

文章编号: 1674—8247(2018)01—0034—05

## 节段预制胶拼简支梁的构造和力学性能分析

历 付

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300142)

**摘 要:**文章以珠三角城际轨道交通工程为背景,对本工程 23.5 m 后张法预应力混凝土简支箱梁进行研究。介绍了本桥的节段划分、剪力键、预应力束布置等构造特点,研究了胶接缝节段预制拼接简支梁桥的力学特性。通过建立有限元模型,选取支座、支座附近胶接缝、跨中截面为控制截面,对结构强度和运营阶段受力状态进行计算。计算结果表明,结构的强度安全系数、抗裂安全系数、正截面应力、结构变形等均满足铁路规范要求。

**关键词:**城际铁路;胶接缝;预制节段拼接;剪力键

**中图分类号:**U441 **文献标志码:**A

## Structure Details and Mechanical Property Analysis of Segmental Precast Simply Supported Girder Bridge with Epoxy Joint

LI Fu

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300142, China)

**Abstract:** Based on the inter-city rail transit of Pearl River Delta, a 23.5 m post tension concrete simply supported box girder of the project is analyzed. Segmental division, shear key and prestressing tendons layout are introduced, and the mechanical characteristics of segmental precast simply supported girder bridge with epoxy joint are studied. By building finite element models, selecting support, epoxy joint near support and setting mid-span section as control section, strength of the structure and the stress state are calculated. The results show that the safety factor of strength, safety factor of crack-resistance, cross-section stress and the structure deformation all meet the railway code requirement.

**Key words:** inter-city railway; epoxy joint; precast segment joint; shear key

节段预制拼接方法因具有分段标准化、工厂化预制和利用现代化机械设备现场拼装的特点,已广泛应用于我国桥梁建设中。该方法根据接缝形式的不同,可以分为三种类型:湿接缝、胶接缝和干接缝。湿接缝由于在节段拼接处需绑扎钢筋、浇筑混凝土,施工工期较长,不利于环境保护。干接缝由于在接缝截面无特殊处理,在耐久性、抗裂性等方面存在一定缺陷。胶接缝节段预制梁可以有效的改善以上问题,已广泛应用于国外的公路、铁路中。我国近年来建成的苏通长江

大桥深水区引桥(75 m 跨径连续梁)、上海长江大桥引桥、南京长江四桥引桥等均采用该施工方法;在地铁领域方面,广州地铁 4 号、14 号、21 号线等大规模的使用了节段预制胶拼方法;在普速铁路中,黄韩侯铁路芝水沟特大桥是节段预制拼接方法的首次应用<sup>[1]</sup>。但在城际铁路、客运专线、高速铁路等领域,尚无应用实例。

本文依托珠三角城际交通新塘经白云机场至广州北的项目,对 23.5 m 后张法预应力混凝土节段预制胶拼简支箱梁进行了研究,分析其构造要点和受力

收稿日期:2017-09-11

作者简介:历付(1981-),男,高级工程师。

引文格式:历付. 节段预制胶拼简支梁的构造和力学性能分析[J]. 高速铁路技术,2018,9(1):34-38.

LI Fu. Structure Details and Mechanical Property Analysis of Segmental Precast Simply Supported Girder Bridge with Epoxy Joint[J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(1): 34-38.

特性,为以后的工程设计建造提供借鉴。

## 1 节段预制胶拼简支梁构造

### 1.1 箱梁构造

本桥采用 C50 混凝土,是单箱单室简支箱梁。跨

中顶板厚 28 cm,底板厚 28 cm,腹板厚 40 cm,梁端顶板、底板、腹板局部向内侧加厚,分别为顶板厚 48 cm,底板厚 65 cm,腹板厚 95 cm。桥面板宽 11.6 m,桥梁建筑总宽 11.9 m。梁长 24.6 m,计算跨度为 23.5 m,标准横断面如图 1 所示。

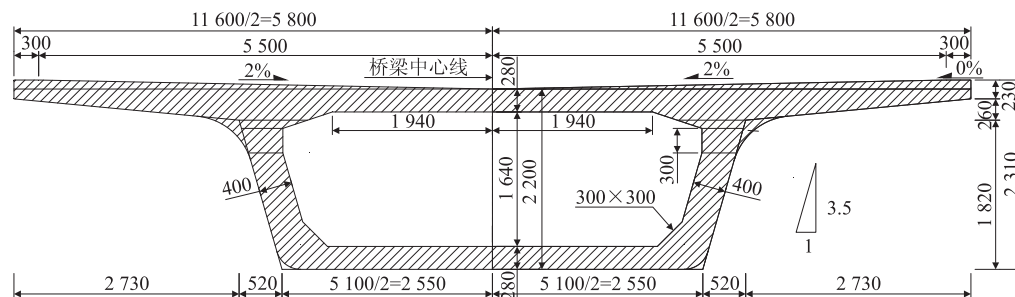


图 1 标准横断面图(mm)

