

桥梁拉索典型病害事故的调查与研究

龙 跃¹ 郑皆连² 吴 振³

(1 柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545005 2 广西区交通厅 广西南宁 530012

3 广西工学院 广西柳州 545005)

摘 要:本文通过桥梁拉索工程的病害事故调查,以及对钢绞线腐蚀性和HDPE护套材料开裂性的研究试验,分析桥梁拉索腐蚀病因,探讨提高拉索安全性、可靠性、耐久性的对策与措施。

关键词:桥梁拉索 应力腐蚀 护套开裂 专业化管养

1 概述

桥梁拉索是拉索类桥梁的重要承载构件,其耐久性与可靠性直接关系桥梁的安全运行与使用寿命。

自上世纪九十年代中期,上海南浦大桥建成后,我国拉索类桥梁建设蓬勃发展,至今方兴未艾。据不完全统计,我国大跨径拉索类桥梁已有300余座。

然而,桥梁拉索的使用现状不容乐观。已建成的拉索桥梁,绝大部份拉索存在着不同程度的病害,并且日益严重恶化。因桥梁拉索断裂造成桥梁垮塌的严重事故,也有所发生。严重威胁着桥梁的安全、正常使用。

2 桥梁拉索型病害事故调查

2.1 病害工程

2.1.1 柳州文惠桥

1995年建成通车,1998年至1999年发现吊杆PE外套开裂,下端进水严重,锚头及钢丝腐蚀严重,2007年全面换索,见图1。

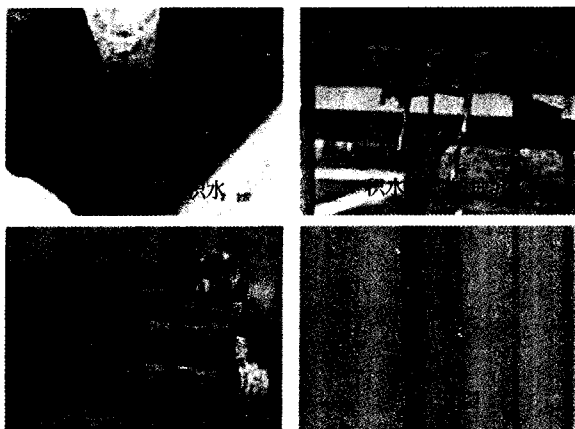


图1 柳州文惠桥拉索病害

2.1.2 南昌新八一大桥

1997年建成通车,拉索PE护套开裂,下端锚头锈蚀严重。2009年全面换索,见图2。

在1987年至2001年14年期间,建成的20座大型拉索类桥梁,均呈现出不同程度的病害现象。从表1^[1]可见,20座桥梁中,5年以内即发生病害现象的有11座,占到55%,7至9年的4座,12至14年的4座,均远远低于设计规范的规定。

