

# 古学水电站尾水渠结构型式研究

梁 剑, 黄小春

(中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司, 湖北 宜昌 443002)

**摘 要:**在综合考虑了古学水电站地形、地质情况及施工导流布置等因素后,拟定了开敞式尾水渠及箱涵式尾水渠并对其进行比较,最终选择了箱涵式尾水渠方案。通过三维有限元法计算得出结构内力,并最终计算出尾水箱涵配筋情况。

**关键词:**古学水电站;尾水箱涵;有限元;应力计算

中图分类号:TV7;TV222

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2014)05-0077-04

## 1 概 述

古学水电站位于四川省甘孜州得荣县境内,为金沙江左岸一级支流定曲河乡城、得荣段梯级开发中的第八级水电站。古学水电站为三等中型工程,采用引水式开发方式。工程枢纽由拦河坝、左岸引水系统、岸边式地面厂房等建筑物组成。其中主厂房尺寸为53.3 m×21 m×40.2 m(长×宽×高),主副厂房及GIS楼呈“一”字型并排布置,厂内安装两台单机容量为45 MW的水轮发电机组,机组安装高程为2 112 m。

古学水电站厂址位于得荣县古学乡卡日共村上游350 m处的定曲河左岸一级阶地上。阶地沿河呈条带状分布,宽17~30 m,地势相对狭窄。场地内侧公路以上地表基岩裸露,山势陡峻,为顺向坡,天然状态下岸坡稳定,受坡脚开挖影响存在变形失稳的风险。厂址处河道对岸亦为条带状一级阶地,宽8~15 m,右岸山体风化破碎带深厚且存在变形迹象。因此,厂址两岸均不宜大范围开挖,厂房布置条件十分有限。

由于厂址阶地地形狭窄,若尾水渠侵占部分天然河道,束窄定曲河河道行洪断面,必将加大河道水流流速,该水流将对右岸河岸造成较为严重的冲刷,严重影响右岸山体的安全。因此,受厂址地形地质条件的制约,尾水渠结构型式的选择至关重要。

## 2 尾水渠地质条件

拟建的尾水渠场地范围内均为第四系堆积物覆盖,厚约19.5~42 m,从上往下可分为三层:第一层为人工造田填筑砂土层,厚1~3 m,结构松

散;第二层为冲洪积物,厚4.2~10.5 m,稍密~中密,主要为含漂、卵砾石层,间隙充填粘性土及粉细砂,漂、卵、砾石含量约为75%,砂土含量约为25%;第三层为冲洪积物,厚22~36.5 m,主要由卵砾石、粗砾砂组成,夹有少量漂石,次磨圆状,结构为中密~密实。

## 3 结构型式的拟定与选择

基于尾水渠地形地质条件,我们拟定了两个尾水渠布置方案进行比较。

方案一(开敞式尾水渠方案):尾水渠底宽22.14 m,底板以1:4的纵向反坡与天然河道衔接,尾水管出口高程为2 114.5 m,中轴线总长26.1 m,尾水渠渠底采用0.4 m厚的钢筋混凝土板护面,两侧为扶壁式钢筋混凝土挡土墙,墙顶宽度为1 m,最大墙高20.54 m(图1)。

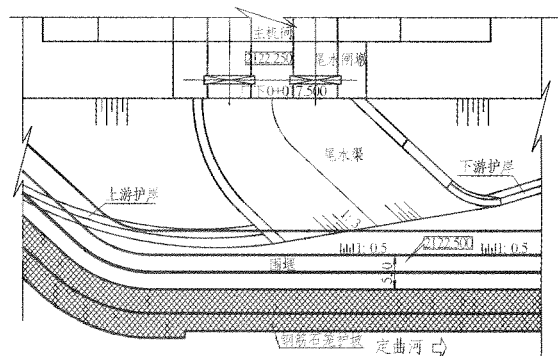


图1 开敞式尾水渠方案示意图(方案一,单位:m)

