

# 资阳沱江三桥系杆更换施工技术

廖德鸿 唐建荣 黄艳巧

(柳州欧维姆工程有限公司 广西柳州 545005)

**摘要:**中承式拱桥目前作为城市的景观桥梁较为普遍,本文以资阳沱江三桥为例,重点介绍上游N1#、下游N2#系杆逐步放张至拆除的施工工艺,其余系杆的补张进行配合,以及安装上游N1#、下游N2#系杆的施工工艺。就这些工艺在施工中出现的一些问题进行探讨。

**关键词:**钢绞线系杆体系 系杆补张 系杆放张 安装系杆

**DOI:** 10.13211/j.cnki.pstech.2015.01.007

## 1 工程概况

四川资阳市沱江三桥为中承飞燕式提篮拱桥,主桥分为60m+180m+60m三跨,桥面全宽为双向二车道外加人行道。主跨拱肋采用钢管砼拱空间桁架结构,跨中肋间中距20.1m。主孔拱肋为等截面,主拱墩顶间的跨度为180m,每片拱布置6根水平系杆,一共12根系杆,均采用环氧全喷涂装高强低松弛钢绞线,外包双层HDPE护套成品索;规格为55 $\phi$ S15.20,极限强度 $R^b_v=1860\text{MPa}$ ,弹性模量为 $1.95 \times 10^5\text{MPa}$ ;系杆

锚具采用可换索式钢绞线系杆锚具,规格为OVMXGK15A-55。边拱肋是为系杆提供锚固端,从而平衡主拱推力而设置。系杆从主拱肋外侧及拱肋两弦管内通过,两端锚固于边拱端横梁上。全桥共设置单吊杆27对,共54根,吊杆为OVM.GJ钢绞线挤压拉索,由31 $\phi^s$ 15.20无粘结环氧全喷涂装高强低松弛钢绞线缠包热挤HDPE组成,拱肋上端锚具为OVM.GJ15B-31张拉端锚具,下端为OVM.GJ15D-31铰接锚具。(如图1所示)。

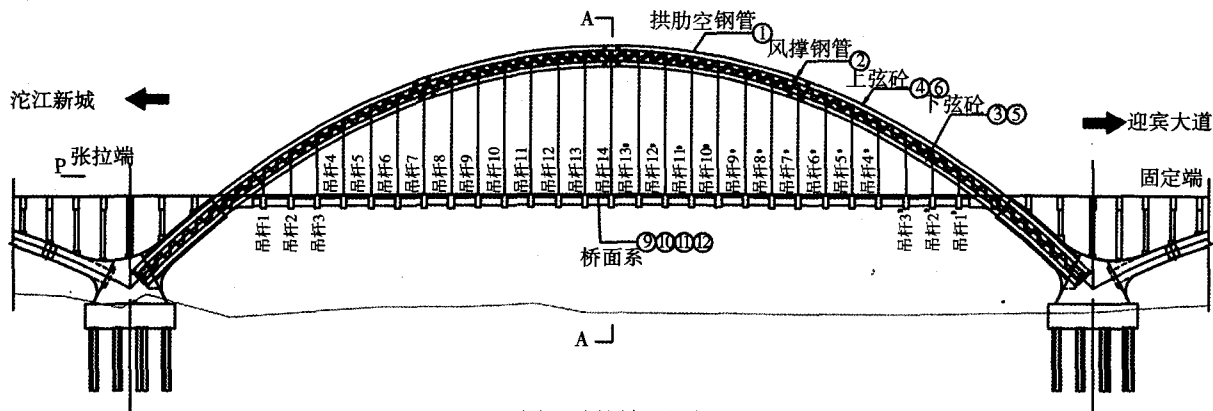


图1 桥梁概况图

## 2 钢绞线系杆体系

该桥系杆索采用OVMXQ系杆锚固体系,是一种最新型的钢绞线系杆体系,其采用全防腐结构,并配套具有在低应力状态下高可靠锚固性能的锚固系统,其特点为:

(1) 锚固前,锚头和索体分开,预埋孔道尺寸大小,孔道可以弯曲转向,可优化拱座结构。

(2) 钢绞线系杆拉索强度等级高,应力损失小,预应力钢材的用量可减少。

(3) 索体采用钢绞线成品索方式,利于结构的受力设计,拉索的设计间距紧凑,可优化结构。

(4) 钢绞线系杆拉索的施工简单,操作方便,质量容易控制,对定尺制索无严格要求。

(5) 环氧涂层钢绞线系杆具有多层保护,其防腐远远高于一般系杆索,具有更好的使用耐久性。

(6) 锚具效率系数 $\eta_a \geq 95\%$ ,极限延伸率 $\xi \geq 2\%$ 。

(7) 系杆应力上限 $0.65\sigma_b$ ，应力幅值为100MPa，经200万次脉冲加载后断丝不大于总数的5%。

(8) 钢绞线抗拉强度 $\sigma_b \geq 1860\text{MPa}$ ，进行单根钢丝环氧喷涂，为全防水全防腐结构。

### 3 系杆拆除施工工艺

#### 3.1 系杆拆除工艺流程图（如图2所示）

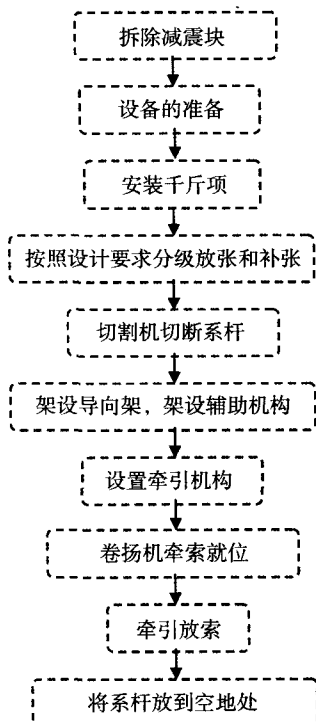


图2 系杆拆除工艺流程图

#### 3.2 设计说明

补拉顺序为首先补拉上游侧N2、N3系杆力至5445kN，补拉下游侧N1、N3系杆力至5445kN；然后再补拉上游侧N4系杆力至5445kN，上游侧N1系杆卸载力2000kN；补拉下游侧N4系杆力至5445kN，下游侧N2系杆卸载力2000kN；其次补拉上游侧N5系杆力至5445kN，上游侧N1系杆完全卸载力，补拉下游侧N5系杆力至5445kN，下游侧N2系杆完全卸载力；最后补拉上游侧N6系杆力至5445kN，补拉下游侧N6系杆力至5445kN。更换上游侧N1、下游侧N2系杆后，分3级张拉系杆力至5445kN，并且确保上下游系杆不平衡张拉力在2000kN范围内。

#### 3.3 技术要点

(1) 张拉伸长理论值根据胡克定律计算， $\Delta L = F/L/E/S$ （ $F$ =张拉力值， $L$ =索的基长， $E$ =钢

绞线的弹性模量 $1.95 \times 10^5$ ， $S$ =钢绞线截面积 $139\text{mm}^2$ ）。考虑到单根钢绞线放张的危险系数比较大（一根系杆由55根钢绞线组成），特别是成品系杆成麻花状整体绞在一起，单根放张的时候钢绞线不一定会回缩，因此无法锁紧夹片，不能实现系杆力的放张。更重要的是放张到最后整束系杆原有的索力会全部落在最后几根钢绞线上面，单根钢绞线破断力为240kN，无法承担整根系杆原有的索力，很容易将最后的钢绞线拉断。因此可以考虑通过YCW900A千斤顶和重新加工临时锚板、连接头、张拉杆、临时螺母、张拉螺母、两个撑脚组合进行系杆整体放张，东西岸各布置一套在需要更换系杆上，分级放张，直至系杆完全处于无张力状态下，对系杆进行切断，从两端头拖出预埋管。（如图3）

