

丹江口水库大坝加高工程应力分散型 预应力锚杆研制及应用

廖勇

(中国水利水电第三工程局有限公司, 陕西 西安 710032)

摘要:介绍了丹江口水库大坝加高改造工程中采用的应力分散型、自锁式内锚头预应力锚杆技术。项目研制了性能可靠、结构合理的专用扩孔器具和自锁式内锚头,解决了50 m深孔高精度钻孔难题。该锚固技术改善了内锚固段应力集中的不良状态,改变了普通锚杆预应力通过内锚固体与孔壁的粘结力传递到承载体上的方式,而是通过在扩孔段设置的自锁式内锚头,以压力的形式,分散直接作用于不同深度的承载体上,锚固力不会因粘结力衰减而损失,起到长期锚固的作用。

关键词:应力分散型锚杆;自锁式内锚头;扩孔器具;预应力锚杆;锚固;水库大坝加固

中图分类号:TV698.2⁺3 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2015)12-0048-04

Development and Application of Stress-dispersion Pre-stressed Anchor Rod in the Danjiangkou Dam Heightening Project/LIAO Yong (Sinohydro Bureau 3 Co., Ltd., Xi'an Shaanxi 710032, China)

Abstract: This paper introduces the stress-dispersion and self-locking type pre-stressed anchor rod technology used in danjiangkou dam heightening project. The special reaming tools and self-locking type anchor with reliable performance and reasonable structure were developed to complete the difficult 50m high precision drilling in the project. With this anchorage technology, stress concentration in the inner anchorage section was improved; ordinary anchor pre-stress transmission to base through bonding between inner anchorage body and hole wall was changed by the use of self-locking inner anchors designed for the hole enlarged sections with dispersed pressure directly applying on the base at different depth. In this case, the anchoring force will not lose along with bond force decreasing, long-term anchoring can be ensured.

Key words: stress-dispersion type; self-locking inner anchor; reaming tool; pre-stressed anchor rod; anchoring; consolidation of reservoir dam

1 工程概述

丹江口水库大坝加高工程是南水北调中线水源工程的渠首大坝改造工程。丹江口水库位于湖北省丹江口市,其水利枢纽由两岸土石坝、混凝土坝、升船机、电站厂房等建筑物组成,工程建成于1973年。大坝加高后,坝顶高程由162 m抬高至176.6 m,正常蓄水位由157 m抬高至170 m。在大坝加高施工过程中,检查发现溢流坝段闸墩中部存在多条水平层间缝,这些水平层间缝削弱了闸墩刚度和整体性,对闸墩加高后的结构受力性能有影响;另一方面在部分闸孔泄洪时,一侧泄洪、另一侧闸孔关闭,这种工况下闸墩非对称受力,计算分析反映在闸墩上游端部分区域存在拉力区,使原先已存在的层间缝局部有张开趋势,在闸孔泄洪振动荷载作用下将影响闸墩的耐久性。为此,考虑加高后工程的安全,对闸墩进行预压

应力加固处理措施,提高闸墩的整体性和耐久性。

2 预应力加固方案

在14~24号坝段闸墩上增加预应力锚索和锚杆,每个闸墩采用5束200 t(2000 kN)级预应力锚杆(索),内锚段深入老混凝土4~12 m,加固方式为:“闸墩上游侧3根有粘结锚杆+闸墩尾部2根无粘结锚索”,共20个闸墩,布置100个锚固孔,有粘结预应力锚杆采用应力分散型、自锁式内锚头的形式。锚固孔位布置如图1、图2所示,预应力锚杆结构如图3所示。

