

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.12.022

# 无支座连续刚构桥双肢墩设计参数分析

温志鹏

(南昌市城市规划设计研究总院集团有限公司,江西 南昌 330000)

**摘要:**无支座连续刚构桥是一种较为新颖的桥梁结构形式。以某城市轨道交通工程中的双肢薄壁墩无支座连续刚构桥为例,通过建立有限元模型,开展了双肢墩设计参数分析。结果表明,主梁及桩基的主要验算指标对双肢墩设计参数的变化不敏感;合成刚度对双肢墩设计参数的变化非常敏感;墩高增大对桥墩主要验算指标有利;壁厚增大对桥墩主要验算指标呈现先有利后不利的趋势,这表明存在一个最优的壁厚取值。研究结果为同类型的桥梁设计提供参考。

**关键词:**无支座连续刚构桥;共用双肢墩;设计参数分析

**中图分类号:** U448.23

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2024)12-0100-04

## 0 引言

无支座连续刚构桥是一种较为新颖的桥梁结构形式<sup>[1]</sup>,相较于传统的连续刚构桥,无支座连续刚构桥最大的特点是边墩同样采用固结形式,且是超静定结构,因此经济跨度较传统结构形式更大,同等跨度下梁高也更小<sup>[2]</sup>。因其不设置支座,还具有维养成本低及结构外形柔美的特点<sup>[3]</sup>,故而越来越多的被应用在公路、铁路和城市轨道交通的建设中<sup>[4-7]</sup>。

由于超静定结构次内力较大,因此这类型桥梁设计时需同时兼顾上下部结构整体受力性能<sup>[8-9]</sup>。下部结构桥墩的构造对桥梁纵向刚度及次内力的大小影响很大,往往也是设计时关注的重点<sup>[10]</sup>。

本文以某城市轨道交通工程中的双肢薄壁墩无支座连续刚构桥为例,通过建立有限元模型,研究了双肢薄壁墩墩高、壁厚在多种变化模式下对桥梁性能的影响,为同类型的桥梁设计提供参考。

## 1 工程概况

某城市轨道交通工程中的标准段为  $3 \times 40$  m 共用双肢薄壁墩无支座连续刚构桥。上部结构箱梁采用预应力混凝土单箱单室斜腹板截面,梁高 2.1 m,梁顶宽 10.6 m,梁底宽 2.6 m。下部结构中、边墩均采用双肢薄壁墩,前后联各用双肢墩的一肢。墩宽

2.6 m,壁厚 0.8 m,双肢中心距 1.9 m,标准段墩高 12 m,配筋均为间距 125 mm 的直径 32 mm 并筋。下部结构采用承台接群桩基础,桩径 1.8 m。标准段全桥布置如图 1 所示。

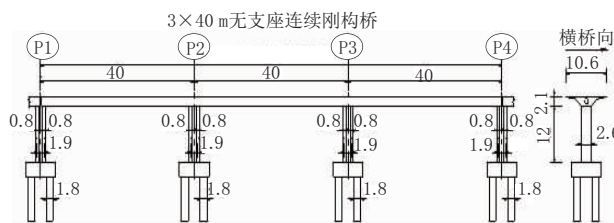


图 1 标准段全桥布置图(单位:m)

## 2 标准段模型建立及分析

对于标准段的整体结构,采用 MIDAS Civil 建立空间有限元模型进行分析。上、下部结构均采用空间梁单元模拟,桥墩与主梁采用刚性连接,边界条件采用“m”法考虑岩土对结构的影响,并按桥梁实际施工方案模拟。标准段桥梁的主要验算指标计算结果见表 1,可以看出:

- (1)主要验算指标的控制工况为主力+附加力工况;
- (2)同等壁厚时,边墩的安全系数比中墩更小;
- (3)边墩及中墩的控制断面位置均出现在墩顶,这是由于无支座连续刚构桥在纵向位移作用下,墩顶受主梁约束大于墩底地基约束,墩顶弯矩更大,受力更不利。

