

东庄上游围堰选型设计研究

王民侠¹, 王健¹, 王云涛¹, 付登辉¹

(1.陕西省水利电力勘测设计研究院, 陕西省西安市 邮编 710001)

摘要: 东庄水库上游围堰高度 55.2m, 围堰填筑期 3 个月, 根据围堰工期及建筑材料情况进行围堰型式研究。创新性提出将开挖洞渣料用于胶结料围堰修筑, 具有安全、经济、环境友好、构造简单、施工便捷等优势, 围堰工程按期完工可为东庄水库枢纽施工提供重要保障。本研究可为胶结开挖料筑坝技术在陕西省乃至全国类似工程应用提供参考和借鉴, 在推动行业科技进步方面意义重大。

关键词: 洞挖石渣, 胶结料, 围堰; 选型研究

中图分类号: 文献标识码: A

1 研究背景

东庄水利枢纽为 I 等大(1)型工程, 水库总库容 32.76 亿 m³, 坝型为混凝土双曲拱坝, 最大坝高 230 米, 电站装机 11 万千瓦。工程已于 2018 年 7 月开工, 施工总工期 95 个月, 预计 2025 年建成投运。工程估算总投资 163.61 亿元。东庄水利枢纽位于陕西省咸阳市礼泉县叱干镇相家村, 是陕西省库容最大、坝高最高的水库。

东庄水利工程上游围堰担负着保障大坝主体按期施工的截流和防护作用, 东庄水库坝址距泾河入渭口约 87km, 距西安市约 90km。坝址处于高山峡谷区, 河床深切, 边坡最高达 400m。为了按期截流, 保障主体工程按进度计划顺利进行, 在一个非汛期内完成围堰工程施工是主要制约条件。

东庄上游围堰只挡水不泄洪, 堰前水位 637.85m, 堰顶高程 639.20m, 最大堰高 55.2m, 堰顶宽 7m, 堰顶长 70m。围堰轴线距拱坝轴线 110m, 保护对象为 1 级建筑物混凝土双曲拱坝, 围堰使用年限 2 年 6 个月, 堰前库容 2582 万 m³, 围堰级别为 4 级, 围堰挡水标准为全年 10 年一遇洪水, 相应洪峰流量 5300m³/s, 围堰施工期为 8 个月(11 月~次年 6 月), 考虑岸坡开挖和基础处理后, 围堰有效填筑时间为 3 个月。

2 基本资料

2.1 气象资料

坝址处多年平均气温 10.4℃, 极端最高气温 39.4℃, 极端最低气温-21.0℃, 最大冻土深度 61cm, 最大风速 25.3m/s, 最冷月(1 月)平均气温-3.3℃, 属寒冷地区。

2.2 地质资料

上游围堰部位河谷为“V”型谷, 两岸地形陡峻, 基岩裸露, 左岸自然坡度近 90°, 右岸地形略缓。上游围堰基础部位基岩为厚层、巨厚层灰岩, 岩石致密坚硬, 抗风化能力强, 岸坡表层强溶蚀风化带厚度一般不大于 2m。强卸荷带厚度 2~5m, 弱卸荷带厚度 5~10m。

东庄坝前分布有 1# 破碎体和 2# 堆积体, 1# 破碎体位于坝址上游左岸, 顺河向长 160m,

最近点距坝轴线约 125m，分布高程 592m ~710m，破碎体方量约 70 万 m³，1# 破碎体整体较稳定。2# 堆积体位于左坝肩上游，距拱坝轴线最近距离 60m，分布高程 695m ~775m，一厚般厚 10m~60m，初估方量 10 万 m³。

混凝土料场位于坝址右岸庙上灰岩料场，距坝址直线距离约 1km，边坡和洞室开挖料岩性为灰岩，破碎后也可作为人工骨料使用。土料场位于东庄坝址上游右岸的菜家坡，距离东庄坝址约 4.5km。

3 围堰轴线选择

1# 破碎体距离上游围堰较近，且正对右岸导流洞进口，现状条件下整体相对稳定，但高陡岸坡在围堰蓄水后存在失稳可能，考虑工程施工与运行安全，上游围堰轴线尽量避开 1# 破碎体布置。2# 堆积体位于围堰上部，围堰施工前结合大坝坝肩边坡开挖对 2#堆积体进行挖除，围堰布置不受 2# 堆积体影响。

