

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.10.021

横坡对超大悬臂预应力盖梁的受力影响

林荃冰

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 为研究超大悬臂预应力盖梁的受力特性, 以福建省 G228 线香芹特大桥为工程背景, 采用桥梁博士 V4.4.1 软件建立 12 种横坡组合的盖梁模型, 分析横坡对盖梁受力的影响。计算表明, 横坡对超大悬臂盖梁的应力分布影响较大, 在数值分析中不可忽略, 设计时应充分考虑横坡角度对应力的影响, 以确保结构的安全性。

关键词: 超大悬臂预应力盖梁; 横坡; 结构设计; 受力分析

中图分类号: U441

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)10-0095-04

0 引言

随着城市路网建设的飞速发展和逐步完善, 人们对于桥梁的线型、结构性能、行车舒适度和使用寿命都提出了更高的要求; 与此同时还力求桥梁能在有限的用地界限中发挥出最大程度的空间能动性。由于超大悬臂盖梁能够适应有限的建设条件, 节约占地面积, 留出较大的桥下空间, 且造型简约大方, 通透性好, 因而在城市高架桥的设计中得到了广泛的应用^[1]。

实际上, 由于地形的限制, 桥梁平面线形多处呈曲线分布。为满足平面线形指标, 桥面横坡往往既有双向 2% 或 2.5% 的标准横坡段, 也存在着多处超高及超高渐变段, 并可能在渐变段内出现反向横坡。当桥面横坡较大而无法通过桥面铺装调节时, 可通过设置盖梁横坡, 同时调整垫石高度和桥面铺装的厚度来控制。本文以福建省国道 G228 线公路工程中的香芹特大桥为工程背景, 分析盖梁横坡对超大悬臂预应力混凝土盖梁受力的影响, 以期类似工程设计和计算分析提供参考。

1 工程概况

国道 G228 线泉港区界山东张至山腰普安公路工程为福建省泉州市中部快速通道, 也是泉港区中部南北向主要干道; 主线定位为一级公路兼城市主干道, 双向 8 车道, 设计车速 80 km/h。香芹特大桥

为 G228 主线桥之一, 左右幅均采用 $3 \times (4 \times 30 \text{ m}) + 5 \times 30 \text{ m} + (25 \text{ m} + 30 \text{ m} + 25 \text{ m}) + (36 \text{ m} + 54 \text{ m} + 36 \text{ m}) + (3 \times 30 \text{ m} + 25 \text{ m}) + (25 \text{ m} + 3 \times 30 \text{ m}) + 40 \text{ m} + (3 \times 30 \text{ m} + 29 \text{ m}) + (36 \text{ m} + 54 \text{ m} + 36 \text{ m}) + 4 \times 30 \text{ m} + 5 \times 30 \text{ m} + 40 \text{ m} + 3 \times (4 \times 30 \text{ m}) + 4 \times 25 \text{ m}$ 预应力混凝土连续小箱梁、连续组合钢箱梁, 全长 2 001.8 m。

香芹特大桥标准横断面图见图 1。

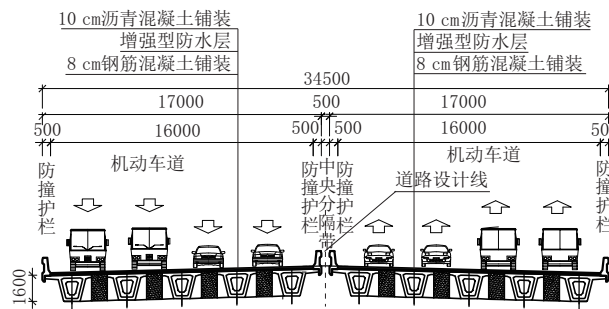


图 1 香芹特大桥标准横断面图(单位: mm)

2 盖梁结构尺寸和预应力钢束布置

本文选取香芹特大桥第 1 联连续梁中墩盖梁进行研究。该联上部结构为 $4 \times 30 \text{ m}$ 预制小箱梁, 左右幅各 5 片, 共 10 片。下部结构为超大悬臂预应力混凝土盖梁 + 双柱墩配桩基础。

