

# 三峡永久船闸人字门顶枢拉架预应力锚杆张拉

张宏志 宋一乐

(武汉大学力学实验中心, 武汉 430072)

**摘要** 三峡船闸人字门在国内首次设计用预应力锚杆来固定顶枢拉架, 该固定法与地脚螺栓固定法比较, 可以改善闸顶面混凝土受力, 简化结构设计, 但增加了施工安装与预应力张拉难度. 本文以锚杆张拉的工艺性实验为基础, 优化了加载装置安装工艺及平衡加载控制方法.

**关键词** 三峡永久船闸, 人字门, 顶枢, 预应力锚杆, 张拉

三峡永久通航船闸为双线平行对称布置, 每线由 6 个闸首、5 个闸室组成, 总长 1607 m, 总设计水头 113 m. 1~4 闸首每套人字门结构尺寸为: 40.4 m×3 m×38.5 m(宽×厚×高); 门重约 1676.1 t, 被誉为世界第一门<sup>[1]</sup>. 国内以往建成的人字门顶枢拉架均采用地脚螺栓固定, 顶枢受力主要靠闸墙中混凝土对地脚螺栓的粘结力以及地脚螺栓上部混凝土的重量保持稳定. 三峡人字门几何尺寸与设计水头已大大提高, 顶枢所受拉、压力及波动应力随之增大, 如果顶枢拉架依旧采用地脚螺栓固定, 一方面, 地脚螺栓的结构会设计得十分庞大; 另一方面, 抗拉性能与抗波动应力性能较弱的混凝土在抵抗该两种荷载<sup>[2]</sup>作用时, 其对地脚螺栓的粘结会受到不断削弱, 从而为工程带来

安全隐患. 为此, 三峡人字门顶枢拉架在国内首次设计用预应力锚杆进行固定.

## 1 预应力锚杆固定法与地脚螺栓固定法的传力特点比较

图 1 为锚杆布置示意图, 全闸首共计 288 根. 从图可见锚杆的支撑底座深入首期混凝土层, 锚杆与混凝土层不粘结, 上端部用螺栓与拉架联结, 这样设计的优点是: (1) 充分发挥混凝土“怕拉不怕压”的特性, 让锚杆预应力使锚杆固定底座与拉架间混凝土层先期储备预压力, 当顶枢作用拉力时, 闸顶面混凝土层实际受力为该拉力与预压力之和, 保证了闸顶面混凝土层不受过大拉力作用; (2) 锚杆与混凝土层不粘连, 当交变荷载作用时, 闸顶面混凝土层不存在裂缝问题; (3) 锚杆材质为 Q345C 钢, 具有良好的抗拉与承受波动应力的性能, 由其将顶枢拉力及波动应力传向闸墙纵深层, 进一步保护了闸顶面层. 而体积庞大的地脚螺栓体系由于直接埋设在闸顶面层, 既损坏了闸顶面层的整体性, 也避免不了混凝土裂纹扩展问题, 削弱了闸顶面层的承载能力. 但从施工来说, 地脚螺栓体系与拉架槽近乎在同一高程且横向埋设, 施工简单; 锚杆体系深入到闸墙首期混凝土层为纵向埋设, 其在测量放点、安装就位、施工保护上难度要大得多.

