

大直径钢绞线在城市轨道交通工程中的应用

岳章胜 蒋海军 王利伟

(青岛市市政工程设计研究院有限责任公司, 266071, 青岛//第一作者, 高级工程师)

摘要 以青岛地铁 8 号线工程为背景, 对 $\phi 15.2 \text{ mm}$ 和 $\phi 17.8 \text{ mm}$ 钢绞线进行结构构造对比及受力计算分析。经过现场试验数据验证, 在标准梁长为 32.7 m 的 U 形梁中成功应用了 $\phi 17.8 \text{ mm}$ 大直径钢绞线, 拓宽了 U 形梁在轨道交通工程中的应用范围, 同时也为 $\phi 17.8 \text{ mm}$ 大直径钢绞线在国内的推广应用积累了宝贵的工程经验。

关键词 城市轨道交通; 大直径钢绞线; U 形梁; 计算分析
中图分类号 U448.21; TU511.3+2

DOI:10.16037/j.1007-869x.2019.08.037

Application of Large-diameter Steel Strand in Urban Rail Transit Engineering

YUE Zhangsheng, JIANG Haijun, WANG Liwei

Abstract Based on Qingdao metro Line 8 project, the structures of $\phi 15.2 \text{ mm}$ and $\phi 17.8 \text{ mm}$ steel strands are compared and their force conditions are computationally analyzed. After field test and data verification, the $\phi 17.8 \text{ mm}$ large-diameter steel strand is successfully applied to the U-girder with a standard beam length of 32.7 m, which widens the application range of U-girder in rail transit engineering, and at the same time accumulates valuable engineering experiences for the application of $\phi 17.8 \text{ mm}$ large-diameter steel strand in China rail transit.

Key words urban rail transit; large-diameter steel strand; U-girder; computational analysis

Author's address Qingdao Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., 266100, Qingdao, China

1 工程概述

青岛地铁 8 号线工程作为青岛市青岛北站、红岛站、胶东国际机场三大综合交通枢纽的集散线, 全长 60.8 km, 最高运行速度 120 km/h。其高架段长约 6.5 km, 与济青高铁并行, 间距约 25 m。济青高铁采用长 32.7 m 的标准简支箱梁, 青岛地铁 8 号线高架段与济青高铁对孔布置, 采用长 32.7 m 的标准 U 形梁。

预应力混凝土 U 形梁是一种下承式桥梁结构

形式, 与箱梁、T 梁、板梁相比, U 形梁具有有效建筑高度低、外形美观, 以及能阻止车辆出轨及倾覆下落等优点^[1]。青岛地铁 8 号线工程高架段标准梁采用混张法预应力混凝土简支 U 形梁, 标准梁长 32.7 m, 线间距 5.0 m。U 形梁腹板为弧形设计, 支座中心线距梁端 0.6 m。梁端 1.2 m 为 U 形梁底板加厚区; 梁高由 1.90 m 增至 2.04 m, 渐变段长 0.42 m; 跨中外腹板厚均为 0.28 m, 支点处内外腹板厚均为 0.30 m, 底板厚 0.26 m, 梁端底板加厚至 0.40 m; 梁的上口宽 5.42 m, 下宽 3.98 m (梁端底板加厚区底宽 4.52 m), 外腹板顶宽 1.00 m, 内腹板顶宽 0.72 m; 线路中心线偏向内腹板侧, 与底板中心线偏心 0.14 m。梁端横截面见图 1。跨中横截面见图 2。

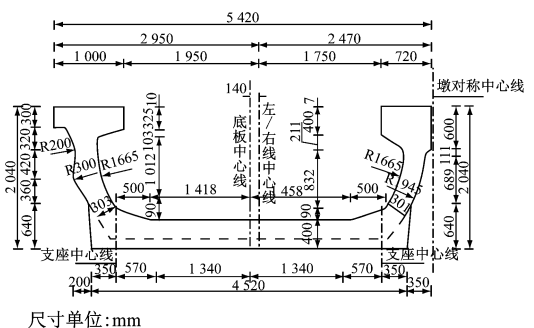


图 1 梁端横断面图

本文通过对 U 形梁横截面采用 $\phi 15.2 \text{ mm}$ 钢绞线和 $\phi 17.8 \text{ mm}$ 大直径钢绞线进行布置对比, 并对长 32.7 m U 形梁进行平面杆系计算和空间实体模型分析, 最终采用 $\phi 17.8 \text{ mm}$ 大直径钢绞线混张法的施工工艺。

2 U 形梁钢绞线结构构造对比

国内钢绞线的规格按结构分主要有 1×2 、 1×3 、 1×7 、 1×19 四种^[2], 即 2 根、3 根、7 根、19 根钢丝捻制的钢绞线。目前国内基本上采用 $\phi 15.2 \text{ mm}$ (1×7) 钢绞线, 大直径钢绞线仅在采矿行业少量采