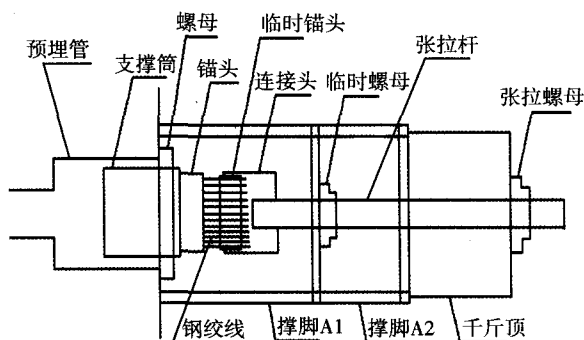


图3 系杆放张示意图

(2) 采用YDCS8000千斤顶进行补张系杆力，配套张拉连接套、张拉螺母和张拉撑脚，并且确保上下游系杆不平衡张拉力在2000kN范围内，其安装工艺如图4所示：

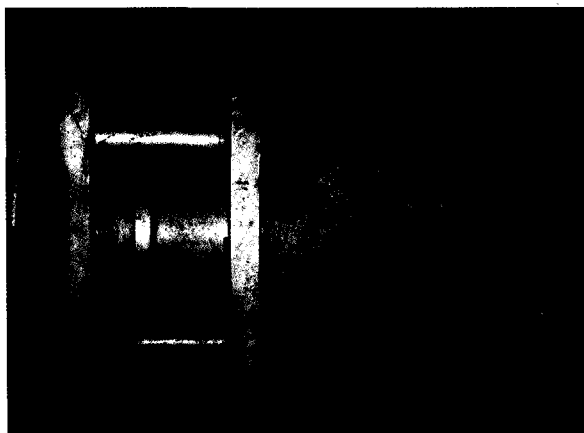


图4 系杆整体张拉示意图

## 4 系杆安装施工工艺

### 4.1 系杆安装工艺流程图 (如图5所示)

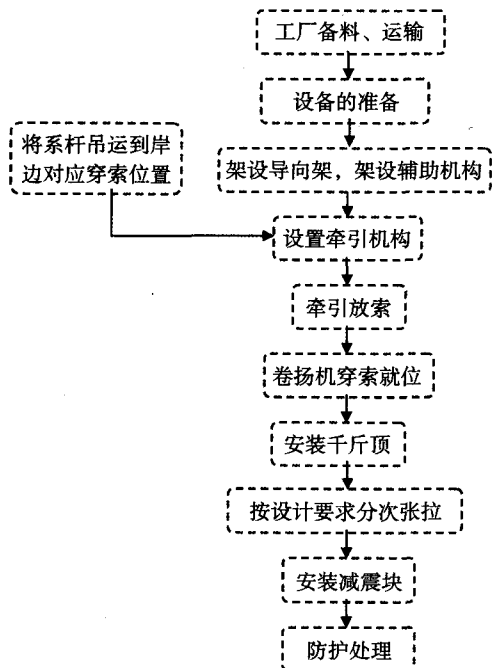


图5 系杆安装工艺流程图

### 4.2 PE剥除长度

保证PE护套有效地进入两端锚具密封筒之内, 进入量按工艺要求确定。一般的, 由于系杆都比较长, 伸长量亦比较长, 因此, 必须计算张拉完毕后PE护套位置距离锚垫板口至少45cm以上, 以此来反推在穿索前应该剥除的PE长度。

### 4.3 张拉

采用悬浮张拉模式, 为了避免重复打紧夹片, 对夹片造成一定的损伤。在张拉锚具上安装千斤顶和高压油泵, 按设计工程进度要求分阶段张拉。用4台千斤顶进行同步对称张拉, 索力按设计给出的数值进行张拉。张拉工作程序: 先使用辅助机具把系杆锚具螺母—安装张拉机具—预紧—反复张拉到设计应力—锚固。张拉控制以张拉力控制为主, 伸长量控制为辅。(如图6所示)