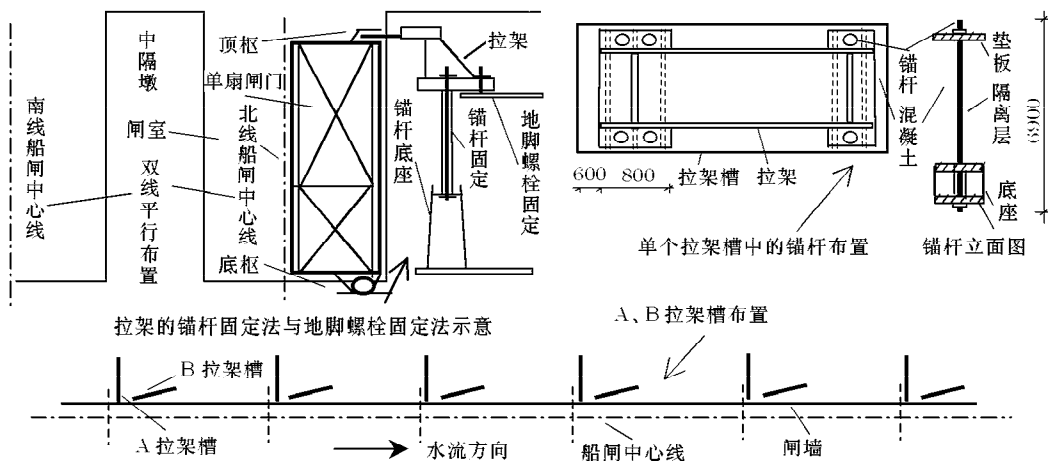


图 1 北线船闸中心线一侧锚杆总体布置示意图

## 2 预应力锚杆安装及张拉技术要求

闸墙中埋设的锚杆固定拉架要实现与闸室中安装的门体对接, 要求锚杆全高 (6900 mm) 范围内的垂直度  $\leq 1 \text{ mm}$ ; 上下中心偏差  $\leq 1 \text{ mm}$ , 锚杆中心与顶枢旋转中心的位置误差  $\leq 2 \text{ mm}$  (在埋设锚杆底座时顶枢旋转中心悬空近 50 m). 为使锚杆不受损伤, 锚杆除下垫板可以和底座施焊外, 下垫板以上不许出现任何可能导致锚杆变形的支撑; 混凝土下料浇注时, 仓位中的锚杆不许受力变形. 锚杆埋设完成后, 将拉架与锚杆进行装配, 待拉架槽混凝土达到预期强度后, 进行锚杆预应力张拉. 避免张拉实验影响锚杆安装精度的前题条件是均匀张拉, 偏心受载会使锚杆弯曲及损害锚杆下端部焊缝; 闸门启闭过程中, 为使整个锚杆同步、等量分摊顶枢传力, 每根锚杆实际张拉预应力的误差须控制在 5% 内. 另外, 锚杆因不能两根同时张拉 (同时张拉会使约束紧的锚杆主要受力), 而外侧锚杆的作业空间仅 600 mm, 因此, 不可能设计几何对称加载装置.

## 3 预应力锚杆均匀张拉控制方案

图 2 为张拉装置及测点布置示意图, 加力梁为中间设置两个圆孔的箱形梁, 圆孔间距等于相邻锚杆的间距, 孔径 90 mm, 箱梁穿过锚杆支承在两个压机上. 锚杆上部设置螺帽 A 与螺帽 B, 紧靠螺帽 B 的锚杆两侧设置 A、B 两个应力测点, 螺帽 B 下部的锚杆正面设置应力测点 C, 测点 D 位于锚杆端部, 装设千分表测量锚杆的伸长量. 张拉装置的工作程序是: 千斤顶顶起箱梁, 箱梁顶起螺帽 A, 当测点 A、B、C 均达到设计值时, 拧紧螺帽 B, 即完成对锚杆的预应力施加.