3 施工技术难点及对策

3.1 钻孔

3.1.1 难点

收稿日期:2015-05-19; 修回日期:2015-11-13

作者简介:廖勇,男,汉族,1963年生,副总工程师,高级工程师,从事基础处理施工与研究,陕西省西安市灞桥区米秦路15号,1139252012@qq.com。

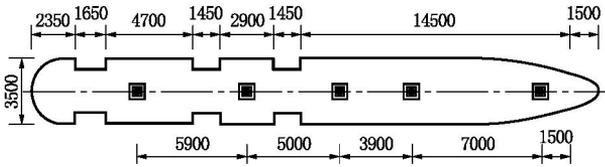


图 1 锚固孔位布置平面图

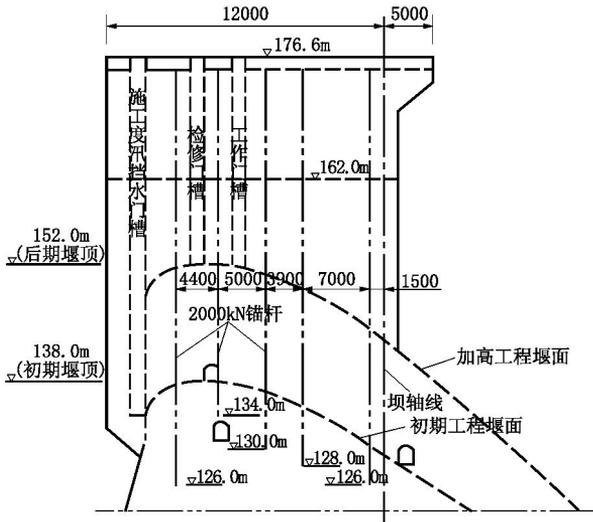


图 2 锚固孔位布置剖面图

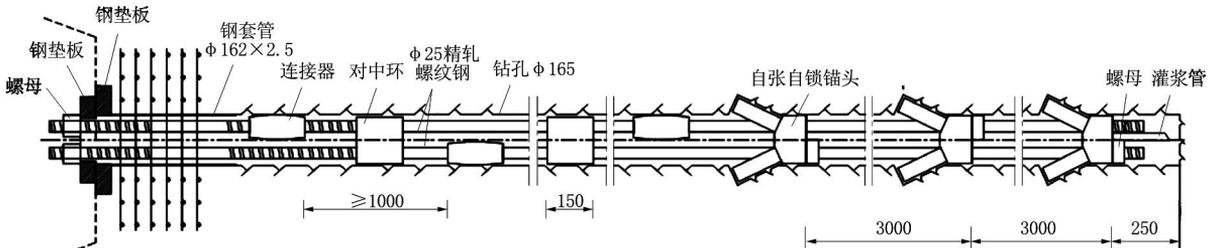


图 3 预应力锚杆结构图

由于预应力锚固是闸墩加高完成后增设的,混凝土浇筑过程中没有埋管预留孔,需在闸墩顶向下钻 42 ~ 50 m 深孔,孔径 171 mm。闸墩内埋设有观测仪器、电缆,泄流面下还有廊道,钻孔孔斜偏差要求高,需控制在 3‰ 以内,每一个孔均要达到倒垂孔的钻孔要求,高精度钻孔是项目施工的难点之一。

3.1.2 控制钻孔精度措施

- (1) 采用 XY-2、XY-2B 型或相同性能的地质回转钻机,钻机功率大、稳定性好;
- (2) 提高钻探管材丝扣加工精度,保证管材同心连接;
- (3) 选用 $\varnothing 89$ mm 锁接头钻杆, $\varnothing 168$ mm 岩心管配 $\varnothing 171$ mm 金刚石钻头钻进;
- (4) 孔深达到一定深度后,加长粗径钻具,配钻铤孔底加压钻进;
- (5) 采用高精度的测斜仪,每 2 m 测孔一次,发现偏斜,即时采取纠斜措施。

3.1.3 纠斜措施

在钻孔过程中,不可避免要发生孔斜,超出了

控制标准,就要采取纠斜措施。就大口径高精度钻孔而言,有以下几种纠斜措施。

- (1) 平移钻机纠斜:利用粗径钻具(岩心管)与孔壁的环状间隙,向孔斜的方向平移钻机,使粗径钻具上部紧贴一侧孔壁钻进,孔深在 10 m 以内采用这种方式纠斜效果较好。
- (2) 变径纠斜:在孔底偏斜的方向下一个楔形体,控制孔底变径开孔位置,使变径钻孔与孔口的同心度满足偏斜要求。如变径后的孔径不能满足要求,可采用在原钻具上安装下导向装置对变径孔段进行扩孔,达到孔径不变纠斜的目的。
- (3) 内导向纠斜:在偏斜的钻孔内埋设比钻头内径小的内导向管,钻具顺内导向管向下钻进,达到纠斜的效果。
- (4) 孔口移位纠斜:钻孔偏斜后,分析各孔段偏

斜情况和孔位允许偏差范围,可考虑利用钻孔的下部孔段,在孔口处进行移位修正钻进与其对接,达到孔斜偏差要求。

该项目共完成钻孔 100 个,其中锚杆孔 60 个,锚索 40 个,通过采取以上纠斜措施,钻孔孔斜控制在 1.3‰ ~ 2.8‰ 范围内,全部符合设计要求。

3.2 扩孔器具研制

内锚段扩孔位置距孔底分别为 0.5、3.5、6.5 m,扩孔孔形为倒锥面(见图 4),锥底直径 285 mm。目前国内无配套的成品扩孔器具满足施工要求,扩孔器具的开发研制是项目施工的难点之二。

