

# 吉牛水电站堆石混凝土挡水大坝的设计与应用

张荣贵, 曾勇

(中国水电顾问集团成都勘测设计研究院有限公司, 四川 成都 610072)

**摘要:**堆石混凝土技术是在自密实混凝土技术上发展起来的一种新型大体积混凝土施工技术,具有低碳环保、低水化热、工艺简便、造价低廉、施工速度快等特点。堆石混凝土技术在水利水电工程次要建筑物上已有较多应用,但在大中型水电工程挡水大坝等主要建筑物上应用较少。简述了堆石混凝土技术的主要特点,分析了该项技术目前的应用情况和存在的问题,介绍了堆石混凝土在吉牛水电站右岸挡水坝中的应用情况,将有助于该技术的总结和推广。

**关键词:**自密实混凝土;堆石混凝土;吉牛水电站;设计

**中图分类号:**TV7;TV222;TV33;TV544

**文献标识码:** B

**文章编号:**1001-2184(2014)01-0043-03

## 1 概述

吉牛水电站位于四川省丹巴县境内的革什扎河上,是革什扎河水电规划一库四级方案中的第四个梯级,为低闸引水式电站。水库正常蓄水位高程2378 m,总库容197.5万 $m^3$ ,具有日调节性能。电站装机2台,总装机容量240 MW,为单一发电工程,无灌溉、防洪等要求。

电站首部枢纽建筑物从右至左依次布置右岸挡水坝段、2孔泄洪闸、1孔冲沙闸、左岸取水口及挡水坝段,闸坝轴线全长198.43 m。闸坝建筑物均建于覆盖层上,闸顶高程为2380 m,最大闸高23 m,基础采用混凝土防渗墙防渗,最大深度约47.5 m,闸坝下设有振冲碎石桩以增加地基承载力。

近年来,堆石混凝土技术由于具有低碳环保、低水化热、工艺简便、造价低廉、施工速度快等特点,开始在小型水库大坝、副坝、围堰、明渠、挡墙和沉井等建筑物中应用,但在大中型水电工程主要建筑物中,尤其是大坝等挡水建筑物中应用较少。吉牛水电站右岸挡水坝段在设计中采用了该技术,进行了大胆的工程实践,将有利于该技术的总结和推广。

## 2 堆石混凝土技术

堆石混凝土(Rock Filled Concrete,简称RFC)是在自密实混凝土(Self-Compacting Concrete,简称SCC)<sup>[1]</sup>的基础上发展起来的一种大体积混凝土技术。该技术充分利用了自密实混凝土高流动、抗分离性能好以及自流动的特点,在粒

径较大的块石内随机充填自密实混凝土,形成完整、密实、有较高强度的混凝土堆石体。

配制自密实混凝土的原理是通过外加剂、胶结材料和粗细骨料的选择与配合比设计,使混凝土流动性增大,可以使混凝土自动流动,同时又具有足够的塑性粘度,可令骨料悬浮于水泥浆中而不出现离析和泌水问题。自密实混凝土能自由流淌并充分填充模板内的空间,形成密实且均匀的胶凝结构。

堆石混凝土由于其独特的施工工艺使得其较常规混凝土具有很多显著的工程和经济优势,主要表现在:①堆石混凝土大量使用堆石,从而减少了胶凝材料的用量,简化了施工工艺,降低了混凝土综合成本;②堆石混凝土降低了水泥用量,水化温升小,可以简化甚至取消温控措施。一般情况下,C20等级堆石混凝土中的水泥含量不超过80 $kg/m^3$ ,绝热温升不超过15 $^{\circ}C$ ;③堆石混凝土工艺简便,施工快速,可大幅度提高施工效率,缩短工期;④堆石混凝土是由相互搭接的堆石骨架和用于胶结堆石的专用自密实混凝土构成。堆石骨架在提高材料抗压、抗剪强度,抑制干缩变形,提高结构体积稳定性等方面都具有一定的优势。