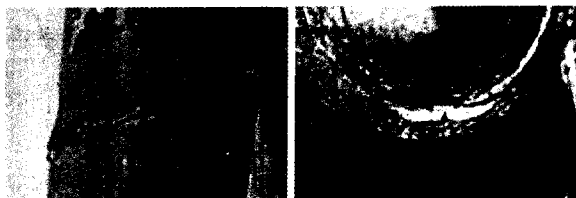


图2 南昌新八一大桥拉索病害

2.2 断裂事故工程

2.2.1 宜宾小南门金沙江大桥吊杆断裂事故

宜宾小南门金沙江大桥1990年建成通车,2001年11月7日吊杆腐蚀断裂,部分桥面垮塌,随后进行大修,见图3。

2.2.2 南坪玉屏大桥吊杆断裂事故

南坪玉屏大桥1996年建成通车,2010年1月因吊杆锈蚀,发生断裂事故,后全面换索,见图4。

3 桥梁拉索典型病害病因分析

3.1 平行钢丝拉索PE护套提前开裂

PE护套开裂的主要形态为网状龟裂和环向开裂两种。如图5所示。

表1 部分桥梁病害情况调查表

顺序	工程名称	建成时间	问题及出现的时间	已运营时间(年)
1	广东南海西樵桥	1987年	1995年检测, PE护套开裂	< 8
2	广东南海九江大桥	1988年	PE护套开裂, 2001年全面换索	< 12
3	广州海印大桥	1988年	1995年一根拉索锈蚀断裂, 后全桥换索	< 7
4	长沙湘江北大桥	1990年	2002年全桥检测, 发现拉索内钢丝进水, 局部锈蚀	< 12
5	昆明远通大桥	1991年	2000年拉索护套开裂, 后缠包处理	< 9
6	攀枝花保果桥	1994年	2002年检查吊杆, 腐蚀严重, 2003年全面更换吊杆系统	< 14
7	柳州文惠大桥	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	< 4
8	安徽铜陵大桥	1995年	通车后即发现拉索下端进水, 锚头及预埋管受到腐蚀	< 1
9	珠海淇澳大桥	1995年	拉索PE护套开裂严重	
10	广东南海紫洞大桥	1996年	1997年PE护套开裂, 下端预埋管进水	< 1
11	重庆李家沱大桥	1996年	PE外套开裂, 1999年拉索缠包处理	< 3
12	南昌新八一大桥	1997年	拉索PE护套开裂, 锚头下端锈蚀严重。2009年全面换索	< 12
13	武汉月湖大桥	1998年	2003年全桥检测, 发现拉索PE护套开裂严重	< 5
14	乐山沙湾名城大桥	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	< 3
15	南宁三岸大桥	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	< 3
16	南宁六景大桥	1998年	2001年检查, 拉索下端进水严重	< 3
17	福州解放大桥	1998年	2001年检查, 锚头下端进水, 锚头及钢丝锈蚀严重	< 3
18	厦门海沧大桥	1999年	2002年吊索PE护套开裂(微裂纹)	< 3
19	哈尔滨太阳岛桥	2001年	2002年观察, 防水罩功能失效, 锚头下端进水	< 1
20	福州青州闽江大桥	2001年	2010年发现80%以上的下锚头进水。	< 9

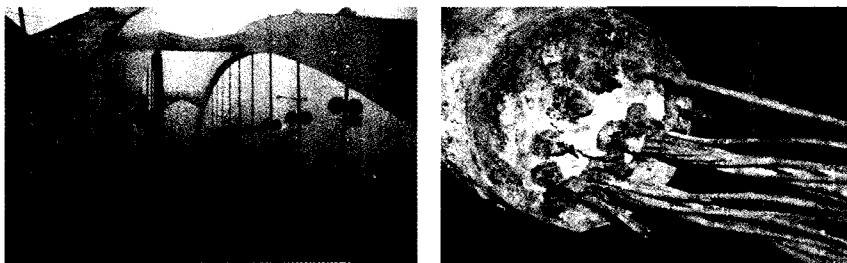


图3 宜宾小南门金沙江大桥吊杆断裂

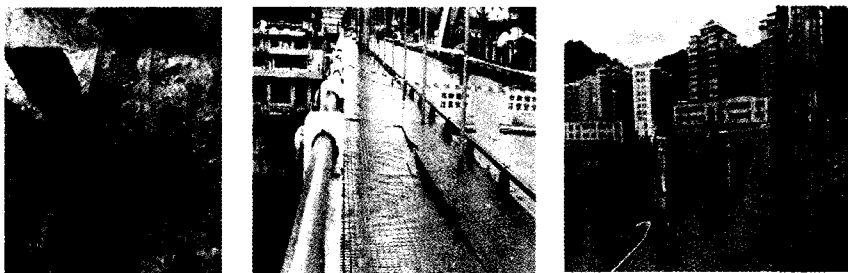


图4 南坪玉屏大桥吊杆断裂



图5 PE护套开裂形态

目前绝大部分PE护套开裂为环向开裂,这种类型的开裂一般在投入使用的几年内发生。所有的PE护套环向开裂都是从迎光面开始,最终扩展为环向断裂。本文作者从HDPE材料、拉索工作环境、拉索受力状态等方面进行综合研究,发现PE护套环向开裂除与拉索的使用环境、HDPE材料、拉索构造、制索工艺、施工损伤有关外,与拉索的使用条件,主要是拉索工作时PE护套长期受拉应力的作用有直接关系。

