

从江县宰章水库工程混凝土面板堆石坝设计

王嘉斌

贵州省水利水电勘测设计研究院有限公司

摘要：宰章水库位于贵州省从江县丙妹镇宰章村，工程等别为Ⅲ等，工程规模为中型。工程建设任务为城镇供水、灌溉和农村人畜饮水，总供水量1495万m³/a。挡水建筑物为混凝土面板堆石坝，最大坝高77.5m，坝体全断面采用变余砂岩填筑。本文介绍了宰章混凝土面板堆石坝设计要点，对类似工程具有一定参考意义。

关键词：宰章水库；混凝土面板堆石坝；趾板；筑坝材料分区；基础处理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.06.056

一、工程概况

宰章水库工程位于贵州省从江县丙妹镇宰章村境内，坝址距从江县城6.0km，距龙江村3.0km。工程建设任务为城镇供水、灌溉和农村人畜饮水，设计总供水量为1495万m³/a，其中：从江洛贯经济开发区生活用水752万m³/a（P=95%）；从江老县城城市用水505万m³/a（P=95%）；长寨灌区及井冲山灌区（共计5850亩）灌溉用水177万m³/a（P=80%）；灌区周边农村人畜饮水61万m³/a（P=95%），另下放生态环境水267万m³/a。

水库总库容1200万m³，正常蓄水位360.000m，死水位310.000m，工程等别为Ⅲ等，工程规模为中型。水源枢纽工程包括挡水建筑物、右岸泄水建筑物和左岸取水兼放空建筑物（导流洞改建）。

挡水建筑物为混凝土面板堆石坝，坝顶高程361.500m，施工图阶段优化调整后河床建基面高程284.000m，最大坝高77.500m，坝顶长260m，坝顶宽7.1m。

二、坝址地形地质条件

坝址区河道弯曲，总体流向为ES向，河床地面高程290m~282m，河谷呈不对称“V”型，主河槽宽10m~16m。河床位置部分基岩裸露，局部覆盖砂砾石；左岸坡地形较陡，地形坡度30°~45°，基岩多裸露；右岸坡地形较缓，其中350m高程以下为较陡坡，地形坡度25°~35°，350m高程以上为缓坡，地形坡度15°~30°。坝址区岩体风化分带见表1。

表1 坝址区岩体风化分带表

位置	覆盖层厚度 (m)	强风化层厚度 (m)	弱风化层厚度 (m)
左岸	0~5	10~13	15~18
河床	0~6	6~8	12~15
右岸	0~7	9~15	18~26

坝址区河床覆盖层成分为冲洪积（Q^{a1+p1}）砂卵石（砾）石层，左右岸坡覆盖层为第四系（Q^{el+d1}）残坡积黏土夹碎石；下伏基岩为清水江组（Ptbnbq）灰色变余砂岩、粉砂质板岩及绢云母板岩，强风化带岩体呈黄、黄白色碎裂状结构，裂隙面多见褐黑色铁锰质浸染；弱

风化带岩体呈灰—灰绿色层状结构，裂隙面多闭合。

库区及坝址两岸山体雄厚，地下水类型为覆盖层孔隙水及基岩裂隙水，流量较小，且随地形抬升水力比降呈快速变陡趋势，地下水出露点均高于河水位，属地下水补给河水。库盆及周边分布清水江组（Ptbnbq）灰色变余砂岩、粉砂质板岩及绢云母板岩，该地层呈弱透水性，隔水性可靠，库区无向库外渗漏通道，工程无渗漏风险。

三、混凝土面板堆石坝设计

（一）大坝剖面设计

混凝土面板堆石坝坝顶高程361.500m，坝顶长260m，坝顶宽7.1m，最大坝高77.5m。坝顶上游设“L”型防浪墙，墙顶高程362.700m，墙底高程360.5m，墙高2.20m。大坝上游坝坡坡比为1:1.405；下游坝坡坡比1:1.5，下游坝坡在322.700m高程处设置一条5m宽马道。在坝轴线下游343.000m~359.000m之间设置土工栅格，层高1.6m，共11层。大坝上游坡面采用0.3m~0.522m变厚钢筋混凝土面板，下游坡面为0.5m厚干砌石块护坡。趾板采用平趾板布置，趾板宽度为5.0m，平段宽3m，厚0.5m。

（二）坝体分区与填筑设计

1. 坝体分区原则^[1]

