

小浪底水利枢纽工程排沙洞无粘结预应力混凝土施工

祖铁华

(中国水利水电第三工程局四分局 陕西 安康 725011)

摘要:介绍小浪底水利枢纽工程排沙洞无粘结双层环绕后张拉预应力钢筋混凝土施工中钢筋的加工及现场定位拼装,混凝土浇筑,锚具槽的施工,锚索的布置与张拉,锚索、锚具的防腐等施工工艺和工序。该施工方案锚索安装精度高,张拉摩擦系数小,取消了预埋波纹管,减少了张拉、锚具槽回填的工作量,提高了施工控制水平,能确保施工进度和施工质量。

关键词:混凝土施工;预应力混凝土;锚具槽;锚索张拉;防腐;无粘结预应力锚索

中图分类号:TV546;TV672+.1

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2001)06-0046-03

小浪底水利枢纽工程 3 条排沙洞首次在国内使用了无粘结双层环绕后张拉预应力混凝土施工技术,成功解决了有粘结环绕后张拉预应力混凝土施工中的预埋波纹管、穿钢交线、张拉过程中的断丝、施工工序繁琐、施工控制难度大以及张拉时环向混凝土受力不均匀等技术难题^[1]。该施工技术填补了我国预应力混凝土施工领域的一项空白。1998 年 3 月 27 日和 4 月 7 日,在 1 号排沙洞第九、第十段,进行了无粘结双层环绕后张拉预应力混凝土施工实验。对实验段内安装的 190 个观测仪器观测值的分析证明,排沙洞采用双层环绕无粘结后张拉预应力混凝土施工方案是可行的,施工质量和进度满足设计要求^[2]。排沙洞纵面布置见图 1,排沙洞预应力段混凝土施工参数见表 1。

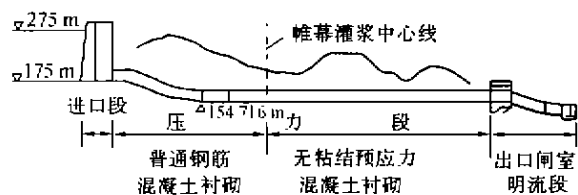


图 1 1 号排沙洞剖面

表 1 排沙洞预应力混凝土施工参数

部 位	衬砌洞径/m	预应力段洞长/m	锚索/m	预应力混凝土/m ³	工期/月
1 号排沙洞	6.5	735.05	140251.2	16371.3	14
2 号排沙洞	6.5	723.00	137952.0	16571.9	10
3 号排沙洞	6.5	735.05	140251.2	17059.4	12
合 计		2193.10	418454.4	50002.6	

1 锚索和锚具槽的布置及锚索张拉顺序

排沙洞预应力混凝土每个衬砌单元长 12.05 m,衬砌厚度 0.65 m,每个衬砌单元布置了 24 束锚索,分内、外两层布置,每束锚索水平间距 0.5 m,层间距 0.13 m,锚索环绕两圈 720°包角后相交于锚具槽内;每个衬砌单元左右侧预留 24 个锚具槽,锚具槽为两侧不对称间隔布置。锚具槽为倒楔形棱台状,几何尺寸为 1.54 m × (0.28 m, 0.3 m) × 0.25 m (长 × 宽(顶宽,底宽) × 深),锚索、锚具槽的布置及锚索张拉顺序见图 2。

2 主要施工设备及材料

排沙洞无粘结预应力混凝土主要施工设备和材料见表 2。

表 2 排沙洞无粘结预应力混凝土施工用主要设备和材料

设备名称及材料	生产厂家及型号	数量
可移动内层钢筋、锚索定位台车	CGIC 承包商设计制造	3
全断面上置式针梁钢模台车	意大利 CIFA 公司	3
HOZ 950/100 型千斤顶, DSI 77-159A 型电动油泵	德国 Dyrndag 公司	6
无粘结高强度低松弛钢绞线	天津市第一预应力钢绞线有限公司	
OVM, HM15-8 环锚锚具, 张拉锚板(40Cr)	柳州欧维姆(OVM)建筑有限公司	
防腐材料 DLS-6808 型等	德国 DSI 公司	

