

山区悬索桥缆索吊设计与安拆技术应用

刘安金¹, 谌艳辉²

(1.柳州欧维姆工程有限公司, 广西 柳州 545006; 2.湖南斌辉建设工程有限公司, 湖南 长沙 410200)

摘要:为解决山区悬索桥加劲梁吊装的难题,设计采用跨度布置为130 m+550 m+210 m的缆索吊施工工艺。缆索吊的索鞍通过加高支架固定在索塔横梁上,主索锚固于两岸锚碇,加劲梁从一岸引桥桥面近索塔处起吊。缆索吊装系统设置两组索道,两点吊,满足加劲梁吊重110 t设计。通过系统地介绍山区悬索桥缆索吊设计与安拆技术应用,为同类型项目提供借鉴与参考。

关键词: 山区悬索桥;缆索吊;两点吊;加劲梁吊装;安拆施工

中图分类号: U448.25

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)05-0099-04

0 引言

随着国民经济的发展,为推动山区的发展,交通设施建设先行^[1]。西南部山区崇山峻岭,地形地质条件复杂,道路狭窄,交通不便。而跨越能力强且满足不对称布置的桥型——悬索桥,受到工程界的青睐。

大跨度悬索桥一般建设在大江大河上,采用缆载吊机架设加劲梁的方案。而为了满足山区悬索桥加劲梁架设,将起源于拱桥的缆索吊吊装法,广泛运用到大跨度山区悬索桥。

1 工程背景

峰林特大桥位于贵州省西南部高原山区,属中低山溶蚀地貌类型,地势总体北高南低,桥位横跨河谷面宽度50 m^[2],处于V型河谷,两岸地形坡度在36°~71°之间。

主桥为双塔单跨钢-混凝土叠合梁悬索桥,主缆成桥状态计算跨度布置为:130 m+550 m+210 m=890 m,中跨主缆矢跨比为1/10,矢高55 m。主缆横桥向中心距离25.5 m,吊索顺桥向标准间距为11.4 m。

2 缆索吊关键部位结构设计

(1)跨径组合:130 m+550 m+210 m,支点分别位于两岸锚碇及索塔横梁上,左右幅中心间距14.8 m。

(2)设计最大吊重:以130 t作为设计最大吊重。

(3)主索垂度:根据节段吊装重量和垂度对牵引索的影响等因素综合考虑,故将中跨主索工作状态

最大垂度选取为 $f=36.67$ m,最大矢跨比为1/15。

(4)主承重索:采用两组主索抬吊,由2-8 ϕ 60 mm的钢丝绳组成。起重索由2-1 ϕ 24 mm钢丝绳组成,定6动5走10线。牵引索由2-1 ϕ 36 mm钢丝绳组成,走4线。主索、牵引索和起重索钢丝绳规格均为6 $\times$ 36WS+IWR,公称强度为1 870 MPa。

缆索吊主要由主索、锚固系统、起重系统、牵引系统、支索器、塔顶索鞍等组成。

2.1 主承重索设计

缆索吊主索由2-8 ϕ 60 mm的钢丝绳组成。为了使每组主索的各根钢丝绳在架设阶段线形调整方便^[3],在锚固端采用滑轮组调整。主索单个锚固接头设16个绳夹,15个用于锁紧主索,绳夹间距为400 mm,另一个用于设置“安全弯”。便于在缆索吊吊装过程中观察主索钢丝绳绳夹的锚固情况。

2.2 主索锚固系统

主索锚固系统采用锚固钢带的形式,并考虑其走线方式,合理布置锚固装置的数量及位置。

缆索吊主索锚固位置,在木贾岸锚固与重力式锚碇支墩基础上,义龙岸隧道锚锚固于锚塞体下缘,均利用锚碇作为主要承载结构。单幅共11根锚固钢带(见图1),8根锚固钢带A,实际锚固深度为7 m,单根钢带锚固1根主索;3根锚固钢带B实际锚固深度为5 m,锚固牵引索和起重索导向轮。锚固钢带安装时在距离混凝土表面40 cm范围内的钢带上涂抹隔离剂。

