

系杆拱桥吊杆、系杆设计寿命及相关问题

钟启宾

【摘要】吸取以往工程的经验教训，依据当前科技水平和生产能力，提出对系杆拱桥系杆、吊杆结构类型的设计、选型原则和防腐的建议。

【关键词】系杆拱桥 系杆 吊杆 选型原则 可更换 防腐

1. 前言

系杆拱桥在我国开始兴建，是1960年兰（州）新（疆）铁路昌吉河桥（主跨56m），之后兰州新城黄河公路桥等相继建成。目前，我国的羊髻沙桥是世界最大的中承式钢管混凝土系杆拱桥（76+360+76m），系杆拱桥的系杆、吊杆是平衡拱肋水平推力和把桥面系的恒载与活载传递到拱肋的关键受力构件，它的使用寿命关系到拱桥的整体寿命和安全。

1.1 以往的教训

由于科学技术和工业水平发展的进程制约着人们对金属材料腐蚀机理（氢脆、应力腐蚀、腐蚀疲劳等）的认识、防腐意识的深化和防腐措施的有效增强，直至今日这些认识和措施还在不断深化、完善和发展。许多材料、工艺技术和方法还有待环境和时间的考验。

多少年来，腐蚀造成桥梁损坏和事故的教训是极其深刻和惨痛的！

1.1.1 国外

美国帕斯克·肯涅威科桥仅通车7年即被迫换索；纽约威廉斯堡桥从1903年建成后，在1921、1924、1963年都对488m主缆和锚缆进行过全面修补，到1992年还进行长达两年的更加彻底的防腐维护；

钟启宾：铁道部第十八工程局教授级高工

德国汉堡科尔布兰特斜拉桥仅通车几年即因斜缆严重腐蚀而全部更换，其费用相当于建桥总价的一半！

韩国汉城大桥（钢梁）1995年因严重锈蚀而突然倒塌；

1.1.2 中国

广州海印大桥通车几年后斜拉索断裂导致全部换索；

济南黄河公路斜拉桥1982年建成，13年后索的断面锈蚀达20%，用62天更换旧索272根，安装新索248根；

虎门大桥刚刚建成即发现索有锈蚀；

红水河铁路斜拉桥在使用20年后，因锈蚀严重不得不全部换索；

金沙江南门桥在建成11年后就发生局部突然断裂跨塌事故。（图1）



图1

1.2 国外缆索防腐的经验

美国纽约市威廉斯堡桥采用生亚麻子油、红色铅质涂料加氯丁橡胶外包裹使主缆安全系数达到3.5。

加拿大安拿西斯桥采用石蜡填充钢绞线，外加PE管

原西德曼海姆斜拉桥采用锌铬酸聚安脂混合液涂料加UV塑料管防护缆索。

日本采用热挤PE防护。

英国利文河斜拉桥，索为28-55根平行 $7\phi 5$ 钢绞线，防腐措施为：

钢绞线涂油，外加厚度为1mm的HDPE（High Density Polyethylene）高密度聚乙烯管；编束后外加厚壁HDPE；管内压注聚安脂填充钢绞线间的空隙。

澳大利亚悉尼格莱贝岛桥（140+345+140m），奥斯特雷斯-弗莱西奈公司对招标文件中规定的在PE管内灌注水泥浆这一经典的防腐措施提出了一种全面高效的防腐系统，并为业主采纳：弗莱西奈索的主要优点是耐疲劳强度高，锚固系统可在以后调整，可事后安装张拉单根钢绞线： $\phi 15.7$ 钢绞线镀锌、填蜡；单根钢绞线外包1.5mm厚的PE套管即无粘结筋；穿入HDPE管成束。

2. 系杆、吊杆的设计寿命及其对桥梁整体寿命的影响

从上述有限资料可见，在建和新建的系杆拱桥建设者，必须以对所建桥梁终生负责的精神，无论新的设计、施工规范何时制定和实施，都要比以往更加慎重地对待系杆、吊杆的结构类型及防腐措施的设计和选择。

桥梁结构的整体寿命仅可估算，桥梁各个部件下可能同时都达到设计期限，由于系杆、吊杆受设计水平、材料、制造技术、产品装运、安装质量、活载控制、桥址环境、养护监控等诸多因

素制约，设计者不能给出准确的系杆、吊杆设计寿命。而且，系杆、吊杆在承载条件、断面刚度、疲劳极限、抗腐蚀能力等各方面都远远不如拱肋、横梁和墩台基础。至于生产厂家，要求其具有相当资质并对产品作相应的机械性能、抗疲劳、抗老化等试验固然重要，但指望厂家作出产品使用寿命的法律保证显然是不现实的。

可是，系杆、吊杆一旦出现破坏征兆，大桥的继续使用将被迫中止，局部或全部更换系杆、吊杆的问题将立即提到议事日程。

系杆拱桥的系杆、吊杆体系就可更换性、耐久与防腐而言，应该与悬索桥和斜拉桥的拉索体系处于同样重要的地位。建设单位在选择系杆、吊杆类型和规格的原则问题上应起主导作用，甚至在招标文件中将此问题列为竞标的重要项目。