HDPE材料在一定的拉应力状态下使用,其耐环境应力开裂性能下降,发生环境应力开裂(ESC)。这是因为,高分子材料在连续拉应力及环境因素的作用下,聚合物分子的结合能力下降,分子断裂所致。这也说明拉索与电缆护套的使用寿命存在很大差异的原因。天津永和大桥,其拉索PE护套在无张拉应力状态下使用20年也未开裂。

3.2 拉索下端进水

大量的现场调查表明,几乎所有拉索下端均有不同程度的进水。造成拉索下端进水的主要原因有:

(1) 拉索下端防水罩失效,水沿索体直接进入下端预埋管内。这是拉索下端进水最普遍和最常见的现象。旧式防水罩密封材料一般两三年就失效,大多数桥梁未能及时更换或处理,导致水进入下端预埋管内。北方的一些桥梁,曾因水进入下端预埋管,导致冬季发生结构冻裂事故。

(2) 拉索下端结构设计不合理,以致排水不畅,积水严重。有的拱桥设计,是拱桥梁端预埋管顶面低于梁端顶面,外界水长期浸入。如柳州文惠桥仅运营8年,下端锚头因积水形成的“钟乳石”,长达350 mm。

(3) 冷凝水的积累,造成预埋管内积水和湿度增加。冷凝水的形成主要缘于绝大部分拉索下端未作封闭处理。

3.3 拉索腐蚀

从上述可见,造成拉索腐蚀的主要原因有:

(1) 拉索下端进水及冷凝水积聚;

(2) HDPE护套开裂,索体防腐系统破坏,索体外露;

(3) 拉索防腐不当,很多工程中在施工时,对保护罩及拉索锚头等金属件未采取任何防腐措施,致使这些部件短时间发生锈蚀;

(4) 管养不到位,专业技术能力达不到有效管养要求,致使病害蔓延、加剧。

最终因拉索腐蚀,导致拉索功能下降,以至酿成破断事故。

4 试验研究

4.1 HDPE材料环境应力开裂性能试验

4.1.1 试验标准:《聚乙烯环境应力开裂试验方法-GB-T1842-1999》

4.1.2 试验条件:100℃ x 100%浓度TX-10试剂(壬基酚聚氧乙烯醚)

4.1.3 试验结果:如表2所示。

表2 HDPE材料环境应力开裂试验结果

检验项目	初裂时间(h)
100℃x标准试件应变	4168
100℃x标准试件应变的80%	4696
100℃x标准试件应变的70%	4936
100℃x标准试件应变的60%	4936
100℃x标准试件应变的50%	5272
100℃x标准试件应变的40%	6800小时仍无开裂

上述试验表明,HDPE材料试件环境应力开裂试验初裂时间与试件应变成负相关关系。试件应变愈大,初裂时间愈短。据此推断试件应变低于标准试件应变的20%时,HDPE材料试件不会发生开裂。样品常态下在较低工作应力下可长期使用。试验曲线如图6所示。

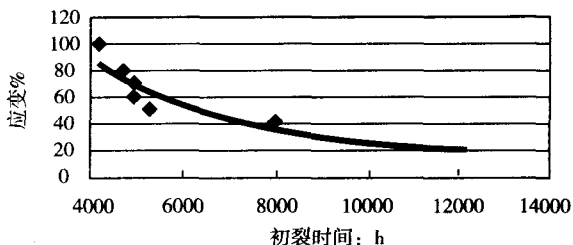


图6 HDPE材料应力开裂试验曲线

4.2 钢绞线腐蚀与性能试验研究

4.2.1 试验方法与目的:

钢绞线在不同应力状态下人工加速腐蚀,以研究钢绞线腐蚀程度与腐蚀后的性能变化。

4.2.2 腐蚀试验条件:

模拟某地区酸雨条件,以25倍浓度 $\text{PH} = 2.0$ 稀硫酸溶液,分零应力、40% f_{ptk} 和70% f_{ptk} 三种工况,对七丝 $\phi 15.2\text{mm}$ 1860MPa级高强低松弛钢绞线(GB/T5224-2003),进行加速腐蚀试验。

4.2.3 试验结果:如表3所示。

表3 钢绞线腐蚀与性能试验结果

试验项目	技术指标	试验结果		
		零应力工况试件	40% f_{ptk} 工况试件	70% f_{ptk} 工况试件
腐蚀程度	单位长度质量损失%	4.8	8.0	8.4
静载性能	$\eta_a \geq 95\%$,	$\eta_a = 96.8\%$,	$\eta_a = 91.3\%$,	$\eta_a = 90.1\%$,
	$\epsilon_{\text{apu}} \geq 2\%$ ^[2]	$\epsilon_{\text{apu}} = 4.4\%$	$\epsilon_{\text{apu}} = 1.7\%$	$\epsilon_{\text{apu}} = 1.6\%$
疲劳性能	29%~45% f_{ptk} 应力荷载经200万次循环不断丝 ^[3]	83.95万次循环断1丝	16.64万次循环断1丝	

上述试验结果表明:

1) 预应力筋的腐蚀与预应力筋的工作应力密切相关,工作应力越高,腐蚀速度越快;

2) 发生腐蚀的预应力筋其静载性能明显下降;

3) 发生腐蚀的预应力筋其抗疲劳性能严重退化。从腐蚀的钢绞线微观表面不难看出,预应力筋被腐蚀后,表面粗糙,蚀坑众多。腐蚀钢绞线的微观表面如图7所示。



图7 腐蚀钢绞线微观表面图

5 值得关注的几个问题

结构安全性和耐久性与工程设计、施工、用材、管养等质量密不可分。从设计(规划)、用材、施工到运营管养四个环节都影响结构的安全与耐久。从目前工程事故与病害发生的情况来看,施工与管养的矛盾较为突出。有关资料表明,桥梁破坏的原因,有一半系施工与管养引起^[4]。因此,有必要全面提高四个环节的系统质量,重点关注下述几项工作。

5.1 要严格把好施工关,重视专业施工资质制度

的建立与实施。并且,严格监理制度的执行,确保工程施工质量。

5.2 建立健全有效的管养机制。长期以来重新建、轻管养的矛盾仍未得到根本的改变,许多工程未能得到及时、有效管养,致使结构病害任其漫延,结构安全岌岌可危。因此应尽快建立健全有效的管养机制,并对结构安全与寿命实行终身问责制。

5.3 工程全寿命周期费用为建设、运营管理、养护费用之总和。目前存在建设期对工程结构的耐久性重视不够,运营期养护费用投入不足,造成大修周期和工程寿命缩短,全寿命费用增高。为此需要切实加强结构全寿命周期的成本管理和必要的投入。

5.4 鉴于目前粗放型、不科学、不专业的管养模式,无法及时有效阻断结构病害的产生、漫延与发展。因此,培养专业管养人才,建立专业管养队伍或者委托社会专业技术队伍进行专业化管养,这是解决结构安全与耐久性问题的行之有效的科学方法。

5.5 要切实做好桥梁拉索的防腐防护,防止高强预应力材料应力腐蚀,有效保持拉索的静载性能和抗疲劳性能。同时,针对防护用高分子材料受较大拉应力作用时,其环境应力开裂时间大大缩短的特

(下转第38页)

供,从而减小了全断面的剪应力及主拉应力,这种体内、体外混合配束方式能够替代竖向预应力筋的作用。

对于承受正应力 σ_x 、 σ_y 和剪应力 τ 的构件,主拉应力计算方法为:

$$\sigma_{\pm} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau^2} \quad (1)$$