2.1 盖梁结构尺寸

超大悬臂预应力混凝土盖梁构造图见图 2。

盖梁总长 32.7 m, 盖梁中心线处高度为 2.8 m, 悬臂端部高度为 1.5 m, 顺桥向宽度为 2.8 m, 不设超高时, 盖梁横坡为 2.5%; 双柱墩截面尺寸为 $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$, 中心间距为 9 m。

受超高的影响, 盖梁共设置 5 种横坡, 分别是 4%、2.5%、0%、-2.5%、-4%, 结合不同垫石高度, 共

收稿日期: 2024-03-07

作者简介: 林荃冰(1991—), 女, 硕士, 工程师, 从事桥梁设计工作。

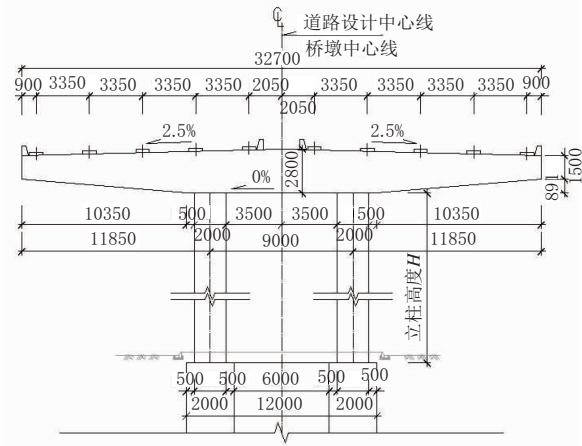


图2 超大悬臂预应力混凝土盖梁构造图(单位:mm)

同实现桥面横坡的变化。为研究横坡对超大悬臂盖梁的影响,列出可能出现的组合,如表1所列。

表1 超大悬臂盖梁横坡组合表

组合编号	左幅横坡 j1%	右幅横坡 j2%	组合编号	左幅横坡 j1%	右幅横坡 j2%
D1	0%	0%	D7	2.5%	-4%
D2	0%	-2.5%	D8	2.5%	2.5%
D3	0%	-4%	D9	2.5%	4%
D4	0%	2.5%	D10	4%	-4%
D5	0%	4%	D11	4%	-2.5%
D6	2.5%	-2.5%	D12	4%	4%

注:盖梁横坡j%以盖梁中心点指向悬臂端为正值。

2.2 预应力体系

盖梁预应力钢束布置图见图3。钢束N1~N3均采用6束 $\phi^{15.2-15}$ 的钢绞线。

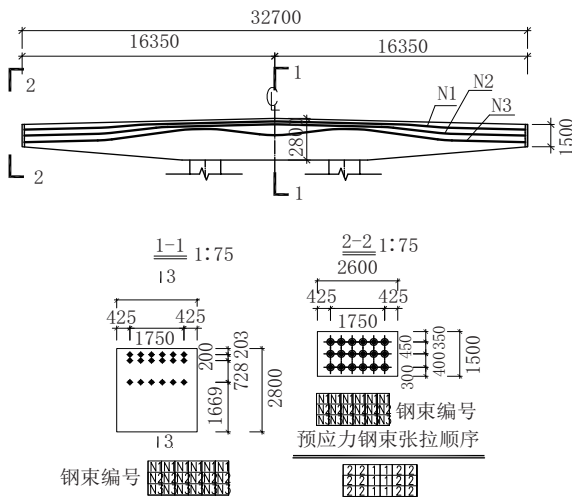


图3 盖梁预应力钢束布置图(单位:mm)

施工顺序如下:

- (1)立柱和盖梁预制拼装,张拉第1批预应力钢束。
- (2)施加上部恒载(一恒)。

(3)张拉第2批预应力钢束。

(4)施加上部恒载(二恒)。

为方便对比分析,几种盖梁模型除横坡不同外,其余结构尺寸、外部荷载、预应力钢绞线束数、预应力束相对梁顶的距离、施工顺序均相同。

2.3 盖梁仿真模型和计算参数

采用桥梁博士 V4.4.1 软件建模分析。边界条件为柱底固结、柱顶与盖梁刚接,按 A 类预应力混凝土构件计算。根据不同横坡组合,建立 12 个模型,图4为0%横坡的盖梁节段划分图。

