# 叶巴滩水电站围堰堰型方案比选研究

张永清， 周顺文， 相昆山， 杨玉川， 孔 科
（中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司，四川 成都 610072）

**摘 要**：围堰作为导流工程中的临时挡水建筑物，用来围护施工基坑，从而保证水工建筑物能在干地进行施工。由于围堰形式选择的合理与否，直接关系到导流工程的布置、施工及进度、工程量及投资等方面，因此，在可行性研究阶段正确选择围堰形式至关重要。针对工程的实际情况，对叶巴滩上游围堰，进行了混凝土围堰与土石围堰进行了专题比选；而对下游围堰，主要考虑其与二道坝存在结合布置的可能性，分析结合与不结合两种分案。

**关键词**：叶巴滩水电站；导流标准；导游方式；方案比选；围堰布置
**中图分类号**：[TM622]；TV551.3；TV551.1＋6 **文献标识码**： B **文章编号**：1001-2184(2019)01-0055-04

## 0 引 言

西南山区水电站坝址区多属于高山地貌，经常出现深切的“V”型河谷。对于此种地形，多采用断流围堰基坑全年施工、隧洞导流的导流方式，如何合理地确定围堰，将直接影响导流工程的布置、施工及进度、工程量及投资。因此，围堰形式的选择和设计就显的尤为重要。

本文针对叶巴滩水电站工程的实际情况，研究分析表明不宜采用明渠、分期等导流方式，而推荐采用“断流围堰基坑全年施工、隧洞导流”的导流方式。根据围堰布置原则及该工程特点，对上下游围堰进行相应的方案比选。对上游围堰，进行了混凝土围堰与土石围堰的专题比选；而对下游围堰，主要考虑其与二道坝存在结合布置的可能性，分析结合与不结合两种分案。

## 1 叶巴滩水电站概况

### 1.1 工程概况

叶巴滩水电站位于四川与西藏界河金沙江上游河段上，坝址位于金沙江支流降曲河口下游 600 m 处，坝址控制流域面积为 17.35 万 $km^2$，多年平均流量 839 $m^3/s$。

叶巴滩水电站枢纽建筑物由混凝土双曲拱坝、泄洪消能建筑物、引水发电建筑物三大系统组成。混凝土双曲拱坝坝顶高程 2 894.0 m，最大坝高 217.0 m。泄洪消能建筑物由坝身 5 个泄洪表孔、4 个泄洪深孔、水垫塘及二道坝组成，采用挑流消能，具有“高水头、大泄量、窄河谷”的特点[1~3]。

**收稿日期**：2018-12-09

### 1.2 地质条件

坝址区河道顺直，多处跌水险滩，水流湍急，枯水期江面宽 30～70 m，水深 5～10 m。坝址区两岸山体雄厚，山势巍峨，地形陡峭，山顶高程大于 4 000 m，相对高差大于 1 000 m，属高山地貌。河谷狭窄，谷坡陡峻，一坡到顶，缓坡平台不发育，为基本对称的深切“V”型峡谷。坝址区两岸多基岩裸露，覆盖层主要分布于河床、岸坡坡脚及浅沟沟口。无河漫滩、阶地发育。岸坡覆盖层主要为崩积形成的倒石堆，局部为崩坡积混合堆积。

上游围堰轴线位于降曲河口下游约 260 m。钻孔揭示，河床覆盖层为漂砂卵砾石，层次简单，结构较密实，厚度 20～27 m，为中等偏强透水层，基岩为石英闪长岩，岩石坚硬。下游围堰轴线位于董俄措沟口上游约 200 m。钻孔揭示，河床覆盖层为漂砂卵砾石，层次简单，结构较密实，厚度 19.40 m。上下游围堰两处的河床冲积漂砂卵砾石层均较密实，承载和抗变形能力均可满足围堰要求。

## 2 施工导流标准与方式

### 2.1 导流标准

叶巴滩水电枢纽工程为一等大（Ⅰ）型工程，永久性主要建筑物级别为 1 级，永久性次要建筑物为 3 级。

根据《水电工程施工组织设计规范》（DL/T 5379－2007）及《水电工程施工导流设计规范》（NB/T 35041－2014），综合各方面因素，并参照

国内已建和在建的同类工程经验,本阶段选择导流建筑物级别为 4 级。根据地形地质条件、工程区建筑材料情况及交通条件、枢纽建筑物布置特点及施工进度要求,并结合经济指标等因素综合考虑,围堰宜选择土石类围堰,对于 4 级土石类导流建筑物,相应的导流标准为洪水重现期 20～10 年。

2.2　导流方式

坝址区两岸山体雄厚,岸坡基岩出露,岩性以石英闪长岩为主,具有良好的隧洞布置条件。根据坝址区地形与地质条件、枢纽建筑物布置特点及施工进度要求,推荐采用断流围堰、隧洞导流方式。

