

# 高速铁路 40 m 跨箱梁预应力混凝土 试验台座设计与施工技术

伊立刚

(中铁十四局集团房桥有限公司,北京 102400)

**摘要:**高速铁路箱梁试验台座是指用于提供箱梁加载试验反力的地下构筑物,目前,我国各铁路箱梁场采用的试验台座主要有重反力式和抗拔桩式两种。为了满足中国铁路首幅跨度 40 m 预制简支箱梁的研究需要,考虑到 40 m 箱梁的自重和跨度均大于现行的 32 m 箱梁,并且在研究过程中试验工况繁多,所需加载力值大,设计了一种鱼腹式预应力钢筋混凝土试验台座。在台座施工过程中,通过优化施工方案,解决了深基坑边坡防护、大体积混凝土施工、预埋吊带精确定位等技术难题。通过在 40 m 箱梁研究课题中的实际工程应用,该试验台座不仅满足了试验需求,而且减少了混凝土用量、节约了成本、提高了试验效率,取得了比较显著的社会和经济效益。

**关键词:**高速铁路;40 m 跨度箱梁;预应力混凝土;试验台座

**DOI:**10.13219/j.gjgyat.2020.01.009

**中图分类号:**U446.3 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-3953(2020)01-0031-005

为了满足我国高速铁路的建设需求,从 2014 年起,我国就已经开始进行大跨度简支梁的技术研究。2016 年 03 月,铁路总公司《高速铁路大跨度简支梁建造关键技术研究》正式启动,开始研究和推广跨度 40 m 预应力混凝土简支箱梁。为了验证 40 m 箱梁的结构受力性能,需要模拟梁体在各种工况下的受力状态,进行梁体加载试验。由于需考虑的梁体工况繁多,加载力值大,加上 40 m 箱梁的自重大、跨度长,如何设计出一种既满足试验需求又便于施工的试验台座,成为了课题继续进行的关键。

## 1 试验台座设计

### 1.1 设计要求及相关参数

(1)设计要求:①试验台座及配套工装应能满足提供 40 m 箱梁各项加载试验(包括梁体静载试验、运营性能试验、抗裂性能试验、破坏试验、吊梁顶梁试验及桥面板试验等)所需试验反力的要求。②台座的强度、刚度、稳定性需满足要求。40 m 梁加载级  $K=2.0$  级作用下,台座上拱挠度  $f \leq 5.0$  mm,台座上缘拉应力  $\sigma \leq 2.0$  MPa。

(2)相关参数:①40 m 箱梁全长 40.6 m,跨度

39.3 m,底板宽 5.4 m,桥面宽 12.6 m,支座间距 4.4 m,线间距 5.0 m,梁体自重 925 t。②静载试验采用不同于现行 32 m 箱梁的 7 截面加载方案,加载截面间距为 4 m,每个截面 2 个加载点,加载点横向间距 6 166 mm,  $K=1.20$  级(1.2 倍设计荷载)对应单点加载力值 1 200 kN。③梁体破坏试验  $K=2.0$  级(2.0 倍设计荷载)下单点最大加载力值 2 100 kN<sup>[1]</sup>。

### 1.2 场区工程地质情况

除表层杂填土外,场区土体以卵石土为主,地基承载力标准 400~450 kPa,但土体结构松散,边坡稳定性差,不利于基坑开挖或钻孔打桩。

### 1.3 试验台座结构选型

在铁路箱梁预制中,试验台座的结构型式,往往取决于静载试验架的选型。当采用内力自平衡式静载试验架时,试验台座仅起到基础支撑作用,无须提供试验反力,采用扩大基础或桩基础即可。当采用门架式静载试验架时,试验台座需提供试验反力,目前,主要有重反力式和抗拔桩式两种。

