

# 堆石混凝土在高寒地区导截流工程中的应用

朱宝荣 杨新

中国水利水电第十六工程局有限公司

DOI:10.12238/hwr.v8i11.5811

**[摘要]** 某地处北疆高寒地区常态混凝土双曲拱坝,最大坝高94m,考虑到工程建设周期长,需经历4个汛期,为此,上游挡水围堰的结构安全是保证主体工程建设的關鍵,经过经济技术分析,上游围堰主体结构采用堆石混凝土方案较常规混凝土可节约材料成本约10~15%,而采用大粒径的块石代替混凝土,除材料成本的降低外,也可有效降低混凝土水化热产生,堆石混凝土的快速施工方法也有效解决施工导截流建筑物施工周期短、施工任务重的工期问题。

**[关键词]** 堆石混凝土; 挡水围堰; 节约造价; 降低水化热

中图分类号: TV551.3 文献标识码: A

## Application of Rockfill Concrete in Diversion and Interception Projects in Alpine Regions

Baorong Zhu Xin Yang

China Water Resources and Hydropower 16th Engineering Bureau Co., Ltd.

**[Abstract]** A normal concrete hyperbolic arch dam is located in a high-altitude area of northern Xinjiang, with a maximum height of 94 meters. Considering the long construction period and the need to experience four flood seasons, the structural safety of the upstream water retaining cofferdam is the key to ensuring the construction of the main project. After economic and technical analysis, the use of stone filled concrete scheme for the main structure of the upstream cofferdam can save material costs by about 10–15% compared to conventional concrete. The use of large-sized block stones instead of concrete not only reduces material costs, but also effectively reduces the generation of concrete hydration heat. The rapid construction method of stone filled concrete also effectively solves the problems of short construction period and heavy construction tasks in the construction of diversion and diversion structures.

**[Key words]** Rockfill concrete; Water retaining cofferdam; Cost saving measures; Reduce hydration heat

### 引言

工程上游堆石混凝土围堰长约157m,最大堰高30.77m,迎水面边坡1:0.1,背水面边坡1:0.65,堰顶宽度6m,每20m设置一道横缝,共7道横缝。堰顶混凝土为47cm厚C20二级配常态混凝土,EL596.53以下堰体为堆石混凝土,围堰基础采用帷幕灌浆方式进行防渗处理。

### 1 原材料

堆石混凝土重大块石粒径为 $30\text{cm} \leq d \leq 120\text{cm}$ ,除此外自密实混凝土是保证混凝土成型密实的关键,自密实混凝土为C20一级配,并具备高流动性、抗离析性、间隙通过性和填充性,因此对外加剂的主要要求为:与水泥的相容性好、减水率大、缓凝、保塑,所用原材料主要有:

1.1水泥:采用布尔津水泥厂大磨生产的P·I42.5型硅酸盐水泥,密度 $3.09\text{g}/\text{cm}^3$ ,比表面积 $408\text{g}/\text{cm}^2$ ,凝结时间为213~281min,28天抗压强度为46.8MPa,(掺量 $239\text{kg}/\text{m}^3$ )。

1.2粉煤灰:采用玛纳斯电厂生产的I级粉煤灰,密度 $2.24\text{g}/\text{cm}^3$ ,细度7.2%,烧失量2.75%,(掺量 $195\text{kg}/\text{m}^3$ )。

1.3堆石:粒径为 $300\text{mm} \leq d \leq 1200\text{mm}$ 。

1.4外加剂:采用聚羧酸WJSX-A减水剂(掺量 $2.6\text{kg}/\text{m}^3$ )、采用PMS-NEA3引气剂(掺量 $0.01\text{kg}/\text{m}^3$ )。

1.5骨料:小石(掺量 $745\text{kg}/\text{m}^3$ )、天然砂(掺量 $938\text{kg}/\text{m}^3$ )。

### 2 仓面分层分块

根据上游围堰设计结构尺寸,围堰浇筑仓面分层高度为1.8m,按照20m间距进行设置诱导缝,缝内填充沥青杉木板,总体分左右两段进行施工,待浇筑至18m时再通仓分层浇筑至围堰堰顶。