拦河大坝为混凝土双曲拱坝,最大坝高 217.0 m,大坝施工为控制发电工期的关键项目,基坑过水及过水后的基坑清理等影响发电工期和工程总工期,经济损失较大,大坝宜采用全年施工。本河段无通航,干流常年不结冰,不需考虑通航、排冰设计。

根据本工程地形地质条件、枢纽建筑物布置特点、工程施工条件和工期要求,本工程采用"断流围堰全年挡水、隧洞导流"的导流方式。

## 3　围堰布置方案

本工程施工期设计导流流量为 5 670 $m^3/s$,对于采用断流围堰基坑全年施工、隧洞导流的导流方式,如何合理地确定围堰及导流洞的规模,将直接影响导流工程的布置、施工及进度、工程量及投资,因此,根据围堰布置原则及工程特点,对导流挡水建筑物进行以下方案比选。

3.1　上游围堰堰型方案

上游围堰两岸基岩裸露,坡脚部位可见崩坡积堆积物,块径较大,厚度 2～5 m。基础河床覆盖层为漂(块)砂卵(碎)砾石及含漂砂卵砾石层,层次简单,结构较密实,厚度 20.77～27.32 m。河床覆盖层以粗颗粒为主,无集中成带的砂层等细颗粒分布,承载力较高,堰基不均匀沉陷和抗滑稳定问题不突出,施工时应作好防渗处理。此种地形比较适合混凝土围堰与土石围堰布置,下面对其进行比较分析。

3.1.1　混凝土围堰

混凝土围堰的导流标准采用 10 年一遇洪水,相应流量为 $Q_p$=10%=5 050 $m^3/s$。经计算,在相同的导流洞规模的前提下,堰前设计水位为 2 755.50 m,选择围堰顶高程为 2 758.00 m,围堰建基于 III2 类基岩上,建基面高程为 2 690.00 m,最大堰高约 68.0 m;基础防渗采用帷幕灌浆,并设置排水孔;经初步分析计算,碾压混凝土围堰顶宽取 5.0 m,上游采用直立边坡,下游坡比为 1∶0.8。碾压混凝土总工程量约 11.2 万 $m^3$。

为保证混凝土围堰的施工,围堰之前需增设一道枯期土石围堰,该土石围堰挡水标准采用 5 年一遇设计洪水,挡水时段为 11 月～5 月,相应流量为 $Q_p$=20%=1 110 $m^3/s$;经计算,土石围堰顶高程为 2 729.00 m,最大堰高约 21.0 m,土石围堰及其基础采用混凝土防渗墙,防渗墙深约 38.0 m,墙下中等透水的 $Ⅲ_2$、$Ⅲ_1$ 类岩体中设置帷幕灌浆,最大灌浆深度约 23.0 m,碾压混凝土围堰的布置如图 1 所示。

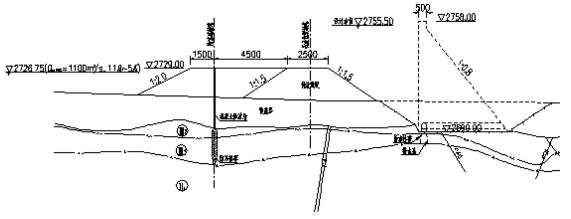


图 1　碾压混凝土围堰剖面图

3.1.2　土石围堰

土石围堰的导流标准采用 20 年一遇洪水,相应流量为 $Q_p$=5%=5 670 $m^3/s$。在相同的导流洞规模的前提下,围堰顶高程为 2 766.00 m,最大堰高约 58.0 m,经初步分析计算,土石围堰顶宽取 10.0 m,上游坡比采用 1∶2,下游坡比为 1∶1.75,堰体采用土工膜心墙防渗,堰基采用混凝土防渗墙防渗,防渗墙深约 38.0 m,墙下中等透水的 $Ⅲ_2$、$Ⅲ_1$ 类岩体中设置帷幕灌浆,最大灌浆深度约 22.0 m。土石围堰的布置如图 2 所示。

