

文章编号:1673-2049(2010)03-0085-04

混凝土巨型箱形截面梁及其设计理论

祝明桥, 蒋伟中, 霍海强

(湖南科技大学 土木工程学院, 湖南 湘潭 411201)

摘要:为了节约土地资源、提高城市交通的使用效率、改善桥梁通行条件,首次提出能使城市桥梁实现双层交通的“混凝土巨型箱形截面梁”的概念,即通过加大传统混凝土箱梁截面高度,在腹板上开设必要的孔洞,并使其顶板、底板均成为桥面系,以确保箱内外车辆通行,使城市桥梁实现双层交通的箱梁。结合工程实践介绍了混凝土箱形截面梁和城市桥梁双层交通的研究现状,并探讨了混凝土巨型箱形截面梁设计的一系列关键技术问题,填补了无横隔板、腹板大规模设置孔洞的混凝土巨型箱形梁设计技术的空白,为混凝土巨型箱形截面梁在城市桥梁中的推广应用研究提出了指导性建议。

关键词:混凝土巨型箱形截面梁;城市桥梁;双层交通;剪力滞后效应;扭转畸变效应

中图分类号:U441.5

文献标志码:A

Concrete Huge Box Section Girder and Its Design Theory

ZHU Ming-qiao, JIANG Wei-zhong, HUO Hai-qiang

(School of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, Hunan, China)

Abstract: The concept of “concrete huge box section girder” for achieving double-deck traffic for city bridges was first put forward for saving land resource and improving traffic efficiency and conditions of bridge passage. It referred to box girder with necessary openings in the web plates which could achieve double-deck traffic for city bridges by means of increasing the section height of the traditional concrete box girder and its roof, floor deck systems became the bridge deck system. Actual examples of the double-deck traffic were provided on an engineering practice basis and research situations on concrete box section girder and double-deck traffic for city bridges were introduced. Some key technological problems in design of concrete huge box section girder were discussed, which filled the gaps in the field of the design technology of the concrete huge box section girder without inner plate. Some guiding recommendations of the promotion applications of concrete huge box section girder for city bridges were proposed.

Key words: concrete huge box section girder; city bridge; double-deck traffic; shear lag effect; torsion and distortion effect

0 引言

随着中国经济的发展,土地资源的稀缺及桥梁建设用地的紧张日显突出,同时交通流量的快速增

长,造成多数已建单层交通的城市桥梁日益拥堵,成为阻碍交通畅通的瓶颈。因此,为在有限的土地资源及布置空间内极大地提高城市交通的使用效率,改善桥梁通行条件,双层交通或双层桥面的城市桥

收稿日期:2010-06-21

基金项目:湖南省自然科学基金项目(09JJ3089)

作者简介:祝明桥(1968-),男,安徽太湖人,教授,工学博士,E-mail:zmq2002@263.net。

梁设计是较佳方案^[1]。

双层交通桥梁结构的设计方案可以通过结构体系的创新组合(如梁桥结构体系与立柱框架的组合、拱桥结构桥面系位置的组合等),也可以通过桥面结构布置及构造联结的变化来实现(如梁桥体系与箱梁组合、梁桥体系与钢桁架组合、索结构体系与箱形梁组合、索结构体系与桁架组合等)。

混凝土箱形截面梁具有自重较轻、整体性好、抗弯和抗扭刚度大、结构动力特性优越、适应性强等优点,在直线段、曲线段、过渡线段等处均可采用,并且与悬臂拼装和悬臂浇注的现代化施工特点相适应,在现代城市桥梁建设中得到了广泛应用^[2]。因此,通过加高传统混凝土箱梁截面高度,在腹板上开设必要的孔洞,将其顶板、底板均作为桥面系,形成混凝土巨型箱形截面梁,是城市桥梁实现双层交通较为理想的结构设计选择。

1 混凝土巨型箱形截面梁

1.1 定义

混凝土巨型箱形截面梁就是通过对传统混凝土箱梁截面高度进行加高,在腹板上开设必要的孔洞,使其顶板、底板均成为桥面系,以确保箱内外车辆通行,从而使城市桥梁实现双层交通的箱梁。这种巨型箱梁不仅继承了传统混凝土箱形截面梁结构的特点,而且具有许多自身的优点;同时可以充分利用箱内的空间来使城市桥梁实现双层交通,在有限的土地资源及布置空间内极大地提高城市交通的使用效率,改善桥梁通行条件,符合城市交通可持续发展的要求。

