗剪强度、弯曲延性以及用于改善纵向钢筋搭接或锚固性能的不足。目前工程上常用的纤维复合材料包括碳纤维复合材料（CFRP）、芳纶纤维复合材料（AFRP）和高强度的玻璃纤维复合材料（GFRP）等。

粘贴纤维复合材料加固法与外包钢管加固法的原理相同。为避免增大基础的地震内力，粘贴的纤维复合材料下方宜与承台顶

找规范 查规范
500本
常用规范免费领取

面留有 50mm 的间隙。此外，对矩形截面桥墩，为提高约束效果，宜将原截面四个折角修整为圆弧形，并将截面扩大为椭圆形后，再粘贴纤维复合材料。

13.4.8、13.4.9 采用粘贴纤维复合材料加固法对混凝土圆柱式桥墩进行抗震加固的设计原理与外包钢管加固法的设计原理相同，其设计计算公式的推导过程与外包钢管加固法的推导过程类似。就延性加固方面进行比较，两者不同之处在于纤维复合材料达到其抗拉强度前，其应力-应变关系均为线性的，约束效果比会屈服的钢板更好，因此，受纤维复合材料约束的混凝土的极限压应变 ε_{cu} 采用下式计算：

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + \frac{2.5\rho_s f_{du}\varepsilon_{du}}{f'_{cc}} \tag{35}$$

就抗剪加固方面进行比较，两者不同之处仍在于纤维复合材料在达到其抗拉强度前，其应力-应变关系均属线性。

应当指出，若粘贴纤维复合材料加固法同时用于延性加固和抗剪加固，则所需纤维复合材料布材的设计厚度应由各自计算得到的最大值确定。

13.4.10 根据能力设计原理，盖梁属于能力保护构件。因此，地震作用下，盖梁应始终处于弹性反应状态。若盖梁承载力不足，则需要补强加固或采取适当的措施降低其地震内力。本条文规定了对多柱式桥墩盖梁可采用增设系梁法以降低其地震内力需求（图 21）。

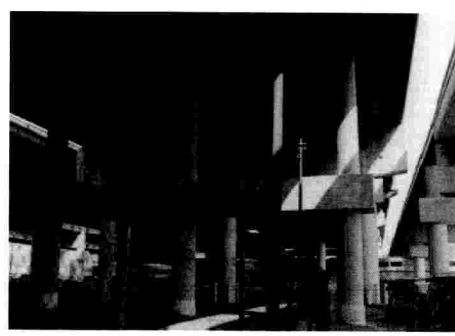


图 21 增设系梁加固实例

多柱式桥墩增设系梁后，墩柱被分为上、下两段。以双柱式桥墩为例（图 22），假设反弯点均出现在各段中间，而墩柱剪力在两段柱中是相同的，由于下段柱较长，其端部的弯矩较大，将首先达到塑性弯矩 M_{ci}，而上段柱顶弯矩为 $M_{ci}h_2/h_1$，其中 h_1 与 h_2 分别为下、上段柱长度，因 $h_2<h_1$，故上段柱顶的弯矩变小，盖梁的内力需求也相应降低，从而不必做任何加固（图 22）。系梁施工时，应先敲除墩柱保护层混凝土，其配置的主筋与箍筋应细部处理（图 23）。

