

# 敞开式圆曲线形钢箱混凝土结构索塔施工技术研究

杨维威

(中铁十九局集团有限公司, 北京 100176)

**摘要:**以广西壮族自治区崇左市崇左大桥为研究对象,在主墩敞开式圆曲线形钢箱混凝土结构索塔施工中,运用有限元软件对全桥受力结构进行模拟仿真计算分析,并结合索塔结构特点,在分节段的基础上再将其以竖向不对称分成2块构件进行厂内定模加工、胎座预拼。再分块运输至桥位,同时采用现场安装1节段索塔同步浇筑1节段钢箱混凝土至距离该节段顶50 cm的施工工艺,不但提高了安装精度,节约了施工成本,而且降低了整体吊装带来的施工安全风险,保证了工程施工质量。

**关键词:**索塔;钢箱;混凝土结构;敞开式圆曲线形;分块;施工

中图分类号:U 455.33 文献标志码:B 文章编号:1009-7767(2018)05-0064-04

## Study on Construction Technology of Cable Tower of Steel Box Concrete Structure in Opened Circular Curve Shape

Yang Weiwei

### 1 工程概况

广西壮族自治区崇左市崇左大桥为矮塔斜拉桥,主跨跨径400 m,边中跨跨径比0.55,桥面以上索塔高33.8 m,桥塔高跨比1/5.32,该桥为墩塔梁固结结构体系。索塔与主墩正立面外观呈敞开式圆曲线形,主墩高32.7 m,顺桥向外宽5.5 m。索塔采用钢箱混凝土结构,外围钢板采用Q345C钢材,板厚30 mm,索塔为箱体结构,箱体内浇注C50微膨胀混凝土,并设置通长加劲肋,然后在加劲肋上开孔,孔内穿Ø20 mm钢筋,形成PBL剪力键,同时在外围钢板内表面设置剪力钉。通过PBL剪力键与剪力钉的共同作用,使索塔钢箱与箱体内混凝土紧密连接。

在桥面以下0号段外侧设置塔梁连接段,连接段底部设置5 cm厚承压钢板,并在承压钢板上施加竖向预应力,以确保承压钢板始终处于受压状态。将主梁0号块横向预应力钢筋伸入连接段内,并与连接段钢板焊接,确保连接可靠。主桥索塔分标准节、连接段及顶帽共计11个节段,最大节段质量46.3 t,由下至上呈圆弧线变截面梯形体构造。主桥索塔立面结构如图1所示。

### 2 技术原理

1)敞开式圆曲线形钢箱混凝土结构索塔施工是在分节段的基础上,再将各个节段以竖向不对称分成2块

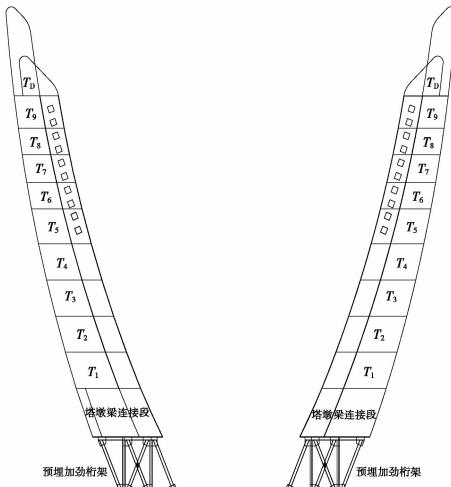


图1 主桥索塔立面结构示意图

进行厂内预制,试拼合格后解体,再运输至桥位现场进行吊装施工,简化了节段间上、下部分对接调整的难度,同时因竖向增加2条对接缝,确保了索塔在一定范围内的可调性、安装精度及工程质量安全。

2)针对敞开式圆曲线形钢箱混凝土结构索塔施工,通过采用仿真模型计算分析<sup>[1]</sup>,结合索塔节段高度,确定选用安装1节索塔同步浇筑1节箱体内混凝土至距离该节段顶50 cm的方案,预留的高度供下一节段钢