1.2 工程实例

澳门西湾大桥坐落于澳门西湾湖畔,南接幽仔岛,是澳门特别行政区自回归以来修建的第1座跨海大桥,也是连接澳门岛与幽仔岛的第3座跨海大桥。西湾大桥全长1 825 m,为预应力混凝土公路铁路两用桥。大桥设计为全天候开放的双层通车桥梁,上层桥面通行汽车,双向6车道,下层桥面近期为双向4车道,远期规划为双向两线轻轨及汽车道,遇台风等紧急情况时上层交通关闭,启用下层交通,是世界上第1座以全预应力混凝土巨型箱梁实现箱内外行车的斜拉桥。图1为澳门西湾大桥,图2为大桥混凝土巨型箱梁结构横断面布置^[3]。澳门西湾大桥已于2005年1月10日开放通车,多年来的运营状况也验证了桥梁设计的可靠性,这是混凝土巨型箱形截面梁在桥梁建设中一次伟大的成功应用,



图1 澳门西湾大桥

Fig. 1 Macau Sai Van Bridge

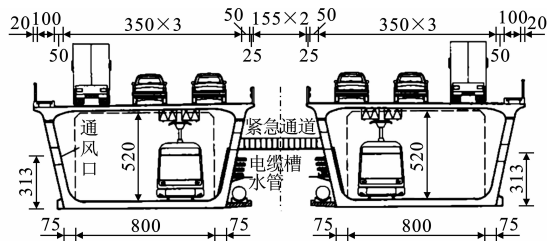


图2 箱梁结构横断面布置(单位:cm)

Fig. 2 Cross-sectional Layout for Box Girder Structure (Unit: cm)

为中国多车道公路铁路合建及城市轻轨、立交交通建设提供了新的设计思路和新的施工方法。

2 研究现状

2.1 混凝土箱形截面梁

箱形截面梁在工程上的广泛应用始于20世纪50年代,随后,箱形截面梁的工程设计方法随着人们的认识水平的提高和各种分析理论的涌现而更新,经历了很大的变化。最初,箱形截面构件的设计几乎全部依靠模型试验,后来增加了有限元、有限段方法以及折板法和有限条形理论,同时也提出了其他辅助的计算手段。到20世纪70年代初,以箱形薄壁理论为代表的大量箱形截面梁分析理论的提出为箱形截面构件的设计提供了丰富的理论依据。进入20世纪80年代以来,有限单元法数值分析工具的发展为箱形截面构件的设计与力学行为的详尽分析提供了可能^[4]。

预应力技术与箱形截面梁结构形式相结合使结构尺寸进一步缩小,箱形梁有了更大的跨越能力。与20世纪五六十年代的箱形截面梁相比,现代箱板厚度的减小是非常明显的。随着设计概念的更新,现代的桥梁工程师更倾向于使用薄壁、大悬臂的结构形式。近30年来,这种结构形式被广泛地应用在城市高架道路、立交桥中,并倾向于采用大悬臂翼板

的预应力箱形梁。这样的构造形式不仅使结构美观、大方,而且在设计上也更为合理。

由于箱形截面梁的广泛应用,箱形截面梁的受力也就引起各国学者的普遍关注。桥梁工程师和科研人员对箱梁的受力特征、设计计算理论进行了大量研究,发表了较多的论文,其中大量的论文是针对箱梁的受力特征的,这些论文中,有基于纯理论方法的,有结合具体工程实际的,主要研究内容为箱梁剪力滞、扭转、畸变、翘曲影响等;另一类则是关于箱梁结构设计原理的,如研究箱梁斜截面抗裂、弯扭极限承载力等。相对而言,关于箱梁结构设计原理的研究则较少。