采用机械连杆传动原理,通过钻杆垂直向下压力打开扩孔器刀片切削混凝土,提升钻杆刀片自动退回。扩孔器刀片最大张开角度为 26.56°,最大扩孔直径 285 mm。经过多次刀片磨损及扩孔工效对比,

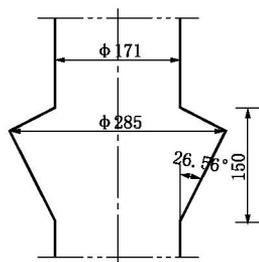


图4 扩孔示意图

最终确定刀片角点采用圆形金刚石复合片、直线段采用长方形金刚石复合片组合的镶嵌方式。扩孔器具(见图5、图6)满足施工需要,性能可靠,结构合理,已申报发明专利(受理号201410689163.5)。



图5 扩孔器具

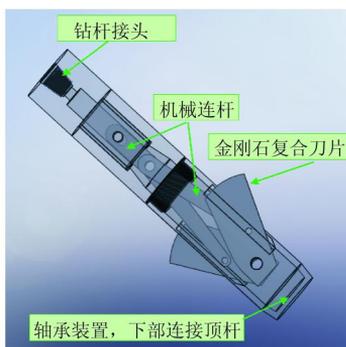


图6 扩孔器具结构图

3.3 自锁式内锚头研制

为了充分利用混凝土的强度,使其应力沿内锚固段分布均匀,预应力锚杆采用应力分散型、自锁式内锚头,锚固力通过自锁式内锚头以压力的形式分散作用于不同深度的混凝土上,实现较高锚固力。目前国内没有这种自锁式内锚头,研制工作是项目施工的难点之三。

采用重力偏心自动张开楔块原理,经过多次工艺试验进行结构调整,自锁内锚头(见图7)由楔块和支座组成,材料为Q235B,楔块分成6瓣,组装合拢后的圆筒外径155 mm,楔块张开后的张开角为

26.56°,楔块长161 mm。叶瓣楔块伸缩灵活,自动打开后与底座完全闭合,并能与扩孔段形状准确楔合,承载受力结构合理。该装置获实用新型专利(专利号为ZL201420534644.4)。



图7 自锁式内锚头

4 施工工艺

4.1 工艺流程

测量放孔位→钻机就位稳固→ $\varnothing 171$ mm 钻进至终孔→自下而上内锚段扩孔→洗孔并抽干孔内积水→孔内摄像观察扩孔形态→整体组装锚杆并一次吊装入孔→孔口锚垫板安装→分组提升锚杆使其对应的自锁内锚头到扩孔位置张开锁紧→自下而上进行内锚头灌浆、张拉锁定→张拉段封孔灌浆→切割孔口多余锚杆、二期混凝土封锚保护。

4.2 锚杆制作、安装

锚杆采用 $\varnothing 25$ mm 精轧螺纹钢筋,公称面积 490 mm^2 ,屈服抗拉力598.9 kN,伸长率6%,弹性模量206 GPa,抗拉强度1080 MPa。

每根锚杆由3组6根钢筋组成,2根对角为一组,每组与对应的自锁内锚头楔块座用螺母连接,未用螺母连接的钢筋与楔块座之间可相对滑动,钢筋采用分组错位连接器连接,钢筋之间设隔离支架,锚杆中心布置一根可抽动的外径25 mm PE塑料灌浆管。组装完成的自锁式内锚头如图8所示。

锚杆安装方式:孔外整体组装,一次起吊入孔后,用手动葫芦分组提升锚杆,使其对应的自锁内锚头到扩孔位置张开锁紧。

4.3 锚杆灌浆

内锚固段灌浆采用高强无机灌浆料,该材料的优点是:早期强度高,等强时间短,节省工期;现场只需加水拌制,施工效率高,质量可控性好。张拉段灌浆采用P.O 42.5普通硅酸盐水泥,水灰比为0.35~0.4。高强无机灌浆料检测结果见表1。



图 8 组装完成的自锁式内锚头

表 1 高强无机灌浆料性能表

水料比	流动度/mm		泌水率/%	粘 结 力/MPa				抗压强度/MPa			抗折强度/MPa			竖向膨胀率/% 24 h
	初始值	30 min 保留值		圆 钢		螺 纹 钢		1 d	3 d	28 d	1 d	3 d	28 d	
				3 d	28 d	3 d	28 d							
0.28	325	285	0	5.4	7.6	11.5	12.6	34.9	56.5	82.7	6.5	8.8	13.6	0.042