实体单元模型来分析其空间受力情况。通过采用 BSAS 和 MIDAS 桥梁分析软件分别进行杆系和实体建模分析。三维实体模型及跨中截面纵向应力云图如图 5~8 所示。

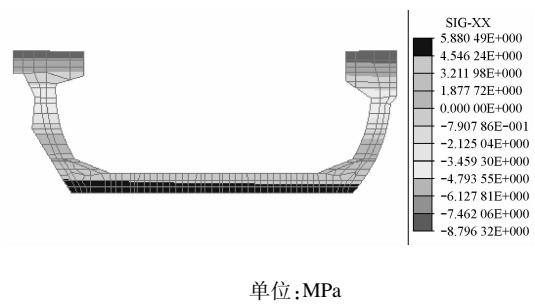


图 5 自重作用下跨中截面应力云图

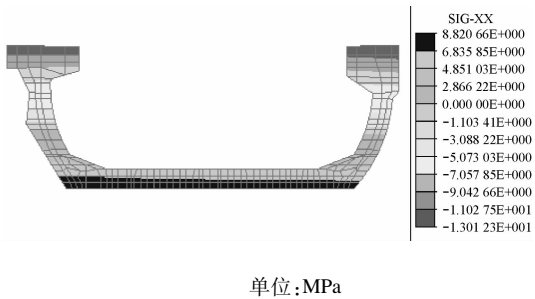


图 6 自重 + 二期作用下跨中截面应力云图

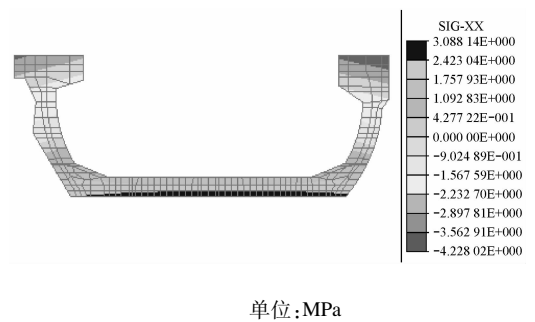


图 7 活载作用下跨中截面应力云图

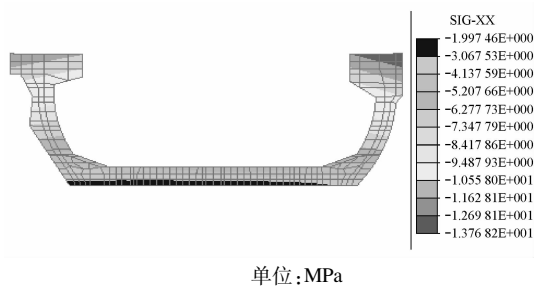


图 8 主力作用下跨中截面应力云图

平面杆系和空间实体单元模型应力计算结果对比见表 3。从表 3 中可以看出,传统的平面杆系结构已无法反映结构应力分布情况。平面杆系模型计算的主力作用下截面下缘最小压应力为 2.34 MPa,而实体单元模型计算的下缘最小压应力为 2.0 MPa,实体单元应力安全储备值要小于平面杆系模型计算结果,但均满足 TB 10092—2017《铁路桥涵混凝土结构设计规范》要求。

表 3 U 形梁纵向应力计算结果

荷载工况	杆系模型		实体模型					
			内侧腹板		外侧腹板		底板下缘	
	上缘	下缘	上缘	下缘	上缘	下缘		
	(max)	(min)						
主力/MPa	12.97	2.34	13.80	3.40	12.70	2.70	2.00	

3 ϕ 17.8 mm 钢绞线工程参数

由于目前国内无 ϕ 17.8 mm 大直径钢绞线应用先例,因此在青岛地铁 8 号线 U 形梁施工过程中,做了大量的试验工作,积累了 ϕ 17.8 mm 大直径钢绞线的第一手资料。ϕ 17.8 mm 钢绞线力学性能实测参数见表 4^[6]。

表 4 ϕ 17.8 mm 钢绞线力学性能实测参数

检验项目	公称直径/ mm	截面积/ mm ²	弹性模量/ GPa	抗拉强度/ MPa	整根钢绞线 最大力/kN	0.2% 屈服 力/kN	最大力总伸 长率/%	应力松弛 性能
指标标准	17.8	191	195 ± 10	≥1 860	355 ≤ · ≤ 391	≥311	≥3.5	≤2.5
检验结果	17.8	191	201	1 930	369	331	5.0	
	17.8	191	199	1 930	368	333	5.5	1.5

检测结果表明,ϕ 17.8 mm 钢绞线的力学性能与常规 ϕ 15.2 mm 钢绞线基本相似,其力学性能满足 GB/T5224—2014《预应力混凝土用钢绞线》的各项指标要求。

