

# 西音水库胶凝砂砾石坝设计综述

王燕

(福建省水利水电勘测设计研究院, 福建福州, 350001)

**摘要:** 莆田市西音水库拦河坝坝型采用胶凝砂砾石坝。胶凝砂砾石坝作为新坝型, 利用河道天然砂砾石料筑坝, 具有应力分布均衡、施工快速, 节省工程投资等特点。西音水库工程坝址附近具有天然砂砾料, 通过外业勘探及室内试验, 天然砂砾料满足筑坝要求。本文结合莆田西音水库工程实例, 通过坝体断面稳定和应力计算, 胶凝砂砾石材料试验, 防渗结构研究, 材料试验研究等工作, 对该工程胶凝砂砾石坝设计方案及技术要点进行设计经验总结, 供类似工程参考。

**关键词:** 西音水库; 胶凝砂砾石坝; 枢纽布置; 设计

## 1 概述

### 1.1 胶凝砂砾石坝特点

胶凝砂砾石坝作为一种新坝型, 其设计理念与施工方法介于混凝土面板堆石坝和碾压混凝土坝之间, 胶凝砂砾石筑坝技术, 又称 CSG 筑坝技术。胶凝砂砾石坝是碾压混凝土坝的一种延伸, 又在设计指标、防渗性能和配合比等方面与其有所区别, 其最大优势是拓宽了骨料使用范围, 利用当地材料, 主要为天然砂砾石混合料, 在材料上节省投资。

我国采用 CSG 筑坝技术始于 2004 年福建街面水电站下游量水堰和洪口水电站上游围堰<sup>[2]</sup>, 为新坝型的进一步推广应用打下了基础。山西守口堡胶凝砂砾石坝、四川顺江堰等工程进一步拓宽了胶凝砂砾石坝在永久工程中的应用范围。

作为一种新坝型, 国内外学者及工程师对胶凝砂砾石新坝型进行了一些研究与实践, 但由于实际工程应用的较少, 特别是在永久建筑物上, 其筑坝材料特性、设计理论、计算方法、施工技术等方面的相关研究尚不成熟, 在胶凝砂砾石坝建基面利用研究、材料特性试验研究、防渗结构研究、开挖等混合料的利用研究、施工关键技术研究、施工检测技术研究等方向有待进一步研究。

### 1.2 西音水库拦河坝坝型选择

西音水库工程位于莆田市涵江区境内, 地处萩芦溪干流上游, 工程枢纽包括胶凝砂砾石坝、坝上进水口及发电引水管道、坝后发电厂房等建筑物。水库正常蓄水位 190.50m, 水库总库容 2755 万立方米, 电站装机 2×750 千瓦, 为中型水库, 工程等别为 III 等, 主要建筑物胶凝砂砾石坝级别为 3 级。

西音水库工程坝址区河谷呈近对称的“U”型, 河谷较宽, 大坝左、右岸岸坡及坝肩覆盖层厚, 同时在坝址区上下游有较合适的天然砂砾料料场。坝址两岸岩体风化强烈, 河床岩体风化略浅。根据坝址区的地形地质条件、当地建材供应情况及施工条件, 选取砼面板堆石坝、砌石重力坝、碾压混凝土重力坝和胶凝砂砾石坝四种坝型进行比较和分析论证, 以确定经济合理的拦河坝坝型。

从工程可比投资来看，砼面板堆石坝坝型方案为 1.57 亿元，砌石重力坝坝型方案为 1.65 亿元，碾压混凝土重力坝坝型方案为 1.54 亿元，胶凝砂砾石坝坝型方案为 1.43 亿元。胶凝砂砾石坝坝型方案合计工程可比投资较小、碾压砼重力坝坝型方案投资次之、砼面板堆石坝坝型方案投资较大、砌石重力坝坝型方案投资最大。从工期上看，砼面板堆石坝、砌石重力坝、碾压砼重力坝、胶凝砂砾石坝施工总工期分别为 36 个月、32 个月、30 个月、28 个月。碾压砼重力坝与胶凝砂砾石坝施工速度均较快、工期较短，具有较明显优势；在施工导流、施工度汛等方面砌石重力坝、碾压砼重力坝、胶凝砂砾石坝施工导流、度汛方案简单，费用省，有较大的优势；在坝体温控、坝体施工控制性工序等方面胶凝砂砾石坝、砌石重力坝较为有利；从筑坝材料看，碾压砼重力坝与胶凝砂砾石坝均可利用天然砂砾料进行筑坝，对环境产生的不利影响也较小；在环境保护等方面，砌石重力坝、胶凝砂砾石坝较为有利。