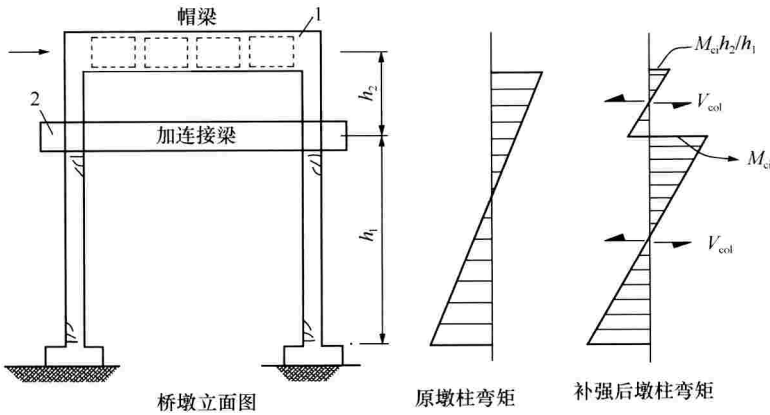


图 22　增设系梁前后墩柱弯矩分布示意图

1—帽梁；2—加连接梁

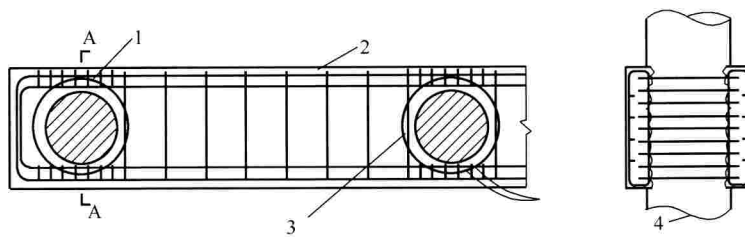


图 23　系梁加固细部图

1—原墩柱去除保护层；2—加系梁；

3—增深环向箍筋；4—增设垂直向箍筋

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取

13.4.11 盖梁承载力不足，除了可采取降低其地震内力需求的措施外（参见本规程第13.4.10条），还可采取对盖梁直接进行补强加固的措施，如增大截面、粘贴钢板或纤维复合材料、施加体外预应力等（参见本规程第12.1.1条）。如使用体外预应力技术，为防止腐蚀，宜将预应力筋置于镀锌管内并灌浆。

盖梁加固后的抗弯强度和抗剪强度应足够大，以保证塑性铰仅出现在墩柱柱端，且盖梁不发生剪切破坏。对上部结构与盖梁整体浇筑的桥梁，扩大截面只能在盖梁底部施工，因此只能增加盖梁的正弯矩强度，此种情况下可采用预应力技术，以达到同时增加负弯矩强度与正弯矩强度的目的。

13.4.13 在过去的破坏性地震中，桥台极少是因自身强度不足而丧失功能；其最常见的破坏现象是台背填土沉陷、搭板陷落及胸墙破坏等，此类破坏对于桥台结构属于可修复的轻微破坏。然而，针对土层液化、桥台基础冲刷或考虑结构系统加固时，则要一并考虑桥台加固的可行性。与基础加固类似，桥台若因承载力及稳定性不足而需加固，所需费用也不菲。

13.4.14 本条文规定了用于桥台抗震加固的一些常见措施。

1 加厚墙身尺寸：若桥台墙身强度不足以抵挡台背填土的土压力，则可通过增加墙身尺寸来提高其抗剪及抗弯强度。

2 增加扶壁或翼墙：若桥台无法抵抗台背填土区压力并有倾斜的可能性时，可在墙身处固接扶壁，以大幅增加其抗弯强度；或加厚两侧翼墙，以抵抗地震力。

3 桥台前趾加桩：若桥台前趾无法抵抗倾覆力矩，则可通过增设基桩来增加其稳定性。

4 台背填土区增设密排桩：透过增设密排桩以增加土层抗剪强度，以防止土层滑动面破坏；须考虑施工时对行车的影响。

5 增设地锚：可在墙身与台背填土之间增设地锚，以防止桥台向河床侧移；地锚的固定端要深入台背填土区土层相当距离才能发挥功用。另一种方式为系杆锚碇措施，施工时于桥台后设置锚碇支柱，再以系杆连接锚碇支柱与桥台。

6　胸墙与主梁之间填充耗能材料：在桥台胸墙与主梁之间填充弹性耗能材料，将顺桥向部分地震力传至桥台，以降低桥墩的地震内力需求。

找规范　查规范
500本
常用规范免费领取



统一书号：15112·30018
定　　价：**40.00**　元