箱安装时加劲板焊接和水平对接缝焊接施工使用。该方案可使曲线索塔与箱体内混凝土结合形成共同受力体,以满足结构整体抗压、抗拉的设计要求。

### 3 施工工艺流程及操作要点

#### 3.1 施工工艺流程

敞开式圆曲线形钢箱混凝土结构索塔施工工艺流程如图 2 所示。

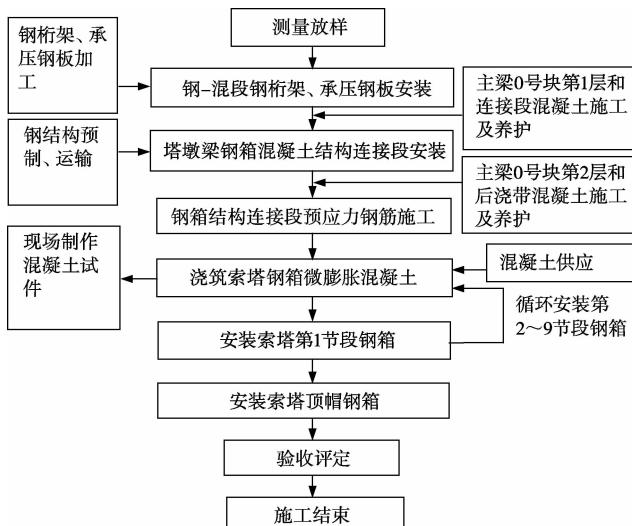


图 2 敞开式圆曲线形钢箱混凝土结构索塔施工工艺流程图

#### 3.2 施工操作要点

##### 3.2.1 测量放样及线性控制

索塔施工中采用全站仪进行测量放样及线性控制。在桥梁墩身顶部给出预埋承压钢板的定位钢桁架轴线位置和高程,并复核墩身轴线和标高,为安装索塔底承压钢板测量中轴线及四角标高提供基准面。在预埋钢桁架施工中,对桥梁墩身轴线和高程的控制至关重要,在索塔后续各节段安装中也起到决定性作用,发现偏差时应及时修正。

##### 3.2.2 索塔钢箱受力分析及安装方案选定

采用有限元软件对全桥运营状态进行计算分析。全桥采用三维梁单元模拟主梁和墩塔,采用索单元模拟拉索,共生成 345 个节点,410 个单元。主桥结构有限元计算模型如图 3 所示。

计算结果表示:施工阶段索塔钢箱最大拉应力 59.78 MPa,最大压应力 180.63 MPa,均小于容许应力(210 MPa),因此满足规范要求。施工阶段索塔钢箱浇筑混凝土后最大法向拉应力  $1.02 \text{ MPa} \leq 3.27 \text{ MPa}(1.15f_{cd})$ ,最大法向压应力  $11.66 \text{ MPa} \leq 26.90 \text{ MPa}(0.7f_{ck})$ ,应力

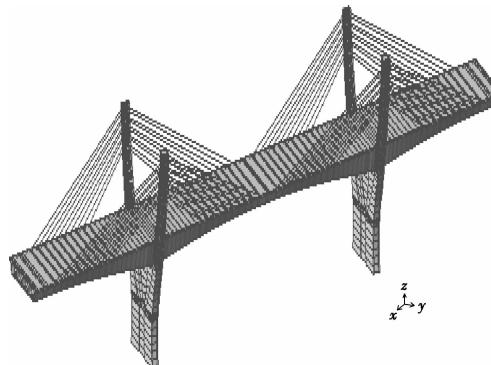


图 3 主桥结构有限元计算模型

满足规范要求。

根据上述分析结果可以看出,索塔安装时在钢箱内同步浇筑混凝土可显著改善索塔受力,保证了安全系数满足要求。因此该安装方案解决了在曲线索塔安装过程中,无需增加辅助受力结构即可满足设计及施工要求的问题。

##### 3.2.3 索塔钢箱混凝土结构制作

索塔钢箱混凝土结构制作工艺流程:施工准备→零件下料及加工→单元件制作→连续匹配拼装制作。

在开始制作前,桥塔的所有结构部件应全部按照设计图纸并考虑实际制作要求进行三维放样<sup>[1]</sup>,再使用专业软件进行仿真制作,提前发现制作中的重、难点,并制定专门的应对方案。

该桥索塔线形为圆曲线拟合而成,几何形状复杂,焊接收缩控制比较困难。同时钢箱内又有上、下节段锚固焊接<sup>[2]</sup>,对索塔的线形和精度要求极高。为保证索塔加工质量,采用连续匹配拼装的方法制作索塔第 1~9 节段。每次拼装范围为“4+1”节段,即第 1 轮拼装制作第 1~6 节段,第 2 轮以第 6 节段为基准拼装制作第 6~9 节段及塔顶节段,以保证各节段间钢箱口匹配、线形符合设计要求<sup>[3]</sup>。

##### 3.2.4 预埋钢桁架及承压钢板安装

塔墩梁钢箱混凝土结构连接段预埋钢桁架和索塔底部 5 cm 厚承压钢板均在专业厂家定尺加工成半成品,试拼合格后运至施工现场,桥位吊装就位并核对好轴线位置和高程后进行牢固焊接。安装完成后再复测轴线和高程,必须保证误差在允许偏差范围内。

##### 3.2.5 索塔钢箱混凝土结构安装

索塔钢箱同样采用工厂加工制作,经验收合格后用汽车运输至施工现场进行安装<sup>[4]</sup>。桥位吊装根据现场起吊位置、起重质量、工作幅度及起重力矩选用 1 台

