

对异形桥台单跨门式刚构桥的设计探讨

杨琪¹, 张剑¹, 宋熙龙²

(1. 武汉生态环境设计研究院有限公司, 湖北 武汉 430050; 2. 中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430000)

摘要: 城市建设的飞速发展, 城市桥梁设计及施工技术的不断革新和有限元计算软件的完善与应用, 使得建设方对桥梁的设计要求越来越高, 特别是对景观协调关注度提升很多。在单孔桥梁结构形式最常见的是简支梁桥, 而门式刚构桥和斜腿刚构桥凭借其简洁干练的外形, 对地理环境适应性强的优点, 吸引了越来越多设计师的眼球。本文运用有限元软件对某沿海地区一座人行景观门式刚构桥进行受力分析并总结, 以期对以后类似桥梁的设计具有借鉴作用。

关键词: 单跨; 门式刚构; 竖墙; 斜墙; 异形桥台

中图分类号: U44

文献标识码: A

文章编号: 1006—7973 (2022) 07—0111—03

门式刚构桥的受力体系, 是一种介于梁桥与拱桥之间的一种受力体系, 它结合受弯的上部梁结构和承压的下部墩柱结构, 组成一个梁拱结合的特殊结构。整个结构既是压弯结构也是推力结构, 这类桥梁无论在结构受力上还是外观上均兼备梁和拱的特点与优势, 从而表现出良好的力学性能及景观造型。单跨门式刚构桥多适用于跨越运河及小河流, 由于无需在水中立墩, 故它与同等跨径拱桥相比, 具有较大的通航净空^[5]。

门式刚构桥力学简化模型为超静定结构, 混凝土的收缩徐变、温度的变化、基础的不均匀沉降以及预应力效应等均对结构产生不可忽视的附加效应, 其中, 温度产生的附加效应占比相对较大。一般设计时应尽量让结构足够的柔, 这样有利于梁体与斜墙、竖墙的设计^[2]。

1 工程概况

本次研究的桥梁为某沿海地区体育会展中心某工程里的一座人行景观桥。桥梁为现浇预应力混凝土门式刚构桥, 设计单孔跨径 57m, 桥梁全长 65.4m。桥梁平面位于直线上, 桥梁主体部分的纵断面位于 R=158.75m 的圆曲线上, 端部等高段均设置 1.8% 的单向坡, 本桥不设置横坡。上部结构为变高截面, 跨中梁高为 2.0m, 端部梁高为 3.0m, 按圆曲线变化; 两侧端部 4.2m 范围内设置高 3.0m 的等高段。桥梁起点侧端部顶板宽 14.37m, 终点侧桥梁端部顶板宽 8.391m, 跨中处桥宽为 5.0m, 全桥桥宽最小处为 4.659m。主梁设计为单箱三室截面, 跨中段顶板厚 28cm, 底板厚 25cm, 中腹板厚 50cm, 边腹板厚 25cm。跨全桥共设置 10 道 30cm 厚横隔板, 横隔板间距 5.0m。边跨 4.2m 为实体段, 其中箱室范围内局部挖空, 该部分设计意图为利用端横梁的

刚度大的特性, 将梁体在荷载作用下的剪力和桥墩预应力束的锚固力进行重分配, 均匀传到整个截面。这样做, 一是可以尽量避免因为应力集中导致的局部裂缝出现, 二是为梁体增加平衡配重, 达到改善短边跨造成的受力不合理状态的目的。桥梁下部结构采用双薄壁异性桥台, 下接矩形承台, 承台下接桩基础, 桥台斜墙和竖墙壁厚均为 0.8m。0# 承台尺寸为 12.5m × 5.2m × 2.5m, 基础为 8 根 Φ1.2m 钻孔灌注桩; 1# 承台尺寸为 8.2m × 5.2m × 2.5m, 基础为 6 根 Φ1.2m 钻孔灌注桩, 以上钻孔灌注桩均为摩擦型桩。本桥主梁、斜墙按 A 类部分预应力构件进行设计, 竖墙按钢筋混凝土构件设计。桥型立面布置、平面、跨中断面布置如图 1 ~ 图 3:

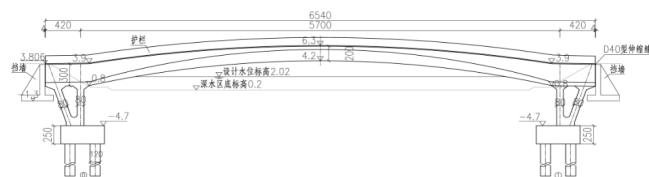


图 1 景观桥立面布置图

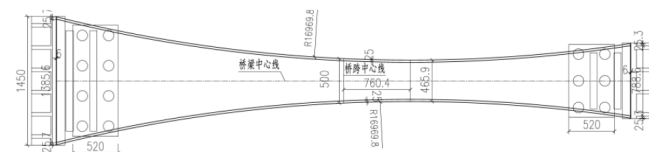


图 2 景观桥平面布置图

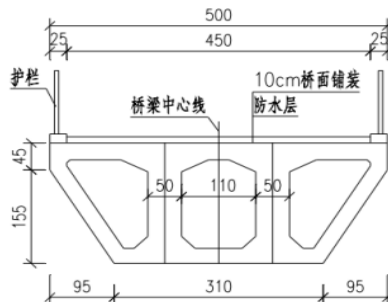


图 3 景观桥跨中断面布置图 (单位: cm)

