

单索面斜拉桥组合式挂篮悬臂浇筑施工

沈飞¹ 廖德鸿¹ 李伟健¹ 周丹丹²

(1 柳州欧维姆工程有限公司 柳州 545005 2 柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

摘要:重庆双碑嘉陵江大桥主跨330米,为高低塔单索面双排索斜拉桥,主梁悬臂浇筑施工,节段长7米,重约460t。本文介绍组合式挂篮悬臂浇筑与钢绞线群锚斜拉索施工配合在本桥施工中的应用。

关键词:单索面 斜拉桥 组合式挂篮 悬臂浇筑

斜拉桥悬臂浇筑技术已日益完善,常用的悬臂挂篮通常有前支点和后支点两种。后支点挂篮先浇筑混凝土,养护成型后再挂索,主梁的截面形式不受影响,但养护混凝土耗费工期;前支点挂篮先挂索后浇筑混凝土,主梁通常设计成 π 型,斜拉索锚固于主纵梁上,钢筋施工与斜拉索

施工可同时进行,而且由于斜拉索的支撑,悬浇节段长度较大,可节省工期。

1 工程概述

双碑嘉陵江大桥主桥为高低塔单索面混凝土斜拉桥。主桥长645m,跨度布置75m+145m+330m+95m,主跨最大跨径330m,如图1所示。

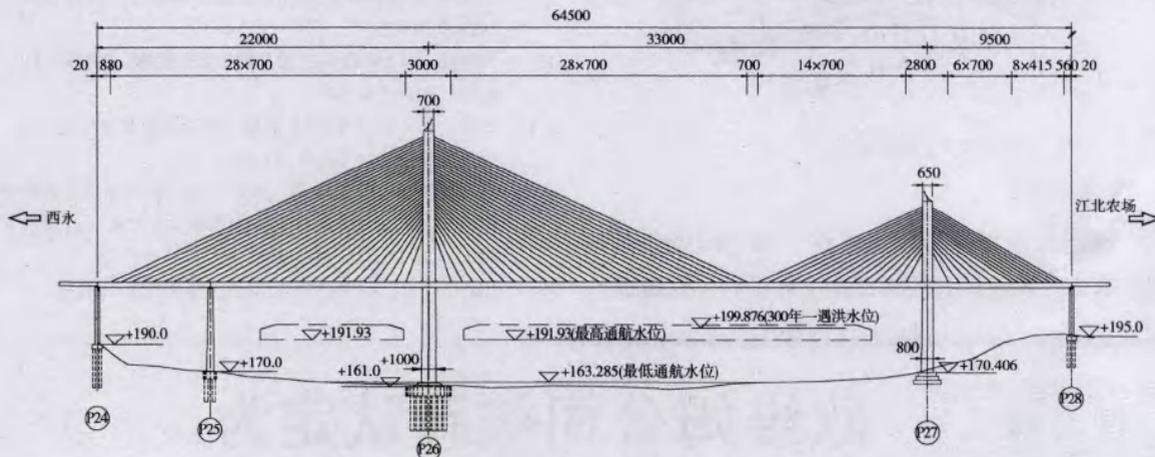


图1 平面布置图

双碑嘉陵江大桥主桥高低塔均为塔梁墩固结,辅助墩及边墩设置竖向支座及横向抗震挡块。主梁横断面采用单箱三室斜腹板截面,上部主梁为单箱三室斜腹板结构,梁宽32.5m,主梁有多种规格,边跨除1#块长4m外,2#至29#均为7m,中跨1#块长4m,2#至28#为7m,29#为8m。最重节段为边跨20#块(辅助墩顶),重702t,辅助墩旁的节段达到了568t,标准节段重461t。

斜拉索采用 $\phi 15.24$ 高强低松弛镀锌钢绞线成索,锚具采用OVM250斜拉索体系。钢绞线标准强度为1860MPa,弹性模量为 $1.85 \sim 2.0 \times 105$ MPa。

斜拉索的组成由单根独立包裹PE材料的钢绞线,外层为HDPE套管。拉索采用四层防护:第一层为钢绞线外镀锌涂层;第二层为无粘结筋专用油脂;第三层为热挤单层HDPE层;第四层为整体索外包HDPE护套。斜拉索经下料后,单根安装、张拉、锚固,再进行整体张拉和总体防护,即成本桥斜拉索结构。