针对西音水库坝址区具体的地形地质特点，综合工程投资以及施工导流、度汛、工期等方面因素后，选择胶凝砂砾石坝作为西音水库拦河建筑物坝型。天然砂砾石料料场位于坝址上、下游左岸的河漫滩地，经现场挖坑和钻孔勘察，在坝址区较合适的砂砾料料场砂砾石料可用料约 34.2 万 m<sup>3</sup>，储量基本满足设计要求。坝址区料场，多数位于库区内，对环保有利，且料场运距适中，开采运输方便。

## 2 胶凝砂砾石坝设计

### 2.1 坝体结构设计

西音水库为中型水库，工程等别为 III 等，主要建筑物胶凝砂砾石坝级别为 3 级。坝顶高程 193.10m，坝长 395.00m，坝顶宽 6.00m，最大坝高 52.00m，挡水坝段上游面坡比 1:0.40，下游面坡比 1:0.70。

碾压混凝土重力坝施工方法与胶凝砂砾石坝施工方法类似，《碾压混凝土重力坝设计规范》对坝体混凝土有允许应力要求，允许应力与常态混凝土重力坝要求相同。从材料试验结果来看，尽管胶凝砂砾石属于弹塑性体，抗压强度小于混凝土，但要高于碾压式土石坝体抗压强度很多。因此，按允许应力控制坝体应力是安全的。

根据中国水利水电科学研究院朱伯芳院士观点，建立了坝体原型混凝土强度与室内试件混凝土强度的关系满足下式：

$$R_c = f_c c_1 c_2 c_3 c_4 c_5$$

$R_c$ ——为坝体原型混凝土抗压强度；

$f_c$ ——为室内 15cm<sup>3</sup> 立方体试件 90d 保证率 80%条件下的抗压强度；

$c_1$ ——为试件形状系数，即长直强度与立方体强度之比；

$c_2$ ——为尺寸系数，即大试件与 15cm<sup>3</sup> 立方体小试件强度比值；

$c_3$ ——为湿筛系数；

$c_4$ ——为实际使用龄期与 90d 龄期抗压强度比值；

$c_5$ ——为时间效应系数。

按照上式进行计算分析,对于胶结颗粒料坝,当材料抗压安全系数取基本组合为 3.7 时,相当于混凝土重力坝材料抗压安全系数 4.0,特殊组合时的 3.2 相当于重力坝材料抗压安全系数的 3.5。考虑到胶结颗粒料耐久性需继续研究,建议参照混凝土重力坝设计规范取值,即抗压安全系数在基本组合不小于 4.0,特殊组合不小于 3.5,以保证胶结颗粒料坝原型抗压强度高于混凝土重力坝。按照上述材料抗压安全系数,根据对胶凝砂砾石坝采用材料力学法进行坝体应力计算,西音水库胶凝砂砾石坝应力水平较低,考虑材料抗压安全系数,采用 6MPa 设计强度可以满足要求。

胶凝砂砾石配合比由试验确定,参照已建福建洪口水电站和福建街面水电站试验结果<sup>[2]</sup>,初步拟定配合比为:水泥 40kg/m<sup>3</sup>,粉煤灰 40kg/m<sup>3</sup>,总胶凝材料用量 80kg/m<sup>3</sup>,用水量 80 kg/m<sup>3</sup>,砂砾料 2220 kg/m<sup>3</sup>,砂砾料含砂量 22%,减水剂 1.5 kg/m<sup>3</sup>。

## 2.2 坝基建基面开挖利用

西音水库工程坝址两岸岩体风化强烈,河床岩体风化略浅。坝基左岸高程 170m 以下、河床段、右岸高程 172m 以下,岩体风化较浅,覆盖层和全、强风化较薄,弱风化岩体埋深浅,岩体完整性好,该段坝基利用弱风化上部岩体为坝基建基面;左岸高程 170m 至地表高程 193m 及右岸高程 172m 至地表高程 193m,岩体风化较深,上部全、强风化较厚,其下部多属弱风化中上部岩体,节理较发育,岩体完整性较差~破碎,较完整的弱风化中部岩体埋深在 30~35m 左右,若利用弱风化岩体为基础,则坝基开挖工程量巨大,该段坝基利用强风化中部岩体作为坝基建基面;两岸高程 193m 以上岸坡接头位置岩体全、强风化岩体深厚,若利用弱风化岩体作为坝基,则两岸开挖量极大,该段坝基采用强风化作为坝基建基面。河床段,胶凝砂砾石坝基础座落于弱风化上部基岩;岸坡段,胶凝砂砾石坝基础座落于强风化上部基岩或全风化地层。