腹板束采用 4 股 ϕ 17.8 mm 后张钢绞线,施工

前对 ϕ 17.8 mm 大直径钢绞线进行了摩阻系数试验。钢绞线孔道偏差系数及摩阻系数检测报告见表 5^[7]。

检测结果表明,ϕ 17.8 mm 大直径钢绞线孔道偏差系数以及锚口、喇叭口的损失率与 ϕ 15.2 mm

表 5 $\phi 17.8\text{ mm}$ 钢绞线钢束与波纹管间孔道
摩阻系数参数表

检验项目	技术指标	测试值
锚口、喇叭口 损失率	$\leq 6\%$	5.32%
孔道偏差系数	0.002~0.003	0.002 3
孔道摩阻系数	0.20~0.26	0.289 6

直径钢绞线相差不大,均在规定的范围内。 $\phi 17.8\text{ mm}$ 大直径钢绞线孔道摩阻系数比常规钢绞线大,与波纹管间的孔道摩阻系数大于 TB10092—2017《铁路桥涵混凝土结构设计规范》规定的限值,可能是由于直径大的钢绞线周长较长以及与管道接触面积大的原因。

由于钢绞线需要分级张拉, $\phi 17.8\text{ mm}$ 大直径钢绞线初张力无实际工程经验借鉴,施工前对 $\phi 17.8\text{ mm}$ 大直径钢绞线进行了初张力试验。钢绞线初张力检测结果为 $20\% \sigma_{\text{con}}$ [技术指标为 $(10\% \sim 25\%) \sigma_{\text{con}}$]^[8]。常规 $\phi 15.2\text{ mm}$ 钢绞线初张力一般为 $(10\% \sim 15\%) \sigma_{\text{con}}$ ^[9]。试验结果表明, $\phi 17.8\text{ mm}$ 大直径钢绞线初张力合理值为 $20\% \sigma_{\text{con}}$,较 $\phi 15.2\text{ mm}$ 钢绞线略大。

4 U 形梁静载试验结果

4.1 梁体刚度评定

U 形梁架设前需进行设计活载作用下的静载试验。32.7 m 长 U 形梁计算跨径为 31.4 m,跨中挠度计算值为 9.8 mm。经静载试验,其实测跨中挠度最大值为 9.5 mm (测点 1) 和 9.2 mm (测点 2)^[10],与计算值吻合良好;其挠跨比为 $1/3\ 305 < 1/2\ 000$,满足 GB 5015—2013《地铁设计规范》^[11] 中的要求。

4.2 梁体抗裂性能评定

主梁纵向为全预应力混凝土结构,在底板下缘、倒角及圆弧过渡段,均未发现因纵向弯曲而形成的横向裂缝和道床板横向弯曲而形成的纵向裂

缝。主梁的纵向弯曲抗裂性能合格,道床板的横向弯曲抗裂性合格。

5 结语

青岛地铁 8 号线是 $\phi 17.8\text{ mm}$ 大直径钢绞线在国内市政工程及城市轨道交通工程中的首次应用。它在不增大结构尺寸的前提下,能提高预应力筋的使用效率,增大钢绞线间距,拓宽了 U 形梁的应用范围。 $\phi 17.8\text{ mm}$ 大直径钢绞线在大跨度先张法 U 形梁中具有广泛的推广及应用价值,也可为其它市政工程所借鉴。

参考文献

[1] 杨秀仁.城市轨道交通 U 型梁高架系统关键技术研究及创新[J].城市快轨交通,2015,28(5):27.

[2] 中国国家标准化管理委员会.预应力混凝土用钢绞线:GB/T 5224—2014[S].北京:中国标准出版社,2014:5.

[3] 杨春满,朱永胜,张红军,等.矿用大直径高强预应力锚索的开发及应用[J].煤炭科学技术,2008,36(12):59.

[4] 国家铁路局.铁路桥涵混凝土结构设计规范:TB 10092—2017[S].北京:中国铁道出版社,2017:44.

[5] 刘红绪.青岛蓝色硅谷城际轨道交通 U 形梁设计[J].铁道建筑,2016(2):23.

[6] 青岛市建筑材料研究所有限公司.青岛轨道交通 8 号线中建三局预应力混凝土用钢绞线检测报告[R].青岛:青岛地铁有限公司,2017.

[7] 山东公路试验检测中心.青岛轨道交通 8 号线中建三局预制 U 形梁检测报告(BG-2017-MJJ-1005)[R].青岛:青岛地铁有限公司,2017.

[8] 山东公路试验检测中心.青岛轨道交通 8 号线 U 形梁有效应力、初始张拉应力、伸长量检测报告(BG-2017-MJJ-0903)[R].青岛:青岛地铁有限公司,2017.

[9] 中华人民共和国交通部.公路桥涵施工技术规范:JTG/TF 50—2011[S].北京:人民交通出版社,2011.

[10] 上海同济检测技术有限公司.青岛轨道交通 8 号线中建三局预制 U 形梁静载实验结果(R8-No. 1-01)[R].青岛:青岛地铁有限公司,2017.

[11] 中华人民共和国住房和城乡建设部.地铁设计规范:GB 50517—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.

(收稿日期:2018-04-24)

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

www. umt 1998. com