斜拉索呈扇形单索面双排索布置,斜拉索上端锚固于塔柱,下端锚固于主梁中间两腹板之间,两索面横向间距1.8m,全桥共176根索。其中高塔采用29对斜拉索,矮塔采用15对斜拉索。斜拉索锚具规格采用8种规格,分别为OVM250-

27、37、44、51、55、58、65、68。

挂篮按靠近辅助墩的19#节段控制设计,挂篮由三角主桁系统、底平台、锚固系统、行走系统、横向预拉系统、水平止推装置、悬吊系统组成,重约240t。通过设置安全平台步道等,挂篮最后的最大重量为269t,如图2所示。

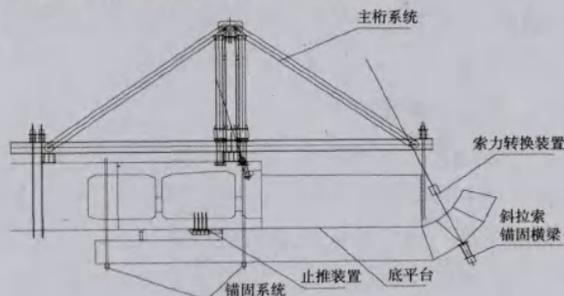


图2 组合挂篮侧面图

2 施工工艺

2.1 挂篮安装就位

挂篮采用工厂预制,现场拼装,按上部三脚架——后点横梁就位——前点横梁就位——行走梁——拉索纵梁——底侧模及止推装置的顺序。在主要构件就位后,通过精扎螺纹钢及焊接的形式将拉索梁与前后点下横梁联接固定,形成主承重结构,然后安装底、侧模,两侧的底模通过单球纹与主承重结构联接,边侧通过竖向吊杆传递到三角主桁架上。同时将止推装置用精扎螺纹钢固定于已浇筑节段梁的底部。由于为单索面斜拉索,安装横向预拉带并预设一定的预拱度来平衡两侧重量及引起的模板系统下挠。

挂篮整体拼装就位结束后,中吊杆拧紧提升主承重结构使底模系统紧贴并锚固于已浇筑梁体。同时提升三角主桁架的吊杆,调整底模标高至监控指令要求值。

2.2 钢筋施工

底板绑扎时按划好的间距,先摆放受力主筋、后绑分布水平筋。箱梁底板钢筋一般为两层;腹板钢筋绑扎时注意变宽段,变宽段钢筋起点位置严格按照图纸要求控制,薄腹板箍筋与主筋扎牢,必要时采用双扎丝绑扎;绑扎腹板钢筋时注意模板与钢筋间的保护层厚度,合模前在腹板钢筋上安放垫块,呈梅花形布置;横梁钢筋绑

扎时注意横梁与主梁之间的角度,横梁钢筋下料不得太长,要严格按照图纸尺寸下料、绑扎;顶板钢筋间距可以通过梳子板来控制,顶板一般为双层钢筋,两层筋之间须加钢筋撑筋,以确保上部钢筋的位置;锚区钢筋绑扎时要注意钢筋必须垂直于波纹管,绑扎时锚区钢筋层数、数量必须符合图纸要求。

底板下层钢筋形成整体后,及时安装保护层垫块,以免到后期骨架重量增加而使其安装困难,用撬棍安装时撬棍下应垫以小木板以免损伤模板。保护层垫块应具有足够的强度及刚度使用混凝土垫块时要保证垫块的强度以及色泽与梁体相同;腹板宜使用塑料垫块;施工缝处全部孔道均应使管箍外露以便于连接。

2.3 斜拉索安装

2.3.1 锚具安装

前支点挂篮前移到位后,首先需要甲方测量人员配合,测量调整钢锚箱的位置;然后在挂篮上安装下端预埋管和固定端锚具,下端预埋管及锚垫板根据设计位置安装定位,然后将固定端锚具直接吊装至设定位置,用支架托住,使锚板与锚垫板之间预留约2cm的间隙。

锚具安装要求:张拉端和固定端锚孔按每排孔水平排列,两端锚孔相互对应,不得有错位现象;锚具中心线与锚垫板中心线保持一致,两者偏差不得超过5mm。

2.3.2 索力转换装置安装

当前支点挂篮移动到设计位置后即可安装转换装置及锚具组件。拉索锚具组装好后按上述固定端锚具安装要求安装,保证锚具对中。利用钢底模和挂篮固定梁下锚具,再将张拉架底板和可换连接套安装到拉索锚具的锚板上。根据设计的角度及已安装好的锚具对中轴线,安装点为圆弧形张拉梁位置;安装张拉杆,通过用张拉梁下底面的锁紧螺母及上顶面的扁螺母将张拉杆临时固定。

