重慶設計
CHONGQING DESIGN GROUP CO.,LTD.

璧山区凝山路大桥新建和红宇大桥拓宽工程

桥梁计算书

工号：2023-HM-61D6

资质证书编号：A250012599

重庆设计集团有限公司

CHONGQING DESIGN GROUP CO.,LTD.

二〇二六年八月

重庆设计
CHONGQING DESIGN GROUP CO.,LTD.

璧山区凝山路大桥新建和红宇大桥拓宽工程

桥梁计算书

工号：2023-HM-61D6

法人代表：	周　刚	教授级高级工程师
技术负责人：	张晓阳	教授级高级工程师
承担单位：	重庆设计集团有限公司市政设计研究院	
单位负责人：	谭晓江	教授级高级工程师
单位技术负责人：	杜春林	教授级高级工程师
项目负责人：	赵隆恺	工程师
审　定　人：	任山江	教授级高级工程师
审　核　人：	周志敏	教授级高级工程师
专业负责人：	罗　磊	高级工程师
校　核　人：	张文锋	教授级高级工程师
编　制　人：	罗　磊	高级工程师
	夏绪模	工程师

资质证书编号：A250012599

重庆设计集团有限公司

CHONGQING DESIGN GROUP CO.,LTD.

二〇二六年八月

目录

1．基本信息 **1**

1.1．工程概况 1

1.1.1．新建凝山路桥 1

1.1.2．红宇大桥拼宽桥 1

1.2．技术标准 1

1.3．主要规范 2

1.4．主要材料 2

1.4.1．混凝土 2

1.4.2．普通钢筋 2

1.4.3．预应力筋 3

1.5．计算原则、内容及控制标准 3

2．凝山路桥梁整体计算 **3**

2.1．计算概述 3

2.1.1．计算模型 3

2.2．荷载工况及荷载组合 4

2.3．上部结构计算 5

2.3.1．持状况承载能力极限状态 5

2.3.2．持久状况正常使用极限状态 8

2.3.3．持久状况应力验算 20

2.3.4．短暂状况应力验算 24

2.3.5．支反力计算 27

3．凝山路桥梁横梁计算 **29**

3.1．计算概述 29

3.2. 荷载作用 29

3.3．验算结果 30

3.3.1．A0 端横梁验算结果 30

3.3.2．A2 端横梁验算结果 31

3.3.3．中横梁验算结果 32

4．红宇大桥拼宽桥整体计算 **33**

4.1．计算概述 33

4.1.1．计算模型 33

4.2．荷载工况及荷载组合 33

4.3．上部结构计算 34

4.3.1．持状况承载能力极限状态 34

4.3.2．持久状况正常使用极限状态 35

4.3.3. 持久状况应力验算 38
4.3.4. 短暂状况应力验算 39
5. 下部结构计算 41
5.1. 计算概述 41
5.2. 凝山路桥墩柱验算结果 41
5.2.1. 持久状况正截面抗压承载力验算 41
5.2.2. 使用阶段裂缝宽度验算 42
5.3. 凝山路桥桩基验算结果 42
5.3.1. 持久状况正截面抗压承载力验算 42
5.3.2. 使用阶段裂缝宽度验算 43
5.3.3. 单桩轴向承载力验算 43
5.4. 红宇拼宽桥桥墩柱验算结果 46
5.4.1. 持久状况正截面抗压承载力验算 46
5.4.2. 使用阶段裂缝宽度验算 47
5.5. 红宇拼宽桥桩基验算结果 47
5.5.1. 持久状况正截面抗压承载力验算 47
5.5.2. 使用阶段裂缝宽度验算 48
5.5.3. 单桩轴向承载力验算 48
6. 既有红宇大桥加固计算 50
6.1. 计算概述 50
6.1.1. 既有红宇大桥纵梁计算模型 51
6.1.2. 既有红宇大桥桥面板计算模型 52
6.2. 荷载工况及荷载组合 52
6.2.1. 既有红宇大桥纵梁计算模型荷载工况及荷载组合 52
6.2.2. 既有红宇大桥桥面板计算模型荷载工况及荷载组合 56
6.3. 纵梁持久状况承载能力极限状态 58
6.3.1. 持久状况正截面抗弯承载能力验算 58
6.3.2. 持久状况斜截面抗剪验算承载能力验算 58
6.4. 桥面板验算 60
6.4.1. 持久状况正截面抗弯承载能力验算 60
6.4.2. 持久状况斜截面抗剪承载能力验算 60
6.4.3. 使用阶段裂缝宽度验算 60

1. 基本信息

1.1. 工程概况

1.1.1. 新建凝山路桥

凝山路桥上跨璧南河，桥墩与河道平行，斜交角度为 25.8 度，两岸桥台与璧南河河堤平行，斜交角度分别为 39 度和 25.8 度。

桥梁设计起点桩号为 K0+116.0，设计终点桩号为 K0+179.5，桥梁全长为 63.5m，上部构造跨径布置为 2×30m 预应力混凝土连续箱梁。

桥梁标准总宽 24m，桥面标准宽度：4m（人行道）+16m（车行道）+4m（人行道）=24m，标准断面箱梁顶面设双向 1.5%横坡，箱梁底面与顶面平行。

桥梁上部结构采用预应力钢筋混凝土现浇箱梁，梁高采用 1.6m，箱梁采用单箱五室截面，箱梁悬臂长度为 2m，箱梁顶板厚 25cm，底板厚 22cm，悬臂端部厚 20cm，根部厚 45cm，腹板厚 50cm。

在箱梁腹板处设置纵向预应力钢束，腹板束采用 15-17 规格的低松弛高强度钢绞线，两端张拉。每一个腹板沿横桥向设置 2 排钢束，每排钢束为 3 根，一个腹板共计 6 根。

下部构造桥墩采用圆形墩下接桩基础，桥墩墩身直径为 1.5m，对应桩基直径为 1.8m，桥台采用桩柱式桥台，桩基直径 1.5m。

1.1.2. 红宇大桥拼宽桥

红宇拓宽桥利用现状既有桥梁中线，采用双侧对称拓宽，左右幅拓宽均采用预应力混凝土现浇箱梁。上跨璧南河，桥墩与河道平行，斜交角度为 20 度

红宇拓宽桥上跨璧南河，桥墩、桥台均与河道平行，斜交角度为 20 度，上部构造跨径布置为 2×30m，全长 64m。左右幅拼宽桥，宽度均为 4m，标准横断面布置为:3m（人行道）+1m（车行道）=4m。

左右幅上部结构均采用预应力钢筋混凝土现浇箱梁，梁高采用 1.5m，墩梁固结渐变为 1.7m。箱梁采用单箱单室截面，箱梁悬臂长度为 0.8m，箱梁顶板厚 25cm，底板厚 22cm，悬臂端部厚 20cm，根部厚 40cm，腹板厚 40cm。

在箱梁腹板处设置纵向预应力钢束，腹板束采用 15-17 规格的低松弛高强度钢绞线，两端张拉。每一个腹板沿横桥向设置 1 排钢束，每排钢束为 3 根，一个腹板共计 3 根。

下部构造桥墩采用圆形墩下接桩基础，桥墩墩身直径为 1.5m，对应桩基直径为 1.8m，桥台采用桩柱式桥台，采用桩基础。

1.2. 技术标准

（1）道路等级：凝山路-次干路，红宇大桥拓宽桥-主干道；

（2）设计车速：凝山路 30km/h、红宇大桥 50km/h；

（3）桥面组成：凝山路标准断面宽 24m(双向 4 车道、人行道及栏杆)；

红宇大桥拼宽桥左右幅宽各 4m(1m 车行道、3m 人行道及栏杆)；

（4）桥面横坡：车行道双向横坡 1.5%，人行道反向横坡 2.0%；

（5）环境类别：I 类；

（6）设计基准期：100 年；

（7）设计使用年限：桥梁主体结构 100 年；栏杆、伸缩缝、支座：15 年；

（8）设计安全等级：一级，结构重要性系数 γ o＝1.1；

（9）设计荷载：汽车荷载采用城—A 级，人群荷载按《城市桥梁设计规范》（CJJ 11-2011）（2019 年版）进行取值；

（10）温度荷载：按《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60-2015）进行计算；

（11）抗震设防标准：按《城市桥梁抗震设计规范》（CJJ 166-2011），本工程桥梁抗震设防类别为丙类(地震动加速度峰值 A 为 0.05g)，抗震设防烈度 6 度，抗震构造措施按 7 度设防；

（12）通航标准：无通航要求；

（13）设计洪水位频率：凝山路桥 50 年一遇水位 277.55m；

红宇拼宽桥 50 年一遇水位 278.15m；

（14）桥下净空：人行≥2.5m。

（15）防撞等级：SB 级；

1.3. 主要规范

《公路工程结构可靠性设计统一标准》　（JTG 2120-2020）

《公路桥涵设计通用规范》　（JTG D60-2015）

《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）

《城市桥梁设计规范》　（CJJ 11-2011）（2019 年版）

《公路桥涵施工技术规范》　（JTG/T 3650-2020）

《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG 3363-2019）

1.4. 主要材料

1.4.1. 混凝土

沥青混凝土：桥面铺装。

C50 混凝土：主梁；

C40 混凝土：桥墩墩身、盖梁；

C35 混凝土：桥台承台、台帽；

C30 混凝土：搭板、护栏及人行道等；

C35 水下混凝土：桩基；

C25 混凝土：垫层。

1.4.2. 普通钢筋

普通钢筋采用 HRB400 和 HPB300，抗拉设计强度分别为 330MPa、250MPa。钢筋的主要技术性能必须符合国家标准《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》（GB/T 1499.2-2024）、《钢筋混凝土用钢 第 1 部分：热轧光圆钢筋》（GB/T 1499.1-2024）的有关规定。

普通钢筋性能指标

钢筋种类	弹性模量	抗拉强度	
	（MPa）	标准值（MPa）	设计值（MPa）
HPB300	2.10×10^5	300	250
HRB400	2.00×10^5	400	330

1.4.3. 预应力筋

预应力钢束采用ϕ^s15.2 高强度低松弛（Ⅱ级松弛）七股型钢绞线，其应符合图纸要求及《预应力混凝土用钢绞线》（GB/T 5224-2023）中的规定。

钢绞线主要技术要求如下规定：

钢铰线公称直径：15.2mm

截面面积：139mm2

抗拉强度标准值：fpk=1860 MPa

弹性模量：E=1.95×105MPa

预应力钢束与管道的摩阻系数： μ =0.17

预应力管道每米局部偏差对摩擦的影响系数：k =0.0015（塑料波纹管）

一端锚具变形及钢束回缩值小于等于：6mm

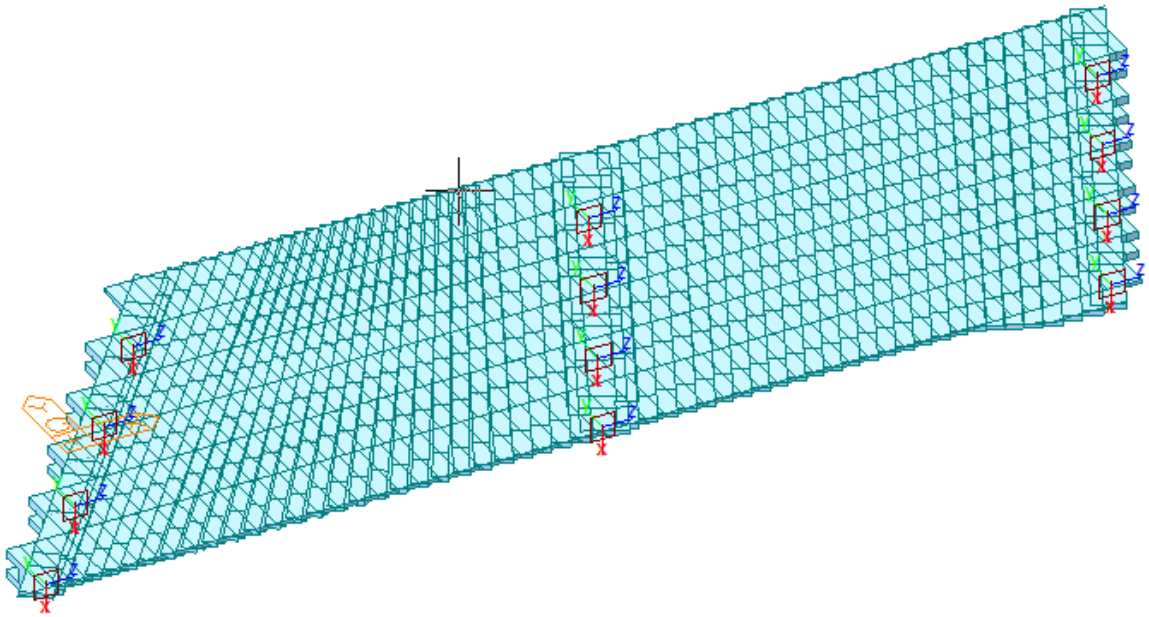
1.5. 计算原则、内容及控制标准

计算书中将采用 midas Civil 及 midas Civil Designer 对桥梁进行设计，并以《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60-2015）和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）为标准，按部分预应力（A 类）混凝土结构进行验算。

2. 凝山路桥梁整体计算

2.1. 计算概述

2.1.1. 计算模型



模型视图

1） 节点数量：354 个；

2） 单元数量：348 个；

3） 边界条件数量：12 个；

4） 施工阶段数量：3 个，施工步骤如下：

施工阶段 1:CS01 - 成桥阶段；14.0 天；

施工阶段 2:CS02 - 二期恒载；10.0 天；

施工阶段 3:CS03 - 收缩徐变；3650.0 天；

2.2. 荷载工况及荷载组合

1） 自重

自重系数：-1.04

2） 整体升降温

1:整体升温，25.0℃；

2:整体降温，-15.0℃；

3） 徐变收缩

收缩龄期：3.0 天；

理论厚度自动计算：由程序自动计算各构件的理论厚度。公式为：

$h=a\times A_c/u$；

$u=L_0+a\times L_i$；

--周长 u 的计算公式中 L_0 为外轮廓周长，L_i 为内轮廓周长，a 为要考虑轮廓周长的比例系数。

4） 支座沉降

按照每个地基及基础的最大沉降量的最不利的荷载组合进行计算。

第沉降组 1 组不均匀沉降-5.0mm；

第沉降组 2 组不均匀沉降-5.0mm；

第沉降组 3 组不均匀沉降-5.0mm；

5） 可变荷载

活载：汽车荷载，桥梁等级为公路Ⅰ级；

对于汽车荷载纵向整体冲击系数μ，按照《公路桥涵通用设计规范》第 4.3.2 条，冲击系数μ可按下式计算：

当 f＜1.5Hz 时，μ＝0.05；

当 1.5Hz≤f≤14Hz 时，μ＝0.1767ln(f)－0.0157；

当 f＞14Hz 时，μ＝0.45；

根据规范，计算的结构基频 f=3.84Hz，冲击系数μ =0.222。

6） 荷载组合

按《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60-2015）进行荷载组合。

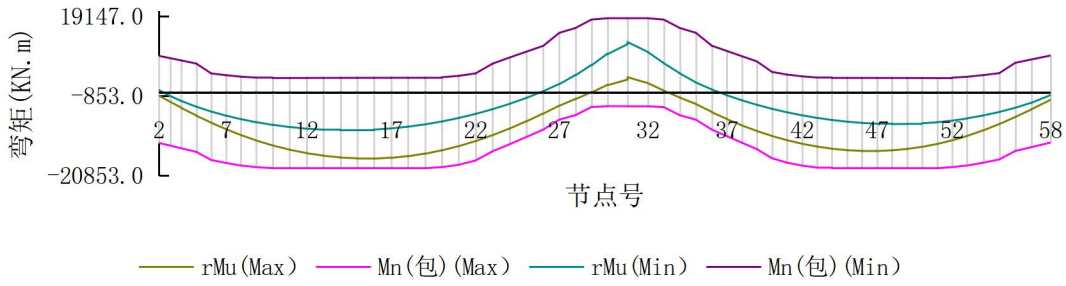
序号	分类	名称	永久荷载、可变荷载分项系数	
			对承载力不利时	对承载力有利时
①	永久作用	结构重力（自重、二期恒载）	1.2	1.0
②		预加力	1.2	1.0
③		混凝土收缩、徐变作用	1.0	1.0
④		基础变位作用	0.5（砼结构）	0.5（砼结构）
⑤	可变作用	汽车荷载	1.4（车道荷载）、1.8（车辆荷载）	

序号	分类	名称	永久荷载、可变荷载分项系数	
			对承载力不利时	对承载力有利时
⑥		汽车冲击力	1.4	
⑦		汽车离心力	1.4	
⑧		汽车制动力	1.4	
⑨		均匀温度	1.4	
⑩		梯度温度	1.4	
⑪		风荷载	1.1	
⑫		人群荷载	1.4	
⑬		支座摩阻力	1.4	
⑭	偶然作用	汽车撞击作用	——	
⑭	地震作用	地震作用	——	
承载能力极限状态设计	基本组合	$1.1\times\{1.2\times(①+②二次)+1.0\times③+0.5\times④+1.4\times(⑤+⑥+⑦+\psi_{制动}⑧)+0.75\times1.4\times(⑨+⑩+⑫)\}$		
正常使用极限状态设计	频遇值组合	$①+②+③+④+0.7\times(⑤+⑦+\psi_{制动}⑧)+1.0\times⑨+0.8\times⑩+0.4\times⑫$		
	准永久值组合	$①+②+③+④+0.4\times(⑤+⑦+\psi_{制动}⑧)+1.0\times⑨+0.8\times⑩+0.4\times⑫$		