2.1 系杆、吊杆的设计现状和产品水平

目前，已经建成和即将建造的系杆拱桥，几乎都把系杆、吊杆设计为永久结构的一部分，即不可更换。柔性系杆拱桥设计中，大多采用平行钢绞线束外裹PE护套、拱脚部分剥离PE、普通群锚张锚、拱脚管道压浆的预应力系杆体系。吊杆则是平行镀锌钢丝束外裹PE护套，而与拱肋和横梁相关的部分则压浆固结。例如天津彩虹桥、北京潮白河桥、广西梧州鸳江桥；嵊州曹娥江主桥和钱江四桥主桥的系杆是全部压浆固结于系梁和拱脚预埋管的普通钢绞线束群锚预应力体系，其吊杆设计形式与其他已建拱桥类似，这是无法更换系杆、吊杆的永久结构形式。虽然永久系杆是通过压浆把钢绞线束同拱脚或边拱混凝土黏结成整体的，但是，由于混凝土开裂，水从裂缝浸入而造成钢绞线束遭到腐蚀，甚至破断。已有铁路运营线上的预应力混凝土简支梁因此而换梁；也有的系杆拱桥刚性系梁因钢绞线束锈断而不得不进行体外预应力加固。

钱江四桥在扩初设计中，采用了可更换式双

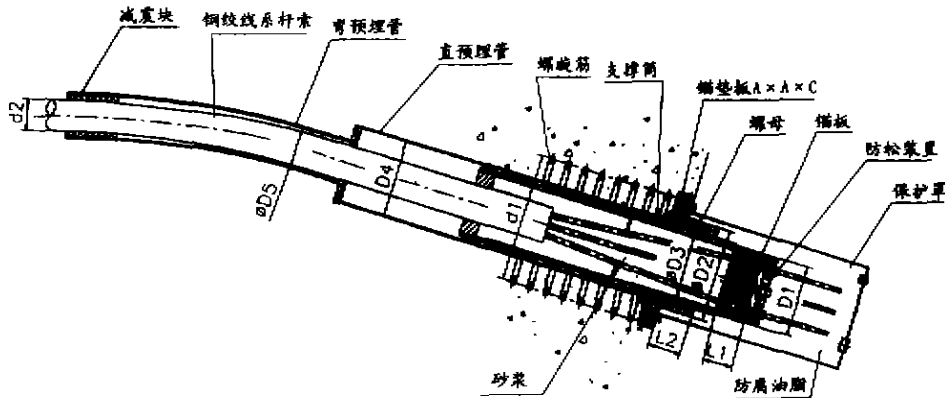


图2 系杆端部构造

吊杆体系，这是系杆拱桥设计可喜的进步。

柳州市建筑机械总厂生产的可更换式系杆如图2。

这种系杆的钢绞线束是没有经过防腐处理的普通编束外包PE，即使是单根无粘结钢绞线编束外加PE护套，也远远不如OVM-C斜拉索的防腐处理程度。同时，由于整束钢绞线重量大，装运、安装都非常困难，对设计尺寸要求较高，例如多孔系杆拱桥墩上拱端间距必须有安装、张拉钢绞线束的操作空间。同样，为了使系杆钢绞线束是可更换的，这一操作空间必须长期保留。柳州厂生产的OVM-C型环氧全涂装拉索具有单根钢绞线穿入管道的优点，也便于换索拆装。

