

南充下中坝嘉陵江大桥系杆设计研究

黄日金 陈建国 齐琪 陆绍辉

杨奇光 庞俊辉 钟屹 玉进勇

(柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545005)

摘要:针对目前普遍存在的系杆防水性能差、容易腐蚀的问题,设计了全防腐系杆;通过水密性试验和耐久性试验验证其可靠性,并介绍了其在南充下中坝嘉陵江大桥的应用。试验及应用结果表明:该系杆具有安全可靠、防腐性能优异等技术优点。

关键词:拱桥系杆 系杆设计 全防腐 水密性 耐久性

1 前言

系杆拱桥是应用广泛的桥型。这类桥型是以系杆部分或全部承受拱脚水平推力为主要特征。系杆是拱桥的水平生命线。作为桥梁的重要受力构件,系杆的可靠性、耐久性、适应性关系到桥梁结构的安全和使用寿命。过去由于技术水平、材料、施工技术及人们对索类构造认识等因素的制约,此类索类构件在安全性、耐久性、适应性方面存在一些问题,特别是防护密封不理想,水易进入预埋管内,造成锚具受到腐蚀,是桥梁结构的安全隐患。近年来通过对多座桥梁检修,发现存在预埋管内进水的拉索,锚具和钢绞线都产生了不同程度的锈蚀。防水问题引起了重视,针对当前系杆所存在的一系列问题加以深入地研究,提供有效的解决方案,为工程应用提供一套安全可靠的系杆系统,成为工程界的普遍要求。综合上述情况, OVM公司展开了系杆新防水技术设计研究,并结合南充市下中坝嘉陵江大桥系杆工程应用介绍其施工方法。

2 全防腐系杆设计

2.1 设计依据标准

全防腐系杆的设计依据或参照了如下相关标准:

- (1) GB/T14370-2007《预应力筋用锚具、夹具和连接器》
- (2) fib: 2005《预应力钢质拉索的验收推荐性规范》
- (3) GB/T5224-2003《预应力混凝土用钢绞线》
- (4) GB/T 25823-2010《单丝涂覆环氧涂层

预应力钢绞线》

(5) JG3007-1993《无粘结预应力筋专用防腐润滑脂》

(6) GB/T18365-2001《拱桥热挤聚乙烯高强度钢丝拉索技术条件》

(7) CJ/T297-2008《桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料》

(8) PTI2007《斜拉索设计、测试与安装条例》

2.2 全防腐系杆设计达到的技术目标

(1) 全防腐系杆锚具性能应满足GB/T14370-2007《预应力筋用锚具、夹具和连接器》和fib: 2005《预应力钢质拉索的验收推荐性规范》的要求: 锚具效率系数 $\eta_A \geq 95\%$, 极限延伸率 $\xi \geq 2\%$ 。

(2) 系杆锚具疲劳性能预期达到: 应力上限 $0.65\sigma_b$, 应力幅80MPa, 经200万次脉冲加载后断丝不大于总数的5%。

(3) 在预埋管口设计密封装置 I 应具有多道独立防水结构, 每一道防水结构都能独立防水, 提高防水性能, 整体性能满足美国后张法协会《斜拉索设计、测试与安装条例》(PTI2007)规范中水密性试验的有关要求。

(4) 在锚具上设计传感器, 可方便实现监测功能。

2.3 全防腐系杆的总体结构设计

全防腐系杆体系为可监测全防腐型可换可调钢绞线系杆。锚具的结构由保护罩、防松装置、锚板、螺母、支撑筒、锚垫板、螺旋筋、预埋管、密封装置 I、密封装置 II 和钢绞线索体组成(见图1), 索体采用钢绞线成品索(见图2)。