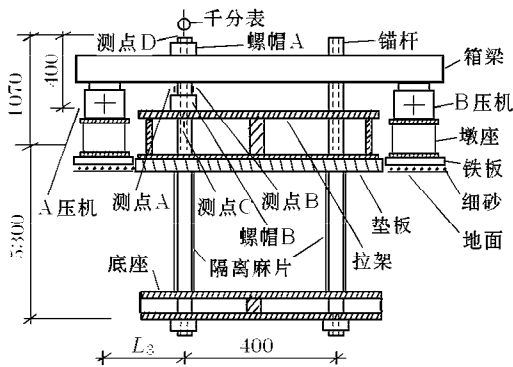


图 2 张拉装置与测点布置示意图

### 3.1 非对称加载装置实现均匀加载的控制方法

若图 2 所示的 A 压机出力为  $P_1$ 、B 压机出力为  $P_2$ 、A 压机中心至锚杆中心的距离为  $L_3$ , 则实

现均匀加载, 满足公式

$$P_1 \times L_3 = P_2 \times (L_3 + 400)$$

设计  $L_3 = 400$ , 有:  $P_1/P_2 = 2/1$ , 即 A 压机出力须为 B 压机的 2 倍.

但受现场实验条件所限, 导致张拉偏载的因素较多, 诸如: 锚杆中心与两个压机的中心难于调到严格共面; 压机所处地面凹凸不平; 积水浸泡后的地面软、硬度的差别; 锚杆本身垂直度的微小偏差等等, 因此, 仅靠控制 A 压机出力为 B 压机出力的 2 倍仍难达到均匀张拉的目的. 我们还采取了加力装置安装工艺优化及锚杆受力状态动测实时校正两种调整方案.

### 3.2 加力装置的安装工艺优化

(1) 将拉架槽中积水抽干, 用钢钎将压机安放位置铲平整, 在该位置敷设 5 mm 厚的细砂层, 然后将 8 mm 厚的钢垫板放到细砂层上.

(2) 将压机墩座、压机、加力梁用汽车吊吊装到位, 用水平尺测量压机水平度, 如果达不到水平就用小锤敲击钢垫板致其水平; 同时用垫放 0.3 mm 厚紫铜片的方法将两个压机调整到同一高度.

(3) 调整锚杆居于加力梁孔洞中心位置, 使螺帽 A 受力面积对称; 用拉线的方法将两个压机、加力梁、锚杆四者的中心调整同线, 减少偏心出力.

### 3.3 动测实时校正法

动测实时校正法是将锚杆受力状态实时测量出来, 根据测试结果来调整 A、B 两压机的加力步调及加力装置的平衡. 为了快速测出受力状态, 测试系统采用动态应变仪, 应变仪输出通过采集器连到笔记本电脑, 测点的应力波形及应力值显示在电脑屏幕上. 调整的具体操作步骤为:

(1) 在误差 5% 范围内, 若  $\sigma_A \approx \sigma_B \approx \sigma_C$ , 表明锚杆均匀受拉, 不需调整.

(2) 若  $\sigma_A \geq (\sigma_B + \sigma_A \times 4\%)$  则放缓 A 压机出力, 加快 B 压机出力, 若  $\sigma_A$  大的趋势仍无改变, 表明 B 压机一边支承较弱, 卸掉压机, 在 B 压机上垫放紫铜片, 增强其支承刚度, 然后重新加载, 若是  $\sigma_B$  大, 其调整方法同理.

(3) 在  $\sigma_A$  与  $\sigma_B$  调平情况下, 若  $\sigma_C \leq (\sigma_B - \sigma_C \times 4\%)$  表示锚杆向 C 测点方向偏, C 测点除受到拉应力外, 还受到负向弯曲应力, 使测试应力偏小, 调整方法是: 卸掉压机, 在螺帽 A 与加力梁之间靠 C 测点方向垫放紫铜片, 用以调整支承边界条件, 达到

