

# 拱桥拉索病害研究与对策

龙跃<sup>1</sup> 左毅<sup>1</sup> 吴秋凡<sup>2</sup> 颜义然<sup>3</sup> 彭春阳<sup>1</sup> 龙廖乾<sup>1</sup>

(1.柳州欧维姆机械股份有限公司 广西 柳州 545005 2.广西工学院 广西 柳州 545005

3.同济大学桥梁系 上海 200092)

**摘要:**结合《OVMZM拱桥吊杆体系》项目的研究成果,本文重点介绍拱桥吊杆及同类拉索的病害,分析拉索病害的成因,研究提高桥梁结构安全性、可靠性、耐久性的措施与对策。

**关键词:**拱桥 吊杆 拉索 HDPE 病害 腐蚀 安全性 可靠性 耐久性 低应力 应力释放 应力开裂 耐环境应力开裂 冷凝水 潮湿度 防腐油脂

## 1. 概述

九十年代中期,我们在研究平行钢丝拉索时,发现这类斜拉桥拉索或拱桥吊杆等索类结构在工程应用中普遍出现索体HDPE护套提前开裂、下端预埋管进水,锚头及钢丝腐蚀等严重问题。拉索的安全性、耐久性远达不到使用要求。据不完全统计,我国索类结构(拱桥吊杆、斜拉桥拉索、悬索桥吊索及悬索屋架结构等)约有500~600座。其中相当一部分结构的拉索建成后短时间内出现严重的问题,不得不提前维护,甚至提前换索,浪费极大。此类结构存在安全隐患,严重威胁着工程及人民生命财产的安全,致使结构垮塌也屡见不鲜。

近年,我们进一步对国内外部分桥梁进行调查,并参与部分工程的维修维护,发现此类问题的严重性非同一般。部分工程调查结果汇总于表1《部分桥梁情况调表》。

吊杆是拱桥的重要承重构件,其安全性、耐久性、适应性关系到桥梁结构的安全与正常使用。研究吊杆系统,以期系统的解决目前吊杆所存在的病害,阻断病害的成因,以提高桥梁结构的安全性、可靠性、耐久性已迫在眉睫。

## 2. 拱桥拉索病害

拱桥拉索病害主要表现如下。

### 2.1 平行钢丝拉索PE护套提前开裂

通过对部分桥梁拉索(包括拱桥及斜拉桥)的调查,发现平行钢丝拉索PE护套一般在几年内就开裂。相关资料表明,拉索PE护套最短不到一年,最长不到十年就产生开裂。

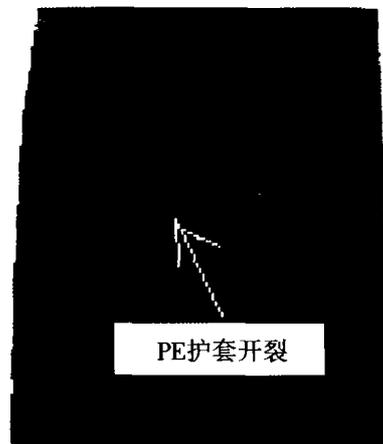


图1 平行钢丝拉索PE护套开裂

### 2.2 下端预埋管积水及索体钢丝、锚头腐蚀

调查发现,大部分桥梁下端预埋管均有进水现象,几乎所有的桥梁下端预埋管均有冷凝水存在。下端预埋管的积水和冷凝水,使预埋管及索体内的潮湿程度增加,锚头及索体受到腐蚀。北方地区的一些桥梁曾因预埋管内积水发生冻裂预埋管的现象。