3 排沙洞无粘结预应力混凝土施工方法

3.1 主要施工工艺

排沙洞无粘结预应力混凝土施工工艺流程见图 3。

作者简介:祖铁华(1956—),男,河北定兴人,工程师、主要从事水利水电工程施工技术工作。

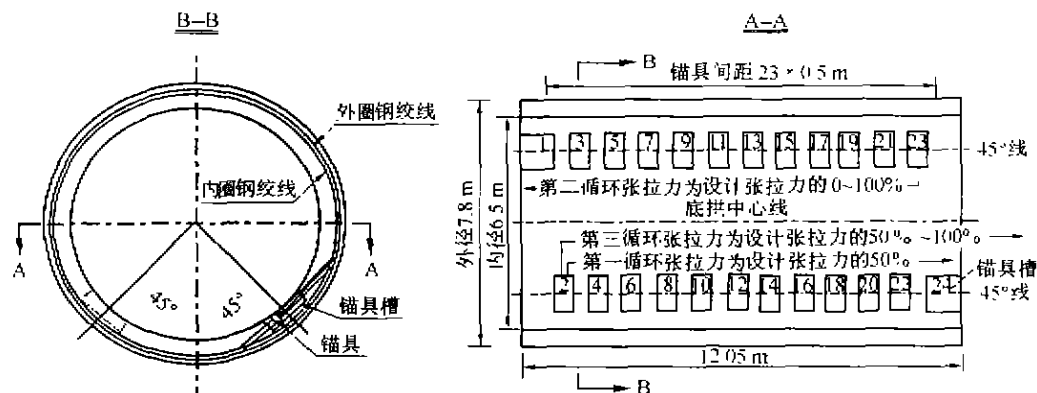


图2 锚索、锚具槽布置及锚索后张拉顺序

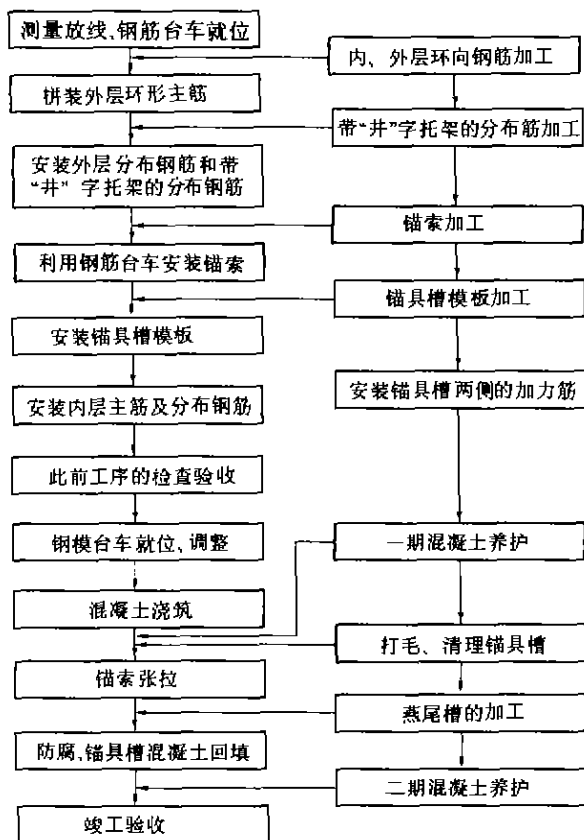


图3 排沙洞预应力混凝土施工流程

3.2 预应力锚索的加工

锚索截长及缠绕成型是在加工厂进行的,加工厂内设有—与排沙洞每一组张拉锚索实际缠绕轨迹相同的1:1加工平台和两个旋转平台,在加工平台上锚索的缠绕轨迹是由间隔0.6m的钢筋支撑点控制的,在这个缠绕轨迹上标有排沙洞底拱中心线和锚具槽中心线的标记,以便对缠绕加工的锚索作上安装标记。锚索加工时,将出厂的两盘锚索吊放在两个旋转平台上,从每个锚索盘中抽出一根锚索头固定在加工平台标有锚具的位置,顺着加工平台将锚索沿设计轨迹缠绕,每间隔0.6m进行一次绑扎固定,同时在锚索上用油漆标明排沙洞底拱中心线和

