

三峡永久船闸锚固工程 施工中的几个技术问题

陈孝英

摘要 三峡永久船闸主体段直立边坡锚固工程量大、结构复杂、技术难度大、质量要求高、工期短、施工条件差。施工中,较好地处理了锚固与开挖的关系,着重解决了造孔、验孔、穿束、高排架搭设及安全管理技术问题,取得了较好效果。

关键词 三峡永久船闸 高边坡锚固工程 施工技术

1 问题的提出

1.1 工程概述

长江三峡工程永久船闸,为双线五级连续梯级船闸,可通过万吨级船队,是目前世界上在建工程规模最大、设计水头最高的通航建筑物。船闸全长6442m,由上下游引航道及闸室主体段组成。船闸主体段位于坛子岭北侧,轴线方向为SE111°,长1607m,均在山体中开挖修建,形成最高边坡176m,最高直立墙68.5m。双线船闸间保留宽60m、高45~68m的直立岩石中隔墩。直立闸墙边坡结构为1.5~2.4m的混凝土薄衬砌墙,墙体通过系统结构锚杆与岩体连接形成组合结构。

永久船闸主体段岩石以前震旦纪闪云斜长花岗岩为主,其间分布少量的片岩捕虏体、花岗岩脉、伟晶岩脉、辉绿岩脉和石英岩脉。岩性虽然很好,但是由于受断层裂隙切割和高直立坡岩体开挖后,造就结构岩体的应力回弹和岩体扩容等因素的影响,对边坡稳定构成很大隐患。为改善开挖后山体岩石应力调整状态,确保高边坡施工期岩体稳定和运行期的结构稳定,设计采用了预应力锚束和系统结构锚杆加固的措施。永久船闸主体段原设计和动态设计预应力锚束4367束,系统高强锚杆9.28万根,系统普通锚杆7000余根。如此大规模的预应力锚束和系统结构锚杆,在国

内尚属首例,引起国内外工程界专家和学者的关注。

1.2 工程的特点和难题

永久船闸主体段直立坡锚固工程量大、线长面广、结构复杂、工序干扰大、技术难题多,是三峡工程关键性施工技术难题之一。因此船闸主体段锚固工程施工具有一般工程边坡所没有的特点和难题。

1.2.1 特点

(1)高质量。三峡工程规模宏伟,举世瞩目,永久船闸是长江通航的控制性工程,发生任何问题对将社会造成重大影响。因此高质量施工锚固工程,是我们的义务和责任。

(2)高强度。锚束平均施工强度为140束/月,高峰期达200束/月;高强锚杆施工强度为8000根/月,高峰期达10000根/月。

(3)高难度。锚束、锚杆结构复杂,技术含量高,高空作业,施工难度大,环境条件差,又无类似工程施工经验,全靠结合实际集体研究解决。

(4)高排架。由于锚束施工的程序是在闸槽第一梯段开挖完后,再进行锚束造孔和随机支护,第二梯段开挖完后进行锚束安装;高强锚杆的结构有外露段,闸室槽开挖未完成之前,不宜安装;因此高排架施工是必然的。

(5)高水平。在狭窄的闸槽内,既要进行开挖施工,又要进行锚固施工,要有科学的严密的施

工组织和设计,又要有高素质的施工队伍,才能保证施工正常有序。

1.2.2 难题

(1) 锚固与开挖的互相干扰和制约问题。由于锚固工程施工必须紧跟深槽开挖同步进行,既存在着互相干扰,又存在施工进度互相制约的问题。这是锚固工程能否按计划实施的关键性难题。

(2) 水平锚束孔的造孔问题。由于闸墙结构复杂,锚束孔稍有偏移就会影响到墙后排水孔幕、浮式系船柱和闸墙混凝土结构分缝,所以,锚束孔造孔精度要求高,除少量南北坡与山体排水洞对穿锚孔倾角为 $2^{\circ} \sim 17^{\circ}$ 的斜孔外,其余的全部为水平孔。端头锚孔斜率 $\leq 2\%$,对穿锚孔斜率 $\leq 1\%$;终孔孔径 1000kN 级为 $\Phi 115\text{mm}$, 3000kN 级为 $\Phi 165\text{mm}$ 。如此高精度的造孔要求,在国内尚

属首例,高于国家行业标准孔斜率 $\leq 3\%$ 的要求。因此,要高质量完成好预应力锚束工程施工,必须首先解决造孔的技术难题。

(3) 高直立坡穿束问题。闸室宽 37m,直立墙高 45~68.5m,锚束长度 18~66m;在没有交通道路的条件下,完成高直立墙的穿束,尤其是中隔墩的穿束问题,也是锚束工程施工中的又一大技术难题。

