

大吨位塔机悬臂拼装上承式拱桥劲性骨架施工技术

冯文山

(中铁十四局集团 第五工程有限公司, 山东 兖州 272117)

摘要:以向莆铁路 FJ-3A 标尤溪大桥 1-140 m 劲性骨架拼装施工为依托, 阐述大吨位塔机分节吊装, 采用千斤顶斜拉扣挂法悬臂拼装铁路桥劲性骨架施工技术。

关键词:劲性骨架; 塔机; 上承式拱桥; 悬臂拼装

中图分类号: U445 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-0373(2012)03-0038-05

0 引言

随着国内以客运专线铁路和高速铁路为代表的铁路建设的迅速发展, 线路对于线下工程的沉降和刚度要求越来越高, 钢管混凝土拱桥以其刚度大、沉降少等显著特点在铁路建设中得到了部分应用。根据钢管混凝土在发挥材料和施工作用, 钢管混凝土拱桥分为两大类别, 一类内灌混凝土, 即钢管表面裸露, 与核心混凝土共同作用作为结构的主要受力部分组成称之为钢管混凝土拱桥 (Concrete Filled Steel Tubular Arch Bridge)。另一类是内灌注混凝土成钢管混凝土后在挂模板外包混凝土形成断面, 钢管材料可参与建成后的受力, 但不是使用荷载控制, 而是施工荷载控制^[1], 称之为钢管混凝土劲性骨架拱桥 (Steel Tube Concrete Arch Bridge)。由于铁路活载的特点, 上承式拱桥多采用钢管混凝土劲性骨架式。向莆铁路尤溪大桥即是此类桥梁的一个典型例子。

1 工程概况

尤溪大桥设计孔跨布置形式为 1-24 m 简支 T 梁 + 1-140 m 上承式拱桥 + 1-32 m 简支 T 梁。桥址处地貌属于剥蚀性底山区, 地势陡峭, 自然坡度为 35°~55°。低山区间谷底, 河谷深切, 现为水库, 跨越处河床宽度为 114 m, 两岸大部分基岩出露, 桥台山体陡峭, 植被发育, 主要为树木与丛林, 桥位处尤溪水面开阔, 河道顺直, 水流缓慢, 设计为 VI 级航道。拱肋为劲性骨架钢筋混凝土 X 形拱, 拱顶处拱肋中心距为 5.6 m, 拱脚处拱肋中心距为 11.4 m, 拱顶内倾 2.9 m。其倾角为 5.37°, 拱肋计算跨径 140 m, 计算矢跨比 1/4.516, 拱肋平面矢高 30.864 m, 拱轴线采用悬链线, 拱轴系数 $m = 2.514$ 。

2 劲性骨架拼装方案选择

劲性骨架拱桥施工主要施工方法有支架施工法、缆索吊装法、平转法、竖转法以及几种方法综合应用的施工方法。因尤溪大桥跨越 130 m 左右宽度的水库, 支架施工方法难度较大。从现场地形地貌分析, 劲性骨架拱角的中心标高在库区水面以下, 加之两侧上坡陡峭, 沿桥方向施工场地极其狭窄, 前期考察工地基本排除了平转和竖转施工方法。若采用缆索吊, 安装位置处于隧道口上方半山腰位置, 缆索吊的后锚施工和构件的拼装难度大, 施工周期长, 且进入尤溪大桥施工道路曲折, 大型运输车辆无法通行, 整体节段无法组装和运输。尤溪库区为 VI 级航道, 缆索吊垂直起降, 需要在桥址水域水面搭设承受不少于 55 t 的水中移动平台, 与航道部门多次联系, 因牵涉安全原因, 终未达成协议。

鉴于以上情况, 经多次专家论证和评审, 最终采用施工方案为: 采用大吨位 (D1100-63) 的塔机进行劲性骨架的单肢分段安装, 千斤顶斜拉扣挂法悬臂拼装成拱方案, 同时后续以塔机为吊装主体, 直至成桥。