在安装过程中,必须保证整个转换装置的对中符合设计要求的斜拉索设计角度,同时保证转换装置传力的可靠性及安全性。

2.3.3 HDPE圆管安装

在有条件的场地上按设计要求的长度将HDPE套管焊接好,在套管内穿入一根已计算好长度的钢绞线,同时在HDPE套管两端安装抱箍。利用塔吊将钢绞线和套管一起吊起,到达预定高度后将钢绞线穿入塔上锚具并固定,利用千斤绳和葫芦将套管吊挂在塔外管口相应位置。套管下端牵引至下端预埋管口,先将钢绞线穿入下端锚具并固定。通过张拉钢绞线使套管挺直抬起达到设计的角度,以方便下一步挂索工作的进行。

2.3.4 单根挂索

穿索时按先上游,后下游,先上排孔,后下排孔的顺序进行;各号索均按两侧四个工作面同时进行。

考虑前支点挂篮刚度较小,空挂篮时只挂部分钢绞线索(约1/3至1/2)。

浇筑混凝土到一半时,需要进行第二次张拉,但此时单根挂索、单根张拉尚未完成,塔内不宜安装大顶进行整体张拉,故而张拉考虑在下端通过转换装置的大顶整体张拉完成,此时下端锚板与锚垫板之间的间隙由于斜拉索张拉伸长而扩大。

2.3.5 单根张拉

每束斜拉索中的钢绞线逐根穿挂后,随即用YDCS160-150型千斤顶进行单根张拉。单根张拉采用等张拉法确定张拉力。

斜拉索安装控制张拉力,该值由监控单位以监控指令形式提供给安装施工单位;

斜拉索安装控制张拉力作用下,斜拉索锚固点计算相对位移量(或变形量),是该索所在竖直平面内两锚固沿斜拉索方向的位移损失量,由监控单位临时给出;

主梁相应截面的相关物理参数,该参数一般根据设计而定;斜拉索索体几何和物理参数,由斜拉索产品供方提供。

第一根安装传感器的钢绞线张拉力按设计索力的平均值乘以计算的超张系数来确定:

$$T=K \times N/n=N/n+Ec \times A \times h \times \sin\alpha/L$$

单根钢绞线索力均匀性(索力离散性)控制是平行钢绞线拉索制作安装的关键,本工程控制

上采用等张拉力法。

由于主桥是个复杂结构,受环境温度影响比较敏感,而且挂索施工需要时间比较长,温差变化以及风等环境因素会导致索塔和主梁发生变化,所以正在安装的拉索某根绞线的即时控制应力与理论计算所得到的控制应力有较大的误差,采用带温度补偿的传感器控制即时张拉力可以克服以上缺点。

2.4 浇筑混凝土

混凝土浇筑遵循先下层后上层、先前端再后端、先中间后两边的原则,主边跨对称浇筑。混凝土浇筑一般安排在气温较低时进行。

浇筑同时进行振捣,使用插入式振捣器应快插慢拔,插点要均匀排列,逐点移动,顺序进行,不得遗漏,做到均匀振实。移动间距不大于振捣作用半径的1.5倍(一般为20cm~30cm)。振捣上一层时应插入下层5cm~10cm,以使两层砼结合牢固。模板振动器需牢固固定在模板上。

本桥混凝土采用商品混凝土,工厂与工地之间距离较远,运输及浇筑混凝土应连续进行。如必须间歇,其间歇时间应尽量缩短,并应在前层混凝土初凝之前将次层混凝土浇筑完毕。间歇的最长时间超过2h应按施工缝处理。浇筑混凝土时应经常观察模板、钢筋、预留孔洞、预埋件和插筋等有无移动、变形或堵塞情况,发现问题应立即处理,并应在已浇筑的混凝土初凝前修正完好。

混凝土浇捣后,之所以能逐渐凝结硬化,主要是因为水泥水化作用的结果,而水化作用则需要适当的温度和湿度条件,因此为了保证混凝土有适宜的硬化条件,使其强度不断增长,必须对混凝土进行养护。一是创造各种条件使水泥充分水化,加速砼硬化;二是防止砼成型后暴晒、风吹、寒冷等条件而出现的非正常收缩、裂缝等破坏现象。