上游断流围堰迎水坡脚距导流泄水建筑物进口距离，混凝土围堰为 10~30m，围堰背水坡脚距永久建筑物基础开挖边坡开口线不宜小于 10m，为避开 1# 破碎体，围堰轴线位于坝轴线以上 128m。

4 围堰型式研究

围堰轴线距坝轴线位置较近，均质粘土围堰布置困难，加之本工程围堰施工期为枯水季节，历经寒冷地区冬季，土料碾压时间受到限制，按期完工较为困难。面板堆石围堰和混凝土拱围堰由于施工工期无法保障，均不列入围堰型式比选。

综合考虑地形、地质条件、建筑材料等因素，上游围堰具备选用碾压混凝土重力围堰、胶结洞挖石料围堰的条件。

4.1 碾压混凝土重力围堰

碾压混凝土重力围堰是一种技术成熟的围堰结构形式，单位用水量 and 水泥用量较小，混凝土运输、平仓、振实、切缝等均可采用通用机械施工，能连续作业，实现施工机械化；施工时结合大仓面薄层浇筑，可简化人工冷却措施；施工速度快，工期保证率高。施工技术成熟，国内应用案例较多，最高碾压混凝土围堰为龙滩水电站围堰，最大堰高 82.7m。碾压混凝土围堰施工速度快，最大月上升高度 20.7~27.9m，月高峰浇筑强度 12.3~48 万 m³/月。东庄水库上游碾压混凝土围堰高 56.2m，混凝土总量 5.2 万 m³，3 个月浇筑完成的风险较小。

混凝土重力围堰堰顶高程 639.20m，堰顶宽 7m，最大堰高 56.2m，最大断面底宽 44.96m，堰顶长 82.72m。围堰建基面座落于坝基弱风化岩石中部~下部，建基面高程 583.00m，堰体断面基本三角形顶点同设计水位 637.85m，上游面垂直，下游面在高程 630.45 以上垂直，以下坡比 1:0.8。碾压砼总方量约 6.65 万 m³。