收稿日期: 2012-04-20

作者简介: 冯文山 男 1976 年出生 工程师

3 塔机悬臂拼装上承式劲性骨架方案和施工工艺

3.1 施工总体布置

塔机悬臂拼装钢管劲性骨架的关键技术主要为,塔机的选择与骨架阶段的划分,千斤顶斜拉扣挂设计,一次性张拉扣锁计算与分析。其总体布置图见图1所示。

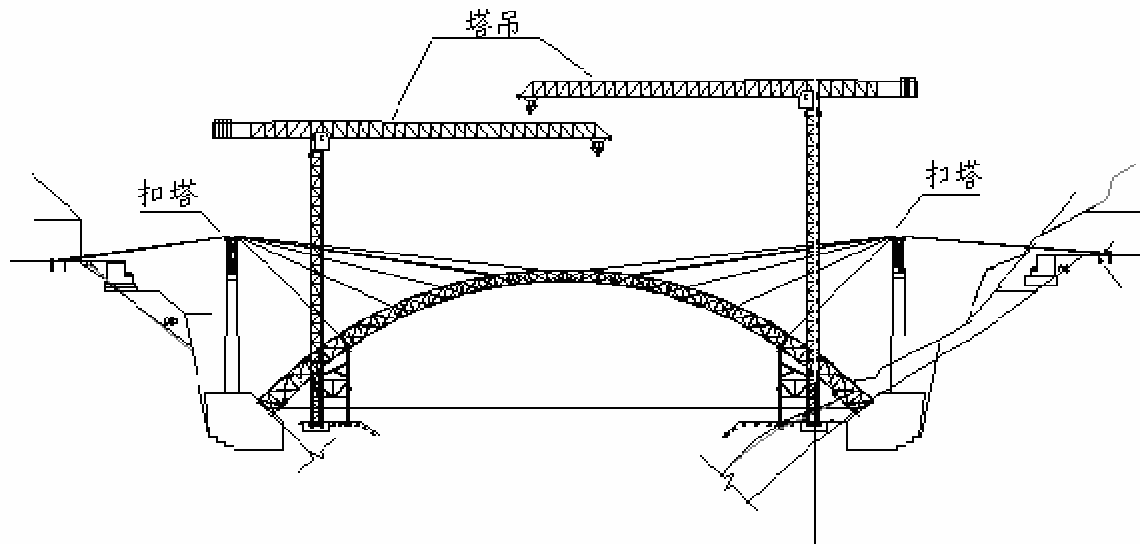


图1 施工总体布置图

3.2 塔机的选择与骨架阶段的划分

尤溪大桥劲性骨架跨度为140 m,总质量约460 t,考虑塔机吊装合龙,塔机臂长不小于70 m。结合道路运输和地形条件,综合塔机市场情况分析,本着尽量减少骨架分段,节约费用为原则,最后选定D1100-63型塔机。劲性骨架考虑安装和合龙精度在塔机的起重曲线内采用单肢分段吊装。共分为13个阶段,即两侧各为6个,合龙节1各。

3.3 千斤顶斜拉扣挂施工技术

3.3.1 扣锚系统

(1)扣塔的构造。利用拱座墩预埋钢板,焊接 $\Phi 50$ 壁厚为8 mm钢管支架作为扣塔使用,扣塔高度为8 m,之间采用 $\Phi 24.5$ 钢管连接。扣塔顶部设置锚梁和锚箱,用于张拉扣挂拱肋。具体形式见图2。

(2)前扣锁和后锚索布置。通过计算,半跨拱肋设置锚索为10组,以拱肋中心对称布置。扣锁的锚固段设置在拱肋扣点上,张拉段设置在扣塔顶部扣锚梁上。后锚索锚固段设置在隧道洞内仰拱上,张拉段同样设置在扣塔顶部扣锚梁上,与前扣锁对称设置。张拉段采用自锚式夹片锚,锚固段采用群锚夹片工作锚并设置推压板。具体布置形式见图2扣塔设计图。

(3)扣锁和扣点^[2]。扣锁主要采用 $\Phi 15.24$ ($R = 1\ 860$ MPa)低松弛高强度钢绞线线束组成,半跨拱肋分10组,左右两片单肢对称布置。根据拱肋悬拼各施工节段工况受力计算,确定扣锁钢绞线的布置。为减少传统的扣点由于焊缝过多给主结构带来的不利影响,吊段斜拉扣索的扣点采用在上弦钢管上设置的钢锚梁,连接吊装主拱肋与扣索。钢锚梁通过拱肋的节点板支承拱肋,并以销轴与拱肋节点板的缀板临时连接,钢锚梁采用2[32c。

