

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.11.036

一种城市景观梁式桥设计思路

何文杰

(创辉达设计股份有限公司,北京市 100026)

摘要: 城市桥梁的建设数量正逐年增加,其中梁式桥是最常见的桥型之一,通常呈现出简单实用、结构单一、常规朴实的桥梁形象。因此,将城市元素如环境、文化、景观等融入梁式桥,突破常规的思维方式,研究城市景观梁式桥的设计,势在必行。依托实际项目,从方案设计角度分析总结了一种新型城市景观梁式桥的设计流程和思路,重点研究阐述了在设计过程中存在的关键问题及解决措施,以为日后同类城市景观梁式桥的设计提供参考依据。

关键词: 城市桥梁;景观桥;脊骨梁;装配化设计

中图分类号: U442.5

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)11-0151-06

0 引言

城市桥梁所在区域地面交通复杂,周边居民的民生要求高,设计时受控因素较多。与公路桥梁相比,城市桥梁不仅要满足基本的通行功能,还要实现其特有的环保、艺术和文化价值。截至 2021 年,全国城市桥梁数量达到 8.37 万座,如图 1 所示。

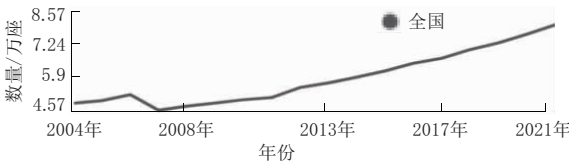


图 1 全国城市桥梁数量增势图

梁式桥是城市桥梁中最常见的桥型之一,其结构受力方式简单、跨径较小、综合造价低,常用于城市桥梁的人行天桥和高架桥。由于混凝土梁式桥的外观形式单一且自重大,常用于造价受限或对景观要求不高的城市路段,现浇混凝土的施工还会对周边环境和交通造成影响,所以,工程师通常采用钢梁承载+外观装饰的设计方式,以达到联通、环保兼景观的效果,于是,景观和造价成为主要的矛盾点。

本文结合实际投标竞赛项目,从方案设计角度分析总结了一种城市景观梁式桥的设计流程和思路,以突破矛盾点,探索梁式桥的创新设计。

收稿日期: 2023-12-28

作者简介: 何文杰(1984—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁设计工作。

1 工程概况

本项目位于佛山市顺德区,拟设计道路主线全长 966 m,起点与龙江二桥(为在建桥梁)衔接,衔接处的桥面车道布置如图 2 所示。桥梁向东延伸跨越环镇南路后落地,顺接现状省道 S121。

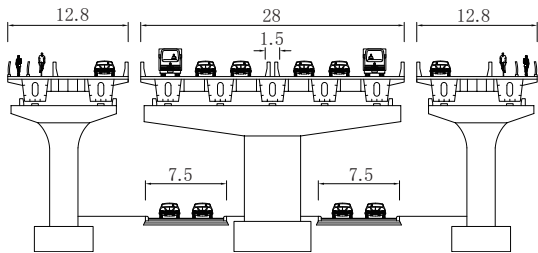


图 2 龙江二桥与本项目衔接处车道布置图(单位:m)

主线道路等级为一级公路兼城市道路功能,双向 6 车道,设计速度为 80 km/h;在主线桥下设置地面辅道,辅道平面线形与主线平行、与环镇南路平交,为双向 4 车道。同时,在起点位置主线两侧平行设置一对上、下行匝道,向东延伸落地后与环镇南路平交。路线总体设计如图 3 所示。

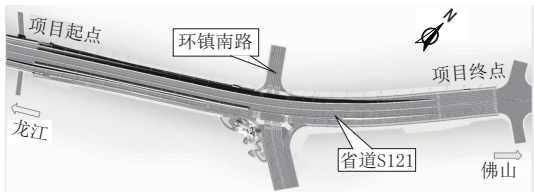


图 3 总体设计平面图

2 桥宽及桥跨的确定

2.1 桥梁宽度

为缩减小桥梁规模,桥梁宽度宜小不宜大。

在城市主干道和一级公路上设置 SA 级防撞护栏,桥面中分带宽度由原 1.5 m 优化为 0.8 m,行车道宽度由原 12.75 m 优化为 12.5 m。

在匝道桥起点处,提前将用于非机动车及行人通过的落地天桥和无障碍电梯引至地面,匝道桥的宽度由原 12.8 m 优化为 9 m,车道布置如图 4 所示。

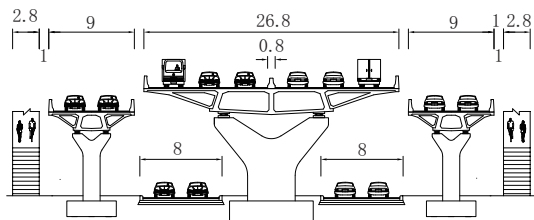


图 4 本项目桥面车道布置图(单位:m)

