

昌景黄铁路高框架墩设计关键技术研究

邢雨,左家强,万明

(中国铁路设计集团有限公司,天津市300142)

摘要:首先分析了目前国内最高的铁路框架墩结构——南昌经景德镇至黄山铁路高达43 m框架墩的受力特点,并结合具体工点开展了双层框架墩方案与原方案的比较,最后通过有限元模型分析了双层结构方案的可行性。研究结果表明:(1)铁路框架墩以承受竖向荷载为主,其结构可以用输入基础刚度刚架模型进行模拟;(2)对于本工点而言,双层框架墩方案较原方案造价节省7%,并且更加安全、美观;(3)本工点采用放坡增大墩宽的方法可确保结构纵向刚度;(4)按照双层框架墩方案提出的结构尺寸及配束方案,横梁、墩柱运营工况及施工工况下各检算结果均满足《铁路桥涵设计规范》(TB 10002—2017)要求。

关键词:铁路;框架墩;高墩;双层;刚度

中图分类号:U449.1

文献标志码:A

文章编号:1009-7716(2022)09-0086-05

0 引言

在铁路桥梁建造中,部分地区由于既有道路及管线错综复杂,桥梁小角度交叉点越来越多,而框架墩结构由于灵活的布置方式,应用越来越广泛。我国铁路采用跨区间无缝线路,为了保证桥上无缝线路的稳定性和安全性,同时保证桥梁结构的受力安全,桥墩具有一定的刚度要求,因此桥墩越高,尺寸往往越大。

田万俊等^[1]对城市轻轨铁路中采用的预应力混凝土框架墩的设计要点和方法进行了详细介绍;宋顺忱等^[2-3]对津秦客运专线连续梁-框架墩体系结构刚度、空间受力行为、地震响应、温度变形对结构体系的影响、铺设无砟轨道的适应性等关键问题进行了研究;张世基^[4]对重载铁路大跨度预应力混凝土框架墩进行了实例分析;孙智峰^[5]、历付^[6]对铁路钢横梁框架墩设计进行了研究。

目前国内铁路尚无40 m以上高度框架墩结构。因此,在设计这种结构时,需要依据铁路框架墩的受力特点,依据工点具体情况,制定合适的设计方案。

1 工程概况

南昌经景德镇至黄山铁路工程(昌景黄铁路)景北折返线19~22号墩,初步设计拟采用框架墩结构

形式跨越景北右线(下层铁路)及瓷源路(最下层公路),其墩高36.5~43 m。昌景黄铁路为中国铁设EPC总承包项目,设计单位提供的初步设计方案立面图、平面图见图1、图2。

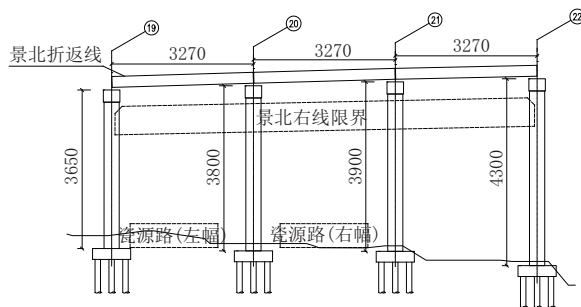


图1 初步设计方案立面图(单位:cm)

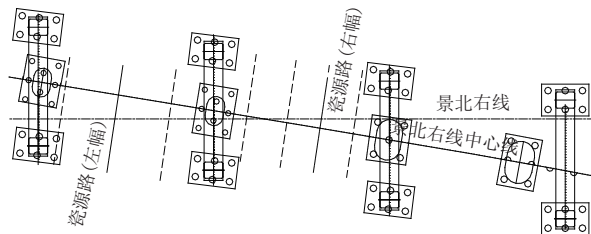


图2 初步设计方案平面图

景北折返线、景北右线以下分别简称上层铁路、下层铁路,关键边界条件如下:

(1)线路条件:上下层均为单线铁路;设计速度目标值200 km/h;景北折返线位于直线段落,景北右线位于缓和曲线段落($R=800$ m)。

(2)轨道标准:上下层均铺设无缝线路,单位长度钢轨质量60 kg/m。

(3)轨道类型及轨道高度:上下层均采用有砟轨道,轨顶(内轨轨面)至梁顶0.886 m。

收稿日期:2022-01-04

基金项目:中国铁路设计集团有限公司科技开发课题(2019YY320609)

