

2021年水利水电混凝土坝信息网 技术交流论文集

■ 水利水电混凝土坝信息网 主编
■ 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司 主审

 电子科技大学出版社
University of Electronic Science and Technology of China Press

2021年水利水电混凝土坝信息网 技术交流论文集

- 水利水电混凝土坝信息网 主编
- 中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司 主审



电子科技大学出版社

University of Electronic Science and Technology of China Press

· 成都 ·

图书在版编目(CIP)数据

2021年水利水电混凝土坝信息网技术交流论文集 /
水利水电混凝土坝信息网主编. — 成都: 电子科技大学
出版社, 2021.12

ISBN 978-7-5647-2056-8

I. ①2… II. ①水… III. ①混凝土坝—学术会议—
文集 IV. ①TV642.2-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2021)第241207号

2021年水利水电混凝土坝信息网技术交流论文集

2021NIAN SHUILI SHUIDIAN HUNNINGTUBA XINXIWANG JISHU JIAOLIU LUNWENJI

水利水电混凝土坝信息网 主编

策划编辑 杨仪玮 刘 愚

责任编辑 杨仪玮

助理编辑 杨雅薇

出版发行 电子科技大学出版社

成都市一环路东一段159号电子信息产业大厦 邮编 610051

主 页 www.uestcp.com.cn

服务电话 028-83203399

邮购电话 028-83201495

印 刷 四川煤田地质制图印刷厂

成品尺寸 185 mm×260 mm

印 张 13.5

字 数 320千字

版 次 2021年12月第一版

印 次 2021年12月第一次印刷

书 号 ISBN 978-7-5647-2056-8

定 价 68.00元

版权所有 侵权必究

编委会

主任 余挺

副主任 张勇 冯学敏

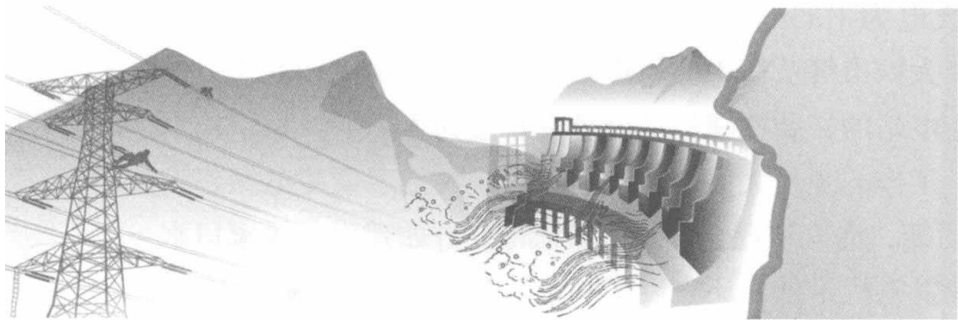
委员 (按拼音字母排序)

陈秋华 胡云明 李国瑞 黎满林

雷运华 沙椿 舒涌 邵敬东

施裕兵 田先忠 游湘

策划统筹 魏红



引言

YINYAN

一、国外抽水蓄能电站的发展情况

抽水蓄能电站自从1882年在欧洲问世以来，已有100多年的历史。在瑞士苏黎世兴建的第一座蓄能电站，功率仅515 kW，抽水扬程153 m，是一座季节型的抽水蓄能电站。此后这种电站逐年增加，1910年已有14座，1930年有42座。到20世纪40年代中期，世界上已有50余座抽水蓄能电站投入运行，其中有些蓄能电站抽水扬程在300 m以上。当时最大单机容量为33 MW，电站装机容量达132 MW。