(4) 高排架的搭设及安全使用问题。永久船闸锚固工程施工中的高排架的搭设及安全使用,既是技术问题,又是管理问题。因此,高排架的搭设及安全使用也是锚固工程施工中的一大难题。

(5) 高强锚杆施工的技术难题。高强锚杆既具有锚固岩体,又具有稳定结构混凝土的双重作用。锚杆设有自由段,自由段的防腐处理和寿命问题,同样是锚固工程施工中的一大难题。

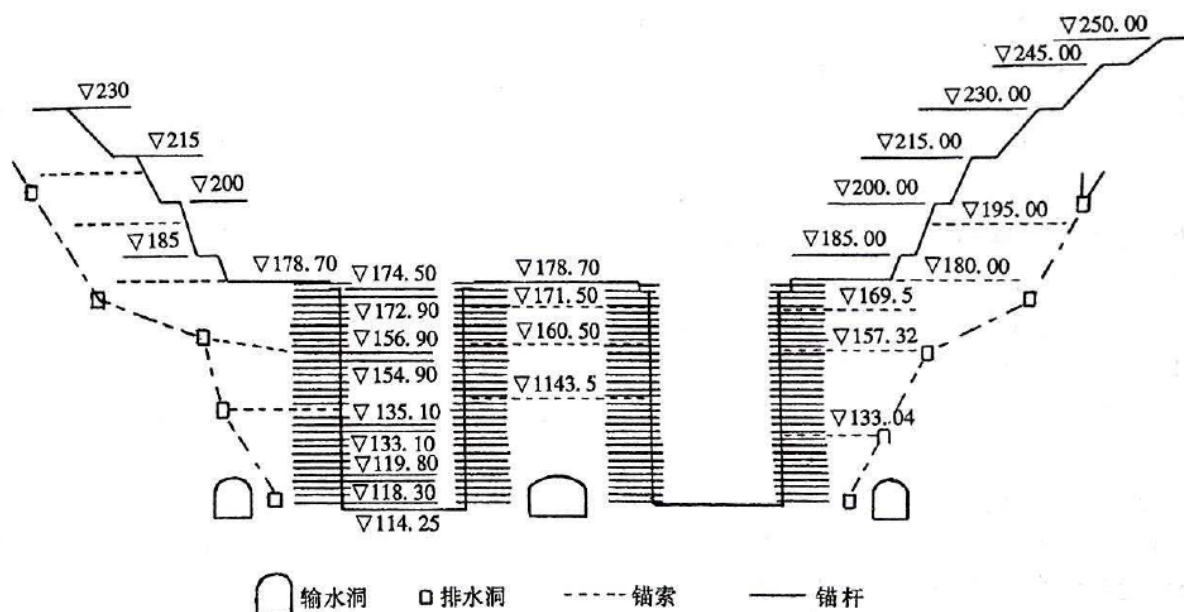


图1 永久船闸开挖与锚固典型断面示意图(单位:m)

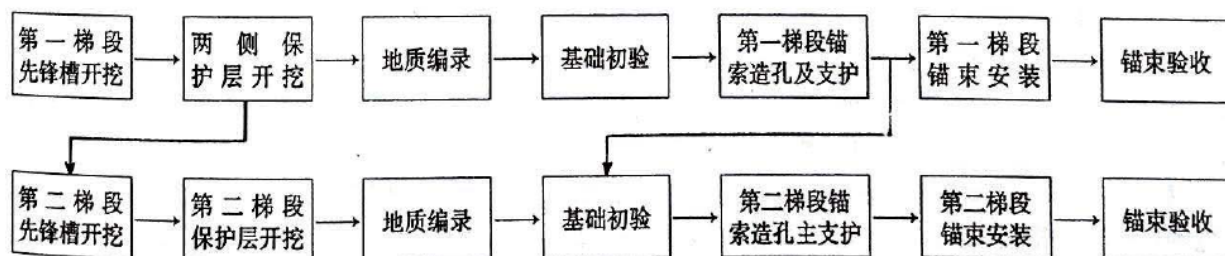


图2 三峡永久船闸开挖与锚固工程施工程序框图

2 开挖与锚固工程施工的关系及措施

2.1 施工关系

二期锚固工程量大,线长面广,结构复杂,技术含量高,周期长,互相干扰的因素多,环境条件差。由于深槽开挖与高边坡锚固的特殊性,对开挖与锚固工程的施工,也提出了特殊的要求。锚固工程施工必须紧跟深槽梯段开挖同步进行,技术要求规定,上一梯段的锚固支护工程未完成的部位,不得进行下一梯段的开挖。因此,要在狭窄的深槽内组织好开挖与锚固工程施工,排除相互干扰和相互制约的影响,必须严格按照施工程序施工,并根据现场实际,协调开挖与锚固工作面,其施工程序关系见图2。