2.2 桥梁跨径

2.2.1 控制因素

(1)净空要求

主线桥下的辅助车道净高要求 5.5 m,估算允许梁高 2.8 m,对应混凝土梁跨不超过 40 m。

(2)桥跨与桥高的比例协调性

桥面设计高程范围约 4~10.5 m,考虑比例协调性、造价及工期因素,将标准跨定为 25~40 m。

(3)被跨路及交通导流

主线桥上跨环镇南路,主孔跨为 45~50 m。

(4)桥台填土控制高度

桥台填土的控制高度决定了桥长规模,考虑到地基土承载力和视觉通透性的影响,本桥以 5 m 作为控制高度。

(5)与被衔接桥的一致性

龙江二桥的标准跨为 30 m,可作为参考。

2.2.2 跨径布置

主线引桥标准段的跨径采用 30 m,上跨环镇南路处的主桥跨径为 45 m,跨径布置如表 1 所列。

表 1 桥梁跨径布置一览表

桥名	跨径布置 /m	桥长 /m	桥宽 /m	备注
主线桥	15×30+(28+45+28) +3×30	643.5	26.8	上跨环镇南路
A/B 匝道桥	3×30+4×30	212.5	9.0	接地

3 主梁类型及断面的选择

本项目所在区域城市化程度高,交通量大,且以货运交通为主。在梁型比选时应重点考虑施工速度、有效净空、造价、地域文化、景观以及对周边环境的影响等因素。

主线桥总长 643.5 m、桥宽 26.8 m,匝道桥总长 425 m、桥宽 9 m,桥跨均小于 50 m,结构形式上首选

梁式桥。

3.1 常见梁型

梁式桥类型丰富,常见的各种梁型及特点如表 2 所列。

表 2 常见梁式桥梁型及特点

梁型	特点
混凝土现浇梁	外形连续性好、整体刚度大;自重大、施工周期长且期间影响地面交通
预制小箱梁、T 梁	施工速度快、施工质量好、造价低;不美观,多用于无景观要求的公路桥
预制节段拼装梁	外形美观、批量生产、环保、对地面交通影响小;断面比选需重点考虑构件运输和吊装条件
钢箱梁、钢-混组合梁	自重小、梁高小、跨越能力强、跨越被跨道路的净空大;断面比选时,首选分体式双箱断面
混合梁	充分利用材料容重差增大主孔跨越能力,常用于跨径大于 200m 的连续刚构桥和不等跨斜拉桥
UHPC 梁	材料强度高、承载能力强;价格昂贵且存在自身缺陷,主要用于桥面板、连接节点和维修加固

3.2 脊骨梁

脊骨梁是对常规箱梁结构的改进优化,通过保留中间封闭箱室,将箱梁悬臂的翼缘板改为等间距布置的三角形肋梁,肋梁内侧与箱室贴紧连接,肋梁外侧为悬挑形式,并施加横向预应力,以提升桥梁的结构性能。

采取此类结构的桥面很宽,墩顶无需设置盖梁,且桥下净空大,占地面积小,施工时可不阻断交通;自重轻,外形美观,非常适合于城市桥梁。

3.2.1 特点

相对于传统箱梁,脊骨梁有如下特点:

(1)封闭箱室所占桥宽比例小,能有效释放桥下空间,方便与下部结构的过渡连接;

(2)脊骨梁设有外伸肋梁,在肋梁顶板加设横向预应力,在保证横向刚度的同时,还大大减轻了梁体自重,有利于梁体构件的装配化施工;

(3)施工方法较灵活,可采用分阶段预制组拼、整孔吊装、现浇箱室+预制肋梁等方法进行施工,对地面交通影响小;

(4)脊骨梁外观漂亮,相比其他梁型能更好融入城市环境,给人以美的享受。

3.2.2 断面形式

脊骨梁适用于宽度较大的桥梁,出于对景观及梁体轻量化的考虑,断面形式重点比选鱼腹式和斜腹式。鱼腹式脊骨梁的有效梁高大,纵向抗弯承载力高,适合更宽的桥面,但存在自重大、施工模板复杂