但目前堆石混凝土技术仍存在一些工程上需要解决的问题,如:①自密实混凝土对材料和配合比的要求较高,对水泥、粉煤灰、减水剂、水的称量都有严格的误差要求,在大规模施工时,质量不易控制;②堆石料的入仓方式主要有两种:一是具备交通道路时,采用自卸汽车直接将堆石运至仓面

收稿日期:2014-01-13

自然堆积;二是在不具备交通道路时,设置塔机、卷扬机等垂直起重设备,配合吊斗或钢筋笼装运堆石,对于高度不高的施工部位也可使用挖掘机或装载机直接将石料堆放入仓。入仓方式困难是制约堆石混凝土施工效率的一个主要因素,特别是在模板、止水带、大坝分缝等部位附近0.5~1 m的位置需要人工堆石入仓,以避免机械施工对这些部位的损伤,施工效率更低;③堆石混凝土的优势主要体现在大体积无筋混凝土工程部分,而对于布置有钢筋的混凝土部位,堆石混凝土的大规模快速施工受限,自密式混凝土与钢筋的结合性能需要更多的试验与工程实践进行验证;④部分堆石混凝土已建工程出现了层面渗水现象,表明堆石混凝土层面是其薄弱环节,在设计与施工中应该重点加以注意。

目前,应用堆石混凝土技术的工程主要有河南保全抽水蓄能电站工程上库副坝和冲沟回填、四川向家坝水电站工程围堰沉井、山西清峪水库大坝、山西恒山水库除险加固工程、山西围滩水电站工程大坝、洋庄防洪堤工程、西藏藏木水电站工程挡土墙和消力池底部回填、四川枕头坝水电站导流明渠进口岩埂缺口和混凝土围堰上游侧裹头与岩埂间缺口部位。堆石混凝土技术在水电工程挡水大坝等主体建筑中应用较少,因此,该技术的大规模推广应用,特别是在高坝大体积混凝土中的应用还需进行更多的研究和工程实践。

### 3 堆石混凝土挡水坝设计

吉牛水电站右岸9#、10#、11#挡水坝段全长66.71 m,上游坝坡坡比为1:0.4,下游坝坡坡比为1:0.7,顶宽7.5 m,底宽24.2 m。

右岸挡水坝段全部建在覆盖层上,覆盖层最大厚度约80.8 m。由于覆盖层各层均具有中等或强透水性,设计采用悬挂式混凝土防渗墙防渗,防渗墙深度为47.5 m,厚度为0.8 m。为增强地基承载力并防止覆盖层中沙层液化和减少地基不均匀沉降,对地基采用振冲碎石桩措施进行了加固处理。

为了解决吉牛水电站工程建设中工期紧张的问题,加快施工进度,节约投资,在吉牛水电站右岸9#、10#、11#挡水坝段中采用了堆石混凝土。考虑到堆石混凝土密实性在大规模施工中不确定因素较多,可能出现渗水;同时,考虑到大坝迎水

面部分区域布置有钢筋,横缝两侧布置有止水,因此大坝迎水面和横缝两侧1 m范围内不进行堆石,而直接采用C20自密实混凝土浇筑,以保证迎水面有足够的防渗性能,保证混凝土与钢筋紧密结合,减少钢筋施工受堆石混凝土的影响,防止因堆石混凝土施工而破坏止水。坝体顶部和坝体下游侧由于有电缆沟、模板架立钢筋等的影响,为方便施工,也采用厚度为1 m的C20自密实混凝土浇筑。由于基础面上防渗墙需要与坝体采用止水紧密结合,且基础面上如出现贯穿的混凝土渗漏通道极易造成地基渗透破坏而难以补救,为安全起见,大坝下部1.5 m采用C20常态混凝土。除此以外,全部采用C20堆石混凝土。