2 结构计算与结果分析

2.1 模型建立

本桥有限元模型计算跨径为 65m，桥梁跨中截面高度 2m，端部截面高度 3m。通过查阅收集相关资料，一般情况下，公路门式刚构桥的跨中梁高与主梁跨度的比值可取 1/30 ~ 1/35 范围，端部梁高与跨中梁高之比多取在 1.2 ~ 2.5 之间，本桥以上两个值分别为 1/32.5 和 1.5，评估在工程合理范围内。人群荷载按照 CJJ 11-2011（2019 版）规范取值为 5.0KPa；系统温度分别为升降温 25℃；温度梯度按照 JTG D60-2015 规范考虑升降温梯度。

主梁腹板束采用 15 ϕ *15.2 预应力钢绞线，张拉控制应力 $\sigma_{con}=0.73f_{pk}=1357.8\text{MPa}$ ，用外径为 90mm 的波纹管成孔；顶底板束采用 7 ϕ *15.2 预应力钢绞线，张拉控制应力 $\sigma_{con}=0.75f_{pk}=1395\text{MPa}$ ，采用外径为 70mm 的波纹管成孔；斜墙配置 17 ϕ *15.2 预应力钢绞线。

门式刚构桥受力体系为超静定结构体系，这直接使得异形桥台的不同构造（例如桥台的高度、厚度、斜墙与竖墙的间距及斜交角），从各种角度影响着全桥的内力分配。影响的本质是桥台所受的弯矩与桥台和梁的刚度比率成正比。

桥台的高度、斜墙与竖墙的间距及斜交角常受到桥位和桥梁标高等客观因素控制，基本根据地理条件确定。因此本次设计，根据竖墙高度及斜墙、竖墙厚度的不同，提出了五个不同的方案，并对这五个方案分别采用桥梁博士软件建立模型，进行计算分析及对比，全桥模型划分 65 个梁单元，有限元模型见图 4。

- （1）模型一：桥台竖墙高 400cm，斜墙与竖墙取 80cm；
- （2）模型二：桥台竖墙高 550cm，斜墙与竖墙取 80cm（设计采用模型）；
- （3）模型三：桥台竖墙高 700cm，斜墙与竖墙取 80cm；
- （4）模型四：桥台竖墙高 550cm，斜墙与竖墙取 60cm；
- （5）模型五：桥台竖墙高 550cm，斜墙与竖墙取 100cm。

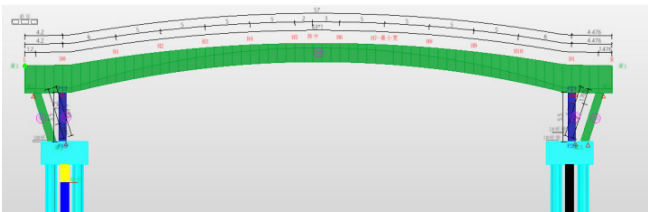


图 4 景观桥有限元模型

2.2 主梁结果分析

根据有限元模型计算可得出五个模型支点（竖墙处）与跨中处不同工况下竖向弯矩，具体计算结果详见表 1

表 1 不同工况下弯矩（KN·m）

模型 编号	预应力效应		收缩效应		徐变效应		恒载总效应		整体升温		梯度升温
	支点	跨中	支点	跨中	支点	跨中	支点	跨中	支点	跨中	支点
1	49001	-7516	192	1509	-4128	-1950	-18043	7444	-968	-2897	4721
2	48575	-7387	38	1655	-4066	-1779	-18507	7878	-681	-3194	4953
3	49333	-7652	294	1374	-4284	-2064	-17506	7075	-540	-2626	4557
4	49071	-7521	127	1510	-4011	-1622	-18117	7465	-810	-2870	4999
5	48929	-7467	313	1496	-4144	-2262	-16223	7437	-628	-2908	4362

分析计算结果，随墩高增加，预应力效应、徐变效应、支点处收缩效应、支点处整体升温效应是增加的，跨中处收缩效应、跨中处整体升温效应、支点处梯度升温效应及恒载总效应是降低的；随桥墩壁厚的减小，徐变效应、支点处收缩效应、整体升温效应是增加的，预应力效应、跨中处收缩效应、支点处梯度升温效应及恒载总效应是降低的。为进一步分析研究预应力效应的变化规律，表 2 为主梁预应力主效应及次效应下计算结果。