### 3 块石入仓

块石料利用原主体工程石方开挖渣料,自弃渣场采用挖掘机配合人工在弃渣场选料,选料过程中采用压力水配合人工清洗块石上面淤泥等附着物,完成后挖掘机装车,自卸汽车运输至仓面。

为保证块石入仓厚度按照1.8m浇筑层高入仓,在仓面配置小型挖掘机配合人工进行块石码放,距离模板边缘采用人工搬运小块石进行填充,避免块石入仓过程中碰撞模板。

#### 4 堆石混凝土施工控制

4.1 建基面清理:人工采用钢钎、铁镐等对基础面裸露、松动、风化严重的基岩进行清理,采用高压水进行冲洗,经监理工程师基础验收合格后铺筑C15混凝土垫层,确保上部块石入仓面基本平整,在混凝土初凝前层面插入直径16mm的钢筋,间距1.5m,作为与上层结构的连接钢筋,混凝土强度达到5MPa以上方可进行块石入仓。

每一层块石码放时要较升层高度1.8m超出约10cm,利于同上部结构产生层间结合摩擦面或剪切面,利于保证结构安全。

4.2 模板安装:堆石混凝土围堰结构模板主要采用钢模板,辅助配合木模板进行拼缝衔接,模板安装前按照设计结构线,采用全站仪进行测量放线,按照放样结果开展模板安装工作做好加固,同时为保证自密实混凝土不漏浆,模板缝采用胶条填塞密实。

4.3 堆石码放:挖掘机配合人工进行仓内块石码放,人工将小粒径块石码放至模板周边,避免模板变形,其中块石与模板之间应保留 $\geq 10\text{cm}$ 的保护层。

4.4 自密实混凝土拌制及入仓浇筑。

4.4.1 混凝土拌制:工程技术人员及试验检测人员对砂石骨料等原材料进行试验检测,并每天当班检测砂石骨料的含水率,及时进行调整,对拌和系统的称量系统进行校验,保证称量系统的准确性,按照试验配合比进行称量拌和,拌制时间不小于90秒,出机口测量坍落度,符合要求后采用混凝土搅拌车运输。

4.4.2 自密实混凝土入仓浇筑:自密实混凝土采用HBT60型混凝土输送泵送入仓。混凝土输送前采用清水润洗管道,完成后采用高一标号砂浆进行管路润滑,使用同配比水泥砂浆冲润泵管,确保混凝土泵管输送不卡阻,然后再输送自密实混凝土。

在混凝土浇筑过程中,试验人员全程跟踪,在拌和站出机口和混凝土仓面做好试验检测工作,做好混凝土和易性、坍落度等调整工作,保证混凝土拌和及入仓质量。待上部结构大仓面施工时,为保证混凝土层间结合性,应控制开展面积,确保上部混凝土不初凝,采用多点式或单侧斜层普料方式,确保下部混凝土浇筑层面不产生初凝情况。

4.4.3 堆石混凝土养护:在混凝土浇筑终凝后开始洒水养护,终凝时间根据配合比结合天气实际情况进行控制,上下游临近模板区域自密实混凝土占比较大,应采用保温被覆盖洒水方式进行养护,中间部位块石占比较大区域采用土工布覆盖洒水方式进行养护,养护时间不少于28天,特殊天气情况可适当延长养护时间。

#### 5 堆石混凝土基础帷幕灌浆

5.1 钻孔:专业测量人员用全站仪按照设计轴线方向设置控

制点,间距控制在20m范围内,各点中间部位人工用皮尺进行点位标记,间距为1m;钻孔设备为液压潜孔钻机,钻孔孔径为76mm,钻孔结束后用高压风吹洗孔内杂物。

5.2 冲孔和压水试验。

5.2.1 采用分段钻孔方式,段深控制在3m以内,钻孔结束后利用钻杆通入高压水流冲洗孔壁,直至回水干净,回水时间 $\geq 10\text{min}$ ,完成后测量孔深,使符合设计要求,孔内残存杂物厚度应 $\leq 20\text{cm}$ 。同时在进行灌浆前还应对钻孔涉及的岩石缝隙进行冲洗,压力为正常灌浆压力的80%。

5.2.2 根据围堰轴线长度,帷幕灌浆孔间距为1m,为此,帷幕灌浆分3序施工。

5.2.3 每一灌浆孔在冲洗孔完成后方可开展帷幕灌浆作业,灌浆前均采用单点法进行压水试验,试验压力为灌浆压力的80%。压水时间 $\geq 20$ 分钟,在正常压力状态下间隔5分钟测读压水流量,记录透水率。