右岸9#、10#、11#挡水坝堆石混凝土量共计为12 553 m<sup>3</sup>,自密式混凝土和常态混凝土5 647 m<sup>3</sup>,堆石混凝土使用比例为69%。混凝土分区设计情况见图1。

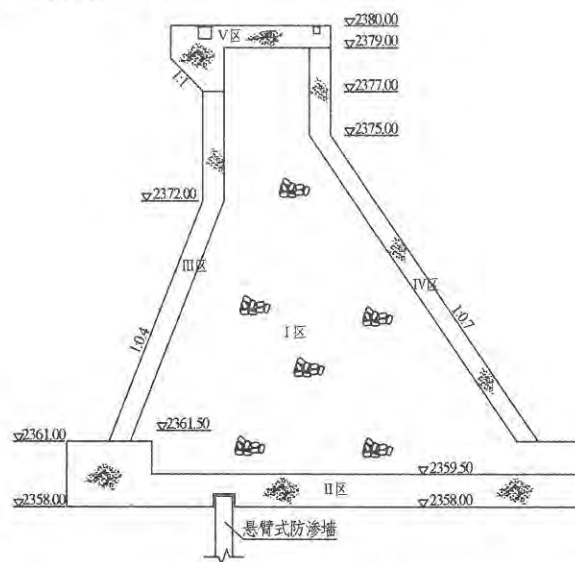


图1 混凝土分区设计断面图

### 4 堆石混凝土施工

#### (1) 堆石料。

右岸挡水坝段采用的堆石料主要为河床卵石和开挖料,饱和抗压强度( $R_b$ )不小于50 MPa。要求最小粒径不小于30 cm,最大粒径以运输、入仓方便为限,一般不大于1 m。施工时,少量堆石最小粒径小于30 cm,但大于20 cm,少量堆石最大粒径达1.5 m左右。由于石块粒径大小不一,为了保证堆石质量,在现场使用钢格筛对堆石料进行了筛分。钢格筛的使用提高了堆石效率,保证

了堆石质量。为了保证堆石料的含泥量满足要求,现场专门建立了冲洗站对堆石进行冲洗,冲洗后的堆石料满足含泥量要求。

(2)堆石入仓方式。

根据现场实际情况,在不同的高程采用两种堆石方法。第一种方式是在大坝下部高程2366m以下时,采用自卸车拉石进仓,挖机倒运。这种堆石办法简单、有效,有很强的实用性,且堆石施工速度快;第二种是在大坝高程2366m以上时,采用挖机装篮,汽车履带吊吊石入仓并辅以人工实施。此方法对于现场有很好的适用性,但明显降低了施工效率。堆石混凝土施工面貌见图2。

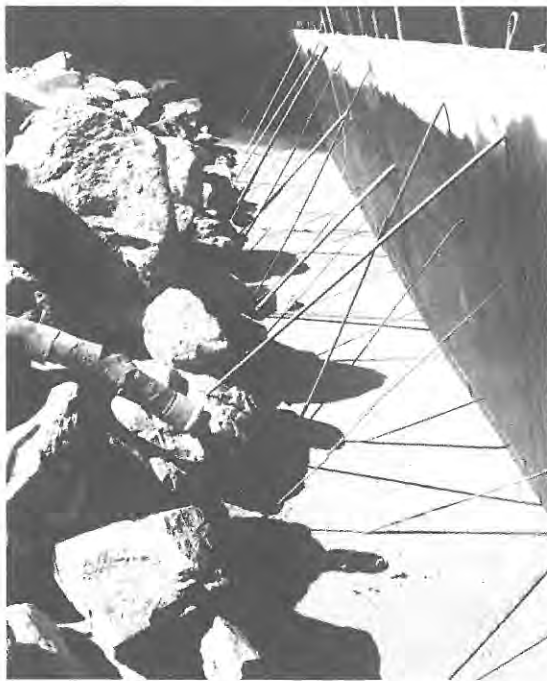


图2 堆石混凝土施工面貌

(3)浇筑层厚。

为保证自密实混凝土在不采用振捣手段的情况下填实堆石体,设计要求堆石层厚度为1.2~1.5m。部分坝段仓面堆石粒径不达标的主要问题是粒径太小,随后采取了降低堆石层厚度的方法,保证了自密实混凝土充填密实。