表 2 预应力效应内力数值（KN·m）

类型	预应力主效应		预应力次效应	
	支点	跨中	支点	跨中
模型 1	36254	-22745.3	12730.3	16051.7
模型 2	36251	-22764	12285.6	16269.4
模型 3	36262.5	-22732.8	13110.5	15855.7
模型 4	36268.2	-22757.9	12788.7	16108
模型 5	36220.7	-22715.9	12661.9	15980.1

由表 2 可知，随着墩高增加，主梁支点处预应力主

次效应均增加,主梁跨中处预应力主次效应均减小;随着桥墩壁厚的减小,主梁预应力主次效应均减小。

综上,增加墩高以及减小桥墩壁厚均可减小桥墩对主梁的约束能力,且对主梁内力的变化规律大部分是相似的,但是两种改变主梁约束能力的途径对主梁支点预应力主效应及跨中处的整体升温效应的变化规律的相反的,这主要是由于斜墙对主梁约束及温度次内力造成的^[6]。

2.3 拱效应分析

支点处水平推力的存在,使得拱部的弯矩大幅度减小。我们将梁部设成微拱状这种结构,使得在相同竖向荷载作用下水平推力比带有水平梁部的门形刚构的水平推力要大一些,这样有力地减小梁体的正弯矩,使相比于梁式结构采用较小的梁高成为可能^[3]。表3为恒载作用下承台顶部水平推力(KN)及主梁跨中弯矩(KN·m)的计算结果。

表3 拱效应结果

恒载工况	承台顶水平推力	跨中弯矩
起拱	1583.4	7482.1
未起拱	1452.8	9079.8

根据计算结果,设置起拱会使主梁跨中弯矩减少17.6%,基础水平推力增大9%。

2.4 动力分析

提取该桥成桥状态前4阶自振频率及相应振型如表4:

表4 前4阶自振频率及振型

序号	频率(Hz)	周期(s)	振型
1	2.09	0.48	主梁侧弯
2	2.10	0.48	主梁纵向弯曲
3	3.25	0.31	主梁反对称侧弯
4	3.33	0.30	主梁竖弯

根据规范要求可知,人行桥竖向自振频率不应低于3Hz,根据计算可知本桥梁竖向自震频率为3.33Hz,处于第四阶振型,满足规范要求^[1]。

3 施工工艺

门式刚构为高次超静定体系,整个施工顺序设计的重点是如何有效利用预应力。经分析,桥梁施工顺序建议为:

(1) 先浇注斜墙结构和墩顶部位的主梁结构;

(2) 张拉斜壁墩预应力;

(3) 浇注其它部分桥墩和梁体;

(4) 张拉主梁预应力;

(5) 施工桥面系。

由以上施工步骤可以看出,我们建议施工单位将斜墙分离出来,避免斜壁墩预压力使梁体与墩体刚度比进行分配。但如果将主梁分阶段浇注,并分阶段张拉预应力,结构冷缝增多,分段张拉的预应力需通过连接器连接,会一定程度削弱梁体接缝处断面^[4]。

4 结语

(1) 在桥梁结构高度受限,且景观要求高的工程设计活动中,本桥所用的单跨门式刚构桥有着一定的优势;

(2) 通过改变墩高及壁厚可改变桥墩对主梁的约束能力,但是预应力主效应及跨中截面整体温度效应与其他效应的变化规律相反,主要是由于斜墙对主梁约束及温度次内力造成的。

(3) 设置起拱会使主梁跨中弯矩较大幅度减少,基础水平推力增大,能有效地减小主梁梁高。

(4) 单跨钢构人行桥第一阶振型为主梁侧弯,竖弯发生在第四阶振型,竖向自振频率仍满足规范要求。

(5) 施工过程中对结构的影响至关重要,故结构设计时应考虑合理的施工过程,使结构达到最佳受力状态。

参考文献:

- [1]CJJ 69-95,城市人行天桥与人行地道技术规范[S].
- [2]刘效尧,徐岳.公路桥涵设计手册—梁桥(第二版)[M].北京:人民交通出版社,2011.
- [3]刘志军,黄树强,姚胜成.一座微拱薄梁门形刚构桥设计[J].桥梁建设,2004,(5):43-45.
- [4]王建,崔宁.单孔刚构桥桥型运用—遵义市碧云大桥设计浅析[J].公路,2002,(4):71-73.
- [5]王骅,芦可琪.安庆晴岚路预应力混凝土门式刚构桥设计[J].城市道桥与防洪,2011,(10):45-48.
- [6]王吉双.中等跨径门式刚构桥的设计[J].安徽建筑,2009,(1):80-81.