锚垫板、预埋管与密封装置 I 的密封管之间通过焊接形成一个整体的密封结构件（见图3），锚具、索体安装好并索力张拉到位后，两端分别与

保护罩和密封装置 I 组成全封闭空间，实现全防水结构。在螺母和锚垫板之间安装压力传感器，实现方便检测功能。

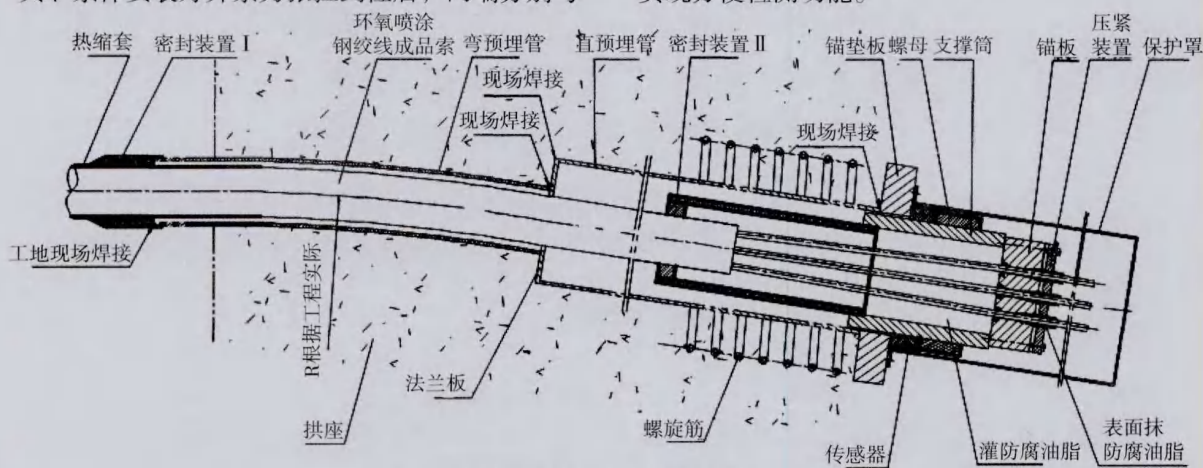


图1 嘉陵江大桥系杆结构

2.3.1 全防腐系杆索体的结构特点及技术性能指标

(1) 结构特点

全防腐系杆成品索索体由 $\phi 15.24$ 单丝喷涂环氧涂层预应力钢绞线单根钢绞线喷涂环氧后外包 PE 护套，钢绞线之间空隙和 PE 护套之间空隙采用油脂填充保护，进行单根独立防腐，符合国际标准 fib 的要求。索体的防腐层由环氧涂层+防腐油脂+热挤小 HDPE 层+高强聚胺脂带+HDPE 组成，为多层防护的索体。如图2所示。

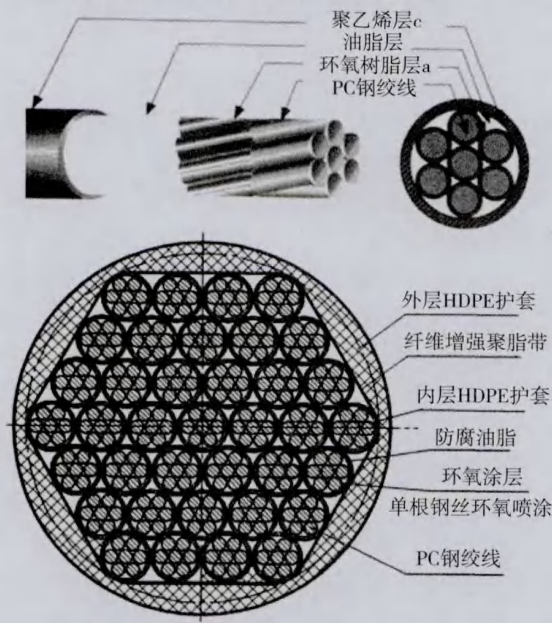


图2 嘉陵江大桥系杆索的独立防腐钢绞线的详细构造图

(2) 技术性能指标

- 1) 系杆宏观弹性模量： $E \geq 1.9 \times 10^5 \text{ MPa}$
- 2) 2钢绞线性能：抗拉强度 $\sigma_b \geq 1860 \text{ MPa}$ ，钢绞线应符合 GB/T5224《预应力混凝土用钢绞线》或 ASTM A416-98 标准的要求。
- 3) 钢绞线环氧涂层性能：钢绞线进行单根钢丝环氧喷涂，符合 GB/T 25823-2010《单丝涂覆环氧涂层预应力钢绞线》要求。
- 4) 索体 HDPE 性能：符合 CJ/T297-2008《桥梁缆索用高密度聚乙烯护套料》的要求。
- 5) 防水（防腐）性能：系杆及索体为全防水全防腐结构

