

某高墩大跨连续刚构桥主墩优化设计研究

毛远文¹,任科²

(1.贵阳市城市建设投资集团有限公司,贵州 贵阳 580023;2.中铁二院贵阳勘察设计院有限责任公司,贵州 贵阳 550002)

摘要: 选择合理的桥墩型式是降低高墩大跨连续刚构桥造价的有效措施。以瓦厂特大桥的设计为背景,将原设计主墩采用的组合墩墩型,优化成单肢空心薄壁墩,通过建立各墩型的空间有限元模型,进行对比分析。结果表明:两种主墩墩型的梁部应力水平相当;单肢空心墩稳定性优于组合墩;在最大双悬臂施工状态下,采用单肢空心薄壁墩强度安全系数较组合墩小,但成桥后安全系数相当;采用单肢空心薄壁墩经济性优于组合墩,能大幅节省造价,在施工质量与工期方面具有明显的优势。研究结果可为今后山区同类的桥梁提供一定的借鉴和参考意义。

关键词: 连续刚构桥;双肢薄壁墩;墩型;组合墩;单肢空心薄壁墩

中图分类号: U448.23+1

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)04-0103-04

0 引言

山区高速公路桥隧里程比高,造价普遍较高,降低工程造价是设计中需要重点考虑的问题。对于高墩大跨连续刚构桥,选择合理的主墩型式,从设计方案的选择上降低工程造价是最有效的措施^[1]。

高墩设计一般由风荷载控制设计,墩底受力比墩顶大,变截面、放坡桥墩在受力上更为合理,更符合内力分布规律,但施工便利性较差。双肢空心薄壁墩相比单肢空心薄壁墩的优越之处在于,其顺桥向抗推刚度较小,可适应徐变温度等变形影响^[2]。但如果主墩墩身较高,已有较好的柔度,与单肢空心薄壁墩相比,优势并不明显,可将双肢薄壁墩优化为单肢空心墩,以减少主墩工程量,节省造价。

1 工程概况

贵州省金沙经仁怀至桐梓高速公路属于地方高速公路项目。该路线全长 102.361 km,桥隧比为 50.49%。全线共设互通式立交 12 处,其中 4 处枢纽互通,设 2 处服务区,2 处停车区,匝道收费站 10 处。

瓦厂特大桥桥址属低山河谷地貌区,横跨河谷,地形起伏大,地面标高介于 846.2~1 053.21 m 之间,桥面与河底高差较大,相对高差 207.01 m。小里程侧谷坡植被茂密,多为耕地。大里程侧坡为陡坎,基岩裸露。主要技术标准如下:

(1)设计汽车荷载:公路—I 级。

(2)设计时速:80 km/h。

(3)桥梁所处环境类别:I 类。

(4)桥面宽度:分幅设计,每幅宽度为 0.55 m(SS 防撞护栏)+11.45 m(车行道)+0.55 m(SS 防撞护栏)=12.55 m。

(5)抗震设防标准:地震动峰值加速度为 0.05g,地震动反应谱特征周期为 0.35 s,桥区地震基本烈度为 VI 度,桥梁抗震设防类别为 B 类,抗震措施等级为二级。

(6)设计基本风速:由于桥位处无实测值,设计参考规范取值,设计基本风速值 24.2 m/s(1/100)。

(7)设计洪水频率:1/300,该桥不受最高洪水位控制因素影响。

瓦厂特大桥桥位属于整体式路基,分左、右两幅,单幅宽度为 12.55 m,左幅主桥上部采用(95+2×180+95)m 连续钢结构,右幅主桥上部采用(95+2×180+103)m 连续刚构结构。1 号主墩墩高 105 m,2 号主墩墩高 148 m,3 号主墩墩高 145 m,桥型布置如图 1 所示。主梁采用单箱单室直腹板箱形截面,跨中处梁高 4.0 m,支点处箱梁中心梁高 11.5 m,箱梁高度按 1.8 次抛物线变化,箱梁顶宽 12.55 m,底宽 6.55 m,翼缘板长 3 m。顶板厚 0.3 m,底板厚 0.32~1.2 m,腹板厚按 0.55、0.7、0.85、1 m 三大段变化。

