

OVM250钢绞线拉索锚具水密性试验研究

闫云友 唐燕华 黄永玖 陈建国 齐琪

(柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545005)

摘要:本文主要介绍了OVM250拉索体系产品的水密性试验研究情况,通过对国际三大斜拉索规范PTI2007、fib2005和CIP2002对斜拉索体系产品水密性的试验要求的对比,结合钢绞线斜拉索的实际使用工况,综合考虑了fib2005和CIP2002两大规范对拉索产品水密性试验要求,各种试验参数取两大规范中的高要求,试验水压参数按fib2005要求的3m水压,试验装置按倾斜30度安装和试验周期6个星期按CIP2002规范。因国内外有资质的实验室没有相应的试验设备,OVM公司按确定的试验参数及CIP2002规范试验安装要求设计加工了试验装置并配套试验设备,在国家建筑工程质量监督检验中心及美国CTL实验室的双重见证下进行了水密性试验,并圆满成功,该水密性试验充分验证了OVM250钢绞线拉索锚具的密封可靠性。

关键词:水密性试验 钢绞线拉索 温度循环 偏转循环

1 前言

近年来,受一些大桥业主委托,欧维姆检测公司对一些斜拉桥的拉索进行了健康检测,发现很多大桥的斜拉索下端锚具存在积水现象,造成拉索钢绞线锈蚀,拉索存在安全隐患。

钢绞线斜拉索作为桥梁的主要受力构件,除了必须满足锚固性能、疲劳性能,在拉索体系应用之前,需要对拉索产品进行静载试验及疲劳试验之外,在桥梁运营过程中,拉索的防腐要求则是最为重要的性能。

斜拉索所处的特殊使用环境,在使用过程中,斜拉索梁端拉索锚具进水而导致拉索腐蚀破坏成为当今桥梁主要病害之一,为了有效提高拉索体系的防腐性能,优化拉索锚具的密封结构,保证拉索锚具的密封可靠性,是减少桥梁拉索病害的最有效途径。

钢绞线斜拉索在施工过程中,只要做好外护套与预埋管接合部位的防水处理,做到防止外部雨水等进入拉索内部并不难,但目前,要做到拉索外护套的气密性还不容易,因此外护套内外还存在一定的空气交换,因湿度及湿度变化,外护套内部会形成冷凝水,如果梁端预埋管排水不畅或拉索锚具的水密性能不过关,就很容易造成拉索锚具内部积水。

为了保证钢绞线斜拉索体系的防水性能,国际斜拉索规范均提出了拉索锚具组件水密性试验

要求,国内钢绞线斜拉索起步较晚,近年来,也参考国际规范,对拉索锚具组件提出水密性试验要求。

2 国际斜拉索规范对拉索体系水密性试验要求比较

国际斜拉索规范PTI2007、fib2005和CIP2002均对拉索产品提出了水密性试验要求,以上三个规范对拉索试件的水密性试验要求存在较大的差别,具体对照如表1。

从国际三大斜拉索规范对斜拉索产品水密性试验要求对比可以看出,美国规范PTI2007虽然要求拉索试件在疲劳试验后再进行水密性试验,但属于静态水密性试验,试验过程中,对试件不施加应力,试验对拉索试件的规格没有明确规定,试验周期短。而fib2005和CIP2002两种规范都要求对拉索试件进行动态水密性试验,对拉索的规格有明确要求,即拉索的破断力应大于7000kN(按强度级别1860MPa,直径15.2钢绞线换算,拉索规格应不小于27孔),试验周期也很长,在试验过程中,还要对水进行多个周期的加热冷却循环,在整个试验周期内,分别在室温和高温状态下进行拉索偏摆循环,但两规范对水密性试验装置的安装方法及试验过程和技术要求也存在差别,按其中一个规范对拉索产品进行试验,不能覆盖另一规范的试验要求。