## 2.3 坝体防渗结构

根据《胶结颗粒料筑坝技术导则》SL678-2014<sup>[1]</sup>,胶凝砂砾石坝的坝面应设防渗层和保护层,在有防渗层的区域,保护层应与防渗层结合考虑,并应满足下列要求:①坝面保护层可依据工程实际、施工条件等采用常态混凝土、碾压混凝土、加浆振捣胶凝砂砾石或富浆胶凝砂砾石等;②坝面保护层的厚度应满足坝体耐久性要求和施工要求;③坝面保护层应设置横缝,横缝间距宜为 15~20m。根据坝体结构和防渗要求,胶凝砂砾石坝在坝体上游侧设 C<sub>180</sub>20W6 富浆胶凝砂砾石防渗层,防渗层水平长度 2.5m。由于胶凝砂砾石水泥用量少,其温升也很低,因此,胶凝砂砾石坝比碾压混凝土坝的温度应力要低,参考国内外已建的工程经验,坝体胶凝砂砾石部分未设置横缝,只在上游防渗层和下游保护层设置横缝。

## 2.4 坝体材料分区

大坝主体为胶凝砂砾石坝,坝体上游侧设 C<sub>180</sub>20W6 富浆胶凝砂砾石防渗体,防渗体水

平长度 2.5m，即将天然砂砾石料剔除大于 150mm 粒径后加浆振捣，达到防渗等级为 W6 要求的富浆胶凝砂砾石作为坝体防渗层。坝体中部为 C<sub>180</sub>6 胶凝砂砾石坝体，坝体下游面为 C<sub>180</sub>20W4 富浆胶凝砂砾石保护面层，厚 1.5m。溢流面采用 C<sub>90</sub>30 常态砼，厚 3.0m。大坝基础上游设厚 0.8m 的 C<sub>28</sub>20W6 常态混凝土垫层，基础下游设厚 0.8m 的 C<sub>28</sub>15W4 常态混凝土垫层，廊道靠近上游侧坝脚布置。

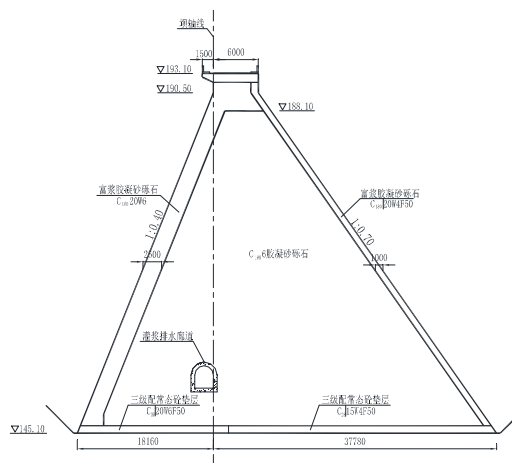


图 1 坝体分区图

### 3 经验与总结

西音水库采用胶凝砂砾石坝的优越性体现在以下几方面：坝上游坡比 1:0.4，下游坡比 1:0.7，坝体断面大，基底应力小，对坝基的要求相对降低，河床建基面设置在弱风化上部，两岸基础设置在强风化下部，与混凝土重力坝相比，具有更好的地基适应性，对坝基要求较低，施工要求放宽，施工速度更快；充分利用当地材料筑坝，保护环境，节省工程投资。

西音水库胶凝砂砾石坝是我国 CSG 筑坝技术在中型水库拦河建筑物中的首次应用，设计和试验方面做了大量研究工作，方案已通过初步设计审查，工程进入施工期。设计将在胶凝砂砾石坝建基面利用研究、材料特性试验研究、防渗结构研究、开挖等混合料的利用研究、施工关键技术研究、施工检测技术研究等方向开展研究，总结经验，以利于这一新坝型在我国永久工程拦河建筑物中的推广应用。

### 参 考 文 献：

- [ 1 ] 中华人民共和国水利部. SL678-2014胶结颗粒料筑坝技术导则[S]. 北京：中国水利水电科学研究院，2013.
- [ 2 ] 何光同，李祖发，俞钦. 胶凝砂砾石新坝型在街面量水堰中的研究和应用[C]，福建省水力发电工程学会2006年学术年会汇编，中国福建，2006年12月：3-6.

作者简介：王燕（1983-），女，高级工程师，研究生，主要从事水工结构设计工作。

通讯地址：福州市东大路158号恒裕大厦C座1602

电话：15205053070

电子邮件：42551315@qq.com