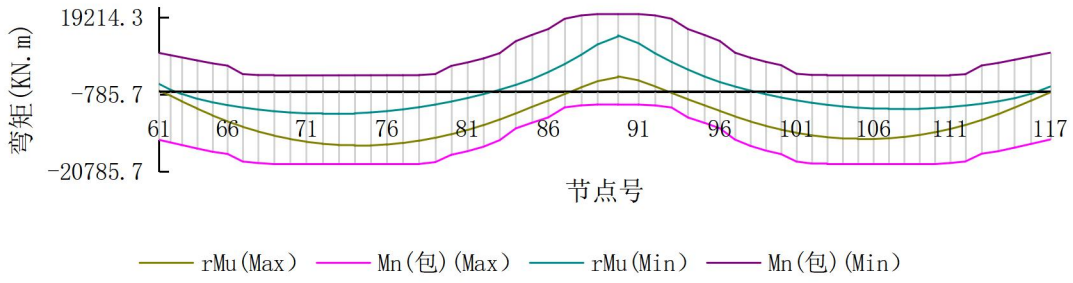
2.3. 上部结构计算

2.3.1. 持状况承载能力极限状态

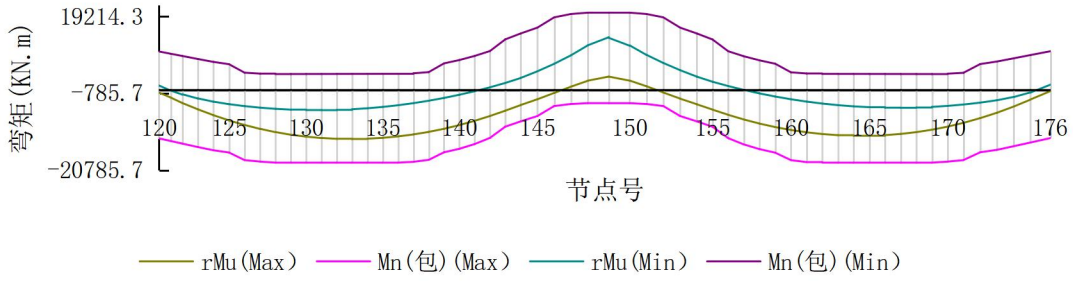
2.3.1.1. 正截面抗弯验算



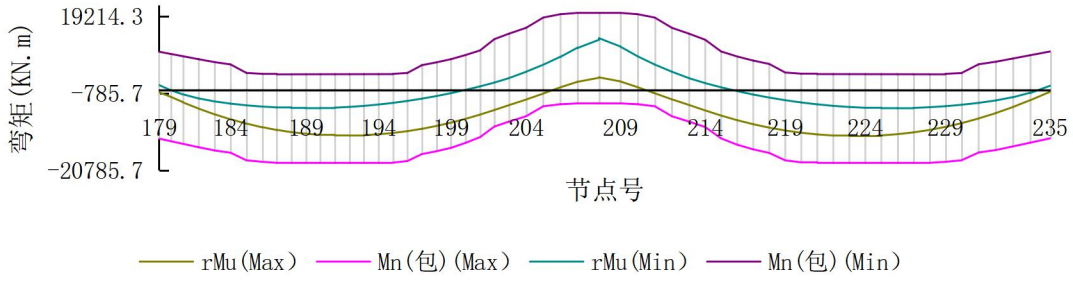
图表 1 持久状况正截面抗弯验算包络图（1）



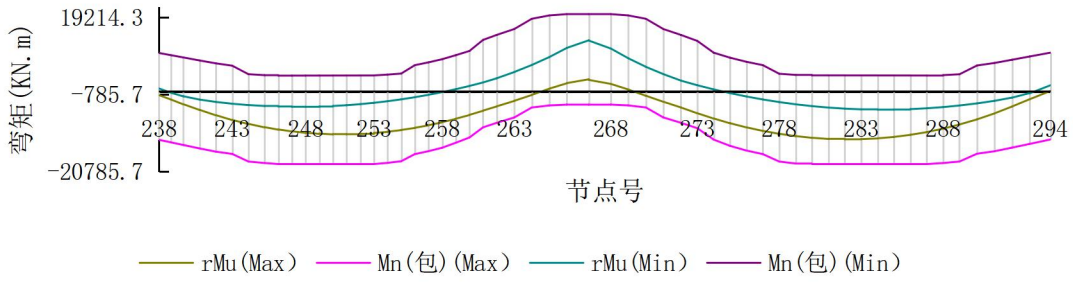
图表 1 持久状况正截面抗弯验算包络图（2）



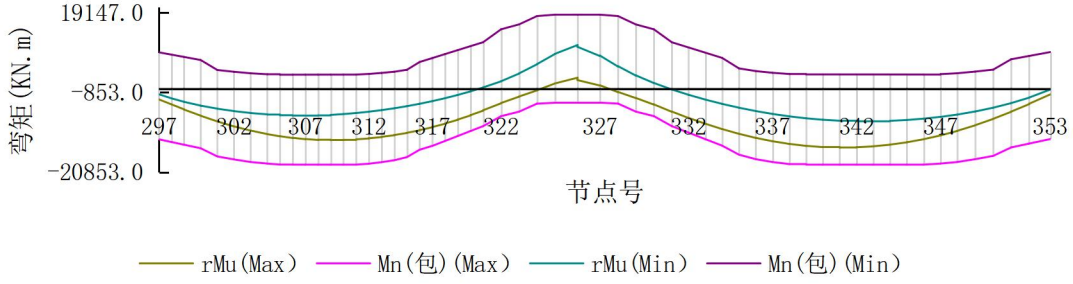
图表 1 持久状况正截面抗弯验算包络图（3）



图表 1 持久状况正截面抗弯验算包络图（4）



图表 1 持久状况正截面抗弯验算包络图（5）

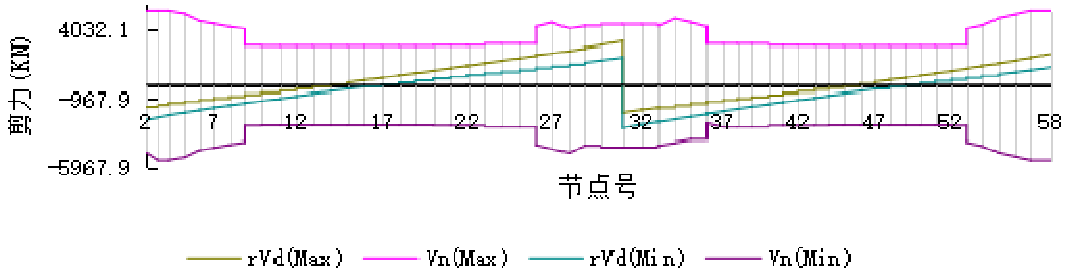


图表 1 持久状况正截面抗弯验算包络图（6）

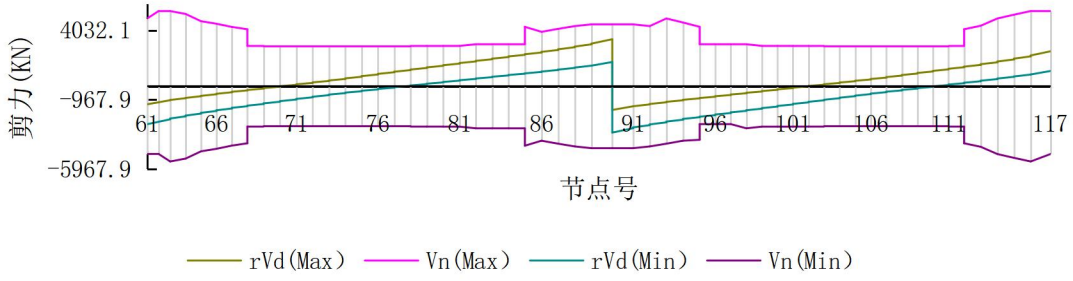
结论：

按照《桥规》第 5.1.2-1 条 $\gamma_0 S \leq R$ 验算，结构的重要性系数*作用效应的组合设计最大值≤构件承载力设计值，满足规范要求；

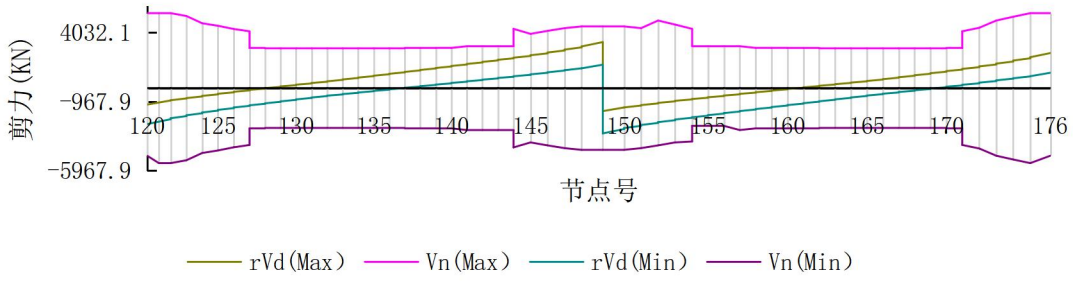
2.3.1.2. 斜截面抗剪验算



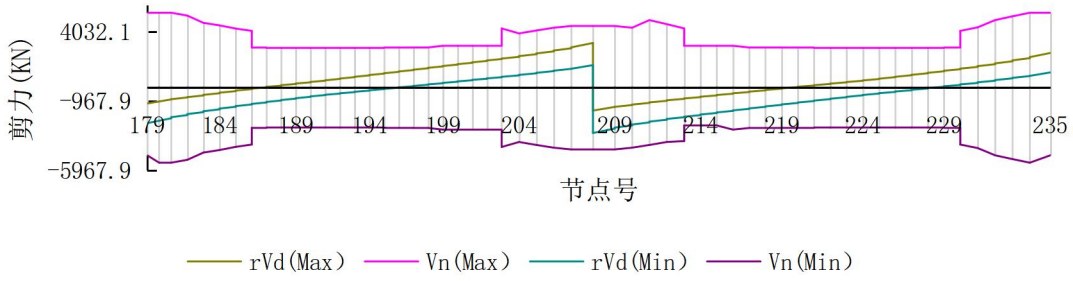
图表 1 持久状况斜截面抗剪验算包络图（1）



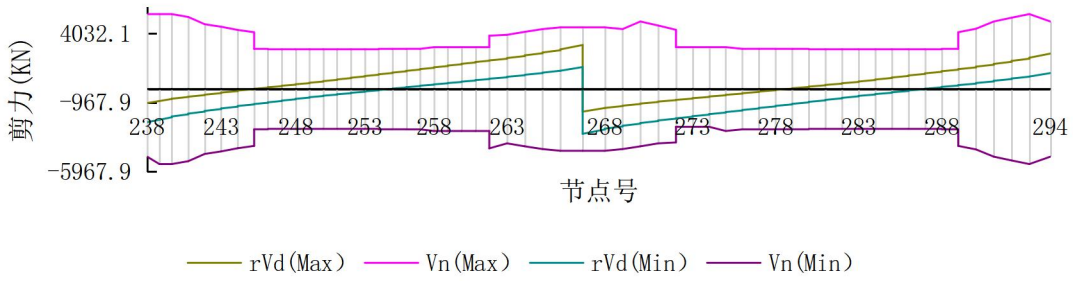
图表 1 持久状况斜截面抗剪验算包络图（2）



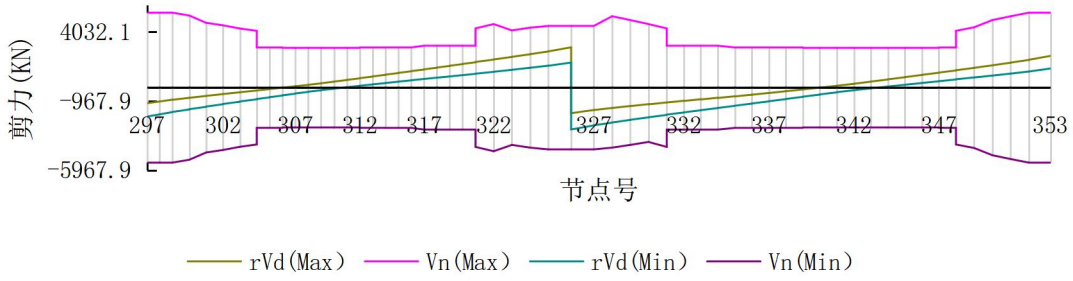
图表 1 持久状况斜截面抗剪验算包络图（3）



图表 1 持久状况斜截面抗剪验算包络图（4）



图表 1 持久状况斜截面抗剪验算包络图（5）



图表 1 持久状况斜截面抗剪验算包络图（6）

结论：

按照《桥规》第 5.1.2-1 条 $\gamma_0 S \leq R$验算，结构的重要性系数*作用效应的组合设计最大值＜构件承载力设计值，满足规范要求；

按照《桥规》第 5.2.11 或 8.4.4 条进行抗剪截面验算，满足规范要求；

2.3.2. 持久状况正常使用极限状态

2.3.2.1. 正截面抗裂验算

全预应力混凝土构件，在作用（荷载）频遇效应组合下，应符合下列条件：

预制构件：$\sigma_{st}-0.85\sigma_{pc}\leq 0$

分段浇筑或砂浆接缝的纵向分块构件：$\sigma_{st}-0.80\sigma_{pc}\leq 0$

A 类预应力混凝土构件，在作用（荷载）频遇效应组合下，应符合下列条件：

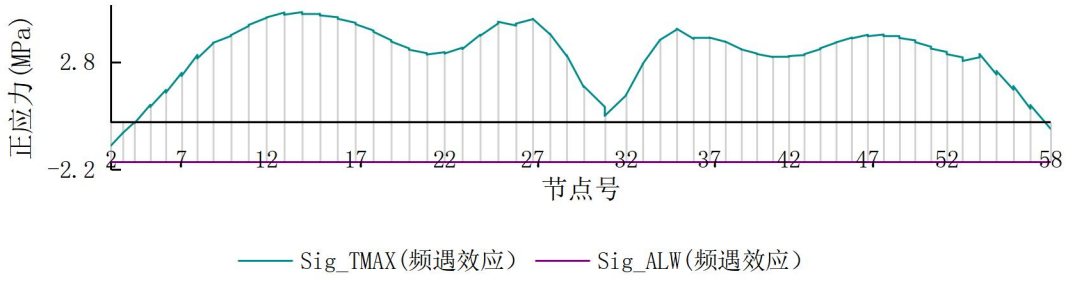
$$\sigma_{st}-\sigma_{pc}\leq 0.7f_{tk}$$

A 类预应力混凝土构件，在作用（荷载）准永久效应组合下，应符合下列条件：

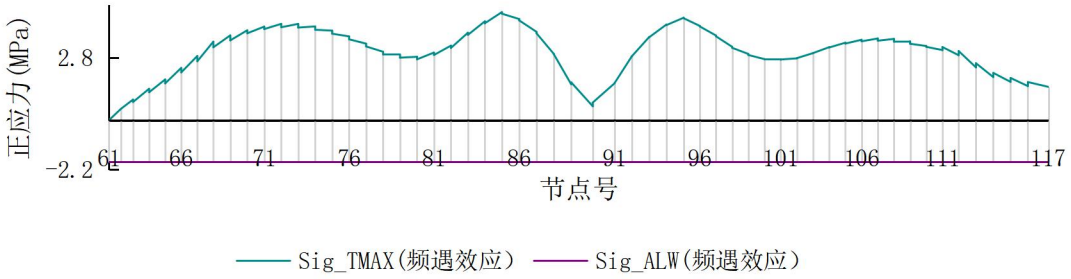
$$\sigma_{lt}-\sigma_{pc}\leq 0$$

B 类预应力混凝土构件，在结构自重作用下控制截面受拉边缘不得消压：

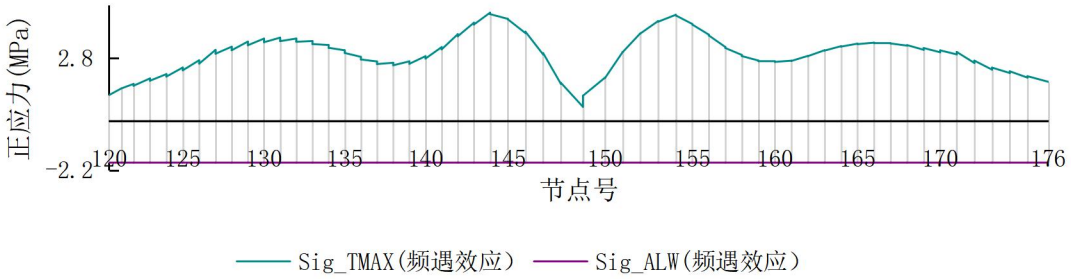
$$\sigma_{t}-\sigma_{pc}\leq 0$$



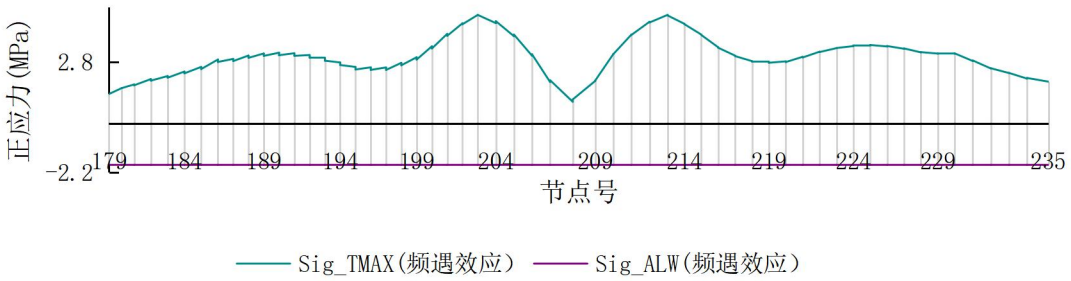
图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（频遇-顶）包络图（1）



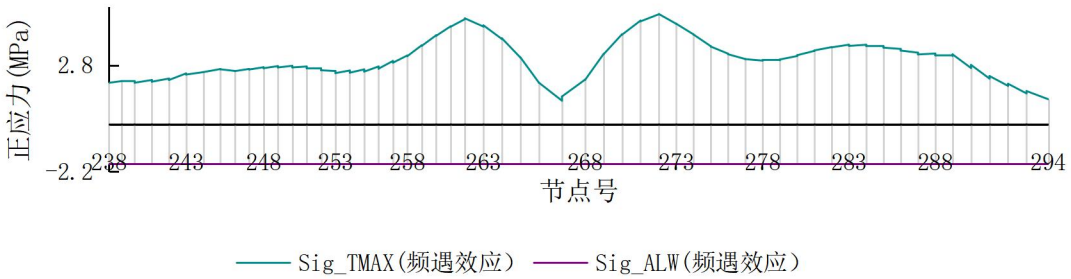
图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（频遇-顶）包络图（2）



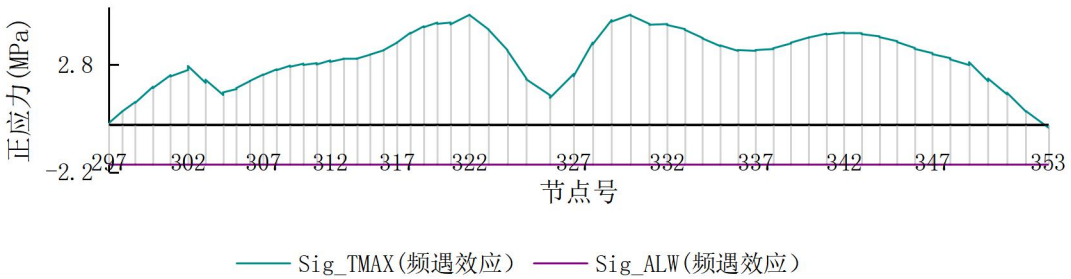
图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（频遇-顶）包络图（3）



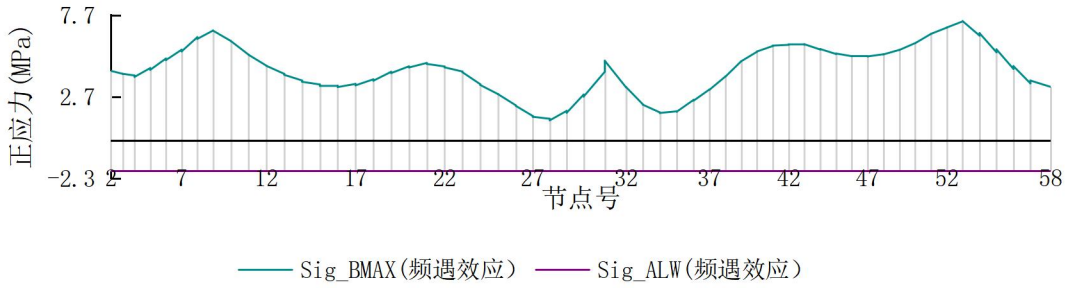
图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（频遇-顶）包络图（4）



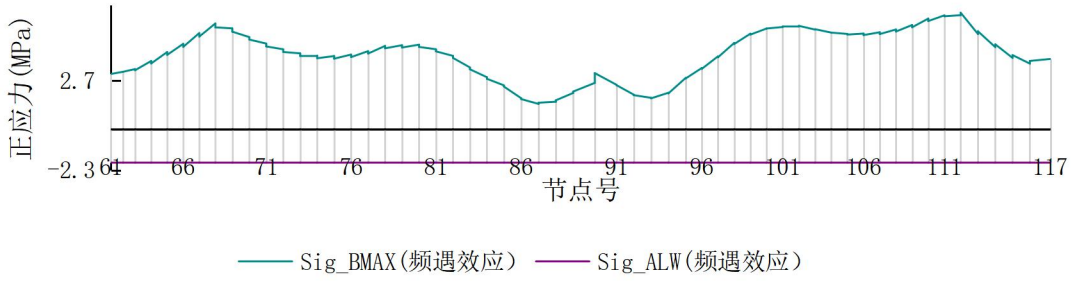
图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（频遇-顶）包络图（5）



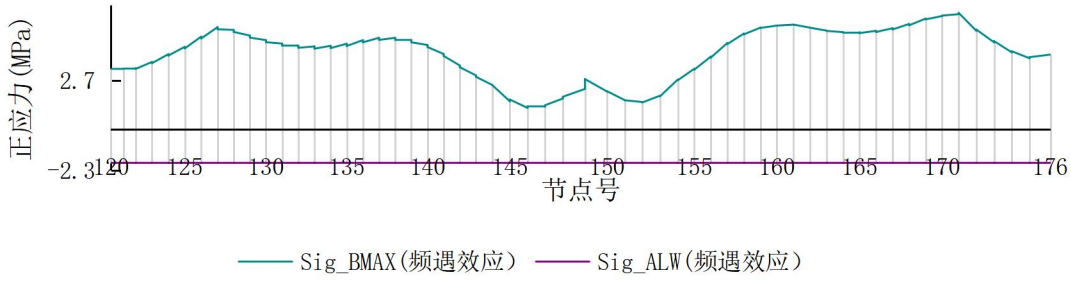
图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（频遇-顶）包络图（6）



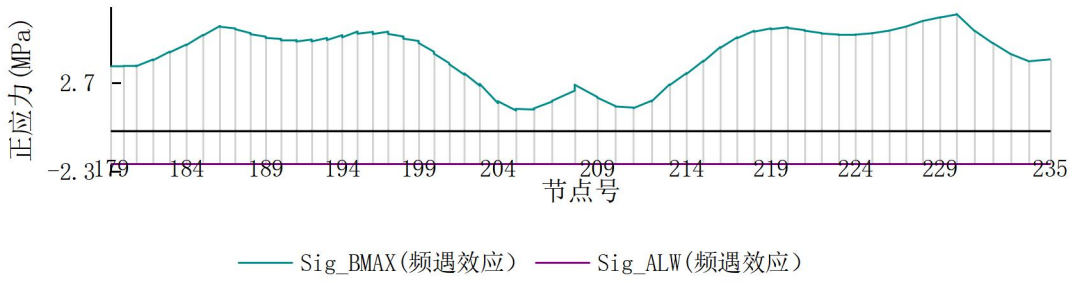
图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（频遇-底）包络图（1）



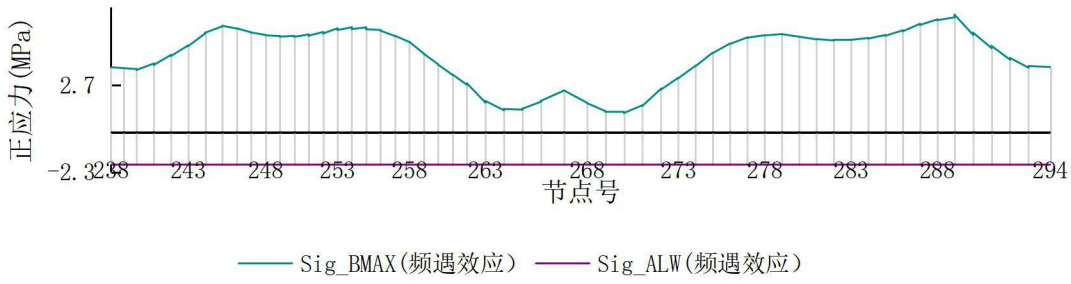
图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（频遇-底）包络图（2）



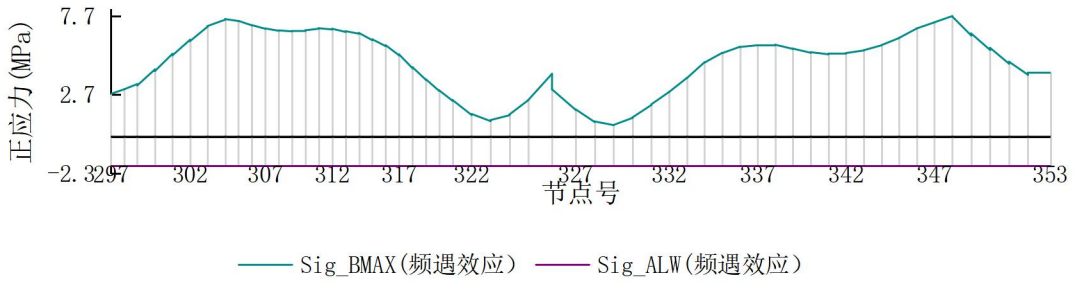
图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（频遇-底）包络图（3）



图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（频遇-底）包络图（4）



图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（频遇-底）包络图（5）



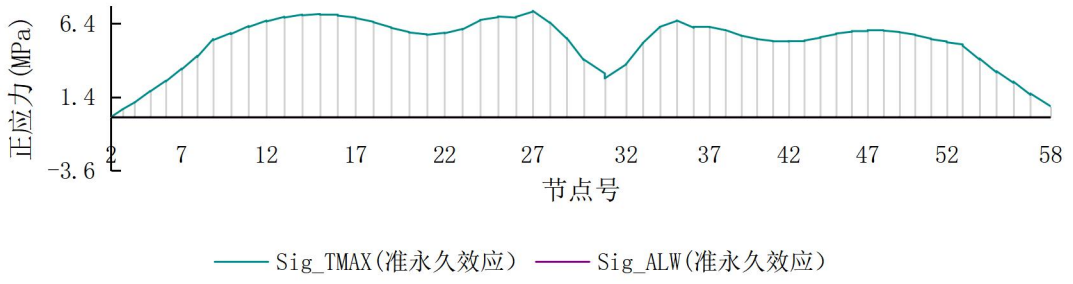
图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（频遇-底）包络图（6）

结论：

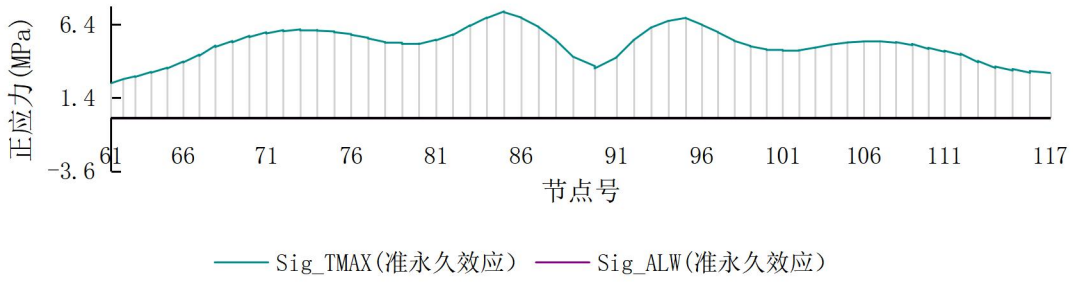
按照《桥规》第 6.3.1-3 条公式 $\sigma_{st}-\sigma_{pc}\leqslant 0.7f_{tk}$ 验算：

顶缘 $\sigma_{st}-\sigma_{pc}$=1.084 MPa(拉应力)$\leqslant 0.7f_{tk}$=1.855 MPa(拉应力)，满足规范要求；

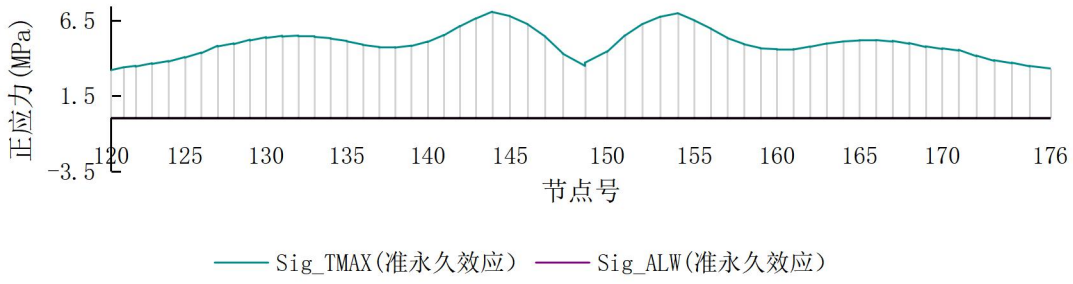
底缘 $\sigma_{st}-\sigma_{pc}$=0.742 MPa(压应力)$\leqslant 0.7f_{tk}$=1.855 MPa(拉应力)，满足规范要求；



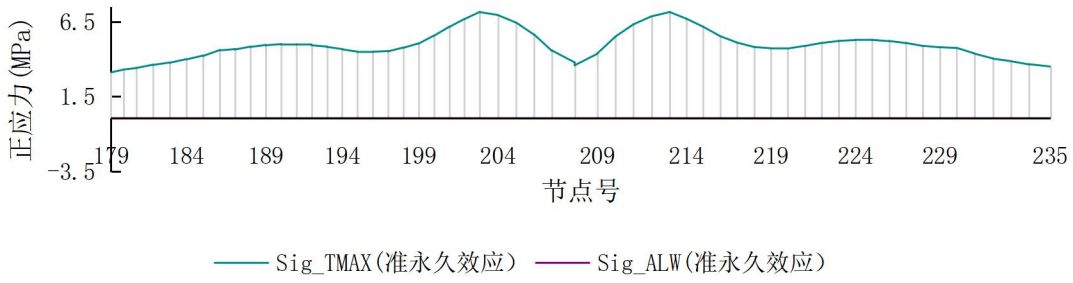
图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（准永久-顶）包络图（1）



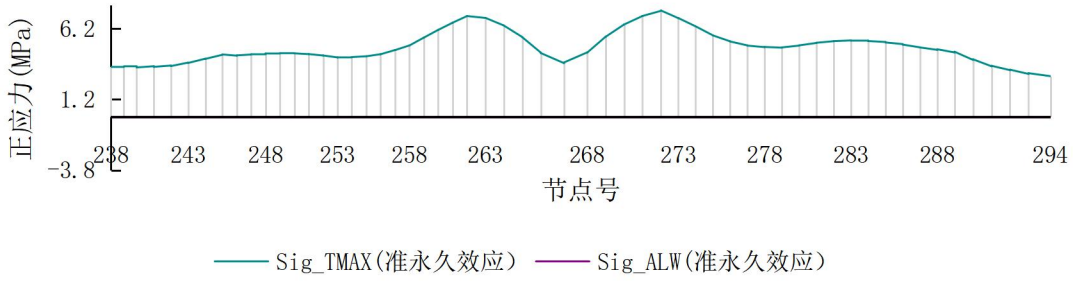
图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（准永久-顶）包络图（2）



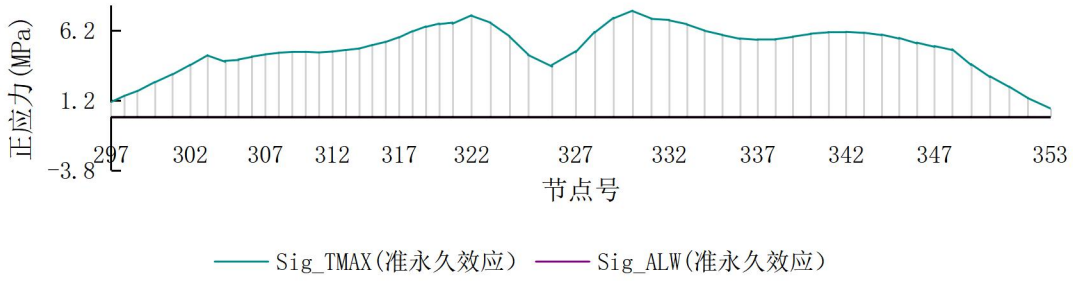
图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（准永久-顶）包络图（3）



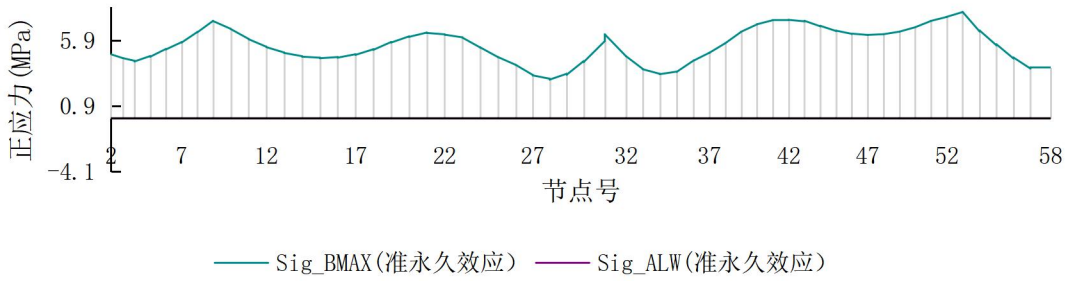
图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（准永久-顶）包络图（4）