表1 国际斜拉索规范对拉索试件水密性试验要求对照表

	PTI2007	fib2005	CIP2002
拉索试件		包括锚具组件、过渡段及最少1m的自由长度。	
拉索试件规格	无规定	拉索试件的极限荷载应大于7000kN, 拉索规格应不小于27孔	
试验要求	1 拉索试件先按规范要求完成疲劳试验, 试验合格的拉索试件进行水密性试验; 2 试件置于不小于3m水头的染色溶液中浸泡96小时。	1 试件置于不少于3m水头的染色溶液中; 2 在常温下对拉索试件在0.2fptk至0.45fptk间循环加载10次, 然后将轴向荷载稳定在0.3fptk; 3 拉索试件轴向应力保持在0.3fptk的条件下, 水温从20℃~60℃之间循环8个周期; 4 试验过程中, 选定低温和高温各两次, 保持温度不变, 对拉索试件进行横向偏转运动(偏转角度 $\pm 1.4^\circ$, 位移约 $\pm 75\text{mm}$)。	1 在常温下安装拉索试件, 0.2fptk至0.5fptk间循环加载10次, 然后将轴向荷载稳定在0.3fptk; 2 向试验装置注入2m水头的染色水; 3 拉索试件在室温静置一个星期; 4 水温从20℃~70℃之间循环8个周期, 约3.5天一个周期; 5 在温度循环过程中, 分别选定低温和高温各两次, 保持温度不变, 对拉索试件进行横向偏转运动(偏转角度 $\pm 1.4^\circ$, 位移约 $\pm 100\text{mm}$)。 6 拉索试件在室温静置一个星期。
安装方式	无规定	竖直安装	倾斜30° 安装
试验时间	96小时	8个周期, 约8天	约6个星期
偏转运动频率	无	不超过1Hz	约0.1Hz

3 国内规范对拉索水密性要求

我国钢绞线斜拉桥起步较晚, 但随着国内斜拉索技术的不断发展, 因钢绞线斜拉索体系在产品运输、拉索安装、拉索整体防腐等方面的优势, 越来越得到设计者推崇。为了适应设计需求, 我国交通运输部于2009年发布了交通行业标准JT/T771-2009《无粘结钢绞线斜拉索技术条件》, 该标准参照国际规范fib2005对拉索锚具组件提出了水密性试验要求。

4 OVM250钢绞线拉索锚具水密性试验研究

为了验证OVM250钢绞线拉索体系密封系统的可靠性, OVM公司综合考虑fib2005和CIP2002两大规范对拉索产品水密性试验技术要求, 各种技术要求取两大规范中的高要求, 也就是试验水压参数按fib2005要求, 试验装置安装和试验周期按CIP2002规范, 因国内外有资质的实验室没有相应的试验设备, OVM公司按两规范的最高要求设计加工了试验装置, 并配套试验设备, 在中国建筑科学研究院及美国CTL实验室的双重见证下进行了水密性试验。

4.1 试件规格

试件选用OVM250-37钢绞线拉索锚具, 钢绞线采用标准抗拉强度为1860MPa, 直径为15.7mm的PE防护镀锌钢绞线, 拉索试件的标准破断力为10323kN, 高于fib2005和CIP2002规范要求。

4.2 试验装置

根据CIP2002规范要求, 拉索试件与水平面成30度倾角安装, 并且按照fib2005规格要求, 试验装置中水面距离试件关键密封处的垂直高度不小于3m(水压0.3bar)。试验装置如图1所示。

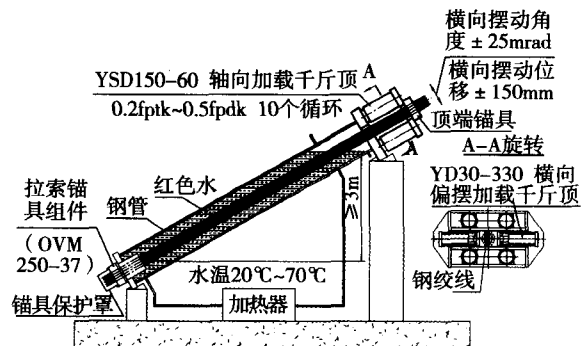


图1 钢绞线—拉索锚具组件水密性试验装置安装示意图

4.3 试验步骤

1) 拉索在试验装置上安装好后, 在室温条件下, 对试件轴向加载, 在下限应力 $0.2F_{guts}$ (2064.6kN) 到上限应力 $0.5F_{guts}$ (5161.5kN) 之间循环10次, 然后在 $0.3F_{guts}$ (3096.9kN) 持荷直至整个试验完成。

2) 在试验装置的钢管内注水, 至水平高度大于3m(水压0.3bar), 加入红色染料。

3) 注水后, 试验装置在室温条件下静置一周。

4) 以约3.5天为一个循环周期, 加热水温到 $70^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$, 保温约24小时, 然后利用空调制冷对试验环境降温, 冷却到室温 ($20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$), 如此反复循环(每个星期循环2次)。温度-时间关

系如下:

- a 用12小时左右时间, 将水温从室温加热至 $70^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$;
- b 保持 $70^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 24小时;
- c 用12小时左右时间, 将水温从 $70^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 降至室温 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$;
- d 保持 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 24小时。

5) 进行第4步的同时, 用横向千斤顶对上端锚具进行250个循环周期的角度偏移运动(时间

约4小时), 移动幅度 $\pm 150\text{mm}$ (相当于拉索产生 $\pm 25\text{mrad}$ 转角), 偏移运动在下列时段进行:

- a 第2个星期, 当温度稳定在 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 时;
- b 第3个星期, 当温度稳定在 $70^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 时;
- c 第4个星期, 当温度稳定在 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 时;
- d 第5个星期, 当温度稳定在 $70^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 时。