(1)重反力式:试验台座为钢筋混凝土结构,依靠结构自重来提供试验所需反力。优点是结构简单,施工速度快;缺点是混凝土方量大,成本高。

(2)抗拔桩式<sup>[2]</sup>:抗拔桩为混凝土灌注桩或预制桩,依靠桩身与土体的摩擦力来提供试验所需反力。优点是施工速度快,混凝土方量较小,成本较低;缺

收稿日期:2019-05-10

作者简介:伊立刚(1986—),男,工程师,主要从事土木工程施工技术管理工作。71040653@qq.com

点是在碎石土地基中桩身开挖困难,当所需试验反力较大时,桩长显著增大,成本也显著提高。

考虑到本项目的试验需求和场区工程地质情况,以上两种型式的试验台座均不适用,因此,自行设计了一种鱼腹式预应力钢筋混凝土试验台座。

#### 1.4 试验台座构造及检算

试验台座采用预应力钢筋混凝土结构,截面形式采用鱼腹式,两端为实心矩形,中部为箱型,台座整体外观见图 1。

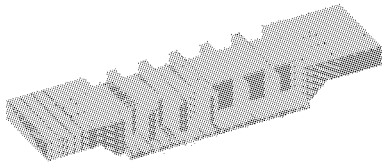


图 1 试验台座外观

(1)各部尺寸:台座全长 43.0 m,高 2.5~4.5 m,宽 9.9~12.9 m,从台座跨中向两端设置 7 个横隔板,横隔板宽 9.9 m、厚 1.0 m、高 4.5 m,布置加载反力预埋吊带。各部尺寸详见图 2。混凝土总方量 1 091 m<sup>3</sup>,混凝土标号 C40。普通钢筋采用 HRB400 热轧螺纹钢筋,规格为 $\varnothing 20$  mm、 $\varnothing 16$  mm、

$\varnothing 12$  mm。

(2)预应力布置:台座内布置 6 束预应力束,预应力钢筋采用 1 $\times$ 7-15.2-1860-GB/T5224 预应力钢绞线,采用 15 孔锚具,每束锚外张拉控制应力为 1 400 MPa,预应力张拉荷载共计 2 940 kN $\times$ 6=17 640 kN。预应力孔道直径 100 mm,采用金属波纹管成孔。预应力筋布置见图 2。

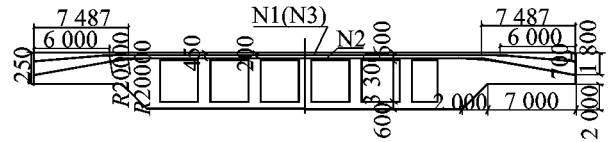


图 2 试验台座外形尺寸及预应力钢筋布置(单位:mm)

(3)预埋吊带:在梁体加载试验中,台座内的预埋吊带用于与门架式静载试验架连接,将试验反力传递给试验台座。为了满足试验需求,在台座内共预埋 9 组 18 根预埋吊带。预埋钢吊带采用 Q345 钢材。其中跨中左右的 7 组用于梁体静载试验、破坏试验等,一端的 2 组用于模拟运架梁时梁端受力性能试验。此外,在台座两端两侧布置有 4 处钢管混凝土立柱,用于模拟提梁机提梁时梁端受力性能试验。布置见图 3。