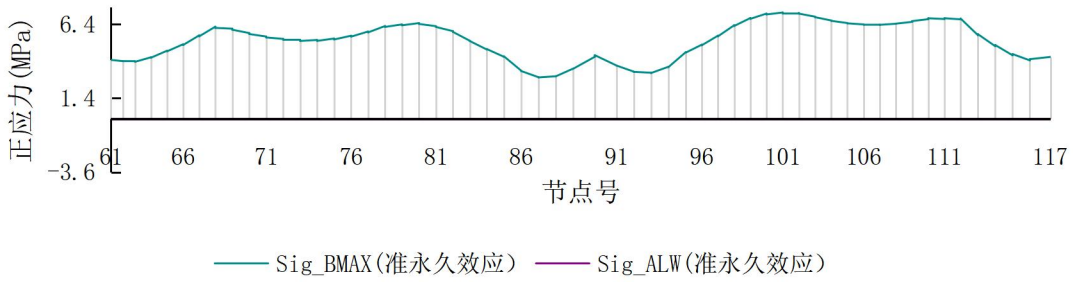
图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（准永久-顶）包络图（5）



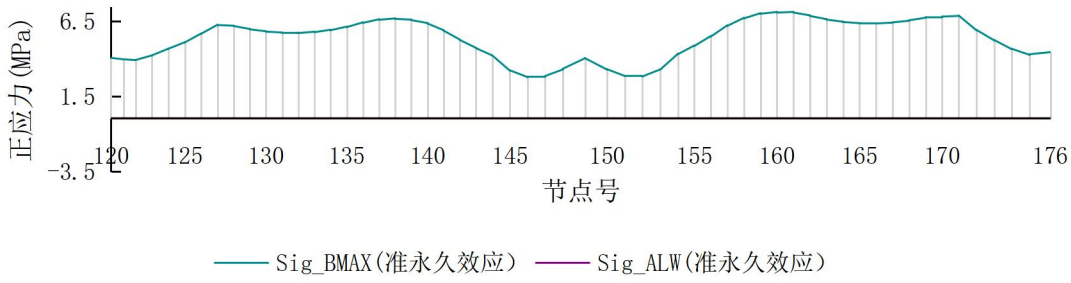
图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（准永久-顶）包络图（6）



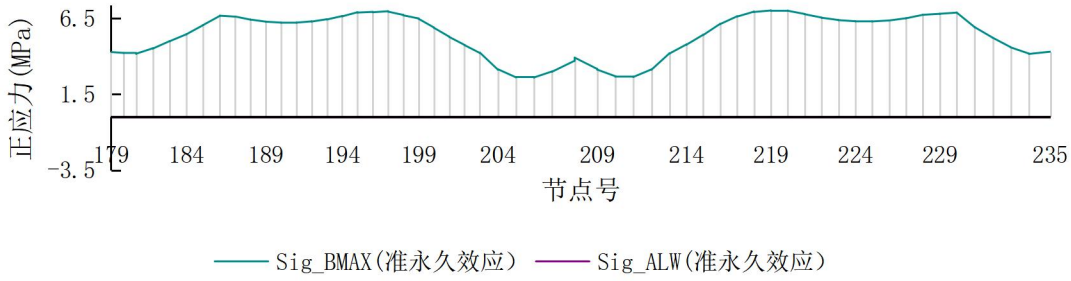
图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（准永久-底）包络图（1）



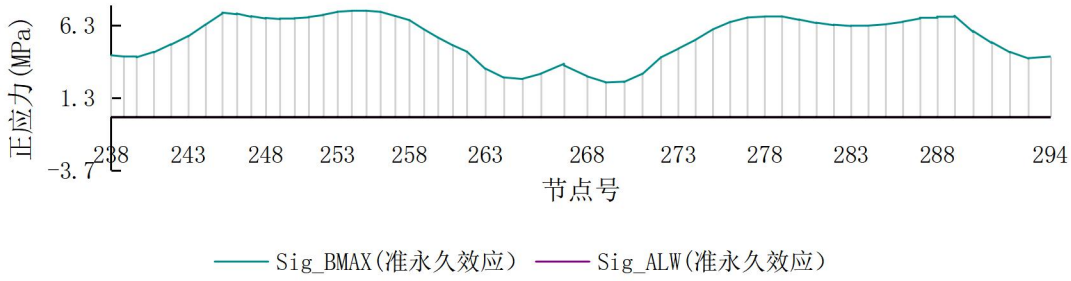
图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（准永久-底）包络图（2）



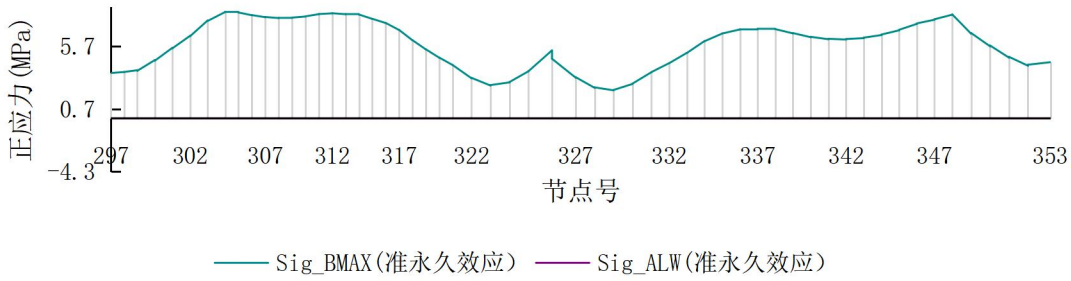
图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（准永久-底）包络图（3）



图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（准永久-底）包络图（4）



图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（准永久-底）包络图（5）



图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（准永久-底）包络图（6）

结论：

按照《桥规》第 6.3.1-4 条公式 $\sigma_{lt}-\sigma_{pc}\leq 0$验算：

顶缘 $\sigma_{lt}-\sigma_{pc}$=0.021 MPa(压应力)≤0.000 MPa(拉应力)，满足规范要求；

底缘 $\sigma_{lt}-\sigma_{pc}$=2.240 MPa(压应力)≤0.000 MPa(拉应力)，满足规范要求；

2.3.2.2. 顶底板斜截面抗裂验算

对于全预应力混凝土构件，应符合下列条件：

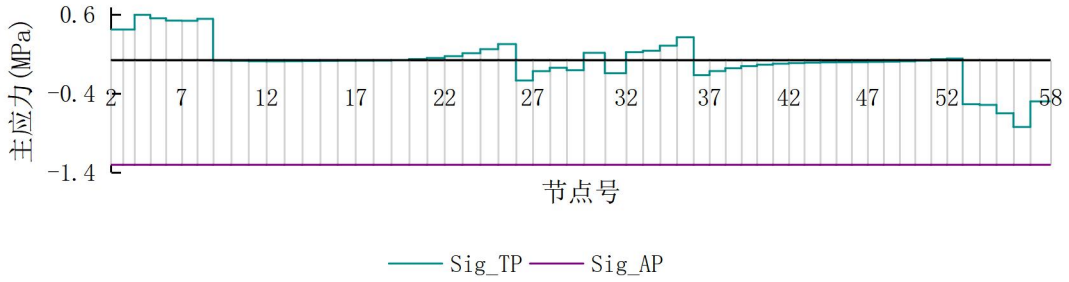
预制构件：σtp≤0.6ftk

现场浇筑（包括预制拼装）构件：σtp≤0.4ftk

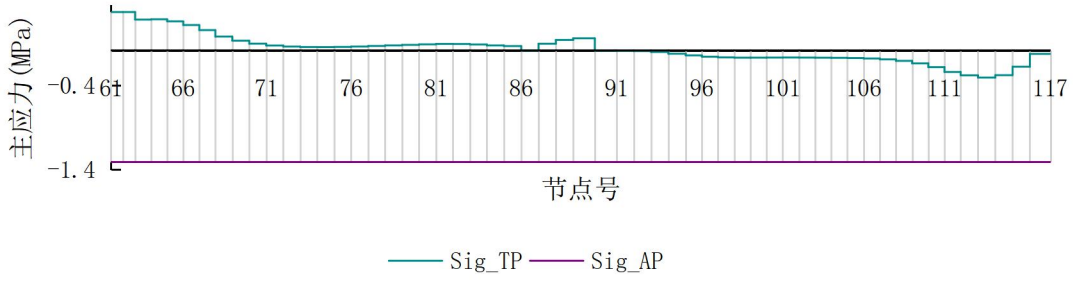
A 类和 B 类预应力混凝土构件，应符合下列条件：

预制构件：σtp≤0.7ftk

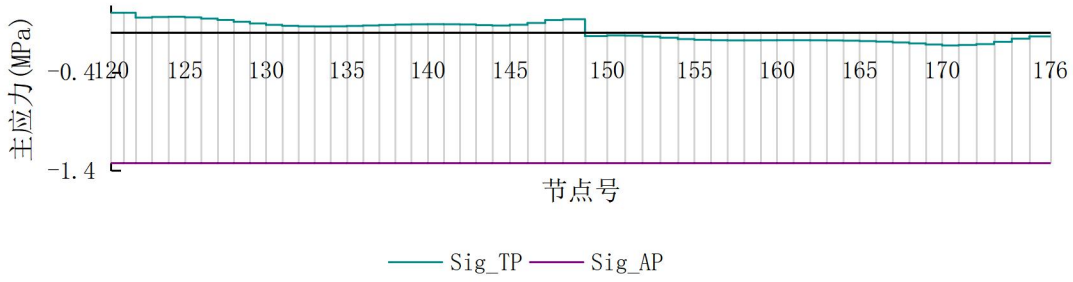
现场浇筑（包括预制拼装）构件：σtp≤0.5ftk



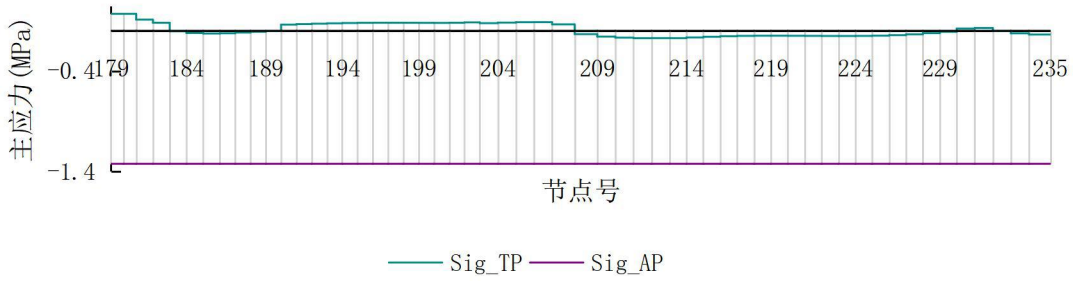
图表 1 使用阶段顶底板斜截面抗裂验算包络图（1）



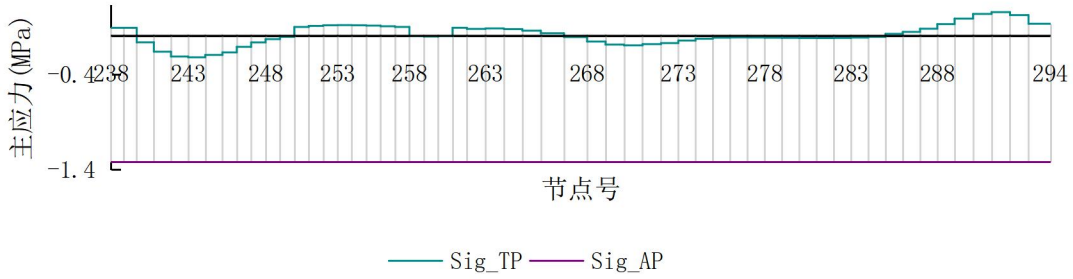
图表 1 使用阶段顶底板斜截面抗裂验算包络图（2）



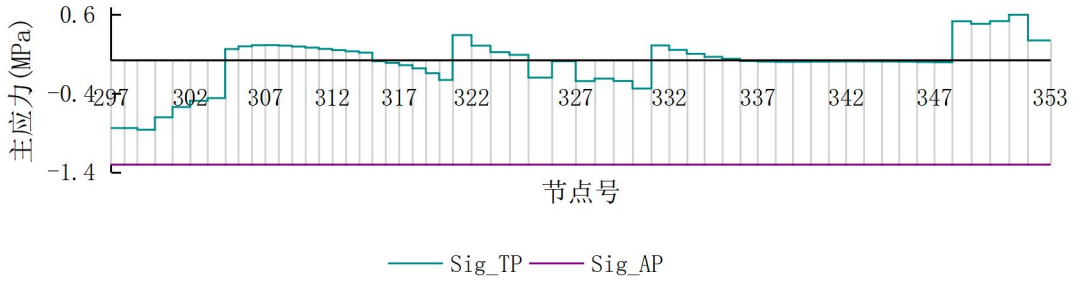
图表 1 使用阶段顶底板斜截面抗裂验算包络图（3）



图表 1 使用阶段顶底板斜截面抗裂验算包络图（4）



图表 1 使用阶段顶底板斜截面抗裂验算包络图（5）



图表 1 使用阶段顶底板斜截面抗裂验算包络图（6）

结论：

按照《桥规》第 6.3.1-8 条公式 $\sigma_{tp} \leq 0.5 f_{tk}$ 验算：$\sigma_{tp}=0.884$ MPa(拉应力)$\leq 0.5 f_{tk}=1.325$ MPa(拉应力)，满足规范要求；

2.3.2.3. 腹板斜截面抗裂验算

对于全预应力混凝土构件，应符合下列条件：

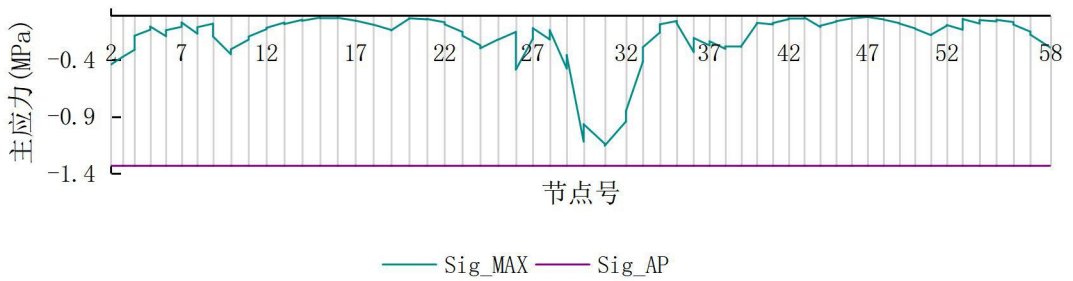
预制构件：$\sigma_{tp} \leq 0.6 f_{tk}$

现场浇筑（包括预制拼装）构件：$\sigma_{tp} \leq 0.4 f_{tk}$

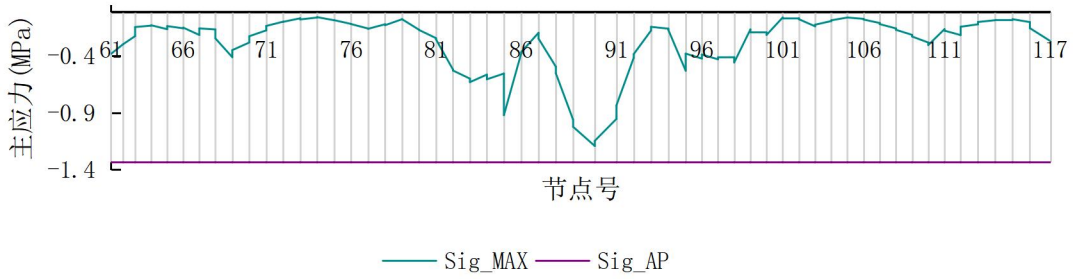
A 类和 B 类预应力混凝土构件，应符合下列条件：

预制构件：$\sigma_{tp} \leq 0.7 f_{tk}$

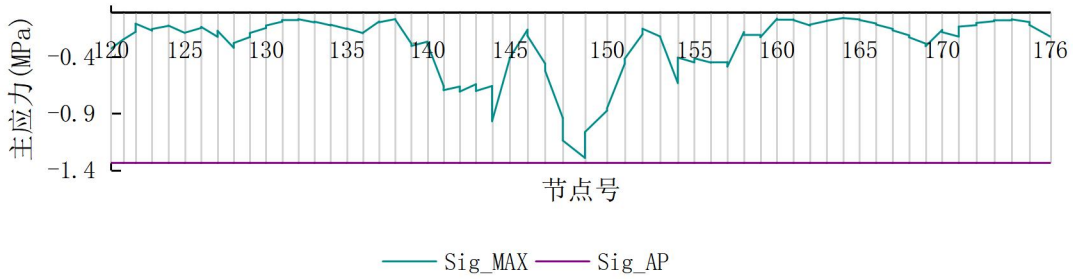
现场浇筑（包括预制拼装）构件：$\sigma_{tp} \leq 0.5 f_{tk}$



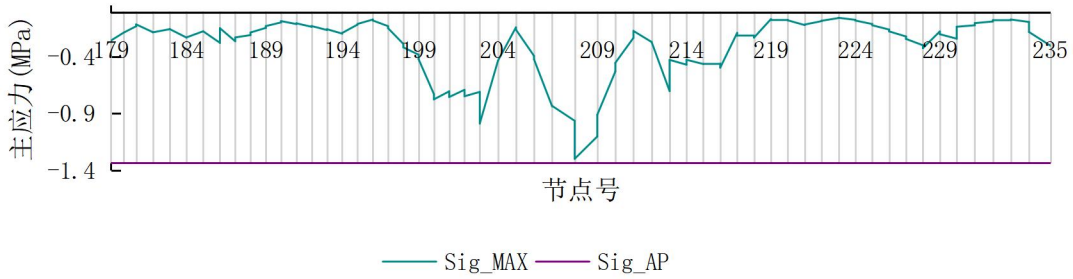
图表 1 使用阶段腹板斜截面抗裂验算包络图（1）



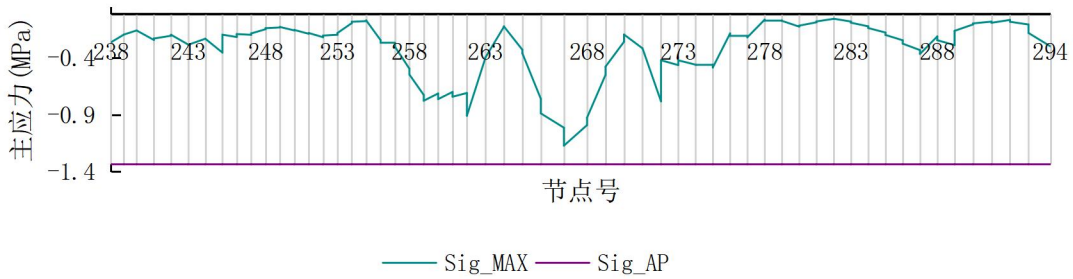
图表 1 使用阶段腹板斜截面抗裂验算包络图（2）



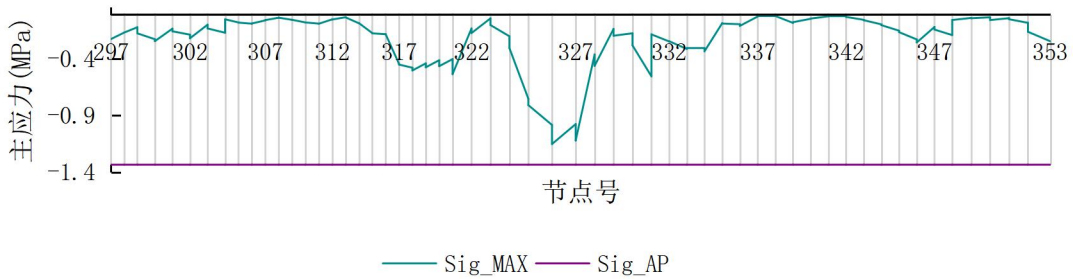
图表 1 使用阶段腹板斜截面抗裂验算包络图（3）



图表 1 使用阶段腹板斜截面抗裂验算包络图（4）



图表 1 使用阶段腹板斜截面抗裂验算包络图（5）



图表 1 使用阶段腹板斜截面抗裂验算包络图（6）

结论：

按照《桥规》第 6.3.1-8 条公式 $\sigma_{tp} \leqslant 0.5 f_{tk}$ 验算：σ_{tp}=1.288 MPa(拉应力)$\leqslant 0.5 f_{tk}$=1.325 MPa(拉应力)，满足规范要求；

2.3.2.4. 挠度验算及预拱度

按《桥规》第 6.5.3 条规定，钢筋混凝土和预应力混凝土受弯构件计算的长期挠度值，由汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合在梁式桥主梁产生的最大挠度不应超过计算跨径的 1/600，在梁式桥主梁悬臂端产生的最大挠度不应超过悬臂长度的 1/300.

结论：

按照《桥规》第 6.5.3 条验算：

1 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=0.098 ≤最大挠度允许值 fn=2.574，满足规范要求；

16 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=5.358 ≤最大挠度允许值 fn=53.981，满足规范要求；

45 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=4.275 ≤最大挠度允许值 fn=48.744，满足规范要求；

59 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=0.087 ≤最大挠度允许值 fn=2.221，满足规范要求；

61 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=0.197 ≤最大挠度允许值 fn=2.574，满足规范要求；

75 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=5.138 ≤最大挠度允许值 fn=51.724，满足规范要求；

104 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=4.411 ≤最大挠度允许值 fn=48.743，满足规范要求；

117 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=0.160 ≤最大挠度允许值 fn=2.222，满足规范要求；

120 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=0.124 ≤最大挠度允许值 fn=2.573，满足规范要求；

134 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=4.215 ≤最大挠度允许值 fn=49.602，满足规范要求；

163 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=4.032 ≤最大挠度允许值 fn=48.744，满足规范要求；

177 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=0.105 ≤最大挠度允许值 fn=2.221，满足规范要求；

178 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=0.119 ≤最大挠度允许值 fn=2.574，满足规范要求；

193 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=3.716 ≤最大挠度允许值 fn=47.481，满足规范要求；

222 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=4.014 ≤

最大挠度允许值 fn=48.743，满足规范要求；

235 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=0.101 ≤ 最大挠度允许值 fn=2.221，满足规范要求；

238 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=0.210 ≤ 最大挠度允许值 fn=2.573，满足规范要求；

252 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=3.575 ≤ 最大挠度允许值 fn=45.360，满足规范要求；

281 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=4.376 ≤ 最大挠度允许值 fn=48.743，满足规范要求；

294 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=0.154 ≤ 最大挠度允许值 fn=2.222，满足规范要求；

296 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=0.091 ≤ 最大挠度允许值 fn=2.573，满足规范要求；

311 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=3.075 ≤ 最大挠度允许值 fn=43.102，满足规范要求；

340 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=4.243 ≤ 最大挠度允许值 fn=48.743，满足规范要求；

354 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=0.077 ≤ 最大挠度允许值 fn=2.222，满足规范要求；

按《桥规》第 6.5.5 条规定，设置预拱度值。

[CDN_默认变量_RC 挠度验算]

表格 1 挠度验算及预拱度表格

梁-孔	构件类型	梁类型	跨径(m)	节点	Ms(KN.m)	Mcr(KN.m)	fa(mm)	fd(mm)	fn(mm)	挠度验算结果	预拱值 C(mm)
1-1	PSC-A	悬臂端	0.772	1	0.000	0.000	1.967	0.098	2.574	OK	2.336
1-2	PSC-A	跨径内	32.389	16	0.000	0.000	-35.304	5.358	53.981	OK	0.000
1-3	PSC-A	跨径内	29.246	45	0.000	0.000	-23.092	4.276	48.744	OK	0.000
1-4	PSC-A	悬臂端	0.666	59	0.000	0.000	1.070	0.087	2.221	OK	1.904
2-1	PSC-A	悬臂端	0.772	61	0.000	0.000	-1.014	0.197	2.574	OK	0.766
2-2	PSC-A	跨径内	31.034	75	0.000	0.000	-27.663	5.138	51.724	OK	0.000
2-3	PSC-	跨径	29.2	104	0.00	0.00	-20.	4.41	48.7	OK	0.00

梁-孔	构件类型	梁类型	跨径(m)	节点	Ms(KN.m)	Mcr(KN.m)	fa(mm)	fd(mm)	fn(mm)	挠度验算结果	预拱值C(mm)
	A	内	46		0	0	898	1	43		0
2-4	PSC-A	悬臂端	0.666	117	0.000	0.000	-0.683	0.160	2.222	OK	0.714
3-1	PSC-A	悬臂端	0.772	120	0.000	0.000	-0.584	0.124	2.573	OK	0.565
3-2	PSC-A	跨径内	29.761	134	0.000	0.000	-22.270	4.215	49.602	OK	0.000
3-3	PSC-A	跨径内	29.246	163	0.000	0.000	-20.083	4.032	48.744	OK	0.000
3-4	PSC-A	悬臂端	0.666	177	0.000	0.000	0.838	0.105	2.221	OK	1.623
4-1	PSC-A	悬臂端	0.772	178	0.000	0.000	0.870	0.119	2.574	OK	1.772
4-2	PSC-A	跨径内	28.489	193	0.000	0.000	-18.701	3.716	47.481	OK	0.000
4-3	PSC-A	跨径内	29.246	222	0.000	0.000	-20.614	4.014	48.743	OK	0.000
4-4	PSC-A	悬臂端	0.666	235	0.000	0.000	-0.479	0.101	2.221	OK	0.491
5-1	PSC-A	悬臂端	0.772	238	0.000	0.000	-0.816	0.209	2.573	OK	0.900
5-2	PSC-A	跨径内	27.216	252	0.000	0.000	-16.651	3.575	45.360	OK	0.000
5-3	PSC-A	跨径内	29.246	281	0.000	0.000	-22.548	4.376	48.743	OK	0.000
5-4	PSC-A	悬臂端	0.666	294	0.000	0.000	-0.749	0.154	2.222	OK	0.567
6-1	PSC-A	悬臂端	0.772	296	0.000	0.000	0.979	0.091	2.573	OK	2.013
6-2	PSC-A	跨径内	25.861	311	0.000	0.000	-15.651	3.075	43.102	OK	0.000
6-3	PSC-A	跨径内	29.246	340	0.000	0.000	-25.986	4.243	48.743	OK	0.000
6-4	PSC-A	悬臂端	0.666	354	0.000	0.000	1.277	0.077	2.222	OK	2.166