### 4.4 防腐

#### 4.4.1 系杆索体防腐

索体材料采用带PE镀锌钢绞线, PE层与钢绞线间涂专用油脂, 如果在下料、挂索使用过程中发现PE有破损之处, 立即用焊枪修补, 避免钢绞线锈蚀。

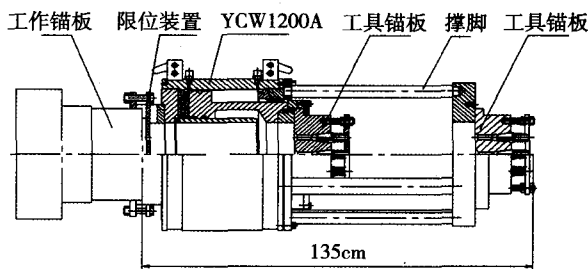


图6 系杆整体张拉示意图

#### 4.4.2 锚头内防腐

(1) 锚头内钢绞线由于挂索、张拉需要, 两端PE需剥除, 剥除段钢绞线必须进行有效防护, 方法是在锚具的密封腔内灌注防腐油脂。

(2) 灌注防腐油脂材料之前, 需要拧紧锚板上的密封板拉杆螺帽, 压缩三块密封板之间的密封腻子, 使其与钢绞线周围的缝隙缩小至消失, 保证防腐油脂在锚腔内的完全密封以致不外露。注浆设备采用螺杆泵, 待调索完成后, 通过锚具注浆孔将防腐油脂压进锚具内, 当锚具排气孔处溢出, 则证明油脂已灌满, 封好锚具上灌浆孔和排气孔。

#### 4.4.3 锚头端面、夹片、外露钢绞线的防腐

(1) 用手提砂轮机切除多余的钢绞线, 但要考虑到今后单根换索的需要, 留足钢绞线的外露长度, 同时满足保护罩能够罩上的长度。

(2) 一方面为了整体防腐, 一方面为了方便螺母旋动, 在锚具安装时预先在支承筒外螺牙上清理所有杂物。

(3) 整体张拉后, 支承筒外露部分、锚板、夹片等都涂上防腐油脂, 而且支承筒外露部分锚板用封箱带缠绕密封。

(4) 调索结束后, 在锚具外安装保护罩, 内注油对裸露钢绞线、夹片、锚板等进行防护。

(5) 上、下锚箱内必须预设防水、防潮措施, 下端锚垫板应设有临时排水槽。

### 4.5 系杆安装质量控制

(1) 应准确计算系杆索的下料长度, 控制剥除PE的长度, 避免剥除PE过短时, PE层顶到夹片造成夹片锚固失效, 又要避免已剥除PE的钢绞线裸露于连接筒外。

(2) 锚具应保持清洁, 不得附着影响其锚固性能的物质。安装前夹片外锥面或锚板锥孔内壁应均匀涂覆少量退锚灵。

(3) 保证钢绞线与锚具单元孔位对应, 夹片与锥孔配合精确, 夹片与钢绞线咬合均匀, 夹片端面平齐, 两片端部不平度要求小于0.5mm, 锚具最低使用应力要求大于 $0.11\sigma_b$ 。

(4) 封锚前根据结构与系杆特性设计要求用砂轮切割机整齐切除相应的多余钢绞线, 不可采用火焰切割。

(5) 钢绞线应操持清洁, 避免泥土或腐蚀物质粘附于裸露的钢绞线上, 张拉结束后, 要求灌注防护油脂进行防护。对可换索式系杆锚具密封筒内和保护罩内灌油是系杆锚固体系的一项重要防护措施, 先不安装保护罩, 对锚具密封筒内进行灌油, 应顺从低进高出的原则, 从锚板底部进油, 上部出气, 直到出气口流出油脂浓度与灌进浓度一样为止, 安装好保护罩, 同样在保护罩内灌满防腐油脂, 灌油后封好灌油孔和排气孔, 将锚具外表面清洁干净。