2.3 索鞍设计

缆索吊系统需在塔顶横梁上布置主索支撑装置(索鞍),在吊装结构物时将主索传递来的荷载传递给

收稿日期:2022-05-02

作者简介:刘安金(1986—),男,本科,高级工程师,从事预应力相关产品施工技术服务工作。

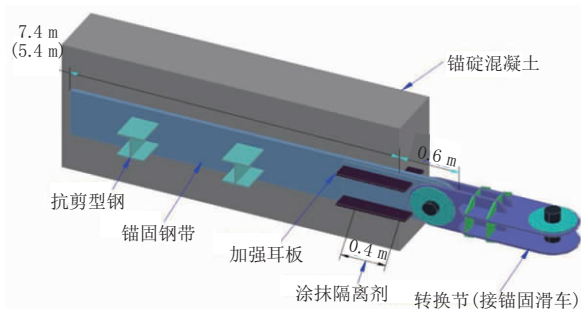


图1 锚固钢带构造图

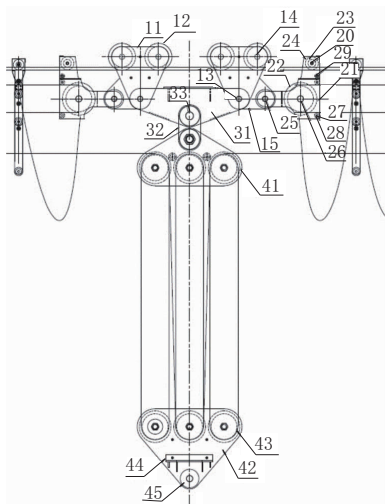
索塔。

本缆索吊系统共布置2组主索,左右幅各一组,故索鞍也需对应布置,结合后锚锚固、主索边跨线性、主索偏角、主梁吊点等多方面因素综合考虑,塔顶索鞍横桥向中心间距设计为14.8 m,关于桥梁中心向对称布置。

2.4 跑车系统及吊具设计

(1) 跑车系统

跑车系统(见图2)为缆索吊系统的主要构件之一,起着将加劲梁竖直起吊和水平运输就位的作用。其组成部分主要有行走小车、牵引滑车、上下挂架、牵引索、起吊索等。缆索吊左、右幅各设置一套跑车系统。1套2台行走小车之间采用一分配梁相连,分配梁下设置上挂架,上挂架通过起吊索与下挂架连接,通过起重卷扬机收放起重索实现构件的竖向升降。



11—行走小车;22—牵引滑车;41—上挂架;42—下挂架

图2 跑车系统构造图

(2) 吊具

加劲梁预拼场设置在木贾岸引桥及连接引道上,受主桥桥面宽度限制,需将加劲梁梁段旋转90°后进行运输。故在起吊时选用150 t空中旋转吊具,在起吊至待安装位置后,启用旋转装置,将梁段旋转至安装角度进行拼接。

2.5 起重索设计

起重索单幅采用1根 $\phi 24$ mm钢丝绳走10线,经塔顶转索鞍向轮牵至木贾岸锚碇的10 t起重卷扬机连接,另一端锚固在义龙岸隧道锚,如图3所示。

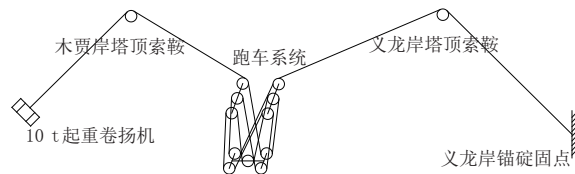


图3 起重索布置示意图

2.6 牵引索设计

缆索吊中跨左右幅各设一套牵引系统^[3],由两岸的25 t牵引卷扬机经木贾岸索塔顶或义龙岸索塔顶索鞍下的转向轮,在牵引滑车和塔顶索鞍、锚碇之间走4线布置,单侧牵引索采用1根 $\phi 36$ mm钢丝绳,牵引卷扬机布置在各自两岸锚碇处,布置原理如图4所示。

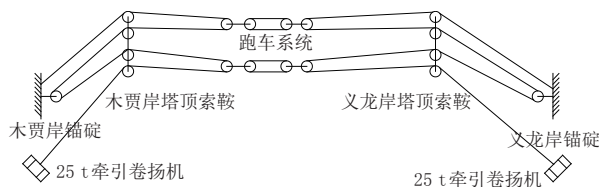


图4 牵引索布置示意图

2.7 支索器

支索器布置于跑车系统两侧至塔顶之间的的主索上,用于支撑牵引索和起重索,防止牵引索和起重索因自由段长度过大导致张力过大。

3 缆索吊系统安装

3.1 索鞍安装

缆索吊塔顶索鞍由主索承重滑轮组、起重索转向滑轮组、牵引索转向滑轮组、索鞍支垫及索鞍预埋连接等组成,全桥共4个塔顶索鞍。

塔顶索鞍采用索塔处塔吊起吊安装,分为预埋件和索鞍两部分分别安装。预埋件在上横梁钢筋和混凝土施工时进行预埋,索鞍利用塔吊直接提升至安装位置与预埋件进行焊接固定。

3.2 主索安装

缆索吊单幅主索采用8根 $\phi 60$ mm钢丝绳,共16根主索。为避免索塔塔偏过大,左、右幅主索对称进行架设,左右幅安装数量相差不多于1根。

主缆索股架设完成后,拆除猫道门架,将主缆索股牵引系统改造为缆索吊主索牵引系统,从木贾岸向义龙岸牵引架设。左、右幅两组主索同时进行。按主索牵引→主索横移入鞍→主索垂度调整的流程进