作者简介:邢雨(1992—),男,硕士,工程师,从事铁路桥梁设计工作。

(4)设计活载:ZK 活载。

(5)地震动峰值加速度 $a=0.05g$,地震动反应谱特征周期 0.35 s 。

2 铁路框架墩受力特点研究

2.1 铁路框架墩荷载特点研究

铁路框架墩结构平面一般垂直于线路方向(或稍微偏离垂线),其承受的荷载可以分为平面外荷载、平面内荷载、其他荷载。

铁路框架墩所承受的平面外荷载一般包括:纵向风力、钢轨伸缩力、钢轨挠曲力、钢轨断轨力、列车制动力、顺桥向地震力等。当受到顺线路方向的作用力时,其结构模型类似于普通铁路桥墩,结构模型可以抽象为一端固结的悬臂杆,计算比较简单,但墩顶纵向位移对结构尺寸影响较大。

铁路框架墩索承受的平面内荷载又分为竖向力与横向水平力。一般来说,铁路框架墩承受较大的竖向荷载,通过支座直接作用在框架墩横梁上,包括箱梁与轨道结构质量、列车竖向荷载、运架梁荷载等。以昌景黄铁路单线 32 m 有砟简支梁为例,其支座竖向反力见表 1。

表 1 支座竖向反力 单位:kN

支座位置	箱梁	二恒	活载 1	活载 2	运梁	架梁
运架起 点侧 左侧	927	995	751	671	2 640	0
点侧 右侧	927	995	751	671	2 640	0
运架终 点侧 左侧	927	995	592	671	2 640	3 209
点侧 右侧	927	995	592	671	2 640	3 209

铁路框架墩所承受的横向水平力包括离心力、摇摆力、横向风力等。横向水平力造成横向挠度、水平折角,是横向刚度的主要控制荷载。横向水平力对平面内结构内力也有一定影响,但数值较小,以横向摇摆力为例,《铁路桥涵设计规范》(TB 10002—2017)规定,高速铁路横向摇摆力取 80 kN,与竖向荷载不在一个数量级。

其他荷载包括基础不均匀沉降、温度荷载等,一般与结构刚度、基础刚度关联性较大;刚度越大,沉降及温度造成的内力越大^[7]。

2.2 铁路框架墩内力特点研究

框架墩下部一般采用桩基础,一些研究认为框架墩力学模型可以抽象为下部约束是介于铰接与固结之间的刚架结构,但需要研究得出结论。根据上述分析,铁路框架墩所承受的荷载主要为通过支座传递下来的竖向集中力,故可以通过建立 Midas 模型,

分析框架墩受力特点。

图 3~图 5 为同一结构尺寸的刚架墩底分别为固结、铰接以及采用输入基础刚度^[8]时,横梁施加 1 000 kN 竖向力时的弯矩图,其中输入刚度与实际常规铁路框架墩所采用的刚度数量级基本一致^[8]。

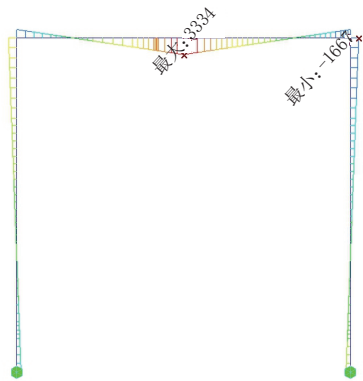


图 3 固结模型弯矩图(单位:kN·m)

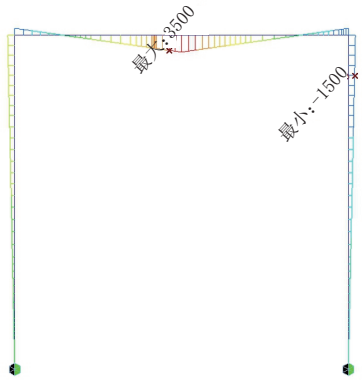


图 4 铰接模型弯矩图(单位:kN·m)



图 5 输入刚度模型弯矩图(单位:kN·m)

由图 3~图 5 可知,输入刚度模型受力特点与固结刚架模型基本一致。进一步建立不同基础刚度的 Midas 模型,得到如下结论:

(1)输入刚度模型在荷载作用下存在整体位移,而固结模型不存在。

(2)固结模型在温度及基础不均匀沉降作用下造成的内力非常大,相当于输入刚度模型的基础刚度提高数个数量级。

因此,铰接模型与铁路框架墩实际受力特点不

符;固结模型相对保守,会造成不必要的投资;输入刚度模型较为符合铁路工程实际。

3 双层方案研究

通过对边界条件的梳理,可以发现上下层铁路桥跨布置基本对应,且均属昌景黄铁路项目,可以同期施工。因此可以研究双层框架墩方案,与原初步设计方案进行对比。

由图2可知,初步设计方案中景北右线与景北折返线桥跨布置不一致,并存在较大夹角,因此作如下调整:

(1)下层景北右线18~19号墩之间原为24.6 m简支梁,19~20号墩之间原为32.6 m简支梁,为了与上层景北折返线跨度基本一致,将2片梁位置对调,即18~19号墩之间改为32.6 m简支梁,19~20号墩之间改为24.6 m简支梁。

(2)原初步设计框架墩横梁中心线与上层景北折返线垂直,并与下层景北右线存在较大交叉角度。双层框架墩布置时,横梁中心线与景北折返线、景北右线均存在较小的斜交角度,以免横梁过宽或增加齿块结构。

(3)调整框架墩平面位置,使得上下层箱梁合力作用于横梁中心线。

调整后的双层框架墩方案立面、平面布置图见图6~图8。

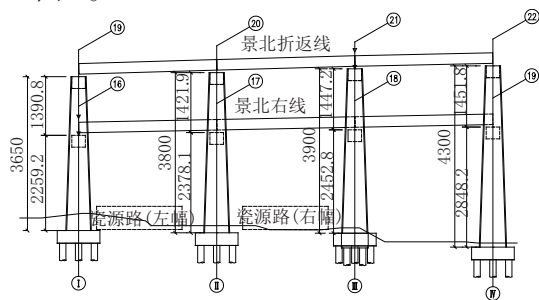


图6 双层框架墩方案立面图(单位:cm)

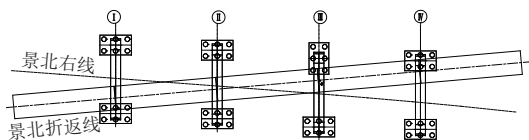


图7 双层框架墩方案平面图(上层)

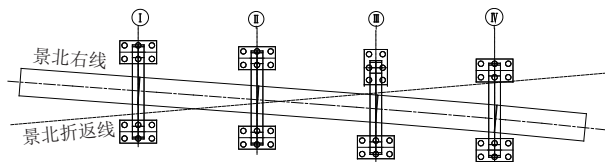


图8 双层框架墩方案平面图(下层)

双层框架墩方案与原方案相比,少了4个普通桥墩及相应的桩基础,但是多了4个横梁及相应的

预应力。因此,在控制相同计算指标的情况下,对其工程量及投资进行比较。方案工程量及投资对比见表2。

表2 方案工程量及投资对比

方案	混凝土 /m ³	钢筋 /t	钢绞线 /t	桩基/m		花费/ 万元
				1.0	1.5	
原方案	8 907	1 193	50	1 115	1 440	1 733.2
双层方案	7 860	1 168	100		1 734	1 604.5

由表2可见,双层框架墩方案较原方案节省投资128.7万元,造价节省7%。

除此之外,双层框架墩方案还存在以下优点:

(1)双层方案超静定次数较高,具有较强的结构鲁棒性,安全可靠^[9-10]。

(2)双层方案多一道横梁,极大改善了横向刚度,避免了墩体横向放坡。

(3)从模型图上看,双层方案十分稳重,给人以一种安全感,并且双层方案避免了原方案单层框架墩+普通墩交错杂乱的视觉感,上下双层的立体式交通具有现代气息。

因此本工点采用双层框架墩方案。

4 结构计算

双层框架墩上架设单线32 m或24 m预应力简支箱梁,墩全高36.5~43 m。

双层框架墩参数表见表3。

表3 双层框架墩参数表

墩号	墩高 /m	景北折返线(上层)		景北右线(下层)	
		上层墩号	上部梁跨	右层墩号	上部梁跨
I	36.5	19	32 m+32 m	16	32 m+32 m
II	38	20	32 m+32 m	17	32 m+32 m
III	39	21	32 m+32 m	18	32 m+32 m
IV	43	22	32 m+32 m	19	32 m+24 m

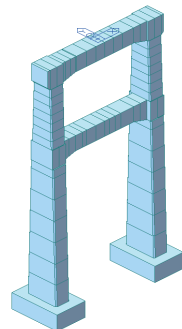


图9 双层框架墩有限元模型

景北折返线(上层)第19、20、21、22号架墩,对应景北右线(下层)墩号为16、17、18、19,为便于说明分别用I、II、III、IV号框架墩表示。框架墩横梁计