6) 完成第5步后, 拉索在室温 ($20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$) 下静置一个星期。整个试验程序完成, 试验程序如图2。

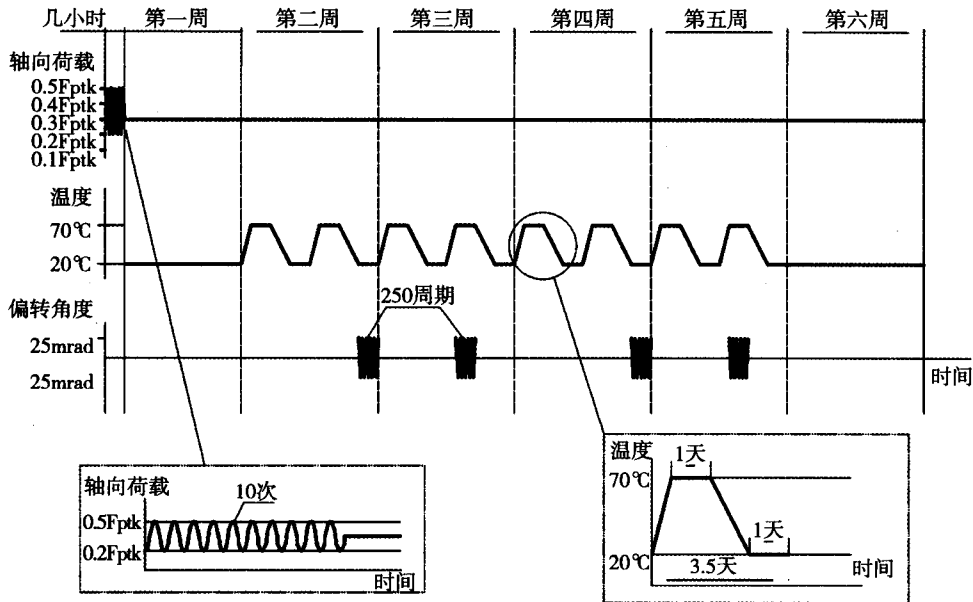


图2 水密性试验程序示意图

4.4 数据采集系统

在OVM250-37钢绞线拉索水密性试验过程中, 荷载、偏转位移和水温循环温度均通过专门的数据采集系统进行试验数据不间断采集, 并自动存储在计算机中, 各项过程的实施系统与数据采集系统如下:

荷载循环过程中采用四台YSD150-60千斤顶对拉索进行整体轴向张拉, LFCGQ-650测力传感器对张拉力进行数据采集。

角度偏转循环过程中采用两台横向YD30-330型千斤顶对拉索试件进行横向偏转加载, 位移传感器进行位移数据采集。

水加热循环过程中采用循环加热系统对钢管内的水进行加热, 降温过程采用空调制冷的形式, WAPB标准铂电阻温度计进行温度数据采集。

4.5 试验数据

试验结束后, 对储存在电脑里的数据进行分析整理, 绘制成曲线, 如图3、图4和图5。

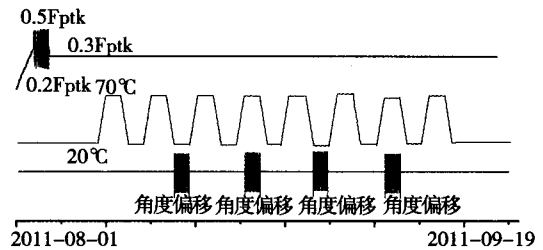


图3 试验数据曲线汇总

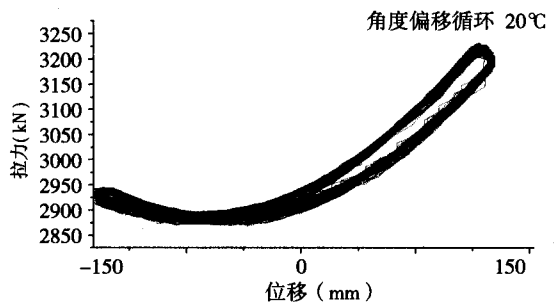


图4 角度偏移运动循环数据曲线(20°C)(两次)

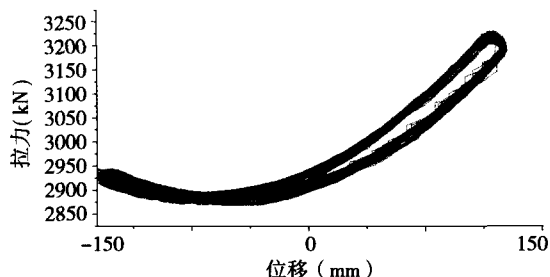


图5 角度偏移运动循环数据曲线(70℃)(两次)