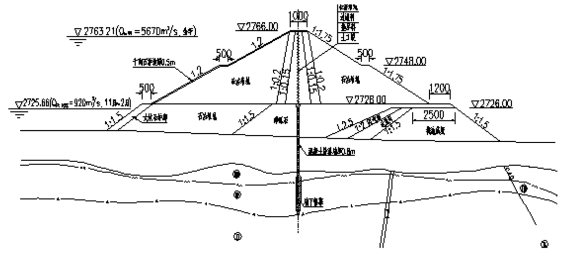


图 2　土石围堰剖面图

3.1.3　方案比选

土石围堰对地基的要求较低,可充分利用工程开挖料,造价低廉;混凝土围堰所需的水泥、粉

煤灰等主要建材均需外购，而本工程地理位置偏远，海拔较高，对外交通条件较差，运费较高。

土石围堰施工受气候影响小，施工技术简单，可组织高强度施工，一个枯水期内完成约 58.0 m 高的土石围堰（含 38.0 m 深混凝土防渗墙）保证率较高。而混凝土围堰方案需先施工枯期土石围堰，而后进行基坑排水、混凝土围堰基础开挖和处理，然后才能进行混凝土围堰浇筑施工。根据施工进度分析，防渗墙施工需要 3 个月，围堰基础开挖和处理需要 2 个月，枯期（11 月～5 月）剩余 2 个月难以完成 68 m 高的混凝土围堰施工（即使按 20 m/月的碾压混凝土上升速度，混凝土围堰要到 7 月中旬才能浇筑到顶），不能满足度汛要求。

如采用增大导流洞，降低混凝土围堰高度的布置方式，至少需将围堰顶高程降低 30 m 左右，即顶高程降至 2 728.00 m，这将与上游枯期围堰顶高程相同，这种布置几乎无意义。

土石围堰易于布置下基坑道路，混凝土围堰的背坡不能布置下基坑道路，基坑出渣绕行下游围堰再到降曲河渣场，运距增大，不经济。

近年来在金沙江、雅砻江和大渡河上设计、施工了多座 60 m 左右的土石围堰，积累了较多的工程经验。通过以上综合分析比较，土石围堰的优点突出，故推荐采用土石围堰。

### 3.2　下游围堰堰型方案

叶巴滩水电站初期导流标准为 20 年一遇，相应流量为 5 670 $m^3/s$，下游围堰设计水位 2 732.04 m，考虑波浪爬高和安全超高后，确定下游围堰顶高程为 2 734.00 m。

二道坝顶高程为 2 730.00 m，与下游围堰顶高程仅相差 4m，施工期适当加高二道坝即可作为下游围堰使用，即下游围堰与二道坝存在结合布置的可能性。下面对结合和不结合布置方案进行比较选择。

#### 3.2.1　结合方案

施工期将二道坝顶高程加高 4 m 至 2 734.00 m 高程，作为下游全年挡水围堰使用，其建基面高程 2 688.00 m，最大坝高 46 m（不含齿槽），混凝土总量约 20.3 万 $m^3$，导流洞下闸前将顶部 4m 混凝土爆破拆除，将顶高程恢复至 3 730.00 m，满足二道坝永久运行要求。

二道坝轴线处河床覆盖层厚度约 23.0 m，为施工二道坝，需先修建枯期土石围堰。枯期土石围堰按 5 年一遇枯期洪水考虑（11 月～5 月），相应设计流量为 $Q_p$=20%=1 100 $m^3/s$，设计水位为 2 722.05 m，堰顶高程为 2 724.00 m。枯期土石围堰防渗墙施工平台高程 2 724.00 m，混凝土防渗墙最大深度约 35.0 m。

二道坝基坑开挖需在上游围堰防渗墙和下游枯期围堰防渗墙全部完工后才能进行。经施工进度分析，河床截流后上、下游两道防渗墙施工需 3 个月，二道坝基础开挖和基础处理需 2 个月，枯期期（11 月～5 月）剩余 2 个月难以完成 46 m 高的二道坝（全年围堰）施工。构皮滩电站下游混凝土围堰（二道坝）最大堰高 47.60 m，混凝土总量约 13.28 万 $m^3$，碾压混凝土最高月浇筑强度 5.0 万 $m^3$，实际施工历时 3.5 个月。

因此，下游枯期土石围堰需按过水围堰设计。过水围堰的堰顶考虑防渗墙施工要求，宽度取 25.0 m，上游堰坡坡比 1∶2.5，下游堰坡坡比 1∶2.5，过流堰面采用 1.0 m 厚大块石进行护面，围堰的布置如图 3 所示。

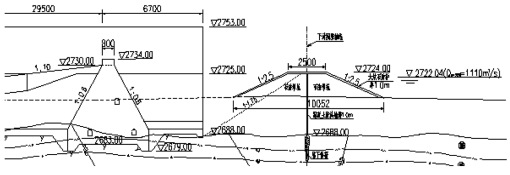


图 3　结合方案围堰剖面图

#### 3.2.2　不结合方案

下游围堰采用土石围堰，堰顶高程 2 734.00 m，最大堰高约 24.0 m。防渗墙施工平台高程 2 724.00 m，混凝土防渗墙最大深度约 35.0 m；防渗墙施工平台以上堰体高度 10 m，采用土工膜心墙防渗，围堰的布置如图 4 所示。

