

北京市五环路石景山桥 OVPES (FD) 7-451 拉索的研制

李文献 龙跃 左毅

【摘要】 本文详细阐述了 OVPES (FD) 7-451 拉索的设计与制造, 解决了目前普遍存在的拉索 PE 护套短时期内应力开裂、拉索因毛细作用或其它意外进水造成索体钢丝腐蚀的问题, 提供了一种安全性、耐久性、适应性更好的拉索。

【关键词】 研制 拉索 低应力防腐索体 PE 护套 应力开裂 毛细作用

1、背景

改革开放以来, 我国公路、铁路建设事业发展迅猛, 尤其是高速公路建设, 从无到有, 建设速度极快, 现我国高速公路网已初具规模。据预测, 随着我国经济与世界接轨, 我国公路建设还将有十几年甚至更长时间的强增长。作为公路建设重要组成部分的桥梁建设也将得到相应发展, 跨越大江(河)、海峡(湾)的特大型桥梁已相继修建或正在规划设计中, 一般公路和高等级公路上的中、小型桥梁、立交桥, 数量多, 形式更趋多样化。随着设计、制造、施工工艺的不断完善, 工程质量达到了一个新的高度。我国已经建成或正在设计建造世界一流的各种不同类型的大桥, 为公路运输提供安全、舒适、快捷的服务。同时, 由于发展速度过快, 在设计认识、制造加工工艺及施工技术等方面不可避免地存在一些问题, 有待进一步的完善与提高。例如, 作为索类桥梁重要承重结构的拉索, 其安全性、耐久性、适应性直接影响到桥梁结构的安全与使用寿命。二十世纪九十年代中期, 我们就已发现 PES 拉索在斜拉桥、吊杆拱桥等索类桥梁工程中普遍出现索体 HDPE 护套提前开裂、下端预埋管进水、锚头及钢丝提前腐蚀等严重问题, 危及拉索直至桥梁的安全。据不完全统计, 我国的吊杆拱桥、斜拉桥、悬索桥及悬索屋架等总的数量约在 700~800 座, 其中相当一部分建成后短时间就出现严重的问题,

李文献: 柳州欧维姆机械有限责任公司

不得不提前维护, 甚至换索, 耗费极大, 结构垮塌也屡见不鲜。此类安全隐患的存在, 严重威胁着工程的安全。

近些年来, 我们进一步对国内外部分桥梁进行了调查, 并参与部分工程的维护或修复, 发现我国索类构件的病害普遍存在, 且问题相当严重。

2001 年宜宾小南门金沙江大桥的塌垮, 此类问题引起了业内各界人士的普遍重视和关注, 重新研究拉索结构系统, 提高桥梁结构的安全性、可靠性、耐久性迫在眉睫。为此, 2001 年柳州 OVM 公司专门立项进行研究, 全面探究原有的拉索结构系统及其在设计与施工方面存在的诸多问题, 以期彻底地解决它, 从源头上阻断病害的成因, 力求提供一种可靠性更高、更安全、寿命更长的拉索结构体系并获成功。受业主单位的委托, 2002 年我公司成功参与了宜宾小南门金沙江大桥的修复工作, 参与方案设计, 提供低应力防腐索体的新型吊杆体系产品并承担专项预应力施工, 取得很好的效果。石景山桥拉索 OVPES (FD) 7-451 的研制就是在这样背景下展开的。

2、石景山桥简介

北京市石景山南站编组站高架桥主桥位于北京市西南五环快速路上, 上跨石景山南站编组站咽喉区。铁路编组站咽喉区(京原线 DK0+905) 现有铁路 7 股道(包括北京到原平、沙城的铁路正线和首钢专业线、锅炉厂专业线、一〇一站线等),

远期规划为 11 股道，东北侧预留 4 股道，其中：2 股道位于主跨内、2 股道位于边跨内。铁路南测为货场、平房等，北测为衙门口村菜地。本桥为 45m+65m+95m+40m 四跨连续独塔单索面的预应力混凝土斜拉桥，采用塔、梁、墩固结构体系，索塔高度与中跨的比例为 0.389，主梁主跨的高跨比为 1/38。主桥和两侧引桥的桥缝为 0.12m，边跨主梁端距离为 0.7m，主桥左边跨的计算跨径为 44.22m、左边跨实际梁长为 44.92m，主桥右边跨的计算跨径为 39.22m、右边跨实际梁长 39.92m。全桥位于平曲线半径为 1900m、竖曲线半径为 16000m 的曲线上，线形比较复杂。

