

玻璃钢在油压启闭机上的应用

易发祥

(龚咀发电厂)

一、前言

龚咀水电站为坝后式厂房。水轮发电机组进水口的快速平板闸门，采用200/450吨油压式启闭机，布置在引水钢管首端，共有七台，1971年12月第一台开始运行，至1978年12月全部投产。油压启闭机的活塞杆采用了包玻璃钢的新技术，有关技术特性如下：

- | | |
|-----------------------|---------------------------------------|
| 1. 型式：200/450吨油压式启闭机 | 9. 关门时最大油缸压力： |
| 2. 启门力：200吨 | 210公斤/厘米 ² |
| 3. 最大持住力：450吨 | 10. 强度试验压力：340公斤/厘米 ² |
| 4. 活塞杆全行程：10米（明厂房） | 11. 工作油的牌号：30号透平油 |
| 9米（地下厂房） | 12. 活塞杆直径：Φ300毫米 |
| 5. 活塞杆工作行程：10米（明厂房） | 13. 油缸内径：Φ600毫米 |
| 9米（地下厂房） | 14. 活塞杆总长度：12620毫米（明厂房），11620毫米（地下厂房） |
| 6. 闸门快速关闭时间：2分 | 15. 包玻璃钢长度：10915毫米（明厂房），9915毫米（地下厂房） |
| 7. 闸门开启时间：12分 | 16. 出厂时间：1971年 |
| 8. 启门时最大油缸压力： | |
| 110公斤/厘米 ² | |

油压启闭机活塞杆除承受拉力外，还受水的浸泡。设计时，考虑了强度与防腐蚀性能。这类启闭机的活塞杆，在国内、外一般采用不锈钢制造；或表面焊不锈钢层；或镶嵌不锈钢套；或外表镀铬及其他防腐合金。由于不锈钢成本高，加工制造和材料来源也有一定困难，不能满足大型水电站的要求。玻璃钢具有防腐蚀性能好，强度高、容易加工制造，成本低廉等优越性。第二重型机器厂为龚咀水电站设计制造油压启闭机时，首次采用活塞杆包玻璃钢这一新技术。

二、包玻璃钢活塞杆及其工作状况

由于玻璃杆属国内首批试制产品，我厂对其运行情况，进行了多次检查，从1979年以来检查次数如表1。

七台油压启闭机分别运行了6～13年，共检查30多次。到目前为止，玻璃钢活塞杆外径与轴线没有变化，无宏观的椭圆、鼓包变形以及老化与龟裂等异常情况，密封性能

表 1 200/450吨油压启闭机检查次数

	1	2	3	4	5	6	7
	3	5	4	5	5	6	2

好，充分显示了优越的防腐蚀性能。因此，我们推广应用了这一新技术，将活塞杆与快速闸门联接的吊头及其螺丝螺帽、水下油管等均包扎防腐。原来腐蚀严重处经包扎后，外表美观、防腐效果好。这种防腐办法比涂漆保护寿命长得多，比喷锌防腐施工简便且价格便宜。

玻璃钢活塞杆的主要缺陷是玻璃钢与钢活塞杆之间分离，产生空壳现象，为此，我们处理过两次。

(一) 4号油压启闭机包玻璃钢活塞杆的空壳处理

1981年12月19日～1982年4月13日，4号油压启闭机大修，发现有 250×750 和 150×1100 毫米²两处空壳（图1），超出了设计允许范围。经制造厂在空壳区钻孔

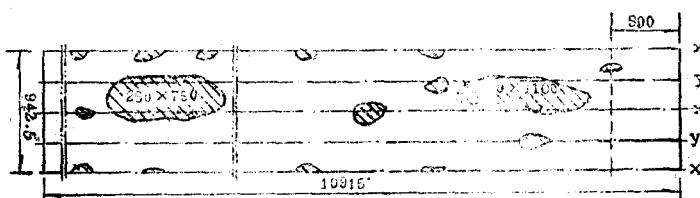


图1 4号液压启闭机活塞杆空壳展开图

灌胶，处理了 250×750 毫米²一处。我厂仿此法处理了另一处。钻孔时，必须将玻璃钢层钻透至钢活塞杆，但不能损伤钢活塞杆表面，以免削弱活塞杆的机械强度。聚脂胶配方如下：

- | | |
|-----------------------|--------|
| 1. 307（或306聚脂和DAP混合物） | 20~70% |
| 2. 苯乙烯 | 30~80% |
| 3. 过氧环己铜（或过氧化甲乙铜） | 3~6% |
| 4. 5%环烷酸钴溶液 | 2~4% |