50 t、3 台 25 t 塔式起重机垂直吊装就位(4 个索塔各设置 1 台塔吊),同时采用 25 t 汽车吊辅助吊装。索塔钢箱混凝土结构安装顺序:预埋加劲桁架→承压钢板→塔墩梁钢箱混凝土结构连接段→第 1~9 节段塔身→塔顶节段装饰。

钢箱每个节段沿竖向分成 a、b 分块进行安装。吊装时先将节段 b 分块与承压钢板临时固定,并焊接码板加强,再吊装节段 a 分块,采用匹配件使其与 b 分块栓接对位,调整 a、b 分块之间尺寸,以保证满足设计要求,索塔钢箱节段分块吊装如图 4 所示。



图 4 索塔钢箱节段分块吊装图

根据设计材质及该桥结构焊接接头形式,现场焊接全部采用药芯焊丝 CO<sub>2</sub> 气体保护焊。焊接顺序为先将 a、b 分块焊接为整体后,再采用塔吊和手拉葫芦相结合的方式对节段与承压钢板之间相对位置进行微调,调整完成后进行节段与承压钢板之间横向焊缝焊接,最后焊接隔板间的对接焊缝。

### 3.2.6 浇筑索塔钢箱混凝土

索塔内钢筋按照设计图纸安装完成后,采用泵送+塔吊吊装料斗的方式进行 C50 微膨胀混凝土的浇筑。混凝土浇筑应分层连续浇筑,浇筑时间间隔不得超过 1 h。

混凝土振捣应遵循快插慢拔的原则,避免振动棒碰触钢箱及其他构件。混凝土顶面采用二次收浆抹面方法,两次抹面间隔约 1 h。

### 3.2.7 混凝土养生

混凝土浇筑完成后,及时采用土工布覆盖洒水养护,并在混凝土表面及钢箱外侧面布设开孔水管,确保混凝土表面湿润,同时使钢箱外侧达到降温效果。

## 4 质量控制

1) 钢箱混凝土结构索塔施工和验收应符合 JTGT

F50—2011《公路桥涵施工技术规范》<sup>[5]</sup>、Q/CR 9211—2015《铁路钢桥制造规范》<sup>[6]</sup>、GB 50755—2012《钢结构工程施工规范》<sup>[7]</sup>、CJJ 2—2008《城市桥梁工程施工与质量验收规范》<sup>[8]</sup>的相关要求。

2) 索塔钢箱加工单位需要具备相应的资质,所有材料必须检测合格方可投入使用。制作前需制定详细的施工方案,并按照评定的工艺性报告和制作规程进行加工。

3) 索塔钢箱混凝土结构的整体组装和焊接应置于坚实的基础之上,并在整体胎架上完成。胎架上要设置足够多的支承点,以保证索塔的整体尺寸精度,整体胎架还应具有足够的刚度,胎架外应设置若干控制点以随时监测胎架在使用中的状态。

4) 由于温度差异,构件的焊缝会产生收缩变化,因此下料时需要考虑温度变化对各节段构件加工的影响。要求每个节段与其相邻的 2 个节段间在厂内应进行预拼装,同样各临时吊点、临时安装匹配件也应与索塔一起制作。

5) 索塔分段进入施工场地后,要组织专业技术人员进行验收。验收时查看厂内试拼记录,对节段外形尺寸及轴线、节段编号、质量、杆件发送号、拼装部位图、拼装匹配件进行检查,同时检查构件在运输过程中是否有变形和损伤。

6) 根据现场地理位置、节段最大质量、设备性能,选择合适的起吊设备,并进行吊装前的试吊、试拼工作,保证吊装安全和安装精度。

7) 索塔钢箱现场焊接时,需根据设计材质及焊接接头形式,进行工艺性焊接试验,并根据焊接工艺性评定报告,采取合理的改进措施,以保证索塔焊接质量。

8) 节段间的对接焊缝、塔上锚块内部焊缝必须达到一级焊缝等级,加劲肋、横隔板与箱壁间的焊缝等其他焊缝必须达到二级焊缝等级。对于检测不合格部位,将焊缝洗掉重新进行焊接,直到检测满足要求为止。

9) 钢箱混凝土配合比应选用低碱水泥,严格控制水胶比和胶凝材料总量、混凝土坍落度,宜在夜间气温最低时浇筑<sup>[9]</sup>,降低水化热速度,防止混凝土收缩产生裂缝。

10) 可采用锤击法来检查索塔内混凝土的密实性。对于混凝土密实性差的部位采用钻孔机钻孔,灌注高强度压浆料进行补强,然后将钻孔部位进行补焊封固<sup>[10]</sup>。

## 5 结语

崇左大桥索塔为箱形结构,钢箱尺寸大,运输成本高,且最大单节质量达 46.3 t,吊装设备要求吨位大,施

(下转第 69 页)