2.5 体内预应力张拉

本桥主梁为单箱三室结构,体内预应力采用三向形式,竖向采用 $\phi 32$ 精扎螺纹钢,用YCW60千斤顶张拉;横向采用BM15P-5型钢绞线扁锚,使用30t前卡式千斤顶单根张拉,横隔板处设12

孔群锚预应力索,用250t千斤顶张拉;纵向设19孔、7孔群锚预应力索,用400t千斤顶和150t千斤顶张拉,同时在顶板设置 $\phi 32$ 精扎螺纹钢,用YCW60千斤顶张拉。

2.6 索力转换

当砼强度达到设计强度的90%,主梁体内预应力张拉完成后可进行索力转换,将施加在前支点挂篮上的索力转换至砼梁段上。

(1) 首先确定工作锚板与锚垫板之间的间隙量。

(2) 启动油泵使千斤顶活塞伸出一定长度,旋紧张拉螺母,继续开动油泵,使活塞伸出,以达到能旋松锁紧螺母的目的。

(3) 梁端千斤顶分级卸压回程,锚具工作锚板支撑到锚垫板上,同时塔端同步整体张拉配合,使斜拉索上的受力均匀同步,使锚固于挂篮上的斜拉索索力转换至锚固于混凝土主梁,但斜拉索索力大小基本不发生变化,即索力转换完成。

在操作过程中,首先检查设备的安全使用性,卸压回程保持缓慢匀速且各工作点同步。

2.7 安装剩余钢绞线

待混凝土养护达到一定强度,体内预应力施加完成后,体系转换之前,在主梁允许的斜拉索索力变化范围内,整体放松一定幅度的斜拉索索力,紧接着单根挂索张拉补足索力,多次重复整体放松、单根挂索张拉补足索力完成剩余钢绞线的挂索,直至所有钢绞线索均按照等张拉法张拉完。

2.8 索力调整

由于单根张拉控制各钢绞线的索力均匀性,累计误差使整束索力与设计需要值可能有偏差,即需要通过整体张拉来调整索力。

整体张拉采用YCW800型千斤顶及其配套张拉设备。整体张拉在塔内张拉端进行,千斤顶安装时对中误差 $\leq 5\text{mm}$ 。张拉时,严密监控主梁端部标高,当标高达到设计要求,即旋紧垫板上的工作螺母。

整体张拉的张拉力根据设计院通知整索设计吨位进行张拉控制。分级、同步、对称张拉到设计吨位,为了克服回缩、张拉机具变形等

因素,张拉时可以超张拉为控制吨位加1%。同一号索,江跨、岸跨及同一跨上、下游各索要求做到同步对称,相互呼应,级差经换算成力后误差 $\leq 3\%$ 。整体张拉到控制应力后,及时旋紧工作螺母锚固。

3 关键技术

(1) 组合挂篮

组合式挂篮设置横向预拉带来控制横向稳定性。双碑大桥顶板宽度达32.5m,斜拉索横向间距仅为1.8m,采用组合式挂篮施工,挂篮两翼板标高及其变形和横向稳定性控制要求较高,通过设置横向预拉结构来提高桁架的横向刚度,减少挂篮两侧桁架的变形来保证梁体的结构尺寸。组合式挂篮施工中,斜拉索预埋管位置和角度随混凝土浇筑不断发生变化,所以预埋管的锚固点和偏角的控制非常重要,决定了桥梁结构的受力性能。由于挂篮弧形梁弧度、强度和刚度的要求,导致弧形梁尺寸和垄断的长度存在冲突。即施工合拢段前一个节段时,需要修改挂篮的受力位置。

(2) 主梁为箱梁,组合挂篮施工,梁上锚固点设在箱梁顶板,与以往的前支点 π 型主梁施工不同,梁上锚固点与挂篮锚固点距离达到6m以上,中间的张拉杆及接长设备,施工定位难度较大,施工累积误差对拉索施工精度和安全控制难度增大,刚性锚点距离柔性锚点距离过长,刚性拉杆的抗弯要求严格。

(3) 前支点挂篮施工中斜拉索一张索力根据挂篮刚度来确定,控制力一般为节段重的20%-25%,但是双碑大桥挂篮由于他本身的特点,刚度极小,斜拉索一张索力只允许50t左右,这对斜拉索施工安全和质量有两个难点:一是,初张应力低,拉索延伸量大,单根张拉+整体张拉的工艺流程受到锚具螺牙调整量的限制;二是,钢绞线应力低,为保证施工过程产品安全和产品质量,施工过程低应力下锚具夹持锚固需采取响应措施。