配合成的胶液，使用手动螺杆推进式专用压力注射器，从钻孔中注入，待胶液完全固化后，将其表面锉平、修圆、砂光（见图2）。

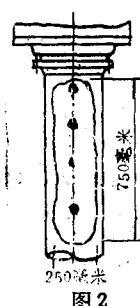


图2

(二) 六号油压启闭机包玻璃钢活塞杆的空壳处理

1983年元月9日～3月15日，6号油压启闭机大修，发现玻璃钢与钢活塞杆之间的空壳面积竟达55%（图3），大大超出了设计允许范围。

1. 检查分析

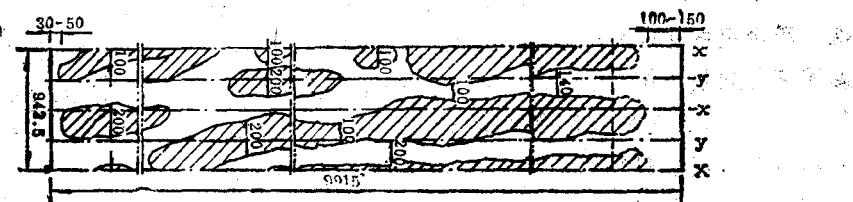


图3 6号油压启闭机活塞杆空壳展开图(单位:毫米)

注: ——表示空壳区

6号油压启闭机玻璃钢活塞杆的检查,是自下而上用1/2英寸钢管和半磅手锤轻轻敲击玻璃钢表面,在9400毫米处发出了“啪!”“啪”哑声,表明玻璃钢与钢活塞杆之间产生了空壳,累计面积达包玻璃钢总面积的55%,且大片连通。设计规定累计面积不允许超过总面积的20%且不连片,局部面积应小于 400×300 毫米²即为合格。现空壳面积超出了设计要求很多。但操作过程中还未出现卡阻现象,说明空壳区还没有从上到下全部贯穿,高压油也没有进入空壳区而造成油缸的泄压,其他情况正常。若继续发展,空壳连通,经空壳跑油泄压,闸门会快速事故关闭而造成厂房机组甩负荷的重大事故。

七台油压启闭机活塞杆的空壳情况各异:除4号和6号外,2号与3号油压启闭机各有3~4处空壳,也超出了设计要求;6号和7号油压启闭机的运行时间相同,均为五年零三个月,但7号油压启闭机空壳只有 10×20 毫米²。1号油压启闭机从1971年12月投运至1984年1月停机检查,运行十二年零两个月,但空壳缺陷甚微,其他的外表检查全部正常。各机的空壳情况见表2。

表2 玻璃钢活塞杆空壳统计表

机 号 次 数 项 目	1号启闭机	2号启闭机	3号启闭机	4号启闭机	5号启闭机	6号启闭机	7号启闭机
检修时间(年、月)	1984.1~2 ~1984.2	1983.12 ~1984.2	1983.1~2	1981.12 ~1982.4		1983.元 ~4	1984.3
空壳记录 (毫米 ²)	60×20 30×20 100×400 250×1000	300×500 300×1000 150×250 150×250	250×200 150×250 150×1100	250×750		空壳55% 大片连通	10×20
处理摘要	可不处理	急待处理	暂不处理	作了压力 灌胶处理 合 格		下端加箍 包玻璃钢 封闭处理	可不处理

6号油压启闭机的空壳严重,经查阅了6号机的原始安装记录后,发现6号机偏心9.43毫米,超出了±2毫米的安装规范。检查并实测了活塞杆与油缸下端密封钢质压环间隙,一侧偏大,另一侧约有100毫米长的弧段没有间隙,使油缸下端油封压环和活塞杆玻璃钢表面偏卡,受力后产生单边磨擦。1980年检修时拟换油封,因为偏卡很紧,压环取不下来没能换成。1983年大修时,用15吨的油压机从径向顶出一点间隙,取下压环才换了油密封。

因此，初步分析认为此偏心力是6号油压启闭机发生空壳和空壳加剧的重要原因。其次，玻璃钢的化学材料质量、配合比、热粘温度，缠绕工艺以及碳素钢表面处理等都能影响它的质量。据了解：这首批产品的加工质量欠佳，原设计的光洁度为 $\nabla 7$ ，而实际只有 $\nabla 3$ ；化工材料与配合比也略有不同；七根活塞杆的其他加工工艺略有差异。6号启闭机玻璃钢活塞杆空壳如此严重，与它的制造质量也有着密切关系。