2.2 协调原则

- (1) 先开挖,后锚固,开挖为锚固创造条件。
- (2) 自上而下,先支护后锚束,再高强锚杆。
- (3) 先闸首,后闸室,保重点,促一般。
- (4) 锚固工程已经注浆,但强度达不到70%时,该部位20m内不准进行爆破作业。

2.3 技术措施

2.3.1 提前造孔,缩短锚束施工周期

二期布设系统对穿锚1229束,其中中墩有283束,南北坡有946束。南北坡的对穿锚分别与山体排水洞对穿,由于有这样的条件,采取提前进入排水洞进行锚束造孔的措施,避开锚束施工高峰期,缩短锚束的施工周期,减少了锚固与开挖施工的干扰。

2.3.2 优化配合比,缩短施工工期

砂浆和水泥浆的强度要求是 $R_{28}350$ 号,混凝土垫墩的强度是 R_7 或 $R_{28}350$ 号。为了缩小工期,分别优化配合比,砂浆和水泥浆优化为 R_7 ,混凝土垫墩配合比优化为 R_3 和 R_7 ,但是冬季不准用 R_3 的配合比。由于优化配合比,缩短工期4~21d,同时又为开挖创造了条件和争取了时间。

2.3.3 悬空排架,减少干扰

锚束工程施工工期较长,虽然采取了缩短工期措施,但是,也是15~20d/束。南北两侧边坡的对穿锚可以在排水洞内提前造孔,但是端头和中隔墩的对穿锚必须在深槽内搭设排架施工。只要在闸槽内进行锚束施工,就占压工作面2个多月,尤其是中隔墩,由于双线开挖进度不能完全协调一致,占压时间就更长。因此,局部采取悬空排

架措施,进行锚束后续工序的施工。这个措施虽然造成排架加固投入加大,施工安全管理难度加大,但是从全局上看是有利的,减少施工干扰和缩短工期。

3 预应力锚束施工中的几个关键技术问题

3.1 水平孔造孔技术

永久船闸对穿锚束施工条件特殊、精度要求高,工程量大,强度高,是控制锚束工程施工进度的关键工序。因此,解决好水平孔钻孔的技术问题,是确保工程施工质量和进度的关键。为了解决好这个问题,针对本工程高直立墙,高排架和小隧洞(洞宽3m)的特点,采取了如下措施。

3.1.1 钻机的研制和改造

钻机是解决造孔的关键手段,为寻找适合永久船闸锚束钻孔的钻机,专门委托东北岩土工程公司研制DKM-1型钻机和改造宣化英格索兰矿山机械有限责任公司的MZ160型钻机。整个工程施工主要使用DKM-1型钻机,钻孔及钻机技术参数见表1。

表1 水平孔设计参数与DKM-1型钻机的主要技术参数

钻孔设计参数	参数值	DKM-1型钻机主要技术参数	参数值
孔深/m	15~66	钻进深度/m	100
终孔孔径/mm	$\Phi 115 \sim 165$	钻孔直径/mm	$\Phi 59 \sim 180$
钻孔角度/(°)	$0^\circ \sim 17^\circ$	钻孔倾角/(°)	$\pm 15^\circ$
		钻机质量/kg	960
		外形尺寸/mm	2750 × 1250 × 1200

3.1.2 钻孔质量控制

(1) 排架加固。在搭设好的施工排架的基础上,对钻孔孔位5m规范内的施工平台进一步加固,保证钻孔过程中排架不变形、不摆动。

(2) 钻机定位。用测量仪器测放孔位后,在开孔前用2mm/m精度的水平尺及钻具置于水平,使钻具轴线与钻孔轴线在铅垂面内重合,将钻机固定。

(3) 开孔。开孔时使钻头接触岩面不回转或采用人工轻微回转,待钻头将岩面凿出凹形坑后,再使冲击器正常回转工作。进尺有20~30cm时,重新校核钻具轴线与钻孔轴线在铅垂面内是否重合。