## 5 结语

(1) 该桥系杆索力需要分级调整, 旧系杆

分级卸载索力, 并且确保上下游总系杆不平衡张拉力在2000kN范围内;

(2) 系杆放张采用组合撑脚方式进行放张, 可把系杆张力完全放至为零;

(3) 准确计算新系杆索的下料长度, 控制剥除PE的长度, 避免钢绞线工作长度不够或者过剩, 导致钢绞线裸露在外;

(4) 四个点同步对称张拉, 确保索力均匀性和满足应力要求;

(5) 钢绞线系杆体系的施工工艺逐步成熟, 使用设备轻巧;

(6) 该索采用多层防护, 防护层次明确, 其耐久性优于一般系杆索。

## 参考文献

- [1] 陈宝春. 钢管混凝土拱桥设计与施工[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [2] 陈天本. 桁式组合拱桥[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [3] 金成棣. 预应力混凝土梁拱组合体系桥梁[M]. 北京: 人民交通出版社, 1999.
- [4] 向中富. 桥梁施工控制技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [5] 何思明, 王全才. 预应力锚索作用机理研究中的几个问题[J]. 地下空间工程学报, 2006, 2(1):160-165
- [6] Rakesh Kumar, K.G.Sharma, A.Varadarajan. Post-peak response of some metamorphic rocks of India under high confining pressures [J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2010, 47(8): 1357 - 1362.
- [7] KyungsooChung. Prediction of pre- and post-peak behavior of concrete-filled circular steel tube columns under cyclic loads using fiber element method[J]. Thin-Walled Structures, 2010, 48(2): 169 - 178
- [8] Helene, P., Pereira, M.F., Castro, P. Performance of a 40-year-old concrete bridge with embedded, prestressed galvanized strands, Materials Performance, Oct. 2008, 43(10): 42-455.
- [9] 张咸恭, 王思敬等. 工程地质学概论[M]. 北京: 地震出版社, 2005, 6-16
- [10] 丁多文, 罗国煜. 预应力锚索加固岩体的应力损失分析[J]. 工程地质学报 1995.1, 65-69.
- [11] 陈安敏, 顾金才等. 软岩加固中锚索张拉吨位随时间变化规律的模型试验研究[J]. 岩石力学与工程, 2002, 21(2):251 - 256.
- [12] 高大水, 曾勇. 三峡永久船闸高边坡锚索预应力状态监测分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 20(5):653-656
- [13] 李端友, 汤平, 李亦明. 三峡永久船闸一期工程岩锚预应力监测[J]. 长江科学院院报, 2009, 17(1):39-41.
- [14] 何思明, 乔建平, 王成华. 预应力锚索群锚效应研究—理论与建模[J]. 中国科学, 2003.6.
- [15] 陆锡铭, 朱哈达. 破碎岩质边坡中群锚效应试验研究[J]. 2005, 6: 66 - 80
- [16] 朱哈达. 破碎岩质边坡锚固技术研究[D]. 浙江大学. 2005: 113 - 120.
- [17] 朱哈达, 尚岳全, 陆锡铭等. 锚索预应力长期损失与坡体蠕变耦合分析[J]. 岩土工程学报, 2005.27(4). 464 - 468.
- [18] 叶惠飞. 锚索预应力损失变化规律分析[D]. 浙江大学. 2004. 38 - 51
- [19] 朱本珍, 王建松, 郑静等. 锚索长期工作性能检测与荷载补偿技术研究. 岩土力学, 2011, 32(增2): 683 - 687.
- [20] 聂彪, 王建松, 高和斌, 梁龙龙等. 高边坡锚索结构预应力检测及补强修复技术的应用[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(增1): 239 - 241.
- [21] 马长乐, 吴拥政, 何杰. 预应力损失对高预应力全锚索支护技术的影响[J]. 煤矿开采2012, 17(2), 61-72.
- [22] 陈成文, 喻成亮, 王永兴等. 超长预应力束有效预应力测试与研究. 公路, 2013.1.144-148.
- [23] 蔡美峰, 何满潮, 刘东燕. 岩石力学与工程[M]. 北京: 科学出版社, 2002. 200 - 220.
- [24] Ghorbanpoor Al, Magnetic-based NDE of steel in prestressed and post-tensioned concrete bridges, Proceedings of SPIE---The international society for optical engineering, 1998, v 3400: 343-347.
- [25] 阎莫明, 徐祯祥, 苏自约. 岩土锚固技术手册[M]. 北京: 人民交通出版社, 2004.148 - 167.
- [26] 褚晓威. 小孔径预应力锚索预应力损失机理及试验研究[D]. 北京: 煤炭科学研究总院, 2010.6-16.
- [27] Hazzard J F, Young R P. Dynamic modeling of induced seismicity. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences., 2004, 41(12): 1365-1376.
- [28] 张发明, 刘宁. 影响大吨位预应力长锚索锚固力损失的因素分析[J]. 岩土力学, 2003(4):194-197.
- [29] 夏熙伦. 工程岩石力学[M]. 武汉: 武汉工业大学出版社, 1998. 57 - 87.
- [30] 李双一, 王艳琴, 张一玉. 浅谈后张法预应力施工过程中应力损失分析及控制[J]. 辽宁交通科技. 2005(9):52-56.
- [31] 王清标. 孔道成孔工艺对锚固力损失的分析与控制[J]. 山东大学学报(工学版), 2009(4) 145-148

