

文章编号:1009-6825(2009)17-0282-03

# 大跨宽箱 PC 连续刚构主跨底板钢束空间分析

贺华刚 钟明全 郝付军

**摘 要:**通过建立大跨宽箱连续刚构主跨跨中区段空间模型,采用大型通用有限元程序 ANSYS 计算分析,比较研究了箱底板横肋对其横向拉应力的影响,以实现连续刚构主跨跨中下挠的可控制性。

**关键词:**连续刚构,箱梁底板,横肋,空间效应

**中图分类号:**U445

**文献标识码:**A

## 0 引言

山区公路建设为预应力混凝土连续刚构提供了广阔的应用舞台和良好的发展机遇,然而在连续刚构底板纵向预应力钢束的施工过程中或成桥运营后,由于底板纵向预应力束产生的径向力,经常会导致底板混凝土崩裂或产生顺桥向的纵向裂缝,严重影响桥梁的安全性和耐久性。随着材料、工艺、施工技术的不断发展,连续刚构不断朝大跨、宽箱、薄壁方向发展。跨径增大,必然会导致更多的底板预应力束,底板束的径向力作用也更为明显;而箱梁宽度增加,壁厚减少,则会使底板刚度不足,在底板束的径向力作用下,产生较大的横向挠曲变形,使得底板产生较大的横向拉应力。因此,在一些大跨、宽箱连续刚构中,由底板束张拉导致的混凝土纵向裂缝,甚至崩裂情况时有发生。

近年来,国内对大跨宽箱连续刚构桥箱底板纵向预应力钢束空间效应研究日渐关注<sup>[1,2]</sup>。目前的研究主要通过三维有限元程序实体建模,计算分析底板纵向预应力钢束径向力作用下的底板横向应力分布规律,认为底板纵向预应力钢束张拉产生的径向力

作用是导致底板混凝土纵向裂缝或崩裂的主要原因<sup>[1,2]</sup>,提出了一些预防措施,譬如适当增加底板厚度,增设底板横向预应力钢束,设置底板横肋,加强底板防崩钢筋等,但针对这些措施对底板横向应力的影响未做定量分析。本文以重庆绕城公路水土嘉陵江特大桥为例,通过建立主跨跨中区段有限元空间模型,模拟了底板双层预应力钢束,计算分析了底板横肋对其在纵向预应力钢束径向力作用下的最大横向拉应力的影响。

重庆绕城公路水土嘉陵江特大桥为 138.5 m + 245.0 m + 138.5 m 双幅三跨预应力混凝土连续刚构,单幅主梁为单箱单室截面,箱顶宽 16.75 m,箱底宽 8.5 m,主梁跨中区段采用 C55 混凝土。梁高按半立方抛物线规律变化,跨中梁高 4.5 m,根部梁高 15.3 m;底板厚度按二次抛物线变化,跨中截面底板厚度 0.32 m,根部截面底板厚度 1.6 m。采用三向预应力体系,跨中设有横隔板。

## 1 空间有限元模型

### 1.1 区段模型选取

预应力混凝土连续刚构主跨梁高一般呈抛物线变化,底板纵

具体操作时可对不同孔深(如  $H/8$ ,  $H/4$ ,  $3H/8$ ,  $H/2$ ,  $5H/8$ ,  $3H/4$ ,  $7H/8$ ,  $H$  等截面)进行检测,计算相应孔深倾斜度,绘制孔深与倾斜度关系图。

检测计算结果  $i < 1\%$  且  $E = 500$  mm,则满足 JTG F80/1-2004 公路工程质量检验评定标准要求,方可进入下道工序施工;若检测计算结果不符合标准,则应回填,重新钻孔。

## 3 结语

采用刚性圆球检测法,通过对几个桥梁工地钻孔灌注桩孔径、倾斜度等检测,得到以下结论:1)刚性圆球检测法可应用于钻孔灌注桩孔径、倾斜度检测,弥补了规范中检测方法的不足。2)刚性圆球检测法检测工具成本低,且检测费用不高,可适用于施工单位质量自检。3)采用刚性圆球检测法,可以快速检测钻孔灌

注桩的孔径、倾斜度。4)刚性圆球检测法检测精度基本可靠,能满足规范要求。5)刚性圆球检测法简易可行、操作方便、具有实际应用意义。

## 参考文献:

- [1] JTJ 041-2000,公路桥涵施工技术规范[S].
- [2] JTG F80/1-2004,公路工程质量检验评定标准[S].
- [3] 杨文渊. 简明公路施工手册[M]. 北京:人民交通出版社,1998.
- [4] 张 宏. 灌注桩检测与处理[M]. 北京:人民交通出版社,2004.
- [5] 周国钧,牛青山. 灌注桩设计施工手册[M]. 北京:地震出版社,2002.