2.3.3. 持久状况应力验算

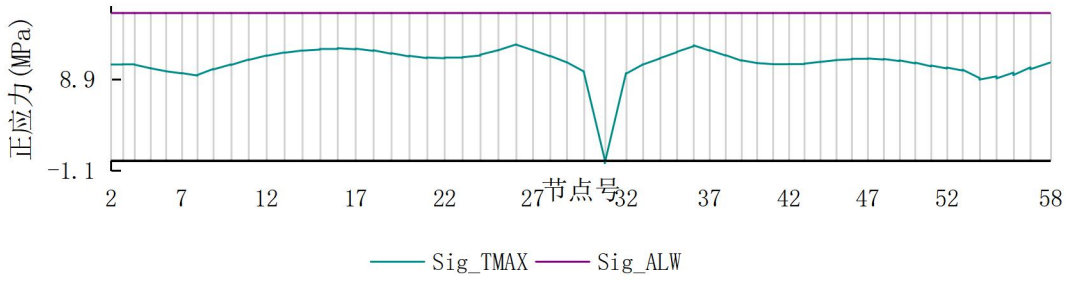
2.3.3.1. 正截面压应力验算

按《桥规》第 7.1.5-1 条公式，荷载取其标准值，汽车荷载考虑冲击系数。

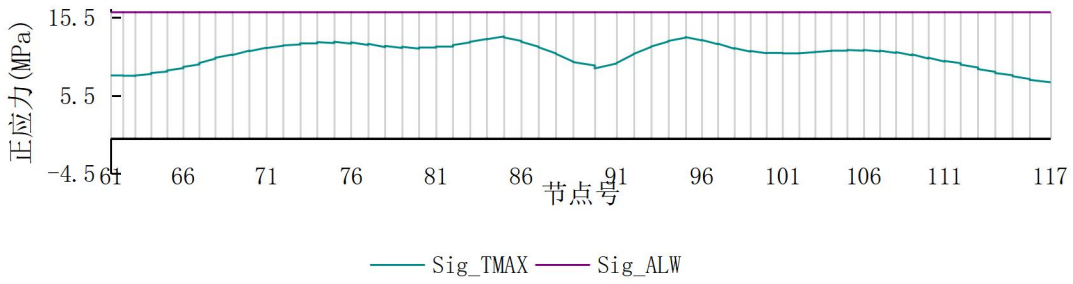
受压区混凝土的最大压应力：

未开裂构件：$\sigma_{kc}+\sigma_{pc}\leqslant 0.5f_{ck}$

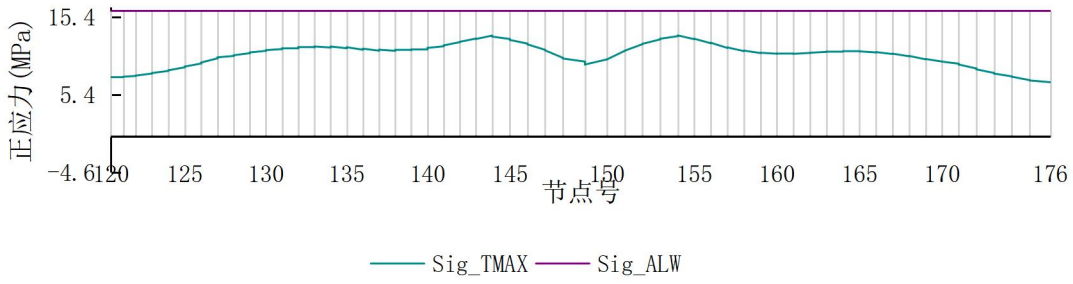
允许开裂构件：$\sigma_{cc}\leqslant 0.5f_{ck}$



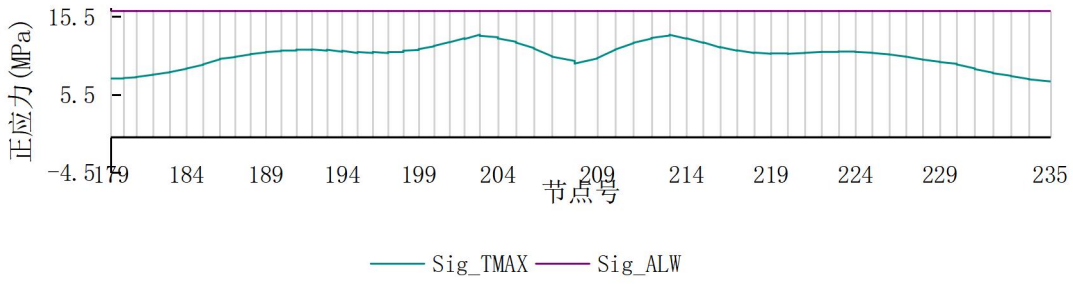
图表 1 使用阶段正截面压应力验算（顶）包络图（1）



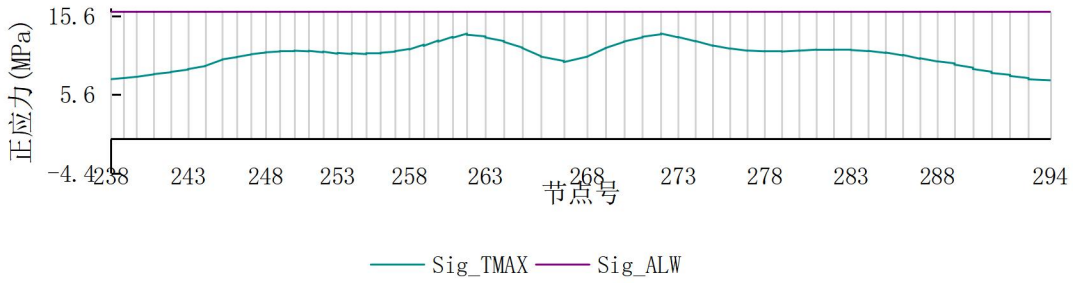
图表 1 使用阶段正截面压应力验算（顶）包络图（2）



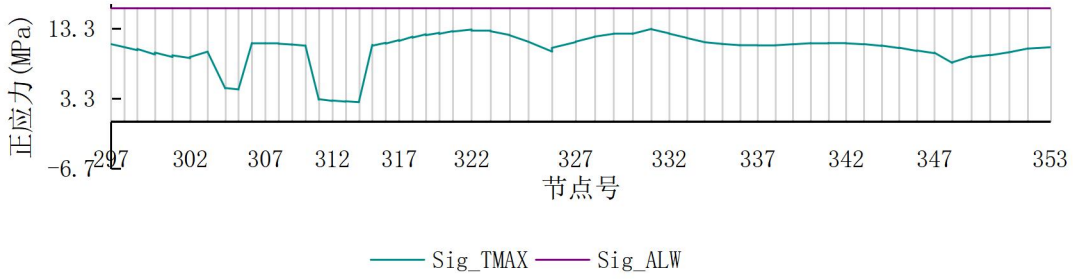
图表 1 使用阶段正截面压应力验算（顶）包络图（3）



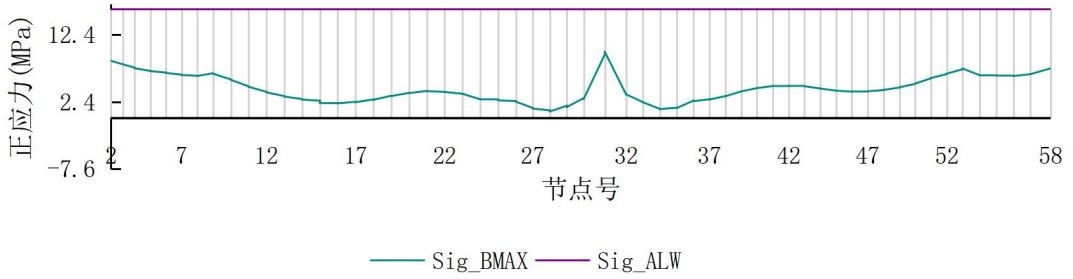
图表 1 使用阶段正截面压应力验算（顶）包络图（4）



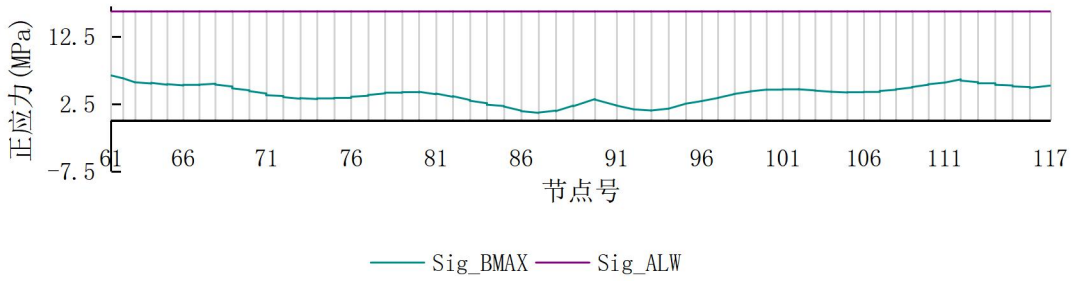
图表 1 使用阶段正截面压应力验算（顶）包络图（5）



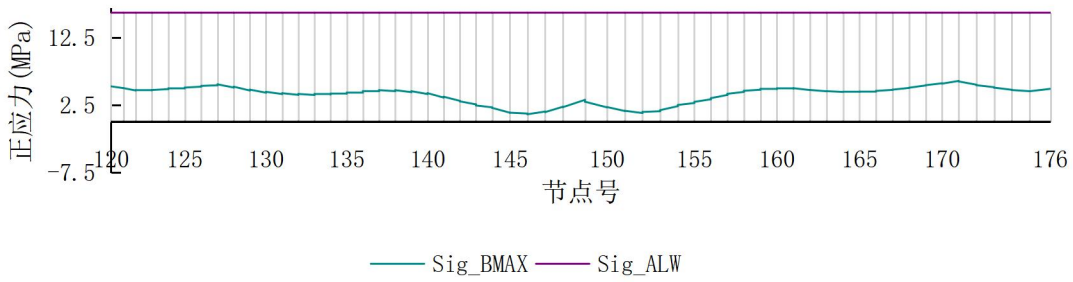
图表 1 使用阶段正截面压应力验算（顶）包络图（6）



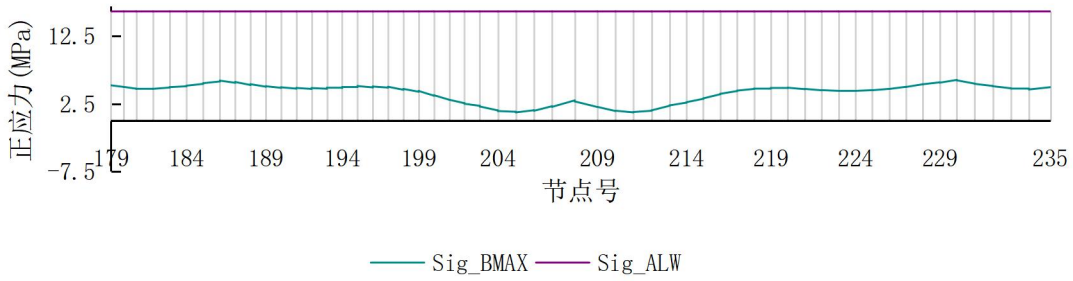
图表 1 使用阶段正截面压应力验算（底）包络图（1）



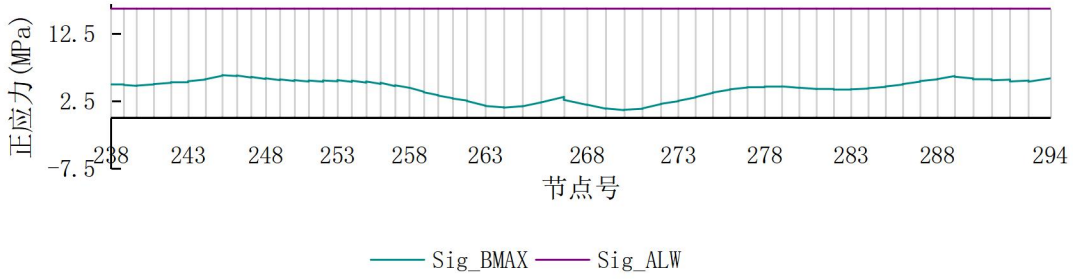
图表 1 使用阶段正截面压应力验算（底）包络图（2）



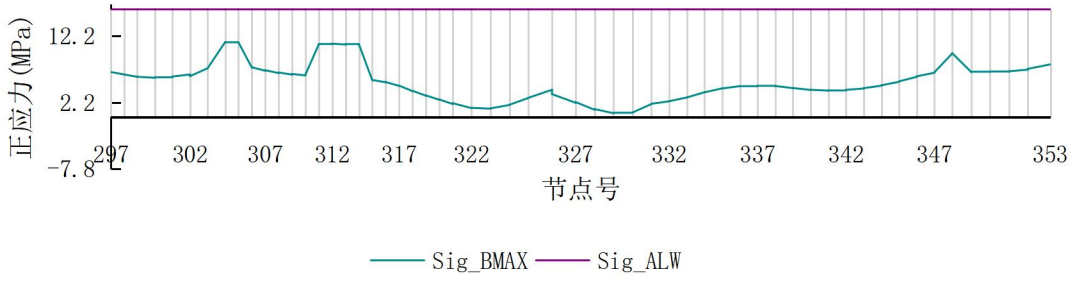
图表 1 使用阶段正截面压应力验算（底）包络图（3）



图表 1 使用阶段正截面压应力验算（底）包络图（4）



图表 1 使用阶段正截面压应力验算（底）包络图（5）



图表 1 使用阶段正截面压应力验算（底）包络图（6）

结论：

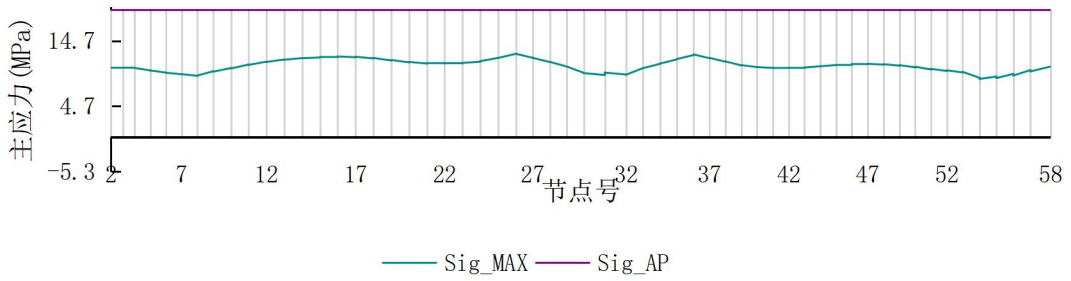
按照《桥规》第 7.1.5-1 条公式 $\sigma_{kc}+\sigma_{pc}\leqslant 0.5f_{ck}$ 验算：

顶缘 $\sigma_{kc}+\sigma_{pc}=13.432$ MPa $\leqslant 0.5f_{ck}=16.200$ MPa，满足规范要求；

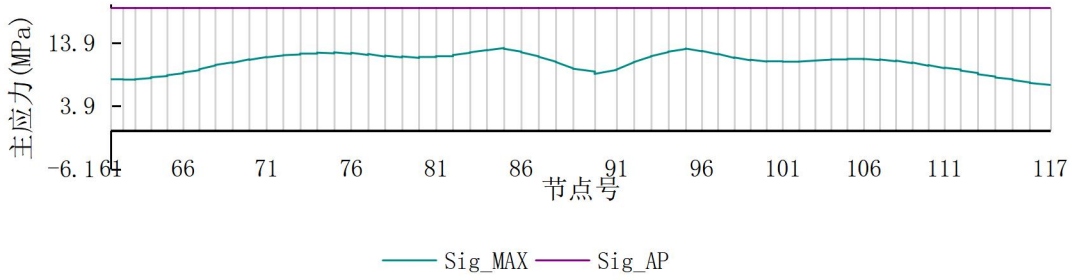
底缘 $\sigma_{kc}+\sigma_{pc}=11.279$ MPa $\leqslant 0.5f_{ck}=16.200$ MPa，满足规范要求；

2.3.3.2. 斜截面主压应力验算

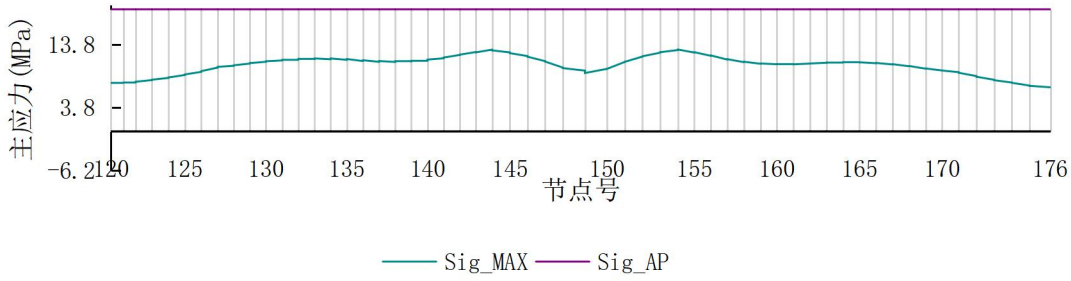
按《桥规》第 7.1.6 条公式，混凝土的主压应力应符合下式规定：$\sigma_{cp}\leqslant 0.6f_{ck}$；



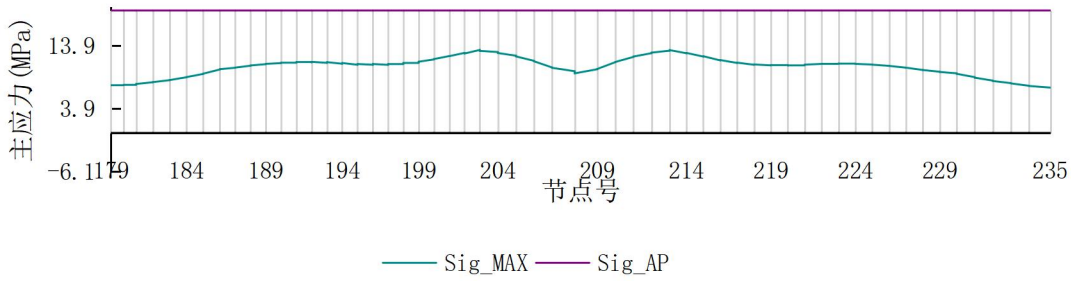
图表 1 使用阶段斜截面主压应力包络图（1）



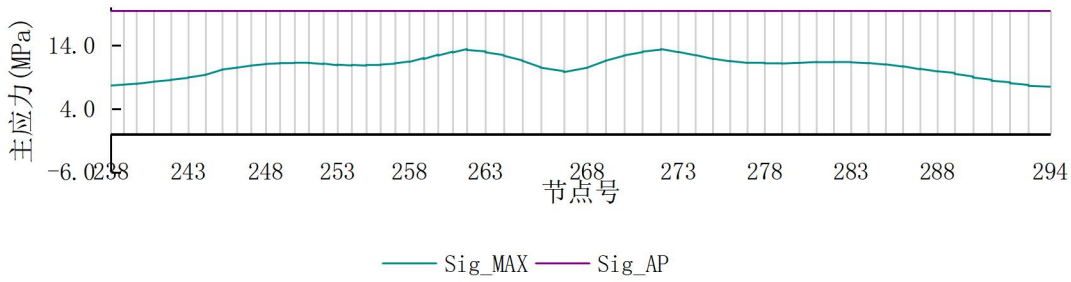
图表 1 使用阶段斜截面主压应力包络图（2）



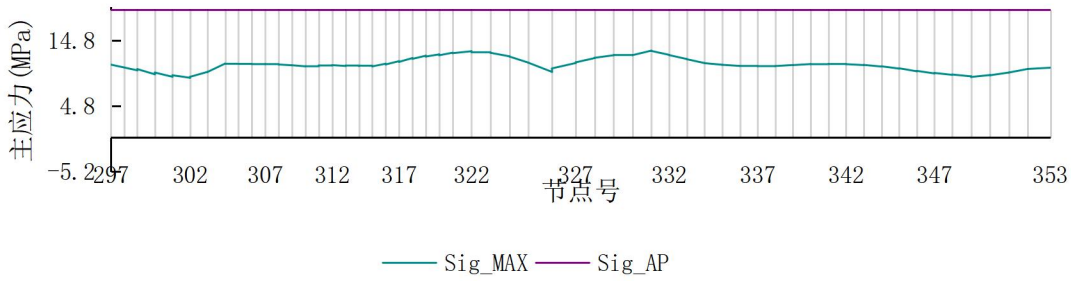
图表 1 使用阶段斜截面主压应力包络图（3）



图表 1 使用阶段斜截面主压应力包络图（4）



图表 1 使用阶段斜截面主压应力包络图（5）



图表 1 使用阶段斜截面主压应力包络图（6）

结论：

按照《桥规》第 7.1.6-1 条公式验算：σ_{cp}=13.432 MPa≤0.60f_{ck}=19.440 MPa，满足规范要求；

2.3.3.3. 预应力钢筋拉应力验算

按《桥规》7.1.5-2 条公式、第 7.1.5-3 条公式、第 7.1.5-4 条公式，荷载取其标准值，汽车荷载考虑冲击系数。

受拉区预应力钢筋的最大拉应力：

1）对体内预应力钢绞线、钢丝

未开裂构件：$\sigma_{pe}+\sigma_{p}\leq 0.65f_{pk}$

允许开裂构件：$\sigma_{po}+\sigma_{p}\leq 0.65f_{pk}$

2）对体外预应力钢绞线：

$\sigma_{pe,ex}\leq 0.60f_{pk}$

3）对预应力螺纹钢筋

未开裂构件：$\sigma_{pe}+\sigma_{p}\leq 0.75f_{pk}$

允许开裂构件：$\sigma_{po}+\sigma_{p}\leq 0.75f_{pk}$

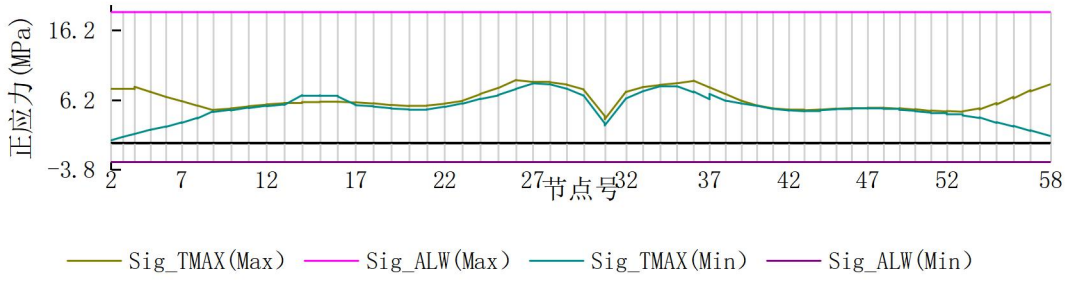
结论：

按照《桥规》第 7.1.5-2 条公式 $\sigma_{pe}+\sigma_{p}\leq 0.65f_{pk}$,钢绞线 1860 验算：$\sigma_{pe}+\sigma_{p}$=1189.122 MPa ≤$f_{pk}$=1209.000 MPa，满足规范要求；

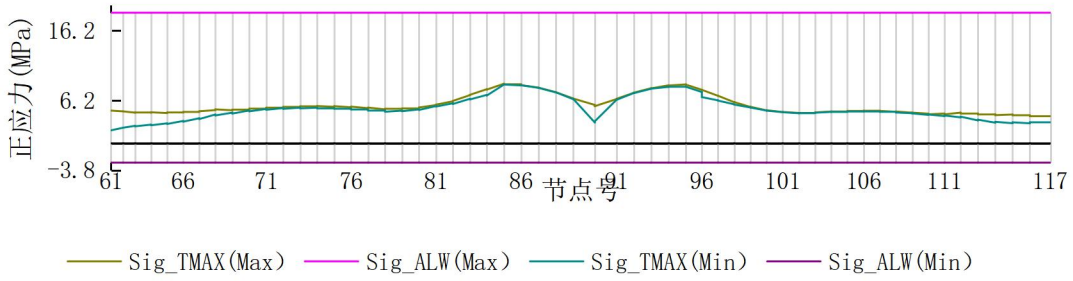
2.3.4. 短暂状况应力验算

2.3.4.1. 法向应力验算

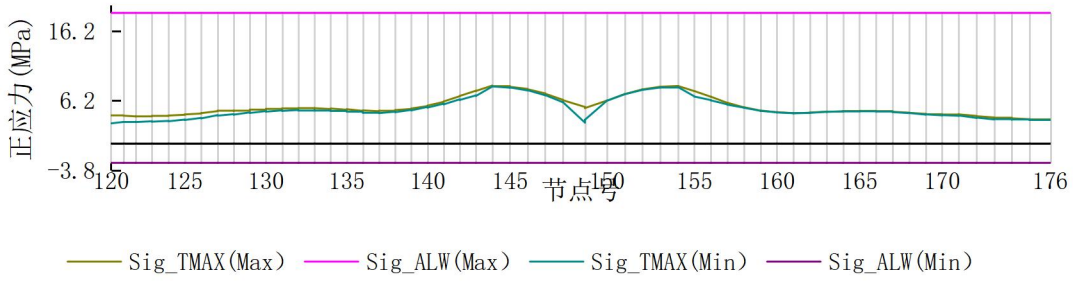
按《桥规》第 7.2.8 条，截面边缘混凝土的法向应力应符合下式规定：$\sigma^{t}_{cc}\leq 0.7f_{ck}$’