锚具槽中心线位置,以保证锚索的后续安装精度。最后,将加工好的锚索吊放在改装汽车上,运进洞内施工现场。

3.3 钢筋的加工

在加工厂按排沙洞钢筋图,将环形内、外层主钢筋加工成4节便于运输和现场组装的弧形段;锚索安装是利用焊接在分布钢筋上的“井”字托架进行的,“井”字托架的作用是控制锚索的安装位置、固定锚索,在加工厂按锚索布置的位置将“井”字托架焊接在分布钢筋上,这一加工措施进一步保证了锚索的安装精度,使经张拉后的预应力混凝土受力分布均匀,加快了施工进度,保证了施工质量,同时也减少了洞内施工工序。

3.4 钢筋、锚索、锚具槽模板安装及校验

3.4.1 钢筋、锚索的安装

钢筋、锚索的安装按以下顺序进行:①在验收合格的仓号内,沿洞轴向按1.5m的间距测放8个安装钢筋的控制截面。②在截面所测放的钢筋安装控制点上用手风钻造0.5m深的孔,并装上 $\varnothing 25$ 的钢筋,外露0.5m,以此作为钢筋的绑扎安装的控制点。③现场焊接拼装外层已加工好的4段环形主筋。④交替间隔绑扎带有“井”字托架的分布钢筋和普通分布钢筋,并测量安装精度。⑤利用钢筋台车安装锚索,将锚索上所作的底拱中心线、锚具槽中心线标记对准测放的底拱中心线和锚具槽中心线的标志钢筋,并绑扎好锚索,而后将锚索依次对称的由底向上绑扎在分布钢筋的“井”字托架上,最后调整锚索位置并将有两组共计 8×2 根的锚索头完全并相交固定在锚具槽内。⑥焊接内层4段已加工好的环形主筋。

排沙洞锚索“井”字托架布置见图4。

3.4.2 锚具槽模板的安装工序

钢绞线安装完毕后,开始安装加工好的锚具槽模板——锚具槽盒,其工序如下:锚具槽盒钢筋托架定位→托架上铺设一层2.5mm的钢丝网→钢丝网

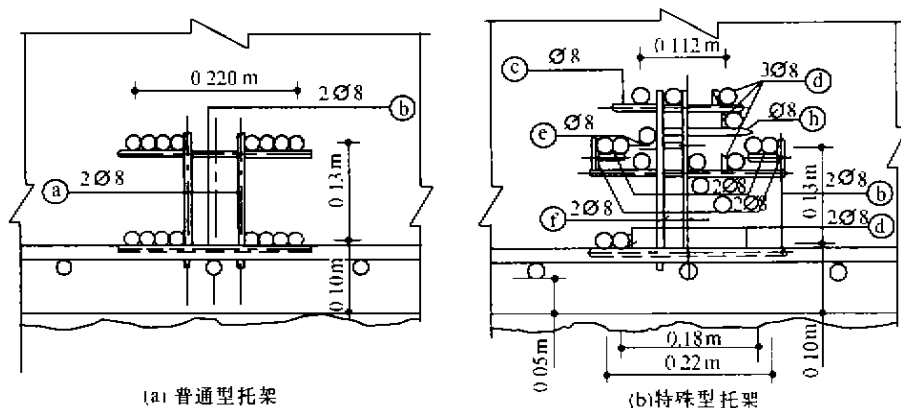


图4 “井”字托架示意图

上铺设一层4mm厚的泡沫板→泡沫板上安装锚具槽盒底模、并固定锚索张拉端→立锚具槽盒边模→用卡子拉杆固定锚具槽模板→安装锚具槽顶部弧形模板→将20mm厚泡沫板包裹锚具槽盒边模板并用胶带密封→安装锚具槽两侧防止锚索张拉时产生的径向拉应力对混凝土破坏的加力钢筋。

3.4.3 校验

为确保钢筋、锚索、锚具槽模板的安装精度,施工中还按以下技术规范对锚索、锚具槽模板安装精度进行校验。

a. 锚索允许误差:锚索所在平面应与隧洞中心线垂直,其偏差控制在 $\pm 0.15^\circ$ 。

b. 锚具槽允许误差:预留锚具槽与锚索中心线一般控制在设计要求范围内,其偏差控制在 $\pm 10\text{mm}$ 以内,锚具槽中心承压板面要与锚索中心线垂直。