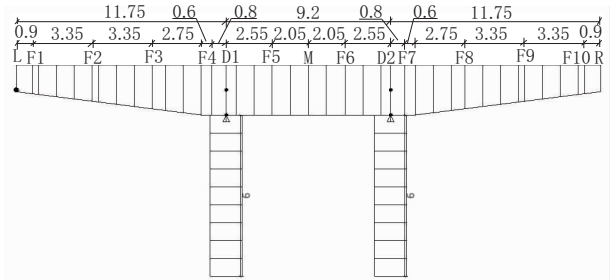


图4 0%横坡的盖梁节段划分图(单位:m)

设计荷载如下:

(1)一期恒载(盖梁自重):按构件实际断面并考虑构造因素,混凝土容重按 26 kN/m^3 计,钢材容重按 78.5 kN/m^3 计。

(2)二期恒载(上部恒载):梁体自重,以及桥面铺装、护栏、声屏障、管线等重量按集中荷载施加在盖梁支座位置。

(3)预应力:两端张拉,张拉控制应力 1302 MPa 。

(4)汽车荷载:公路-I级(按城-A级复核),计算时利用桥梁博士软件进行横向最不利加载。

(5)人群荷载:按《城市桥梁设计规范(2019年版)》(CJJ 11—2011)第10.0.5条取值。

(6)温度荷载:整体温度按升温 $+30 \text{ }^\circ\text{C}$ 、降温 $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 计;温度梯度按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)第4.3.12条取值。

(7)收缩徐变: 3650 d ,环境湿度77%。

(8)风荷载:按B类地表考虑,基本风速(100 a一遇) 40.0 m/s ,与汽车活载组合时,取桥面高度处的风速为 25 m/s ;静风荷载标准值按《公路桥梁抗风设计规范》(JTG/T 3360-01—2018)中相关条款取值,且考虑高 3.5 m 声屏障的影响。

(9)基础不均匀沉降: 0.005 m 。

3 计算结果对比分析

3.1 承载能力极限状态计算结果

承载能力极限状态下,计算得到各盖梁最不利

截面的弯矩及对应抗力,见表3。

表3 各盖梁最不利截面的弯矩及对应抗力

组合编号	最不利弯矩 / (kN·m)	承载能力 / kN	斜截面最不利剪力 / kN
D1	-93 573.2	-111 959.6	16 527.6
D2	-93 590.5	-111 959.6	16 613.4
D3	-93 600.6	-121 630.5	16 664.9
D4	-93 599.6	-105 998.3	16 441.8
D5	-93 628.3	-102 664.0	16 392.2
D6	-93 617.2	-105 998.9	16 613.4
D7	-93 626.9	-105 998.8	16 664.9
D8	-93 583.5	-106 001.4	16 441.8
D9	-93 597.3	-102 515.6	16 390.3
D10	-93 636.6	-102 538.1	16 664.9
D11	-93 628.8	-102 569.6	16 613.4
D12	-93 584.8	-102 521.5	16 390.3

承载能力极限状态下,盖梁最不利弯矩均出现在墩顶,为负弯矩。由表3可知,采用不同的横坡组合时,盖梁墩顶最大负弯矩的变化幅值最大仅为0.07%,斜截面最不利剪力的变化幅值最大仅为0.8%。可见横坡对盖梁最不利弯矩和剪力的影响几乎可以忽略不计。

3.2 正常使用极限状态计算结果

正常使用极限状态下,计算得到各盖梁的应力,见表4。由表4可见,所有盖梁上下缘均不出现拉应力,均能满足《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362—2018)要求。