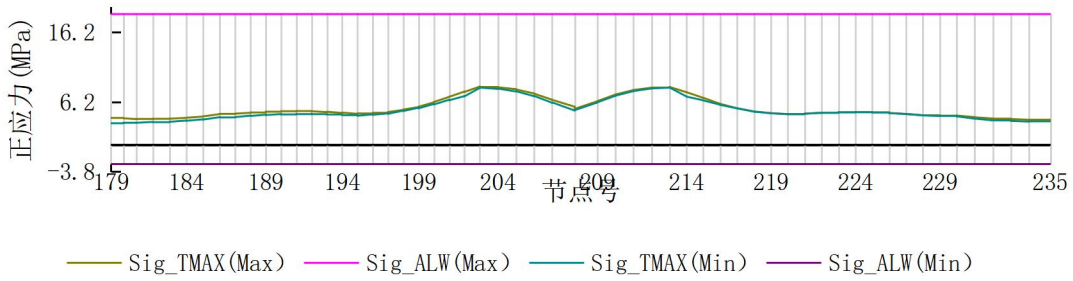
图表 1 施工阶段法向应力验算（顶）包络图（1）



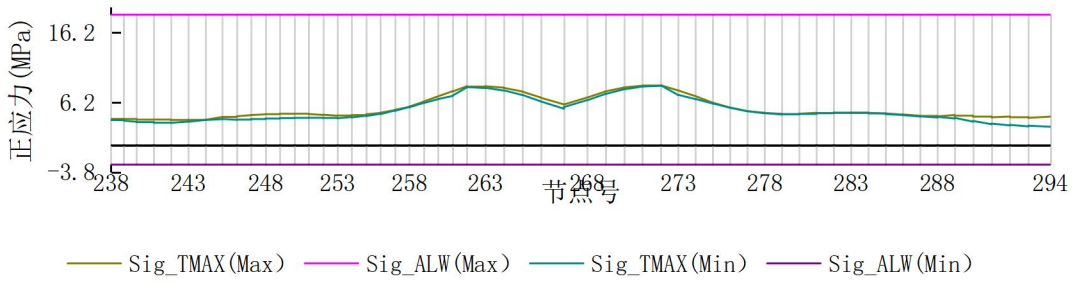
图表 1 施工阶段法向应力验算（顶）包络图（2）



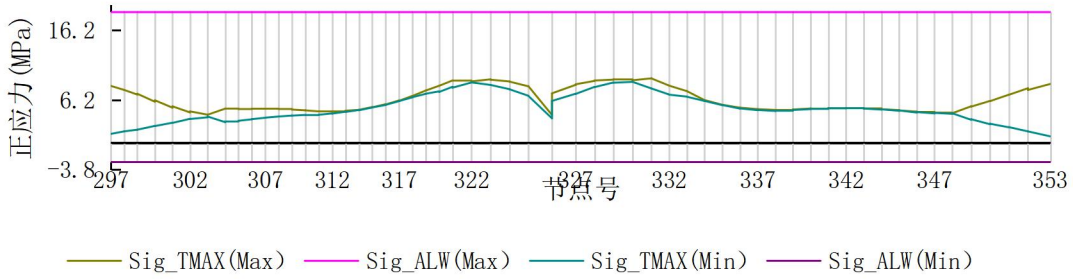
图表 1 施工阶段法向应力验算（顶）包络图（3）



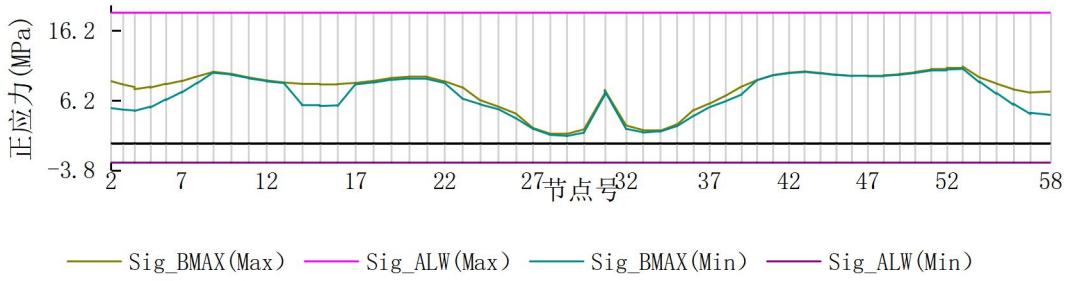
图表 1 施工阶段法向应力验算（顶）包络图（4）



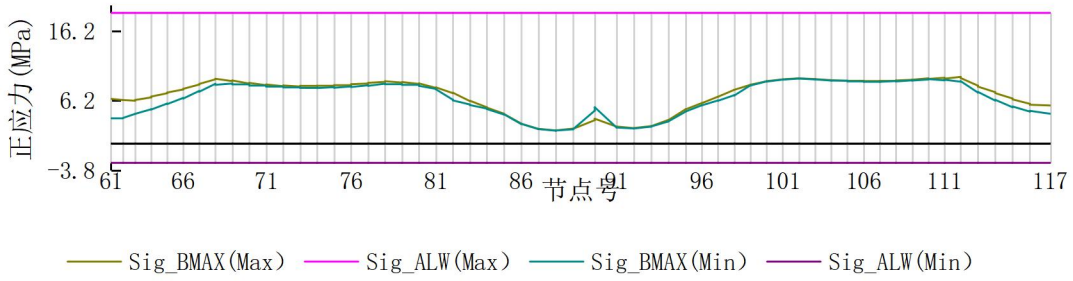
图表 1 施工阶段法向应力验算（顶）包络图（5）



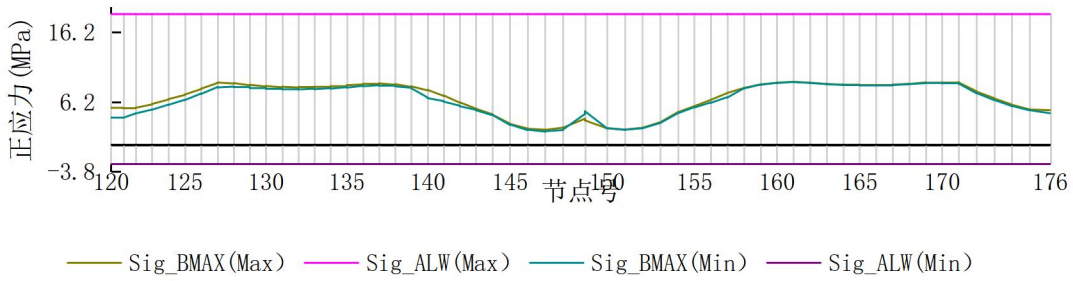
图表 1 施工阶段法向应力验算（顶）包络图（6）



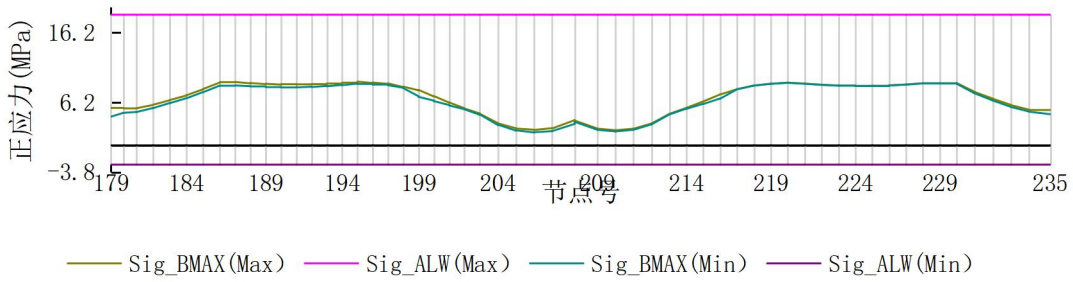
图表 1 施工阶段法向应力验算（底）包络图（1）



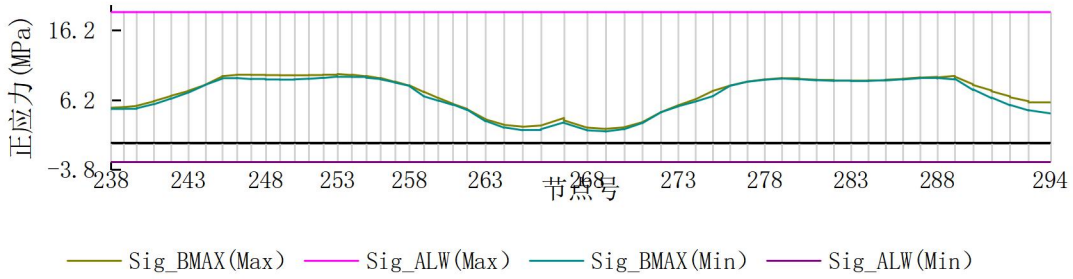
图表 1 施工阶段法向应力验算（底）包络图（2）



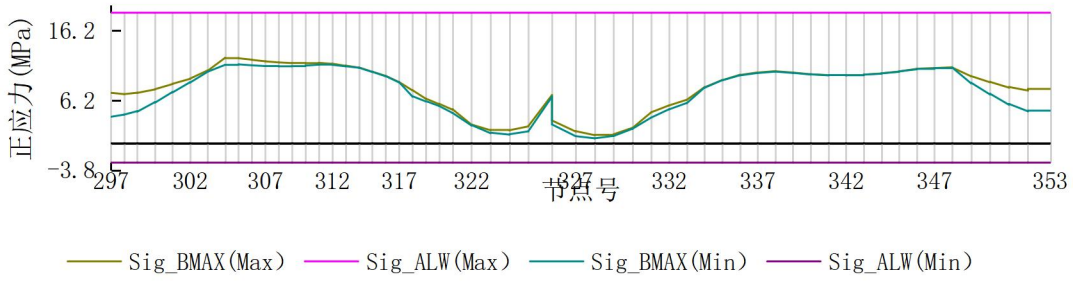
图表 1 施工阶段法向应力验算（底）包络图（3）



图表 1 施工阶段法向应力验算（底）包络图（4）



图表 1 施工阶段法向应力验算（底）包络图（5）



图表 1 施工阶段法向应力验算（底）包络图（6）

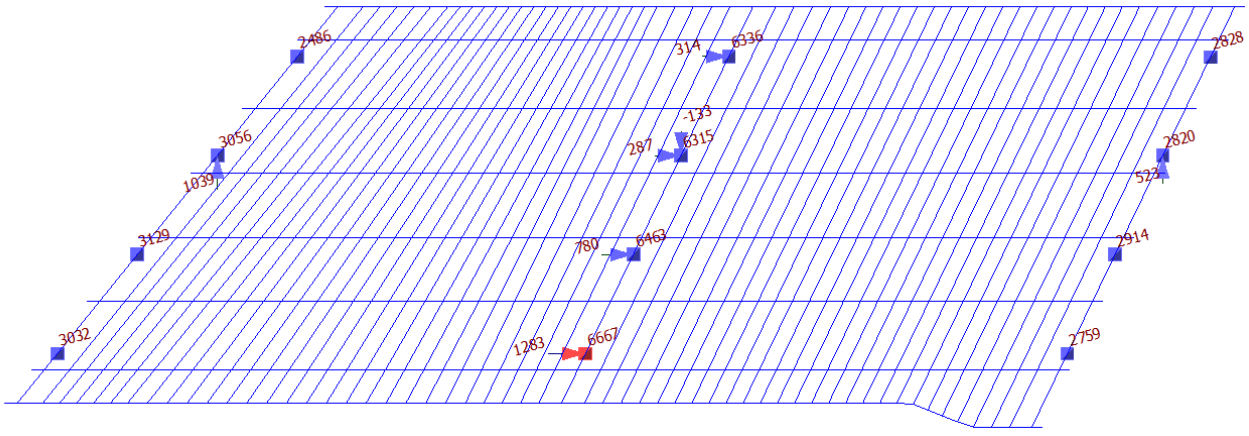
结论：

按照《桥规》第 7.2.8 条公式 $\sigma_{tcc} \leq 0.7 f_{ck}'$ 验算：

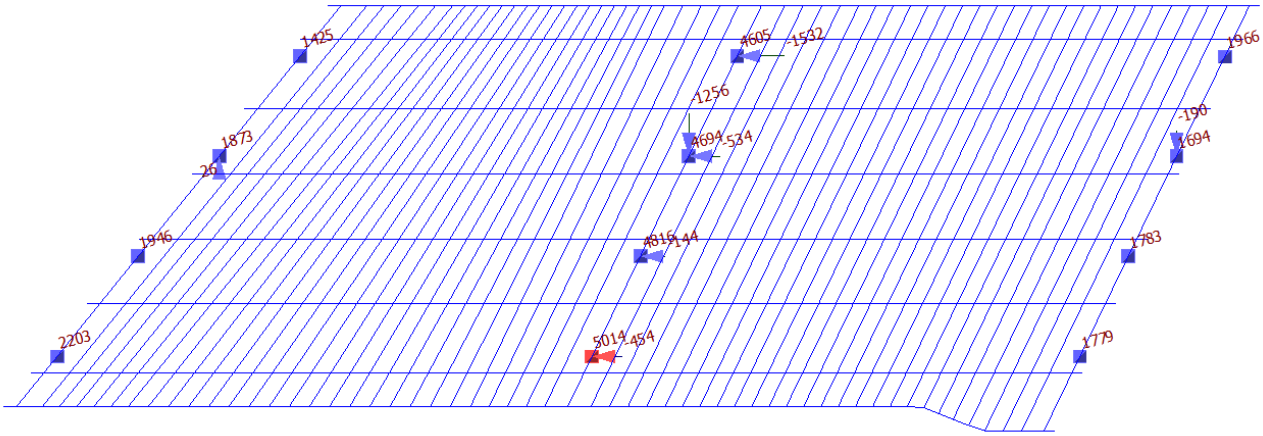
顶缘 $\sigma_{tcc}=9.254$ MPa $\leq 0.7 f_{ck}'=18.760$ MPa，满足规范要求；

底缘 $\sigma_{tcc}=12.287$ MPa $\leq 0.7 f_{ck}'=18.760$ MPa，满足规范要求；

2.3.5. 支反力计算



标准组合下最大支承反力（KN）

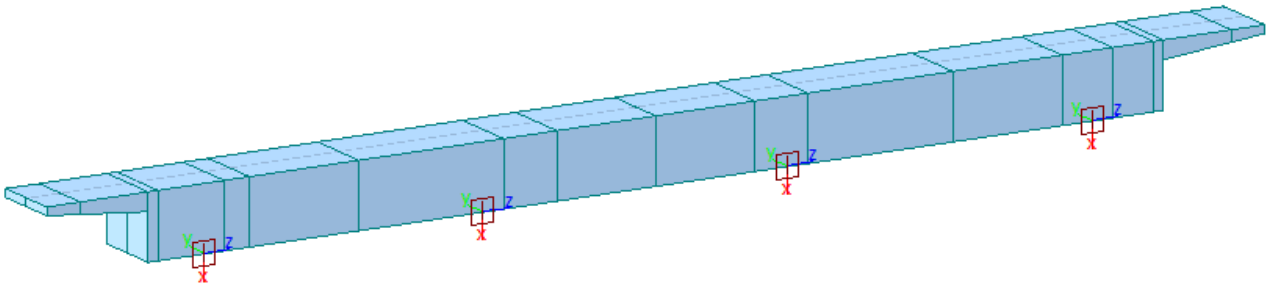


标准组合下最小支承反力（KN）

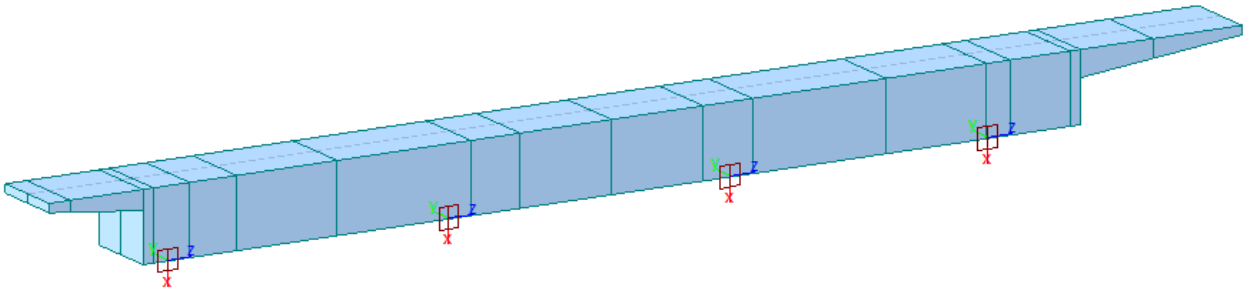
3．凝山路桥梁横梁计算

3.1. 计算概述

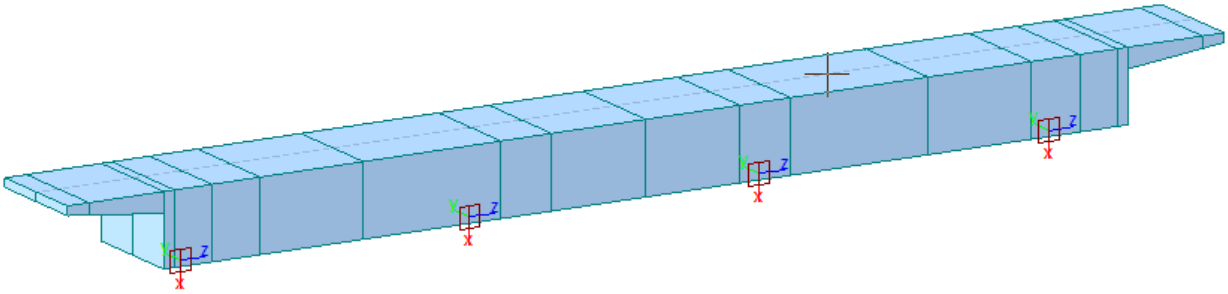
采用 Midas Civil 有限元分析软件，对端横梁、中横梁进行计算。验算时，横梁按普通钢筋混凝土梁考虑。



A0 端横梁模型示意图



A2 端横梁模型示意图



中横梁模型示意图

3.2. 荷载作用

上部恒载：上部箱梁结构恒载传递给横梁的作用由整体静力计算模型支座反力提取，以集中力的形式分配给每道腹板：A0 端横梁 F=（1914+1914+2104+2375）/6=1385KN

A2 端横梁 F=（2147+1848+1809+2166）/6=1329KN

P1 中横梁 F=（5016+5014+5129+5366）/6=3421KN

汽车荷载：在整体模型中提取单车道汽车活载影响下对应的支反力之和，再除以 2（即 2 个车轮）。因此，车轮荷载为 A0 端横梁 F=（345.2+193+40.1+5.4）/2=292KN，A2 端横梁 F=

（13.8+159.1+325.2+63.8）/2=281KN，P1 中横梁 F=（413+253.3+37.2+128.4）/2=416KN（其中，冲击系数取 1.3）。

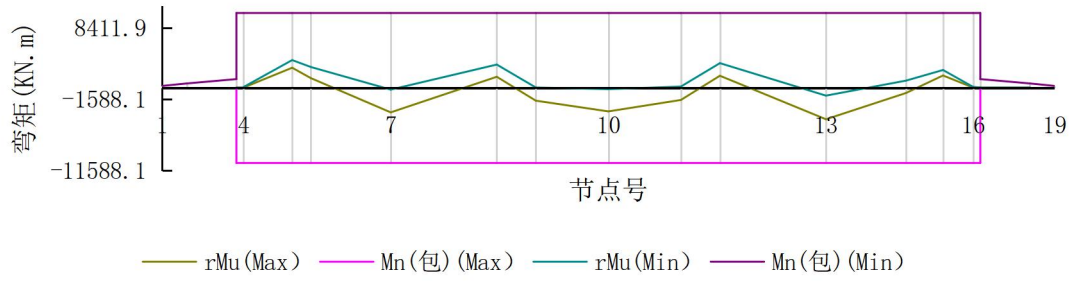
整体升降温：考虑+25/-15℃；横梁梯度温差按《城市桥梁设计规范》（CJJ 11-2011）取值。

根据《城市桥梁设计规范》（CJJ 11-2011）及《公路桥涵设计通用规范》（JTG D60-2015）进行荷载组合。

3.3. 验算结果

3.3.1. A0 端横梁验算结果

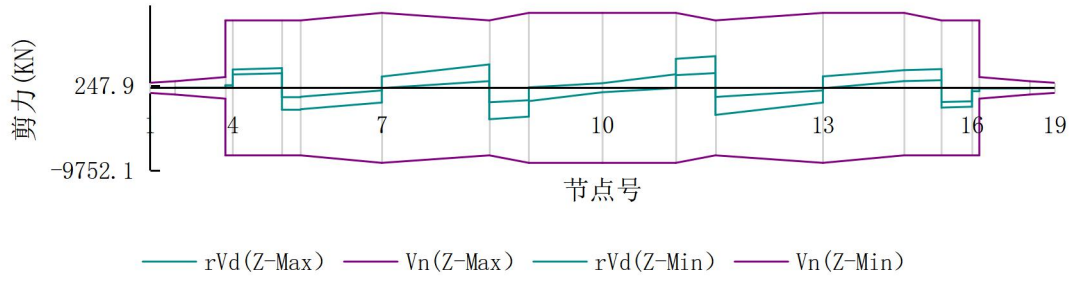
3.3.1.1. 正截面抗弯验算



持久状况正截面抗弯验算包络图

按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）第 5.2.1~5.2.6 条验算，结构重要性系数×作用效应的组合设计最大值均小于等于构件承载力设计值，满足规范要求。

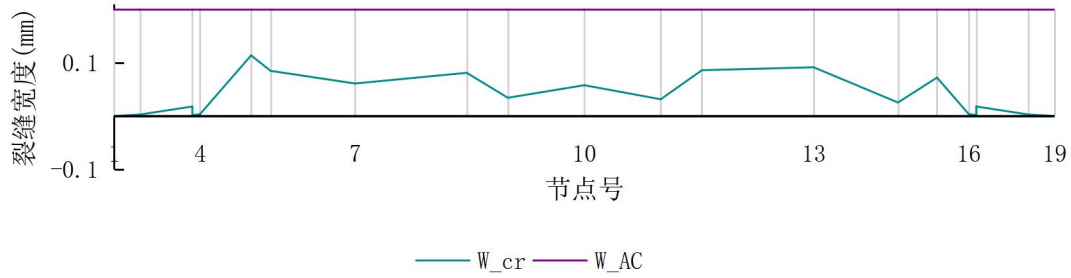
3.3.1.2. 斜截面抗剪验算



持久状况斜截面抗剪验算（Z 方向）包络图

按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）第 5.2.8~5.2.12 条验算，结构重要性系数×作用效应的组合设计最大值均小于等于构件承载力设计值，满足规范要求。

3.3.1.3. 裂缝宽度验算

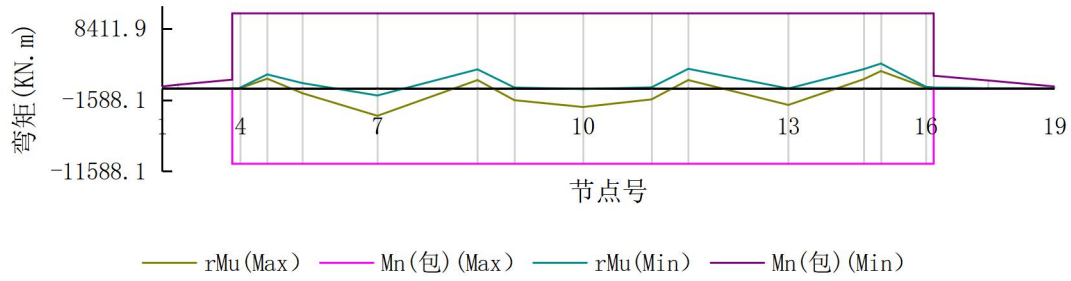


使用阶段裂缝宽度验算包络图

按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）第 6.4 条验算：最大裂缝宽度为W_{fk}=0.114 mm≤裂缝宽度允许值 0.200 mm，满足规范要求。

3.3.2. A2 端横梁验算结果

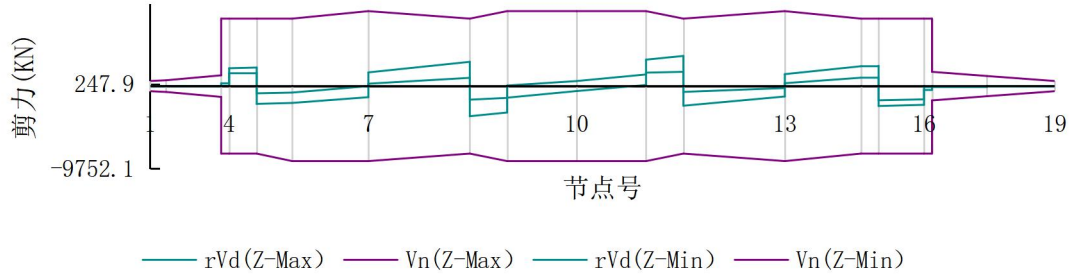
3.3.2.1. 正截面抗弯验算



持久状况正截面抗弯验算包络图

按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）第 5.2.1~5.2.6 条验算，结构重要性系数×作用效应的组合设计最大值均小于等于构件承载力设计值，满足规范要求。

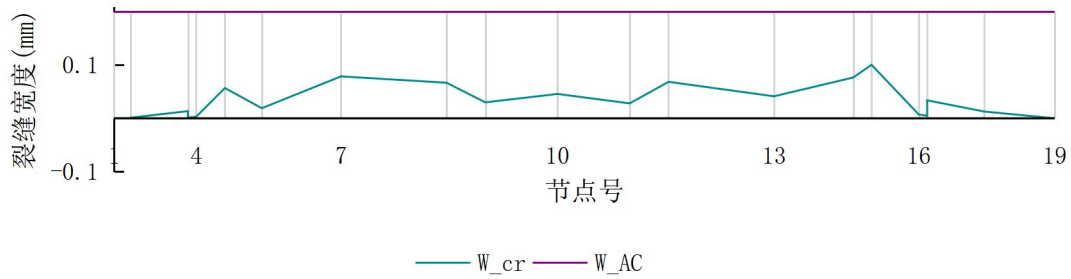
3.3.2.2. 斜截面抗剪验算



持久状况斜截面抗剪验算（Z 方向）包络图

按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）第 5.2.8~5.2.12 条验算，结构重要性系数×作用效应的组合设计最大值均小于等于构件承载力设计值，满足规范要求。