2.3.2 系杆预埋件焊接（见图3）工艺要求及检验标准

密封装置 I 的密封管、弯预埋管、法兰板、直预埋管与锚垫板之间连接为连续焊接，焊接要密实，不能渗漏水，接头采用外侧单侧连续焊接，内侧要保持平滑。焊缝的检验按 JB/T4735《钢制焊接常压容器》标准中的 15.2.5.7 煤油渗漏试验验收。焊接工艺可参考 JB/T4735 中的 15.2.2 焊接。

2.4 全防腐系杆的水密性试验

全防腐系杆及索体的设计为全防水全防腐结构，考虑两个关键的因素：一是密封防水功能。防水性能必须要通过试验验证，同时应具备多道

独立防水结构,如其中一道防水层损坏,还有另一道防水结构起作用;二是可方便检修和可更换,操作方便。

2.4.1 试验方案

目前国内疲劳试验最大做到12孔,因此我们选取12孔系杆拉索做疲劳试验后水密性试验。如下:

(1) 试验目的: 检验系杆拉索经过疲劳试验后的密封性能。

(2) 试验依据: 疲劳试验按GB/T14370-2007标准第5.5.2要求进行。疲劳试验技术参数为应力上限 $0.65\sigma_b$, 应力幅80MPa, 经200万次应力循环。

水密性试验按PTI标准第4.1.6要求进行。

(3) 试验内容

1) 取系杆拉索组件一套, 将其装在疲劳试验机上, 钢绞线预紧后进行疲劳试验。

2) 疲劳试验完成后, 将系杆拉索组件试件放松, 从疲劳试验机上拆下。将系杆拉索组件吊入下端密封的竖直钢管内, 钢管水位高为3m, 将整个试验装置放置96小时, 然后将系杆拉索组件从钢管中吊出, 并将锚具拆开观察是否有水进入锚具内部。

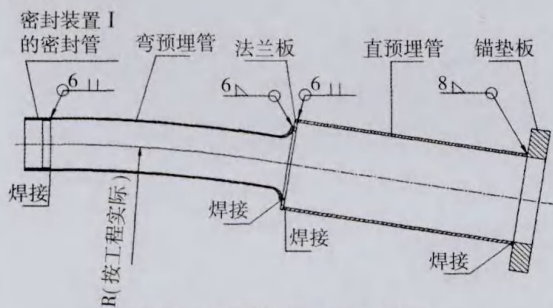


图3 系杆预埋件焊接示意图

2.4.2 试验步骤

(1) 钢绞线无粘结筋成品索下料(5m), 索体一端剥去外PE长1320mm(外PE进入密封装置160~200mm), 剥去小PE长1220mm, 另一端根据试验台座及张拉千斤顶计算PE剥除长度。