5.2.4 在I序孔灌浆完成后,II序孔、III序孔灌浆前采取简易压水试验方式进行实验,压水试验压力为灌浆压力的80%,在正常压力状态下间隔5分钟测读压水流量,记录透水率。

5.3 帷幕灌浆:采用分序加密原则、自上而下的灌浆方式,先开展I序孔灌浆,完成后再进行II序孔灌浆,最后开展III序孔灌浆。每一钻灌长度不超过6m,若遇特殊情况需大于6m灌浆时,则应采取分段灌浆方式:将阻塞器安装在建基面以上0.5m处,开展帷幕灌浆应保证基岩面下部灌浆密实、饱满,后续段则将阻塞器安装在已完成灌浆段上部0.5m处,防止漏灌、少灌、灌浆不密实等。射浆管安装在距孔底0.5m范围内。

5.3.1 灌浆压力按照设计图纸要求为0.3Mpa,特殊地质条件下可试验确定灌浆压力。

5.3.2 帷幕灌浆浆液按照施工规范执行,按照由稀到浓逐级变换,采用5、3、2、1、0.8、0.6、0.5等7个比级,遇吃浆量大、灌浆压力不足等特殊情况,浆液可越级变浓。

5.3.3 特殊情况处置。(1)灌浆过程中,遇压力不变,注入率持续减少时,或注入率不变而压力持续升高时,不能随意改变水灰比,应按照正常灌浆水灰比灌注水泥浆。(2)当遇灌浆孔浆液注入量超过300L,或灌浆超过1小时,灌浆压力和浆液注入量均无明显改变时,应调整浆液比级,采用浓一级浆液进行灌浆。(3)当灌浆浆液注入率持续大于30L/min时,应采用低压、浓浆方式进行处理,特殊情况时可越级变浓。

5.3.4 灌浆结束控制。(1)按照设计要求压力,分4段灌注浆液,检查浆液注入率,当注入率小于或等于0.4L/min时,持续灌注浆液1小时,或遇注入率小于等于1L/min时,持续灌注浆液1.5小时后,结束灌浆作业。(2)质检人员应随时查看灌浆记录仪数据变化情况,若最后3段孔浆液注入率均大于1L/min时,则需延长灌浆时间,采用低压、浓浆方式灌浆,直至灌浆恢复正常。

5.3.5 封孔。采用“置换和压力灌浆封孔法”进行封孔。

5.3.6 特殊情况处理。(1)发现冒浆、漏浆时,采取嵌缝、表面封堵、低压、浓浆、限流、限量、间歇、待凝等方式进行处

理。(2)若遇灌浆孔冲洗时无压力,则在冲洗水源处掺加高锰酸钾等材料,并安排专人对周边岩石缝隙进行查看,查找渗漏点,采用水泥浆、堵漏网及化学剂进行封堵处置,特殊情况可直接采用浓浆进行灌注,若在压水试验阶段出现类似情况,采取相同方式进行处理。(3)发生串浆时,若串浆孔具备灌浆条件,应采用一泵一孔方式同时对串浆孔进行灌浆。或采用灌浆塞对串浆孔进行封口,按照正常顺序开展灌浆作业,灌浆作业完成后,用钻孔机械对串浆孔扫孔、冲洗,按照新灌浆孔开展灌浆作业。(4)灌浆中断应对措施:灌浆突发状况中断时,应用钻孔机械对中断灌浆孔扫孔、洗孔,将孔内清理干净,待具备作业条件时再开展灌浆作业。间歇灌浆时采用开始灌浆阶段相同比级水泥浆液灌浆,同时观察注浆量,若浆液注入率与中断前近似,则可调整至中断前的比级浆液进行灌注;若浆液注入率比中断前大幅减少,则应调整浆液比级,采用越级浓浆方式灌浆。

若遇灌浆孔涌水,应安排专人在灌浆前记录涌水量和涌水压力,可采取缩短灌浆段长度、提高灌浆压力或采用越级灌注浓浆、灌注化学速凝浆液等方式进行处置,特殊情况应及时进行封孔。