2 瓦厂特大桥主墩墩型优化前后对比

2.1 1 号主墩

原初步设计 1 号主墩采用双肢等截面空心薄壁墩,

收稿日期: 2023-04-26

作者简介: 毛远文(1987—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计及技术管理工作。

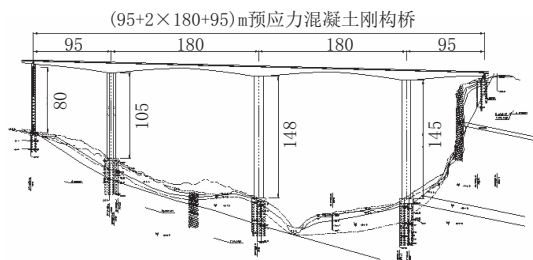


图1 桥型布置(仅示左幅,单位:m)

墩身横桥向 6.55 m,顺桥向 3.5 m,横向壁厚 0.8 m,纵向壁厚 0.75 m,双肢墩顺向净距为 4 m,顺桥向不设置系梁,横桥向设置一道系梁连接左右幅墩身。施工图阶段维持原设计,主要构造尺寸如图 2 所示。

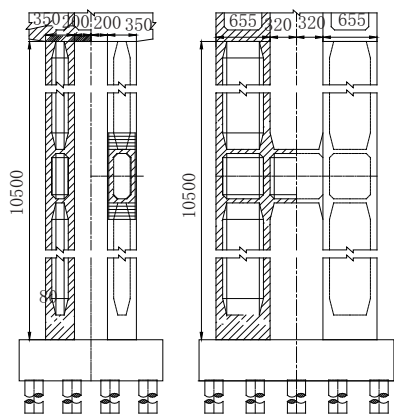


图2 1号主墩构造立面(单位:cm)

2.2 2、3号主墩

(1)原初步设计 2、3 号主墩采用上端双肢空心薄壁墩+下端整体空心墩的组合墩形式。上端双肢空心薄壁墩高 80 m,双肢薄壁墩为矩形空心截面,墩身横桥向 6.55 m(与上部箱梁底板同宽),顺桥向 3.5 m,双肢墩顺向净距为 4 m,横向壁厚 0.8 m,纵向壁厚 0.75 m。下端将双肢薄壁空心墩纵向连成整体,形成单箱三室空心墩,横桥向 6.55 m,顺桥向 11 m,横向壁厚 0.8 m,纵向壁厚 0.75 m。双肢墩顺向不设置系梁,左、右幅桥墩在横向设置 3 道横系梁。主要构造尺寸如图 3 所示。

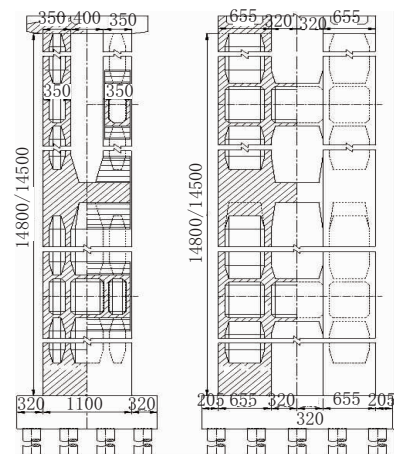


图3 2号和3号主墩原设计构造立面(单位:cm)

