

黄河万家寨水利枢纽工程人行索桥主索锚碇系统加固技术

韦福堂¹ 高超文² 杨广胜¹

(1 柳州欧维姆工程有限公司 柳州 545005 2 柳州易舟汽车空调有限公司 柳州 545006)

摘要:黄河万家寨水利枢纽工程人行索桥原为一临时建筑物,经过十多年的应用,现欲使之成为永久结构,需要对主桥上部结构按照永久结构体系进行加固。索桥主索锚碇系统是整个索桥的生命线,它的耐久性和可靠性是整个索桥可持续使用的关键。由于索桥主缆采用50年代进口钢丝绳系统,而且是施工周转材料,同时索桥原锚固系统采用楔紧加绳夹的结构形式,为保证新的加固体系与原体系共同起作用,对新的锚固系统提出了非常大的难题。经过不同试验研究,最终采用“三片式夹持,环氧砂浆握裹,支承箱传力”的组合锚固新系统。该系统采用特殊的张拉工艺和顶压工艺,能够使用新夹持系统与原系统共同受力,而且具有良好的握裹和防护的作用,在同类型结构体系中具有很好的借鉴和参考作用。

关键词:主索 锚碇系统 加固 顶压

1 工程概况

黄河万家寨水利枢纽工程大坝上游人行索桥原为枢纽工程施工临时建筑物。该桥原修建的主要目的是为解决主体枢纽工程施工期间上游两岸承包商营地来往人行交通需要。人行索桥单跨500m,桥面长度476m,桥面净宽1.2m。索桥主索采用德国生产封闭式缆机钢缆索,每道主索由两根封闭式钢丝绳组成,其中三根直径为 $\phi 52\text{mm}$,另一根为 $\phi 56.5\text{mm}$ 。据了解该钢缆索为1957年从原东德进口,其中两根先后在新安江、刘家峡水电工地使用,另两根在陕西安康水电工地退役,对钢索外观观察,钢索局部存在锈蚀、断丝、磨损现象。因钢索长度不能满足直接地面锚碇设计的要求,经与提供方协商,决定由提供方承担钢索锚碇方式及锚具,将钢索锚碇设在塔架顶部。主缆钢索锚碇采用缆机锚具^[1]方式,即锥套加绳夹的结合方式,一个锥套加7个绳夹。为安全计确定在提供的钢索破断拉力的基础上,按80%进行折减作为设计破断拉力采用值。

索桥工程于1992年6月开工建设,1994年10月竣工并投入使用。黄河万家寨水利枢纽工程于2000年竣工。万家寨水利枢纽管理局从多方面考虑,向索桥设计单位提出设计委托,要求设计单位进行索桥的加固设计,将其延期使用。2006年底黄河万家寨水利枢纽管理局再次要求对索桥主索锚碇加固进行实施,并要求该索桥主索尽量不

采用缆机的锚碇装置,以确保索桥锚碇装置万无一失,使其人行索桥成为永久建筑物,便于今后运行、维护和维修、管理。

2 锚碇系统加固的必要性

钢索单根破断拉力为2330kN。4根主索设计破断拉力为7456kN,相对应主索安全系数为3.222,均不能满足桥规要求“悬索桥钢索的允许拉力采用钢索破断拉力的30%”。比永久性结构安全系数小3.4%,但其不等同于公路桥梁,无汽车冲击荷载产生,而且限制人行流量,限制人行满步发生的可能性;另一方面更换桥面系结构,降低桥面恒载和降低风载对主桥的影响,通过上述多方面的改造加固措施,使主桥整体自重现有的钢缆材料下满足悬索桥设计规范要求。

悬索桥锚碇系统是整个悬索桥主体结构的关键,在缆索结构中显得更为重要,据索桥建设初期,主索抗拉试验中抗拉拉力达到1630kN时,缆机锥型锚发生滑移,说明该类型锚具只能满足1630kN的锚固,达不到2340kN的钢索破断要求;当时施工单位又对绳卡夹持钢丝绳作抗拉试验,单个绳卡锚固力为100kN,作为临时结构,采用1个锥套和7个绳夹组合作为整个主索的锚固系统,合计:1630kN+7×100kN=2330kN。或许这种锚固体系作为临时结构已经满足要求,但是作为永久结构有它的不确定性:一方面试验时锥型锚通过抗拉主动跟进楔紧,实际应用时属于低应力范

围, 所以其夹持力是否达到1630kN是不明确的; 另一方面单个索夹可以夹持100kN, 是否等同于累加效果也存在不确定性。甚者, 该锚具系统已经使用了十多年, 在当时的防护条件下, 到现在更增加它的不确定性。所以为了延长该桥的使用寿命, 主索的锚碇系统加固措施显得更为重要和迫切。