4 混凝土浇筑

排沙洞混凝土浇筑是利用意大利CIFA公司设计制造的全断面针梁钢模台车进行的,针梁台车有4个可升降的液压支撑柱,30.5m长的桁架和可供模板移动就位的传动部分,模板由一块固定的弧形顶模,两块活动的弧形边模、两块活动的弧形底模组成,每块模板沿洞轴线方向长12.05m,模板撑、收是由液压系统控制的,模板上安装了48台气动附着式震捣器,并设置了24个喂料及观察窗口和4个便于浇筑顶拱的冲天供料孔。

钢模台车移动时,液压缸抬起2块底模,下放边、顶模,并行走,模板就位后,升起顶模,撑起边模,最后放下底模并按测量数据调整模板,钢模移动是靠针梁上的液压绞链实现的。

混凝土浇筑采用1台国产SANY60型混凝土泵,3台 6m^3 混凝土罐车送料,每台罐车运送的混凝土经混凝土泵及输料管(进入观察窗口的混凝土输料软管)

泵送到钢模台车观察窗口,泵送混凝土达到一定高度时,启动附着式振捣器进行振捣,混凝土由下而上平衡输入,最后结束于顶拱,顶拱混凝土由冲天管输入,辅助振捣是用6支软轴式振捣器进行的。

排沙洞预应力混凝土一个单元施工循环周期一般为5d左右,混凝土浇筑结束后,12h可移动钢模台车,混凝土脱模后,拆除锚具槽模板和清理打毛锚具槽内各个面的一期混凝土,进入锚索张拉施工,为更好的养护混凝土,在进出口设置挡风帘,以防“穿堂风”影响混凝土质量。

5 钢绞线张拉

当混凝土达到28d设计强度或混凝土抗压强度达到40MPa,即可进行张拉锚索的工作,锚索张拉工序为:用砂轮切割锚索多余部分,剥掉张拉端锚索外层PE套管,擦去锚索上的防腐油,用集张拉与固定为一体的游动型锚具卡固靠近底拱中心线锚具槽一端(称下槽)的8根锚索,在锚具槽另一端(称上槽)装上防腐件及锚板、夹片、偏转器,安装千斤顶及连接液压泵,进行工序检查,然后锚索张拉。

在张拉时为避免相邻两束锚索间的张拉力差值偏大而导致混凝土衬砌产生不均匀的拉应力,一般采用两台千斤顶同时张拉两组 4×2 根锚索,锚索张拉前,先将各锚具槽内的锚索按顺序预加10%的控制张拉预应力,然后按图2的张拉顺序进行张拉,根据技术规范,锚索的张拉控制在破断力的75%,锚具处的锁定前设计张拉力为1473kN,锁定后的张拉力控制在大于1259kN,但施工中实际张拉力略偏大,当张拉力达到1541kN时,不再加荷,将张拉力稳定10min,检查周边混凝土和锚具槽内锚索的变化,确定安全后,安放锚片锁定锚索,锚索因锁定回缩的影响,张拉力约为1352kN,满足技术规范要求。

(下转第50页)

工.现场实测坍落度 213 次,最大值 3.5 cm,最小值 1.0 cm,平均值 1.9 cm.由于面板混凝土施工在气温较低的季节,故使用的 NMR 复合外加剂中没有调凝组分.

面板混凝土所用水泥选用安徽铜陵水泥厂生产的 425 号普通硅酸盐水泥;骨料选用母岩为凝灰岩的人工骨料,其最大粒径 40 mm,分为 5~20mm,20~40mm 两级;黄沙选用福建闽江河沙,细度模数 2.6~2.8;外加剂选用中国水利水电第十二工程局施工科学研究所外加剂厂生产的 NMR 复合外加剂,减水率 16%~18%,含气量约 2.5%.

面板混凝土配合比如下:水灰比 0.52;沙率 36%;水泥 288 kg/m³;河沙 676 kg/m³;5~20mm 的碎石 502 kg/m³,20~40mm 的碎石 742 kg/m³;NMR 2.02 kg/m³;水 150 kg/m³;28 d 抗压强度 27.9 MPa;抗渗标号为 S8;坍落度 10~40 mm.