系统平衡加载的目的。若是  $\sigma_C$  偏大，则在加力螺帽与加力梁之间靠 C 测点的反方向垫放紫铜片。

#### 4 预应力锚杆张拉测试结果与分析

测点 A、C 的实测应力过程线见图 3 ( $\sigma_B$  曲线未画出，其变化过程与  $\sigma_A$  同)。

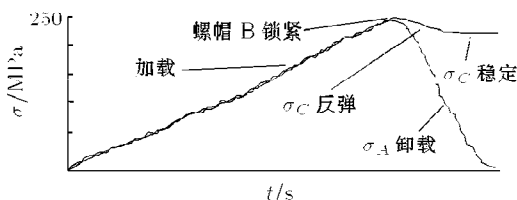


图 3 张拉过程中 A、C 测点实测应力曲线

(1) 由图 3 可见，锚杆预应力张拉主要由三个过程组成：加载；锁紧；卸载。其中加载张拉最关键。

(2) 在加载张拉阶段， $\sigma_A$  与  $\sigma_B$  相互缠绕，波动上升，二者数值相差始终控制在 5% 的范围内，通过加力装置的优化安装与动测实时校正两种方法的实施，实现了  $\sigma_A \approx \sigma_B \approx \sigma_C$ ，达到了均匀张拉的目的。

(3) 螺帽 B 锁紧过程中， $\sigma_A$  与  $\sigma_B$  下降约 1 MPa~2 MPa， $\sigma_C$  上升同一量级。锁紧力越大，压机卸载过程中因锚杆反弹导致  $\sigma_C$  下降的幅度越小，但扭矩过大，螺帽端部与拉架间的摩擦，会使锚杆与加力装置整体受扭，不利系统稳定，锁紧螺帽以手动扳手带紧为准。

(4) 随着压机卸载， $\sigma_A$  与  $\sigma_B$  应力的不断解除， $\sigma_C$  的值有一定下降，考虑这一因素，第一过程的加载值应高于设计值，实际控制值约为 246 MPa，再经锁紧、卸载之后， $\sigma_C$  的稳定值一般满足设计要求。

(5) 个别锚杆由于安装与约束的个体差异， $\sigma_C$  的最后稳定值小于设计值，应适度调高张拉控制值，重新张拉，确保锚杆反弹后的最后稳定值达到设计要求。

(6) 在张拉阶段，预应力达到 220 MPa 时，测点 D 显示的锚杆伸长量为 5.84 mm，比理论伸长  $\delta_L$  大 0.14 mm，(该差值由底座的微小弹性变形及锚杆与底座的非弹性变形组成)；张拉到 246 MPa，伸长量达到 6.28 mm，再经锁紧、卸载、回弹，锚杆预应力保持在 223 MPa 时，锚杆的伸长量为 5.28 mm，比

理论伸长  $\delta$  小 0.09 mm，表明锚杆与底座的非弹性伸长  $\leq 0.05$  mm，锚杆的固结良好，张拉伸长与理论计算吻合。

#### 5 结 语

三峡永久船闸人字门顶枢锚杆张拉是一项大工程中预应力施加较难实行的工作。第一根锚杆用了 16 天才张拉成功，现场实验十分艰苦。张拉方案的形成既融汇了施工一线人员丰富的现场作业专长，也融汇了科研人员在力学测控实践方面的经验。这些工作为后续锚杆快速、高质量的张拉提供了操作依据。

#### 参 考 文 献

- 1 长江水利委员会. 三峡工程永久通航建筑物研究. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1997. 17~41
- 2 沈伯明. 船闸技术改造概况. 水运工程, 1996(3): 37~42

#### THE ALTERNATIVE OPTIMIZATION OF PULLING TEST OF PRESTRESSED ANCHOR ROD FOR THE TOP PINTLE OF MITER GATE OF THREE GORGES PERMANENT LOCK

ZHANG Hongzhi SONG Yile

(Mechanical Experiment Center, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract** The miter gate of Three Gorges permanent lock is designed first time in China with prestressed anchor rod to fix the tension carriage of the top pintle. Comparing with a ground bolt, this method can improve the stress distribution in the concrete of lock chamber and simplify the construction design. But it is more difficult to install and pull the prestressed anchor rod. This paper provides an optimal method of pulling test of prestressed anchor rod for the top pintle.

**Key words** Three Gorges permanent lock, miter gate, top pintle, prestressed anchor rod, pulling