本桥以 49 度的斜交角度跨过铁路编组站咽喉区（线间距小），铁路不允许设立桥墩或临时墩，需要跨度为 90~100 米的桥梁，桥下为电气化铁路，桥下通过的客车货车密度大，长时间封锁铁路线或频繁干扰铁路运输将会造成巨大的经济损失。因此提出了转体法施工的独塔单索面预应力混凝土斜拉桥方案：在铁路编组站西南测沿铁路线搭设支架现浇斜拉桥的主塔、墩和约 160 米长梁体，张拉斜拉索后就形成受力合理的平衡转动体结构，在很短的时间（约 90 分钟）内将结构平转到位，从而最大限度地减少桥梁施工对铁路运输的干扰，减少损失，也确保铁路运输安全。图 1 和图 2 分别为石景山桥的效果图和转体施工现场。

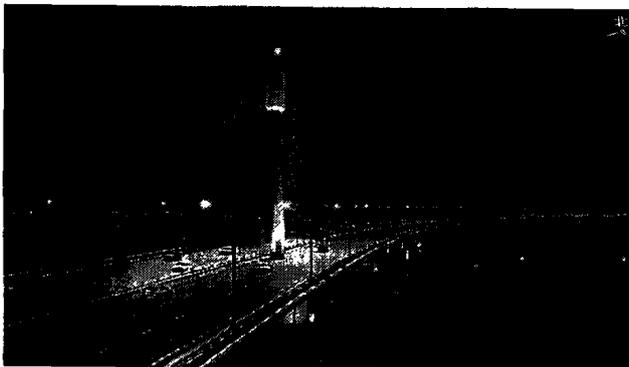


图 1 石景山桥效果图

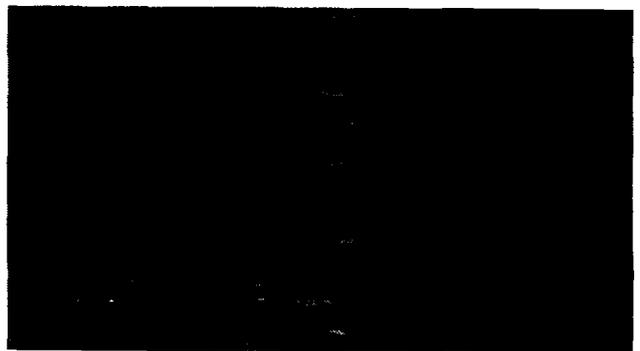


图 2 石景山桥转体施工现场

3、OVMPE(S) (FD) 7-451 拉索的设计

OVMPE(S) (FD) 7-451 拉索是由 451 根 $\phi 7$ 钢丝组成的大节距扭搅平行钢丝索体，其直径是目前国内最大的，在锚具的设计、冷铸料的配方、制索工艺、超张拉试验及静载试验等方面均有较大的难度，另外，业主提出的比 PES 拉索更高的要求，其难度就可想而知了。OVMPE(S) (FD) 7-451 斜拉索是在 OVMPE(S) (FD) 小规格斜拉索体系的基础上开发的，是目前该体系的最大规格。

3.1 此前拉索体系存在的不足

- 1) 挤聚乙烯高强钢丝拉索 PE 外套短时间开裂严重。一般 PE 外套在 1~8 年开始开裂，因而索体进水，钢丝及锚头受到腐蚀；
- 2) 梁端预埋管普遍进水，造成下端锚头、索体等腐蚀；
- 3) 多数拉索在结构设计上不尽合理，防腐措施不当；
- 4) 超大吨位的锚具设计有待优化；
- 5) 超大吨位锚具灌注的冷铸材料的配方需要研究。

长期以来，由于与桥梁有关的单位对该类问题认识不足，以致众多工程中普遍存在，有相当一部分工程问题极为严重，直接危及桥梁的使用安全和使用寿命。索类构件的病害如图 3 所示。