方案二(箱涵式尾水渠方案):采用双箱式尾水箱涵布置型式,纵向长8 m,横向宽24.266 m,高19.35 m,两侧边墙为梯形断面,顶宽1.5 m,底宽4 m,中隔墙为矩形断面,宽2 m,底板厚2.75

收稿日期:2014-07-19

m,箱涵后接尾水渠,宽17.2m,中轴线长10.15m,纵向坡度*i*=0,两侧为混凝土挡墙,最大高度为7.55m,如图2所示。

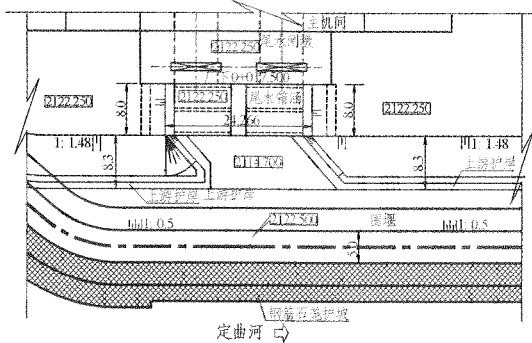


图2 箱涵式尾水渠方案示意图(方案二,单位:m)

在与开敞式尾水渠方案比较后可知,箱涵式尾水渠方案有效缩短了尾水渠长度,侵占天然河道少,对定曲河河道行洪影响小。

鉴于尾水渠基础座落于卵砾石、粗砾砂组成的冲洪积物层上,结构中密~密实。方案一采用高扶壁式钢筋混凝土挡墙结构型式,由于其高度大,挡墙断面尺寸较大,对地基要求较高。方案二采用整体箱涵结构型式,结构简单,适应地基变形能力强,整体稳定性好。

两方案导流标准相同,根据厂址地形地质条件及水工建筑物布置特点,在采用方案一时,厂房

分两期施工,一期采用全年围堰进行主副厂房及安装间施工;二期采用枯水期围堰进行尾水渠施工。方案二可以在一期全年围堰内施工,工期安排合理,减少了导流建筑物工程量,简化了施工导流程序。

另外,方案二可利用箱涵顶板布置厂区道路,使厂区形成更加便捷的环形交通。

综上所述,古学水电站最终选用了箱涵式尾水渠方案。

#### 4 结构分析

尾水箱涵结构布置情况见图3。

##### 4.1 计算力学模型及计算方法

我们对该结构进行了三维有限元法计算。箱涵结构按1:1原型建模,地基考虑了10m深的覆盖层以及10m厚的基岩,基础上、下游及两侧面分别延伸20m。地基的底部为三向约束(X、Y、Z方向均固定)的固定边界面,地基的四个侧面为单向法向约束面,地基上部结构各边界面均为自由面。

总体结构的平衡方程为:

$$[\bar{K}] \cdot \{\bar{U}\} = -\{P\}p \quad (1)$$

式中  $[\bar{K}]$  为结构总体刚度矩阵;  $\{\bar{U}\}$  为结构节点变位列向量;  $\{P\}p$  为结构节点荷载和节间荷载产生的不平衡固端力列向量。

对于每一个杆件,其杆端内力为:

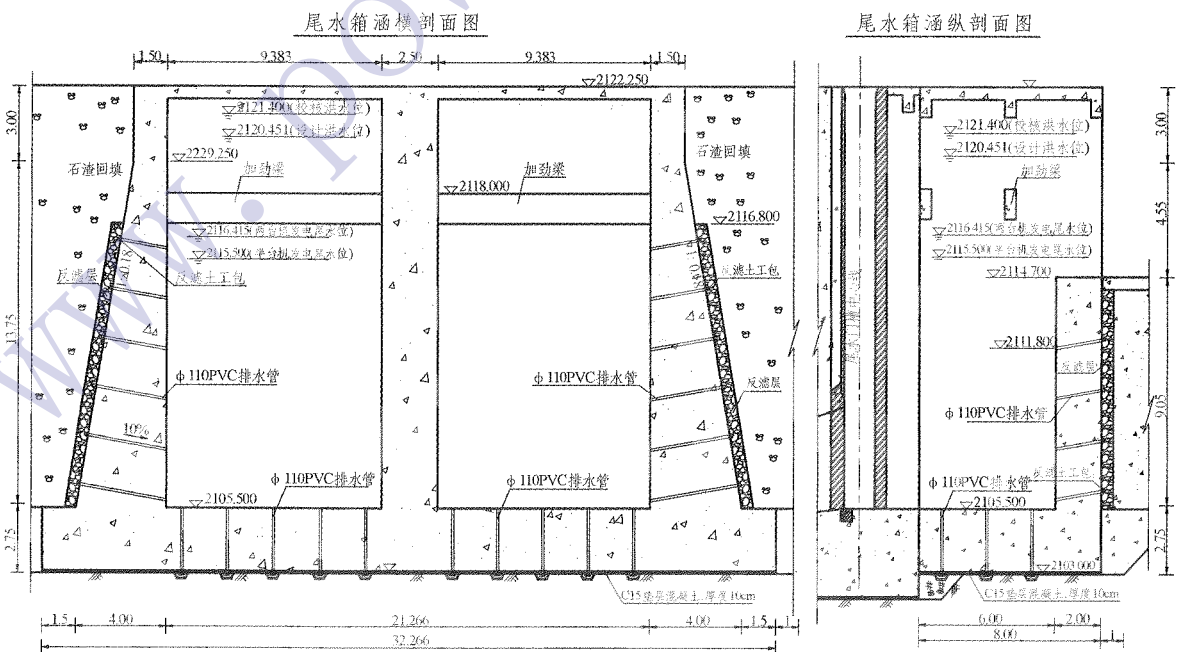


图3 尾水箱涵结构图(单位:m)

$$\begin{Bmatrix} P_I \\ P_J \end{Bmatrix}^m = [K]^m \cdot \begin{Bmatrix} U_I \\ U_J \end{Bmatrix}^m + \begin{Bmatrix} P_I \\ P_J \end{Bmatrix}_p \quad (2)$$

式中  $P_I, P_J$  为杆端内力;  $U_I, U_J$  为杆端变位;  $I, J$  为点号; 上角码  $m$  表示杆号; 下角码  $P$  表示固端内力;  $[K]^m$  为杆件单元刚度矩阵。

4.2 基本资料

(1) 箱涵混凝土及墙后填土参数见表1。

表1 箱涵混凝土及墙后填土参数表

项目	数值
墙后填土天然容重	23 kN/m <sup>3</sup>
天然填土内摩擦角	35°
墙后填土饱和容重	24 kN/m <sup>3</sup>
饱和填土内摩擦角	33°
墙背与填土摩擦角	17.5°
墙底与基础摩擦系数	0.35
箱涵混凝土强度等级	C25

(2) 地震参数。

地震动峰值加速度为 110 cm/s<sup>2</sup>, 工程设计烈度为Ⅷ度, 采用拟静力法计算地震作用效应。

4.3 计算工况及相应荷载组合

尾水箱涵计算工况及相应荷载组合见表2。

荷载施加情况见图4。

4.4 应力计算结果

通过计算得到的各工况基底及各方向最大应力分布情况如图5所示。

结构正应力大小及分布情况见表3。

表2 尾水箱涵计算工况及荷载组合表

荷载组合	计算工况	渠内水位 高程/m	渠外水位 高程/m	施加荷载
基本组合	施工完工 (工况一)	渠内无水	2 110.96	混凝土自重 + 静水压力 + 土压力 + 公路荷载
特殊组合	校核尾水位 (工况二)	2 121.4	2 121.4	混凝土自重 + 静水压力 + 土压力 + 扬压力 + 公路荷载
	正常尾水位 + 地震 (工况三)	2 116.41	2 116.41	混凝土自重 + 静水压力 + 土压力 + 扬压力 + 地震力