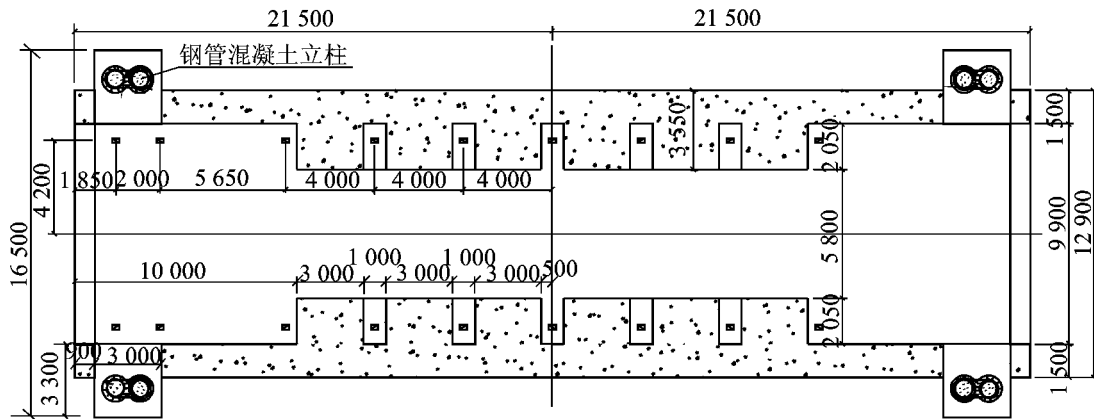


图 3 预埋吊带及钢管混凝土立柱布置图(单位:mm)

(4)设计检算情况:根据 Midas Civil 建模计算结果,试验台座在张拉、 $K=1.20$  级、 $K=2.0$  级的不同荷载工况下设计检算结果见表 1。

## 2 试验台座施工技术

试验台座施工工艺流程:基坑开挖与支护 $\rightarrow$ 混凝土垫层施工 $\rightarrow$ 预埋吊带制作与安装 $\rightarrow$ 钢筋加工、绑扎 $\rightarrow$ 台座主体混凝土施工 $\rightarrow$ 混凝土养护 $\rightarrow$ 预应力张拉 $\rightarrow$ 管道压浆 $\rightarrow$ 封锚 $\rightarrow$ 周边土方回填压实。

### 2.1 基坑开挖与支护

本工程基坑开挖深度 2.4~4.4 m,基坑周围无高大建筑,无地下管线,按照危险性较大的分部分项工程编制了基坑开挖专项施工方案。主要施工技术要求如下:

(1)在场区内同时设置了 3 个平面测量控制基准点和 3 个水准测量基准点,使用全站仪进行基坑平面位置的测量放样,使用水准仪进行高程的测量控制。

(2) 基坑开挖至上而下水平分层分段进行, 总体上分4层, 每层1 m左右。

(3) 基坑边坡采用土钉墙挂网喷浆支护, 每层开挖完成后, 即在边坡土体内打入土钉进行加固, 土钉采用 $\varnothing 16$  mm 螺纹钢, 土钉长2 m, 土钉间距2 m, 土钉与边坡表面垂直, 土钉墙表面挂铁丝网(规格: 重60刀), 表面喷水泥砂浆支护, 砂浆厚度不小于60 mm, 铁丝网的搭接长度不小于300 mm。

(4) 先以挖掘机挖至坑底设计标高以上20~30 cm, 然后人工清理至设计标高, 以免扰动基底, 确保地基承载力。随后, 使用挖掘机碾压基底2~3遍, 保证基底平整密实。开挖完成后, 为避免基底长时间暴露, 要立即浇筑混凝土垫层, 垫层采用C30混凝土, 厚度150 mm。

## 2.2 预埋吊带制作与安装

(1) 预埋吊带钢材采用Q345B, 焊条采用T506或T502焊条。为确保焊缝内部均匀稳定, 采用分层施焊工艺, 第1层焊缝选用较细的焊条, 以确保角点处焊接质量。每层焊缝全部完成后再进行下一层的焊接。焊接后钢吊带应保持平整与顺直, 外形尺寸容许误差为 $\pm 2$  mm, 钻孔定位容许误差为 $\pm 1$  mm。

(2) 钢吊带安装采用吊车辅以人工配合进行, 为确保安装定位精度, 由测量人员使用全站仪和水准仪精确控制钢吊带的位置和标高, 符合要求后焊接固定; 同时考虑到钢吊带高度达5 m, 为避免由于钢筋绑扎、混凝土浇筑等原因导致钢吊带偏离设计位置, 在相邻的钢吊带之间使用拉杆进行连接固定(见图4), 增加整体稳定性。