3.2 OVMPE(S) (FD) 7-451 拉索结构设计

OVMPE(S) (FD) 拉索主要包括：OVM L Z M 冷铸锚

头锚、PES (FD) 低应力防腐索体、新型防水罩、新型减振体及相应的防腐材料及零部件, 如图4所示。

3.3 OVM PES (FD) 7-451 冷铸锚的设计

超大吨位冷铸锚在制索完成超张拉时锚板的内缩值不够稳定, 这有两方面的原因: 其一、由



图 3 索类构件的病害

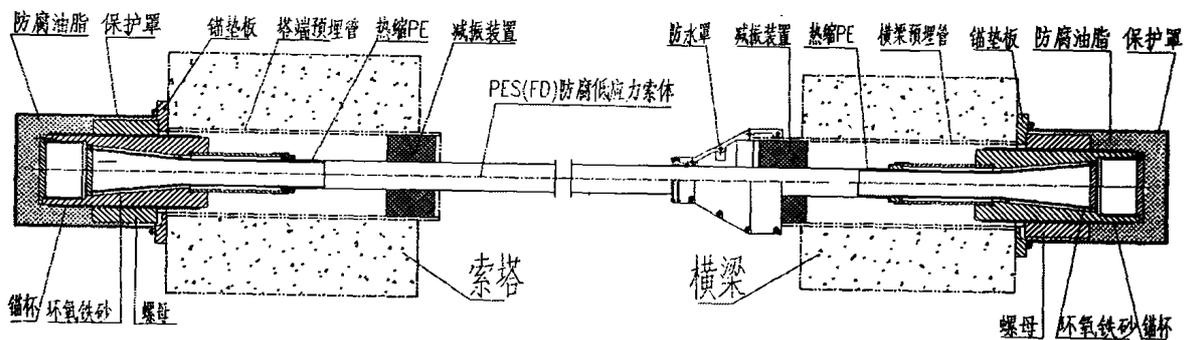


图 4 OVM PES(FD)-451 拉索结构图

于超大吨位冷铸锚的锚杯比较大，相应的需要灌注冷铸料的锚杯锥体内腔就比较大，这也就对相应的冷铸料提出了更高的要求；其二、现有的冷铸锚的锚杯锥体内腔的尺寸设计模式已不适应。

1) OVPES(FD)7-451 冷铸锚的设计与有限元分析

经过对冷铸锚的锚杯锥体内腔设计的探究，我们设计了几套方案，经计算机有限元分析和筛选，挑出一种方案来实践验证，效果非常好。图 5~图 8 是锚杯的有限元分析结果。其中：

材料参数：

外筒：弹性模量 $E=2.05E5\text{Mpa}$ 泊松比 $\mu=0.3$

环氧钢珠：弹性模量 $E=1.2E5\text{Mpa}$ 泊松比 $\mu=0.3$

外筒与环氧钢珠间的摩擦系数： $\nu=0.3$

荷载：28985KN 作用于锚板上。

从以上的分析结果可知：当我们给锚杯施加 28985KN (100%的破断力) 的轴向力时，锚板内缩

了 2.607mm，锚杯中部径向变形为 0.153，这与后面的静载试验所测的数据锚板平均内缩了 2.51mm (98.5%的破断力)，锚杯中部径向变形为 0.139mm 非常接近。超张拉试验的锚板平均内缩了 1.65mm (52%的破断力时有限元分析的计算值为 $2.607 \times 0.52=1.35\text{mm}$)，这与有限元分析的值也是很接近的。

2) 冷铸料的研究

国家标准 GB/T18365-2001《斜拉桥热挤聚乙烯高强钢丝拉索技术条件》中对冷铸料的要求是其强度 $\geq 147\text{Mpa}$ ，对其上限并没有要求，即使超得很多也是合格的，例如超 100 达到 247Mpa 甚至更高。冷铸料的强度变化幅度太大，就会使得冷铸锚的内缩量变化较大；冷铸料的强度过高对冷铸锚的疲劳是不利的。经过我们的研究，冷铸料的强度变化幅度可以控制在 40Mpa 以内。我们对 12 对 OVPES(FD)7-451 拉索超张拉，其锚板内缩值的离散性很小。