2.2 城市桥梁双层交通

20世纪60年代国外开始出现预应力混凝土连续梁双层桥,包括公路与人行道双层桥、公路与铁路双层桥以及公路与地下铁路双层桥,如1980年在奥地利维也纳市多瑙河上新建的帝国(New Reichs)桥,该桥为10跨,主跨跨度为169.61 m,箱顶面为公路桥面,箱内通铁道,箱外挑出人行道,这座桥的另一个特点是采用部分预应力设计理论的概念进行设计,在桥轴方向施加有限预应力,在顶板及底板上横向施加部分预应力。1992年加拿大兴建的跨越鲍河的尔加里的轻轨桥梁是一座双层桥面的曲线桥,并采用了预应力混凝土箱梁技术。2000年在厄勒松海峡上连接丹麦和瑞典主跨跨度为490 m的厄勒松海峡大桥(Oresund Bridge),是全欧洲最长的公路铁路两用桥。中国在1980年前后开始对双层预应力混凝土连续梁桥进行了可行性研究和设计,但尚未受到应有的重视^[5]。自改革开放以来,特别是20世纪90年代,随着中国桥梁建设的不断发展,大跨度桥梁相继建成,仅跨越长江的桥梁就有6座(九江长江大桥、西陵大桥、武汉长江二桥、长江三桥、重庆长江二桥、江阴长江大桥),还有多座桥梁正在计划中。在这些桥梁中九江和江阴长江大桥是公路铁路两用桥,实现了双层交通^[6]。1996年坐落在天津中山路南端、横跨海河之上的金刚桥改建成了一座双层桥,上层为新建三跨中承式钢管混凝土系杆连拱桥,供机动车通行,下层利用旧墩台,建成三跨钢-混凝土组合箱形连续梁桥,供非机动车和行人通行,缓解了交通拥挤状态,同时也给出了一个利用新结构、新技术建造双层桥的思路。新建的武汉天兴洲公路铁路两用长江大桥将超过2000年在厄勒松海峡上连接丹麦和瑞典的厄勒松海峡大桥,成为世界上跨度最大的公路铁路两用桥。武汉天兴洲公

路铁路两用长江大桥的下层为4线铁路,其中2线铁路按高速客运专线标准设计,上层为6车道公路。澳门西湾大桥为了满足超多车道过桥以及公路铁路两用、台风期通车的功能需要,首次采用新型双层预应力混凝土斜拉桥结构,并在8级台风下仍能实现箱内全天候过海交通运营的需要,是世界上第1座以全预应力混凝土巨型箱梁实现箱内外行车的斜拉桥。

实现双层交通将是城市桥梁和跨江、跨河桥梁发展的趋势。目前结合工程实际,对已经设计或实施的跨江、跨河双层交通的大跨度桥梁进行了一些具体的研究,但系统性不够,特别是针对大量中小跨径的城市桥梁,就如何实现城市桥梁双层交通,仅仅只有一些概念性的介绍,鲜见系统性的研究报道。为此,本文中笔者首次提出能够使城市桥梁实现双层交通的“混凝土巨型箱形截面梁”的概念。作为一种新型结构形式,虽然已有部分传统混凝土箱形截面梁以及城市桥梁双层交通的研究及应用基础,但仍迫切需要对其开展有效的研究工作,提出可靠的设计理论和方法,以推动这种结构形式的实用化。为此,本文中提出深入开展混凝土巨型箱形梁受力性能及设计方法研究的一系列关键技术问题。

3 设计中的关键技术问题

混凝土巨型箱形截面梁结构体系的空间计算理论研究包括:抗弯、抗剪、抗扭承载力、剪力滞后效应以及应力集中;抗裂性能及裂缝发展过程;在长期及短期荷载作用下的刚度及变形;车辆作用下混凝土巨型箱形截面梁的动力性能、抗疲劳性能;结构的抗风性能、抗震性能及振动舒适度问题;施工方法对混凝土巨型箱形截面梁受力性能的影响等。需要考虑的荷载包括结构自重、二期恒载、列车活载、风荷载、桥面温度梯度和支点不均匀沉降等。因此,应重点考虑以下6个方面的因素:

(1)剪力滞后是箱形梁主要变形特点之一,若忽略剪力滞的影响,可能会导致错误地分析截面内的应力状态,造成不安全的隐患,甚至引起重大的事故,因此对其进行全面、深入的研究有着重大的理论和实际意义。

(2)为满足功能要求,混凝土巨型箱形截面梁不能设置横隔板,而取消横隔板势必会引起箱梁抗扭刚度的下降,且不符合各国技术规范对此类结构的有关规定,因此对于双层交通这样的特殊桥梁结构应进行专门的研究设计,以确保结构的整体受力性

能及局部受力性能。

(3) 由于双层受载, 箱形截面需要承受较大的荷载, 因此对这种无横隔板混凝土巨型箱形截面梁的横向内力以及抗扭、抗畸变能力应进行重点研究, 同时给出相应的构造措施, 以确保结构的安全性、耐久性。

(4) 考虑双层交通尤其下层交通的行车安全、空气环境、交通污染等, 在其腹板上需要开设必要的通风、采光、景观、逃生、消防等孔洞, 由此产生的局部应力集中, 有可能引起不安全后果, 这无疑给结构设计带来难题, 因此必须对此进行详尽的整体结构应力、局部梁段应力和孔口局部应力分析。