(4) 由于锚具尺寸较短,无粘结钢绞线剥皮长度需要计算、测量很精确,要重点控制,同时无粘结钢绞线的HDPE层跟随钢绞线伸长量到底是多少是控制难点。对于梁段采用固定端锚具

(无螺纹调节装置)、低应力后期延伸量大的特点,在梁段采用“限量留空”法控制梁端锚具安装精度,在体系转换时采用塔端、梁端协调张拉工艺,即“下放上拉”实施工艺,完成体系转换;对于大延伸量超过螺纹调整量,则采用单根张拉、单根调索、整体张拉的施工工艺,保证螺母位于设计位置,又可以控制夹片夹痕位置不落在钢绞线工作区。

(5) OVM250拉索外护套管相对国际上同规格的拉索都大一个等级,这与材料及制作工艺有相当大的因素外,考虑到施工的合理性和可行性也是其中之一,为了降低护套管外型参数,降低风阻系数,接近或超过国外同行业的技术要求,在传索工艺上提高可实施性,一方面研制新的牵索装置和临时紧索装置,初步设计为叠加式牵索器和开口式液压紧索器;

(上接第19页)

4.3 经济性

门架式溜尾系统的钢结构门架、液压泵站、各类液压千斤顶、轨道及爬行器、电气控制装置的所有维护费用总和比1台履带吊车的维护费都要低。加上其爬行装置的低损耗性,使门架式溜尾的施工材料费得以减少。综其以上因素,采用门架式溜尾施工方式比履带吊车溜尾方式在成本节省方面具有明显优势。

5 门架式溜尾应用注意事项

(1) 施工过程中,整套设备都由中央控制室进行操作,但毕竟为远程操作,虽然系统配有监视摄像头,可操作人员通过监视屏幕看到现场画面并不全面,所以,控制室内操作人员必须严格听从现场总指挥员的指挥,不可擅自进行判断并操作。

(2) 爬行轨道的铺设必须要平整、稳固、连接紧密。如果相邻两段导轨节段的钢轨连接不平整,连接处存在阶梯状错位或有较大间隙,极易造成爬行器的夹具卡在轨道间隙里或被钢轨端面棱角挤压而损伤,导致施工无法顺利进行。

(3) 门架式溜尾由爬行器推动,整体在轨

(6) 针对双碑大桥的前支点挂篮刚度低的特点,采用部分先装,以之完成一张、二张工艺、体系转换,然后在体系转换后,安装剩余钢绞线,可以克服低应力带来的施工风险。

4 结语

尤其是对于一些大跨度的单索面斜拉桥,采用组合式挂篮施工,既保证了施工工期,又满足了各种主梁截面的设计形式,保证了结构安全。双碑大桥的成功实践,为类似工程提供了工程实例和参考范例。

参考文献

- [1] 金亚彬,卜东平,张小琦.斜拉桥主梁悬臂前支点挂篮施工技术研究. 期刊论文-《北方交通》第10期
- [2] 吴悦琴.新兴大桥复合型前支点挂篮的设计与应用. 期刊论文-《公路与汽运》总第135期
- [3] 彭立志,吴正安,袁志宏.组合式牵索挂篮设计. 期刊论文-《公路》2006

道上滑动,为了减小滑动摩擦带来的阻力,施工时都会在轨道上方表面涂抹一些如二硫化钼之类的润滑物。当门架滑过涂有润滑物的导轨面之后,很有可能将润滑物挤压至轨道两侧。而爬行器的夹具恰恰是在轨道两侧表面上工作的,润滑物必定会导致夹具打滑而无法正常工作。因此,在施工过程中,需派人在门架与爬行器之间实时清洁轨道两侧,确保爬行器正常工作。

6 系统应用总结

在吊装长型且须直立安装的大型装置或构件的工程中,采用门架式溜尾的施工方式与传统的采用履带吊车进行溜尾方式比起来,虽然设备结构比较复杂,前期准备工作较多,但无论在与复式门架起重门架吊装设备一起作业的协同配合能力,还是其低消耗、低维护上都具有明显优势。门架式溜尾系统的出现,是工程应用技术进步的产物,为此类工程的施工提供了一种新的、有效的、可靠的、经济的解决方案。

参考文献

- [1] GB 50798-2012,石油化工大型设备吊装工程规范[S].
- [2] 甘秋萍,李兴奎.新型缆风绳预紧及放松控制系统介绍[J]. 自动化博览,2009.