的缺点；斜腹式脊骨梁断面轻盈，自重小，施工模板简洁易操作。因此本项目优先选用斜腹式梁断面，断面示意如图 5 至图 8 所示。

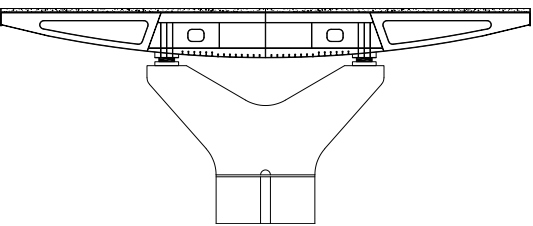


图 5 钢混组合脊骨梁 - 主桥



图 6 鱼腹式脊骨梁 - 引桥

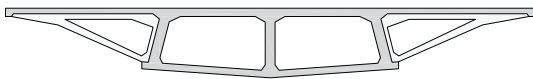


图 7 斜腹式混凝土脊骨梁 - 引桥

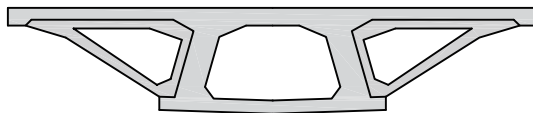


图 8 斜腹式混凝土脊骨梁 - 匝道桥

3.2.3 工程实例

脊骨梁桥在 2000 年前后引入我国，之后在多个城市的桥梁建设中都有应用，如上海、烟台、深圳、天津等。已建脊骨梁桥项目统计见表 3，部分实景如图 9 所示。

表 3 脊骨梁桥已建项目列表

编号	桥名	国家	时间
1	旧金山国际机场高架桥	美国	1970 年
2	上海内环线高架桥	中国上海	1991 年
3	烟台官家岛立交	中国烟台	2000 年
4	槟城双溪 Prai 桥	马来西亚	2006 年
5	圣佩德罗 - 德拉里贝拉高架桥	西班牙	2009 年
6	拉古纳大桥引桥	巴西	2012 年
7	G205 跨线桥	中国河北	2012 年
8	新甘加大桥	印度	2016 年
9	特拉帕加高架桥	西班牙	2019 年
10	新 Pumarejo 大桥	哥伦比亚	2019 年
11	城市高架桥	中国深圳	近 10 a

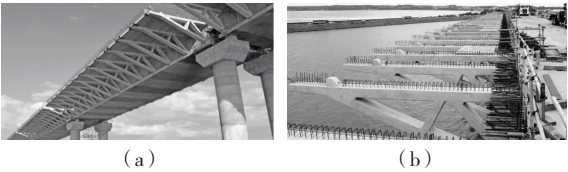


图 9 拉古纳大桥施工现场

3.3 推荐方案及关键问题研究

3.3.1 推荐方案

龙舟竞渡是顺德的民俗风情特色，其历史悠久，

可追溯到明代，示意图如图 10 所示。

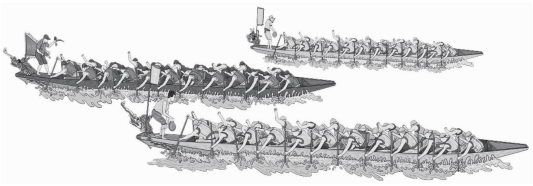


图 10 龙舟竞渡图

从外形来看，脊骨梁桥的主梁如同船体的龙身，主梁两侧的悬挑肋梁如同驱使龙舟前行的动力桨（船桨），故桥梁在建成后其外形将犹如一条“游龙”穿梭在城市间，与顺德文化完美融合。

结合上文的结构与实例分析，主梁推荐方案采用脊骨梁，其中，主线跨环镇南路的主桥采用钢 - 混组合脊骨梁，引桥和匝道桥采用预应力混凝土脊骨梁，断面选用斜腹式。最终效果图见图 11、图 12。



图 11 本项目主桥钢 - 混组合脊骨梁效果图



图 12 本项目匝道桥预应力混凝土脊骨梁效果图

3.3.2 关键问题研究

(1) 主梁尺寸及横向受力分析

脊骨梁总宽 26.8 m，悬臂肋梁为封闭三角形，纵向间距为 3 m。在主梁顶板设置横向预应力将肋梁和中心主梁连为整体，钢绞线型号为 15-5，张拉控制应力为 1 395 MPa，对应加厚中心主梁的顶、底和腹板，以满足空间和受力要求。主梁截面尺寸及预应力布置如图 13 所示。