5.3.7 灌浆质量检查。(1)帷幕灌浆结束后,将过程资料汇总整理,并按照监理人意见确定检查孔数量和位置,数量一般不少于灌浆孔总数的10%。(2)质量检查一般情况下以检查孔压水试验成果为准,质量评定时应在检查孔压水试验成果的基础上,结合钻孔岩芯外观及结合面实际情况进行质量评定。(3)检查孔应布置在灌浆情况异常或经分析认为帷幕灌浆质量有问题的部位。(4)检查孔压水试验应在已完成灌浆区域施工完成14天后进行。(5)合格标准:建基面与上部结构结合段与其接触的下一段灌浆合格率应达到100%;除上述外其余各段合格率应达到90%以上;不合格段的透水性不应超过设计值的150%,且不应集中。(6)封孔:检查孔应在灌浆检查结束后用压力水或高压气体将孔内积水和杂物清洗干净,并按灌浆孔的施工标准进行灌浆封孔。

## 6 质量检查及成果分析

6.1 质量检查。根据现场实际,堆石混凝土中自密实混凝土采用一级配混凝土,水灰比为0.38,坍落度为250mm~280mm,堆石混凝土工艺简单,工人容易掌握,堆石混凝土的质量不再受振捣工人工作质量的影响,质量的稳定性和可靠性更加容易得到保障,经过强度试验分析,堆石混凝土强度略高于相应自密实混凝土强度。

混凝土水化热升温情况良好,根据温度检测堆石混凝土升温时间对比曲线中7天升温最高温度为12℃,而常规混凝土7天升温最高温度为28℃。

自堆石混凝土中钻孔取芯,芯样获得率平均达到97%,从芯样外观可反映出块石与混凝土胶结紧密,芯样完整,光滑,强度符合设计要求。

芯样外观	取芯时间	龄期(d)	强度(MPa)
	2014年6月11日	36	26.3
	2014年6月11日	36	28.4
	2014年6月12日	40	25.6
	2014年6月12日	40	27.0

6.2 成果分析。经过施工过程中对比分析,堆石混凝土较常规混凝土的混凝土用量减少了一半以上。在正常情况下,水泥的用量可以减少到常规混凝土的25%左右。能源消耗和碳排放都大幅降低,符合国家节能减排政策发展要求,带来较好的经济效益和社会效益。

根据本工程堆石混凝土的应用经济分析,在工程量为4.3万m<sup>3</sup>的围堰混凝土施工中,若采用常规混凝土,在模板安装、混凝土拌制、运输、入仓、浇筑等工序下,单位工程造价为420元/m<sup>3</sup>,且持续施工时间约140天;本工程中采用堆石混凝土施工技术,单位工程造价约380元/m<sup>3</sup>,持续时间为90天,造价节约172万元,工期提前50天。

## 7 结论与建议

(1)根据工程实例分析:堆石混凝土施工利用大量块石作为主要材料,其中块石量可达到55%以上,水泥掺量较少,经现场实际温度量测,水化热温升为常态混凝土的50%左右,简化了混凝土温控措施或手段,形成的堆石体混凝土结构收缩量小,有效提高了混凝土的抗裂能力。(2)堆石混凝土每一层间结合面存在较多块石棱角,增强每一层中层间的抗剪能力。(3)堆石混凝土工艺简单。机械设备为常规土石方施工挖、装、运等机械设备,块石的大量使用,减少了常规混凝土施工作业量,自密实混凝土的应用减少了人工振捣工序,劳动力的有效减少,从而提高机械作业水平,在缩短施工周期的前提下有效节约了工程造价。

## [参考文献]

- [1]金峰,安雪晖.堆石混凝土及堆石混凝土大坝[J].水利学报,2005,11(36):1347-1352.
- [2]陈才明.自密实堆石混凝土坝施工质量控制过程分析[J].陕西水利,2021(6):162-164.
- [3]张全意,何涛洪,张文胜,等.堆石混凝土坝质量控制与检验探讨[C].中国水利学会2018学术年会论文集,2018:44-47.

## 作者简介:

朱宝荣(1982--),男,汉族,陕西西安人,大学本科,高级工程师,从事研究方向:水利水电工程建设项目管理(安全、质量、经营、进度等相关)、抽水蓄能等新能源规划、施工、管理等。