

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2023.08.057

山区超大跨径拱桥缆索吊装系统设计研究

周咏凯

(四川路桥华东建设有限责任公司, 四川 成都 610000)

摘 要: 山区拱桥常采用无支架缆索吊装斜拉扣挂法进行安装,缆索吊装系统的合理布置对整个工程的造价、工期及风险控制均有着重要的作用。结合苏坝特大桥独特的施工环境,拱肋安装采用吊、扣分离体系,受力明确;同时,充分利用现场地形地势条件并本着永临结合的思路,对吊、扣塔基础及锚固系统进行了巧妙设计,极大的节省了工期、降低了成本;此外,研发了无辅助措施自行式承索器系统,实现了承索器无动力行走,解决了绳索下垂、缠绕等问题。通过本文的系列研究,以为山区大跨径拱桥缆索吊装系统设计与施工提供借鉴、参考。

关键词: 山区;缆索吊装;斜拉扣挂;设计;施工;拱桥

中图分类号: U445.4

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)08-0228-04

0 引 言

拱桥施工方法主要分为支架法和无支架缆索吊装斜拉扣挂法 2 种,前者受桥址地形地势条件限制显著,且随着跨径的增大施工成本和施工风险越大,后者施工工艺相对成熟,是山区大跨径钢管混凝土拱桥施工的首选方法^[1-3]。缆索吊装系统施工钢拱桥,是将拱肋节段逐段吊装拼接,直至合龙成拱,其既可实现垂直起吊,又可纵向水平运输^[4-6],覆盖作业面广,灵巧便捷,具有跨越能力强、吊重大、适用性广等优点,在山区拱桥建造中备受青睐。

1 工程概况

苏坝特大桥位于乐山市马边县苏坝乡,跨越马边河与省道 S103。起于 K15+076.25,止于 K15+911.750,全桥长 835.50 m。主桥长 370.5 m,为劲性骨架钢筋混凝土箱型拱桥。桥梁总体布置见图 1。

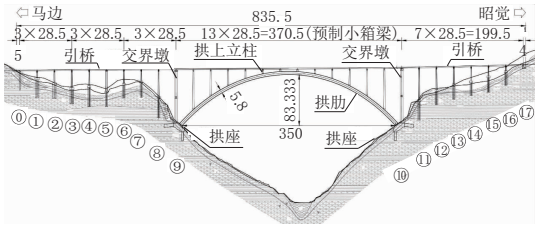


图 1 桥梁总体布置图(单位:m)

主桥净跨径 350 m,矢跨比为 1/4.2,拱轴系数为 2.1。主拱采用等截面悬链线无铰拱。拱圈采用两

拱肋,两拱肋间以横联连接,每拱肋为单箱双室截面,横向采用等宽 8 m,纵向采用外形等高 5.8 m。

劲性骨架为型钢与钢管混凝土组成的桁架结构,每肋上、下各三根 $\Phi 508 \times 14(18/22)$ mm、内灌 C120 补偿收缩自密实混凝土的钢管混凝土弦杆;弦杆通过横联角钢和竖向角钢连接而构成型钢—钢管混凝土桁架,在拱肋横联位置设交叉撑,加强横向连接。拱肋节段尺寸约为 $20.88 \text{ m} \times 7.6 \text{ m} \times 5.134 \text{ m}$,全桥共 42 个节段,节段最大重量为 65.58 t。

拱上构造由垫梁、拱上立柱、盖梁组成拱上排架。行车道梁采用 28.5 m 预应力混凝土小箱梁,每孔横向 8 片梁,梁高为 160 cm,最大重量 91.10 t。主拱断面构造见图 2。

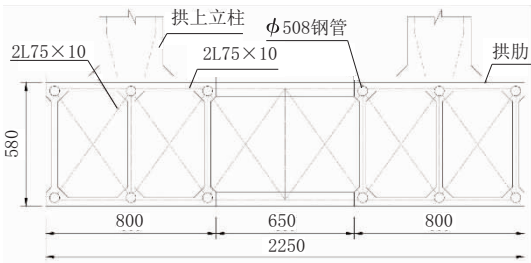


图 2 主拱断面构造图(单位:cm)

2 缆索吊装系统总体设计

本桥缆索吊装系统由缆索系统、压塔索系统、索塔、锚碇、起吊系统等组成,采用双塔三跨布置,其跨径组合为 114 m+541.5 m+114 m,上下游各布置一套缆索吊装系统。两岸主索锚碇分别位于 1#、16# 墩处,压塔索锚碇分别位于 2#、15# 墩处,索塔布置于 5# 墩和 12# 墩处。缆索吊装系统总体布置见图 3。