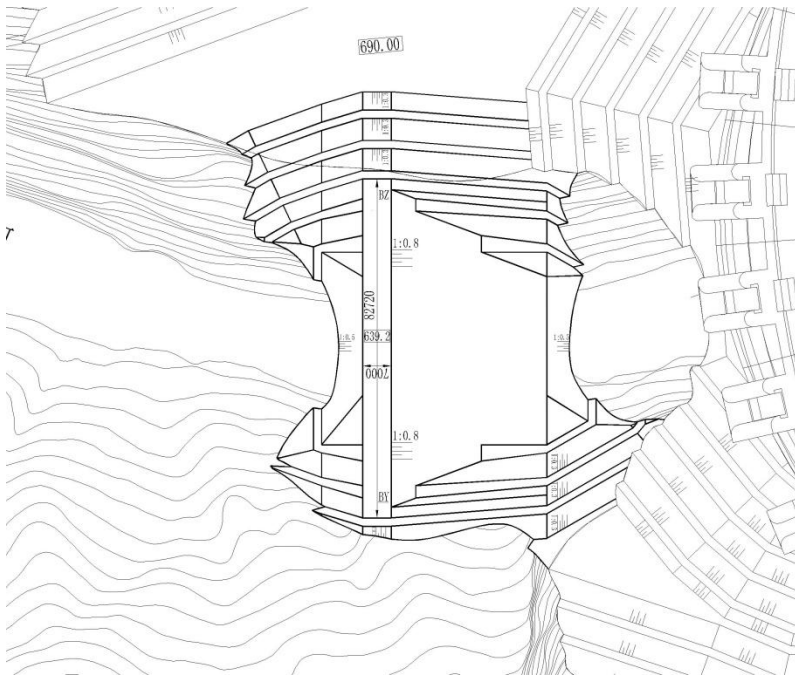


图 1 碾压混凝土围堰平面布置图

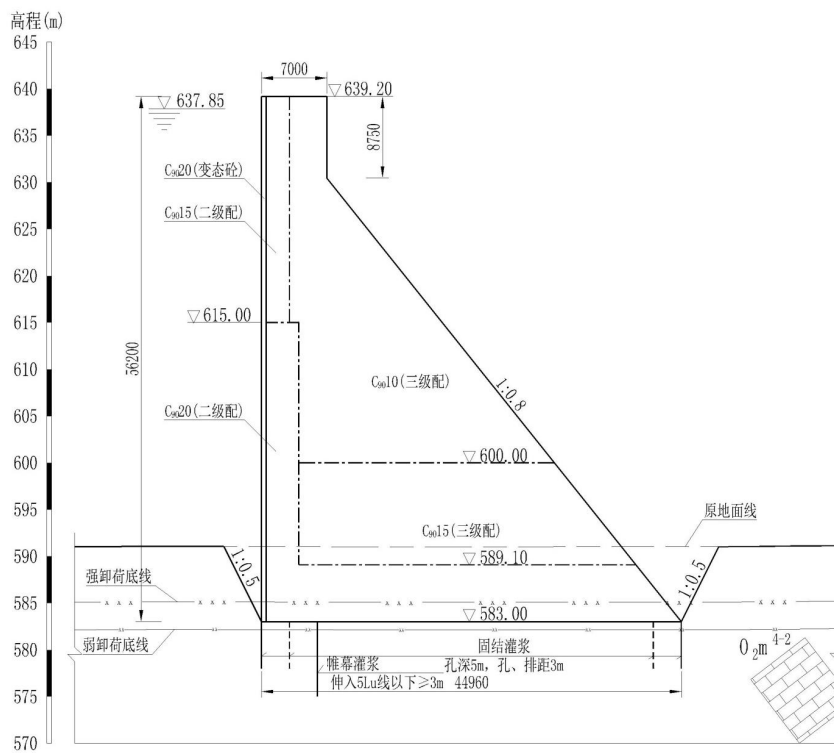


图 2 碾压混凝土围堰标准横剖面

4.2 胶结洞挖石料围堰

胶结料围堰横断面尺寸介于混凝土围堰和土石围堰之间，采用少量胶结材料、天然级配砂砾石（或人工骨料）经搅拌、摊铺、碾压形成具有一定强度和抗剪性能的材料。与混凝土

重力围堰相比，胶结材料堰体断面较大，应力水平低，对筑堰材料要求较低，可利用开挖石渣料，无混凝土温控要求。

堰体采用 C4 胶结人工骨料填筑，上游面采用 C15W6 富胶凝人工结砂砾石，厚度 1~2m，下游面采用 C15W6 富胶凝人工结砂砾石，厚度 1m。

胶凝砂砾石采用专用拌和设备进行拌和，自卸汽车运输，618m 高程以下直接入仓，618m 高程以上采用溜槽入仓，铺料厚度 60cm，26t 振动碾碾压。施工方案与碾压混凝土施工基本相同。目前胶结砂砾石应用为围堰和大坝的项目见表 1。浇筑强度为 2.5 万 m³/月，月平均上升高度为 14m/月。已建大华侨水电站胶结人工砂石混凝土围堰月上升高度为 28m/月，月浇筑强度 5 万 m³/月，3 个月完成围堰填筑是有工期保障的。

胶结料围堰是介于堆石围堰与重力围堰之间的一种型式，基础处理要求低于重力围堰，故堰高比重力围堰低 1m。围堰堰顶宽 7m，堰顶长 66.8m，最大堰高 55.2m，最大断面底宽 62.22m，上游面边坡 634.2m 以上垂直，以下 1:0.5，下游坡坡比 634.20 以上垂直，以下 1:0.6，堰顶采用 1m 厚 C₉₀15 富浆胶结料。上游防渗层采用 C₉₀15W6 富浆胶结料，外侧坡比 1:0.5，内侧坡比 1:0.48，顶部宽度 1m；在高程 597.00m 处设宽 6.5m 灌浆平台，堰体内部采用 C4W2 胶结料；下游保护层采用 C₉₀15W2 富浆胶结人工砂石料，厚度 1m，坡比 1:0.5；基础垫层采用 1m 厚 C₉₀15W6 富浆胶结料。上游防渗层及下游保护层每 15~20m 设一道伸缩缝，缝内设一道铜止水一道橡胶止水。胶结料总方量约 5.63 万 m³。