依据面板堆石坝的受力特点和渗流特性要求，坝体分区主要原则有：

（1）从上游到下游坝料变形模量依次递减，以保证蓄水后坝体变形尽可能小且协调变形，从而减小面板和止水系统遭到破坏的可能性。

（2）各区之间满足水力过渡要求，从上游到下游坝料的渗透系数增加，相应下游坝料应对上游区有反滤保护作用。

（3）同时为节省投资，在坝轴线下游变形模量低的部位，可设下游堆石区，利用抗压强度稍低的开挖料，以达到经济目的。

（4）分区尽可能简单，以利于施工运输和质量控制。

2. 坝体分区与填筑设计

依据前述坝体分区原则，宰章水库工程枢纽堆石坝体从上游至下游分为1区、2区及3区。混凝土面板堆石坝标准剖面见图1。

（1）1区

位于大坝面板上游，包括盖重区（1B）及铺盖区（1A），顶部高程为311.000m。1A铺盖区采用黏土和粉煤灰填筑，粉煤灰（Ⅰ级）紧贴大坝面板，水平宽度0.3m；黏土铺盖顶部宽度3m，上游坡比1:1.5；1B盖重区采用石渣填筑，顶部宽度3m，上游坡比1:2。

（2）2区

位于面板下游至过渡区之间，包括垫层区（2A）及特殊垫层区（2B）。2A垫层区水平宽度3m，坡比为1:1.4；垫层区上游侧为C5混凝土挤压边墙，紧贴上游面

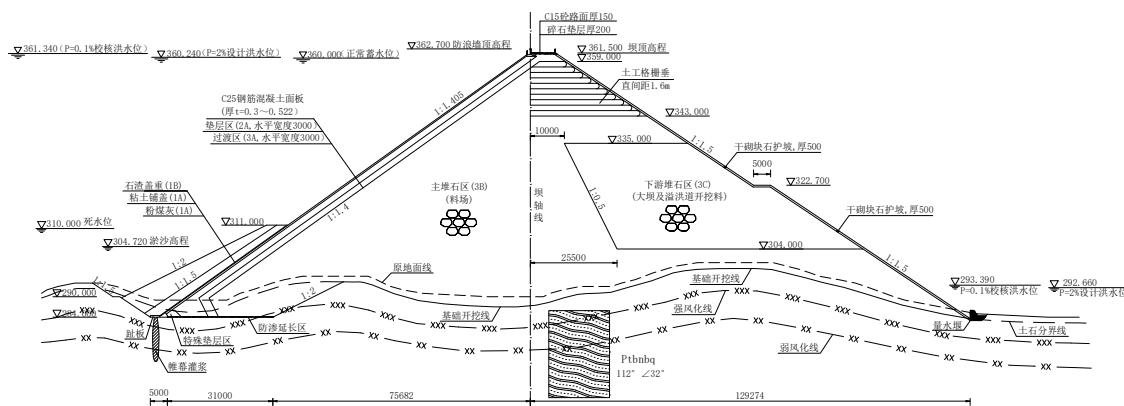


图1 混凝土面板堆石坝体标准剖面示意图

板。2B特殊垫层料位于周边缝下游侧底部，水平宽约2.5m。

(3) 3区

3区为堆石坝主体，包括过渡区（3A）、主堆石区（3B）及下游堆石区（3C）。3A过渡区位于垫层区下游，水平宽度3m；3B主堆石区是承受上游水荷载的主体，上游紧贴过渡区，顶部高程为359.000m；3C下游堆石区位于坝体304.000m~335.000m之间，上游边界坡比1:0.5（倾向下流），顶部距离坝轴线10m。

堆石坝体填筑料包含特殊垫层料、垫层料、过渡料、主堆石料及下游堆石料，主要填筑控制指标包括孔隙率、干容重及碾压参数等。依据推荐料场岩性，结合规范规定并参考类似工程经验，宰章堆石坝体分区填筑料特性指标见表2。

(三) 混凝土趾板设计

趾板布置在防渗面板周边，坐落在河床及两岸坡基岩上，通过周边缝止水结构与面板共同形成坝基上部的防渗体；同时，趾板与经过固结灌浆及帷幕灌浆处理基岩形成地下防渗体，起到承上启下的作用^[2]。趾板作为基岩灌浆盖重及操作平台，应具备一定的操作空间，则趾板采用平趾板，及“X”线垂直于趾板基础等高线。

防渗趾板宽5m，水力梯度15.5；平段厚0.5m，宽3m。趾板为连续趾板，在每个拐点下游2m处设置一条永久缝，其余每约20m设置3m宽后浇带。趾板下游设置0.2m厚C25聚丙烯纤维混凝土的防渗延长区，其长度为相应位置坝高的0.4倍，河床段采用现浇，岸坡段采用喷射。