## 1.2 节段划分

全桥分为3类10个节段,预制节段分为端头节段(D1、D2)、渐变节段块(G1)及标准节段块(B1)三种类型<sup>[2-3]</sup>。端头节段D1、D2长度为1.8 m、2.3 m。渐

变节段块 G1 节段长度 2.6 m。标准节段块 B1 节段长度 2.8 m。节段最大吊重为 513.1 kN。节段具体划分方式如图 2 所示。

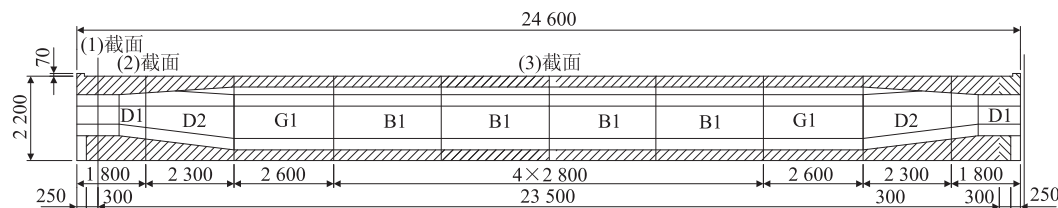


图2 主梁节段划分(mm)

### 1.3 拼接缝构造

拼接缝布置剪力键,并在拼接面涂抹环氧树脂胶<sup>[4]</sup>。

剪力键的功能主要包括定位和提供抗剪能力两个方面。从现代铁路高标准要求出发,其定位功能和抗剪传力同等重要。美国 AASHTO《节段式混凝土桥梁设计和施工指导规范》建议采用复合密键形式,即腹

板采用密键形式,顶、底板采用疏齿形式。密键形式有利于剪力在接缝面均衡传递,方便个别剪力键的施工误差的修正,耐久性好且利于布置预应力孔道。而顶、底板的剪力键主要起定位作用,故采用便于施工的疏键形式。本梁采用这种复合密键形式,剪力键布置如图3所示。

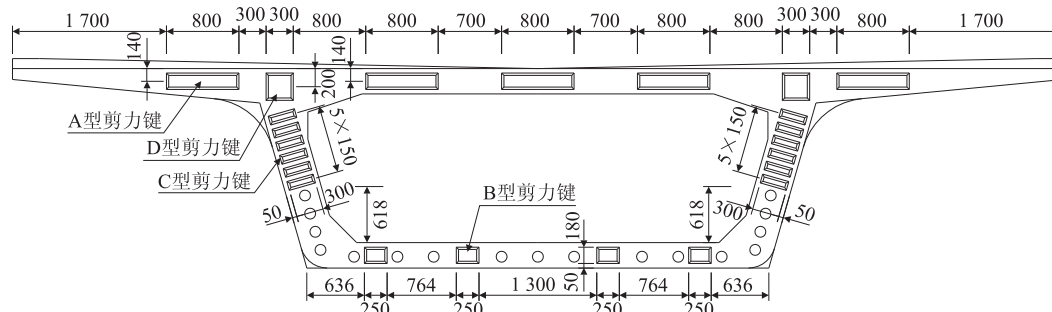


图3 剪力键布置(mm)

剪力键采用梯形键,与预制梁段一次成型,在腹板

上除预应力孔道位置外满布,同时在箱梁顶板及底板



表2 抗弯承载力验算

控制截面	主力				主力+附加力			
	$M$ /(kN·m)	$M_n$ /(kN·m)	$K$	[K]	$M$ /(kN·m)	$M_n$ /(kN·m)	$K$	[K]
(1)	-296.78	34 482.89	116.19	2.0	-296.78	34 482.89	116.19	1.8
(2)	3 096.10	53 531.57	16.43	2.0	3 096.10	53 531.57	16.43	1.8
(3)	33 240.04	76 452.12	2.19	2.0	33 240.04	76 452.12	2.19	1.8

沿竖向发展,由于控制截面(2)处为所有接缝面中剪力最大位置,截面抗剪强度由纵向预应力筋弯起抗剪、剪力建抗剪和摩阻力抗剪三部分组成。

(1)纵向预应力弯起抗剪:

$$V_{sb} = 0.8 \times f_y \times A_{sb} \times \sin\alpha \tag{1}$$

式中: $V_{sb}$ ——与胶接缝相交的纵向预应力弯起钢束受剪承载力;