早期的抽水蓄能电站以蓄水为主要目标，大多在汛期抽水蓄存在上水库中供枯水期发电用。20世纪50年代开始，随着电力系统的发展，抽水蓄能电站以调峰和调频等为主要任务。20世纪60年代后，抽水蓄能电站有了很快的发展：1961年世界各国投入运行的蓄能电站装机容量为6400 MW；1972年约达35 000 MW；1980年世界上已建成的抽水蓄能电站有170多座，总装机容量已近70 000 MW；1990年世界抽水蓄能电站总装机容量达到90 000 MW左右。1990年后，美国与西欧各国抽水蓄能电站建设速度明显减缓，亚洲的中国、韩国、印度等国的抽水蓄能电站建设速度明显加快，世界抽水蓄能电站建设重心转移至亚洲，尤其是中国。

二、我国抽水蓄能电站的发展情况

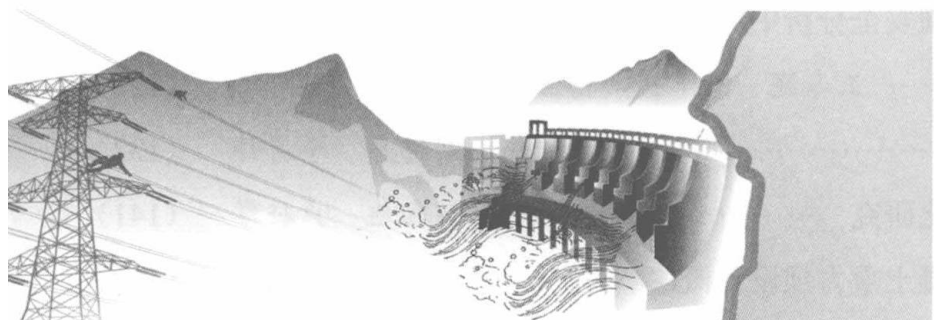
我国水力资源丰富，但分布极不均衡，主要集中在西南、西北地区，华北、东北、华东等地区水力资源贫乏。为解决电网调峰问题，我国自20世纪60年代开始研究开发抽水蓄能电站。最早在河北省岗南水电站引进1台日本11 MW抽水蓄能机组，20世纪70年代又有2台11 MW抽水蓄能机组安装于京郊密云水电站。它们是水头低、容量小、常规机组和抽水蓄能机组相结合的水电站。

自1978年以来，随着国民经济的持续、稳定发展，国家对电力的需求急剧增

长，在京津唐和华东等以火电为主的电力系统中，缺乏调峰电源的矛盾日益突出。因此，在大工业基地和大城市等负荷中心附近且缺乏足够的水电调峰能力的电力系统中，修建抽水蓄能电站的必要性和经济合理性日益为人们所认识，抽水蓄能电站的建设和规划选点工作的步伐大大加快，开创了我国抽水蓄能电站建设的新局面。20世纪70年代后期，潘家口混合式抽水蓄能电站开始建设，潘家口水库被作为上水库，除了常规发电机组外，还安装了从意大利引进的3台90 MW抽水蓄能机组。高水头、大容量的纯抽水蓄能电站的建设也提上了日程。

截至2018年年底，我国已建抽水蓄能电站34座，投产总装机容量达到30 025 MW，在建装机容量达到42 710 MW，均为世界第一。到2020年，我国抽水蓄能装机容量已达到32 490 MW，预计到2025年，抽水蓄能装机容量将达到约90 000 MW。

本论文集共收录论文25篇，参与的会员单位有设计院、业主单位、施工单位、大专院校等，涉及内容包括施工新材料、新工艺、工程设计、科研与试验、工程监测、温控技术等，可供广大水利水电工程技术人员参考阅读。



目 录

MULU

抽水蓄能篇

呼和浩特抽水蓄能电站枢纽布置	李振中	杨 威	(002)
惠州抽水蓄能电站高压隧洞围岩渗透特性研究	吴国荣		(009)
斜钻孔在坝基渗漏检测中的应用	王汇明	黄森胜	(016)
阳蓄电站超深竖井开挖支护施工关键技术研究	王 峻	宋安瑞	郑 尧 (025)
风蓄联合运行模式应用研究	徐辉荣	白文博	(032)
玉门抽水蓄能电站补水水源取水口水流含沙量分析	徐辉荣	白文博	(049)
广东省抽水蓄能电站农村移民城镇化安置特点浅析	苏 扬		(058)
深圳抽水蓄能电站水土保持设计经验	段东亮	张晓远	李建生 郑美燕 (064)