(4) 钻进参数。

钻压:确定钻压的原则是加压使冲压器正常工作、冲击器频率不再增高时为止。一般钻压采用6~10kN,随孔深增加而加大。

转速:DHD—340A和DHD—360型冲击器是高压冲击器,应尽量减少管路风压损失,保证较高风压,有利于提高钻进效率及保证钻孔质量。风压为0.8~1.1MPa;转速为30~50r/min;风量为15m³/min左右。

钻杆:钻杆对Φ115mm孔径应不小于Φ91mm,对Φ165mm的孔径应不小于Φ108mm。

冲击器:DHD—340A,DHD—360型。

3.2 水平孔验孔技术

3.2.1 验孔方法

验孔是对锚孔的测斜验收,是锚束施工中的工序验收。在垂直孔和夹角大于20°的测孔设备和手段都有,但是对于水平孔斜的测孔仪器和手段,目前尚未有,为了解决水平孔验孔问题,在总结经验的基础上,用土方法和测量仪器相结合的方法进行。

(1)端头锚。将手电筒反向安装放置于孔底,利用经纬仪测出灯泡的方位角和倾角,从而计算出钻孔的孔斜率。当灯泡偏离出视线时,则采用多点照像测仪测斜。

(2)对穿锚。利用经纬仪测出开孔及终孔孔位座标及高程,从而计算出孔斜率。

3.2.2 孔斜率计算公式

$$k = (\Delta L / L) \times 100\%$$

$$\Delta L = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta H^2}$$

$$\Delta X = \Delta X_2 - \Delta X_1$$

$$\Delta H = \Delta H_2 - \Delta H_1$$

式中, k 为孔斜率; ΔL 为钻孔偏移量,m; ΔX 为钻孔水平偏移量,m; ΔH 为钻孔竖向偏移量,m; ΔX_2 为终孔水平偏移量,m; ΔX_1 为开孔水平偏移量,m; ΔH_2 为终孔竖向偏移量,m; ΔH_1 为开孔竖向偏移量,m。

3.3 高直立墙穿束问题

永久船闸闸槽开挖后,形成宽37m的南北两个深槽,锚束布置在高45~68.5m双线双向直立墙上,在开挖施工未结束之前,沟通南坡—中隔墩—北坡的交通桥(未建),竖直运输门机设备尚未安装,闸槽内锚束施工与开挖施工又相互矛盾,对锚束的运输安装提出了一大难题。为了解决这一

难题,采取在南北坡(或中隔墩)顶面设一支墩和斜拉桩,缆索连接到中墩支墩或锚束孔口附近锚杆固定。运输锚束体时,按间距3m在缆索上布置带钩的滑轮,滑轮之间用一根粗麻绳连在一起,中间预留足够左右移动长度;一端用麻绳控制速度,另一端牵引,匀速把束体送至需要穿束的位置。对穿锚的穿束,在利用运送束体的缆索的同时,还在孔的另一端安装小卷扬机配合牵引,完成穿束工序。端头锚的穿束,利用运送束体的缆索,配以人工推送完成穿索工序。由于采用缆索的施工方法,不但节省人力、物力,而且避免了锚束体在运输过程中的扭曲变形,解决了闸槽内施工矛盾问题,提高了功效。

3.4 高排架的搭设及安全使用问题

永久船闸系统锚束施工,施工组织设计安排滞后开挖1~2梯段施工,直立坡高度在15m以上;动态设计的锚束,在闸槽开挖成型后,根据地质编录资料而布置,锚束孔位高度最高达60m。要在如此高的排架上利用回旋冲击钻(钻机自重近1t,一套钻杆近1.5t)进行锚束造孔安装并保证施工安全,确实是非常复杂的问题,因此,高排架的搭设必须严格按设计图纸施工,并满足以下要求:

- (1)排架的自身安全与稳定;
- (2)施工排架要求能抗冲击、不摇摆;
- (3)能满足承重要求;
- (4)使用的钢管和扣件,必须满足质量要求。

高排架使用前,必须经过施工单位自检合格,报指挥部安全处验收合格发使用证,并挂牌明确现场责任人管理使用。

4 高强锚杆施工工艺

4.1 自由段防腐保护

高强结构锚杆由内锚段、自由段和外锚段等3部分组成。杆体材料为V级32mm精轧螺纹钢。自由段长度有0.5m,1.0m和1.5m等3种形式,均安装在岩体与结构混凝土接触面处,起到适应变形,提高抗剪能力和稳定结构的作用。