3.4 OVPES(FD)7-451 索体

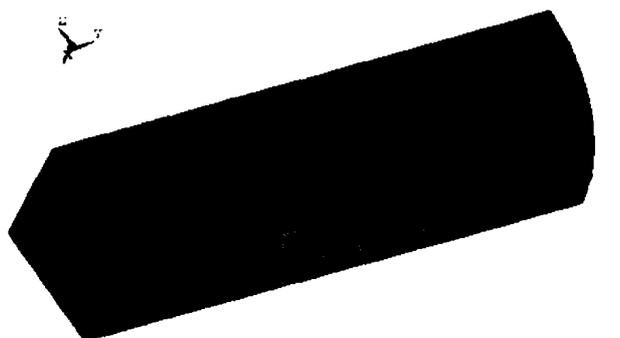


图 5 单元模型图

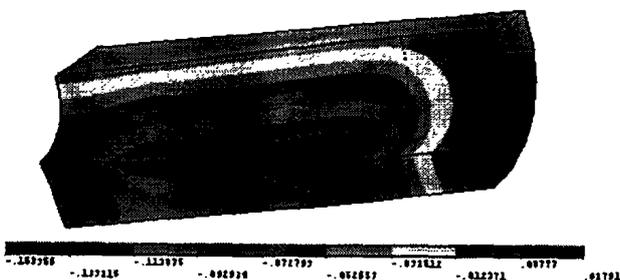


图 7 径向(x方向或Z方向)变形量分布图
注: Y方向为外筒中心线 最大变形Max=0.153

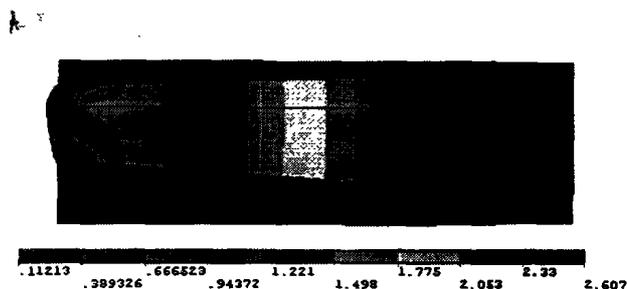


图 6 总变形量分布图(变形图放大30倍)
最大变形Max=2.607 最小变形Min=0.112

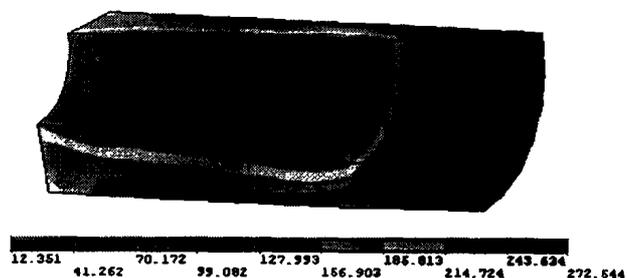


图 8 外筒 Von Mises 应力分布图
最大应力Max=272.5Mpa

1) 此前索体的分析

一直以来,绝大多数拉索采用国家标准 GB/T 18365-2001《斜拉桥热挤聚乙烯高强钢丝拉索技术条件》中的 PES 型索体,其断面如图 9 所示。

拉索钢丝束断面采用六角形或缺六角形紧密排列,经左旋 $2^{\circ}\sim 4^{\circ}$ 轻度扭绞后,缠包高强纤维聚脂带,钢丝束外以热挤单层或双层聚乙烯护套进行防护。虽然 HDPE 护套的防护技术,在电缆中已得到成功的应用,但是其用于预应力拉索类结构的防护,则存在着短时间开裂失效的问题:

(1) 预应力拉索与电缆不同,使用中拉索受到很大的拉力,索体受拉伸长,由于粘结力的作用,其 HDPE 护套长期处于较高的应力状态,而电缆的护套管在使用中则基本上没有应力存在。因此,预应力拉索的 PE 护套主要失效形式为较短时间内的环境应力开裂,开裂时间通常在 1~8 年,远低于同类产品在无应力或低应力状态下使用的寿命(PE 材料的主要失效形式是材料的老化)。曾对世界各国(包括中国在内)很多拉索 PE 管进行过维修维护的美国 Brown 公司认为,此类拉索的 PE 护套一般在几年内就会开裂。

(2) 当 PE 护套开裂(或其它原因被损坏)或下端预埋管进水时,由于钢丝与钢丝间缝隙的毛细作用,致使钢丝受到腐蚀,索体防护失效。

为防止 PE 护套的过早开裂,延长其寿命,提高索体的防腐能力与使用年限,OVM 公司已研制出新型索体—PES (FD) 低应力防腐索体。OVM PES (FD) 7-451 索体就是采用了 OVM 公司此项成熟的专利技术。