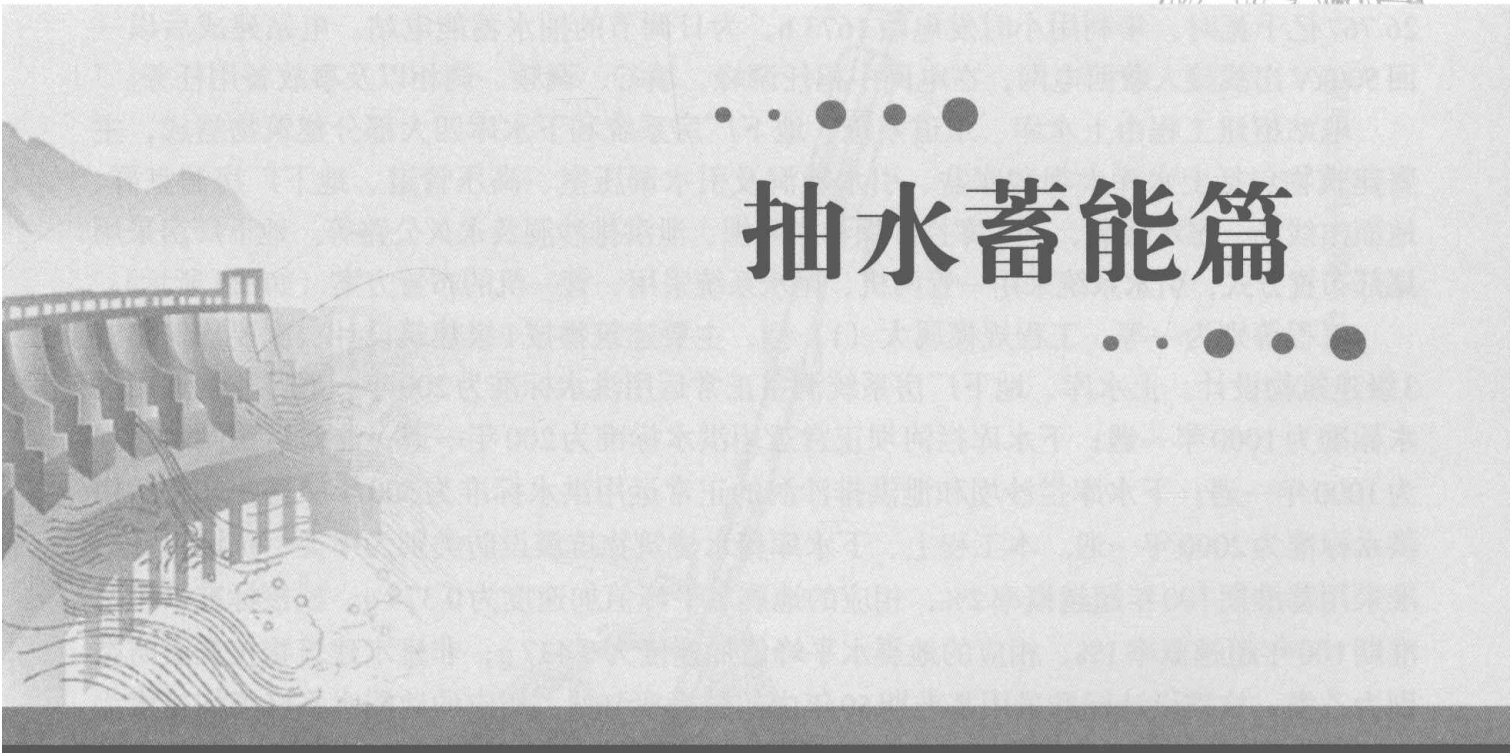
常规电站篇

跨海隧洞水平定向靶区大直径取心勘察技术及应用	李 军	王汇明	李 勇	庄生明	樊腊生	(070)
浅谈大藤峡水利枢纽一期枯期围堰设计与施工	周洪云	潘 桃		牛书儒		(081)
重力坝坝基固结灌浆存在问题探讨	王 利	崔锦娟		董华威		(093)
大流量高水头泄水消能建筑物研究	彭小川			许 艇		(100)
基于欧美规范的大型闸室排架计算与研究	陈晓年	李 艳		何 楠		(109)
几内亚库库唐巴水电站混凝土重力坝溢流坝段水力设计概述	赫庆彬			杨继松		(116)

地质力学模型试验方法及其在拱坝安全分析中的应用	王森颢 陈 媛 杨宝全 张 林 孙 涛	(122)
坝基蚀变岩体的工程地质分析	寇佳伟 刘增杰 李海伟	(132)
大华桥水电站河床坝段建基面优化研究	杨春旭 卢征攀	(141)
塞内加尔桑巴加努水电站碾压混凝土重力坝设计概述	赫庆彬 刘国强	(150)
浅谈欧洲高速公路项目大跨度连续刚构桥施工技术 ...	文双庆 江伟超 燕新峰	(156)
不同MgO掺量下闸坝混凝土的温控研究	焦石磊 姚礼敏 余列强	(163)
水泥混凝土再生骨料在黄河堤顶道路水稳基层中的应用研究	张 伟 程传来 燕新峰	(171)
光纤光栅监测系统在抽水蓄能电站水道系统中的应用	刘宝昕 崔海波 王永晖	(179)
浅析EPC模式下的施工管理——以某公路工程特大桥人工挖孔桩项目管理为例	李小波	(186)