(4)后锚系统。结合本桥设计中对陡边坡的处理方案,采用预应力钢绞线锚索加锚梁的主锚碇施工技术。锚索作为主要受力构件,通过固定锚梁,直接平衡锚索的拉力。为了避免集中受力及便于施工操作利用两侧隧道仰拱作为后锚。

3.3.2 一次张拉扣锁法^[3]

扣锁一次性张拉的施工方法,即拱肋在施工中不要张拉和松弛扣锁来调整骨架的拼装线性,且各扣

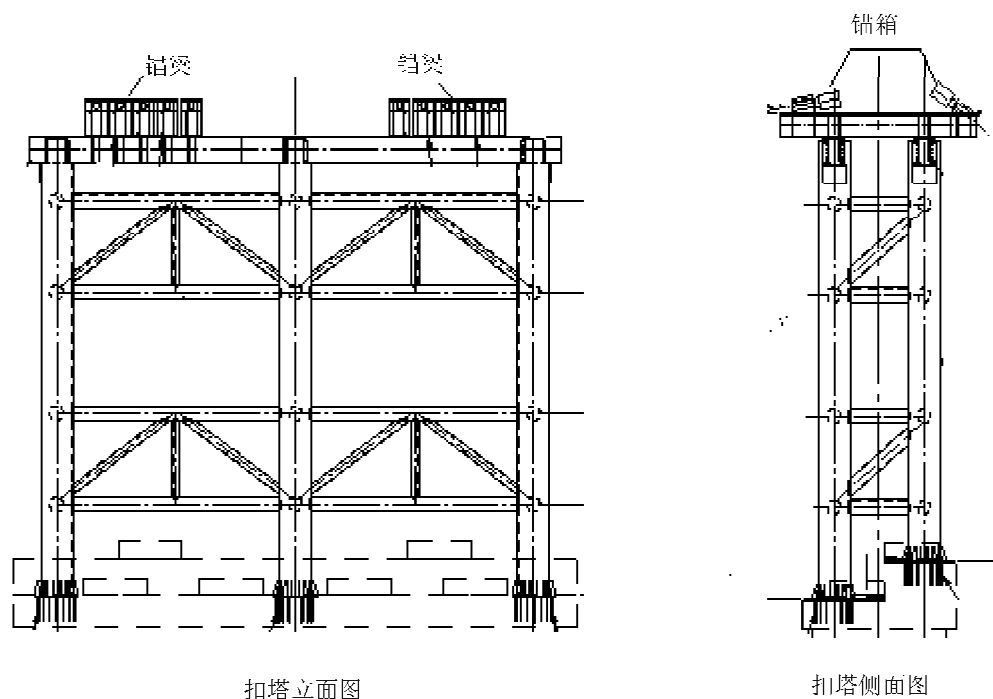


图 2 扣塔设计图

锁的索力相对均匀,是一种理想的施工方法,将成为钢管混凝土拱桥千斤顶钢绞线斜拉扣挂施工方法的新趋势。该方法关键技术在每段拱肋吊装之前,预先准确计算拱肋控制点的预台高值和扣锁的索力,可以采用大型有限元程序 MIDAS 进行非线性计算,计算过程从略。

3.4 拱肋拼装施工工艺^[4]

(1) 拱肋第 1 节段安装。拱肋支架拼装完成,第 1 节段运至设计位置。将已穿好的滑车组挂到节段的扣点上,收紧滑车组。调整吊点高度,使钢管拱接近设计标高,用倒链调整位置,将节段拱脚端穿入拱座预埋钢管内,使拱脚相对固定到设计位置。在确保拱肋已受力后,确认无误后拆除吊点。用千斤顶调整拱肋至设计标高,使拱轴线形满足设计要求。

(2) 拱肋第 2 节段安装。第 2 节段到达预安装位置后,调整吊点的高度,在倒链配合下,使其和拱肋节段接头法兰能穿过螺栓。先用普通螺栓逐孔对位连接,待全部对位后,利用预先准备好的调整楔块(钢板加工)填塞法兰间隙,再用高强螺栓逐一抽换,高强螺栓扭力采用扭力扳手进行控制。