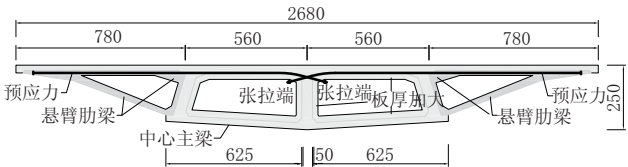


图 13 引桥混凝土脊骨梁的断面图及预应力布置(单位:cm)

选取分析最不利载荷下的主梁横向受力，结果显示，标准组合下混凝土所受最大压应力为 15.43 MPa

(允许值 16.2MPa),位于肋梁悬臂的根部;频遇组合下混凝土所受最大拉应力为 0.04 MPa。计算结果均满足规范要求,应力分布如图 14、图 15 所示。

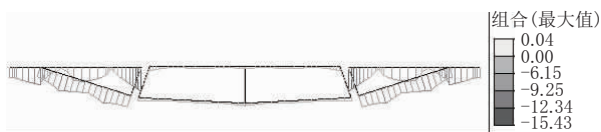


图 14 标准组合应力分布图(单位:MPa)

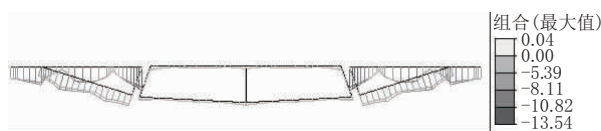


图 15 频遇组合应力分布图(单位:MPa)

(2)剪力滞影响及对策

宽幅箱梁在竖向荷载作用下发生弯曲时,腹板处的剪力流向翼板传递滞后,使得翼缘板法向正应力沿横向分布不同于初等梁理论计算值^[1],靠近腹板的顶板正应力大,远离腹板的顶板正应力小。这种剪力滞后现象,导致桥梁后期会出现裂缝等病害。随着主梁宽跨比的增大,脊骨梁顶板的剪力滞系数随之增大^[2]。

传统脊骨梁为现浇结构,肋梁与主梁同时进行现浇施工,箱梁顶板整体延伸至边缘。为减少剪力滞现象,本项目脊骨梁在施工时将中心主梁和悬臂肋梁分别预制,待主梁完成架设、呈简支状态时,将悬臂肋梁拼接至主梁两侧再张拉横向预应力。在肋梁上方横向悬臂范围内铺设预制桥面板后,张拉主梁纵向负弯矩钢束使体系转化为连续结构,最后施工桥面板湿接缝和桥面系。

这种设计可使得悬臂部分的竖向荷载先由肋梁承担,再横向传递至中心主梁。待主梁完成体系转换后,远离腹板的顶板正应力便仅由二期恒载和活载产生,可释放超静定约束的次内力,大大减小了剪力滞效应。

4 桥墩设计

4.1 设计原则

(1)桥墩是将桥梁上部结构的荷载传递至基础的关键构件,其自身的承载能力极为重要。因此,桥墩选型的前提是其构件设计符合力学特征和传力规律。

(2)本项目采用桥上、桥下双层车道系统,交通量大,对空间层次要求高,故桥墩应采用视觉通透性好的形状。

(3)桥墩落在地面的中央绿化带范围,绿化带的两侧均布置有车道,为满足桥下行车净空要求,优选无盖梁设计。

(4)桥墩形状及支座间距应与上部结构主梁协调一致。

(5)除功能要求外,还应考虑美观性和地域文化特性。

4.2 墩形

本项目桥墩形状选用“树芽墩”,理由分析如下文。

4.2.1 地域文化

顺德区经济发达,美食文化源远流长,被称为“世界美食之都”。

桥墩形状采用“树芽墩”象征着破土而出的新鲜感和极强的生命力,与顺德的文化底蕴相匹配。桥墩外形设计如图 16、图 17 所示。



图 16 树芽

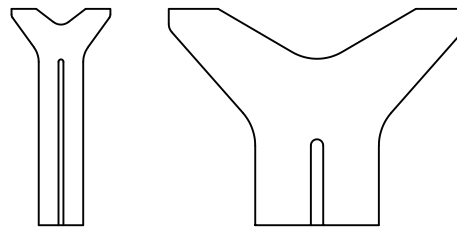


图 17 桥墩外形

4.2.2 美观及施工便捷性

“树芽墩”象征着生命力拔地而起、亭亭玉立;从功能角度看,其外形简洁且视觉通透性好,占用空间小,且能满足墩身两侧的行车净空要求。

墩身分上、下两节段,上段尺寸保持不变,下段按等截面设计,通过调整下段墩身的长度实现墩高变化,有利于批量化模板施工。

4.2.3 尺寸及受力分析

“树芽墩”形状符合自然传力规律,墩顶呈倾斜悬臂状,墩臂受力处于T形墩盖梁和独柱墩的过渡状态。在分叉的墩臂内侧配置预应力筋,以满足墩身强度和裂缝宽度验算。概念设计图及预应力布置如图 18 至图 20 所示。