## 3 双肢墩设计参数分析

### 3.1 双肢墩墩高的影响

选用 3 种变化模式:墩高整体变化、仅中墩墩高

收稿日期:2024-02-22

作者简介:温志鹏(1994—),男,工程硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

表1 标准段桥梁主要验算指标计算结果

刚度计算									
位置	主要验算内容	计算值	限值		安全系数				
全桥	合成刚度/(kN·cm <sup>-1</sup> )	1 205	>960		1.26				
强度计算									
位置	主要验算内容	主力			主力+附加力			控制断面位置	
		计算值	限值	安全系数	计算值	限值	安全系数		
主梁	正截面应力/MPa	拉应力	2.27	>-2.45	—	-0.13	>-2.45	18.85	边跨近边墩截面
		压应力	17.33	<20	1.15	18.49	<22	1.19	边跨近中墩截面
	抗弯承载力	2.30	>2.2	1.05	2.18	>1.98	1.10	边跨跨中截面	
桥墩	钢筋拉应力/MPa	-42.8	>-210	4.91	-159.2	>-270	1.70	墩顶截面	
	混凝土压应力/MPa	8.0	<16.8	2.11	15.4	<21.84	1.42	墩顶截面	
	裂缝宽度/mm	0.046	<0.2	4.35	0.172	<0.24	1.40	墩顶截面	
	钢筋拉应力/MPa	-26.3	>-210	7.98	-88.5	>-270	3.05	墩顶截面	
	混凝土压应力/MPa	6.8	<16.8	2.47	10.3	<21.84	2.11	墩顶截面	
	裂缝宽度/mm	0.028	<0.2	7.14	0.096	<0.24	2.50	墩顶截面	
桩基	最大轴力/kN	7 665	<12 500	1.63	8 762	<15 500	1.77	桩底截面	

变化、仅边墩墩高变化。

由于主要设计指标的控制工况为主力+附加力工况,受篇幅影响,仅对比各主力+附加力工况受桥墩设计参数变化的影响。同时,由于主梁正截面应力中的拉应力指标富裕较大,故对比时略去,后同。

### 3.1.1 墩高整体变化的影响

墩高整体变化(P1~P4同等变化)对安全系数的影响如图2所示,可以看出:

(1)随着墩高整体增大,主梁压应力、主梁抗弯承载力及桩基最大轴力的安全系数变化幅度很小,说明墩高整体变化对主梁及桩基的这三项主要验算指标影响很小,是由于桥墩刚度变化导致次内力增大,但桥墩的刚度相比主梁的刚度较小,桥墩次内力增大引起的弯矩增加相比其他荷载产生的主梁弯矩较小,故墩高整体变化对主梁压应力、主梁抗弯承载力的影响较小。同理桥墩次内力增大引起的弯矩增大,所转化为桩基轴力的增大相比其他荷载产生的轴力偏小,故墩高整体变化对桩基轴力的影响较小。

(2)随着墩高整体增大,合成刚度的安全系数大幅降低。墩高从12 m整体增大至16 m时,合成刚度的安全系数从1.26降低至了0.58,降幅约53.9%。说明墩高整体变化对合成高度的影响很大。

(3)随着墩高整体增大,中、边墩的钢筋拉应力、混凝土压应力及裂缝宽度的安全系数不均匀增大,与受拉相关的钢筋拉应力及裂缝宽度的安全系数增

幅大于与受压相关的混凝土压应力。这是由于薄壁墩截面高度较小弯矩较大,属于大偏心受压构件,弯矩影响受拉侧更不利,说明墩高整体变化对桥墩的主要验算指标影响较大。

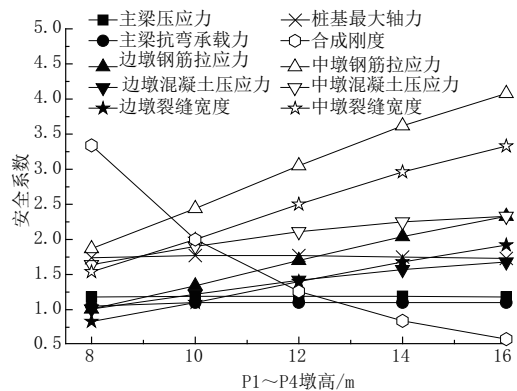


图2 墩高整体变化对安全系数的影响

### 3.1.2 仅中墩墩高变化的影响

仅中墩墩高变化(P2及P3同等变化,P1及P4保持不变)对安全系数的影响如图3所示,可以看出:

(1)主梁压应力、主梁抗弯承载力、桩基最大轴力及合成刚度变化的规律及原因,同前;

(2)中墩墩高增大,中墩的钢筋拉应力、混凝土压应力及裂缝宽度的安全系数不均匀增大,边墩的安全系数在略微减小。这是由于中墩墩高变高时,边墩的刚度占整体刚度的比例在增大,故虽然边墩墩高未变,其安全系数却在略微减小。

### 3.1.3 仅边墩墩高变化的影响

仅边墩墩高变化(P1及P4同等变化,P2及P3保

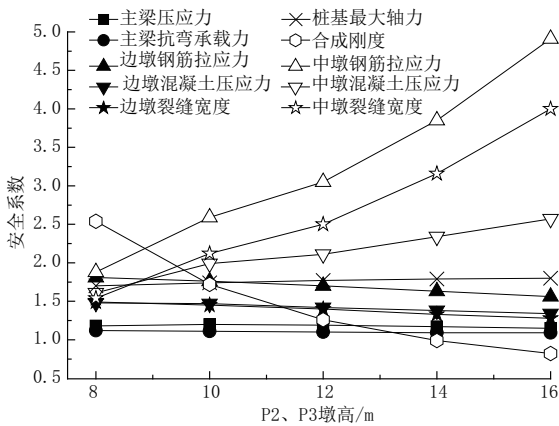


图3 仅中墩墩高变化对安全系数的影响

持不变)对安全系数的影响如图4所示。可以看出:

(1)主梁压应力、主梁抗弯承载力、桩基最大轴力及合成刚度变化的规律及原因同前,但是边墩墩高增大时合成刚度的降幅略小于中墩墩高增大,两者同样从12 m增大至16 m时,降幅分别为19.8%和34.9%,这是由于同一联桥下部结构的中墩肢壁总数大于边墩肢壁总数;

(2)桥墩的变化规律及原因同前,仅边墩墩高增大时,边墩的钢筋拉应力、混凝土压应力及裂缝宽度的安全系数不均匀增大,中墩的安全系数在略微减小。

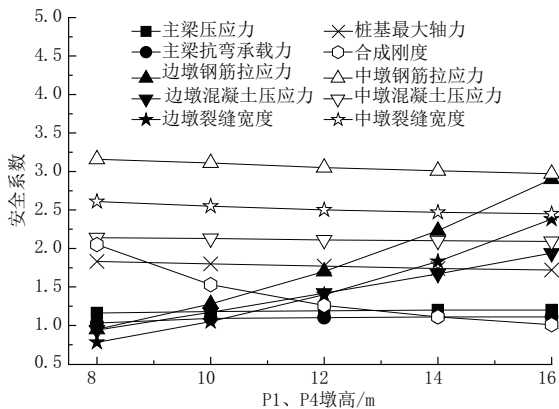


图4 仅边墩墩高变化对安全系数的影响

### 3.2 双肢墩壁厚的影响

选用三种变化模式,分别为壁厚整体变化、仅中墩壁厚变化和仅边墩壁厚变化。

#### 3.2.1 壁厚整体变化的影响

壁厚整体变化(P1~P4同等变化)对安全系数的影响如图5所示。

(1)主梁压应力、主梁抗弯承载力及桩基最大轴力变化的规律及原因同前;

(2)随着壁厚整体增大,合成刚度的安全系数大幅提高。壁厚从0.8 m整体增大至1.0 m时,合成刚度的安全系数从1.26增大至了2.10,增幅约66.7%。

说明壁厚整体变化对合成刚度的影响很大。

(3)随着壁厚的整体增大,中、边墩的钢筋拉应力及裂缝宽度的安全系数均减小,中、边墩的混凝土压应力安全系数略微增大,是因为对于受拉相关的验算内容,壁厚整体增大导致次内力增大的不利影响大于截面增大的有利影响,对于受压相关的验算内容则相反。