低坍落度混凝土的实际参数及质量指标如下:抗压强度(抗压试块 48 组)设计值为 20 MPa,最大值 34.3 MPa,最小值 25.8 MPa,平均值 30.8 MPa;离差系数 0.072;强度保证率 99.9%;抗渗标号(取样数 5 组)的设计值为 S6,抗渗试块 5 组的抗渗标号均大于 S6.

岑港水库面板 1998 年 3 月 27 日通过验收,单元工程优良率为 90%,质量等级优良.自 1998 年开始试蓄水,运行良好,混凝土面板光洁,未发现裂缝.面板混凝土抗压、抗渗、抗裂性能均达到或超过设计要求,混凝土质量优良.以上结果表明,采用低坍落度混凝土

能够满足面板混凝土的施工要求,能够提高混凝土面板的质量,是避免面板出现裂缝的有效方法.

3 结 语

a. 采取降低混凝土单位用水量,使用低坍落度混凝土进行混凝土面板施工能够有效地提高混凝土面板的各项性能指标,是使混凝土面板避免出现裂缝的有效方法.

b. 岑港水库混凝土面板使用低坍落度混凝土满足面板混凝土施工要求的关键在于混凝土中加入 NMR 复合外加剂.

c. 使用 NMR 复合外加剂,混凝土坍落度可控制在 4 cm 以下,平均 1.9 cm,有很好的施工和易性,保证顺利溜槽和滑模浇筑,脱模后经过压面和及时养护,达到良好的外观和内在质量,复合剂的良好效果已在实践中得到证明.

d. 掺有 NMR 复合外加剂的混凝土可降低水泥用量(满足设计要求时,再减少水泥用量仍是可能的),使混凝土的干缩减少,再加上适当的引气效果,对提高混凝土防裂、抗渗性能起到了双重的功效.

e. 掺有 NMR 复合外加剂的混凝土可调节混凝土凝结时间以满足不同的施工要求.从施工角度考虑,可选择适当时机进行下一道工序的操作,从而保证混凝土的质量,提高生产效率.

(收稿日期:2000-10-30 编辑:张志琴)

(上接第 48 页)

6 锚索防腐及锚具槽混凝土回填

由于排沙洞是常年在高含沙、高流速的状态下工作的,防腐、回填混凝土就显的尤为重要.锚索张拉锁定验收后,进行张拉端锚索、锚具防腐及混凝土回填工作.其施工工序是:清理锚索和锚具→张拉端锚索加 PE 防护套管→PE 套管内灌注防腐油脂→锚索端头加防护帽→锚具等表面涂 5 mm 防腐油脂→防护罩密封→燕尾槽的加工→锚具槽混凝土回填.

锚具的回填采用 C40 无收缩混凝土.先用切割机将锚具槽口切深 50~80 mm,宽 50 mm 的燕尾槽形式,回填混凝土前,将进口 Sika 丙乳胶刷在锚具槽打毛后的混凝土表面,用 6 mm 的铁板作为锚具槽顶模板,固定在一期待浇混凝土的锚具槽上,并在该模板上部做一个活页模板.混凝土浇筑时,混凝土顺活页模板流入锚具槽内,浇筑完毕后,将活页模板封闭至弧面一期的混凝土上,拆模后进行混凝土表面的打磨修面.

7 结 语

小浪底水利枢纽工程排沙洞预应力混凝土衬砌施工已经顺利结束,施工中各项指标均符合设计要求,在后张拉双圈环绕无粘结预应力锚索混凝土施工中,创建了一套完整的施工方案.目前排沙洞已投入运行 1 a 多,运行状况良好.实践证明,这一施工方案是合理、成功的.该施工方案的优点是:①锚索安装精度高,工序紧凑,操作简便,易控制且不易出差错;②取消了预埋波纹管,简化了穿钢绞线、灌浆等繁琐工序;③张拉摩擦系数小,避免了断丝,减少了张拉、锚具槽回填工作量;④施工现场相互干扰少,进度明显加快;⑤各工序之间相互联系,环环相扣,施工质量和进度得到了很好的保证.

参考文献:

- [1] 林秀山,沈凤生.黄河小浪底水利枢纽排沙洞后张法预应力混凝土衬砌的设计研究[J].水利水电科技进步,1999,19(4):2~25.

(收稿日期:2000-11-16 编辑:马敏峰)