收稿日期: 2023-02-23

作者简介: 周咏凯(1990—),男,本科,工程师,从事桥梁施工技术研究工作。

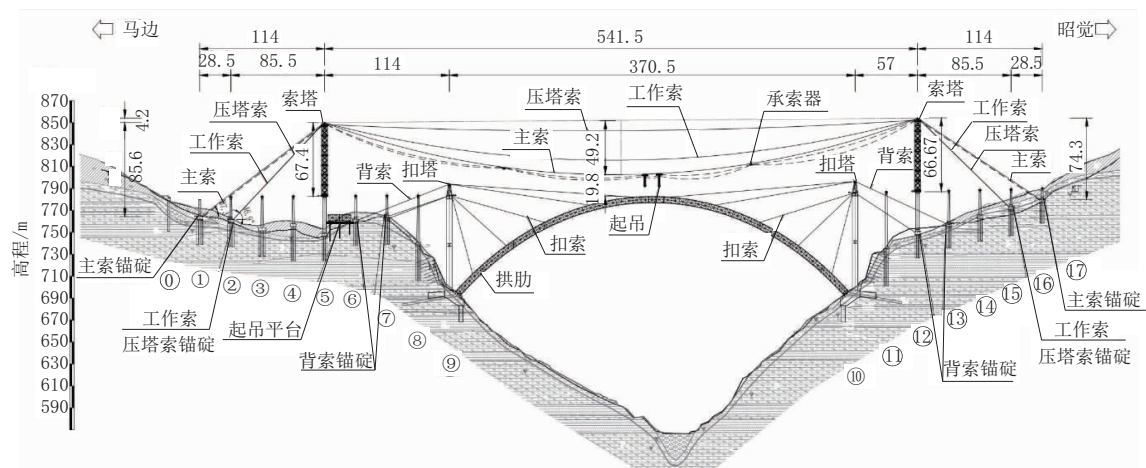


图 3 缆索吊装系统总体布置图(单位:m)

3 缆索吊装系统关键部位设计

3.1 缆索系统

本工程缆索吊装系统受拱上小箱梁重量控制,单幅最大净吊重 91.10 t,主索钢丝绳分两组布置,每组 6 根 $\phi 60$ mm 钢丝绳,两组主索中心间距 14.5 m,单根主索最大张力 711.04 kN。在跨中重载工况下,主索最大垂度 $f=49.23$ m,垂跨比 $f/L=1/11$ 。

每组主索上布置 2 个吊点,每个吊点采用 $\phi 26$ m 钢丝绳,单个吊点走 10 线。主拱节段吊装采用 2 个吊点抬吊,全桥共布置 4 台 10 t 卷扬机进行起吊施工。

每个吊点布置 1 根牵引索,每根牵引索采用 $\phi 36$ mm 钢丝绳,单根牵引索走 4 线,全桥共设 4 台 20 t 卷扬机进行牵引施工。缆索系统钢绳规格见表 1。

表 1 缆索吊系统钢绳规格表

项目	主索	起吊索走 10 线	牵引索走 4 线
型号	8 × 36WS+PWRC	6 × 37S+FC	6 × 37S+FC
根数 - 直径	2 × 6 $\Phi 60$	2 × 2 $\Phi 26$	2 × 2 $\Phi 36$
每沿米/(kg·m ⁻¹)	15.66	2.63	5.04
抗拉强度/MPa	1 960	1 870	1 870
破断拉力/kN	2 512	426	817

3.2 索塔基础及索塔系统

为保证结构受力需要,常规缆索吊装索塔均布置于交界墩盖梁上,本工程受起吊场区域限制及工期影响,将两岸索塔均布置于交界墩后方引桥墩柱盖梁上方。由于引桥盖梁宽度小于索塔基础宽度,因此在塔底设分配梁,在分配梁下设置支座与盖梁相连实现盖梁和索塔铰接,立柱钢管与分配梁先采用高强拉杆连接,然后再将立柱法兰盘底板与分配梁焊接牢固。索塔基础布置见图 4。

受桥梁平曲线影响,索塔中线可能与墩柱中线

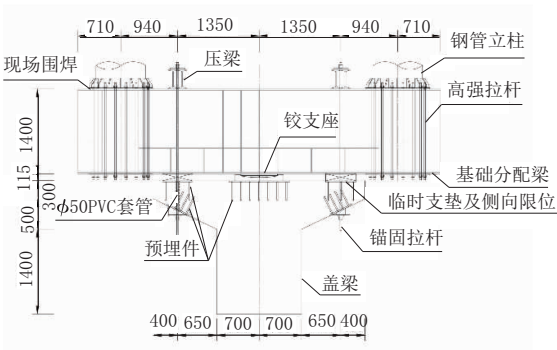


图 4 索塔基础布置图(单位:mm)