4.6 试验结果

将钢管内的水排出, 放松千斤顶, 卸除钢绞线所受拉力。将整束拉索从钢管中吊出, 风干或擦干试件锚具及钢绞线表面的水后, 打开锚具, 检查是否有水进入锚具内部及密封段的钢绞线。

OVM250-37拉索锚具组件严格按CIP2002规范要求进行荷载循环、加热循环和角度偏移运动

(上接第8页)

(5) 破坏荷载要求

从表1可见, 早在1973年英标已经定下框框, F_u 必须大于或等于 $1.1 F_{pk}$ 。FIP1993要求同时满足两式, 似觉无此必要。特别是引入了 $f_{ck,o}$, 锚具生产厂难以确定此值。美国两份标准都规定单调加荷时, 必须满足 $F_u > 1.2 F_{pk}$, 这个要求太高, 实际试验时难以通过, 必要性值得商榷。欧洲两份标准的要求相同, 也比较合理。在 $F_u \geq 1.1 F_{pk} \frac{f_{cm,e}}{f_{cm,o}}$ 式中, $f_{cm,e}/f_{cm,o}$ 是在试验时试件混凝土实际强度变化的修正系数。

中外设计规范都规定高强钢丝及钢绞线的张拉控制应力不超过 $0.75 f_{pk}$, 施工规范又规定在任何情况下张拉控制应力不得超过 $0.80 f_{pk}$ 。张拉控制应力在施工时只是短暂的应力峰值, 放张锚固后预应力筋中的应力就会降至 $0.70 f_{pk}$ 左右, 在使用阶段, 应力将进一步降低。

荷载传递试验中规定的高荷为 $0.8 f_{pk}$, 是和张拉控制应力对应的。对 F_u 的要求, 美标规定单调加荷时 $F_u > 1.2 F_{pk}$, 和 $0.8 f_{pk}$ 的张拉控制应力相比有1.5倍的安全系数。美、欧及FIP规定循环加荷时 $F_u \geq 1.1 F_{pk}$, 和实际张拉控制应力 $0.75 f_{pk}$ 相比, 安全系数是1.47, 二者相差无几。

(6) 试验数量

锚具应用方如向认证部门申请试验, 当然是

循环的水密性试验后, 拆除钢绞线后, 拆开锚具, 没有水进入锚具和钢绞线内部, 试件各零件无破损, 密封装置无异常, 试验完全满足规范要求。

5 结束语

OVM250-37拉索锚具组件水密性试验成功, 充分证明了OVM250拉索锚具的密封可靠性, 标志着OVM250拉索体系锚具的水密性能完全满足国际规范要求。拉索体系防腐性能提高, 对延长斜拉桥拉索的使用寿命具有积极意义。

参考文献

- [1] Recommendations for Stay Cable Design, testing and installation. Post-tensioning institute (PTI), fifth edition, 2007.
- [2] fib bulletin 30, Acceptance of stay cable systems using prestressing steels. International Federation for Structural Concrete, 2005.
- [3] Cable Stays - Recommendations of French interministerial commission on Prestressing. SETRA, France, June 2002.
- [4] JT/T771-2009. 无粘结钢绞线斜拉索技术条件[S]. 中华人民共和国交通运输部.

用什么试什么, 或选有代表性的规格送检, 多份标准都规定同一规格试验三件。美国标准还规定如一件不合格可复试, 仍为三件, 都应合格。

锚具生产或研制方对较长的系列产品, 可选若干有代表性的规格进行试验。FIP要求两个规格各试三件。美国PTI要求每个都试验, AASHTO标准要求全试或选有代表性规格各试三件, 但选多少规格没有确定。而欧洲标准ETAG 013对系列产品只要求小规格、中规格各试一件, 但最大规格应试两件。试验数量对判定一个系列产品非常重要。全系列每个规格全试, 工作量很大; 最大规格如果是37根 $\phi 15.2$ 钢绞线锚具, F_u 可能达到11000kN, 试验机的最大压力大约为15000kN, 设备投资及试验费用较大。

参考文献

- [1] BS 4447-1973 Specification for the performance of prestressing anchorages for post-tensioned construction October 1973
- [2] FIP Recommendations for acceptance and application of post-tensioning systems March 1981
- [3] FIP Recommendations for the acceptance of post-tensioning systems June 1993
- [4] PTI Guide Specification: Acceptance Standards for Post-Tensioning Systems Post-Tensioning Institute. U.S.A. Sept. 1998
- [5] AASHTO LRFD CONS-3-2010 LRFD Bridge Construction Specifications - 3rd Edition
- [6] BS EN 13391:2004 Mechanical tests for post-tensioning systems
- [7] ETAG 013-2002 Guideline for European Technical Approval of Post-tensioning Kits for Prestressing of Structures