## The bridge drilling hole and grouting pile bore diameter and tilt degree new locale testing method

ZHANG Jie

**Abstract:** According to bridge culvert construction technique norm and quantity examination assess standard relevant drill hole and grouting pile bore diameter and tilt degree locale testing method research foundation, the paper puts forward a local feasible and fast rigid round ball testing method to test drilling hole and grouting pile bore diameter and tilt degree, practice proofs that method in the bridge foundation under construction has the actual and applied meaning and plays certain function in a foundation construction quantity control.

**Key words:** drilling hole and grouting pile, bore diameter, tilt degree, rigid round ball testing method

收稿日期:2009-02-13

作者简介:贺华刚(1981-),男,重庆交通大学硕士研究生,重庆 400074

钟明全(1962-),男,教授级高级工程师,重庆市交通规划勘察设计院,重庆 400067

郝付军(1982-),男,重庆交通大学硕士研究生,重庆 400074

向预应力钢束也往往在竖向布置成曲线形状。底板纵向预应力钢束张拉后,会沿曲线产生径向分布力,这一分布力随曲率半径的减小而增大。在连续刚构中,主跨跨中位置曲率半径最小,通过的底板钢束最多,底板截面厚度也最小。因此,从受径向力的角度考虑,跨中区段最为薄弱。综合考虑,截取主跨跨中 87 m 区段箱梁建立空间有限元模型。

## 1.2 单元划分

运用通用有限元程序 ANSYS 对结构进行模拟,箱梁混凝土采用 8 节点实体单元 Solid45,底板纵向预应力钢束采用三维杆单元 Link8,预应力荷载采用降温法模拟,预应力张拉控制应力 1395 MPa,综合考虑 15% 的预应力损失。

考虑到实际施工时,箱梁底板在各节段内呈直线,在节段交接处存在转角(实际上在节段交接处波纹管还是有较小的弯曲曲线,但曲率半径很小,可以偏安全地视为转角<sup>[3]</sup>),模型中预应力钢束按多个折线段进行模拟。为了简化计算,利用对称性,取 1/4 结构进行建模。为保证计算精度,按实际情况准确模拟底板两层预应力钢束的分布位置和底板横肋,对底板、横隔板以及横肋单元划分较细(单元最大边长 0.15 m ~ 0.3 m),其他部位单元最大边长一般不超过 0.45 m。

建立有、无横肋两种有限元模型,分别计算进行比较。底板无横肋,如图 1a) 所示;在底板各个节段交接处设置一道 300 mm × 500 mm (宽 × 高) 的横肋,横肋侧面与锚固齿板端面齐平(考虑到底板节段交接处径向力较大,底板由此产生的横向拉应力也较大,同时与锚固齿板端面齐平也有利于施工),如图 1b) 所示。细部结构单元划分如图 2 所示。

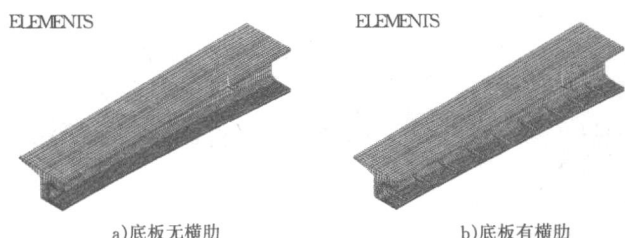


图1 箱梁有限元模型

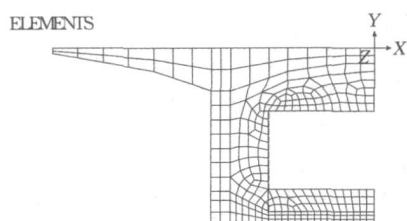


图2 中跨横隔板处有限元模型

## 1.3 模型边界条件

力边界条件:取分离体靠近主墩侧截面为力边界,通过平面程序纵向总体计算而得,弯矩  $1.56 \times 10^4$  kN · m,轴力  $1.84 \times 10^5$  kN (压力)。根据圣维南原理,等效施加到梁端截面腹板上下两节点处,其中上节点处  $9.423 \times 10^4$  kN,下节点处  $8.977 \times 10^4$  kN。

位移边界条件:利用对称性,跨中截面和纵剖面均约束法向位移,根据分离体的平衡条件,靠近主墩侧截面处的剪力以竖向支撑代替。边界条件如图 3 所示。

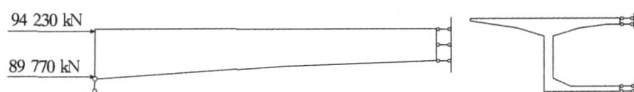


图3 模型边界条件示意图

## 2 有限元分析结果

从计算结果来看,跨中区段箱梁在无横肋的情况下,由预应力的径向力所产生的底板横向拉应力在跨中截面附近第二个节段交接处的底板下缘最大,达到 3.74 MPa,并由跨中向两侧桥墩方向减少。跨中截面由于横隔板的存在,截面横向抗弯刚度增大,底板下缘横向拉应力明显减小。各节段底板最大横向拉应力一般出现在距腹板  $b/4 \sim b/2$  ( $b$  为底板宽度) 区域的底板下缘。