图4 预埋钢吊带安装

## 2.3 钢筋绑扎

(1) 施工缝处(南北两端实心段与中段连接处)纵向受力钢筋的连接采用单面搭接焊, 焊缝长度不小于 $10d$ ; 其余部位纵向受力钢筋的连接均采用搭接绑扎, 最小搭接长度为 $40d$ 。

(2) 预应力管道成孔采用预埋金属波纹管成孔, 为保证管道中心位置准确, 专门设计有管道定位网片, 网片采用 $\varnothing 10$  mm 圆钢制作, 设置间距不超过500 mm。

(3) 为检测试验台座在张拉和加载试验时的实际受力情况, 验证设计效果, 在台座跨中顶板上层(跨中偏南2 m处)和分段浇筑施工缝处(距北端11 m)分别预埋了8根和2根振弦式应变计, 布置位置如图5所示。

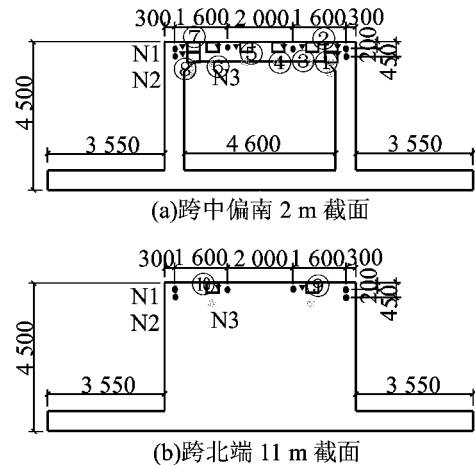


图5 振弦式应变计布置(单位:mm)

## 2.4 台座主体混凝土施工

由于试验台座几何尺寸较大, 总混凝土方量达到 $1\ 091\ \text{m}^3$ , 为了便于施工, 同时更好的控制大体积混凝土的施工质量, 在综合考虑台座受力状态的基础上, 将试验台座分为5个部分, 按照底板→中段腹板→北端实心段→南端实心段→中段顶板的顺序进行施工。施工过程见图6。

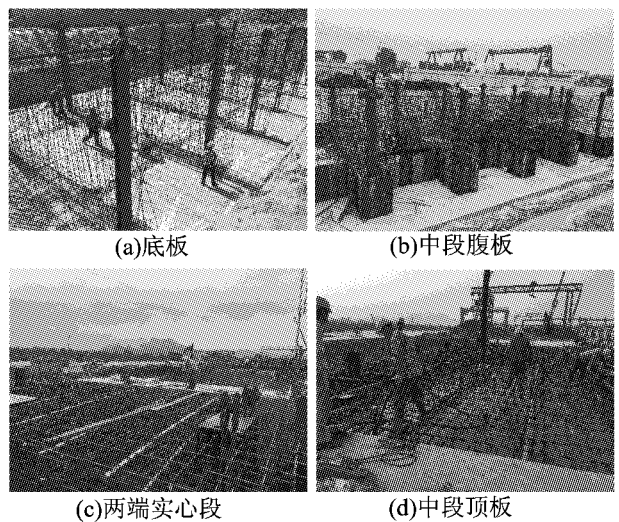


图6 台座主体混凝土施工

### 2.5 预应力张拉

台座张拉采用两端同步对称张拉工艺,张拉顺序为 N1→N3→N2,锚外张拉控制应力为 1 400 MPa。张拉用千斤顶及油压表经配套检定合格,张拉以张拉力控制为主,伸长值作为校核。

张拉过程中,对试验台座的应力及变形情况进行了监控。每张拉 2 根钢绞线读 1 次应变读数,1#测点累计应变-39,2#测点累计-23,3#测点累计-

17,9#测点累计-35,10#测点累计-54。其余测点数据无效。按照弹性模量 35 GPa 换算,各应变测点处实测推算应力分别为 1#测点-1.37 MPa,2#测点-0.81 MPa,3#测点-0.60 MPa,9#测点-1.23 MPa,10#测点-1.89 MPa。有效测点推算应力平均值为-0.93 MPa。使用精密水准仪测量的跨中下挠量为 1.0 m,与设计结果基本相符(见表 1)。