防渗趾板混凝土特性指标见表3，钢筋布置在趾板顶部，为单层双向筋，钢筋为Φ22三级钢筋，纵横间距为200mm，趾板沿周边缝侧设置加强筋，以防止水周边混凝土破碎而损伤止水，趾板综合配筋率84.0kg/m³。后浇带采用微膨胀混凝土浇筑，钢筋不可在后浇带处截断。

(四) 混凝土面板设计

大坝采用变厚面板，面板顶部厚度为0.3m，顶部以下各位置面板厚度与其所处高度相关，采用《混凝土面板堆石坝设计规范》（SL 228—2013）中公式计算，见下式：

$$t = t_0 + (0.002 \sim 0.0035) H$$

式中：

t—面板厚度，m；

t₀—面板顶部厚度；

表2 堆石坝体分区填筑料特性指标

填筑料分区	特殊垫层料	垫层料	过渡料	主堆石料	下游堆石料
填筑料源、岩性	料场，弱风化以下变料场，余砂岩	弱风化以下变料场，余砂岩	弱风化以下变料场，余砂岩	料场，弱风化以下变料场，弱风化以下变余砂岩	开挖料，强风化以下变余砂岩
最大粒径D _{max} (mm)	< 40	80~100	300	800	800
D<5mm (p= %)	35~55	35~55	20~30	5~20	5~20
D<0.075mm (p= %)	4~8	4~8	0~5	0~5	0~5
干容重 (kN/m ³)	23.1~22.3	23.1~22.3	22.3~21.8	22.0~21.5	22.0~21.2
孔隙率 (%)	15~18	15~18	18~20	19~21	19~22
渗透系数 (cm/s)	<5×10 ⁻³	<5×10 ⁻³	<5×10 ⁻²	>10 ⁻¹	>10 ⁻¹

表3 大坝防渗面板、趾板混凝土特性指标

序号	项目名称	强度等级及保证率	抗渗等级、抗冻等级	水灰比	骨料级配	坍落度
1	面板混凝土	C25 (28d)、95%	W8、F100	≤0.48	二级配	3~7cm
2	趾板混凝土	C25 (28d)、95%	W8、F100	≤0.48	二级配	3~7cm

H—计算断面至面板顶部的垂直距离，m。

该面板 $t_0=0.3\text{m}$ ，加厚系数取0.0029，计算面板最大厚度为0.522m，面板底部最大水力梯度146.385，满足“控制渗透水力梯度不应超过200”要求。混凝土面板上游（顶面）坡比为1:1.405，面板下游（底面）坡比为1:1.4。

混凝土面板作为堆石坝的主要防渗结构，面板质量对整个坝体防渗及稳定的作用至关重要。面板具有厚度薄、面积大的特点，且要求在满足抗渗性和耐久性条件下，还应具有一定的柔性，以适应堆石坝体的变形^[3]。为能更好适应坝体变形，根据坝址地形地质条件及参考类似工程经验，对面板进行分缝。中间河床附近面板设置压性缝，缝距12m，共7条，两坝肩附近面板设置张性缝，缝距6m，共23条。

防渗面板混凝土应具有较高的耐久性、抗渗性、抗裂性及施工和易性，其特性指标见表3。面板内设置单层双向钢筋，钢筋为 $\phi 20$ 三级钢筋，纵横间距为200mm；压性缝两侧配置加强筋，防止混凝土因挤压破碎而剥落，面板综合配筋率 $72.4\text{kg}/\text{m}^3$ 。面板防裂措施主要有采用挤压边墙，并在喷涂阳离子乳化沥青；避免高温季节施工及控制入仓温度；浇筑后采用保湿保温养护措施直至大坝蓄水^[4]。

（五）接缝止水设计

周边缝是面板与趾板接触自然形成；水平缝是面板顶部与防浪墙底部接触自然形成；垂直缝是为适应堆石体变形而人为划分，包括压性缝和张性缝。分缝的主要作用是释放约束应力、协调变形以及施工要求等，其主要目的避免混凝土结构破坏及便于施工。为使面板、趾板及防浪墙形成完整防渗体系，则所有分缝位置必须按照不同接缝特点设置相应的止水结构^[2]。