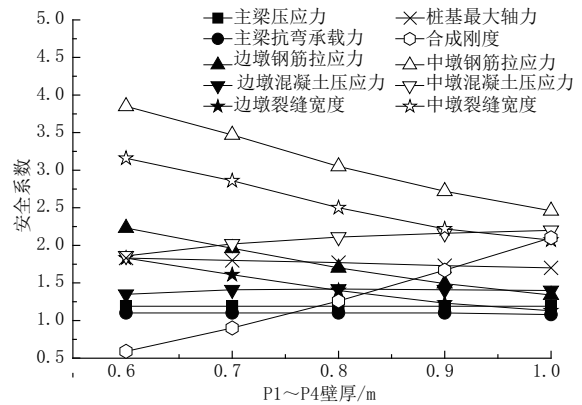


图5 壁厚整体变化对安全系数的影响

#### 3.2.2 仅中墩壁厚变化的影响

仅中墩壁厚变化(P2及P3同等变化,P1及P4保持不变)对安全系数的影响如图6所示,可以看出:

(1)主梁压应力、主梁抗弯承载力、桩基最大轴力及合成刚度变化的规律与原因同前;

(2)仅中墩壁厚增大时,中墩的钢筋拉应力、混凝土压应力及裂缝宽度变化的规律同前。边墩的钢筋拉应力、混凝土压应力及裂缝宽度的安全系数则略微增大,原因同前,是由于边墩的刚度占整体刚度的比例增大所导致。

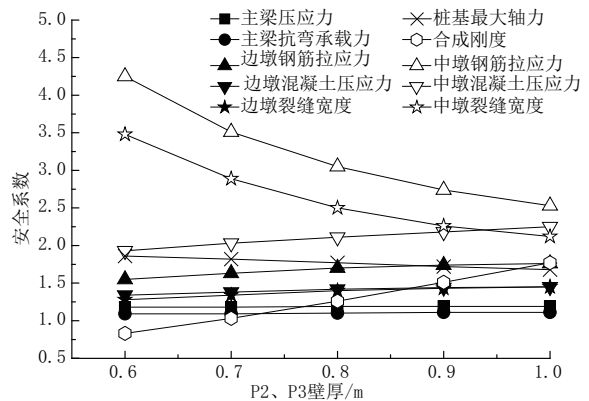


图6 仅中墩壁厚变化对安全系数的影响

#### 3.2.3 仅边墩壁厚变化的影响

仅边墩壁厚变化(P1及P4同等变化,P2及P3保持不变)对安全系数的影响如图7所示。

(1)主梁压应力、主梁抗弯承载力、桩基最大轴力及合成刚度变化的规律及原因同前,但是边墩壁厚增大时合成刚度的增幅略小于中墩壁厚增大时的

合成刚度,同样从 0.8 m 增大至 1.0 m 时,增幅分别为 24.6%和 40.4%,原因同前;

(2)中墩各类指标的安全系数变化幅度很小。边墩各类指标的安全系数变化则呈现出了先增大后减小的规律。这说明仅边墩壁厚变化时,对中墩的影响很小,而过小的壁厚会因为截面高度不足导致边墩各类指标的安全系数变小,过大的壁厚会因为次内力过大导致边墩各类指标的安全系数变小。