2. 空壳处理方案

6号油压启闭机玻璃钢空壳严重，活塞杆理应报废，为此，我们邀请了制造厂共同研究，认为玻璃钢与杆体完全脱壳的可能性不大，但由于偏卡运行，随时都有产生空壳穿透杆身并造成跑油泄压的可能。提出“下端部加箍包玻璃钢封闭的处理方案”，能避免空壳穿透，造成跑油泄压的事故。处理时，将活塞杆下端与吊头螺丝螺帽表面清洗干净，铲尽漆片氧化层，全部显露出原金属光泽；然后用夹布胶木板加工成的箍（图4）嵌入就位找正，再用环氧树脂胶粘接。用玻璃丝布带与环氧树脂胶分层交替缠绕，使玻璃钢层直接与吊头螺丝螺母连成一体。如表面基本圆滑，可不作加工处理。树脂强度高，粘接牢固，密封性能好，而且处在活塞杆的最末端，不受偏卡力作用，所以这种处理简单可行，估计可以维持1~2个检修周期，其效果尚在实际运行中验证。

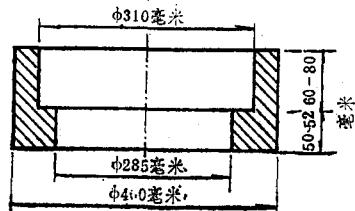


图4 胶木箍

此外，处理选在大修时机，便于启闭机全部拆卸重新安装调试，及更换玻璃钢活塞杆或不锈钢活塞杆。

三、对包玻璃钢活塞杆的认识

包玻璃钢的活塞杆这一新产品，在我厂运行使用时间不长，略谈几点看法：

1. 玻璃钢有优越的防腐性能和良好的物理机械性能，外表美观，并有增强管壁的作用，可应用到油压启闭机水下油管和闸门吊头。
2. 加工制造简便，对活塞杆表面的磕、碰等伤痕，现场即可修补。
3. 包玻璃钢的活塞杆造价低廉，只为不锈钢产品的1/10左右。
4. 玻璃钢活塞杆的一个重大缺陷就是空壳问题，其发生、发展以及预防与修补办法尚待进一步研究解决。
5. 玻璃钢的老化程度也待实践中积累资料。

对空壳处理的几点建议：（1）压力灌胶填补空壳，因空壳间隙极小，压力灌胶困难，只宜小面积修补，作用有限。（2）端部加箍包玻璃钢封闭是一个简单可行的好办法。但不能根本解决空壳问题。（3）要保证油压启闭机的安装质量，其中心偏移不能超过 ± 2 毫米的安装规范要求。（4）使用优质树脂化工材料、严格掌握配合比、胶液温度，缠绕及碳素钢活塞杆表面清理等各项制造工艺，提高加工制造质量。（5）改进设计与制造工艺：如碳素钢活塞杆表面加工成锯齿形螺纹状，以加大表面粗糙度，增加胶粘面积和粘接力；改进加工工艺，保证玻璃钢表面光洁度达到 $\nabla 7$ 的设计要求（现只有 $\nabla 3$ ）。

可以减少活塞杆运动时的摩擦阻力，并可减弱轴向交变应力对粘接力的破坏作用；修改包玻璃钢长度设计，从原有 10915（9915）毫米延长到 11645（10545）毫米，上端高出活塞与活塞杆的组合密封面 100 毫米。作了以上处理后，可以避免产生空壳或者减轻空壳程度，使油压启闭机安全运行。

学术讨论

对“重力坝应力分析一边界应力法”一文的商榷

张光斗

（清华大学）

编者按：张光斗教授在百忙之中给编辑部来信‘对本刊今年第一期刊载的“重力坝应力分析一边界应力法”提出了宝贵的意见。这不仅对我刊的编辑工作是一个鞭策、对作者和读者、也能从中吸取营养、开阔视野，发扬严谨求实的研究态度。对张光斗教授的来信，我们衷心地表示感谢。

《四川水力发电》1985年1期的“重力坝应力分析一边界应力法”，用材料力学法求出边界应力，然后根据垂直正应力成直线变化；剪应力成二次抛物线变化；水平正应力成三次抛物线变化的假定，求出坝体内部应力。作者提出了改进办法，大大简化计算工作，是有成绩的。

但是材料力学法用于重力坝应力分析有许多简化假定，如不考虑坝体材料的分区，地基对坝体应力的影响等等，是很不精确的，是一种经验性的方法。这种方法算出的边界应力不精确，特别在靠近地基高应力区更不精确，用二次、三次抛物线来计算坝体内部剪应力和水平正应力似乎意义不大。为了简化计算，不妨都用直线变化。

近二、三十年来，有限元法的发展和模型试验的进步，可求出三级应力，非线性、考虑到坝体材料的分区、地基变形的影响等等，可以较前更精确地求出应力。所以再在材料力学方法上化很多功夫，似不值得。问题是照近代方法求出应力后，不知如何判别是否安全，作为科学技术的发展，似宜花力量来解决这些问题，使重力坝设计更为经济合理。

以上意见是否正确，请指正

（标题系编者所加）