- $f_y$ ——弯起钢束的抗拉计算强度;
- $A_{sb}$ ——弯起钢束的截面面积;
- $\alpha$ ——弯起钢束的与梁轴线的夹角;
- 0.8——应力不均匀折减系数。

(2)剪力键抗剪:

$$V_k = [\tau] \times A_k \tag{2}$$

式中:[ $\tau$ ]——混凝土容许剪应力;  
 $A_k$ ——剪力键面积。

(3)摩阻力抗剪  $V_n$ :

$$V_n = 0.6 \times \sigma_n \times A_m \tag{3}$$

式中: $\sigma_n$ ——混凝土截面法向压应力;  
 $A_m$ ——摩阻力受力面积;  
0.6——摩擦系数。

抗剪计算结果如表3所示。

表3 抗剪承载力验算

控制截面	主力/kN	抗剪承载力/kN	$K$
(2)	5 352.6	25 950.0	4.84

2.2 运营阶段结构计算

2.2.1 截面正应力

在BSAS中可以方便快捷的计算出各荷载组合作用下各截面的最大最小应力,表4列出了各控制截面上下翼缘的最大正应力值。

表4 截面正应力验算(MPa)

控制截面	主力		主力+附加力	
	上翼缘	下翼缘	上翼缘	下翼缘
(1)	-1.18	-3.34	-1.23	-4.01
(2)	-1.20	-4.27	-1.26	-4.94
(3)	-4.89	-6.88	-4.89	-7.37

由于本桥为全预应力混凝土结构,设计时所有截面在运营阶段均处于受压状态。主力组合下,截面最大压应力为6.88 MPa,小于 $0.5f_c = 16.8$  MPa;主力+

附加力组合下,最大压应力为7.37 MPa,小于 $0.55f_c = 18.4$  MPa,均满足要求。

2.2.2 截面剪应力

进行截面剪应力计算时,同样需考虑主力组合和主力+附加力组合两种工况。两种荷载工况作用下,截面最大剪应力均为1.56 MPa,均满足《桥规》要求, $\tau_c = 1.56$  MPa <  $0.17f_c = 5.7$  MPa。

2.2.3 正截面抗裂验算

对于节段预制胶接缝拼装式预应力体外预应力混凝土箱梁,抗裂控制截面是拉应力最大的接缝截面<sup>[8]</sup>,基于《桥规》7.3.9条的规定并考虑节段端面抗拉薄弱砂浆层的影响,对接缝截面混凝土抗拉强度考虑修正系数 $k_{ct}$ ,运营荷载作用下正截面混凝土的抗裂性应满足如下条件:

$$K_t\sigma \leq \sigma_c + \gamma k_{ct}f_{ct} \tag{4}$$

式中: $\sigma$ ——计算荷载在接缝面受拉边缘产生的正应力;

$K_t$ ——抗裂安全系数,主力和主力+附加力组合时 $K_t = 1.2$ ,按施工临时荷载计算时 $= 1.1$ ;

$\sigma_c$ ——扣除相应阶段预应力损失后混凝土接缝截面的预压应力,按《桥规》7.3.5条的规定计算;

$\gamma$ ——考虑混凝土塑性的修正系数,按《桥规》7.3.5条的规定计算;

$k_{ct}$ ——接缝截面混凝土抗拉强度的修正系数;根据节段端面手动砂纸打磨处理、电动钢丝刷打磨处理及电动砂轮打磨处理,分别取0.3、0.5及0.8,或偏安全的不考虑混凝土抗拉极限强度贡献;

$f_{ct}$ ——混凝土抗拉极限强度,按《桥规》表3.1.3取值。

计算时,偏安全的不考虑混凝土抗拉极限强度的贡献,正截面抗裂计算如5表所示。

表5 抗裂安全系数  $K_t$

控制截面	主力		主力+附加力	
	上翼缘	下翼缘	上翼缘	下翼缘
(3)	4.28	1.77	4.27	1.73

2.2.4 变形计算

由于预制节段胶接箱梁节段之间胶接缝会对运营

状况弹性阶段的结构变形产生不利影响,在结构变形计算时,截面抗弯刚度取值应考虑该影响。计算变形时,截面抗弯刚度按下式计算:

$$B = k_j E_c I_0 \quad (5)$$

式中: $k_j$ ——胶接缝对截面抗弯刚度的折减系数,根据中国铁道科学研究院的试验结果取0.90;