内锚固段灌浆:下一组锚固单元灌浆、张拉完成后,再进行上一组灌浆、张拉作业。每组锚固单元的灌浆量控制在其自锁内锚头上方 2 m 处,为了准确的把控灌浆范围,采用理论定量容器人工灌注。每次灌注结束后,上拔注浆管距浆液面 0.5 ~ 1 m,等待下次注浆再用。

张拉段灌浆:最上一组锚固单元张拉完成后,即可进行张拉段灌浆。采用纯水泥浆灌注,注浆过程中,孔内浆液面上升速度按不大于 2 m/min 控制。当压力达到 0.2 ~ 0.3 MPa,吸浆率 < 0.4 L/min 时,再屏浆 30 min 结束。

4.4 锚杆张拉

锚杆采用 YCW250 型液压穿心千斤顶分组张拉。待内锚段灌浆料抗压强度达到 35 MPa 后,即可进行与之相对应的锚固单元张拉。张拉过程遵循单根预紧、分组张拉、分级加载、伸长值校核的原则。

锚杆张拉时,先对单根钢筋进行 30 kN 张拉力预紧。每组两根钢筋一起张拉时按以下拉力分级进行:单根预紧 (30 kN) → 333.33 kN → 500 kN → 666.66 kN → 733.33 kN (超张拉锁定)。

张拉过程中,升荷速率每分钟不超过设计应力的 1/10,当达到每一级控制力后稳压 5 min 即可进行下一级张拉,最后一组张拉 (超张拉),稳压 10 min 锁定。张拉时每一级荷载钢筋伸长值和稳压时的变形量,与理论伸长值进行对比校核,如果实测伸长值大于理论值的 10% 或小于 5%,要查明原因并

作相应处理。该项目预应力锚杆共张拉 180 组,实测伸长值与理论值对比偏差在 +8.5% ~ -3.2% 范围内,满足设计要求。

4.5 外锚头保护

张拉段灌浆完成后,在工作锚具外留 60 mm 钢筋,多余外露钢筋采用砂轮切割机截去,锚头作永久防锈处理,将一、二期混凝土结合面凿毛,涂刷一道环氧基液后,浇筑二期混凝土封闭外锚头。

5 锚固效果观测

完成预应力锚杆 60 根,在 3 根锚杆上安装了测力计,2200 kN 超张拉锁定后,通过 2 个月应力计观测数据显示,3 根锚杆最终测值分别为 2097.9、2099.0、2123.6 kN,已趋于平稳,初期应力损失 3.47% ~ 4.64%,锚固效果良好,符合设计要求。

6 结论

应力分散型、自锁式内锚头预应力锚杆,在一个钻孔中安装若干个锚固单元,每个单元都有自己的杆体和内锚头,张拉时分别承受相同的工作荷载。锚杆总的锚固力主要通过扩孔段设置的自锁式内锚头,以压力的形式,分散直接作用于不同深度的承载体上,改善内锚固段应力集中的不良状态,改变了普通锚杆预应力通过内锚固体与孔壁的粘结力传递到承载体上方式,锚固力不会因粘结力衰减而损失,

(下转第 56 页)

0.0062 m,发生在钻杆柱的最下端;3阶模态钻杆柱向上和向下的最大位移均为0.0083 m,分别发生在距离孔口444和1320 m处;4阶模态和5阶模态的最大和最小轴向位移相等,分布位置相近,具体位置不再叙述。

图6为钻杆柱前5阶纵向振动固有模态下的轴向位移随着钻杆柱长度的变化关系及最大轴向位移的分布情况。由图6可知,钻杆柱轴向位移随钻杆柱长度增加呈正弦波式分布,且阶数越大,半波长越短,2阶半波长为1455 m,5阶半波长为467 m。由图6可确定钻杆柱最大轴向位移的分布情况,即钻杆柱纵向振动最剧烈的部位,为减震器的安装位置提供依据。