2) PES (FD) 低应力防腐索体。

PES (FD) 低应力防腐索体断面结构如图 10 所示,其包括高强镀锌钢丝、钢丝间的防腐油脂、高强纤维聚脂带、内层 HDPE 护套、隔离层、外层 HDPE 护套。

PE 护套过早开裂的主要原因是索体工作时产生伸长变形,受其结构的影响,PE 护套长期处于较高应力状态下工作,从而导致 PE 护套在较短时间内开裂严重。为减小 PE 护套的工作应力,以延长 PE 护套的开裂时间,在索体结构设计时,采取外层 PE 护套与内层 PE 之间增加一隔离层的方法,当索体工作时,外层 PE 护套能有效释放应力,使之与内层比处于低应力状态下工作。试验表明,在索体应力为 $0.4\sigma_b$ 的使用状态下,外层 PE 护套应力的相对释放量可达 30%。由于外层 PE 护套应力释放后,其耐环境应力开裂的性能可大大提高。聚乙烯环境应力开裂试验表明,当 PE 护套的应力释放 30% 时,其耐环境应力开裂时间比标准试件大为提高。

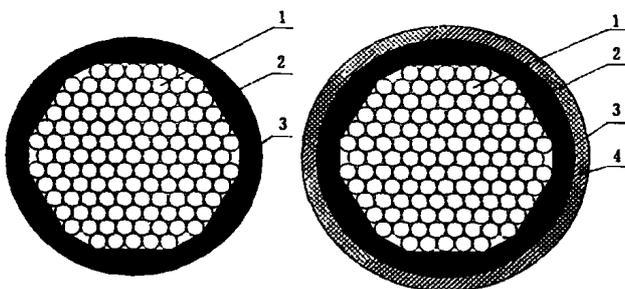


图 9 PES 索体断面结构

- 1、高强钢丝 2、高强纤维聚脂带
3、HDPE 护套 4、外层 HDPE 护套

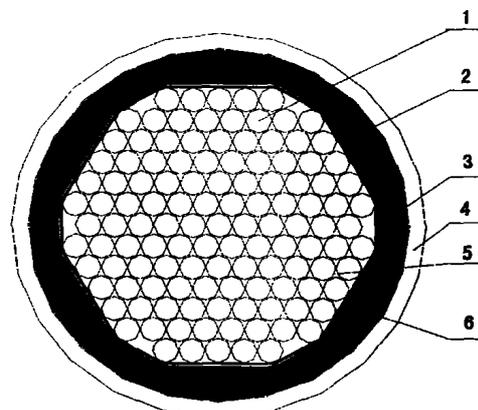


图 10 PES (FD) 低应力防腐索体断面结构

- 1、高强钢丝 2、高强聚脂带 3、内层 HDPE 护套
4、外层 HDPE 护套 5、防腐油脂 6、隔离层

PES (FD) 低应力防腐索体里采用特殊工艺灌注专用防腐油脂, 钢丝之间的三角缝被防腐油脂封堵, 完全阻断因毛细作用造成索体钢丝的腐蚀。此外防腐油脂也是一个极好的保护层, 有效提高了索体的耐久性。

3.5 OVM PES (FD) 7-451 拉索的防腐设计

其主要包括下锚固段防腐设计、上锚固段防腐设计及索体防腐设计。

1) 下锚固段防腐设计

如图 4 所示, 下端进水是目前所有问题中最严重与最普遍的。下端防水需解决下端防水罩的进水问题。设计过程中彻底改变原有防水罩的结构, 采用 OVM 新型防水罩, 索体与防水罩的结合处选用遇水膨胀橡胶和热缩 PE 取代原有的普通橡胶, 使得防水罩能长期保持其防水效果。锚头防腐是利用保护罩密封锚头, 罩内灌注防腐油脂。

2) 上锚固段防腐设计

上锚固段防腐设计与下端类似, 其区别在于上端不需要防水罩。

3) 索体防腐设计

PES (FD) 索体由里的钢丝均镀锌处理, 各钢丝之间的缝隙里灌注有特殊的防腐油脂, 钢丝束外挤内层 HDPE 护套, 内层 HDPE 护套外增加隔离层后挤外层 HDPE 护套。实现四层防腐, 如图 10 所示。