图2 下端预埋管进水

表1 部分桥梁情况调查表

工程名称	建成时间	问题及出现的时间
广东某大桥	1988年	PE护套开裂, 2001年全面换索
广东某大桥	1987年	1995年检测, PE护套开裂
广州某大桥	1988年	1995年一根拉索锈蚀断裂, 后全桥换索
广东某大桥	1996年	1997年PE护套开裂, 下端预埋管进水
长沙某大桥	1990年	2002年全桥检测, 发现拉索内钢丝进水, 局部锈蚀
武汉某大桥	1998年	2003年全桥检测, 发现拉索PE护套开裂严重
哈尔滨某大桥	2001年	2002年观察, 防水罩功能失效, 下端进水
安徽某大桥	1995年	通车后即发现下端进水, 锚头及预埋管受到腐蚀
四川某大桥	1990年	2001年11月7日吊杆腐蚀断裂, 部分桥面垮塌
四川某大桥	1998年	2001年检查吊杆系杆腐蚀严重, 2003年全面更换吊杆、系杆系统
四川某大桥	1994年	2002年检查吊杆腐蚀严重, 2003年全面更换吊杆系统
广西某大桥	1995年	1998年至1999年吊杆PE外套开裂, 下端严重进水, 锚头及钢丝腐蚀严重
广西某大桥	1998年	2001年吊杆PE外套开裂, 下端严重进水, 锚头及预埋管有腐蚀现象
广西某大桥	1998年	2001年检查, 下端进水严重
重庆某大桥	1996年	PE外套开裂, 1999年拉索缠包处理
云南某大桥	1991年	2000年拉索缠包处理
厦门某大桥	1999年	2002年吊索PE护套开裂(微裂纹)
珠海某大桥	1995年	拉索PE护套开裂严重
福州某大桥	1998年	2001年检查, 下端进水, 锚头及钢丝锈蚀严重

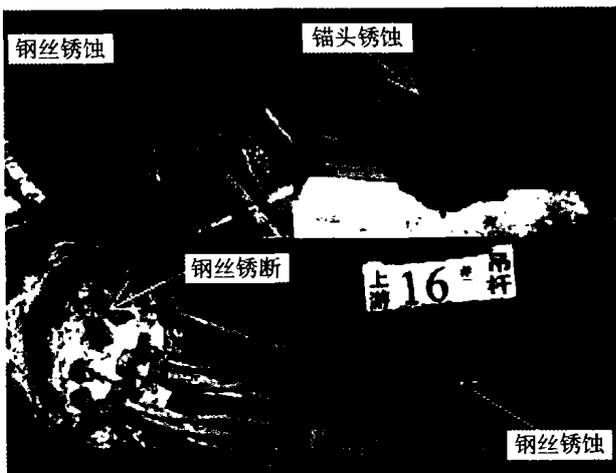


图3 索体钢丝及锚头腐蚀



图5 系杆腐蚀与断裂



图4 短吊杆及结构损坏

### 2.3 短吊杆问题

大多数桥梁的短吊杆太短, 自由长度不足, 吊杆及结构损坏严重。

### 2.4 系杆腐蚀与断裂

不少桥梁的系杆不同程度出现腐蚀, 某些桥梁的系杆发生断裂。

## 3. 拱桥拉索病因分析

### 3.1 平行钢丝拉索PE护套提前开裂的主要原因

3.1.1 索体结构是造成索体提前开裂的主要原因。由于平行钢丝索体是在无应力状态下成索的。当索体工作时, HDPE护套随钢丝的伸长而

始终处于较高应力状态下(有试验证明,当钢丝拉应力达到 $0.4 \delta_b$ 时,HDPE护套的表面应力达到 $2 \sim 3 \text{ Mpa}$ ),大多数工况还存在交变拉应力。因此,长期处于高应力(甚至交变拉应力)状态下工作,HDPE的分子与分子的结合力逐步下降,因而导致HDPE的耐环境应力开裂性能降低,造成HDPE提前开裂。

目前,所看到的HDPE护套,其开裂均为环状应力开裂。有试验表明,使用8年后开裂的HDPE护套,其力学性能(抗拉强度和极限延伸率)不低于初始值的85%。

**3.1.2 HDPE材料的影响。**不同的PE粒子材料,其耐环境应力开裂的性能差异较大。相关技术标准规定该项指标( $F_0$ )不应低于1500小时。然而,受诸多因素的影响,目前国内某些工程索类所用的HDPE材料,其 $F_0$ 指标只有500~800小时。个别工程甚至使用低密度PE。使用性能达不到要求的材料,造成HDPE护套更短时间开裂。有工程表明,使用耐环境应力开裂性能指标不满足要求的PE材料,护套在一年左右便产生开裂。