3.3.2.3. 裂缝宽度验算

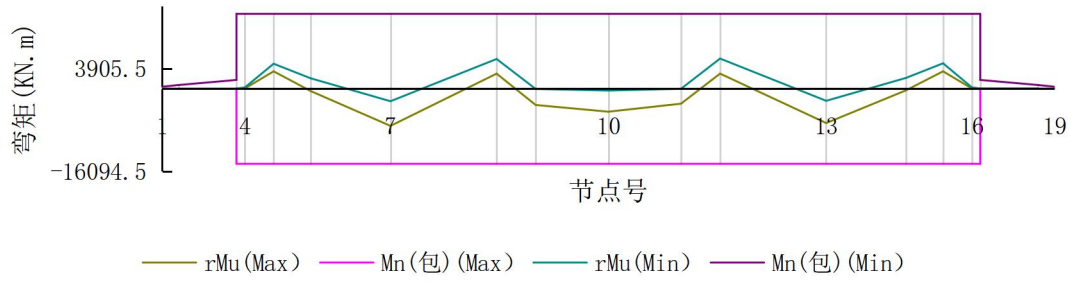


使用阶段裂缝宽度验算包络图

按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）第 6.4 条验算：最大裂缝宽度为W_{fk}=0.100 mm≤裂缝宽度允许值 0.200 mm，满足规范要求。

3.3.3. 中横梁验算结果

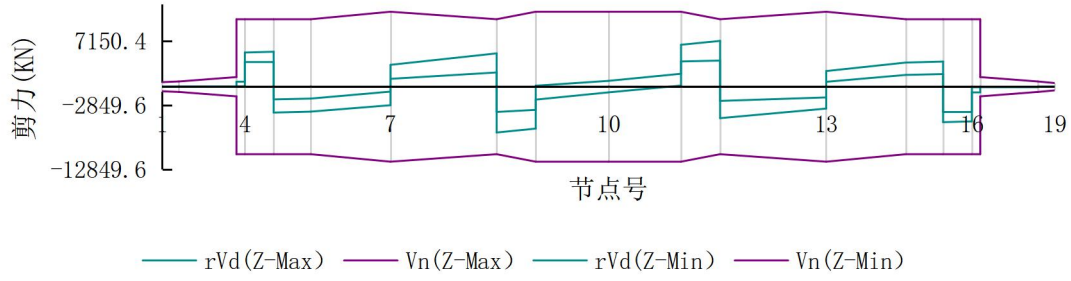
3.3.3.1. 正截面抗弯验算



持久状况正截面抗弯验算包络图

按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）第 5.2.1~5.2.6 条验算，结构重要性系数×作用效应的组合设计最大值均小于等于构件承载力设计值，满足规范要求。

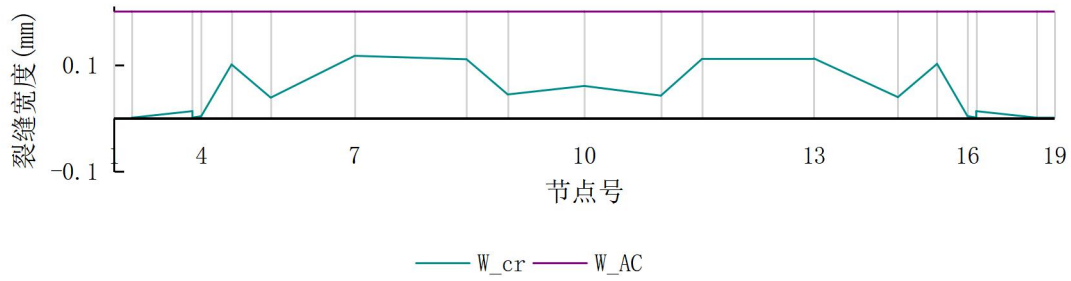
3.3.3.2. 斜截面抗剪验算



持久状况斜截面抗剪验算（Z 方向）包络图

按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）第 5.2.8~5.2.12 条验算，结构重要性系数×作用效应的组合设计最大值均小于等于构件承载力设计值，满足规范要求。

3.3.3.3. 裂缝宽度验算



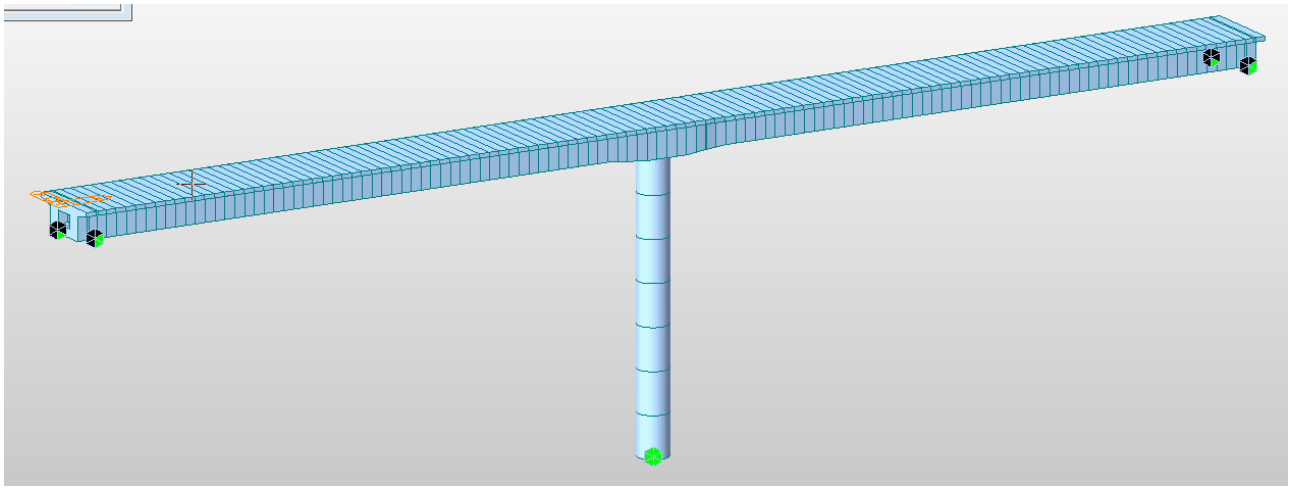
使用阶段裂缝宽度验算包络图

按照《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）第 6.4 条验算：最大裂缝宽度为W_{fk}=0.117 mm≤裂缝宽度允许值 0.200 mm，满足规范要求。

4. 红宇大桥拼宽桥整体计算

4.1. 计算概述

4.1.1. 计算模型



模型视图

1）节点数量：123 个；

2）单元数量：122 个；

3）边界条件数量：3 个；

4）施工阶段数量：4 个，施工步骤如下：

施工阶段 1:CS01 - 成桥阶段；10.0 天；

施工阶段 2:CS02 - 张拉钢束；10.0 天；

施工阶段 3:CS03 - 二期恒载；10.0 天；

施工阶段 4:CS04 - 收缩徐变；1000.0 天；

4.2. 荷载工况及荷载组合

1）自重

自重系数：-1.04

2）整体升降温

1:整体升温，25.0℃；

2:整体降温，-15.0℃；

3）徐变收缩

收缩龄期：3.0 天；

理论厚度自动计算：由程序自动计算各构件的理论厚度。公式为：

$h=a\times A_c/u$；

$u=L_0+a\times L_i$；

--周长 u 的计算公式中 L_0 为外轮廓周长，L_i 为内轮廓周长，a 为要考虑轮廓周长的比例系数。

4）支座沉降

按照每个地基及基础的最大沉降量的最不利的荷载组合进行计算。

第沉降组 1 组不均匀沉降-5.0mm；

第沉降组 2 组不均匀沉降-5.0mm；

第沉降组 3 组不均匀沉降-5.0mm；

5）可变荷载

活载：汽车荷载，桥梁等级为公路Ⅰ级；

对于汽车荷载纵向整体冲击系数μ，按照《公路桥涵通用设计规范》第 4.3.2 条，冲击系数μ可按下式计算：

当 f＜1.5Hz 时，μ＝0.05；

当 1.5Hz≤f≤14Hz 时，μ＝0.1767ln(f)－0.0157；

当 f＞14Hz 时，μ＝0.45；

根据规范，计算的结构基频 f=3.61Hz，冲击系数μ =0.211。

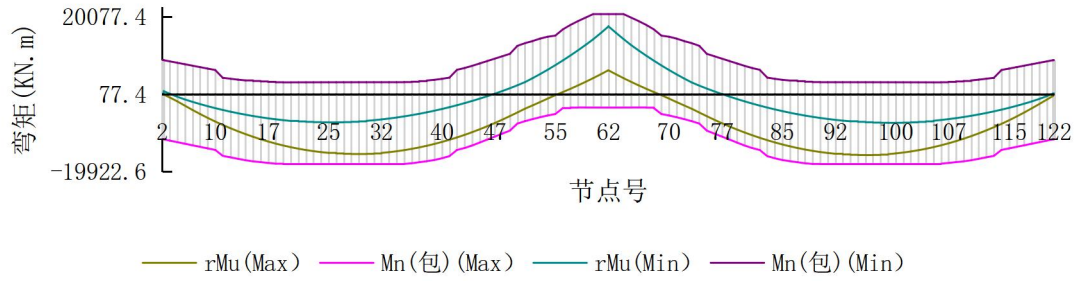
6）荷载组合

同凝山路大桥计算工况。

4.3. 上部结构计算

4.3.1. 持状况承载能力极限状态

4.3.1.1. 正截面抗弯验算

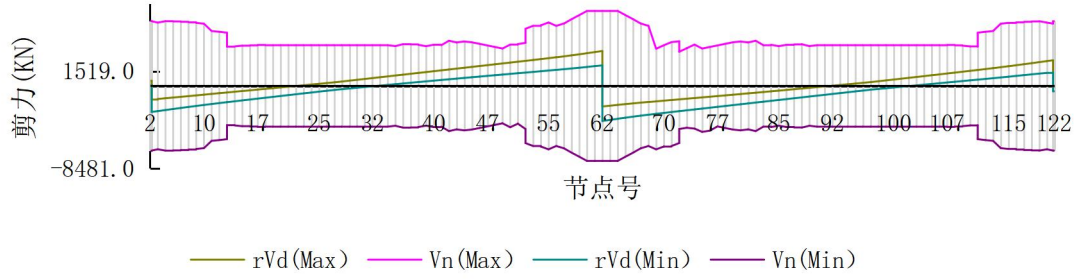


持久状况正截面抗弯验算包络图

结论：

按照《桥规》第 5.1.2-1 条 γ_0S≤R验算，结构的重要性系数*作用效应的组合设计最大值＜构件承载力设计值，满足规范要求；

4.3.1.2. 斜截面抗剪验算



持久状况斜截面抗剪验算包络图

结论：

按照《桥规》第 5.1.2-1 条 $\gamma_0 S \leqslant R$验算，结构的重要性系数*作用效应的组合设计最大值≤构件承载力设计值，满足规范要求；

按照《桥规》第 5.2.11 或 8.4.4 条进行抗剪截面验算，满足规范要求；

4.3.2. 持久状况正常使用极限状态

4.3.2.1. 正截面抗裂验算

全预应力混凝土构件，在作用（荷载）频遇效应组合下，应符合下列条件：

预制构件：$\sigma_{st}-0.85\sigma_{pc} \leqslant 0$

分段浇筑或砂浆接缝的纵向分块构件：$\sigma_{st}-0.80\sigma_{pc} \leqslant 0$

A 类预应力混凝土构件，在作用（荷载）频遇效应组合下，应符合下列条件：

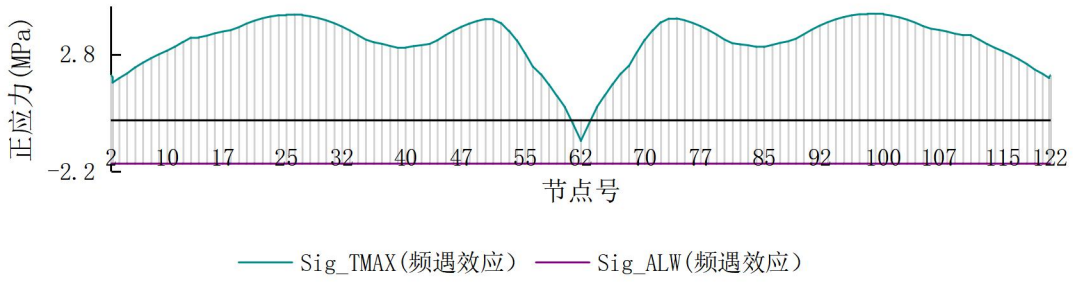
$$\sigma_{st}-\sigma_{pc} \leqslant 0.7f_{tk}$$

A 类预应力混凝土构件，在作用（荷载）准永久效应组合下，应符合下列条件：

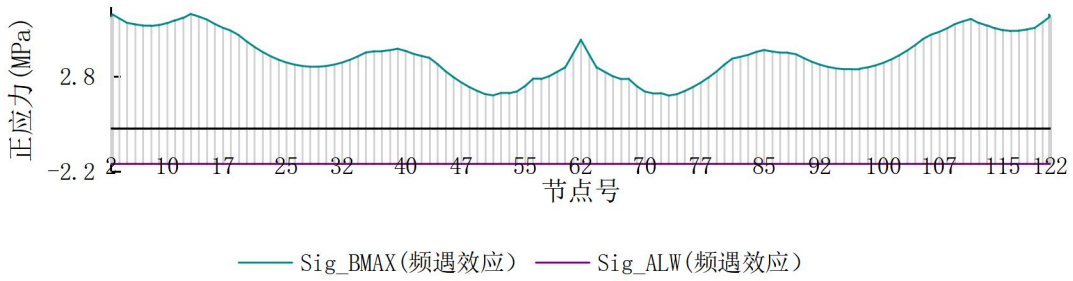
$$\sigma_{lt}-\sigma_{pc} \leqslant 0$$

B 类预应力混凝土构件，在结构自重作用下控制截面受拉边缘不得消压：

$$\sigma_{t}-\sigma_{pc} \leqslant 0$$



图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（频遇-顶）包络图



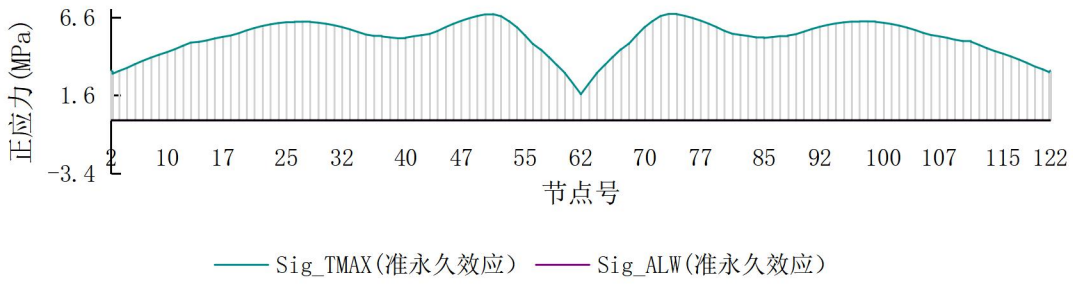
图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（频遇-底）包络图

结论：

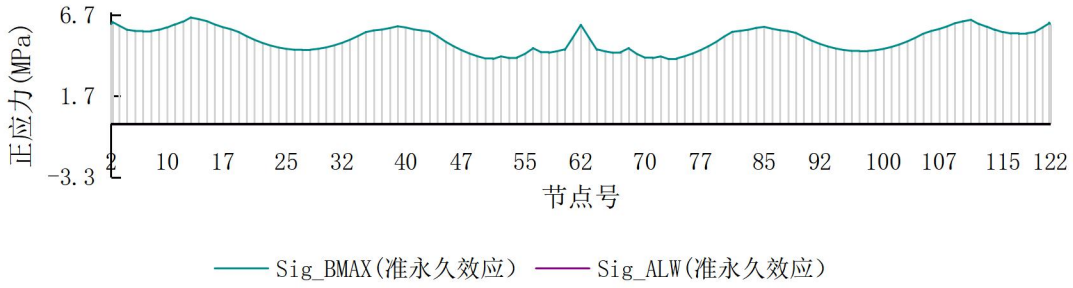
按照《桥规》第 6.3.1-3 条公式 $\sigma_{st}-\sigma_{pc} \leqslant 0.7f_{tk}$验算：

顶缘 $\sigma_{st}-\sigma_{pc}$=0.882 MPa(拉应力)≤$0.7f_{tk}$=1.855 MPa(拉应力)，满足规范要求；

底缘 $\sigma_{st}-\sigma_{pc}$=1.732 MPa(压应力)≤$0.7f_{tk}$=1.855 MPa(拉应力)，满足规范要求；



图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（准永久-顶）包络图



图表 1 使用阶段正截面抗裂验算（准永久-底）包络图

结论：

按照《桥规》第 6.3.1-4 条公式 $\sigma_{lt}-\sigma_{pc}\leqslant 0$验算：

顶缘 $\sigma_{lt}-\sigma_{pc}$=1.668 MPa(压应力)≤0.000 MPa(拉应力)，满足规范要求；

底缘 $\sigma_{lt}-\sigma_{pc}$=4.004 MPa(压应力)≤0.000 MPa(拉应力)，满足规范要求；

4.3.2.2. 顶底板斜截面抗裂验算

对于全预应力混凝土构件，应符合下列条件：

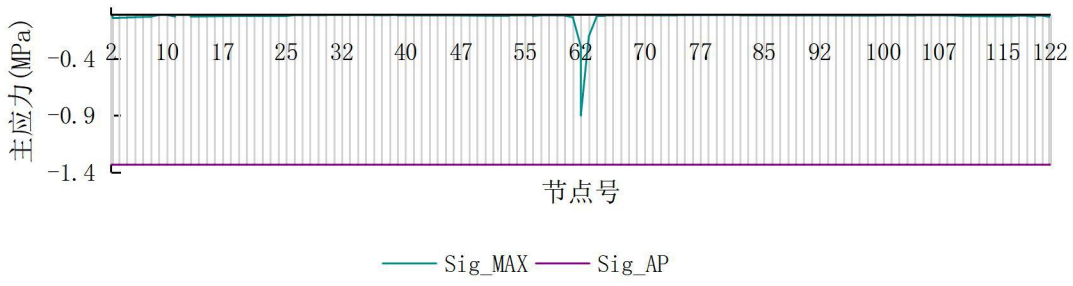
预制构件：$\sigma_{tp}\leqslant 0.6f_{tk}$

现场浇筑（包括预制拼装）构件：$\sigma_{tp}\leqslant 0.4f_{tk}$

A 类和 B 类预应力混凝土构件，应符合下列条件：

预制构件：$\sigma_{tp}\leqslant 0.7f_{tk}$

现场浇筑（包括预制拼装）构件：$\sigma_{tp}\leqslant 0.5f_{tk}$



图表 1 使用阶段顶底板斜截面抗裂验算包络图

结论：

按照《桥规》第 6.3.1-8 条公式 $\sigma_{tp}\leqslant 0.5f_{tk}$验算：$\sigma_{tp}$=0.889 MPa(拉应力)≤$0.5f_{tk}$=1.325

MPa(拉应力)，满足规范要求；

4.3.2.3. 腹板斜截面抗裂验算

对于全预应力混凝土构件，应符合下列条件：

预制构件：$\sigma_{tp} \leq 0.6 f_{tk}$

现场浇筑（包括预制拼装）构件：$\sigma_{tp} \leq 0.4 f_{tk}$

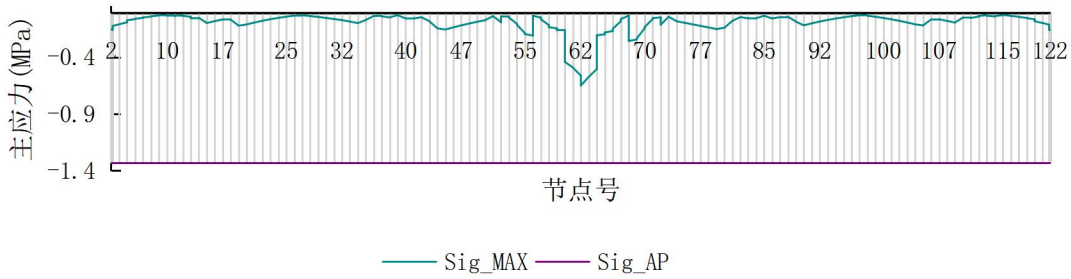
A 类预应力混凝土构件，应符合下列条件：

预制构件：$\sigma_{tp} \leq 0.7 f_{tk}$

B 类预应力混凝土构件，应符合下列条件：

预制构件：$\sigma_{tp} \leq 0.7 f_{tk}$

现场浇筑（包括预制拼装）构件：$\sigma_{tp} \leq 0.5 f_{tk}$



图表 1 使用阶段腹板斜截面抗裂验算包络图

结论：

按照《桥规》第 6.3.1-8 条公式 $\sigma_{tp} \leq 0.5 f_{tk}$ 验算：σ_{tp}=0.641 MPa(拉应力)$\leq 0.5 f_{tk}$=1.325 MPa(拉应力)，满足规范要求；

4.3.2.4. 挠度验算及预拱度

按《桥规》第 6.5.3 条规定，钢筋混凝土和预应力混凝土受弯构件计算的长期挠度值，由汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合在梁式桥主梁产生的最大挠度不应超过计算跨径的 1/600，在梁式桥主梁悬臂端产生的最大挠度不应超过悬臂长度的 1/300.

结论：

按照《桥规》第 6.5.3 条验算：

1 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=0.176 ≤最大挠度允许值 fn=2.000，满足规范要求；

31 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=6.599 ≤最大挠度允许值 fn=48.867，满足规范要求；

94 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=7.133 ≤最大挠度允许值 fn=48.867，满足规范要求；

123 号节点汽车荷载（不计冲击系数）和人群荷载频遇组合最大挠度设计值 fd=0.151 ≤最大挠度允许值 fn=2.000，满足规范要求；

按《桥规》第 6.5.5 条规定，设置预拱度值。

[CDN_默认变量_RC 挠度验算]

表格 1 挠度验算及预拱度表格

梁-孔	构件类型	梁类型	跨径(m)	节点	Ms(KN.m)	Mcr(KN.m)	fa(mm)	fd(mm)	fn(mm)	挠度验算结果	预拱值 C(mm)
1-1	PSC-A	悬臂端	0.600	1	0.000	0.000	2.033	0.157	2.000	OK	1.182
1-2	PSC-A	跨径内	29.320	31	0.000	0.000	-32.546	5.925	48.867	OK	0.000
1-3	PSC-A	跨径内	29.320	94	0.000	0.000	-33.327	6.478	48.867	OK	0.000
1-4	PSC-A	悬臂端	0.600	123	0.000	0.000	2.059	0.131	2.000	OK	1.155

4.3.3. 持久状况应力验算

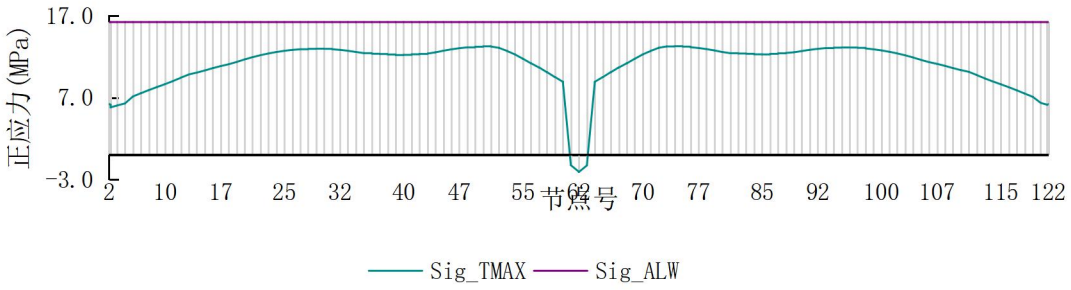
4.3.3.1. 正截面压应力验算

按《桥规》第 7.1.5-1 条公式，荷载取其标准值，汽车荷载考虑冲击系数。

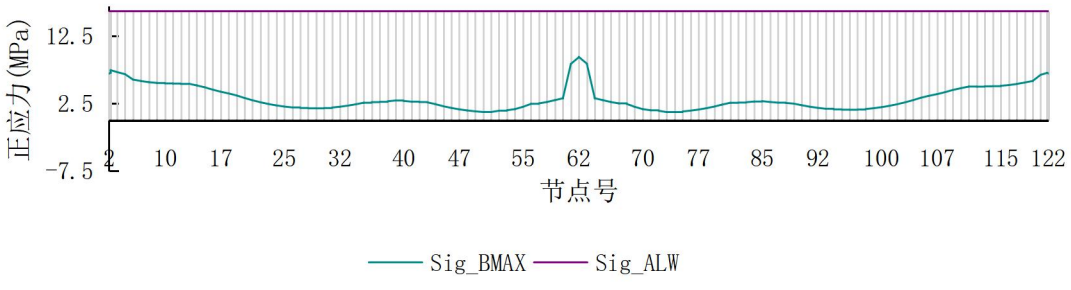
受压区混凝土的最大压应力：

未开裂构件：$\sigma_{kc}+\sigma_{pc}\leqslant 0.5f_{ck}$

允许开裂构件：$\sigma_{cc}\leqslant 0.5f_{ck}$



图表 1 使用阶段正截面压应力验算（顶）包络图



图表 1 使用阶段正截面压应力验算（底）包络图

结论：

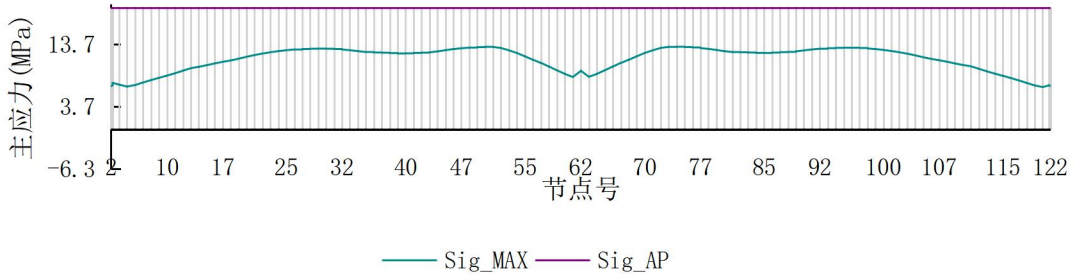
按照《桥规》第 7.1.5-1 条公式 $\sigma_{kc}+\sigma_{pc}\leqslant 0.5f_{ck}$ 验算：