3 主索锚固加固系统的研制

主索锚固加固系统在索桥加固、维修、改造工程中是难度较大及技术含量较高的关键部位。为尽量保证索体结构的原始状态, 采取以下几个原则:

(1) 保证主索上各点不应有相对位移, 并保证索桥维持原受力状态。控制好原索具与新增主索锚具之间的间隙, 理想状态为新增主索锚具张拉形成间隙, 等于在没张拉之前原索具与新增主索锚具之间预留的间隙。

(2) 不考虑原锚固装置的前提下, 新式锚具抗滑安全系数为主索设计破断拉力值的80%。

(3) 要求原锚固系统保持原状, 但是可以拆除部分绳夹, 但必须保留2个或2个以上绳夹, 而且新增加的锚具必须与原保留锚固系统有良好的安装配合度, 组成新的、更为良好的锚固系统。

(4) 新的锚固系统必须安装方便, 成为一个明确的受力体系, 而且具有良好的防护系统。

3.1 锚具抗拉试验

钢丝绳永久锚夹具没有成型产品, 可以借用其它索类的成功锚夹具, 但是必须进行相关试验。现采取OVM52-1和OVM56-2两种锚夹具系统。

主索锚固力是按照1864kN进行设计, 锚具设计安全系数应按照有关强制性设计规范执行。但由于市场上找到 $\phi 52\text{mm}$ 和 $\phi 56\text{mm}$ 两种规格的材料作拉拔试验有一定难度, 试验采用OVM50-1和同材质同类型的钢丝绳来检验夹片式锚具是否满足1864kN的设计要求。试验数据见表1:

表1 锚具抗拉试验结果

序号	加载分级	第一组荷载(kN)	第二组荷载(kN)	第三组荷载(kN)
1	$0.05f_{pk}$	123	123	123
2	$0.2f_{pk}$	492	492	492
3	$0.4f_{pk}$	984	984	984
4	$0.6f_{pk}$	1477	1477	1477
5	破断	1887	1882	1848
6	外观	断丝、夹片完好	断丝、夹片完好	断丝、夹片完好

从三组试验看, 张拉力平均为1872.3kN, 说明夹片式钢丝绳锚具满足1864kN的设计夹持要求。

3.2 主索加固锚具的结构设计

夹片式钢丝绳锚夹具外型尺寸为 $\phi 154 \times 180$, 夹片长度为180, 夹片为三片式, 与常规的两片式有弹性槽相区别, 锥度为 6° , 根据钢丝绳强度等级确定牙型和表面硬度处理。由于主缆属于低应力夹持工况, 所以锚具设备有自动压紧措施, 预防夹片松脱。另外夹片锚具在实际使用时不可能象试验一样的张拉达到它的锚固工况, 即夹片在主索受力的前提下主动跟进契紧, 但是该锚夹具设计有顶压措施, 使夹片在外力的作用下被动跟进契紧, 达到必要的夹紧效果。

3.3 主索锚固系统设计

锚固系统重点在于主索索力良好地传递到索塔结构上。夹片式锚夹具已经通过试验验证了其有效性, 但是在不拆除原缆机锚具的前提下安装新的锚具有一定难度。用新锚具直接安装在旧的锚具上, 很难确定其分担了旧锚具的载荷数值。为了使主索锚固段应力分配更为合理, 提高抗冲击能力, 在原锚固体系的基础上增加一支承箱, 支承箱避开原缆机锚具与之共同支撑在承压板上, 新的锚具则安装在支承箱外侧, 分担的主索索力通过支承箱以承压的形式传递到主塔承压板上, 新旧锚具共同分担主索索力, 但又各自独立地把索力传递到索塔承压板, 该结构体系受力更为明确和更为合理。为了避免主索动载对缆索机锚具和夹片式锚具产生冲击, 提高系统的抗疲劳性, 在两套锚具之间的支承锚箱内灌注环氧沙浆体, 要求浆体立方抗压强度在50MPa以上, 浆体对钢丝绳、绳夹既有防护作用又有握裹作用, 主索索力可以通过握裹摩擦力的形式传递到支承箱, 由支承箱传递到主塔承压板, 提高了主索锚固的安全性和可靠性。主索锚固系统见图1。

4 主索锚固系统加固施工

4.1 安装锚具

主索锚固系统要求夹持可靠、握裹可靠, 所以系统部位钢丝绳表面状况对上述安装条件有一定影响, 尤其是钢丝绳经历了50多年的历史, 而且为多次周转使用的材料, 况且在万家寨作为临时结构也已经使用10多年, 表面浮尘、浮锈、麻点等比较突出。加固系统安装前, 对工作段内钢