5 桩基设计

5.1 桩基类型

本项目位于佛山市顺德区,现状交通繁忙,抗震

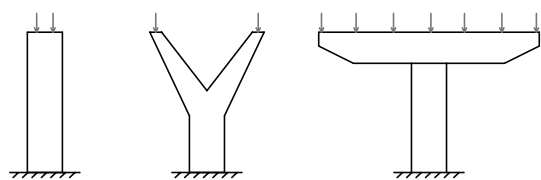


图 18 桥墩外形演变概念图

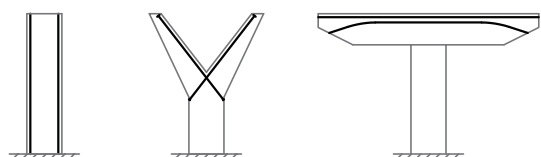


图 19 桥墩配筋演变概念图

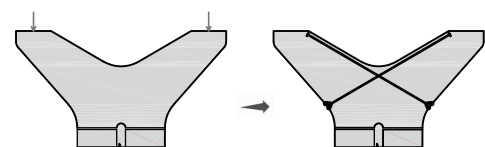


图 20 预应力布置图

设防烈度为Ⅶ度,地质岩土层状分布如图 21 所示。



图 21 本项目地质土层分布示意图

在进行桩基比选时应重点考虑施工周期、综合造价、交通影响和环境影响等因素。与钻孔灌注桩相比,PHC (Pre-stressed High-Strength Concrete)管桩的直径小、作为群桩基础时的单桩承载力效率更高、空心截面的耗材更低、施工速度快且对周边环境影

5.2 尺寸及数量

在主线桥承台底布置 15 根 PHC 管桩,匝道桥承台底布置 6 根管桩,管桩外径 600 mm、壁厚 130 mm,桩间距取 3 倍桩径即 1.8 m。桩基平面布置如图 22 所示。

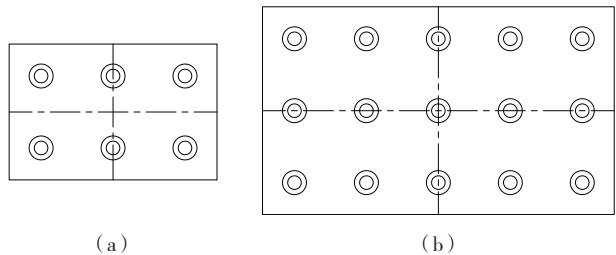


图 22 匝道桥、主线桥的 PHC 管桩平面布置

单个承台 PHC 管桩的混凝土用量相比钻孔灌注桩可减少 340 m³,对比结果如表 4 所列。

表 4 PHC 管桩与钻孔灌注桩耗材对比表

桩基类型	根数	桩长 /m	外径 /m	内径 /m	混凝土量 /m ³
钻孔灌注桩	4	45	1.8	0	458
PHC 管桩	15	41	0.6	0.34	118
差值	-	-	-	-	-340

5.3 施工速度

桩基施工过程按 10 h/d 计,灌注桩施工采用冲击钻,则施工速度为:淤泥质土和砂土层为 10 m/d、强风化岩层为 4 m/d、微风化岩层为 1 m/d,周期约为 9 d。

PHC 管桩施工采用静压法,则施工速度为:软土及软岩层为 125 m/d,周期约 5 d。

可见,单个承台的 PHC 管桩施工周期是混凝土灌注桩的 0.56 倍,施工速度优势明显。

6 全装配化设计分析

桥梁全装配化设计是指组成桥梁的各构件(桩基、承台、桥墩、主梁、护栏)均采用工厂预制、现场拼接成型的方法,可极大提高施工作业速度、保证构件生产质量、减少对周边环境的影响并降低造价,其综合经济效益优势明显。