(2) 系杆拉索组装, 将锚具按图4组装好, 并预紧钢绞线, 保证各根钢绞线受力基本均匀。

(3) 按要求进行疲劳试验。

(4) 疲劳试验完成后, 放松系杆拉索组

件并拆除, 将系杆拉索组件吊出, 进行水密性试验。

(5) 将下端锚具装好保护罩, 然后将其吊入下端密封的竖直钢管内, 钢管水位高为3.2m(标准为3m)(如图5)。

(6) 系杆拉索组件在水内放置97小时(标准为96小时)。

(7) 吊出系杆拉索组件后, 用棉纱先将锚具表面的水擦拭干净, 再将锚具保护罩及密封装置拆开, 检查是否有水进入锚具内部。试验过程见图4、图5、图6。

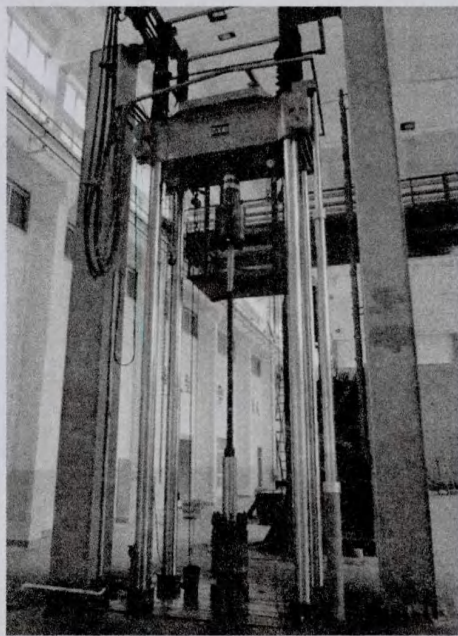


图4 系杆拉索疲劳试验

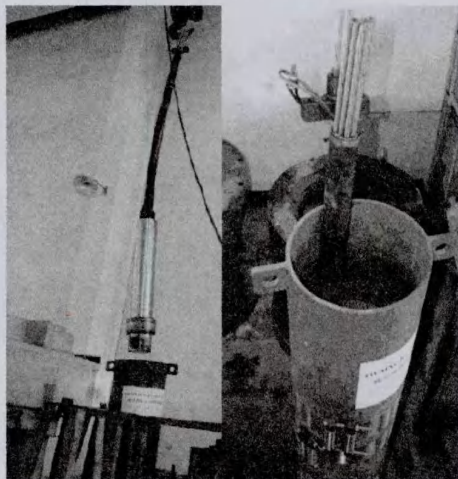


图5 在深3.5米水池中浸泡97小时



图6 浸泡97小时后解剖系杆锚具内部没有进水

2.4.3 试验结论

疲劳试验: 试验后钢绞线疲劳破坏面积不大于5%，满足标准要求。

水密性试验: 没有发现水进入锚具内部，满足要求。

因此，新系杆及索体设计所采用的全防水全防腐结构，满足可靠性、耐久性要求。

2.5 耐久性试验

为了检验密封装置 I 是否可以提供长期可靠的防水性能，做密封装置 I 防水性能的耐久性试验。

2.5.1 试验大纲如下:

(1) 试验目的: 检验系杆密封装置 I 的密封性能及耐久性。

(2) 试验内容: 将系杆密封装置长时间置于水中，观察是否有水进入密封装置。

(3) 试验方案:

在密封管(预埋管)内穿入索体，安装好密封装置。在密封管外设置水箱，在水箱中灌满水(见图7)。检验系杆密封装置 I 的密封性能，每10天往钢管内加水保持水面高度，整个试验过程为30个月，观察是否有水进入密封装置下端。

(4) 试验步骤:

按图7组装好密封装置 I 及焊接好外置水箱，在水箱中灌满水。

摆动索体靠到钢管的边，摆动角度为 2.4° 。

观察是否有水进入密封装置 I 下端。

每10天往钢管内加水保持水面高度，密封装置到水面高度为0.8米。整个试验过程为30个月，观察是否有水进入密封装置下端。试验过程见图8。

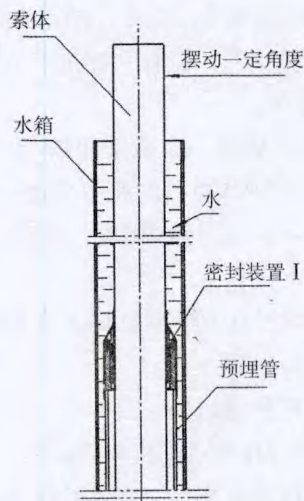


图7 系杆密封装置 I 耐久性水密封性试验示意图

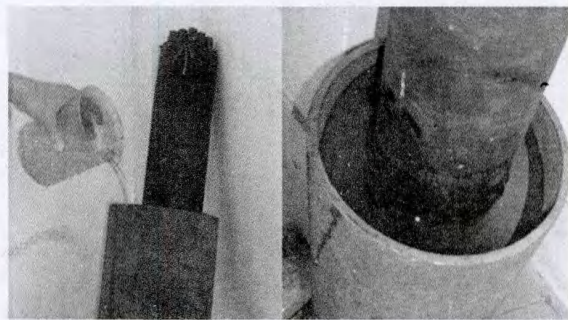


图8 密封装置 I 长期可靠防水性能试验

2.5.2 试验结论

本试验从2008年7月12日开始，直到2011年1月22日，历时共30月，根据每日观察的试验记录没发现有水进入密封装置下端。从试验结果情况分析，证明了系杆密封装置 I 具有可靠的防水性能和良好的耐久性。

3 全防腐系杆施工应用

本文研究的全防腐系杆在南充下中坝嘉陵江大桥得到了成功的应用。由于系杆的施工安装质量也是关系到系杆寿命的一个重要环节，在此结合南充下中坝嘉陵江大桥，简要叙述其施工流程及安装、防护的注意事项。(下转第40页)