顶缘 $\sigma_{kc}+\sigma_{pc}$=13.252 MPa≤0.5f_{ck}=16.200 MPa，满足规范要求；

底缘 $\sigma_{kc}+\sigma_{pc}$=9.426 MPa≤0.5f_{ck}=16.200 MPa，满足规范要求；

4.3.3.2. 斜截面主压应力验算

按《桥规》第 7.1.6 条公式，混凝土的主压应力应符合下式规定：σ_{cp}≤0.6f_{ck}；



图表 1 使用阶段斜截面主压应力包络图

结论：

按照《桥规》第 7.1.6-1 条公式验算：σ_{cp}=13.256 MPa≤0.60f_{ck}=19.440 MPa，满足规范要求；

4.3.3.3. 预应力钢筋拉应力验算

按《桥规》7.1.5-2 条公式、第 7.1.5-3 条公式、第 7.1.5-4 条公式，荷载取其标准值，汽车荷载考虑冲击系数。

受拉区预应力钢筋的最大拉应力：

1）对体内预应力钢绞线、钢丝

未开裂构件：$\sigma_{pe}+\sigma_{p}$≤0.65f_{pk}

允许开裂构件：$\sigma_{po}+\sigma_{p}$≤0.65f_{pk}

2）对体外预应力钢绞线：

$\sigma_{pe,ex}$≤0.60f_{pk}

3）对预应力螺纹钢筋

未开裂构件：$\sigma_{pe}+\sigma_{p}$≤0.75f_{pk}

允许开裂构件：$\sigma_{po}+\sigma_{p}$≤0.75f_{pk}

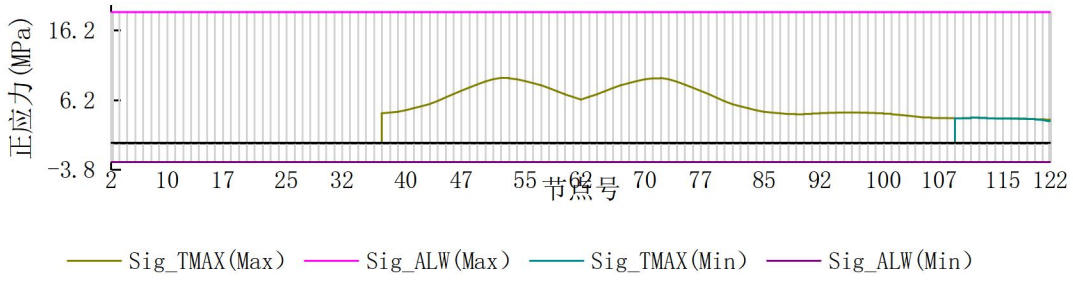
结论：

按照《桥规》第 7.1.5-2 条公式 $\sigma_{pe}+\sigma_{p}$≤0.65f_{pk}，钢绞线 1860 验算：$\sigma_{pe}+\sigma_{p}$=1165.485 MPa ≤f_{pk}=1209.000 MPa，满足规范要求；

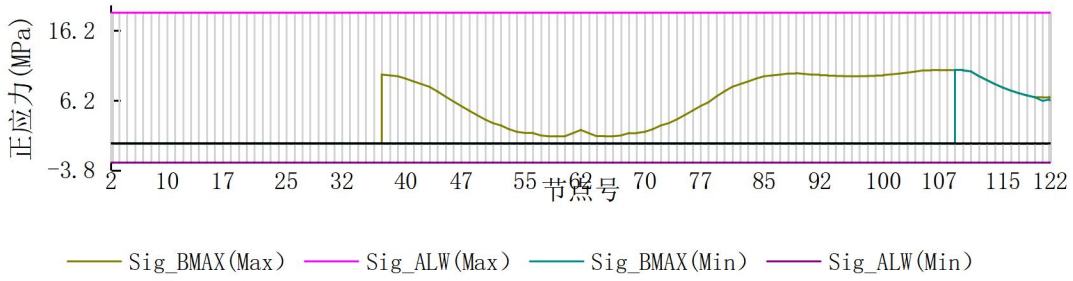
4.3.4. 短暂状况应力验算

4.3.4.1. 法向应力验算

按《桥规》第 7.2.8 条，截面边缘混凝土的法向应力应符合下式规定：σ'_{cc}≤0.7f_{ck}’



图表 1 施工阶段法向应力验算（顶）包络图



图表 1 施工阶段法向应力验算（底）包络图

结论：

按照《桥规》第 7.2.8 条公式 $\sigma_{tcc} \leqslant 0.7 f_{ck}'$ 验算：

顶缘 $\sigma_{tcc}=9.318$ MPa $\leqslant 0.7 f_{ck}'=18.760$ MPa，满足规范要求；

底缘 $\sigma_{tcc}=10.549$ MPa $\leqslant 0.7 f_{ck}'=18.760$ MPa，满足规范要求；

5. 下部结构计算

5.1. 计算概述

本桥下部桥墩分为两种。

第一种为横向多柱连续墩，采用圆柱接圆桩，支座与桥墩对应；墩身直径 1.5m，桩基直径 1.8m，包含凝山路桥 P1 墩，选取 P1 进行验算。

第二种为墩梁固结独柱墩，圆柱接圆桩，墩身直径 1.5m，桩基直径 1.8m，包含红宇大桥拼宽桥左右幅 P1 墩，选取左 P1 进行验算。

5.2. 凝山路桥墩柱验算结果

5.2.1. 持久状况正截面抗压承载力验算

按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）第 5.3 条规定，对墩柱进行抗压验算。验算内容包括轴心抗压承载力、偏心受压承载力，验算结果如下表所示。

内力值及构件、材料参数输入				
结构重要性系数		γ_0=	1.1	
内力	轴力设计值	N_d=	7688	kN
	弯矩设计值	M_d=	960	kN·m
纵向普通钢筋	钢筋抗拉强度设计值	f_{sd}=	330	MPa
	钢筋直径	d=	28	mm
	钢筋数量	n=	35	
	钢筋重心所在圆周的半径	r_s=	0.69	m
混凝土	混凝土强度等级	$f_{cu,k}$=	40	MPa
	混凝土抗压强度设计值	f_{cd}=	18.4	MPa
	混凝土截面半径	r=	0.75	m
构件两支点间长度		l=	8	m
计算长度换算系数		k=	1	

中间过程计算量				
混凝土圆形截面面积		A=	1.7671	m^2
全部纵向钢筋截面积		A_s=	0.0216	m^2
纵向钢筋配筋率		$\rho=A_s/A*100\%$=	1.219555556	%
轴向力对截面重心的偏心距		$e_0=M_d/N_d$=	0.12	m
构件的计算长度		$l_0=kl$=	8	m
圆形截面的回转半径		i=0.5r=	0.375	m
偏心距增大系数	长细比	l_0/i=	21.3	
	荷载偏心率的影响系数	$\zeta_1=0.2+2.7e_0/h_0$=	0.4	
	构件长细比的影响系数	$\zeta_2=1.15-0.01l_0/h$=	1.0	
	偏心距增大系数	η=	1.110	

一、满足C30~C50、配筋率0.5%~4%时，查表F.0.1计算承载力					
混凝土等级	C40	钢筋配筋率	1.21955555555556	可查表计算	
查表所需的列数据			$\eta e_0/r$=	0.18	
查表所需的行数据			$\rho f_{sd}/f_{cd}$=	0.22	
构件相对抗压承载力			n_u=	0.9000	
正截面抗压承载力验算				满足规范要求	
$\gamma_0 N_d$=	8456.8	≤	$n_u A f_{cd}$=	29263.9	kN

经计算，墩柱抗压承载力满足规范要求。

5.2.2. 使用阶段裂缝宽度验算

按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）第 6.4 条规定，对墩柱进行裂缝宽度验算。

根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）第 6.4.3 条：“当矩形、T 形和 I 形截面偏心受压构件满足 e0/h≤0.55，或圆形截面偏心受压构件满足 e0/r≤0.55 时，可不进行裂缝宽度验算。”

经计算，本桥主墩 e0/r=0.17≤0.55，无需进行裂缝宽度验算。

5.3. 凝山路桥桩基验算结果

5.3.1. 持久状况正截面抗压承载力验算

按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）第 5.3 条规定，对桩基进行抗压验算。验算内容包括轴心抗压承载力、偏心受压承载力，验算结果如下表所示。

内力值及构件、材料参数输入				
结构重要性系数		γ_0=	1.1	
内力	轴力设计值	N_d=	8350	kN
	弯矩设计值	M_d=	1070	kN·m
纵向普通钢筋	钢筋抗拉强度设计值	f_{sd}=	330	MPa
	钢筋直径	d=	28	mm
	钢筋数量	n=	40	
	钢筋重心所在圆周的半径	r_s=	0.82	m
混凝土	混凝土强度等级	$f_{cu,k}$=	35	MPa
	混凝土抗压强度设计值	f_{cd}=	16.1	MPa
	混凝土截面半径	r=	0.9	m
构件两支点间长度		l=	11	m
计算长度换算系数		k=	1	

中间过程计算量				
混凝土圆形截面面积		A=	2.5447	m^2
全部纵向钢筋截面积		A_s=	0.0246	m^2
纵向钢筋配筋率		$\rho=A_s/A*100\%$=	0.967901235	%
轴向力对截面重心的偏心距		$e_0=M_d/N_d$=	0.13	m
构件的计算长度		$l_0=kl$=	11	m
圆形截面的回转半径		i=0.5r=	0.45	m
偏心距增大系数	长细比	l_0/i=	24.4	
	荷载偏心率的影响系数	$\zeta_1=0.2+2.7e_0/h_0$=	0.4	
	构件长细比的影响系数	$\zeta_2=1.15-0.01l_0/h$=	1.0	
	偏心距增大系数	η=	1.155	

一、满足C30~C50、配筋率0.5%~4%时，查表F.0.1计算承载力					
混凝土等级	C35	钢筋配筋率	0.967901234567901	可查表计算	
查表所需的列数据			$\eta e_0/r$=	0.16	
查表所需的行数据			$\rho f_{sd}/f_{cd}$=	0.20	
构件相对抗压承载力			n_u=	0.9500	
正截面抗压承载力验算				满足规范要求	
$\gamma_0 N_d$=	9185.0	≤	$n_u A f_{cd}$=	38921.0	kN

经计算，桩基抗压承载力满足规范要求。

5.3.2. 使用阶段裂缝宽度验算

按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）第 6.4 条规定，对桩基进行裂缝宽度验算。

根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）第 6.4.3 条：“当矩形、T 形和 I 形截面偏心受压构件满足 e0/h≤0.55，或圆形截面偏心受压构件满足 e0/r≤0.55 时，可不进行裂缝宽度验算。”

经计算，本桥桩基 e0/r=0.14≤0.55，无需进行裂缝宽度验算。

5.3.3. 单桩轴向承载力验算

各桩基均为嵌岩桩，按照《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363-2019)进行验算，如下表所示。

5.3.3.1. P1 桥墩桩基验算

一、地基与基础参数					
桩基直径		d=	1.8	m	
单桩桩顶所需承载力		[R]=	7339.6	kN	
土层地质信息		土厚	侧摩阻力		
		l_i (m)	q_{ik} (kPa)		
	第一层土	4.10	0		
	第二层土	1.50	150		
	第三层土				
	第四层土				
岩层地质信息		岩层厚	端阻发挥系数	侧阻发挥系数	单轴抗压强度标准值
		h_i(m)	c_1	c_{2i}	f_{rki}(kPa)
	第一层岩石	20.00	0.36	0.03	3990
	第二层岩石				
	第三层岩石				
	第四层岩石				

二、桩基长度试算				
地面线或局部冲刷线以下的桩基长度	l=	11.0	m	
地面线或局部冲刷线以上的部分桩长	l'=		m	
钻孔灌注桩（端承桩）承载力容许值	[R_a]=	7927.1	kN	
安全系数		1.080	满足	
桩基总长	$l_z=l+l'$=	11	m	

三、中间计算过程量				
桩基	桩身周长	$u=\pi d$=	5.655	m
	桩端截面面积	$A_p=1/4\pi d^2$=	2.545	m^2
桩端岩石	所在岩层	第	1	层岩石
	端阻力发挥系数	c_1=	0.36	
	桩端饱和单轴抗压强度标准值	f_{rk}=	3990	kPa
覆盖层土的侧阻力发挥系数		ζ_s=	0.969	
端阻力		$c_1A_pf_{rk}$=	3655.2	kN
各层岩石侧摩阻力		$u\Sigma c_{2i}h_if_{rki}$=	3655.2	kN
各层土层侧摩阻力		$0.5\zeta_s u\Sigma l_i q_{ik}$=	616.7	kN

5.3.3.2. A0 桥台桩基验算

一、地基与基础参数					
桩基直径		d=	1.5	m	
单桩桩顶所需承载力		[R]=	4252.8	kN	
土层地质信息		土厚	侧摩阻力		
		l_i (m)	q_{ik} (kPa)		
	第一层土	9.00	0		
	第二层土	1.50	150		
	第三层土				
	第四层土				
岩层地质信息		岩层厚	端阻发挥系数	侧阻发挥系数	饱和单轴抗压强度标准值
		h_i(m)	c_1	c_{2i}	f_{rki}(kPa)
	第一层岩石	20.00	0.36	0.03	3990
	第二层岩石				
	第三层岩石				
	第四层岩石				

二、桩基长度试算			
地面线或局部冲刷线以下的桩基长度	l=	15.0	m
地面线或局部冲刷线以上的部分桩长	l'=		m
钻孔灌注桩（端承桩）承载力容许值	[R_a]=	5590.6	kN
安全系数		1.315	满足
桩基总长	$l_z=l+l'$=	15	m

三、中间计算过程量				
桩基	桩身周长	$u=\pi d$=	4.712	m
	桩端截面面积	$A_p=1/4\pi d^2$=	1.767	m^2
桩端岩石	所在岩层	第	1	层岩石
	端阻力发挥系数	c_1=	0.36	
	桩端饱和单轴抗压强度标准值	f_{rk}=	3990	kPa
覆盖层土的侧阻力发挥系数		ζ_s=	0.969	
端阻力		$c_1A_pf_{rk}$=	2538.3	kN
各层岩石侧摩阻力		$u\Sigma c_{2i}h_if_{rki}$=	2538.3	kN
各层土层侧摩阻力		$0.5\zeta_s u\Sigma l_i q_{ik}$=	513.9	kN

5.3.3.3. A2 桥台桩基验算

一、地基与基础参数					
桩基直径		d=	1.5	m	
单桩桩顶所需承载力		[R]=	4682.2	kN	
土层地质信息		土厚	侧摩阻力		
		l_i (m)	q_{ik} (kPa)		
	第一层土	9.00	0		
	第二层土	1.50	150		
	第三层土				
	第四层土				
岩层地质信息		岩层厚	端阻发挥系数	侧阻发挥系数	单轴抗压强度标准值
		h_i(m)	c_1	c_{2i}	f_{rki}(kPa)
	第一层岩石	20.00	0.36	0.03	3990
	第二层岩石				
	第三层岩石				
	第四层岩石				

二、桩基长度试算			
地面线或局部冲刷线以下的桩基长度	l=	15.0	m
地面线或局部冲刷线以上的部分桩长	l'=		m
钻孔灌注桩（端承桩）承载力容许值	$[R_a]$=	5590.6	kN
安全系数		1.194	满足
桩基总长	$l_z=l+l'$=	15	m

三、中间计算过程量				
桩基	桩身周长	$u=\pi d$=	4.712	m
	桩端截面面积	$A_p=1/4\pi d^2$=	1.767	m^2
桩端岩石	所在岩层	第	1	层岩石
	端阻力发挥系数	c_1=	0.36	
	桩端饱和单轴抗压强度标准值	f_{rk}=	3990	kPa
覆盖层土的侧阻力发挥系数		ζ_s=	0.969	
端阻力		$c_1A_pf_{rk}$=	2538.3	kN
各层岩石侧摩阻力		$u\Sigma c_{2i}h_if_{rki}$=	2538.3	kN
各层土层侧摩阻力		$0.5\zeta_s u\Sigma l_iq_{ik}$=	513.9	kN

经计算，满足规范要求。

5.4. 红宇拼宽桥桥墩柱验算结果

5.4.1. 持久状况正截面抗压承载力验算

按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）第 5.3 条规定，对墩柱进行抗压验算。验算内容包括轴心抗压承载力、偏心受压承载力，验算结果如下表所示。

内力值及构件、材料参数输入				
结构重要性系数		γ_0=	1.1	
内力	轴力设计值	N_d=	5580	kN
	弯矩设计值	M_d=	570	kN·m
纵向普通钢筋	钢筋抗拉强度设计值	f_{sd}=	330	MPa
	钢筋直径	d=	28	mm
	钢筋数量	n=	35	
	钢筋重心所在圆周的半径	r_s=	0.69	m
混凝土	混凝土强度等级	$f_{cu,k}$=	40	MPa
	混凝土抗压强度设计值	f_{cd}=	18.4	MPa
	混凝土截面半径	r=	0.75	m
构件两支点间长度		l=	8.5	m
计算长度换算系数		k=	1	

中间过程计算量				
混凝土圆形截面面积		A=	1.7671	m^2
全部纵向钢筋截面积		A_s=	0.0216	m^2
纵向钢筋配筋率		$\rho=A_s/A*100\%$=	1.219555556	%
轴向力对截面重心的偏心距		$e_0=M_d/N_d$=	0.10	m
构件的计算长度		$l_0=kl$=	8.5	m
圆形截面的回转半径		$i=0.5r$=	0.375	m
偏心距增大系数	长细比	l_0/i=	22.7	
	荷载偏心率的影响系数	$\zeta_1=0.2+2.7e_0/h_0$=	0.4	
	构件长细比的影响系数	$\zeta_2=1.15-0.01l_0/h$=	1.0	
	偏心距增大系数	η=	1.136	

一、满足C30~C50、配筋率0.5%~4%时，查表F.0.1计算承载力					
混凝土等级	C40	钢筋配筋率	1.21955555555555	可查表计算	
查表所需的列数据			$\eta e_0/r$=	0.15	
查表所需的行数据			$\rho f_{sd}/f_{cd}$=	0.22	
构件相对抗压承载力			n_u=	1.0000	
正截面抗压承载力验算				满足规范要求	
$\gamma_0 N_d$=	6138.0	≤	$n_u A f_{cd}$=	32515.5	kN

经计算，墩柱抗压承载力满足规范要求。

5.4.2. 使用阶段裂缝宽度验算

按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）第 6.4 条规定，对墩柱进行裂缝宽度验算。

根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）第 6.4.3 条：“当矩形、T 形和 I 形截面偏心受压构件满足 e0/h≤0.55，或圆形截面偏心受压构件满足 e0/r≤0.55 时，可不进行裂缝宽度验算。”

经计算，本桥主墩 e0/r=0.14≤0.55，无需进行裂缝宽度验算。

5.5. 红宇拼宽桥桩基验算结果

5.5.1. 持久状况正截面抗压承载力验算

按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）第 5.3 条规定，对桩基进行抗压验算。验算内容包括轴心抗压承载力、偏心受压承载力，验算结果如下表所示。

内力值及构件、材料参数输入				
结构重要性系数		γ_0=	1.1	
内力	轴力设计值	N_d=	5700	kN
	弯矩设计值	M_d=	570	kN·m
纵向普通钢筋	钢筋抗拉强度设计值	f_{sd}=	330	MPa
	钢筋直径	d=	28	mm
	钢筋数量	n=	40	
	钢筋重心所在圆周的半径	r_s=	0.82	m
混凝土	混凝土强度等级	$f_{cu,k}$=	35	MPa
	混凝土抗压强度设计值	f_{cd}=	16.1	MPa
	混凝土截面半径	r=	0.9	m
构件两支点间长度		l=	13	m
计算长度换算系数		k=	1	

中间过程计算量				
混凝土圆形截面面积		A=	2.5447	m^2
全部纵向钢筋截面积		A_s=	0.0246	m^2
纵向钢筋配筋率		$\rho=A_s/A*100\%$=	0.967901235	%
轴向力对截面重心的偏心距		$e_0=M_d/N_d$=	0.10	m
构件的计算长度		$l_0=kl$=	13	m
圆形截面的回转半径		i=0.5r=	0.45	m
偏心距增大系数	长细比	l_0/i=	28.9	
	荷载偏心率的影响系数	$\zeta_1=0.2+2.7e_0/h_0$=	0.4	
	构件长细比的影响系数	$\zeta_2=1.15-0.01l_0/h$=	1.0	
	偏心距增大系数	η=	1.246	

一、满足C30~C50、配筋率0.5%~4%时，查表F.0.1计算承载力					
混凝土等级	C35	钢筋配筋率	0.967901234567901	可查表计算	
查表所需的列数据			$\eta e_0/r$=	0.14	
查表所需的行数据			$\rho f_{sd}/f_{cd}$=	0.20	
构件相对抗压承载力			n_u=	0.9500	
正截面抗压承载力验算				满足规范要求	
$\gamma_0 N_d$=	6270.0	≤	$n_u A f_{cd}$=	38921.0	kN

经计算，桩基抗压承载力满足规范要求。

5.5.2. 使用阶段裂缝宽度验算

按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）第 6.4 条规定，对桩基进行裂缝宽度验算。

根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）第 6.4.3 条：“当矩形、T 形和 I 形截面偏心受压构件满足 e0/h≤0.55，或圆形截面偏心受压构件满足 e0/r≤0.55 时，可不进行裂缝宽度验算。”

经计算，本桥桩基 e0/r=0.11≤0.55，无需进行裂缝宽度验算。

5.5.3. 单桩轴向承载力验算

各桩基均为嵌岩桩，按照《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363-2019)进行验算，如下表所示。

5.5.3.1. P1 桥墩桩基验算

一、地基与基础参数					
桩基直径		d=	1.8	m	
单桩桩顶所需承载力		[R]=	6454.0	kN	
土层地质信息		土厚	侧摩阻力		
		l_i (m)	q_{ik} (kPa)		
	第一层土	1.60	0		
	第二层土	6.00	150		
	第三层土				
	第四层土				
岩层地质信息		岩层厚	端阻发挥系数	侧阻发挥系数	单轴抗压强度标准值
		h_i(m)	c_1	c_{2i}	f_{rki}(kPa)
	第一层岩石	20.00	0.36	0.03	3990
	第二层岩石				
	第三层岩石				
	第四层岩石				

二、桩基长度试算			
地面线或局部冲刷线以下的桩基长度	l=	13.0	m
地面线或局部冲刷线以上的部分桩长	l'=		m
钻孔灌注桩（端承桩）承载力容许值	$[R_a]$=	9777.2	kN
安全系数		1.515	满足
桩基总长	$l_z=l+l'$=	13	m

三、中间计算过程量				
桩基	桩身周长	$u=\pi d$=	5.655	m
	桩端截面面积	$A_p=1/4\pi d^2$=	2.545	m^2
桩端岩石	所在岩层	第	1	层岩石
	端阻力发挥系数	c_1=	0.36	
	桩端饱和单轴抗压强度标准值	f_{rk}=	3990	kPa
覆盖层土的侧阻力发挥系数		ζ_s=	0.969	
端阻力		$c_1A_pf_{rk}$=	3655.2	kN
各层岩石侧摩阻力		$u\Sigma c_{2i}h_if_{rki}$=	3655.2	kN
各层土层侧摩阻力		$0.5\zeta_s u\Sigma l_i q_{ik}$=	2466.8	kN

5.5.3.2. A0\A2 桥台桩基验算

一、地基与基础参数					
桩基直径		d=	1.5	m	
单桩桩顶所需承载力		[R]=	3872.8	kN	
土层地质信息		土厚	侧摩阻力		
		l_i (m)	q_{ik} (kPa)		
	第一层土	8.50	0		
	第二层土	1.50	150		
	第三层土				
	第四层土				
岩层地质信息		岩层厚	端阻发挥系数	侧阻发挥系数	饱和单轴抗压强度标准值
		h_i(m)	c_1	c_{2i}	f_{rki}(kPa)
	第一层岩石	20.00	0.36	0.03	3990
	第二层岩石				
	第三层岩石				
	第四层岩石				

二、桩基长度试算			
地面线或局部冲刷线以下的桩基长度	l=	15.0	m
地面线或局部冲刷线以上的部分桩长	l'=		m
钻孔灌注桩（端承桩）承载力容许值	$[R_a]$=	5872.6	kN
安全系数		1.516	满足
桩基总长	$l_z=l+l'$=	15	m

三、中间计算过程量				
桩基	桩身周长	$u=\pi d$=	4.712	m
	桩端截面面积	$A_p=1/4\pi d^2$=	1.767	m^2
桩端岩石	所在岩层	第	1	层岩石
	端阻力发挥系数	c_1=	0.36	
	桩端饱和单轴抗压强度标准值	f_{rk}=	3990	kPa
覆盖层土的侧阻力发挥系数		ζ_s=	0.969	
端阻力		$c_1A_pf_{rk}$=	2538.3	kN
各层岩石侧摩阻力		$u\Sigma c_{2i}h_if_{rki}$=	2820.4	kN
各层土层侧摩阻力		$0.5\zeta_s u\Sigma l_i q_{ik}$=	513.9	kN