此外 OVM PES (FD) 拉索体系在细部处理上还考虑了对雨水的导流、引流措施, 使拉索体系成为一个完全密闭系统, 从而隔断雨水进入索体的所有途径。

3.6 OVM 减振器

拉索在安装时与预埋管可能有一定的偏心, OVM 减振器很好的解决了这个问题。

3.7 OVM PES (FD) 7-451 拉索的试制

1) OVM PES (FD) 7-451 冷铸锚的试制及质量控制
斜拉索冷铸锚的锚杯和螺母采用 40Cr 锻钢,

锚具在表面镀锌前必须逐个按《锻轧钢棒超声波检验方法》(GB/T14162-91) B 级探伤。锚杯和螺母的制作工艺是按下列程序进行的: 下料→锻造→粗车→半精车→超声波探伤 1→热处理→半精车→超声波探伤 2→精车→钳作→磁粉探伤→镀锌→脱氢→检验→成品入库。从下料到超声波探伤 1 这些工序是在锻件供货单位完成, 其余各工序则在我公司各部门完成。

非超大吨位铸锚的锚杯和螺母的超声波探伤一般情况下只要一道工序就可以了, 而 OVM PES (FD) 7-451 冷铸锚是超大规格的冷铸锚, 考虑到两方面的原因在制造 OVM PES (FD) 7-451 冷铸锚杯和螺母时, 在热处理前增加了一道工序超声波探伤 1, 其一、因为交货期较紧, 为了避免产品在加工到半精车→超声波探伤时发现超声波探伤不合格品, 增加了超声波探伤 1, 可把不合格的产品从热处理前排除, 如果不这样一旦产生不合格品将影响到交货期; 其二、如果没有超声波探伤 1, 而到了热处理后发现超声波探伤不合格的现象时, 在责任的判定上很难下定论, 即到底是原材料问题、锻造问题还是热处理的问题很难分清楚。而热处理后的超声波探伤 2 就是对零件热处理的检验, 其实按我公司的热处理条件, 一般情况下是不会有问题的, 这只是预防万一, 这也体现了 OVM 公司对用户的质量承诺的兑现。

再有, OVM 公司的冷铸锚的锚杯和螺母 (以及其它产品的关键受力件) 在其表面采用镀锌防腐, 镀锌后必须要脱氢处理, 而很多别的生产厂家忽视了这道工序, 这可能是认识不够。由于镀锌池有氢产生。氢原子大部分通过零件的壁, 在另一端结合为氢分子逸出, 另一部分氢原子扩散到零件金属内空穴, 并在该处结合为氢分子。由于氢分子不能扩散, 就会积累形成巨大的内压, 引起钢材表面鼓泡, 甚至破裂, 以致发生“鳞爆”。再有, 氢原子进入金属后, 使晶格应变增大, 因而

降低韧性及延性，引起脆化，有应力时可能同时发生氢脆，甚至腐蚀破裂。在高强钢中晶格高度变形，当氢进入后，晶格应变更大，使韧性及延展性降低，导致脆化，在外力下可引起破裂。不过在未破裂前氢脆是可逆的，如进行适当的热处理，通常称为脱氢处理，使氢逸出，金属可恢复原性能，消除以后使用时的隐患。

2) PES(FD)7-451索体的试制及质量控制

PES(FD)7-451索体由451丝 ϕ 7高强镀锌钢丝大节距扭绞后，热挤双层高密度聚乙烯护套制作而成。其制索过程为：下料→清洗→扭绞→缠包→钢丝缝隙内灌注防腐油脂→热挤内层PE护

套→制作隔离层→热挤外层PE护套。

对于预应力拉索，索体的钢丝是其最重要最基本的组成。任何钢丝质量上的缺陷，都会导致整个索体的失效，造成严重的后果。石景山桥 PES(FD)7-451拉索在钢丝的选用上，严格的执行了国家标准 GB/T17101-1997《桥梁缆索用热镀锌钢丝》，各项性能指标都达到国家标准 GB/T 18365-2001《斜拉桥热挤聚乙烯钢丝拉索技术条件》中对钢丝的要求。该拉索在制作的过程中，对钢丝表面锌层的连续性、厚度、光滑度、均匀性、致密性，进行了严格的检查和控制，以确保钢丝自身的防腐性能。此外，在索体的制作中，还增加了以专用