吊杆结构见图3、图4。

这种吊杆的上下端往往在封锚之后无法对其内部进行观察和养护，更无法进行更换；吊杆的外包PE护套在紫外线长期辐射下，容易破坏。金沙江南门桥为了更换吊杆，由于吊杆与拱

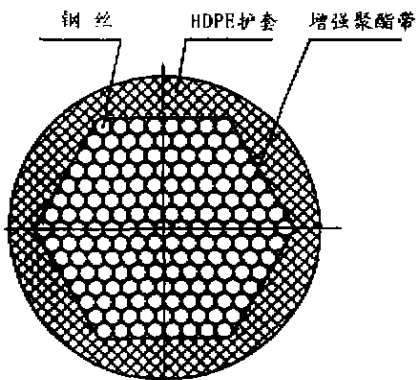


图3 钢丝绳断面图

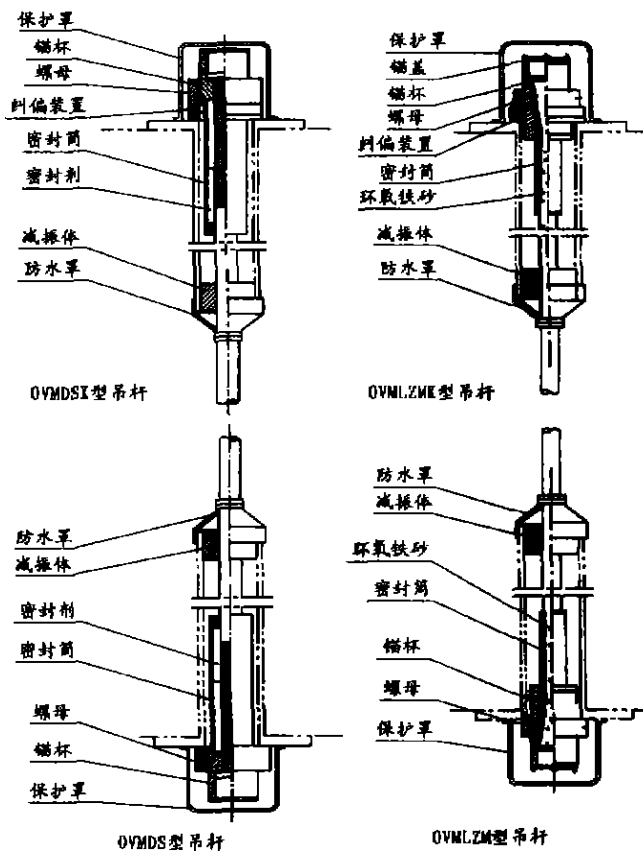


图4

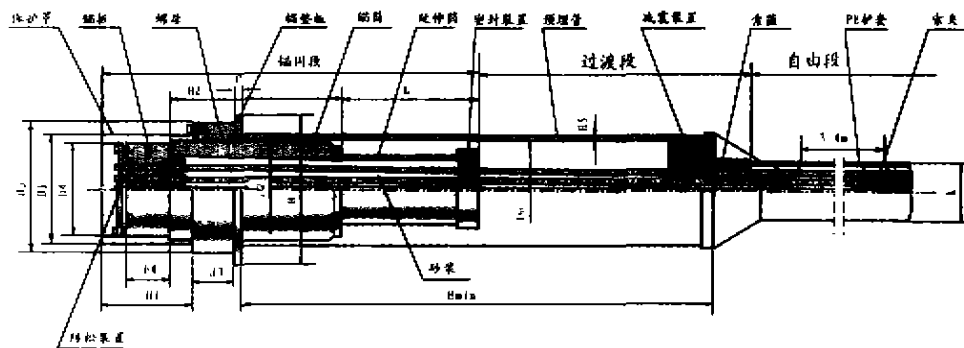


图5 OVM250钢绞线拉索结构图

肋和横梁相关部分当初压注了硫磺砂浆而无法使吊杆与横梁分离，不得不连同横梁一起更换，这个教训是极其深刻的。

柳州厂生产的拉索体系见图5、图6。

3. 归纳的建议

3.1 提高系杆、吊杆的防腐处理等级，尽可能地延长系杆、吊杆的设计寿命和使用寿命。

3.1.1 采用环氧树脂全涂无粘结筋（OVM-C）拉索体系作系杆。在两端护罩设不锈钢注油管。自由段增设数个通向PE护套内的不锈钢注油管，外包防护钢管。

3.1.2 吊杆采用OVM L Z M型平行热镀锌钢丝外裹PE冷铸镦头锚体系。端护罩加设不锈钢注油管。在自由段上下增设通向PE护套内的不锈钢注油管。为防止紫外线辐射造成PE护套破坏，在吊杆自由段增设外装式不锈钢或HDPE护套。

3.2 把系杆、吊杆设计为可更换的形式：

3.2.1 对于柔性系杆、下承式拱桥的拱脚部分、中承式拱桥的边拱混凝土内预埋钢管。系杆拉索分束穿入预埋钢管，其间隙压注防腐油。对于刚性系梁，拉索全部外包钢管，钢管内不再压浆而压注防腐油。两端采用不锈钢护罩且不再封锚。换索时，逐根抽换。

3.2.2 吊杆采用可更换式双吊杆、拱肋和横

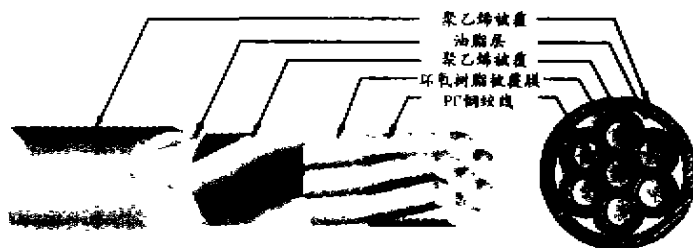


图6 环氧树脂全涂装无粘结筋（OVM-C）

梁的吊杆预埋钢管与吊杆（PE）之间压注防锈油脂而不压注水泥浆，增设不锈钢养护注油管。上下护罩采用不锈钢材料制造，且不再封锚。

参考文献：

1. 宜宾南门桥断裂事故 人民网2001-11-9
2. OVM拉索体系 柳州市建筑机械总厂产品画册
3. OVM拱桥拉索锚固体系设计施工参考画册 柳州市建筑机械总厂产品画册
4. 钱江四桥(复兴大桥)工程扩初设计图 杭州市城建设计院
5. 悬索桥主缆的防腐防护及涂装 党志杰 《桥梁建设》2001-4 P52-55
6. 环氧树脂涂层预应力钢绞线 柳州市建筑机械总厂 2001-9
7. 对天津彩虹大桥系杆、吊杆防腐的建议 钟启宾 1997-9-27
8. 对兰州小西湖桥斜拉索选型与防腐措施的建议 钟启宾 2001-11-15