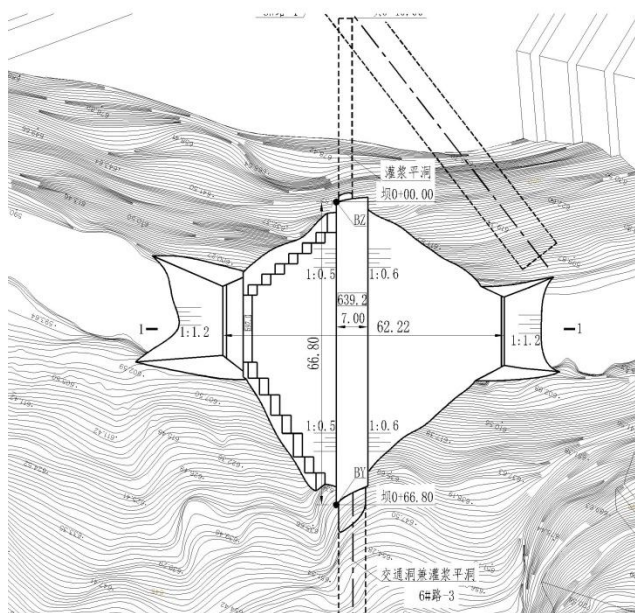


图 3 胶结洞挖石渣料围堰平面布置图

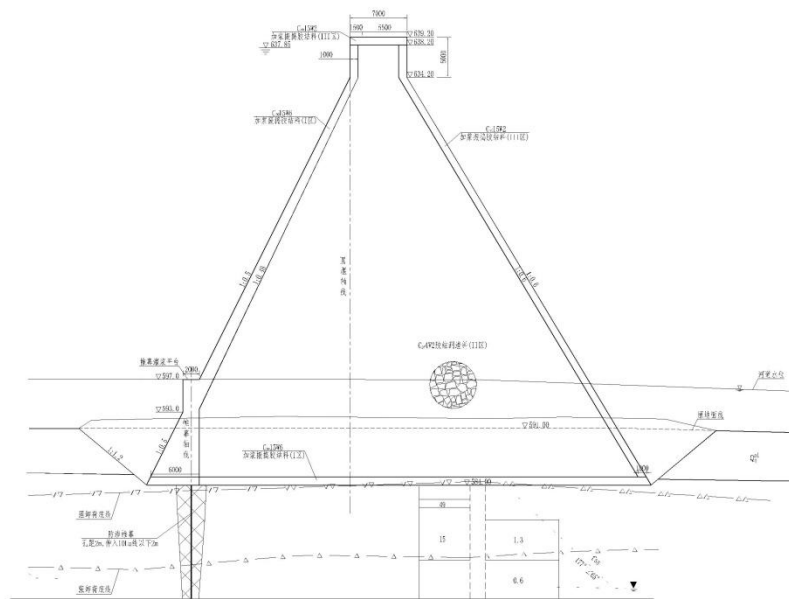


图 4 胶结洞挖石渣料围堰标准横剖面

4.4 围堰型式比较

从建筑材料，施工工期、施工临建布置、施工方法、温控及节能环保方面对胶结洞挖石料围堰和碾压混凝土围堰进行对比分析，见表 2。

表 1 围堰型式分析比价表

项目	碾压混凝土围堰	胶结洞挖石料围堰
建筑材料	利用开挖石料加工混凝土骨料。	混凝土骨料利用开挖石料粗碎加工，细骨料利用开挖石料制砂。
施工辅助企业	需在坝址上游设置砂石加工系统和混凝土拌和系统，系统规模较堆石混凝土大，较胶结人工砂石坝低。	需在坝址上游设置砂石加工系统和混凝土拌和系统，混凝土系统规模最大。
施工方法	混凝土在低位采用自卸汽车入仓，高位采取溜槽入仓，平仓机平仓，振动碾碾压，机械化水平高。	混凝土在低位采用自卸汽车入仓，高位采取溜槽入仓，平仓机平仓，振动碾碾压，机械化水平高。
温控措施	水泥用量较少，温控措施简单，温控费用较低。	水泥用量最少，温控措施简单，温控费用低。
施工工期	施工快，工期3个月。	基础及边坡处理简单，施工速度最快，工期2.5个月。
节能环保	开挖料进行破碎，相对耗能较高	开挖料简单破碎，相对耗能较低
投资	4337万元	1572万元