(上接第22页)

## 参考文献

- [1] 何思明, 王全才. 预应力锚索作用机理研究中的几个问题[J]. 地下空间工程学报, 2006, 2(1):160-165
- [2] Rakesh Kumar, K.G.Sharma, A.Varadarajan. Post-peak response of some metamorphic rocks of India under high confining pressures [J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 2010, 47(8): 1357 - 1362.
- [3] KyungsooChung. Prediction of pre- and post-peak behavior of concrete-filled circular steel tube columns under cyclic loads using fiber element method[J]. Thin-Walled Structures, 2010, 48(2): 169 - 178
- [4] Helene, P., Pereira, M.F., Castro, P. Performance of a 40-year-old concrete bridge with embedded, prestressed galvanized strands, Materials Performance, Oct. 2008, 43(10): 42-455.
- [5] 张咸恭, 王思敬等. 工程地质学概论[M]. 北京: 地震出版社, 2005, 6-16
- [6] 丁多文, 罗国煜. 预应力锚索加固岩体的应力损失分析[J]. 工程地质学报 1995.1, 65-69.
- [7] 陈安敏, 顾金才等. 软岩加固中锚索张拉吨位随时间变化规律的模型试验研究[J]. 岩石力学与工程, 2002, 21(2):251 - 256.
- [8] 高大水, 曾勇. 三峡永久船闸高边坡锚索预应力状态监测分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 20(5):653-656
- [9] 李端友, 汤平, 李亦明. 三峡永久船闸一期工程岩锚预应力监测[J]. 长江科学院院报, 2009, 17(1):39-41.
- [10] 何思明, 乔建平, 王成华. 预应力锚索群锚效应研究—理论与建模[J]. 中国科学, 2003.6.
- [11] 陆锡铭, 朱哈达. 破碎岩质边坡中群锚效应试验研究[J]. 2005, 6: 66 - 80
- [12] 朱哈达. 破碎岩质边坡锚固技术研究[D]. 浙江大学. 2005: 113 - 120.
- [13] 朱哈达, 尚岳全, 陆锡铭等. 锚索预应力长期损失与坡