(2)优化设计:原初步设计采用的组合墩下半段整体式、上半段双肢式在构造上(尤其在两段墩身连接处构造)较复杂,竖向传力途径不明确,在施工方面同样较复杂,效率不高。

本桥主墩墩高突破 145 m,采用变截面、放坡桥墩更符合内力分布规律,但施工复杂,便利性较差。由于瓦厂特大桥位于整体式路基范围内,横桥向可以设置系梁,增加横向刚度,整体的抗风及抗震性均能得到较大改善,并且设置系梁减小了横向桥墩计算长度系数,改善了整体稳定性,故本桥横桥向无需采用变截面、放坡桥墩形式。

综上,为节约投资、方便施工、保证结构受力安全,将 2 号和 3 号主墩优化为单肢等截面空心薄壁墩,横桥向宽 6.55 m(与上部箱梁底板同宽),顺桥向宽 11 m,壁厚 0.8 m,左、右幅桥墩在横向设置 3 道横系梁,左、右幅采用承台合修,承台尺寸均为 17.4 m × 23.6 m × 5.0 m,主墩桩基均采用直径为 2.2 m 钻(挖)孔灌注桩,主要构造尺寸如图 4 所示。

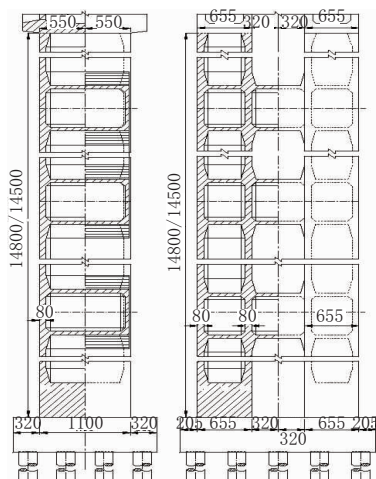


图4 2号和3号主墩优化后的构造立面(单位:cm)

3 结构设计分析

采用 MIDAS 有限元软件建立空间计算模型,模拟整幅双主墩,整体式承台。其中,主墩横向通过设置横撑梁单元将左、右幅连成一体,桩基底按固结处理,采用 m 法模拟桩土作用,墩梁固结(见图 5)。根据桥梁结构的使用功能,确定结构上的作用,建立计算简图,设定基本假定,求解结构的作用效应^[3]。

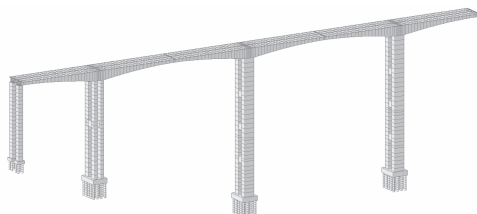


图5 瓦厂特大桥空间有限元模型

3.1 主梁应力水平对比

基于材料屈服的全塑性假定,借助有限元软件对上部结构按承载能力极限状态、使用阶段应力进行验算,计算的部分结果见表1、表2。

表1 成桥阶段主梁正应力对比			单位:MPa
工况	位置	组合墩	单箱墩
标准组合	支点上缘	-4.8	-5.1
	跨中下缘	-2.2	-2.4
频遇组合	支点上缘	-1.3	-1
	跨中下缘	-1.4	-1.5

表2 成桥阶段主梁主应力对比			单位:MPa
墩身类型	项目	值	
组合墩	最大主压应力	-15.6	
	最大主拉应力	-1	
单箱墩	最大主压应力	-15.6	
	最大主拉应力	-1.1	

由计算可知,运营阶段主梁上缘、下缘的正截面拉应力、压应力及斜截面主应力均满足规范要求^[4]。主墩采用箱墩或组合墩,对梁部应力影响较小,主梁应力水平相当。

3.2 稳定性分析对比

以稳定性理论为基础,运用空间有限元法对主桥在施工最大双悬臂状态和成桥运营阶段进行稳定性分析,结果见表3。

表3 成桥阶段和施工阶段屈曲稳定安全系数			
阶段	类型	失稳系数	失稳类型
成桥阶段	组合墩	9.91	边墩纵向失稳
	单肢空心墩	15.9	边墩纵向失稳
施工阶段	组合墩	7.61	2#主墩纵向失稳
	单肢空心墩	11.5	2#主墩纵向失稳