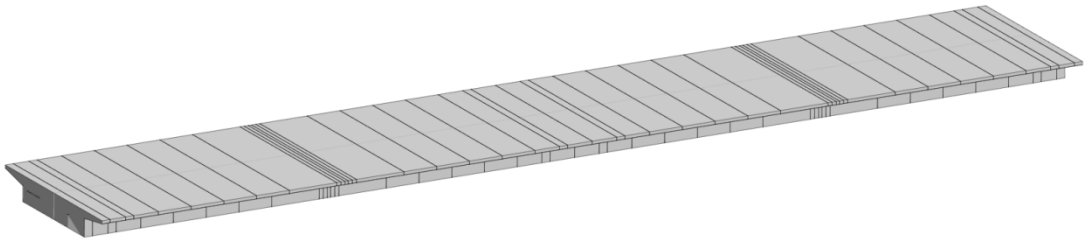
经计算，满足规范要求。

6. 既有红宇大桥加固计算

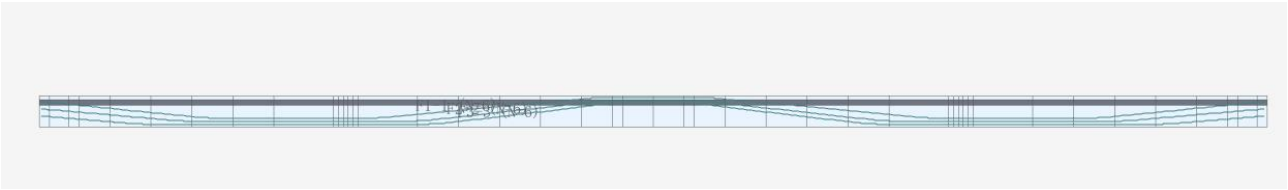
6.1. 计算概述

在取消既有红宇大桥人行道并改拓建为车行道，且需在原桥水泥铺装加铺沥青，根据安全评估报告既有红宇大桥，1.主梁中横梁两侧位置处抗剪承载能力不足，现根据《公路桥梁加固设计规范》JTGT5431-2025 加固设计。需分别建立既有红宇大桥纵梁模型及局部桥面板模型

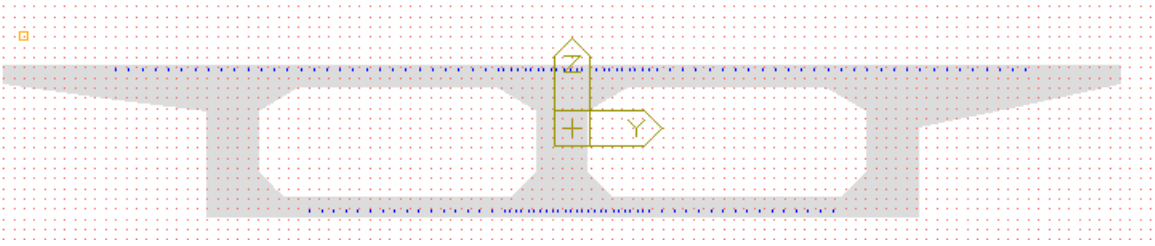
6.1.1. 既有红宇大桥纵梁计算模型



纵梁模型视图



模型配钢束视图



模型配钢筋视图

5）节点数量：45 个；

6）单元数量：44 个；

7）边界条件数量：6 个；

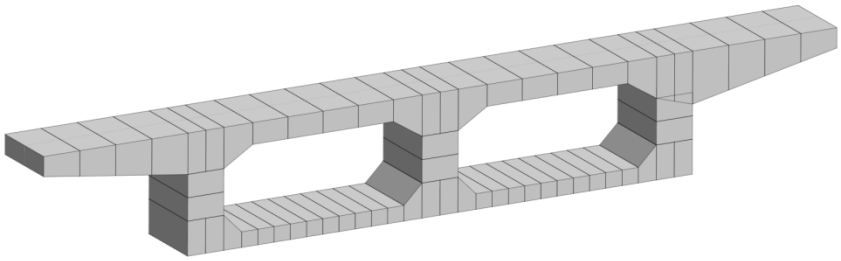
8）施工阶段数量：3 个，施工步骤如下：

施工阶段 1:CS01 - 成桥阶段；15.0 天；

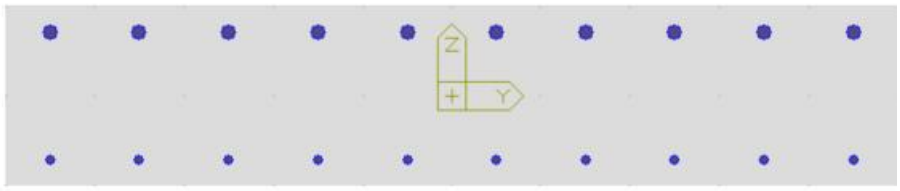
施工阶段 2:CS02 - 二期恒载；10.0 天；

施工阶段 3:CS03 - 收缩徐变；7300.0 天；

6.1.2. 既有红宇大桥桥面板计算模型



模型视图



模型配钢筋视图

6.2. 荷载工况及荷载组合

6.2.1. 既有红宇大桥纵梁计算模型荷载工况及荷载组合

1） 自重

自重系数：-1.04

恒荷载：铺装按 50kn/m

2） 整体升降温

1:整体升温，20.0℃；

2:整体降温，-15.0℃；

徐变收缩

收缩龄期：3.0 天；

理论厚度自动计算：由程序自动计算各构件的理论厚度。公式为：

$h=a\times A_c/u$；

$u=L_0+a\times L_i$；

--周长 u 的计算公式中 L_0 为外轮廓周长，L_i 为内轮廓周长，a 为要考虑轮廓周长的比例系数。

3） 支座沉降

按照每个地基及基础的最大沉降量的最不利的荷载组合进行计算。

第沉降组 1 组不均匀沉降-5.0mm；

第沉降组 2 组不均匀沉降-5.0mm；

第沉降组 3 组不均匀沉降-5.0mm；

4）可变荷载

活载：汽车荷载，桥梁等级为公路Ⅰ级；

对于汽车荷载纵向整体冲击系数μ，按照《公路桥涵通用设计规范》第 4.3.2 条，冲击系数μ可按下式计算：

当 f＜1.5Hz 时，μ＝0.05；

当 1.5Hz≤f≤14Hz 时，μ＝0.1767ln(f)－0.0157；

当 f＞14Hz 时，μ＝0.45；

根据规范，计算的结构基频 f=3.63Hz，冲击系数μ =0.212。

5）荷载组合

表格 1 荷载工况

序号	工况名称	描述
1	徐变二次	CS
2	钢束二次	TS
3	恒荷载	DL
4	收缩二次	SS
5	钢束一次	TP
6	正温度梯度	TPG
7	负温度梯度	TPG1
8	整体升温	T
9	整体降温	T1
10	支座沉降	SM
11	汽车	M

荷载组合列表：

基本 1:基本；0.500(SM)+1.200(DL)+1.200(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)；

基本 2:基本；0.500(SM)+1.200(DL)+1.200(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.400(M)；

基本 3:基本；

0.500(SM)+1.200(DL)+1.200(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.400(T)+1.400(TPG)；

基本 4:基本；

0.500(SM)+1.200(DL)+1.200(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.400(T)+1.400(TPG1)；

基本 5:基本；

0.500(SM)+1.200(DL)+1.200(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.400(T1)+1.400(TPG)；

基本 6:基本；

0.500(SM)+1.200(DL)+1.200(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.400(T1)+1.400(TPG1)；

基本 7:基本；

0.500(SM)+1.200(DL)+1.200(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.400(M)+1.050(T)+1.050(TPG)；

基本 8:基本；
0.500(SM)+1.200(DL)+1.200(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.400(M)+1.050(T)+1.050(TPG1)；
基本 9:基本；
0.500(SM)+1.200(DL)+1.200(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.400(M)+1.050(T1)+1.050(TPG)；
基本 10:基本；
0.500(SM)+1.200(DL)+1.200(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.400(M)+1.050(T1)+1.050(TPG1)；
基本 11:基本；0.500(SM)+1.000(DL)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)；
基本 12:基本；0.500(SM)+1.000(DL)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.400(M)；
基本 13:基本；
0.500(SM)+1.000(DL)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.400(T)+1.400(TPG)；
基本 14:基本；
0.500(SM)+1.000(DL)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.400(T)+1.400(TPG1)；
基本 15:基本；
0.500(SM)+1.000(DL)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.400(T1)+1.400(TPG)；
基本 16:基本；
0.500(SM)+1.000(DL)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.400(T1)+1.400(TPG1)；
基本 17:基本；
0.500(SM)+1.000(DL)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.400(M)+1.050(T)+1.050(TPG)；
基本 18:基本；
0.500(SM)+1.000(DL)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.400(M)+1.050(T)+1.050(TPG1)；
基本 19:基本；
0.500(SM)+1.000(DL)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.400(M)+1.050(T1)+1.050(TPG)；
基本 20:基本；
0.500(SM)+1.000(DL)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.400(M)+1.050(T1)+1.050(TPG1)；
频遇 21:频遇；
1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.000(T)+0.800(TPG)；
频遇 22:频遇；
1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.000(T)+0.800(TPG1)；
频遇 23:频遇；
1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.000(T1)+0.800(TPG)；
频遇 24:频遇；
1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.000(T1)+0.800(TPG1)
；
频遇 25:频遇；
1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+0.578(M)；
频遇 26:频遇；
1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+0.578(M)+1.000(T)+0.8
00(TPG)；
频遇 27:频遇；
1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+0.578(M)+1.000(T)+0.8

00(TPG1)；

频遇 28:频遇；

1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+0.578(M)+1.000(T1)+0.800(TPG)；

频遇 29:频遇；

1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+0.578(M)+1.000(T1)+0.800(TPG1)；

准永久 30:准永久；

1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.000(T)+0.800(TPG)；

准永久 31:准永久；

1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.000(T)+0.800(TPG1)；

准永久 32:准永久；

1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.000(T1)+0.800(TPG)；

准永久 33:准永久；

1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.000(T1)+0.800(TPG1)；

准永久 34:准永久；

1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+0.330(M)；

准永久 35:准永久；

1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+0.330(M)+1.000(T)+0.800(TPG)；

准永久 36:准永久；

1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+0.330(M)+1.000(T)+0.800(TPG1)；

准永久 37:准永久；

1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+0.330(M)+1.000(T1)+0.800(TPG)；

准永久 38:准永久；

1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+0.330(M)+1.000(T1)+0.800(TPG1)；

标准 39:标准；

1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.000(T)+1.000(TPG)；

标准 40:标准；

1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.000(T)+1.000(TPG1)；

标准 41:标准；

1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.000(T1)+1.000(TPG)；

标准 42:标准；

1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.000(T1)+1.000(TPG1)；

标准 43:标准；

1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.000(M);

标准 44:标准；

1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.000(M)+1.000(T)+1.000(TPG);

标准 45:标准；

1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.000(M)+1.000(T)+1.000(TPG1);

标准 46:标准；

1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.000(M)+1.000(T1)+1.000(TPG);

标准 47:标准；

1.000(SM)+1.000(DL)+1.000(TP)+1.000(TS)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.000(M)+1.000(T1)+1.000(TPG1);

6.2.2. 既有红宇大桥桥面板计算模型荷载工况及荷载组合

1)自重

自重系数：-1.06

二期恒荷载：铺装考虑横坡影响按梯度荷载加载，即 2.6-6.6kn/m。

2)徐变收缩

收缩龄期：3.0 天；

理论厚度自动计算：由程序自动计算各构件的理论厚度。公式为：

$h=a\times A_c/u$；

$u=L_0+a\times L_i$；

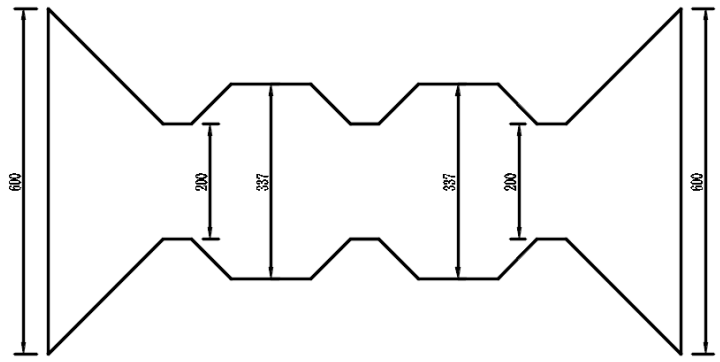
--周长 u 的计算公式中 L_0 为外轮廓周长，L_i 为内轮廓周长，a 为要考虑轮廓周长的比例系数。

3) 可变荷载

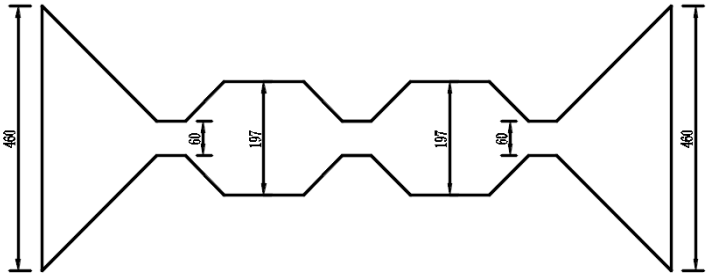
冲击系数：1.3；

桥面板荷载分布系数：

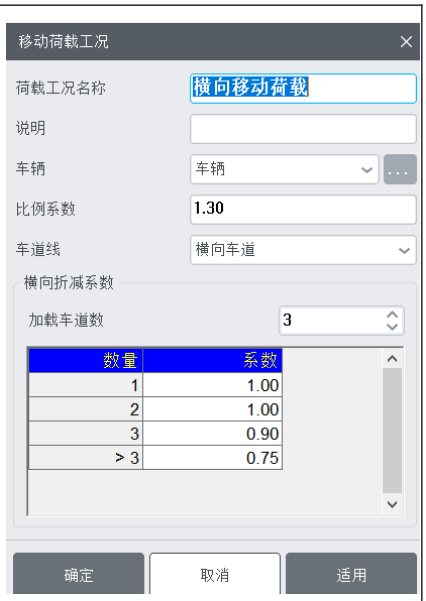
对桥面板，按单轴和双轴分别计算荷载系数，取大值控制：



双轴桥面板计算模型



单轴桥面板计算模型

		
桥面板车辆荷载比例系数	车辆荷载	移动荷载工况

4)荷载组合

表格 1 荷载工况

序号	工况名称	描述
1	恒荷载	DL
2	徐变二次	CS
3	收缩二次	SS
4	横向移动荷载	MCRL

荷载组合列表：

基本 1:基本；1.200(DL)+1.000(CS)+1.000(SS);

基本 2:基本；1.200(DL)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.800(MCRL);

基本 3:基本；1.000(DL)+1.000(CS)+1.000(SS);

基本 4:基本；1.000(DL)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.800(MCRL);

频遇 1:频遇；1.000(DL)+1.000(CS)+1.000(SS)+0.700(MCRL);

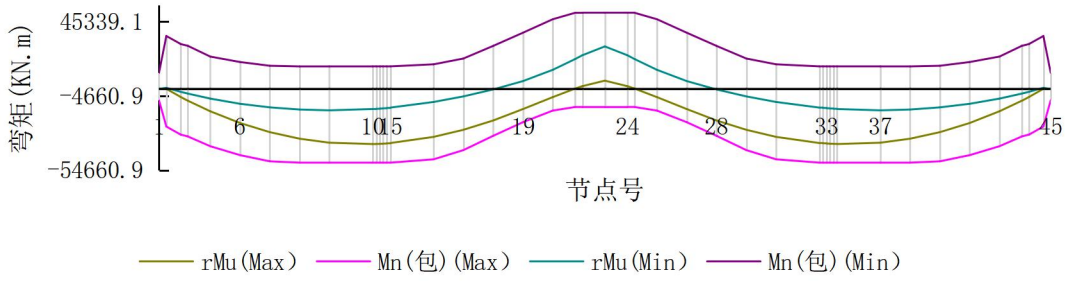
准永久 1:准永久；1.000(DL)+1.000(CS)+1.000(SS)+0.400(MCRL);

挠度 1:挠度；1.000(DL)+0.700(MCRL);

挠度 2:挠度；0.700(MCRL);
挠度 3:挠度；1.000(DL)+0.350(MCRL);
应力 1:标准；1.000(DL)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.000(MCRL);
倾覆 1:倾覆；1.000(DL)+1.000(CS)+1.000(SS);
倾覆 2:倾覆；1.000(DL)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.800(MCRL);
倾覆 3:倾覆；1.000(DL)+1.000(CS)+1.000(SS);
倾覆 4:倾覆；1.000(DL)+1.000(CS)+1.000(SS)+1.000(MCRL);

6.3. 纵梁持久状况承载能力极限状态

6.3.1. 持久状况正截面抗弯承载能力验算

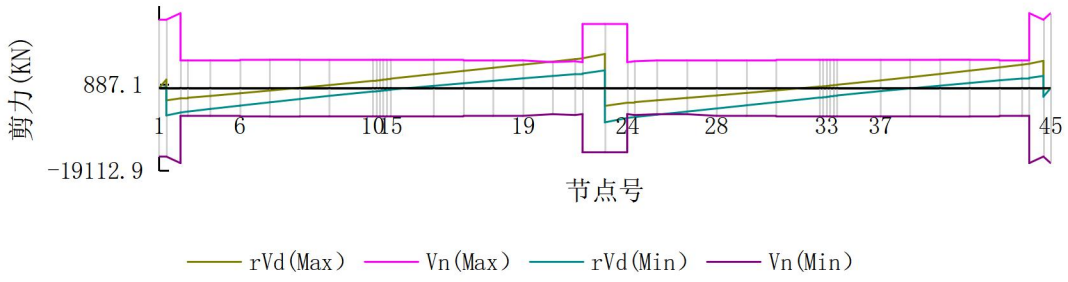


持久状况正截面抗弯验算包络图

结论：

按照《桥规》第 5.1.2-1 条 $\gamma_0 S \leq R$验算，结构的重要性系数*作用效应的组合设计最大值≤构件承载力设计值，满足规范要求；

6.3.2. 持久状况斜截面抗剪验算承载能力验算



持久状况斜截面抗剪验算包络图

结论：

按照《桥规》第 5.1.2-1 条 $\gamma_0 S \leq R$验算，结构的重要性系数*作用效应的组合设计最大值>构件承载力设计值，不满足规范要求；按照《桥规》第 5.2.11 或 8.4.4 条进行抗剪截面验算，满足规范要求；

现根据《公路桥梁加固设计规范》JTGT5431-2025 第 6.2.6 条进行局部加固设计：

1　钢板竖向粘贴时，其提供的抗剪承载力可按式(6.2.6-2)计算：

$$V_{vp} = \frac{1.0 \times 10^{-3} \psi_{vb} f_{sp} A_{vp} h_{vp}}{S_{vp}} \qquad (6.2.6\text{-}2)$$

式中：ψ_{vb}——考虑粘贴钢板抗剪受力状态及应力不均匀等影响的承载力修正系数，钢筋混凝土构件取0.8，预应力混凝土构件取0.51；

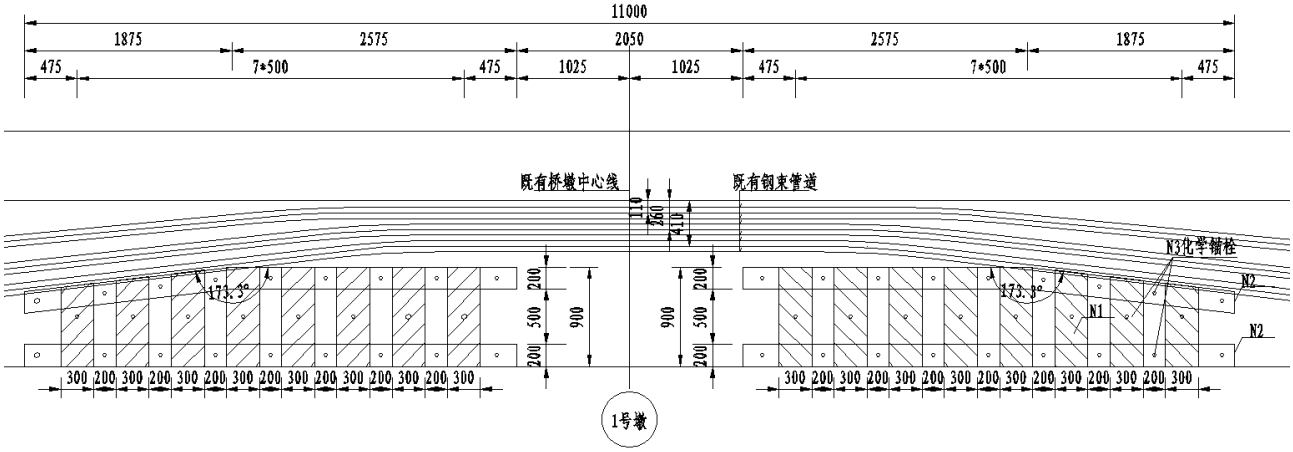
f_{sp}——加固钢板的抗拉强度设计值(MPa)，按本规范第4.3.5条的有关规定取值；

A_{vp}——配置在同一截面处钢板的截面面积之和(mm^2)，$A_{vp} = n_{vp} b_{vp} t_{vp}$；腹板单侧粘贴时，$n_{vp} = 1$，两侧粘贴时，$n_{vp} = 2$；

b_{vp}、t_{vp}——单块钢板宽度和厚度(mm)；

h_{vp}——钢板与梁黏结的竖向高度(mm)；

S_{vp}——粘贴钢板沿构件纵向的间距(mm)。



既有红宇大桥腹板加固立面图

选取最不利抗剪截面21号单元截面进行验算，截面抗剪承载能力为6008.4Kn.

设计抗剪承载能力为6908.9kn。

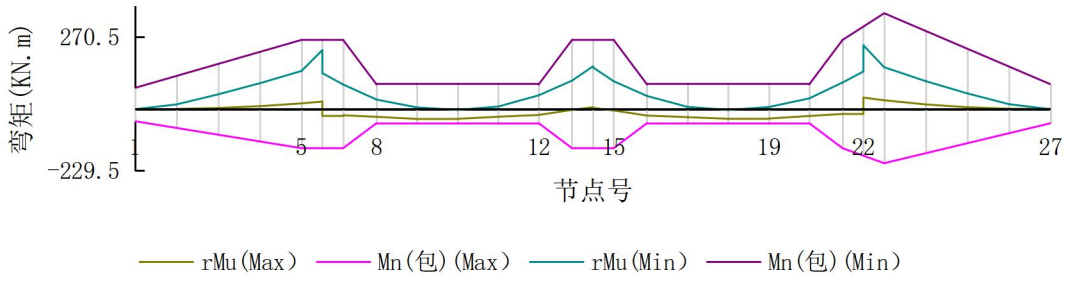
加固设计：钢板竖向粘贴时，其提供的抗剪承载力为

=0.51*275*2*12*300*900/500/1000=1817.64Kn，

安全系数为k=（6008.9+1817.64）/6908.9=1.13，满足《公路桥梁加固设计规范》JTGT5431-2025规范要求。

6.4. 桥面板验算

6.4.1. 持久状况正截面抗弯承载能力验算

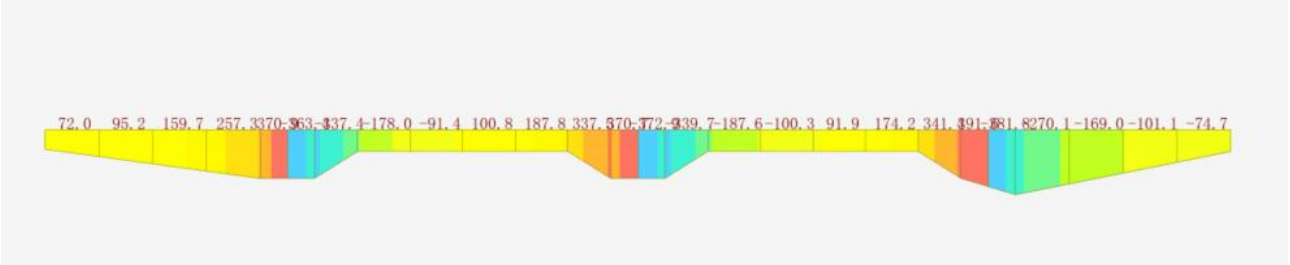


持久状况正截面抗弯验算包络图

结论：

按照《桥规》第 5.1.2-1 条 $\gamma_0 S \leq R$验算，结构的重要性系数*作用效应的组合设计最大值≤构件承载力设计值，满足规范要求；

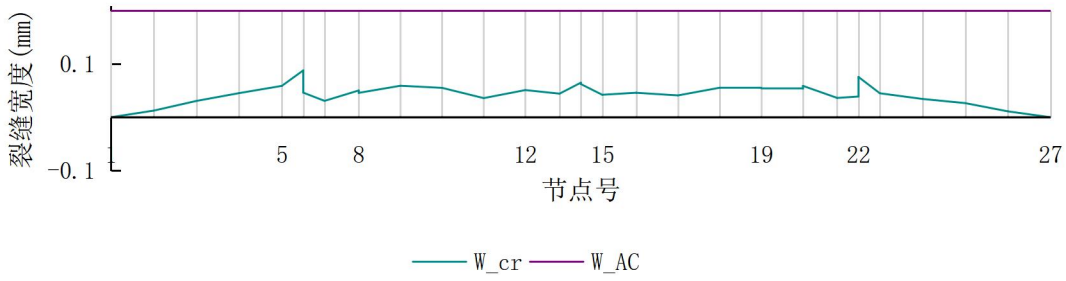
6.4.2. 持久状况斜截面抗剪承载能力验算



基本组合剪力包络图（k'n）

对 200mm 板（板宽 1m 考虑），抗剪承载力取 205.9kn，对 450mm 板（板宽 1m 考虑），抗剪承载力为 491.8kn，结合剪力图，桥面板抗剪承载力满足现行规范要求。

6.4.3. 使用阶段裂缝宽度验算



图表 1 使用阶段裂缝宽度验算包络图

结论：

按照《桥规》第 6.4 条验算：最大裂缝宽度为W_{fk}=0.088 mm≤裂缝宽度允许值 0.200 mm，满足规范要求；