不重合,因此结构计算时应充分考虑偏载对墩柱受力的影响,同时在适当位置设置楔形钢支垫以消除盖梁横坡对索塔基础的不利影响。

索塔塔柱采用 $\phi 820$ mm 钢管作为主承重结构,每半幅塔采用 4 根钢管,横桥向布置两排,间距 4.58 m,顺桥向布置 2 排,间距 4.58 m。钢管柱标准长度为 9 m,钢管间用万能杆件联接,构成格构体系,钢管立柱接头采用法兰盘连接。索塔两幅塔柱间采用 $\phi 325 \times 6$ mm 钢管设置横撑。

3.3 压塔索系统

根据计算,索塔吊装时缆索系统对主塔塔顶产生的不平衡水平力约 125.5 t,为控制索塔塔顶偏位^[7],在索塔塔顶设置压塔索,单幅 2 组,全桥共 4 组。压塔索分别锚固于 2# 墩和 15# 墩,采用 1 860 MPa $\phi 15.24$ 钢绞线,其中马边岸边跨单组为 12 根,中跨单组为 4 根,昭觉岸单组为 10 根。

3.4 扣背索系统

两岸扣塔均布置于交界墩上,扣塔采用钢管及型钢焊接成塔状(见图 5),高度 17.46 m,单个塔由 4 根 $\phi 630 \times 10$ mm 钢管作为立柱,平面中心间距为 4.2 m(顺桥向) × 7 m(横桥向)。考虑到扣塔对盖梁产生较大竖向荷载,设计时对盖梁局部空心位置浇

筑混凝土进行补强。

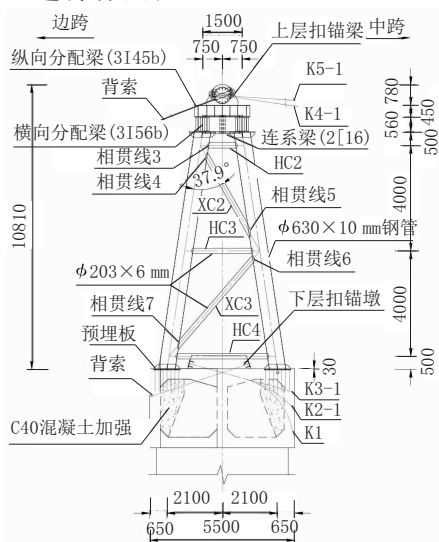


图5 扣塔布置图(单位:mm)

拱肋节段采用少扣索设计理念,扣索设计时充分利用拱肋结构刚度,每两个安装节段设置一道扣索,单幅拱肋共布置5对扣、背索,扣背索均采用钢绞线,为保证结构可靠性,扣背索钢绞线数量按对应施工期间最大索力进行控制设计。由于背索锚固于两岸承台上,因此背索布置时应注意避让相关墩柱和盖梁,防止相互产生干扰。扣背索系统布置见图6。

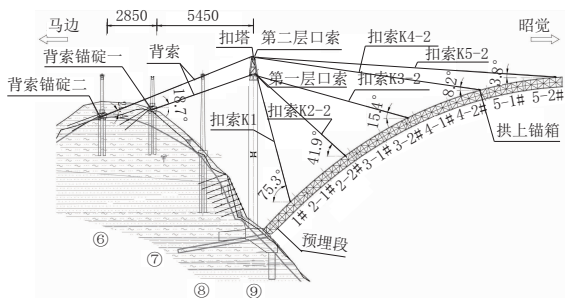


图6 马边岸扣背索系统布置图(单位:mm)

3.5 锚碇系统

目前大跨度缆索吊装系统多单独设置扩大基础或桩基+承台基础,其不仅需耗用大量混凝土,而且对现场施工条件有较高要求。而山区桥梁建设场地狭窄,空间受限,因此本工程主索及背索锚碇均利用现有桩基承台进行布置,通过在承台内设置锚固钢带实现缆索吊装系统锚固作业,锚固荷载通过桩基、承台与桩前被动土压力共同承担。同时为减小桩基及桩前土抗力作用,单个承台上设置2~3根岩锚索以平衡部分锚固水平荷载,保证结构安全,见图7。

3.6 承索器系统

本工程研发无辅助措施自行式承索器系统,利用连接绳将桥轴线中心对称的承索器两两相连形成闭环,跑车带动单侧承索器移动后,可通过定位绳实

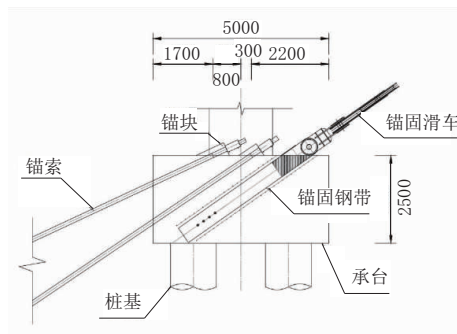


图7 主索锚碇布置图(单位:mm)