**3.1.3 使用环境的影响。**紫外线的照射、雨水冲淋及有害气体的腐蚀,均影响到HDPE护套的开裂。有工程表明,所有HDPE护套的开裂是从索的迎光面开始。

**3.1.4 施工作业的影响。**目前施工对索体的保护措施普遍不够,施工过程中索体的损伤时有发生。目前,工程上对索体PE的损伤,大多数采用补焊的办法修补,而补焊修补时PE二次加热成型其耐环境应力开裂性能大大下降,因补焊修补在野外作业,损伤面难以完全修复。因此,施工隐患加速PE护套的开裂。

### 3.2 下端预埋管积水的主要原因

**3.2.1 防水罩失效,水直接沿索体进入预埋管内。**由于老式防水罩结构的原因,大多数防水罩不能适应拉索摆动变形的需要,密封防水构造一般使用一两年便失效。某些桥梁的防水罩从设计到制造、安装均未达到防水的要求,因而一开始预埋管就进水。

**3.2.2 大多数桥梁施工过程中的防水与排水的措施不够,造成预埋管积水。**

**3.2.3 某些桥梁预埋管太短,没有高出桥面,**

水直接流入预埋管造成积水。

**3.2.4 冷凝水造成预埋管积水和潮湿度增加。**几乎所有的拱桥都没有阻止冷凝水产生的措施,现有的结构也没有阻隔潮气与锚头的接触。



图6 施工中索体的损伤

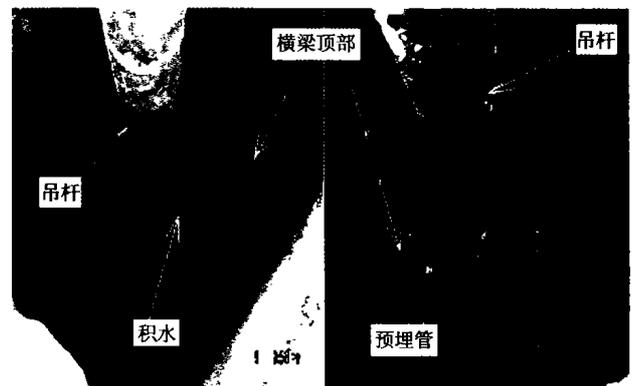


图7 过短的预埋管

### 3.3 造成短吊杆问题的主要原因

早期建设的桥梁,短吊杆的布置不尽合理。短吊杆自由长度太短,受温度变化的影响,桥面反复纵向位移时,短吊杆不能自由摆动,且频频交替出现较大的附加应力,致使短吊杆及结构产生破坏。

### 3.4 造成系杆腐蚀与断裂的主要原因

**3.4.1 系杆箱进水,系杆长期浸泡于水中。**大多数桥梁的吊杆都是直接穿过系杆箱,水沿吊杆直接进入系杆箱内,某些桥梁系杆箱没有设置排水孔。

**3.4.2 系杆施工不按规范要求操作,不编索造成系杆打绞。**某些桥梁在施工过程中曾拉断系杆。

## 4. 对策与措施

**4.1 提高HDPE护套防开裂及提高索体防腐能力的措施**

4.1.1 采用PES(FD)低应力防腐索体,可有效提高索体的防腐能力,延长HDPE护套开裂的时间,提高拉索的耐久性。

PES(FD)低应力防腐索体是在平行钢丝索体的基础上进行改进的索体,它可以使索体在工作时,外层HDPE护套释放应力,使之降低外层HDPE护套的工作应力,延长HDPE护套开裂的时间。同时,索体钢丝内灌注专用防腐油脂,使钢丝表面完全被油脂包裹,钢丝与钢丝之间的三角缝完全被防腐油脂封堵,完全阻断因毛细作用造成索体潮湿度增加引起钢丝的腐蚀,有效提高索体的防腐性能与耐久性。

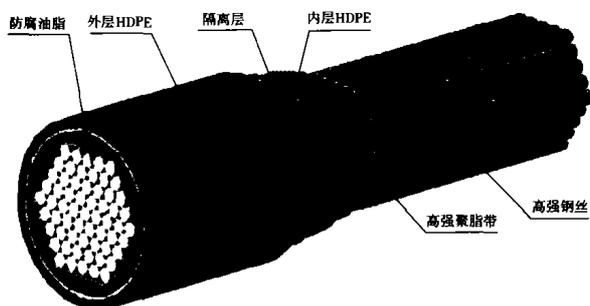


图8 PES(FD)低应力防腐索体

项目研究证明, PES(FD)低应力防腐索体在 $0.4 \delta_b$ 时,外层HDPE护套能释放30%的应力。此时,HDPE的耐环境应力开裂性能有显著的提高。