### 2.6 管道压浆和封锚

表 1 不同工况下试验台座应力与变形统计表

检算项目	台座+40 m 箱梁 自重沉降/mm	张拉工况		K=1.20 级		K=2.0 级	
		下挠量/mm	上缘应力/MPa	上拱量/mm	上缘应力/MPa	上拱量/mm	上缘应力/MPa
设计计算	1.9	1.2	-1.30	2.6	0.2	3.1	1.2
实际检测	—	1.0	-0.93	2.5	0.1	3.2	0.9

注:①拉应力为正,压应力为负。②反力台座每个单元节段长度 0.5 m、宽度 9 m。假定地基对台座结构每节点的支撑刚度为  $10^5$  kN/m。

台座张拉完成 24 h 后,检查钢绞线无滑丝现象,使用机械切割的方式切断多余的钢绞线。随后,在张拉结束后 48 h 之内进行管道压浆,压浆材料选用管道压浆料,设备采用全自动压浆台车,使用真空辅助压浆工艺,确保压浆饱满密实。封锚采用干硬性补偿收缩混凝土,封锚完成后覆盖薄膜保湿养护。

### 3 试验台座实际应用

8 月中旬完成试验台座施工,11 月至次年 2 月,在试验台座上陆续进行了 40 m 箱梁的各项加载试验(见图 7),包括梁体静载试验、运营性能试验、抗裂性能试验、破坏试验、吊梁顶梁试验及桥面板试验等。

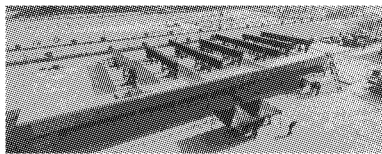


图 7 梁体加载试验

对  $K=1.20$  级和  $K=2.0$  级加载荷载下试验台

座的应力和变形情况进行了跟踪测量,数据见表 1。

从表 1 可看出,试验台座的应力及变形控制均达到了设计要求。实践表明,试验台座的强度、刚度、稳定性均满足试验需求,保障了研究课题的顺利进行。

### 4 结束语

与传统的重反力式试验台座和抗拔桩式试验台座相比,鱼腹式预应力钢筋混凝土试验台座可以减少混凝土用量,造价更低,并且受工程地质条件的影响较小,适用范围更广。对于使用门架式静载试验架的预制梁场或试验工况较多、加载力值大的项目,具有一定的推广应用价值。

#### 参考文献

- [1]中国铁道科学研究所. 高速铁路大跨度简支梁足尺试验梁试验大纲:2016G002-G[R]. 北京:中国铁道科学研究院,2016.
- [2]王绍栋. 合福铁路高沟制梁场箱梁静载试验台座设计[J]. 山西建筑,2012,38(05):211-212.

## Design and Construction Techniques of the Pre-Stressed Concrete Test Bed for the 40 m-Spanned Box Girder of High Speed Railways

YI Ligang

(The Fangqiao Co. Ltd. of the 14th Bureau Group of China Railway, Beijing 102400, China)

**Abstract:** Test beds of box girders for high-speed railways refer to the underground structures used to provide box girders with loading test reaction. Right at present, there are chiefly two types of test beds used in various (下转第 80 页)

(2)加强过程控制确保仰拱及填充厚度、密实度,后期多上检测设备,尤其是富水地段,采取注浆等措施,务必确保密实。加强防排水的施工质量控制,严格检查止水带、防水板的安装是否规范。