行,具体安装工艺如下:

(1)主索索盘存放在木贾岸锚碇,启动牵引卷扬机将主索从猫道内侧向义龙岸牵引^[4]。

(2)利用塔顶卷扬机和塔吊辅助牵引主索从门架顶部跨过门架,再将主索与拽拉器重新连接^[4],继续往义龙岸牵引。

(3)牵引到位后,将主索两端临时锚固于后锚上,在两岸锚碇前方、索塔两侧用滑轮组,卷扬机同时收绳将主索提升脱离猫道,将主索放入索鞍内。利用锚碇的卷扬机初步调整垂度后将主索绳头下放至主索锚固处^[4]。

(4)主索垂度调整,将主索与义龙岸锚固点相连,然后木贾岸进行主索垂度调整^[4]。采用50 t滑轮组,卷扬机进行收绳,使主索垂度达到要求后,锚固主索。同理安装第二根主索,然后依次完成余下主索安装,确保将16根主索线型调成一致。

3.3 跑车系统安装

为了方便吊装,按先吊装上下挂架,后吊装行走小车的顺序在木贾岸安装跑车系统^[4]。

(1)将上、下挂架与行走小车分配梁连接,采用钢丝绳将上、下挂架临时连接,连接高度1.0 m左右,采用塔吊吊装上、下挂架至预定位置后与主索临时挂接并锁紧牢固,防止上下挂架下滑,以便于后续与行走小车连接^[4]。

(2)利用塔吊吊装行走小车就位,并采用钢丝绳与索鞍临时固定,防止行走小车下滑,然后安装与分配梁连接的销轴及行走小车限位双头螺杆,完成跑车系统安装。

3.4 牵引索安装

牵引索采用 $\phi 36$ 钢丝绳,由两岸的25 t牵引卷扬机牵引。以木贾岸为例,安装完成木贾岸牵引索后,利用义龙岸临时牵引系统将跑车系统牵引至义龙岸,同样的方法安装义龙岸牵引索。牵引索安装流程如下:

将牵引索置于放索架上→放出绳头与牵引系统连接→牵至塔顶穿过左幅索鞍下的转向轮→向前绕至左幅跑车系统的牵引滑车→再次回到左幅索鞍下的转向轮→牵回至锚碇处转向轮→牵引至右幅索鞍下的转向轮→向前绕至右幅跑车系统的牵引滑车→再回到右幅索鞍下的转向轮→牵回至右幅锚碇处锚固。

3.5 起重索安装

起重索采用 $\phi 24$ 钢丝绳,左、右幅各布置一套起重系统。两台10 t起重卷扬机均布置在木贾岸。

起重索安装流程:将起重索置于放索架上→放出绳头与牵引系统连接→牵至塔顶穿过索鞍下转向轮→向前绕至跑车系统的上挂架→向下穿过下挂架→上下共穿5个轮回→绳头从上挂架绕出牵引至义龙岸索鞍下的导向轮→最后向前牵引锚固在义龙岸锚碇处。

3.6 支索器安装

支索器采用索塔塔吊安装,先将跑车牵引至木贾岸,将支索器逐个安装在索鞍与跑车之间,将牵引索和起重索置入支索器内,后安装支索器定位索。再将跑车牵引至义龙岸,同样的方法安装义龙岸的支索器。

4 缆索吊试吊及正式吊装

利用混凝土预制板和钢筋作为缆索吊的试吊荷载。缆索吊机静载试验的试吊重量为吊重的125%,动载实验试吊重量为吊重的110%^[5]。

(1)加载步骤:分次按吊重的75%、100%、110%、125%逐步加载,检查系统各受力部位^[5]。

(2)试吊步骤:在塔前起吊试吊物离地面10 cm,静止10~20 min(静载)→卸掉15%荷载→运行至中跨跨中,静止10~20 min(动载试验)→起重卷扬机继续提升→返回塔前卸载。

(3)试吊试验

a. 跑车起吊试吊物运行至靠塔架中心20 m位置,检查牵引卷扬机受力、刹车,牵引索受力^[5],锚固情况,其结果是否符合设计要求。

b. 跑车起吊试吊物运行至中跨跨中位置,卷扬机停车静止30 min,检查承重索跨中挠度^[6]、索鞍塔架变形、主索锚固系统变形以及主索接头锚固情况,其结果是否满足要求。

c. 跑车起吊试吊物运行至中跨跨中位置,卷扬机停车静止30 min后,继续起吊3~5 m,作上下提升运动,检查起重卷扬机的刹车,起吊索的受力和锚固情况。

(4)正式吊装

按监控指令进行中跨加劲梁逐段对称吊装(见图5),并交替进行桥面预制板安装。完成全桥49个节段和桥面预制板吊装后,将所有临时铰接节段改为刚性永久连接,随后进行桥面系施工。