算跨度为 22 m,采用矩形截面,顺桥向宽 3.2 m,高 2.8 m,与墩相接处设置加腋;墩柱横桥向(垂直线路方向)墩底宽 3.0 m,顺桥向(沿线路方向)墩顶宽 3.6 m,向下按照 1:30 放坡。使用 Midas 建立双层框架墩有限元模型,见图 9。

4.1 刚度检算

铁路钢轨除了受到列车运营时的动弯力及长钢轨锁定时的温度应力以外,还要承受由于梁体伸缩变形和列车制动引起的附加应力,因此需要保证轨道的强度和稳定性,而这些附加应力的值与下部结构的刚度以及桥梁跨度是密切相关的。此前国内最高铁路框架墩为京石客专左联特大桥某框架墩(38.5 m)^[11-12],而本工点结构高度最大的Ⅳ号墩高达 43 m,为了增加纵向刚度,采用放坡增大尺寸的方法。Ⅳ号墩墩顶纵向宽 3.6 m,向下按照 1:30 放坡,墩底纵向宽达 6.467 m。

根据《铁路桥涵设计规范》第 5.4.3 节规定,当不做梁-轨共同作用分析时,墩台顶纵向水平刚度不宜小于表 4 所示的客货共线、高速铁路墩台顶纵向水平刚度限值。

表 4 客货共线、高速铁路墩台顶纵向水平刚度限值

桥墩 / 桥台	跨度 /m	最小水平线刚度 /($\text{kN} \cdot \text{cm}^{-1}$)	
		双线	单线
桥墩	≤12	100	60
	16	160	100
	20	190	120
	24	270	170
	32	350	220
	40	550	340
	48	720	450
桥台		3 000	1 500

对于本工点采用的双层框架墩方案,上下两层铁路均为单线,存在 3 种不利工况:

- (1)仅上层铁路有列车通过。
- (2)仅下层铁路有列车通过。
- (3)上下层铁路列车同时通过(同向)。

因此,本工点双层框架墩兼具单线、双线铁路下部结构的特点,建议采用如下评判标准:

(1)按照双线铁路标准,在首层支座中心位置作用纵向单位力,满足水平线刚度不小于 350 kN/cm 要求。

(2)按照单线铁路标准,在首层及二层支座中心位置同时作用纵向单位力,双层框架墩满足水平线刚度不小于 220 kN/cm 要求(以墩顶位移进行判

断)。

结构高度最大的Ⅳ号墩(43 m)按照上述标准施加荷载得到的刚度数值分别为 385 kN/cm 、261 kN/cm ,满足《铁路桥涵设计规范》要求。此外,《铁路桥涵设计规范》要求的竖向梁端转角、静活载挠度、墩顶纵横向位移、徐变变形等其余刚度指标也满足要求。

4.2 强度检算

以Ⅳ号墩为例,在框架墩自重与箱梁荷载等竖向荷载作用下,Ⅳ号墩承受竖向荷载的内力图见图 10。根据该内力图,布置上下横梁预应力钢束。Ⅳ号墩上下层横梁预应力布置见图 11、图 12,钢束弯起位置随支座位置进行调整。

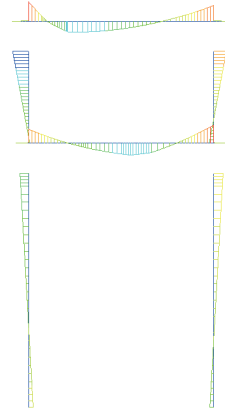


图 10 Ⅳ号墩承受竖向荷载内力图

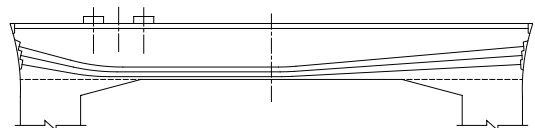


图 11 Ⅳ号墩上层横梁预应力布置

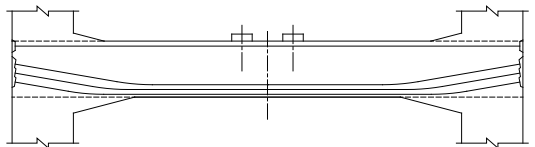


图 12 Ⅳ号墩下层横梁预应力布置

框架墩横梁控制位置检算结果见表 5,表中应力数值拉为负,压为正。

经检算,上下层横梁运营工况下均保持全截面受压,截面强度安全系数、抗裂安全系数、主应力等各项指标均满足《铁路桥涵设计规范》要求。由表 5 可知,框架墩墩柱按照钢筋混凝土桥墩进行检算,混凝土压应力、钢筋拉应力及裂缝宽度均满足《铁路桥涵设计规范》要求。