(3)建议仰拱标高不要一次施作到设计标高,最好预留 30~40 cm,便于后期无砟轨道质量控制。

(4)富水地段无砟轨道施工之前设置横向排水管(PVC 或镀锌钢管)将侧沟水引至中心水沟,避免大面积积水,浸泡道床板。

(5)中心水沟增设竖向泄水孔,边墙增设横向泄水孔。

(6)无砟轨道与填充面之间连接,如有条件可预留接茬钢筋,对轨道板进行加固。

(7)运营单位加强对岩溶发育、地表破坏严重、二衬渗水严重、仰拱反水严重地段的监测。

(8)全面掌握地表的地形地貌,避免人为的破坏。

## 7 结束语

由于水压力导致高天隧道无砟轨道上拱,在整

治施工中,通过采取排水降压、注浆加固、道床锚固、布置永久泄压孔、监控测量等控制措施,效果明显。整治完成后,隧道及轨道结构处于良好工作状态,隧道稳定性及列车运行安全性与舒适性满足要求。

### 参考文献

- [1]李建辉. 贵广客专隧道无砟轨道上拱病害成因分析及整治[J]. 铁道运营技术, 2019, 25(03): 1-3, 25.
- [2]刘 鹏, 郑志辉, 胡 狄, 等. 纵连板式无砟轨道-PC 简支箱梁协同工作分析[J]. 铁道工程学报, 2019, 36(07): 27-32.
- [3]李 强. 高速铁路隧道无砟轨道上拱整治技术研究[J]. 铁道标准设计, 2019, 63(07): 117-123.
- [4]何振宁. 铁路隧道疑难工程地质问题分析——以 30 多座典型隧道工程为例[J]. 隧道建设, 2016, 36(06): 636-665.
- [5]丰明海, 何振宁. 铁路隧道施工中围岩变形失稳工程地质问题[J]. 工程地质学报, 2014, 22(04): 677-683.
- [6]王志杰, 徐海岩, 周 平, 等. 高速公路隧道衬砌结构病害整治技术研究[J]. 铁道标准设计, 2017, 61(10): 125-132.
- [7]赵 勇, 田四明, 孙 毅. 中国高速铁路隧道的发展及规划[J]. 隧道建设, 2017, 37(01): 11-17.

## Preventive and Renovating Techniques Against the Water-Pressure-Induce Arching of the Ballastless Tracks of High-Speed Railway Tunnels

FAN Yan

(The Safety and Quality Supervision Group of the 18th Bureau Group Co. Ltd. of China Railway, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** When a high-speed railway tunnel is being operated, even a slight camber occurring on the track will affect the railway transportation, and if a serious camber occurred on the track, it would threaten the safe operation of the train. The renovation of such cambers on the track of railways is very difficult and high in risk. Upon the basis of analyzing the many factors that may cause draining to be inhibited and the ballastless tracks to camber as a result of the rise in water pressure in quite a few actual projects, put forward in the present paper are many renovation technical measures such as draining water and lowering water pressure, grouting to consolidate the sub-grade, anchoring the railway roadbed and the like. After being renovated in the way that mentioned-above, the track structure is found to be in good condition.

**Key words:** operation of high-speed railways; ballastless track; arching; renovation

(上接第 34 页) railway box girder yards in China; the heavy reaction type and the uplift pile type. In order to meet the needs of the research into the first 40 m-spanned prefabricated simply-supported box girder for Chinese railways, and also considering the facts that both the dead weight and the span of 40 m-box girder are larger than those of the existing 32 m box girder, and there are more complex test conditions and larger loading force involved in the research process, especially designed here is a fish-bellied pre-stressed reinforced concrete test bed. During the construction of the bed, the difficult technical problems such as the protection of the side slope of the deep foundation pit, the construction techniques of mass concrete, the precise positioning of pre-embedded suspension belts and the like are solved by means of optimizing the construction schemes. Through the application of the 40 m box girders to practical projects, it is found that the test bed not only meets the test requirements, but also helps reduce the consumption of concrete, save the cost, improve the test efficiency, and achieve remarkable social and economic benefits.

**Key words:** high-speed railway; 40 m-span box girder; pre-stressed concrete; test bed