现另一侧承索器实时联动及被动受力,解决了承索器在收拢时连接绳折叠下垂、缠绕等问题,同时承索器无需单独设置动力系统,使用更加高效便捷。

4 缆索吊装系统试吊

缆索吊装系统投入使用前应对整个系统进行试验,试验包括空载试验、静载试验和动载试验。荷载试验试吊采用拱肋节段和钢管进行配重,静载试验配重为设计吊重的110%,动载试验配重为设计吊重的125%。其中静载试验将试吊配重运输至跨中位置停留10 min,动载试验将试吊配重从马边岸运输至昭觉岸然后再返回马边岸,期间分别在马边岸塔前30 m处、跨中处、昭觉岸塔前30 m处停留10 min。现场试吊见图8,试吊监测数据表明,缆索吊系统可正常运行。



图8 缆索吊装系统试吊现场施工图

5 本缆索吊装系统设计特点

缆索吊装系统设计时考虑项目地形、施工方法、工期安排、材料安排等因素进行设计,其特点如下:

(1)一般桥梁缆索吊装系统设计时,通常将索塔布置在交界墩处,但本桥桥位处地势陡峭,无合适位置作为拱肋起吊平台,故将马边岸索塔布置于5#墩,在5#墩与6#墩之间设置平台用于拱肋节段起吊;同时将昭觉岸索塔从交界墩后移至12#墩,12#工程量较小,可先于交界墩施工完成,然后可进行缆索吊装系统索塔安装,当交界墩施工完成后索塔或

缆索吊装系统已布置完成,从而节约施工工期。

(2)本桥锚碇采用永临结合设计,主索锚碇、压塔索锚碇、扣索锚碇布置于引桥桩基承台上,同时设置岩锚索进行辅助,充分发挥永久结构受力特性。

(3)本桥采用缆索吊装智能集中控制系统,实现小车定位、吊钩可视化、塔偏位自动测量、信息稳定传输等功能,提高了缆索吊装系统的信息化程度和施工过程的安全性。

6 结 语

苏坝特大桥作为典型的四川山区大跨度上承式钢管混凝土拱桥,其两岸地质条件复杂、场地空间受限、施工工期紧迫、环保要求严苛。本文根据现场实际条件因地制宜进行缆索吊装系统设计优化,大幅缩短建设工期,节省建设成本。大桥于2022年6月实现拱肋精确合龙,实践证明本工程缆索吊装系

统各施工阶段安全可靠,为今后山区同类型桥梁缆索吊装系统设计提供参考。

参考文献:

- [1] 陈文强,叶顺,桂文涛,等.犍为岷江特大桥主跨458 m钢管混凝土拱桥施工关键技术[J].城市道桥与防洪,2021(3):107-112.
- [2] 吴海军,何立,王邵锐,等.基于无应力状态法的大跨钢管混凝土拱桥拱肋线形控制方法[J].桥梁建设,2020,50(6):20-26.
- [3] 孟磊,王海峰.高速铁路大跨度提篮拱桥钢拱肋缆索起重机斜拉扣挂安装技术[J].施工技术(中英文),2022,51(6):54-58.
- [4] 雷金喜.钢管拱桥悬索吊装施工技术研究[J].铁道建筑技术,2015(12):38-41.
- [5] 王建江.大跨径上承式劲性骨架箱型拱桥施工技术[J].城市道桥与防洪,2020(6):138-142.
- [6] 李圣荣.猛洞河钢管混凝土拱桥施工的缆索吊装系统关键技术研究[J].铁道建筑技术,2017(6):64-66,84.
- [7] 邓亨长,卢伟,李清培,等.缆索吊装系统索塔偏位准确计算方法研究[J].公路,2020,65(8):226-232.

(上接第227页)

的技术方案和处理措施,更加合理和有效地利用好土地资源。

(2)路网规划、项目可行性研究、勘察设计等阶段中,加强线位方案比选,科学选用公路等级标准,合理确定用地规模,尽量减少项目永久用地数量,避免或最大程度减少占用耕地。

(3)工程实施阶段贯彻落实资源保护理念,优化施工组织方案,尽可能减少预制场、拌合站、取土场、

弃渣场等临时用地数量,并加强临时用地的复垦、复耕措施。

参考文献:

- [1] 自然资源部.关于积极做好用地用海要素保障的通知[N].中国自然资源报,2022-08-10(2).
- [2] 交通部公路司.新理念公路设计指南(2005版)[M].北京:人民交通出版社,2005.
- [3] 中华人民共和国交通运输部.公路工程项目建设用地指标[M].北京:人民交通出版社,2011.