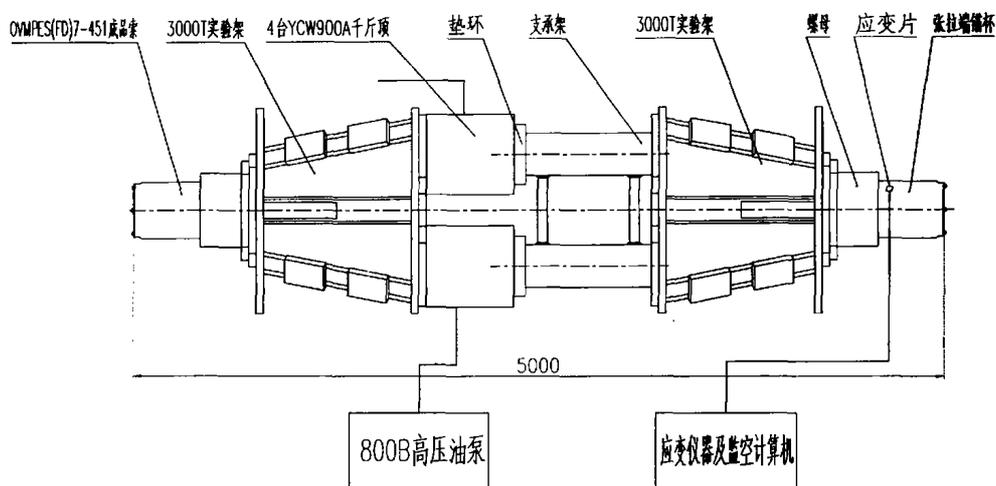


图 11 静载试验方案图



图 12 静载试验现场

防腐油脂填充钢丝之间缝隙及在内层护套外表增加隔离层的新工艺。

在石景山桥拉索的护套制作的过程中,在护套原料的选材上,通过进行不同牌号材料的耐环境应力比对性试验及寿命估算,选用了具有良好抗裂性能的新一代高分子材料。

4、试验

4.1 OVMPEs (FD) 7-451 拉索静载试验

OVMPEs (FD) 7-451 拉索试验拉索是专门为静载试验设计的成品索,其锚头结构型式和石景山桥使用的锚头一致,索体的横截面也一样,只是拉索的总长度为 5 米。

试验按 GB/T 18365-2001《斜拉桥热挤聚乙烯钢丝拉索技术条件》标准执行,主要检验该产品的锚固效率系数,极限延伸率,及锚杯外径的变形情况。试验方案如图 11、图 12。

试验采用四台 YCW900A 千斤顶对 3000 吨试验台架进行顶推提供拉索的拉力,为了了解及确认锚杯和试验抬架的变形情况,我们采用了 DH3813 动静态应变测试分析系统对锚杯和试验抬架进行随时监控。该项试验比我们预想的要顺利,锚固效率系数为 0.985 (钢丝未断),极限延伸率 > 2.1%,经应变仪及计算机检测,锚杯的中部径向变形在锚固效率为 0.95 时的为 0.139mm (这与有限元分析的结果 0.153mm 相近),拉索应力释放回

零后,无残余变形,螺母可自由拧出,锚具、拉索的受力状况良好,索体完好无损。

4.2 OVMPEs (FD) 7-451 拉索超张拉

按 GB/T18365-2001《斜拉桥热挤聚乙烯高强度钢丝拉索技术条件》标准规定,每根成品拉索在出厂之前必须做超张拉,合格后方可交付使用。OVMPEs (FD) 7-451 拉索的超张拉力要达 1500 吨,而我公司以前做过的最大张拉试验是桂林丽君桥主缆的超张拉,张拉力为 1000 吨。因此,必须对原设施进行更新改造:对张拉沟进行加固,重新设计张拉台架、张拉连接装置等。超张拉时,在拉索两端锚具铸体表面取三个不在同一直线上的点,用深度游标卡尺测其距锚杯端面的深度,作好记录和油漆标记。对斜拉索施加 1.2 倍的设计荷载的预张拉完毕后,复测三点标记处的深度,前后差的平均值作为该锚具的锚板回缩值,锚板回缩值应不大于 5mm。在超张拉卸载至仅剩 20% 时,用精度为 1/5000 的 50m 钢卷尺。在钢尺的两端施加 50N 的力,测量拉索长度,再换算为设计条件下的索长,长度偏差 ΔL 应符合以下规定:① $\Delta L \leq 20\text{mm}$ (索长 $L \leq 100\text{m}$),② $\Delta L \leq 0.0002L$ (索长 $L > 100\text{m}$)。