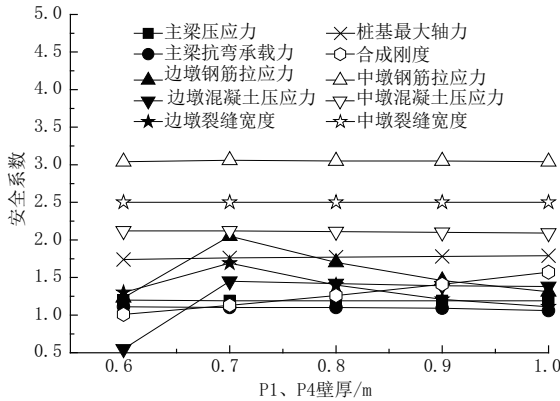


图 7 仅边墩壁厚变化对安全系数的影响

### 4 结 语

本文以某城市轨道交通工程中的双肢薄壁墩无支座连续刚构桥为例,通过建立有限元模型,研究了双肢薄壁墩墩高、壁厚在多种变化模式下对桥梁性能的影响,得出以下结论。

(1)主梁压应力、主梁抗弯承载力及桩基最大轴力对桥墩墩高及壁厚的变化不敏感。

(2)合成刚度对桥墩墩高及壁厚的变化很敏感,

中墩的影响大于边墩的影响。

(3)壁厚不变时,桥墩钢筋拉应力、混凝土压应力及裂缝宽度随墩高增大而减小。仅个别桥墩墩高变化时,未变化的桥墩会因为整体刚度中的占比变化而相应变化。

(4)墩高不变时,桥墩钢筋拉应力、混凝土压应力及裂缝宽度的变化趋势为先有利后不利,这表明其中存在一个最优的壁厚取值。

### 参考文献:

[1] 朱六兵.无支座连续刚构体系在六号线中的应用[J].建筑监督检测与造价,2017,10(2):38-41.

[2] 郭敏,何建梅,陈亮.广州地铁 14 号线全刚构桥梁设计关键技术[J].都市轨道交通,2020,33(4):84-89.

[3] 何永平,陈清华.节段预制无支座连续刚构体系在广州地铁 21 号线中的应用[J].四川水泥,2019(5):140-141.

[4] 文望青,王德志,武兵,等.高速铁路无支座整体式刚构设计[J].桥梁建设,2020,50(2):86-91.

[5] 王维康.预制节段拼装 PC 连续刚构桥无支座体系设计要点研究[J].智能城市,2021,7(4):21-22.

[6] 王德志,张红旭.福厦高铁桥梁技术创新与应用[J].世界桥梁,2020,48(增刊 1):1-6.

[7] 文望青,林骋,武兵.预应力混凝土连续刚构在铁路桥梁中的创新应用[J].中国铁路,2021(9):40-45.

[8] 程杰.无支座连续刚构轨道结构受力分析及温度跨度研究[D].北京:北京交通大学,2015.

[9] 许泉.共用双肢墩连续刚构桥力学性能及优化设计研究[D].北京:北京交通大学,2022.

[10] 伍祖涛.连续刚构桥桥墩单、双肢构造形式的对比选择[J].科技与企业,2014(2):197.

(上接第 99 页)

往会控制设计;

(3)不同设计规范对截面尺寸的限制存在较大差异,规范 JTG 3362—2018 比规范 JTG/T 3365—05—2022 以及规范 CJJ/T 111—2023 对截面最小尺寸的限制更严,所要求的腹板厚度更大。

### 参考文献:

[1] 刘本立,张朋,郭冬梅.折线先张法 Bulb-T 梁抗弯性能有限元分析[J].特种结构,2023,40(5):20-24.

[2] Roland Lavallee, Ken Cadman. New England Bulb Tee Girder Brings Strength, Elegance and Economy to Jetport Interchange Bridge[J].PCI

Journal, 2001, 46(6):68-75.

[3] Bardow A K, Seraderian R L, Culmo M P. Design, Fabrication and Construction of the New England Bulb-Tee Girder[J]. PCI Journal, 1997, 42(6):30-40.

[4] Helm S. Cost Comparison of AASHTO Type IV and Modified Type IV Bridge Beams with 54 and 63 in. Bulb-Tees [J]. transportation research record, 1982: 109-114.

[5] 高玉婷.中美欧混凝土构件抗剪承载力和预应力损失计算方法对比分析[D].大连:大连理工大学,2016.

[6] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].

[7] JTG/T 3365—05—2022,公路装配式混凝土桥梁设计规范[S].

[8] CJJ/T 111—2023,节段预制混凝土桥梁技术标准[S].