5 缆索吊拆除施工

5.1 支索器和起重索拆除

(1)将跑车行走至义龙岸索塔处时,拆除义龙岸



图5 加劲梁吊装

支索器。将起重索绳头放回义龙岸塔顶。

(2)将上挂架、下挂架临时连接,人工将起重索从上、下挂架滑轮组中放出。

(3)将起重索绳头与行走小车连接,解除起重索与塔顶门架卷扬机钢丝绳连接,将跑车行走至木贾岸,拆除木贾岸支索器。

(4)利用木贾岸塔顶门架的卷扬机与起重索连接,将起重索下放至地面,将起重索全部盘入储绳筒,完成起重索的拆除。

5.2 牵引索拆除

(1)将跑车停放在木贾岸塔顶处,将牵引索利用塔顶和锚碇卷扬机的临时牵引系统拆除牵引索,木贾岸牵引卷扬机回收牵引索。

(2)利用木贾岸左右幅塔顶门架上的卷扬机与行走小车相连,将跑车行走至义龙岸。

(3)利用义龙岸塔顶和锚碇处的卷扬机,与木贾岸相同的方法,拆除义龙岸的牵引索。

5.3 跑车系统拆除

跑车系统拆除顺序与安装顺序相反,将2台独立的行走小车用钢丝绳与索鞍固定牢固。

(1)将上下挂架与主索临时挂接牢固,拆除上挂架和分配梁与行走小车的连接销轴。

(2)解除行走小车与索鞍的临时拽拉连接,利用塔吊吊放至地面,完成行走小车及牵引机构组件拆除。

(3)利用塔吊配合手拉葫芦将上下挂架荡移至主索外侧后,解除上挂架的连接,吊装将上、下挂架下放至地面,完成拆除。

5.4 主索拆除

每组8根主索按后装先拆的顺序逐根进行拆除,左右副对称拆除。

(1)利用两岸锚碇的卷扬机收紧,解除主索与两

岸锚固滑车的连接。

(2)两岸锚碇卷扬机同时放绳使主索中跨垂落在加劲梁桥面上,然后在边跨利用另一台卷扬机放绳使主索经塔顶索鞍继续向中跨桥面上滑落。

(3)在索塔边跨侧利用塔顶卷扬机单线提升边跨主索,利用塔吊将主索绳头从塔顶中跨侧下放至桥面,完成第一根主索的拆除。

(4)采用同样方法完成其他主索的拆除,每根主索拆除完成后,在桥面将主索盘入绳盘,并转运至指定地点存放。

5.5 索鞍及锚固系统拆除

利用索塔处塔吊按照后装先拆的顺序拆除索鞍和索鞍钢支垫,并对索鞍预埋件进行防腐封闭处理。锚固系统拆除后,割除混凝土外露的锚固预埋件,并进行防腐封闭处理。此时完成所有缆索吊装系统的拆除工作。

6 结 语

通过该项目的成功实施,安全、高效地完成大桥加劲梁架设工作。分析针对不同跨度的悬索桥,不同起重量的加劲梁,因地制宜的设计主索、跑车滑轮和锚固钢带的数量,并考虑起重索和牵引索走线次数,同时可加大起重卷扬机吨位减少走绳数量,可以有效解决大跨度山区悬索桥加劲梁吊装的施工难题。

参考文献:

- [1] 王小伟.山区钢箱加劲梁悬索桥制造及施工误差影响研究[D].重庆:重庆交通大学,2016.
- [2] 陈雪峰,杨旭,倪小燕,等.基于Rockfall数值模拟的危岩体运动规律分析[J].青海交通科技,2021,33(3):95-100.
- [3] 任涵.山区悬索桥缆索吊装关键技术研究[D].重庆:重庆交通大学,2016.
- [4] 李真颜,长寿长江二桥缆索吊装系统力学性能分析研究[D].长沙:长沙理工大学,2019.
- [5] 陈富强,大跨径悬索桥缆索吊装系统的设计与施工研究[D].西安:长安大学,2008.
- [6] 王崇旭,庄值政.大跨度悬索桥缆索吊吊装施工技术[C]//中国交通建设集团有限公司第一届科技大会.北京:中国交通建设集团有限公司,2009:463-471.
- [7] GB T28756—2012,缆索起重机[S].
- [8] Q/CCCC GL208—2019,缆索起重机施工技术规范[S].
- [9] GB 8918—2006,重要用途钢丝绳[S].
- [10] GB 50017—2017,钢结构设计标准[S].
- [11] GB 50755—2012,钢结构工程施工规范[S].