从上式可以看出,减小主拉应力,要么增大 σ_x 或 σ_y ,要么减小 τ 。增大 σ_y 即采用竖向预应力,但有时竖向预应力的施工质量难以保证,使其打了较大的折扣。同时更为重要的是: σ_y 只对减小腹板的主拉应力有用,而对减小箱梁顶底板的主拉应力没有作用。

增大 σ_x 即是目前国内有些专家提出的“零弯矩”法的理论实质,这种方法也是对于箱梁开裂下挠问题最主要的“状态”判别法之一。它强调不依靠竖向预应力,而是依靠大量增加纵向预应力 σ_x 提供来减小主拉应力。从计算分析角度来说,“零弯矩”法的优点是该方法减小的主拉应力是箱梁全断面的,而不仅仅是腹板的,对预防箱梁底板的剪切开裂是有利的。同时,纵向预应力的施工是可靠的,其效应基本是有保证的。但是, σ_x 和 τ 相比,对减小主拉应力的贡献“迟钝”许多。为了容纳更大的纵向预应力钢束提供更多的 σ_x ,就需要更多的非结构受力需要的构造尺寸,所以“零弯矩”法会走入不断消耗材料的恶性循环,导致只能寻求更大直径的钢束。

采用体内体外混合配束方法,是通过减小剪应力 τ 来减小主拉应力,方法是寻找桥梁全长范围内最优的预剪力分布,从而通过减少自重剪

力、提高预应力钢束预剪力的方法将桥梁全长范围内的剪应力降下来。如前所述,主拉应力对于剪应力 τ 非常敏感,采用这种新方法不会增加截面尺寸,也不用增加耗费预应力材料,重点在于配束方式的优化,是更为合理的箱梁结构配束方法,并具有更为可靠的抗裂性。

5 结束语

项海帆院士指出^[1]:中国人口众多,桥面宽度比欧美各国要大,有必要率先发展基于空间应力水平的精细化桥梁设计方法,以避免由于安全度不足造成的早期破坏和蜕化所带来的损失,或者因过于保守造成的浪费。

本文通过对混凝土桥梁几个基本计算及设计问题的再认识,解析桥梁结构的空间受力特征以及与配筋的关系,也指出了目前配筋方法的缺失和缺陷(这些缺失或缺陷可能就是一些“疑难杂症”的根源),希望对桥梁结构的空间受力特征以及配筋方法的本质有较完整和深入的揭示,以为我国桥梁结构的设计更精细、更完善,促进桥梁结构的工程安全与耐久提供有益建议。

参考文献

- [1] 项海帆,潘洪萱,张圣城,范立础.中国桥梁史纲[M].上海:同济大学出版社,2009.9
- [2] 徐栋.桥梁体外预应力设计技术[M].北京:人民交通出版社,2008.10
- [3] 徐栋.混凝土桥梁设计中的几个关键问题[J].桥梁,2009.8
- [4] 徐栋,刘超,赵瑜.混凝土桥梁结构分析与配筋设计的精细化.第十九届全国桥梁学术会议论文集[C].北京:人民交通出版社,2010.6

(上接第31页)

点,建议采取有效措施确保作为防护防腐用的高分子材料不参与结构的同步变形。

5.6 对特大桥建立结构健康安全监测与评估系统,以便连续、有效的对结构健康安全进行监测与评估,为工程运营和管养提供科学依据。

最后,向对本文提出宝贵意见的项海帆院士、王守海先生、罗志恭先生表示感谢。

参考文献

- [1] 龙跃等.OVMLZM拱桥吊杆体系[R].项目研究报告.2004.4
- [2] 中华人民共和国国家标准.GB/T 14370-2007 预应筋用锚具、夹具和连接器[S].中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.2007
- [3] Acceptance of stay cable systems using prestressing steels[J]. fib Bulletin No.30
- [4] 葛耀君,项海帆.桥梁工程可持续发展的理念与使命[C].第十九届全国桥梁学术会议论文集,2010.8,上海