表4 各盖梁正常使用极限状态应力表 单位:MPa

组合编号	短期效应组合		长期效应组合	
	上缘 σ_{min}	下缘 σ_{min}	上缘 σ_{min}	下缘 σ_{min}
D1	1.21(ZD)	4.49(F3)	2.62(ZD)	4.49(F3)
D2	1.21(ZD)	3.63(F8)	2.62(ZD)	3.62(F8)
D3	1.21(ZD)	3.17(F8)	2.62(ZD)	3.15(F8)
D4	0.46(YD)	4.49(F3)	1.90(YD)	4.49(F3)
D5	0.24(YD)	4.49(F3)	1.56(YD)	4.49(F3)
D6	0.46(ZD)	3.63(F8)	0.46(ZD)	3.63(F8)
D7	0.46(ZD)	3.17(F8)	1.89(ZD)	3.15(F8)
D8	0.46(ZD)	5.50(F8)	1.90(ZD)	5.52(F8)
D9	0.25(YD)	5.50(F3)	1.56(YD)	5.52(F3)
D10	0.24(ZD)	3.17(F8)	1.56(ZD)	3.15(F8)
D11	0.18(ZD)	3.63(F8)	1.53(ZD)	3.62(F8)
D12	0.25(ZD)	6.18(F5)	1.57(ZD)	6.21(F5)

注: ZD表示左墩, YD表示右墩; Fn表示第n片小箱梁支点位置。

保持盖梁一侧横坡不变为0%,而令另一侧横坡变化,对比D1~D5计算结果,如图5所示。其中,短期和长期效应组合的盖梁下缘最小正应力曲线基本重合,上下缘最小正应力体现出相反的变化趋势。当横坡方向为负时,上缘最小正应力值基本不变;下缘最小正应力值随着横坡增大而变小,当横坡为-2.5%和-4%时,分别比0%的横坡减小19.2%和29.4%。当横坡方向为正时,下缘最小正应力值基本不变;上缘最小正应力值随着横坡增大而变小,当横坡为2.5%和4%时,分别比0%的横坡减小62.0%和80.2%。由此可见,当横坡方向为正时,横坡对盖梁正应力的影响比横坡方向为负时更为明显。

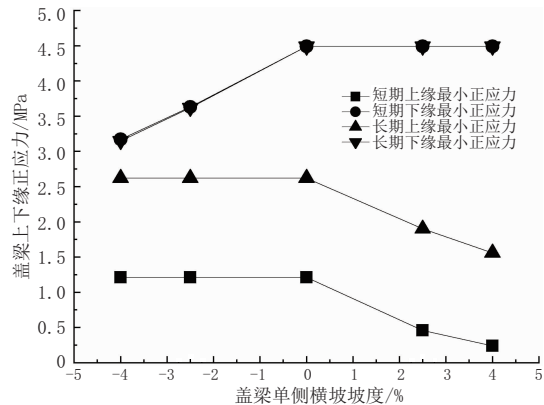


图5 仅一侧横坡坡度变化时的盖梁应力图

盖梁两侧横坡均发生同等幅度变化时,汇总D1、D8、D12计算结果,如图6所示。其中,短期和长期效应组合的盖梁下缘最小正应力曲线基本重合。横坡为双向2.5%和4%的情况下,与0%的大横坡相比,短期效应组合的盖梁上缘最小正应力分别减小62.0%和79.3%;下缘最小正应力分别增加23.8%和37.6%;长期效应组合的盖梁上缘最小正应力分别减小27.2%和39.8%,下缘最小正应力分别增加22.9%和38.3%。双向横坡对短期效应组合的盖梁上缘最小正应力影响最大,可能导致其应力富余度急剧减小。