本桥将主梁划分为中心箱梁、悬臂肋梁和桥面板三种构件,将桥墩划分为上、下两节段。全桥装配化设计示意如图 23 所示,预制构件和节段数量统计如表 5 所列。

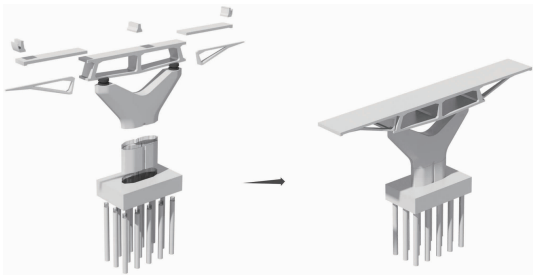


图 23 桥梁全装配化设计示意图

表 5 构件预制节段数量统计表

结构构件	构件数量 / 个	标准段长 /m	节段 / 个
桩基	412	15	1 228
承台	32	—	32
墩身	32	5.5、2.2	64
护栏	—	4	692

7 桥梁推荐方案

根据上述分析,本项目桥梁推荐施工方案采用

全装配式设计、基础采用承台 +PHC 管桩、桥墩采用“树芽墩”(无盖梁设计)、主梁采用钢 - 混组合脊骨梁(跨环镇南路的主桥)和预应力混凝土脊骨梁(引桥、匝道桥)。桥梁方案的对比结果如表 6、表 7 所列,推荐方案的最终成桥效果如图 24、图 25 所示。

表 6 主桥方案对比表

比选因素	推荐方案	比选方案
结构形式	钢 - 混组合脊骨梁 + 预制墩 +PHC 管桩	分离式钢箱梁 + 预制墩 + 灌注桩
结构性能	☆☆☆	☆☆☆
施工速度	☆☆☆	☆☆
环境评分	☆☆☆	☆☆☆
通透性	☆☆☆	☆☆
景观效果	☆☆☆	☆☆
工程造价	低	中
比选结论	推荐	备选

表 7 引桥、匝道桥方案对比表

比选因素	推荐方案	比选方案
结构形式	预应力混凝土脊骨梁 + 预制墩 +PHC 管桩	预应力混凝土小箱梁 + 预制墩 + 灌注桩
结构性能	☆☆☆	☆☆☆
施工速度	☆☆☆	☆☆
环境评分	☆☆☆	☆☆
通透性	☆☆☆	☆
景观效果	☆☆☆	☆
工程造价	低	中
比选结论	推荐	备选



图 24 推荐方案的主桥效果图

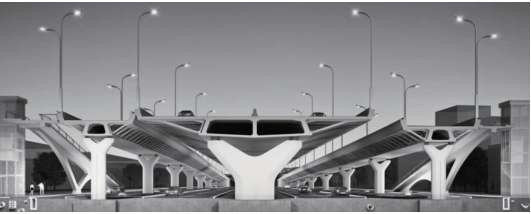


图 25 推荐方案 引桥、匝道桥效果图

8 结 语

本文结合项目所在地的交通、地质、抗震设防烈度与地域文化等特点,从方案设计角度出发,对桥梁的跨径、宽度、主梁、桥墩、桩基的形式进行了详细的分析比选,最终选用富有创意的脊骨梁 +“树芽墩”的设计方案,针对关键性技术问题进行剖析并给出了对策措施,有效解决了景观和造价之间的矛盾;采用全装配化施工,最大程度减小对环境的影响;展示了城市景观梁式桥的设计思路,体现出了城市桥梁的功能、环保、艺术和文化价值。

城市景观梁式桥的设计应综合考虑场地的建设条件,因地制宜,将梁式桥打造为富有创新、环保、经济、安全、美观和地域文化特色的精品工程。

参考文献:

[1] 张立兴,何文杰,等.宽幅矮塔斜拉桥箱梁剪力滞分析[J].河南城建学院学报,2017,26(1):65-70.
[2] 刘威.脊骨梁力学性能研究[D].天津:河北工业大学,2010.

(上接第 150 页)

通大学学报(自然科学版),2011(6):652-654.
[4] 雷云,李闯.山区高速公路高填方路堤设计分析探讨[J].公路,2021(8):95-98.
[5] 胡丰玲.超高填土桥台的特殊设计[J].工程建设,2018(2):26-29.
[6] 刘萌成,黄晓明,陶向华.桥台后高填方路堤工后沉降影响因素分析

[J].交通运输工程学报,2005(9):36-40,59.
[7] 陈雪华,律文田,王永和.台后填土对桥台桩基的影响分析[J].岩土工程学报,2006(7):910-913.
[8] 郑明新,胡国平,褚东升,等.路堤填筑荷载作用下深厚软基桥台桩变形及处理措施分析[J].施工技术,2016(7):45-49.