本工点采取先支架现浇下层结构并预留接长钢筋,待下层运架梁结束后继续施工上层立柱及横梁的施工步骤,施工工况又分为上层横梁停、运、架工

表5 框架墩横梁控制位置检算结果

项目	运营工况检算	
	主力	主附
上翼缘最大正应力 /MPa	10.30	13.40
上翼缘最小正应力 /MPa	2.50	0.70
下翼缘最大正应力 /MPa	10.90	12.10
下翼缘最小正应力 /MPa	1.10	0.40
最大剪应力 /MPa	1.10	1.20
上翼缘抗裂安全系数	1.55	1.51
下翼缘抗裂安全系数	1.48	1.37
最大主压应力 /MPa	13.45	17.16
最大主拉应力 /MPa	-0.85	-1.53
正截面强度安全系数	2.53	2.47

况及下层横梁停、运、架工况。经检算,各施工工况横梁及墩柱检算均满足《铁路桥涵设计规范》要求。

5 结 语

- (1)铁路框架墩以承受竖向荷载为主,其结构可以用输入基础刚度刚架模型进行模拟。
- (2)对于本工点而言,双层框架墩方案较原方案造价节省 7%,并且更加安全、美观。
- (3)本工点采用放坡增大墩宽的方法确保结构纵向刚度,并提出了双层框架墩刚度限值的 2 种标准。
- (4)按照本方案提出的结构尺寸及配束方案,横梁、墩柱运营工况及施工工况下各检算结果均满足《铁路桥涵设计规范》要求。

(5)昌景黄铁路双层框架墩最高 43 m,为目前国内最高的铁路框架墩结构。本研究为国内铁路类似项目的建设提供了借鉴意义。

参考文献:

[1] 田万俊.预应力混凝土框架墩设计研究[J].铁道标准设计,2003(8): 67-68.

[2] 张春芳,宋顺忱.津秦客运专线连续梁-框架墩设计[J].铁道标准设计,2011(9):48-51.

[3] 宋顺忱,吴大宏.客运专线连续梁-框架墩体系几个问题探讨[J].铁道标准设计,2012(5):100-102.

[4] 张世基.重载铁路大跨度预应力混凝土框架墩设计实例分析[J].铁道勘察,2014(1):101-104.

[5] 孙智峰.高速铁路大跨度钢箱门式墩的设计研究[J].铁道工程学报,2019(4):43-47.

[6] 历付.高速铁路高立柱大跨度钢横梁框架墩设计研究[J].中国铁路,2019(4):94-102.

[7] 邓双.桥面温度及徐变变形对连续梁框架墩桥列车走行性影响研究[D].长沙:中南大学,2013.

[8] 刘孟云.基础刚度对框架墩地震响应的影响[J].高速铁路技术,2016(10):16-19.

[9] 张洁,管仲国,李建中.双层高架桥梁框架墩抗震性能试验研究[J].工程力学,2017(2):120-128.

[10] 王新山.双层桥梁门式墩的抗震性能研究[D].大连:大连理工大学,2013.

[11] 牛远志.京石客运专线重点桥渡设计综述[J].铁道标准设计,2015(5):90-93.

[12] 荀嘉雷.京石客专左联特大桥框架高墩设计[J].铁道工程学报,2012(12):69-71.

(上接第 70 页)

[6] 万鹏,马翥.宁波外滩大桥附属人行桥设计[J].世界桥梁,2013,41(4):5-9.

[7] 周晖,王鹏,沈阿三,等.机非分层城市桥梁应用与展望[J].公路,2016,61(1):101-105.

[8] 严潇.丰城市紫云大桥人非系统设计与研究[J].城市道桥与防洪,2022(2):88-90.

[9] 魏华.垂直电梯在越江桥梁工程中的应用初探[J].城市道桥与防洪,2019(10):193-195,203.

[10] 杨寿忠,向中富,朱光华,等.重庆嘉悦大桥下置式人行道设计与施工技术[J].重庆建筑,2012,11(6):24-26.

[11] 吴刚.吴淞江大桥车辆激励对人非桥行人舒适性的影响研究[J].中国市政工程,2012(3):24-27,104.