(3) 拱肋第 3 节段安装。第 3 节段到达预安装位置后,调整吊点的高度,在倒链配合下,使其和拱肋第 2 节段接头法兰能穿过螺栓。用吊篮将已穿好的扣索挂到节段扣点上,并用卷扬机进行预收,接近设计拱轴线及标高后改用倒链调整到监控单位提供的位置。先用普通螺栓逐孔对位连接,待全部对位后,利用预先准备好的调整楔块(钢板加工)填塞法兰间隙,再用高强螺栓逐一抽换,高强螺栓扭力采用扭力扳手进行控制。用千斤顶张拉临时扣索和锚索,再调整至设计标高,使拱轴线形满足设计要求。在确保扣索及锚索均已受力后,确认无误后拆除吊点,继续退绳至吊点不受力,从而完成吊、扣转换。

(4) 第 4 至第 6 节拱肋安装。吊装方法相同,扣索为钢绞线组;扣索用工作吊篮将钢绞线束运至扣点位置,在相应的位置安装和固定锚梁,连接后先用卷扬机将钢绞线张拉端牵引到张拉锚梁处,穿索并用 24 t 千斤顶在拱肋锚梁处进行预收,以保证钢绞线的受力均匀,再用群锚千斤顶整体张拉。扣索张拉时,主要以拱轴线和标高进行控制,张拉力按设计值进行控制。以骨架的标高和预留位移量进行最终控制。

(5) 拱肋合龙段第 7 节段安装。合龙前通过扣锁和风缆,对拱肋进行线性、标高的调整,并根据需要通过有线元模型对温度进行修正,设计合龙温度为 20 ℃。合龙段运至跨中位置时,在两相邻段上端设两台倒链,然后起重绳徐徐下降,下降过程中逐步收紧倒链,确保合龙段不碰撞已安装段,当合龙段降至比

控制标高高出 50 cm 时,利用倒链调整 4 个端点的坐标和位置,下放吊点。调整钢管位置,使合龙衬管能顺利进入合龙段钢管内,检查全桥的拱轴线及标高符合要求后,临时固定合龙接头,在合适温度条件下先焊接一端的接头,再用同样的方法焊接另一个接头,焊接完成后,卸除吊点的力,从而完成对钢管拱的合龙施工。

(6) 松索和卸扣。钢管拱肋合龙后,各节段接头焊接完成,封固拱脚,拆除拱肋上的所有扣索和锚索,从而完成全桥拱肋的安装。扣锚索拆除应遵循对称、同步、缓慢、跳段的原则,即拆索顺序:5→3→1→4→2。拆除过程中,每条扣锚索分两级卸荷,第一级卸荷 50%,测量观测 1 d,无异常情况后再卸荷剩余的 50%。卸荷完成后保留扣锚索,待拱脚固定完成后再对扣锚索进行拆除。

拆除全过程加强测量观测,详细记录观测数据,并与监控单位的观测数据对比、分析,最终确定扣锚索拆除后拱肋各项数据变化情况满足设计要求。

4 施工监控

4.1 施工监控的目的与项目

通过过程监控优化和调整,前期有限元计算模型的参数,优化和调整钢管骨架拱肋各节段的拼装标高,控制拱肋的线性,以保证劲性骨架顺利合龙;在施工过程中保证受力部位在预测和容许范围内,以保证结构安全性,校核理论分析的准确性。

本桥在劲性骨架拼装至合龙过程,主要监控项目:几何线性监控、变形监控、结构应力监测、索力监控。

4.2 施工监控情况

各节段线性控制均在可控范围之内,其中最大里程偏差为 9 mm,发生在一号墩向塘方向第四节段拱肋上游内侧处;应力监控基本与有限元计算相符,结构安全可控,其中最大发生在莆田侧下游上弦外侧骨架的最大拉应力为 18.732 MPa,计算得产生的最大拉力为 44.9 t;通过对索力监控最大第四、五组扣锁相差较大约 10 t,主要扣锁角度较小,受拼装影响较大,但在计算误差范围内。