线、提供报警等功能,使系统具有良好的人机界面,易于操作。

通过以上组态程序在提升项目中的应用介绍,通过PLC对数据采集和处理,经以太网传输至工控组态,组态建立设备,开发的组态界面,组态软件将所有数据信号一一读写,将工控信息完整呈现与操作者,操作者根据掌握的完整系统信息,可对设备状态了然于心,通过下达正确的命令,完成项目的所有施工。

组态软件以强大的界面显示组态功能、良好

的开放性、丰富的功能模块、强大的数据库、可编程的命令语言、周密的系统安全防范及仿真功能的强大优势在工业自动化行业中广泛应用。监视组态软件渗透能力强、扩展性强,随着组态技术、PLC技术、通信技术的告诉发展,组态技术将在工业改革的浪潮中发挥更深远的影响。

参考文献

- [1] 组态软件. 百度文库[引用日期2013-01-15].
- [2] 组态软件的功能分析. 电气自动化技术网. 2011-01-18 [引用日期2013-01-15].
- [3] 《组态王6.53使用手册》. 亚控公司, 2007

(上接第28页)

3.1 南充下中坝嘉陵江大桥系杆工程概况

南充市下中坝嘉陵江大桥为 $2 \times 160\text{m}$ 下承式钢管混凝土刚架系杆拱桥(图9),是南充市城区的第4座跨江大桥,也是南充境内嘉陵江上第1座双向6车道桥梁。系杆索长328m,全桥共16根索,规格为15~31,索体为环氧喷涂钢绞线成品索。

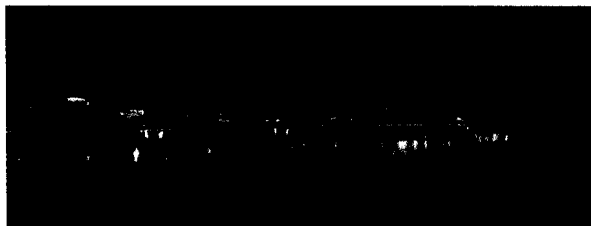


图9 南充下中坝嘉陵江大桥雄姿

3.2 安装流程

南充市下中坝嘉陵江大桥系杆安装工艺流程见图10:

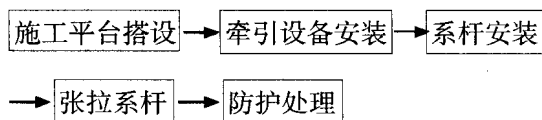


图10 系杆安装工艺流程

3.3 系杆的过程防护

(1) 所有运输、吊装及张拉均应有防护措施。

(2) 安装时采用衬垫进行保护。不得磕碰敲击损坏锚具,不得损坏拉索的材质,不得使其产生变形。

(3) 要求预埋管道畅通光滑,避免在使用中擦伤钢绞线。

(4) 剥除PE的钢绞线及锚头用油脂进行临时加强防腐。

(5) 采用隔热材料保护索体PE,防止电焊焊渣等火花引发火灾烧损索体。

3.4 系杆最终防腐

(1) 依次安装预埋管口的密封装置 I 的组件。填充密封材料要均匀密实,安装热缩套。

(2) 在锚头的密封装置 II 内灌注防腐材料。

(3) 在锚具表面及外露钢绞线上抹防腐油脂并安装锚头保护罩及相应组件。

(4) 安装完成后,对系杆的保护罩、自由段支撑架,小预埋管等所有外露钢构件外表面进行与桥梁其他钢构件同等的防腐处理。

4 小结

本文介绍全防腐防水系杆的特点及设计要求、试验方法及结果,并结合南充下中坝嘉陵江大桥系杆工程应用介绍其施工中应注意的安装、防护的相关事项。试验及应用结果表明,全防腐型可换可调系杆具有安全可靠、防腐性能优异等技术优势,值得推广应用。

参考文献

- [1] 甘露. 南充市下中坝嘉陵江大桥工程. 招商局重庆交通科研设计院有限公司. 2010.6
- [2] 易辉. 南充市下中坝嘉陵江大桥主桥设计简介[J]. 公路交通技术, 2010.5
- [3] 苏寅申主编. 《桥梁施工及组织管理》[M]. 北京: 人民交通出版社, 2005.7