从表 1 可知，从工期对比来看，胶结洞挖石料围堰施工期 2.5 个月，碾压混凝土围堰施工期 3 个月，围堰施工工期满足工程要求，胶结料围堰施工期较短。从投资来看，胶结料围堰

由于基础处理工程量较少，投资上优势较大。通过两种堰型地形地质条件、平面布置、施工组织设计、工程量及投资等方面比较，围堰采用胶凝洞渣料进行碾压填筑。

5 洞渣料性能验证

东庄水库导流洞及 6#交通洞距离上游围堰较近，胶结骨料主要选用 6#交通洞开挖石渣，洞挖石渣料与边坡开挖料相比具有颗粒较细、利用率较高的优点，为研究洞挖石渣料的特性，现场取样 7 组进行筛分试验，级配曲线见图 5。

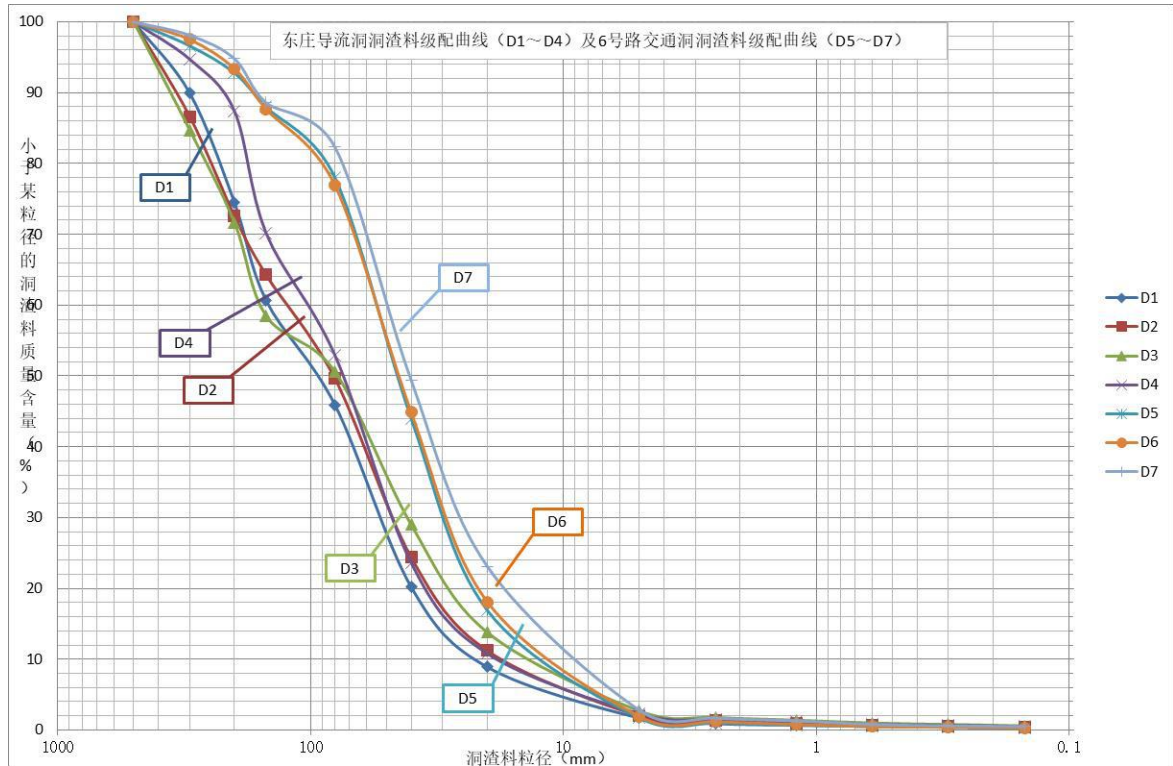


图 5 洞挖石渣料级配曲线

从图 5 可以看出，7 组洞挖石渣料最大粒径 500mm，大于 300mm 粒径含量在 1.9%~15.3%，大于 200 mm 粒径含量在 5.2%~28.3%，大于 150mm 粒径含量 11.4%~41.5%，5mm 以下粒径含量 1.7%~2.8%。由于洞渣料大于 150mm 粒径含量较多，后期可结合配合比试验成果研究将围堰最大骨料粒径放宽至 300mm 的可行性，也可将超径渣料初碎加工后作为胶结骨料或制备人工砂原料。在工程实施中也可通过调整洞室爆破参数减小超径粒含量。