(4)自密实混凝土的入仓方式。

现场自密实混凝土在拌合站生产,而后由罐车运送至坝前,根据现场情况使用挖机辅助入仓或者泵送入仓。

(5)层面处理。

每一仓的浇筑顶面留有块石棱角,块石棱角的

高度高于自密实混凝土顶面5~20cm,以便与下一仓的粘结。仓面上的混凝土乳皮、表层裂缝、由于泌水造成的低强混凝土(砂浆)以及嵌入表面的松动堆石均要求清除并进行凿毛处理。现场凿毛采用水泵冲毛和人工凿毛两种方式,根据仓面情况选择合适的凿毛方法,凿毛效果满足要求。

施工工艺流程见图3。

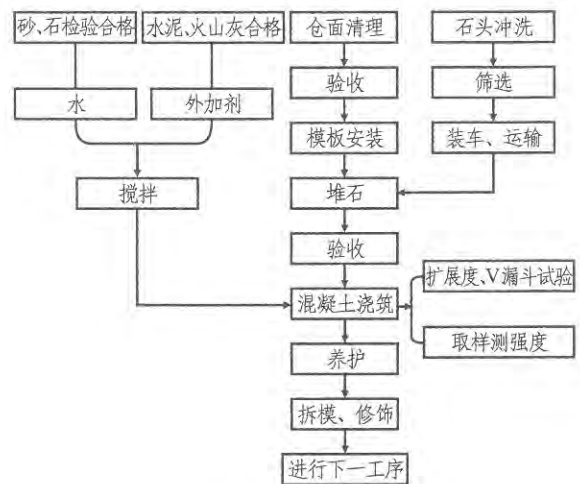


图3 施工工艺流程图

5 试验与检测

5.1 自密实混凝土配合比试验

根据吉牛水电站挡水坝工程要求,所设计的自密实混凝土配合比应满足C20W4F150要求。经室内试验、现场试拌,吉牛水电站使用的自密实混凝土最终的理论配合比见表1,性能测试结果见表2,工作性能保持纪录见表3。根据性能检测结果,配合比能够满足设计强度和工作性能的要求。

表1 专用自密实混凝土配合比表 /kg·m<sup>-3</sup>

项目	水泥	粉煤灰	砂	石子	水	外加剂
单方用量	246	241	806	731	193	4.5

表2 专用自密实混凝土性能测试结果表

项目	扩展度 /mm	V漏斗时间 /s	坍落度 /mm	含气量	强度 /28 d
试验结果	650	12.5	265	4.7%	27.8 MPa
设计要求	600~750	7~25	250~280	4%~6%	设计标号C20

表3 工作性能保持纪录表

工作性能	保持时间 /min		
	0	30	60
扩展度	655	650	600

(下转第84页)



间均控制在 14 d 内。因为下层先浇筑混凝土龄期越长、越稳定,温度变形就越小,与上层新浇混凝土温度变形差异就越大,对上层混凝土的约束就越大,就越容易造成新浇混凝土出现裂缝的隐患。