4.1.1 工艺流程

喷砂除锈→热喷锌→封闭涂料→橡胶套管→验收

4.1.2 工艺施工

(1) 喷砂除锈。喷砂除锈前,先清除杆体表面油污浮锈,后再进行喷砂除锈。喷砂除锈后杆表面清洁度应达到 GB8923—88 中的 $S_{a2}1/2$ 级,表面粗糙度为 $40 \sim 80 \mu\text{m}$ 。

(2) 喷锌。喷锌工艺采用先进的热喷涂方法—电弧喷涂。电弧喷涂采用 XDP—5 型电弧喷涂机,主要选用 $\Phi 3\text{mm}$ 的锌丝。喷涂层厚度为 Zn200。

(3) 封闭涂料。封闭涂料采用 BW9306 和 BW9355 两种,BW9306 为底漆,BW9355 为面漆,封闭涂料层厚 $200 \mu\text{m}$ 。

(4) 安装橡胶套管。漆膜完全固化后,安装橡胶套管。橡胶套管是根据设计要求参数,专门配方经生产性试验合格后,指定专门厂家生产。安装时,根据设计自由段长度切割橡胶套管,并按要求准确安装,然后在两端用高压绝缘胶带绑扎牢固。

(5) 验收。所谓验收,是指对锚杆自由段防腐处理工艺过程验收。验收合格的产品才能用到工程上。

4.2 锚固段中设托架

锚固段中安装托架,主要是保证锚固段中杆体的砂浆保护厚度,提高杆体的耐久性。托架的材料,采用 $10 \sim 12\text{mm}$ 钢筋下料加工成型后夹在杆体上。托架的布置,距孔底和自由段 0.5m 处各设一个,中间段每距 2.0m 设一个。

4.3 封孔灌浆工艺的改善

为了确保高强锚杆封孔灌浆质量,在锚杆内锚段增设进回浆管,孔口进行封堵。灌浆时,回浆管回浓浆后并浆 10min ,同时抬高回浆管高于孔口 1m 以上的位置绑孔好后,结束灌浆。此后永久船闸除随机锚杆外,都采取增设托架和封孔灌浆的工艺。

5. 问题和建议

5.1 有粘结预应力锚索的耐久性问题

由于永久船闸直立边坡(墙),不同于一般工程的边坡,既要保证施工期稳定又要保证运行期间的稳定。本工程运行后闸室水位变幅频繁,结构受力复杂,对钢绞线的耐久性显得更加重要和

突出,因此对如下问题应该引起注意。

(1) 有粘结预应力锚索张拉段钢绞线的保护偏于单薄,只采取水泥浆结石保护与建筑物的永久性和重要性有一定的差距。

(2) 受水位变幅频繁作用的影响,高应力状况下的锚束应力变化频繁,既造成钢绞线的疲劳,又可能产生局部保护水泥结石拉裂,造成有毒物质侵蚀影响局部钢绞线的寿命。

(3) 由于船闸工况特殊,高直立墙,最底一排锚束长期处于水中,要采取补救措施相当困难,且影响也相当大。

5.2 关于二期进浆管堵塞问题

在施工过程中,由于多种原因造成少量锚束二期进浆管堵塞,为了保证二期进浆管堵塞后封孔灌浆质量,现场采用排气管、备用管和加钻排气孔等措施进行处理。

(1) 在锚索工程施工灌浆方法上的改变:原设计是孔底进浆,回浆管回浓浆后,并浆结束。采取补救措施后的灌浆方法为孔口内循环灌浆。采取孔口内循环灌浆后,增加了灌浆过程的工艺控制。a. 实际吸浆量大于或等于理论吸浆量;b. 灌浆时压力提高至 0.7MPa ;c. 回浆比重大于或等于进浆比重;d. 回浆管回浓浆后,孔内不明显吸浆,并浆 30min 结束。

(2) 主要异议:一种意见认为这种灌浆方法和控制措施保证了封孔灌浆的密实度;也有一种意见认为很难保证封孔灌浆密实度。

5.3 建议

(1) 3000kN 级的预应力锚索,钻孔终孔孔径应不小于 $\Phi 176\text{mm}$ 。

(2) 对于水平端头锚索的二期进浆管最好从锚具中间引出,避免堵塞。

(3) 对永久性工程的预应力锚索,应提高防腐意识,采取 $2 \sim 3$ 道防护措施。有关专家认为永久性工程应推广使用无粘结锚束,这个问题值得加以研究。

(4) 水平孔钻孔难度太大,且不利于封孔灌浆。建议改为斜孔,既有利于钻孔,又利于保证封孔灌浆质量。