5 施工体会

(1) 随着塔式起重机核心技术和专用技术的日益成熟,大吨位、智能化也是塔机在铁路建设工程得到广泛应用。尤溪大桥 1-140 m 上承式劲性骨架拼装,受客观条件限制,优化了原设计缆索吊方法,采用塔机无支架悬臂拼装劲性骨架方案,在大跨度铁路拱桥拼装中尚属首例。塔机作为骨架拼装的主要工具,较缆索吊施工,安拆简单、吊装安全、灵活机动、操作简单等优点,为劲性骨架高精度合龙提供有力保证,为以后类似工程提供一定经验。

(2) 本桥劲性骨架拼装,在大型有限元软件仿真计算的基础上,预先计算各节段拱肋控制点的预抬高值和扣锁的索力值,摒弃传统采用多次收放扣锁,松锁合龙的来调整拱轴线型的方法,采用扣锁一次型张拉的施工方法。该方法各扣锁受力相对比较均匀、悬拼结构体稳定、减少工作时间,节约拼装工期等优点,是一种理想的施工方法,将成为钢管混凝土拱桥千斤顶钢绞线斜拉扣挂施工方法的新趋势。

参 考 文 献

- [1] 孙晓红. 钢管混凝土拱桥施工监控与拱肋吊装计算[D]. 福州:福州大学土木工程学院, 2004.
- [2] 乔玉英. 定长扣锁法在大跨度钢管混凝土拱肋安装中的应用[D]. 重庆:重庆交通学院交通工程系, 2003.
- [3] 刘爱家. 缆索吊装扣锚系统设计与“一次性扣锁法”施工控制技术[J]. 科技创新导报, 2009(7): 69-69.
- [4] 李继宏. 大跨度钢管拱桥缆索吊拼装方法施工[J]. 科学之友, 2007(07B): 3-4.

(下转第 77 页)

参 考 文 献

- [1] 中国建筑科学研究院. GB50011—2001 建筑抗震设计规范[S]. 北京:中国工业出版社, 2001.
- [2] 郑颖人, 叶海林, 黄润秋, 等. 边坡地震稳定性分析探讨[J]. 地震工程与工程震动, 2010, 30(2): 173-180.
- [3] 李海波, 肖克强, 刘亚群. 地震荷载作用下顺层岩质边坡安全系数分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(12): 2385-2394.
- [4] 戴妙林, 李同春. 基于降强法数值计算的复杂岩质边坡动力稳定性安全评价[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(增1): 2749-2754.
- [5] 郑颖人, 叶海林, 黄润秋. 地震边坡破坏机制及其破裂面的分析探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(8): 1714-1723.

Research of Excavation High-slope Stability of Highway Under Earthquake Load

Fan Xi'an

(Zhang-Zhuo Expressway Management Preparation Office, Baoding 071051, China)

Abstract: Considering slope destruction mechanism under earthquake, based on excavation high slope in Jing-hua highway, slope stability under earthquake is analyzed. Through analyzing engineering geology condition and combining sampling test on the spot, engineering mechanical parameters of rock slope are determined. By virtue of finite element software ABAQUS, three-dimensional numerical simulation model is established. Based on earthquake character of examination region, adopting pseudo-static method and strength reduction method, displacement and principal stress distribution of slope under the earthquake are simulated. Safety factor of slope is computed. This provides basis for slope reinforcement.

Key words: earthquake load; excavation high slope; engineering geology mechanical parameters; three-dimensional FEM numerical simulation; three-dimensional numerical simulation; strength reduction method; stability analysis

(责任编辑 车轩玉)

~~~~~

(上接第41页)

## Construction of Deck Arch Bridge Stiff Framework by Large Tonnage Crane

Feng Wenshan

(The Fifth Engineering Company of the 14th China Railway Bureau Group, Yanzhou 272117, China)

**Abstract:** Based on the Youxi Bridge in FJ-3A section during Xiang-Pu Railway, the assembly construction of the 1-140 stiff framework is introduced in this paper, with focus on the large tonnage tower crane hoisting jack sections and cable-stayed suspension method for cantilever erection of railway bridge with stiff skeleton construction technology.

**Key words:** stiff framework; crane; deck arch bridge; cantilever erection

(责任编辑 刘宪福)