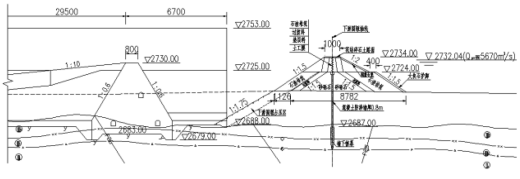


图 4　不结合方案围堰剖面图

#### 3.2.3　方案比选

结合方案的枯期土石围堰（汛期过水）底宽约 100 m，不结合方案的全年挡水土石围堰底宽约

87 m,两者基本相当,对导流洞出口布置没有影响,亦即不能减短导流洞长度。

结合方案二道坝需加高 4 m,增加混凝土量约 3 200 $m^3$,增加投资约 320 万元;且加高部分需导流洞下闸前采用控制爆破拆除,施工工艺要求较高。

结合方案的枯期土石围堰(汛期过水)需做好堰面过流保护,堰面防护大块石约 8 600 $m^3$,施工相对复杂,且造价相对较高;不结合方案的全年挡水土石围堰 2 724 m 高程以上为 10 m 高的土石填筑体,填筑量约 2.7 万 $m^3$,结构简单,施工方便,且造价低。大块石单价按 120 元/ $m^3$ 考虑,土石填筑单价按 30 元 $m^3$ 考虑,结合方案的枯期土石围堰较不结合方案的全年挡水土石围堰直接投资高 22 万元。

结合方案第三年汛期基坑灌水,影响大坝基坑开挖,且二道坝需安排在枯水期施工,占用较多施工资源,影响关键线路上的大坝工程施工;不结合方案二道坝可选择合理的时段进行施工,可与大坝施工协调安排。

综上所述,本阶段不推荐下游围堰与二道坝结合布置,推荐采用独立布置的下游全年挡水土石围堰方案。

## 4　结　语

由于围堰形式选择的合理与否,直接关系到导流工程的布置、施工及进度、工程量及投资等方面,因此,在可行性研究阶段正确选择围堰形式至关重要。

根据叶巴滩水电站上下游围堰方案比选可知,围堰型式选择主要从地质情况、施工条件、工期及经济性等几个方面进行分析。最终确定上游围堰采用土石围堰,下游围堰采用不与二道坝结合的方案,而且是比较合理的,对于今后类似水电工程围堰型式选择有一定的指导价值。

**参考文献:**

[1] 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司金沙江上游叶巴滩水电站可行性研究报告[R]. 报告编号:CD228 KX－13－9(1),2016.

[2] 程效儒. 谈小湾水电站上游围堰型式选择[J]. 云南水力发电,1993,32(3):24－28.

[3] 李江,王健. 布尔津山口水电站围堰型式选择与风险分[J]. 水利规划与设计(设计施工),2014,8:73－76.

**作者简介:**

张永清(1988-),男,甘肃武威人,硕士,工程师,主要从事水利水电工程和施工导流工作;

周顺文(1986-),男,广西百色人,硕士,工程师,主要从事水利水电工程工程和施工导流工作;

相昆山(1988-),男,山东临沂人,硕士,工程师,主要从事水利水电工程和施工导流工作;

杨玉川(1990-),男,河南开封人,硕士,助理工程师,主要从事水利水电工程、无人机综合应用等工作;

孔　科(1984-),男,四川邻水人,博士,高级工程师,主要从事岩土工程、水工结构、水利水电工程及施工导流工作.

**(责任编辑:卓政昌)**

(上接第 54 页)

根据上述计算,对叶巴滩水电站上游围堰进行设计是相对比较合理的,通过考虑渗流及边坡稳定性,对于今后类似围堰分析计算及设计具有一定的参考价值。

**参考文献:**

[1] 彭长胜,黄胜,闫鹏飞. 海中深厚软土地基里隧道明挖法施工截流围堰方案必选及稳定性分析[J]. 铁道建筑,2015,9:53－56.

[2] 季家俊. 软土地基上临时围堰填筑期稳定性分析[J]. 工程建设,2013,45(5):8－12.

[3] 吴宏伟,陈守义,庞宇威. 雨水入渗对非饱和土坡稳定性影响的参数研究[J]. 岩土力学,1999,20(1):57－61.

**作者简介:**

杨玉川(1990-),男,河南开封人,硕士,助理工程师,现供职于中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,主要从事水利水电工程、无人机综合应用等工作;

周顺文(1986-),男,广西百色人,硕士,工程师,现供职于中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,主要从事水利水电工程工程和施工导流工作;

张永清(1988-),男,甘肃武威人,硕士,工程师,现供职于中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,主要从事水利水电工程和施工导流工作;

孔　科(1984-),男,四川邻水人,博士,高级工程师,现供职于中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,研究方向:岩土工程,水工结构,水利水电工程及施工导流;

王小波(1983-),男,江苏海安人,硕士,高级工程师,现供职于中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司,主要从事水利水电工程和施工导流工作.

**(责任编辑:卓政昌)**