单肢空心墩稳定性优于组合墩,成桥运营阶段弹性屈曲的结构稳定安全系数均大于4.0,满足规范要求^[5]。

3.3 主墩墩身强度对比

两种主墩墩型在最大双悬臂施工状态下的墩身(2#主墩)内力云图如图6、图7所示,其余结果详见表4和表5。

通过分析可以发现,在最大双悬臂施工状态下,采用单肢空心薄壁墩安全系数较组合墩小,但成桥后安全系数相当,主墩墩身强度均满足规范要求。

4 经济性对比

根据有限元计算结果,对两种主墩形式的墩身

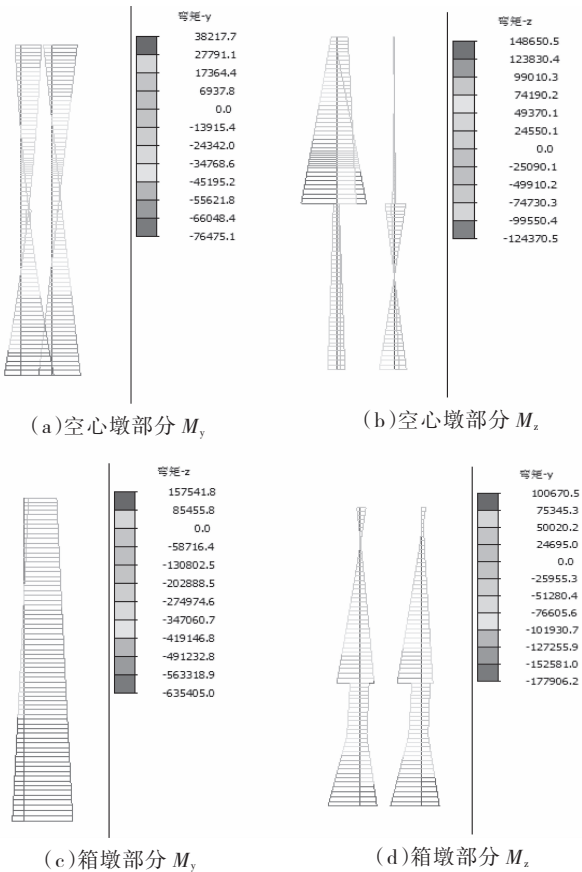


图6 组合墩最大悬臂状态下墩身内力(单位:kN·m)

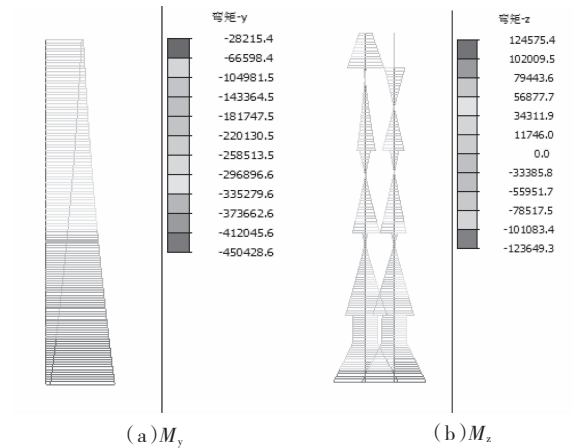


图7 单肢空心墩最大悬臂状态下墩身内力(单位:kN·m)

表4 最大双悬臂施工状态下2#主墩墩身内力对比

墩身类型	方向	墩顶		墩底	
		最大弯矩 / (kN·m)	安全系数	最大弯矩 / (kN·m)	安全系数
组合墩	M_y	41 329	1.94	522 192	2.36
	M_z	32 234	4.72	138 565	2.33
单肢空心墩	M_y	-245 370.6	2.04	-450 428.6	1.32
	M_z	-24 186.49	5	239 322	2.07