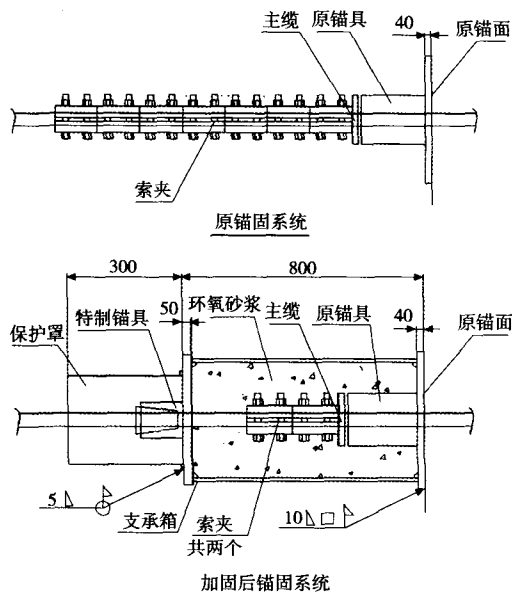


图1 主索锚固系统

钢丝绳预前处理尤为重要。用除锈剂轻刷钢丝绳表面和用丙酮清洗钢丝绳表面，用钢丝刷擦洗，清除表面杂质，使表面显现原有金属光洁度。根据新锚固系统的设计需要，拆除5个绳夹，安装支承箱、夹片式锚具。

4.2 主索张拉及顶压

主索加固设计思路是给主索增加一个安全储备，并非改变主索原缆机锚固体系，原则上不允许造成体系位移、应力状态的改变，张拉主索难度较大，难于控制，控制不好，有可能破坏目前的主桥体系的平衡状态，风险较大。应该这样认为，锚固体系加固后，新锚具系统与原锚具系统共同参与工作，而不是在原锚具实效时才起作用。控制上按照新锚具系统分担主索控制应力的20%，也就是张拉主索到10t；然后按照主索实际

控制应力40t进行顶压，夹片产生夹持应力等同于主索实际控制应力。主索张拉及顶压工艺见图2。

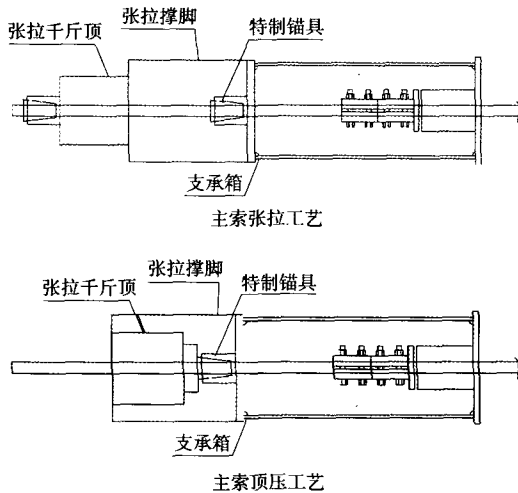


图2 主索张拉及顶压工艺

5 结语

万家寨水利枢纽工程人行悬索桥加固工程从2000年就已经进入了实施阶段，但是主索缆索机锚固系统的加固一直以来都是在研究阶段，很多方案都未能实现，直到2007年采用OVM锚夹具系统，从设计、计算、试验都得到了充分的验证，并通过多次试验，优化了锚固系统的工艺和方案，使之更合理，更安全，更经济，易于实施。2008年该锚固系统成功地实施于万家寨水利枢纽工程，证明该体系的可靠性和安全性，为今后同类型的项目提供了成功的经验。

参考文献

- [1] 路桥集团第一公路工程局. 公路桥涵施工技术规范[S]. 人民交通出版社, 2000年11月1日
- [2] 王彩燕, 许志坚等. 万家寨水利枢纽黄河人行索桥加固的处理方法[J]. 水利水电工程设计, 2005, 24(2)

通知

关于第三届欧维姆预应力技术奖 申报截止日期延期的通知

经北京詹天佑土木工程科学技术发展基金会欧维姆预应力技术发展专项基金管理委员会研究决定，第三届欧维姆预应力技术奖申报截止日期延期至2010年2月底，请有关单位抓紧时间申报。具体申报方法见中国土木工程学会网站（www.cces.net.cn）或柳州欧维姆机械股份有限公司网站（www.ovmchina.com）。

北京詹天佑土木工程科学技术发展基金会
欧维姆预应力技术发展专项基金管理委员会
2009年12月18日