$E_c I_0$ ——梁截面的抗弯刚度。

根据《桥规》第4.1.2条,静活载(不计列车竖向动力作用)所引起的最大竖向挠度为:3.2 mm =  $l/7\ 344 < 1.4L/1\ 750 = 18.8$  mm,列车竖向静活载作用下梁端转角为0.425‰,小于规范限值1.5‰,均满足规范要求。为保证线路在运营状态下的平顺性,梁体应设置预拱度,跨中反拱值为7.3 mm。

### 3 结束语

本文介绍了城际铁路中节段预制拼装后张法预应力混凝土简支箱梁的构造和受力特点,从本文分析可知,节段胶拼简支箱梁拼接缝剪力键宜采用复合密键形式,由于胶接缝对结构强度具有一定影响,因此设计时需对截面抗弯、抗剪进行折减,同时应加强拼接缝位置的正截面抗剪强度检算。通过本文的介绍,可为节段预制拼装混凝土简支梁的设计提供参考。

### 参考文献:

- [1] 高明昌. 铁路节段预制胶接拼装简支箱梁的技术特点和优势[J]. 铁道建筑, 2015, 55(10): 60-63.  
GAO Mingchang. Technical features and advantages of railway assembled simply-supported box-girder with epoxy resin joints[J]. Railway Engineering, 2015, 55(10): 60-63.
- [2] 刘安双, 马振栋. 预制节段拼装桥梁在城市轨道交通中的应用

[J]. 公路交通技术, 2014, 31(5): 77-80.

LIU Anshuang, MA Zhenrong. Application of precast segmental assembling bridges in urban rail transit. [J]. Technology of highway and transport, 2014, 31(5): 77-80.

- [3] 熊安书. 广州市轨道交通四号线预制节段拼装梁设计[J]. 国防交通工程与技术, 2005, 3(3): 19-21.  
XIONG Anshu. Design of the precast segmental assembling beams of the 4th Guangzhou metro line[J]. Traffic Engineering and Technology for National Defence, 2005, 3(3): 19-21.
- [4] 于越, 李国平. 轻轨高架桥胶接缝节段式体外预应力箱梁的构造与受力[J]. 结构工程师, 2011, 27(4): 34-39.  
YU Yue, LI Guoping. Structural Details and Mechanical Behavior of Externally Prestressed Epoxy-Joint Segmental Box Girders of Metro Viaduct[J]. Structural Engineers, 2007, 27(4): 34-39.
- [5] AASHTO. 2003 Interim Revisions to the Guide Specifications for design and Construction of Segmental Concrete Bridge, Second Edition (1999) [M]. Washington: American Association of State Highway and Transportation Officials, 2003.
- [6] TB 10092-2017 铁路桥涵混凝土结构设计规范[S].  
TB 10092-2017 Code for design of the concrete structure of railway bridge and culverts[S].
- [7] 张元海, 李乔. 桥梁结构日照温差二次力及温度应力计算方法研究[J]. 中国公路学报, 2004, 17(1): 49-52.  
ZHANG Yuanhai, LI Qiao. Study of calculation method for sunshine temperature difference secondary force and thermal stress of bridge structure [J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17(1): 49-52.
- [8] 曹增华. 胶接缝节段预制拼装桥梁的抗裂性计算[J]. 铁道建筑, 2016, 56(12): 21-23.  
CAO Zenghua. Crack resistance calculation of precast segmental assembling bridge with epoxy resin joints[J]. Railway Engineering, 2016, 56(12): 21-23.

(编辑: 赵立红 苏玲梅)

(上接第18页)

- YAO Yuchun, YUAN Biyu. Selection of Reinforcing Structure for Ballastless Track Subgrade Constructed on Steep Foundation Based on Innovative Methods[J]. High speed railway technology, 2015, 6(4): 31-35.
- [6] 王保林, 姚裕春. 基于创新方法的林织铁路滑坡路堑加固结构研究[J]. 高速铁路技术, 2015, 6(2): 15-18.  
WANG Baolin, YAO Yuchun. Selection of Reinforcing Structure for Slide Cut Subgrade of Lindai-Zhijing Railway Based on Innovative Methods[J]. High speed railway technology, 2015, 6(2): 15-18.

- [7] 谭润华. TRIZ及引用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010.  
TAN Runhua. TRIZ and Quote [M]. Beijing: Higher Education Press, 2010.
- [8] 魏永幸, 熊祥雪, 秦小林, 等. 基于创新方法的科研流程再造及创新模式研究[J]. 铁道工程学报, 2014, 30(3): 123-127.  
WEI Yongxing, XIONG Xiangxue, QIN Xiaolin, et al. Research on the Innovation Model and Rebuilding of Scientific Process Based on Innovative Approach [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2014, 30(3): 123-127.

(编辑: 刘会娟 苏玲梅)