目前, PES(FD)低应力防腐索体及技术已在国内30多个工程成功应用,项目研究有突破性的进展,也取得了一批科研成果,积累了丰富的使用经验。

4.1.2 必须选用合格的HDPE粒子。目前HDPE的耐环境应力开裂性能指标( $F_0$ )可达3000小时以上。我们建议尽快修订拉索相关技术标准。同时,拉索交付验收时应提供关于耐环境应力开裂性能的有效证明。

4.1.3 拉索生产制造、运输、施工安装及使用时必须严格保护索体,避免索体HDPE护套的损伤。

4.1.4 如果条件允许,索体外可增加一护管,隔绝紫外线对索体的照射和雨水冲淋并隔热。同时,也可有效阻止水进入下端预埋管。

## 4.2 防止下端预埋管积水的措施

4.2.1 采用能满足使用要求的防水罩。目前新型防水罩的防水构造可实现可调、可换及多层防

水。使用效果大大优于普通老式的防水罩。

4.2.2 下端预埋管应高出结构100~150mm,防止水直接进入预埋管内。同时,结构应有排水措施。

4.2.3 隔绝冷凝水形成的湿潮气与锚头接触。《OVMLZM拱桥吊杆体系》项目研究建议下端预埋管灌注专用防腐油脂。

4.2.4 严格做好施工中的防排水。如有条件,施工后期可采用干风干燥下端预埋管。

4.2.5 设计时可以考虑把锚头布置在下端横梁之上。

## 4.3 解决短吊杆问题的措施

4.3.1 短吊杆的自由长度不应小于2米。桥面纵向位移时,控制吊杆摆动角不大于 $\pm 3^\circ$ ,从而控制吊杆附加拉应力增加量在5%以内。

4.3.2 吊杆系统中增加球型支座装置,使得短吊杆能自由摆动。

## 4.4 提高系杆安全性、耐久性的措施

4.4.1 鉴于系杆的重要性,系杆应按永久性结构来设计。因此,应采用防腐性、耐久性高的系杆。同时,考虑其维修维护,系杆最好选用可换式系杆。

无粘结钢绞线系杆无论在施工安装、索体防腐及PE护套抗开裂性能方面都优于其它类型的系杆,可考虑优先选用。

4.4.2 系杆构造设计时应尽量考虑防止水进入系杆箱内,系杆箱也必须做好排水措施。同时,必须有切实可行的保护措施,以防止紫外线照射和意外事故对系杆的伤害。

4.4.3 加强施工过程中对系杆的保护,防止施工隐患使系杆带病工作。

4.5 要认真解决好施工中的问题。从目前的各种病害来看,有绝大部分是由施工造成。因此,加强施工管理,建立健全有效的监理制度,严格遵守施工规范,可有效杜绝病害的发生。

4.6 加强产品质量的控制。产品质量也是极其重要的环节,应该选择有经验,有资质,信誉好的供应商和优良产品。同时,要加强产品的验收与制造监理,确保产品的合格。

事实证明,优良的产品不仅对桥梁的安全有

可靠的保障,还可以节约大量的维修维护费用。

4.7 要重视管养。重新建、轻维护是目前的普遍现象。加之,大多数管养部门安全检测人力、设备及专业技能不足,检测、评估及维护系统未能有效建立与正常运行。因此,要加强维修维护系统及制度的建立,采用有效的检测方法和手段,配备足够的资源确保桥梁的安全使用。