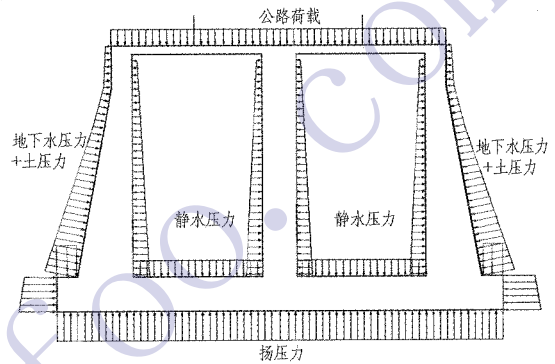


图4 荷载施加示意图

4.5 配筋计算

根据线弹性应力图形法配筋计算原则, 当截面在配筋方向的正应力图形偏离线性较大时, 受拉钢筋截面面积计算公式为:

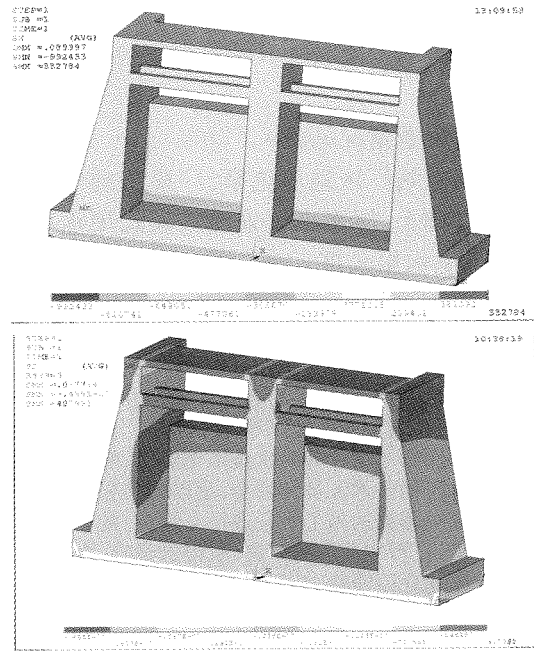
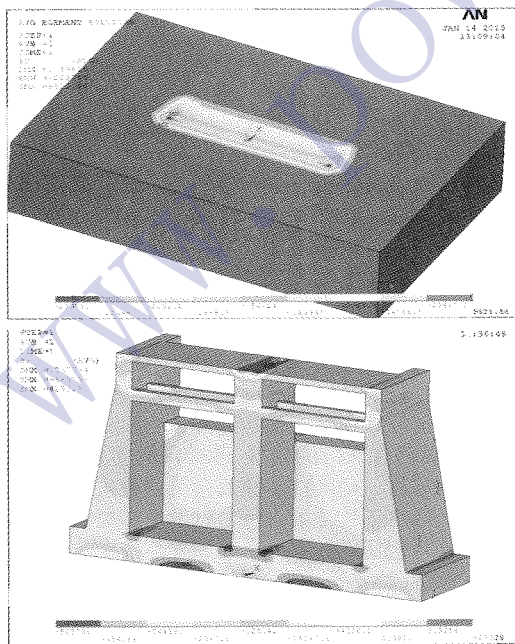


图5 基底及各方向最大应力分布图



表3 结构正应力大小及分布表

正应力方向		底板	侧墙	中墩	挡水尾墙	顶板
顺水流向	发生工况	工况三	工况三	工况一	工况一	工况三
	发生部位	下部	上部	下游与挡水尾墙接触处	上部	上部
	拉应力值	0.55 MPa	0.2 MPa	0.15 MPa	0.17 MPa	0.38 MPa
垂直水流向	发生工况	工况二	工况一	工况三	工况一	工况一
	发生部位	下部	上部	中部及上部	上部	上部
	拉应力值	0.38 MPa	0.2 MPa	0.08 MPa	0.25 MPa	0.42 MPa
竖向	发生工况		工况一		工况一	工况一
	发生部位	全部受压	内侧中部及外侧上部	全部受压	上部	几乎全部受拉
	拉应力值		0.41 MPa		0.35 MPa	0.39 MPa