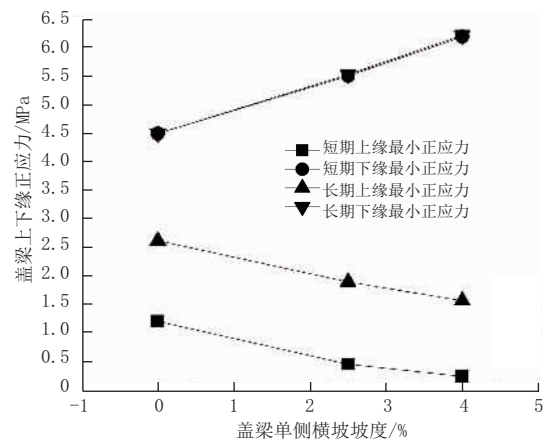


图6 两侧横坡坡度同时变化时的盖梁应力图

3.3 持久状况计算结果

持久状况下,计算得到各盖梁最不利截面的正压应力和主压应力,见表5。

表5 各盖梁持久状况应力表 单位:MPa

组合编号	正压应力		主压应力
	上缘 σ_{\max}	下缘 σ_{\max}	
D1	11.48	12.78	10.64
D2	11.59	12.78	10.67
D3	11.64	12.79	10.71
D4	11.48	14.31	10.64
D5	11.48	14.76	10.82
D6	11.59	14.32	10.70
D7	11.64	14.32	10.71
D8	11.36	14.31	10.58
D9	11.36	14.76	10.82
D10	11.64	14.76	10.83
D11	11.58	14.89	10.90
D12	11.29	14.75	10.82

计算结果显示,持久状况下,盖梁横坡变化时,上缘最大正应力变化幅值仅为1.4%~1.7%,主压应力变化幅值仅为0.6%~2.4%,几乎可忽略不计;下缘最大压应力则呈现出了一定的增长率,在一侧4%、另一侧-2.5%的横坡组合下(D11),较无横坡状态增大了16.5%,更接近容许值。

3.4 短暂状况计算结果

施工阶段各盖梁上下缘最大压应力和拉应力计算结果如表6所示。

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),盖梁压应力允许值为 $0.70 f_{ck}$ (f_{ck} 短暂状况施工阶段的混凝土轴心抗压强度标准值) $=0.70 \times 32.4=22.68$ MPa。当上缘配筋率不小于0.4%时,拉应力允许值不大于 $1.15 f_{tk}$ (f_{tk} 短暂状况施工阶段的混凝土轴心抗拉强度标准值) $=1.15 \times 2.65=3.05$ MPa。如表6所示,在盖梁横坡变化时,最大压应力几乎不发生变化,当一侧存在4%的横坡时,盖梁上缘最大拉应力较无横坡状态增大10%,更接近允许值。

表6 各盖梁短暂状况应力表 单位:MPa

组合编号	最大压应力	最大拉应力
D1	12.67	-2.30
D2	12.68	-2.30
D3	12.68	-2.30
D4	12.67	-2.30
D5	12.67	-2.52
D6	12.69	-2.44
D7	12.68	-2.43
D8	12.60	-2.43
D9	12.60	-2.52
D10	12.68	-2.53
D11	12.69	-2.52
D12	12.54	-2.52

4 结语

(1)盖梁横坡对承载能力极限状态下的盖梁最大弯矩和斜截面剪力、持久状况和短暂状况下的盖梁应力计算结果影响均较小,但对正常使用极限状态下的盖梁上下缘正应力影响较大。在设计超大悬臂预应力盖梁时,必须对横坡角度进行合理控制,以避免盖梁应力水平超限。

(2)当横坡方向为正时,横坡对盖梁正应力的影响比横坡方向为负时更为明显。

(3)双向横坡对短期效应组合的盖梁上缘最小正应力影响最大,可能导致其应力富余度急剧减小。

(4)横坡角度的改变会导致盖梁应力分布的变化。超大悬臂盖梁不考虑横坡时,计算结果将偏于保守。计算模型中考虑横坡,能够更准确地模拟盖梁的受力状态,更好地优化配筋和配束,确保结构的稳定性和安全性。在某些情况下,横坡角度的增大可能导致盖梁某些部位应力水平提高。因此,设计时应充分考虑横坡角度对盖梁应力的影响,以确保结构的安全性。

参考文献:

- [1] 王银桥,李朝晖,陈泉,等.大悬臂预应力混凝土盖梁受力特性分析
[J].城市道桥与防洪,2007(5):100-102.