(5) 从结构安全及行车舒适性方面考虑, 双层交通对结构的动力性能、抗疲劳性能要求较高, 因此对混凝土巨型箱形截面梁应充分考虑其动力性能及稳定性能, 以确保结构使用安全。

(6) 这种新型桥梁主要承重结构的抗风、抗震设计等所涉及的问题, 已超出了目前各国技术规范的相关规定范畴。因此应进行专门的抗风、抗震分析, 以保证车辆通行安全。

4 结 语

(1) 混凝土箱形截面梁具有整体性好、抗扭刚度大、结构动力特性优越、适应性强等优点, 在直线段、曲线段、过渡线段等处均可采用, 特别适用于中等跨度的城市桥梁。通过加大传统混凝土箱梁截面高度, 在腹板上开设必要的孔洞, 将箱梁的顶板、底板均作为桥面系, 形成混凝土巨型箱形截面梁, 是城市桥梁实现双层交通较为理想的结构设计选择。这不仅使城市桥梁在有限的土地资源及布置空间内极大地提高了城市交通的使用效率, 改善了桥梁通行条件, 同时也为城市多车道公路铁路合建及城市轻轨、立体交通建设提供了新的设计思路。

(2) 针对混凝土巨型箱形截面梁箱内因通车而无法设置常规横隔板和在腹板上大规模开设孔洞的特点, 对其整体受力性能、横向内力、剪力滞后效应、扭转畸变及在腹板开设大量孔洞引起的局部应力集中等一系列关键技术问题进行专门研究, 可以填补无横隔板、腹板大规模设置孔洞的混凝土巨型箱形梁设计技术的空白, 保证混凝土巨型箱形截面梁结构的安全、适用与经济, 为混凝土巨型箱形截面梁在城市桥梁中的推广应用奠定坚实的基础。

(3) 今后深入开展混凝土巨型箱形截面梁受力

性能的研究应从设计理论、受力性能(包括结构的抗震性能、抗风性能和在车辆荷载作用下的动力性能、抗疲劳性能等)的试验研究以及施工技术等方面入手, 从而在试验研究和理论分析的基础上, 形成混凝土巨型箱形截面梁的设计方法, 包括建立混凝土巨型箱形截面梁抗弯、抗剪、抗扭、刚度、变形、抗裂、徐变等的计算方法, 提出混凝土巨型箱形截面梁结构的构造措施以及施工方法等。

参考文献:

References:

- [1] 孙建渊, 陈阶亮. 城市桥梁双层交通的概念设计[J]. 桥梁建设, 2006(2): 39-42.
SUN Jian-yuan, CHEN Jie-liang. Conceptual Design of Double-deck Traffic for City Bridge[J]. Bridge Construction, 2006(2): 39-42.
- [2] 关大壮, 翟世海, 叶龙飞, 等. 浅谈箱形梁设计[J]. 北方交通, 2007(6): 3-5.
GUANG Da-zhuang, ZHAI Shi-hai, YE Long-fei, et al. Simply Talking About Box Beam Design[J]. Northern Communications, 2007(6): 3-5.
- [3] 张 强. 澳门西湾大桥设计的若干关键技术问题研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.
ZHANG Qiang. Study of Some Key Technological Problems in Design of Macau Xiwan Bridge[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2006.
- [4] 靳战峰. 箱形薄壁梁剪力滞效应研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2006.
JIN Zhan-feng. Research on the Shear Lag Effect of Thin-walled Box Girder[D]. Wuhan: Wuhan University of Technology, 2006.
- [5] 吴海林, 季文玉, 许克宾. 秦沈客运专线箱梁空间应力分析[J]. 北方交通大学学报, 2001, 25(1): 39-42.
WU Hai-lin, JI Wen-yu, XU Ke-bin. Analysis of Box Girder Used in Qin-Shen Passenger Transport Special Railway Line[J]. Journal of Northern Jiaotong University, 2001, 25(1): 39-42.
- [6] 李德建, 戴公连, 黄玉盈. 混凝土斜拉桥肋板式主梁截面应力分布特性[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2002, 30(12): 107-110.
LI De-jian, DAI Gong-lian, HUANG Yu-ying. The Study of the Stress Distribution Characteristic on Separated Girder-plate Section of Prestressed Concrete Cable Stayed Bridge[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology: Natural Science Edition, 2002, 30(12): 107-110.