表4 尾水箱涵结构配筋表

顺水流向(配筋部位)		配筋面积	垂直水流向(配筋部位)	配筋面积	竖向(配筋部位)	配筋面积
底板	上侧	构造配筋	上侧	2 500	构造配筋	
	下转	3 340	下侧	2 500		
侧墙	下侧	构造配筋	高程2 114 m 以上	2 400	外侧	2 460
	内侧	2 000	高程2 114 m 以下	构造配筋	内侧	1 500
中墩	高程2 114.7 m 以下	1 250	全部	构造配筋	构造配筋	
	高程2 114.7 m 以上	构造配筋				
挡水尾墙	高程2 109 m 以上	1 133	高程2 109 m 以上	1 667	全部	2 916
	高程2 109 m 以下	构造配筋	高程2 109 m 以下	构造配筋		
顶板	上侧	800	全部	1 200	全部	1 200
	下侧	构造配筋				

$$T \leq \frac{1}{\gamma_d} (0.6T_c + f_y A_s) \quad (3)$$

$$T = Ab \quad (4)$$

$$T_c = A_{ct} b \quad (5)$$

式中  $T$  为主拉应力在配筋方向上形成的总拉应力;  $T_c$  为混凝土承受的拉力。

根据三维有限元法计算结果得到的尾水箱涵不同部位的钢筋配置情况见表4。

古学水电站厂区地形狭窄,厂房基础位于深厚覆盖层基础上,尾水出流采用箱涵式尾水渠结构,缩短了尾水渠长度,减少了对河道行洪断面

的影响,同时简化了施工导流程序,对类似工程尾水渠布置型式具有一定的参考意义。

#### 参考文献:

- [1] 水电站厂房设计规范,SL266-2001[S].
- [2] 水工混凝土结构设计规范,DL/T 5057-2009[S].
- [3] 曾攀.有限元分析及应用[M].北京:清华大学出版社,2004.

#### 作者简介:

梁剑(1980-),男,陕西韩城人,工程师,学士,从事水工结构设计工作;

黄小春(1973-),男,湖北蕲春人,副主任,高级工程师,学士,从事水工结构设计工作。

(责任编辑:李燕辉)

## 中国水电七局学会2014技术交流会在郑州召开

2014年9月24~26日,中国水电七局学会2014技术交流会在河南郑州南水北调现场召开。会议由中水七局工程科技部主任魏平主持,介绍了与会的代表;七局总工程师、七局水电学会主任委员向建在会上讲话,阐述了召开此次会议的目的和意义;会议承办单位领导——七局二分局副局长兼总工程师倪坤林在会上致欢迎辞,欢迎与会代表。中水七局水电学会分会每年均召开一次技术交流会,现已形成惯例,来自公司总部各部门的领导、各分局的主要技术领导以及来自公司各单位的技术人员的到会,足以证明公司对技术交流会的重视程度。此次技术交流会重点突出,结合公司承建的南水北调穿黄隧洞的施工实际进行交流,引发了与会者的极大兴趣。通过工程技术人员进行的论文交流,使与会者受到了启发,针对工程中采取的措施、取得的经验,在会议讨论中,来自公司各个部门,项目上的领导与技术人员畅所欲言,提问、答疑,互相介绍经验,会场气氛十分热烈,也使与会者获得了有针对性的收获。公司为此次会议的召开专门出了论文集。向建总工程师对此次会议给予了高度评价,期望今后再接再厉。会议期间,与会代表实地考察了即将通水的南水北调穿黄隧洞,无不为一壮观工程的成功完建感到自豪。与会代表对为此次会议成功召开的二分局付出的辛勤劳动表示了谢意!

在完成了预定的议程后,会议圆满结束。