进行截面配筋设计,主墩墩身主要工程数量见表6。

由表6可以看出,采用单肢空心墩的混凝土用量比组合墩节约25.2%,钢筋用量节约16.6%。单肢

表 5 成桥状态(百年风 W2)下 2# 主墩墩身内力对比

墩身类型	方向	墩顶		墩底	
		最大弯矩 / (kN·m)	安全 系数	最大弯矩 / (kN·m)	安全 系数
组合墩	M_y	54 001	2.21	289 936	2.59
	M_x	23 092	5.03	200 615	2.7
单肢空心墩	M_y	223 389	4.6	299 740	2.62
	M_x	17 416	6	188 616	2.76

表 6 主墩墩身主要工程数量

主墩形式	混凝土 /m ³	钢筋数量 /t
组合墩	10 922	1 082.8
单肢空心薄壁墩	8 165	902.5

空心薄壁墩经济指标优于组合墩,同时较组合墩施工便利,对降低造价和缩短工期是非常明显的。

5 结 论

将瓦厂特大桥主桥原初步设计采用的组合墩墩型优化成单肢空心墩,通过建立空间有限元模型进行对比分析,得出以下结论:

(1)本桥采用的两种主墩墩型,主梁梁部应力水

平相当,但在稳定性方面,单肢空心墩优于组合墩。

(2)在最大双悬臂施工状态下,采用单肢空心薄壁墩安全系数较组合墩小,但成桥后安全系数相当,主墩墩身强度均满足规范要求。

(3)采用单肢空心薄壁墩经济性优于组合墩,在墩身强度满足要求的前提下,采用单肢空心薄壁墩比组合墩在造价上能大幅节省,并在施工质量与工期方面有明显的优势。

(4)若主墩墩身较高,但主桥位于整体式路基的情况下,可不采用变截面、放坡的桥墩形式,选用等截面的单肢空心薄壁墩,两幅主墩之间设置系梁,整体横向刚度较大,施工便利性最优。

参考文献:

[1] 陈士刚,吴先树.超高墩大跨连续刚构主墩形式研究及关键技术[J].公路,2012(5):104-108.
[2] 刘明慧.单肢空心墩和双肢实心墩在高墩连续刚构主墩方案中的比选研究[J].城市道桥与防洪,2017(5):131-133.
[3] 中交公路规划设计院.公路钢筋混凝土预应力混凝土桥涵设计规范应用指南[M].北京:人民交通出版社,2018.
[4] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
[5] JTG/T D65—05—2015,公路悬索桥设计规范[S].

(上接第 102 页)

改建,从考虑尽量利用现状桥梁,减少废弃工程量,并降低对现状交通影响出发,保留利用及拼宽后利用的现状桥梁,结合详勘资料及老桥检测报告,本工程采用上部结构连接,下部结构不连接的方式。

(2)在设计中,增加桩长、桩底注浆;在施工中,先预压新建拼桥,再施工拼缝;在材料上,选用微膨胀混凝土。以此来减小新桥沉降,提高拼缝的耐久性。

(3)保留利用及拼宽后利用的现状桥梁,除了按照原荷载标准及原设计标准执行,还要考虑沉降引

起的荷载。纵向计算表明老桥拼宽后,老桥的荷载增加较小。横向计算表明,拼缝受力主要由活载和沉降控制,建模计算时通过考虑支座脱空(仅受压支座),减小软件计算沉降引起的内力。

参考文献:

[1] 万鹏,丁兴国.沪宁高速公路(上海段)桥梁拼接设计与分析[J].中国市政工程,2007(2):10-12.
[2] 李广信,张丙印,于玉贞.土力学(第2版)[M].北京:清华大学出版社,2013.
[3] 肖明亮,张锐.铰接空心板梁格法虚拟横梁截面特性取值研究[J].桥隧工程,2013(5):129-131.