## 5. 结束语

由于受产品技术、结构设计、工程施工及管养等诸多因素的影响,目前,拱桥吊杆及同类拉索的病害普遍存在,并严重影响工程的使用寿命,威胁人民生命财产的安全。

系统地研究拉索病害,分析其病因,采取有效的措施,防止病害的发生,对提高工程的可靠性与耐久性是非常重要的。

本文结合项目研究的成果,系统地剖析拉索病害,并研究相应的对策与防范措施,对推动相关研究有积极的作用。特别是PES(FD)低应力

防腐拉索技术,引入应力释放的概念,有效降低拉索PE护套的工作应力,提高拉索PE护套的抗开裂能力和提高拉索的使用寿命。

随着技术研究的不断深入与开展,新材料、新技术,如FRP拉索,可监控智能拉索的应用,可大大提高拉索的安全性及耐久性。

## 参考文献

- [1] 龙跃等.OVMLZM拱桥吊杆体系.项目研究报告.2004.4
- [2] 本文参考并引用西南交大夏招广教授、厦门市路桥建设投资公司徐风云高级工程师的相关资料。
- [3] 柳州欧维姆机械有限责任公司企业标准.热挤聚乙烯高强度钢丝拉索(Q/OVM 010-2003).柳州市质量技术监督局.2003
- [4] 张薇薇.新世纪台湾桥梁的技术发展与愿景.21世纪桥梁技术发展论坛论文集(P55~72).浙江杭州.2002.9
- [5] 中华人民共和国国家标准.斜拉桥热挤聚乙烯高强度钢丝拉索技术条件(GB/T 18365-2001).中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.2001
- [6] 中华人民共和国国家标准.预应力用锚具、夹具和连接器(GB/T 14370-2000).中华人民共和国国家质量技术监督局.2000
- [7] 中华人民共和国国家标准.聚乙烯环境应力开裂试验方法(GB/T 1842-1999).中华人民共和国国家质量技术监督局.1999

(上接第11页)

道环向预应力筋束截面面积 $A_y$ 的允许值为

$$A_y \leq \frac{2r_p^2(r_2^2 - r_1^2)\alpha_{ci}f_{tk} + 2r_1^2r_p(r_2^2 - r_1^2)q_1}{\left[ (r_p^2 + r_1^2) - \frac{\mu}{1-\mu}(r_p^2 - r_1^2) \right] (r_2^2 - r_1^2)\sigma_{pe}} \quad (27)$$

其中 $\alpha_{ci}$ 为混凝土拉应力限制系数,根据规范SL/T191-96,取值为0.30。

## 5. 预应力混凝土压力管道极限承载力验算

为保证结构的安全性,预应力混凝土压力管道在预应力和内水压力共同作用下,其极限承载能力应满足以下要求

$$\gamma_0 \psi \gamma_Q P_{hd} r_1 \leq \frac{1}{\gamma_d} (A_y f_y + A_s f_s) \quad (28)$$

其中 $f_y$ 为预应力筋束抗拉强度设计值; $A_s$ 为单位长度管道内环向非预应力钢筋截面面积; $f_s$ 为非预应力钢筋强度设计值; $\gamma_0$ 为结构重要性系数; $\psi$ 为设计状况系数; $\gamma_Q$ 为设计内水压力 $P_{hd}$ 分项系数; $\gamma_d$ 为结构系数。相关系数的取值均依规范SL/T191-96的具体规定予以确定。

## 6. 管道断面形式对预应力效果的影响

实际工程中的预应力混凝土压力管道断面形式一般为均匀圆环形、马蹄形或变壁厚圆环形等(图4)。均匀圆环形管道常用于带镇墩的地面管或桥式倒虹吸,马蹄形管道用于不带镇墩的地面管、浅埋式管或地下倒虹吸管,变壁厚圆环形管道则常用于压力隧洞衬砌(因隧洞成型开挖局部凹凸形成)。

采用三维有限元方法对比分析了预应力混凝土压力管道不同断面形式对内力分布的影响,结果表明:对马蹄形、变壁厚圆环形等断面形式的预应力混凝土压力管道,均以其最小壁厚作为控制参数按均匀圆环形管道进行设计和验算是可行的。

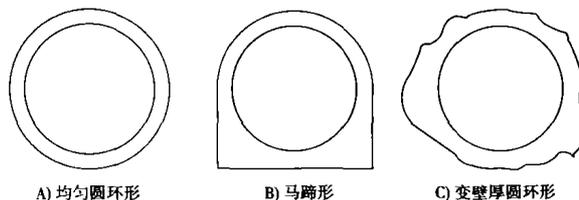


图4 预应力混凝土压力管道断面形式

(下期待续)