脱离。模板脱落后可将整体下放系统上调至原位置,使整个贝雷梁固定于箱梁上,给钢管立柱留出一定空间方便拆除。

利用吊机拆除钢管立柱及平撑。钢管拆除按照先拆除纵向平联再拆除横向平联的顺序进行,拆除钢管立柱时在原钢管对接焊接位置切割,分节吊离钢管,并利用吊车配合逐根吊装钢管,遵循“解除1根,吊走1根”的原则。

### 5) 支架下放

该项目未采用连续式千斤顶,由于普通千斤顶行程有限,不能一次下放到位,在支架下放过程中,为解决千斤顶行程问题,下放过程采用循环倒顶的方式,在箱梁内设置临时锁定装置,进行循环下放,即:在千斤顶下放时,锁定装置处于开放状态,当千斤顶行程完成后,需要倒顶时,将锁定装置锁定。如此循环稳定下放贝雷梁至地面。循环下放体系如图3所示。拆除下来的支架,在场地内统一堆码整齐。

在支架下放过程中采用同步器使8台千斤顶行程同步,防止下放过程中某些千斤顶不同步,造成局部吊杆受力过大。

## 3 结语

现浇梁支架整体拆除下放技术与常规自上而下拆除方案步骤数量相同,但支架整体拆除下放技术减少了大量高空作业风险,在地面上拆除保证了拆除效

(上接第66页)

工安全难以保证。目前通常采用分节段整体加工成型、桥位逐节段吊装焊接的施工方法。在总结以往工程经验的基础上,研究出了一种适合该类索塔的竖向分体制作、运输及现场吊装就位后焊接成型的施工工艺,即通过采用单节钢箱竖向一分为二,厂内胎座长线法加工拼装,经检验合格后,编号解体运输、安装的施工方法,较好地解决了索塔整体运输困难、吊装安全风险高、安装精度低的施工技术难题。该施工经验供类似工程参考与借鉴。**MET**

## 参考文献:

- [1] 芦群. 斜塔斜拉桥桥塔三维应力分析[J]. 市政技术, 2010, 28(2): 68-69, 86.
- [2] 金明东, 柏平. 预应力混凝土斜拉桥H型主塔施工技术[J]. 市政技术, 2013, 31(Sup1): 66-68.
- [3] 康宇. 斜拉桥主塔吊装技术[J]. 市政技术, 2010, 28(Sup1): 176, 210.

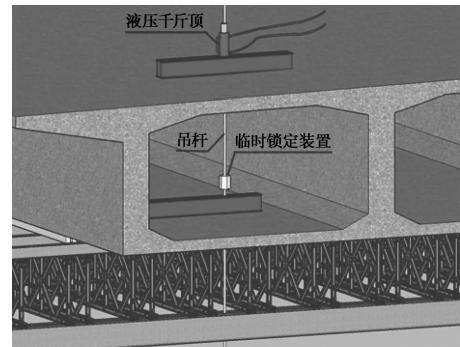


图3 循环下放体系示意图

率和质量,且材料周转快、节约设备和人工数量,进而使成本得到了有效的控制。因此,该技术具有广阔应用前景。**MET**

## 参考文献:

- [1] 麻运涛. 迈步式拆除法在被迫收作条件下综采支架拆除中的应用[J]. 科技创新导报, 2014, 11(28): 104.
- [2] 杜建安. 连续箱梁满堂支架法施工技术[J]. 建筑技术开发, 2017, 44(24): 77-79.
- [3] 魏久成. 桥梁现浇箱梁支架施工技术[J]. 交通世界, 2017(12): 132-133.

收稿日期: 2018-01-21

作者简介: 沈卢明,男,工程师,主要从事桥梁施工管理工作。

- [4] 秦晓锋,李勇超,陈明华,等. 重庆嘉悦大桥塔柱施工技术[J]. 市政技术, 2010, 28(5): 37-40.
- [5] 中交第一公路工程局有限公司. 公路桥涵施工技术规范: JTGF50-2011[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [6] 中铁山桥集团有限公司. 铁路钢桥制造规范: Q/CR 9211-2015[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2015.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 钢结构工程施工规范: GB 50755-2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [8] 北京市政建设集团有限责任公司, 等. 城市桥梁工程施工与质量验收规范: CJJ 2-2008[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [9] 武维宏. 超大直径自应力钢管混凝土索塔设计与施工关键技术[J]. 城市道桥与防洪, 2014(10): 69-73.
- [10] 同济大学, 等. 矩形钢管混凝土结构技术规程: CECS 159: 2004[S]. 北京: 中国计划出版社, 2004.

收稿日期: 2018-02-07

基金项目: 中铁十九局集团有限公司科技研究开发计划项目(17-5A)

作者简介: 杨维威,男,满族,工程师,主要从事混凝土施工技术方面的工作。