周边缝设置三道止水：底部设F形铜片止水，铜片止水底部设置PVC垫片及沥青砂浆；缝间填塞厚12mm沥青杉木；缝顶部设波形橡胶止水，用不锈钢膨胀螺栓固定，V形槽内塞 $\phi 50\text{PVC}$ 棒；顶止水用柔性填料，上部采用8mm厚GB橡胶复合板保护，采用不锈钢角钢和膨胀螺栓固定。防浪墙底水平缝止水结构与周边缝相同。

垂直缝设置顶底两道止水：底部设W形铜片止水，铜片止水底部设置PVC垫片及水泥砂浆；压性缝间填塞厚8mm聚乙烯塑料板，张性缝面涂刷3mm厚沥青乳胶漆；缝顶止水用柔性填料填筑，且张性缝的填筑面积大于压性缝，上部采用8mm厚GB橡胶复合板保护，用不锈钢角钢和膨胀螺栓固定，V形槽内塞 $\phi 50\text{PVC}$ 棒。

四、大坝基础处理

（一）趾板基础及坝体基础处理

河床段趾板基础开挖至弱风化下部，两岸坡趾板基础开挖至弱风化中上部；左岸坝肩附近趾板基础开挖至强风化下部，右岸坝肩趾墙基础开挖弱风化中部。趾板基础禁止欠挖，严格控制开挖，且开挖面应力求平顺，避免形成陡坎和反坡；趾板基础采用预裂松动爆破，力保岩体完整。

堆石坝体基础置于强风化岩体上，以确保坝体均匀变形，开挖面应平稳过渡，避免地形突变而改善坝体变形梯度。趾板防渗延长区垂直坝轴线方向水平开挖，末端用1:2顺坡衔接下游，严禁欠挖。河床段坝体基础清除砂砾石及冲积层，左右岸坡坝体基础清除植被及覆盖

层、挖除裸露松动石块及碎土石层，岸坡倒悬岩体应开挖成不小于1:0.5的顺坡。

（二）基础地质缺陷处理

趾板基础及趾板防渗延长区出现的软弱夹层、溶沟溶槽及节理裂隙等地质缺陷，作如下处理：

（1）扩挖软弱夹层及节理裂隙后用C25混凝土塞置换回填，扩挖宽度为2倍夹层宽，扩挖深度为1倍夹层宽，扩挖长度向趾板上下游延伸5m；采用锚杆将混凝土与基岩连成整体，并沿夹层与裂隙加强固结灌浆。

（2）清除溶沟溶槽内充填物及松散软岩后用高压水冲洗，再用C25混凝土回填溶腔，并作回填灌浆处理。

堆石坝体基础内的地质缺陷处理要求可降低，只需清除后回填混凝土，不必扩挖或加强灌浆等。

（三）固结灌浆和帷幕灌浆设计

基础固结灌浆目的是提高基岩整体性，固结灌浆控制标准是灌后岩体波速提高10%以上。趾板基础固结灌浆孔距2m，排距3m，河床、左岸及右岸下段孔深5m，右岸上段（312.000m以上）孔深8m，趾墙固结灌浆深6m，间排距2m，灌浆孔均采用梅花型布置。

依据工程水文地质条件，结合相关规范规定，并参考国内外已建工程经验，宰章面板坝帷幕灌浆标准按不大于3Lu控制，以正常蓄水位与两坝肩地下水水位线交点作为两岸防渗端点。帷幕灌浆孔沿趾板、趾墙及溢流堰单排布置，孔距3m。

五、结语

本文介绍了宰章混凝土面板堆石坝的设计要点，重点介绍坝体剖面设计、坝体分区及填筑设计、防渗面板趾板设计、接缝止水设计以及基础处理设计等，可作为类似工程参考借鉴。宰章水库挡水大坝已于2021年8月完工，枢纽大坝下游实景图见图2。



图2 枢纽大坝下游实景图

参考文献

- [1] 李晓超, 周志博, 刘春峰, 董建鑫. 青山冲水库面板堆石坝坝体分区及坝料优化设计[J]. 水利水电工程设计, 2021, 40(1): 22-24.
 - [2] 关志诚主编. 水工设计手册(第2版), 第6卷, 土石坝[K]. 北京: 中国水利水电出版社, 2014.
 - [3] 何文云. 马鞍山水库混凝土面板堆石坝设计研究[J]. 建筑设计·理论, 2021.1, 18(379): 116-118.
 - [4] SL 228-2013, 混凝土面板堆石坝设计规范[K].
- 作者简介: 王嘉斌(1988-), 男, 贵州德江人, 工程师, 硕士, 主要从事水利水电工程设计工作。