为了更为清楚地了解底板横向应力沿桥纵向的分布,以及横肋对底板横向应力的影响,取模型中靠近跨中截面的 5 个节段,将每个节段在两种情况下的底板最大横向拉应力进行比较,见表 1。

表1 底板横向拉应力比较表

节段号	36	35	34	33	32
无横肋时最大拉应力/MPa	3.10	3.74	2.36	1.72	1.07
带横肋时最大拉应力/MPa	1.02	1.85	0.94	0.88	0.84
最大横向拉应力减少百分比/%	67.10	50.53	60.17	48.84	21.50

从表 1 中数据可以看出,在靠近跨中截面附近的区段,受横肋影响各个节段底板横向最大拉应力有明显降低,其中 36 号节段处降幅最大,达 67.10%。随着节段往桥墩方向的推移,底板的最大横向拉应力受横肋的影响也随之减弱,在 32 号节段处,仅为 21.50%;从 32 号节段再往桥墩方向,横肋对底板最大拉应力的影响甚微。

从分析结果来看,增设横肋对各节段底板最大横向拉应力的影响是随着该节段与跨中截面的距离增大而减少。造成这一现象的主要原因是,在跨中附近截面通过底板的钢束多,钢束弯曲半径小,径向力大,底板厚度小,底板在钢束预应力作用下主要表现为横桥向弯曲变形。当在节段交接处增设底板横肋后,横肋附近区域底板刚度明显增大,弯曲变形减少,底板下缘最大拉应力也随之减少。反之,越靠近桥墩,通过底板的钢束少,钢束弯曲半径大,径向力小,底板厚度大,底板变形不再表现为横桥向的弯曲变形,横肋对减少底板最大拉应力影响甚微。

需要指出的是,两种情况下的底板最大拉应力并不出现在同一位置。在无横肋的情况下,箱底板最大拉应力一般出现在节段交接处,这主要由于实际施工中节段梁高“以直代曲”在节段交接处形成转角,预应力钢束局部弯曲半径变小、径向力大;而在有横肋的情况下,节段交接处底板受横肋加强影响,下缘横向拉应力显著降低,最大拉应力一般出现在横肋两侧 0.5 m ~ 1.0 m 处。

## 3 结语

通过对大跨宽箱 PC 连续刚构桥主跨跨中区段有无底板横肋的空间有限元模型的计算结果分析比较,得出以下结论:1) 在主跨跨中长约  $L/5$  区段( $L$  为主跨跨径)的节段交接处可设置底板横肋,能有效地减少底板最大横向拉应力,对预防底板纵向裂缝有显著效果。2) 大跨度连续刚构主跨底板纵向预应力钢束多、布置密,钢束准确定位难,混凝土浇筑质量也难于保证,可考虑将部分底板束由体外束代替,同时实现连续刚构主跨跨中下挠的可控性。3) 大跨宽箱连续刚构桥一般采用平面杆系有限元程序进行设计计算,不能真实反映 PC 箱梁的空间应力状态,应采用空间有限元方法分析预应力局部效应,对结构设计予以复核。

## 参考文献:

- [1] 王毅. 预应力混凝土连续刚构桥底板径向应力分析[A]. 中国公路学会桥梁和结构工程学会 2006 年全国桥梁学术会议论文集[C]. 北京:人民交通出版社,2006.
- [2] 钟明全. 大跨径宽箱连续刚构桥空间静力特性仿真分析[A]. 中国公路学会桥梁和结构工程学会 2006 年全国桥梁学术会议论文集[C]. 北京:人民交通出版社,2006.