对本桥的 12 根索的索长度和锚板回缩值全部符合设计要求,张拉端和锚固端锚板回缩值的平均值为 1.65mm (与有限元分析的结果是很接近

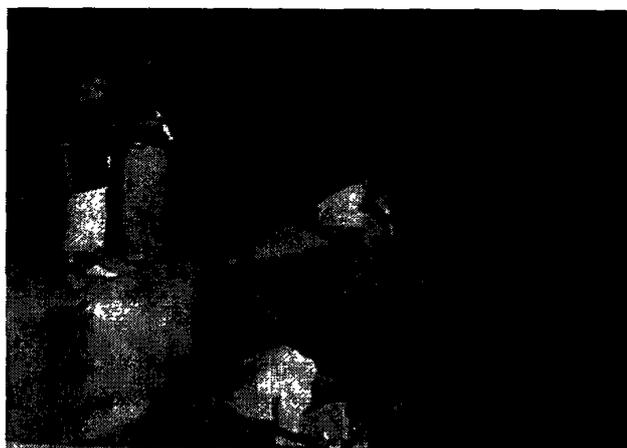


图 13 超张拉现场

的)。

通过对 OVPES (FD)-451 拉索的设计、试制、静载试验、超张拉, 达到了预期的目标。

5、结束语

OVPES (FD) 7-451 拉索的研制成功及在石景山桥的应用, 标志着我国拉索技术达到了一个新的高度。我们相信, 这种安全性、耐久性、适应性更好的拉索结构体系将具有美好的市场前景。

参考文献

- 1、《北京市五环路石景山南站高架桥设计说

明书)。

- 2、韩大建, 马文田《斜拉桥边跨的结构设计》(华南理工大学)《中国公路学会桥梁和结构工程学会 1999 年桥梁学术讨论会论文集》

- 3、黄勇, 李敬明等《斜拉索下端防腐研究》(安徽省铜陵长江公路大桥管理局)

- 4、项海帆, 陈艾荣《公路桥梁抗风设计规范》概要及大跨桥梁的抗风对策, 中国土木工程学会桥梁及结构工程学会第十四届年会论文集

- 5、李永强, 潘家英《南京长江第二大桥南汉桥斜拉索制作和防护的质量控制》(铁道部科学研究院)《中国土木工程学会桥梁及结构工程学会第十四届年会论文集》南京长江二桥专题

● 信息窗 ●

我公司顺利通过 BSI 对质量管理体系的跟踪审核

BSI 根据审核周期内的跟踪审核的策划安排, 于 2003 年 11 月 19 日~21 日对我公司的质量管理体系进行了年度的第二次跟踪审核。

这次审核的意义较以前很不一般, 自公司改制后质量监督部对《质量手册》进行了修改和换版, 纳入体系的产品和部门也有了较大的变化, 对新增部门来说这是接受 BSI 的首次审核, 新增产品的审核范围能否顺利通过也非同寻常。为此质量监督部多次到缆索公司等培训、检查、指导。

BSI 在到我公司现场审核前认真进行了新版《质量手册》的文件审查, 并提出了几项建设性的改进要求, 质量监督部已按要求完成了对手册的改进及更改。此次审核由两名审核员组成审核组, 他们都是专家型的审核员, 具有较高的专业知识和较丰富的审核经历。其分成两个小组对我公司的质量管理体系进行审核, 在审核前参观了新进入质量体系的缆索公司、机四分厂; 部分生产区域及 OVM 产品展厅等, 并与企业的管理者代

表进行了访谈。

BSI 按对整个质量管理体系注册后的跟踪审核策划, 本着在注册周期内全部的审核要覆盖完审核区域、标准条款的要求以及审核区域的重要性, 审核涉及的部门有质量监督部、市场策划部、经营公司、进出口公司、物资采购部、物业管理部、缆索公司、技术中心、机四分厂。

在现场审核的末次会议上, 审核组对我公司实施的质量管理体系进行了 3 年审核周期内的回顾并给予了较高的评价, 同时同意把缆索制品加入到体系审核范围之内, 同时推荐我公司继续使用 BSI 的质量管理体系的认证标志。

(顾松)

● 简讯 ●

投资 2.3 亿元的湖北仙桃汉江公路大桥已顺利合拢, 即将全线通车, 该桥的主桥及引桥锚具(常规锚具及冷铸镚头锚具)全部采用我公司产品, 共计 6 万多孔。

(杨玉霞)