洞渣料堆积密度为 $1.4\sim 1.53\text{g/cm}^3$ ；表观密度 $2.7\sim 2.82\text{g/cm}^3$ ，大于 2450kg/m^3 ；含泥量 0.2%~0.6%，小于 5%；粒度模数为 7.54~8.69。洞挖料泥块含量小于 0.5%。洞渣料压碎指标、含泥量、表观密度和吸水率等指标均满足规范要求，骨料质量较好。

采用不同胶凝材料用量（80kg/m³、100kg/m³、110kg/m³）、砂率（35%、25%、18%）进行试验，28d 龄期时，各试验组湿筛试件的 28 天抗压强度都在 11MPa 以上，在胶凝材料为 80kg/m³，抗压强度最低为 11.0MPa，使用洞渣料制备胶结料可以满足围堰强度 C₂₈4 的设计要求。胶结洞渣料抗压强度远超设计强度，通过降低胶凝材料用量，调整水灰比可进一步优化配合比。

表 2 洞渣料湿筛试件试验结果

编号	水泥(kg/m ³)	粉煤灰(kg/m ³)	用水量(kg/m ³)	VC 值(s)	砂率(%)	抗压强度(MPa)
						28d
DZA80	40	40	90	14	35	11.1
DZA100	50	50	100	5		14.3
DZA110	55	55	105	2		15.4
DZB80	40	40	85	7	25	11.4
DZB100	50	50	95	3		13.1
DZB110	55	55	100	3		14.3
DZC80	40	40	80	5	18	11.0
DZC110	55	55	90	3		11.7

经试验验证，东庄围堰胶结骨料采用洞挖石渣料是可行的。

6 结论

洞渣料用于胶结骨料修筑围堰尚无先例，胶结石渣料围堰基础及边坡开挖工程量小，施工进度快，防渗结构简单，是适合东庄上游围堰的较好型式。胶结石渣料围堰无温控要求，可减少弃渣外运和渣场治理费用，符合节能环保要求，本工程的实施，可为胶结开挖料筑坝技术在我省乃至全国类似工程应用提供参考和借鉴，在推动行业科技进步方面意义重大。

Design Study on the Type Selection of Upstream Cofferdam in Dongzhuang

Wang Minxia¹ Wang Jian¹ Wang Yuntao¹ Fu Denghui¹

(1. Shaanxi Province Institute of Water Resources and Electric Power Investigation and Design, XIAN, 710001, china)

Abstract: The height of the upstream cofferdam of Dongzhuang Reservoir is 55.2m, and it took 3 months to fill the cofferdam. According to the construction period of the cofferdam and the construction materials, the cofferdam type was studied. Innovatively proposed the use of

excavated slag material for the construction of cemented material cofferdams, which has the advantages of safety, economy, environmental friendliness, simple structure and convenient construction. The completion of the cofferdam project on schedule provides an important guarantee for the construction period of the Dongzhuang Reservoir hub.

This study can provide a reference for the application of cement slag dam technology in similar projects in Shaanxi Province and even the whole country. It is of great significance in promoting scientific and technological progress in the industry.

Keywords: excavated slag, cemented material, cofferdam; type selection

参 考 文 献:

[1] 陕西省泾河东庄水利枢纽工程初步设计报告。

[2] 《胶结颗粒料筑坝技术导则》（SL678 —2014 ）。

[3] 东庄围堰工程胶结洞渣料配合比及性能试验研究阶段成果报告。

基金项目：陕西水利科技计划项目胶结洞挖石料在围堰中的应用研究（2020slkj- 18）

作者简介：王民侠（1973-），女，陕西省合阳县，高级工程师，主要从事水利工程设计工作，陕西省西安市东大街 57 号、18991808903、552325197@qq.com