文章编号:1009-6825(2009)17-0284-02

## 宜万线某铁路隧道防水施工技术

周国华

**摘要:**根据宜万线某铁路隧道的水文地质情况,就隧道防排水设计原则及材料选择作了论述,采用了防排结合的方法,重点介绍了防水施工的几个有效方法,通过技术措施的实施,取得了较理想的防水效果,从而提高隧道防水施工质量。

**关键词:**铁路隧道,防排水,施工,结构自防水

**中图分类号:**U455.49

**文献标识码:**A

## 0 引言

随着人们对生态环境保护意识的不断提高,地下环保工程的广泛应用越来越受到大家的重视,铁路隧道、公路隧道、地铁工程等地下工程的建设越来越多。采用新材料、新工艺、新方法对提高地下防水效果,保证设备安全和外观质量,延长结构寿命起着很重要的作用。同时为保证隧道衬砌、通信信号、供电线路和轨道等设备的正常使用,衬砌应根据要求采取防水措施。隧道防水层一般采用全断面不封闭的无压式及全断面封闭的有压式两种形式。防水层应在初期支护变形基本稳定后、二次衬砌灌注前施作。

## 1 水文地质情况

宜万线为山区铁路,多年平均降雨量 1 323.1 mm,隧道处于岩溶水的垂直循环带和水平循环带内,地质构造复杂、补给水源丰富,设计采用电气化牵引,对隧道防水要求较高。

某隧道地质十分复杂,地表岩溶形态除了有峰丛、洼地、溶丘外,普遍的还有岩溶沟(谷)、岩溶槽谷、岩溶沟(峡)谷、石芽、盲谷、坡立谷等。地下岩溶形态主要有地下河、溶洞、漏斗、落水洞、岩溶管道、溶缝、地下廊道等。隧道还存在岩爆、天然气、沥青、地应力、地温、煤层等不良地质。隧道地下暗河发育,隧道穿越油竹—垮岩湾暗河及小溪河地下河系统中的箐口子系统中的多个分支暗河,箐口暗河子系统,由东部云雾山台原和斜坡补给区来水,通过鸟腊河、小马滩河明流和相应的地下充水管道汇入凉风洞,沿层面、裂隙至龙潭、蝌蚪口。

## 2 防排水设计原则及材料选择

## 2.1 防排水设计原则

防水工程设计应该遵循“防排结合”的原则,采用“多道设防”“复合防水”等措施。

## 2.2 防排水材料选择

防水材料选用抗渗性能好,物化性能稳定、抗腐蚀及耐久性好,并具有足够柔性、延伸率、抗拉和抗剪强度的塑料制品,目前多采用厚 1 mm~2 mm 的聚乙烯塑料板,在隧道及地下结构物中的预期使用寿命可达到 100 年以上,在现场施工中,其操作方便,搭接简单,没有危害性,容易被工人接受,在成本方面,它与沥青油毡相当,比 PVC 防水卷材约低 1/3。某隧道采用 EVA 防水板作防水层,防水板厚 1.2 mm,幅宽采用 2.2 m,3.1 m 两种;内衬无纺布缓冲层大于 350 g/m<sup>2</sup>,幅宽采用 2.2 m,3.1 m 两种。

防水板在拱墙设置,拱墙在衬砌背后环向设置  $\phi 50$  mm 软式透水盲管,间距 8 m~15 m,墙角纵向设置  $\phi 100$  mm 软式透水盲管,5 m~8 m 设横向排水管,引排防水层背后的积水。洞身环向施工缝处埋止水带,纵向施工缝设橡胶止水条。

## 3 防排水施工

## 3.1 二次衬砌防水层施工

## 3.1.1 铺设面要求

初期支护混凝土基面要求平、顺,无凸、凹情况,在铺设 EVA 防水板前,做到喷层表面基本圆顺,个别锚杆或钢筋应切断,并用砂浆覆盖,若开挖中因坍方掉块的坑洼或岩溶洞穴,先回填处理,待其稳固后再铺设 EVA 防水板。

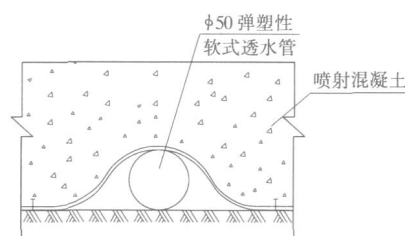


图1 防水板背后环向软式透水盲管安设图

## 3.1.2 防水板铺设及透水管盲沟安设

[3] 冯鹏程.连续刚构桥底板崩裂事故分析[J].世界桥梁,2006(1):16-17.

[4] 张立明. Algor、Ansys 在桥梁工程中的应用方法与实例[M].北京:人民交通出版社,2003.

## Analysis on steel strands space in main span bottom slab of large span PC continuous rigid frame

HE Hui-gang ZHONG Ming-quan HAO Fu-jun

**Abstract:** Through establishing the middle span section space pattern of large span continuous rigid frame, the paper calculates and analyzes by the large universal finite elements procedure ANSYS, compares and studies the influence of box bottom cross rib on direction across bridge stress, so as to reach the controllability of down warping in the main span of continuous rigid frame.

**Key words:** continuous rigid frame, box beam bottom, cross rib, space effect

收稿日期:2009-02-18

作者简介:周国华(1974-),男,工程师,中铁十一局集团第二工程有限公司,湖北 十堰 442500