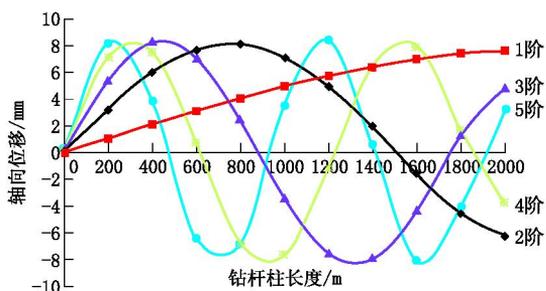


图6 2000 m 钻杆柱纵向振动前5阶固有振型曲线

5 结论

(1) 钻杆柱长度是影响其纵向振动固有频率的主要因素。钻杆柱长度增加,固有频率显著减小,且

各阶固有频率的差距也减小。

(2) 钻杆柱长度一定时,可通过改变钻具组合如更换刚度不同的钻铤或改变钻铤的安装根数来调整纵向振动的各阶固有频率、避免发生共振现象。

(3) 钻杆柱在钻进过程中会出现“蛇行”的运动方式,这对于钻杆柱纵向振动过程的了解及减震器的安装位置有一定的指导意义。

参考文献:

- [1] 章扬烈. 钻柱运动学与动力学[M]. 北京:石油工业出版社, 2001:85-90.
- [2] 江进国,舒晓勇,韦念龙,等. 基于ANSYS软件的钻杆扭转振动分析[J]. 探矿工程,2003,(S1),176-178.
- [3] 龙尧,王安义,伍嘉亨,等. 基于ANSYS软件的钻柱横向振动分析[J]. 西部探矿工程,2010,(8):42-44.
- [4] 赵国珍,龚伟安. 钻井力学基础[M]. 北京:石油工业出版社, 1988:101-112.
- [5] 谢龙汉,刘新让,刘文超. ANSYS结构及动力学分析[M]. 北京:电子工业出版社,2012:444-449.
- [6] 方鹏. 勘查钻进钻杆的实验模型与仿真分析[D]. 湖北武汉:中国地质大学(武汉),2007:27-44.
- [7] 胡中伟. 钻柱振动模态分析[D]. 黑龙江哈尔滨,哈尔滨工程大学,2007:7-33.
- [8] 闫向宏,孙建孟,张美玲,等. 钻柱扭转和纵向振动的等效网络分析[J]. 工程力学,2011,28(2):229-233.
- [9] F. S. 谢, I. E. 摩尔, R. T. 亨克尔. 机械振动原理[M]. 沈文钧,张景绘,译. 北京:国防工业出版社,1984. 10.
- [10] 方鹏,江进国,沈玺. 基于ANSYS软件的钻柱纵振模态分析[J]. 矿山机械,2007,(5):29-30.

(上接第51页)

起到长期锚固的作用。该技术充分利用结构物或地层强度,实现较高锚固力,为类似建筑物加固、边坡支护等工程提供借鉴,具有很好的推广应用价值。

参考文献:

- [1] 刘宁,高大水,戴润泉,等. 岩土预应力锚固技术应用及研究[M]. 湖北武汉:湖北科学技术出版社,2001.
- [2] 中国岩土锚固技术编写组. 岩土锚固新技术[M]. 北京:人民交通出版社,1998.
- [3] 何世鸣. 应力分散型预应力抗拔桩系列技术研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,(2):74-78.
- [4] 王全成,杨栋,严君凤. 预应力锚索锚固段钢绞线应力分布研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(7):16-18.
- [5] 周明. 装载硐室大孔径预应力注浆锚索加固技术研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(8):67-69.
- [6] 杨俊志,冯杨文. 预应力锚固工程技术的发展与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2003,(Z1):87-90.

- [7] 夏长华,田学明. 压力分散型预应力锚索在高边坡加固中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(4):35-37.
- [8] 周国锋,陈红刚,刘才高. 无粘结预应力锚索在乌江索风营水电站Dr2危岩体加固中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(10):61-63.
- [9] 袁波,吴国华,周富荣. 边坡工程中压力分散型锚索施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(10):70-73.
- [10] 曹琳. 阿海水电站碾压混凝土长心样取心技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(4):65-67.
- [11] 王琪,杨晓红. 复杂条件下大坝倒垂孔施工技术措施[J]. 西北水电,2014,(2):55-58.
- [12] 任宗社,邓德彬. 三峡左厂房1-5#坝段基础加固预应力锚索施工[J]. 中国三峡,1998,(9):7-10.
- [13] 杨晓红. 深孔倒垂孔施工精度控制. 水电施工技术[J],2009,(1):48-50.
- [14] 高大水. 国内岩土预应力锚固技术应用及锚固技术参数统计[J]. 长江科学院院报,2004,21(6):87-90.
- [15] 徐伟. 双标倒垂孔的施工与控制. 西北水电[J]. 2007,(1):55-57.