### (2) 混凝土振捣、养护责任到人。

将混凝土浇筑仓面划分成若干个振捣区域,每个振捣区域指定 1 名责任心强的专业振捣工振捣,责任到人。混凝土养护安排责任心较强的职工昼夜测温监控。

### (3) 各种浇筑准备工作相关人员全程参与。

在渡槽槽身混凝土试拌、试浇筑过程中,参与曹骂沟渡槽施工的技术及管理人员均全程参与,做到心中有数,以确保混凝土施工质量。

## 5 效果

通过上述施工质量控制措施的逐一布置与落实,曹骂沟渡槽槽身 C50 预应力泵送混凝土施工过程井然有序,4 仓混凝土浇筑过程中混凝土坍落度稳定,均未发生坍落度明显变化而影响混凝土泵送入仓的现象,混凝土同条件养护试件经检测强度满足设计要求。现场混凝土回弹强度满足设计要求,经现场排查,仅槽身墙顶局部混凝土因

### 5.2 堆石混凝土质量检测

为全面了解堆石混凝土质量,吉牛水电站工程进行了力学性能试验、温控、密实度、抗渗性等检测,各项检验指标均满足设计要求,混凝土外观无明显缺陷。堆石混凝土 28 d 抗压强度平均值为 26.8 MPa,强度较高。水化温升检测结果表明堆石混凝土水化热低,水化温升小。以 9#坝段高程 2 366.2 m 处温控数据为例,该部位最高温升温度为 33.21℃,最大水化温升为 8.63℃,该仓具体测温数据见图 4。

## 6 结语

堆石混凝土施工技术作为一种全新的大体积混凝土施工技术,由于其自身显著的特点和优势,目前已开始在工程中推广应用。但在水电工程挡水大坝等主要建筑物中应用较少,缺少工程实践经验,从而制约了该技术的进一步推广。吉牛水电站采用该技术进行右岸挡水大坝设计,缩短了施工工期,节约了工程投资。施工过程中进行了

养护时工程棉被接头处未覆严实而产生浅表龟裂外,未发现其他裂缝。

## 6 结语

南水北调曹骂沟排水渡槽槽身 C50 预应力泵送混凝土施工及质量控制实践证明,通过提高员工认识,慎重拟定混凝土配合比,严格控制混凝土原材料质量,保证骨料含水量均匀稳定并通过混凝土试拌及试泵送浇筑确定施工配合比,以及有效的混凝土温控及养护措施等,可以有效避免渡槽槽身 C50 预应力泵送混凝土施工出现的因坍落度不稳定而影响泵送浇筑、混凝土强度不足、槽身混凝土出现裂缝等常见问题。虽然人、机、物甚至费用投入有所增加,但避免了质量缺陷对项目及企业造成的不良影响,值得类似工程借鉴参考。

### 作者简介:

李有发(1978-),男,广西桂林人,项目副经理,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工

作;杨西梅(1981-),女,山东泰安人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工

作;何鹏飞(1987-),男,四川绵阳人,技术员,从事水电工程施工技术工作。(责任编辑:李燕辉)

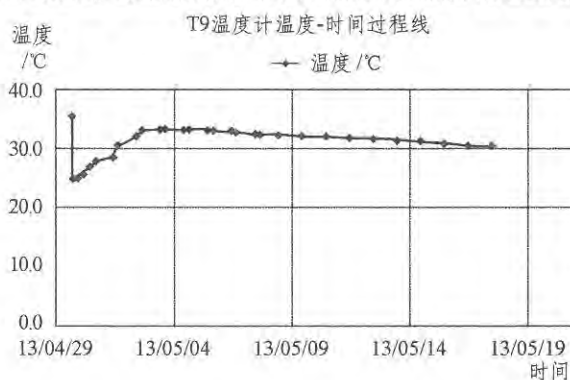


图 4 9#坝段高程 2 366.2 m 处温控数据示意图

大量的室内试验和现场试验,采用了多种措施控制工程质量,积累了在挡水大坝中应用堆石混凝土技术的经验,对推广堆石混凝土技术具有重要的意义。

### 作者简介:

张荣贵(1980-),男,四川自贡人,工程师,学士,从事水工结构和岩土工程设计工

作;曾勇(1971-),男,四川宜宾人,教授级高级工程师,学士,从事水工、岩土工程设计工作。(责任编辑:李燕辉)