“扩桩成墙”施工工艺在某水电站加固施工中的研究应用	刘 亮 刘 付	(189)
缓解城市热岛效应的新型混凝土——海绵混凝土	沙雲晴	(199)



抽水蓄能篇



呼和浩特抽水蓄能电站枢纽布置

李振中 杨 威

(中国水电顾问集团北京勘测设计研究院有限公司, 北京 100024)

摘 要: 介绍呼和浩特抽水蓄能电站的总体枢纽布置, 包括工程建设条件和主要枢纽建筑物的布置情况。

关键词: 呼和浩特; 抽水蓄能电站; 枢纽布置; 设计

1 工程概况

呼和浩特抽水蓄能电站位于内蒙古自治区呼和浩特市东北部的大青山区, 距呼和浩特市中心约 20 km。电站总装机 4×300 MW, 年发电量 2075 亿千瓦时, 年抽水用电量 26.767 亿千瓦时, 年利用小时发电数 1673 h, 为日调节的抽水蓄能电站。电站建成后以一回 500kV 出线接入蒙西电网, 在电网中担任调峰、填谷、调频、调相以及事故备用任务。

电站枢纽工程由上水库、水道系统、地下厂房系统和下水库四大部分建筑物组成, 主要建筑物包括上水库大坝和库盆、引水隧洞及引水调压室、高压管道、地下厂房洞室群、地面出线场、尾水隧洞、下水库拦沙坝和拦河坝、泄洪排沙洞及永久公路等。地下厂房采用尾部布置方式, 引水系统采用一管两机、尾水系统采用一管一机的布置方案(如图 1 所示)。

工程等级为一等, 工程规模属大(1)型, 主要建筑物按 1 级建筑设计、次要建筑物按 3 级建筑物设计。上水库、地下厂房系统洞室正常运用洪水标准为 200 年一遇, 非常运用洪水标准为 1000 年一遇; 下水库拦河坝正常运用洪水标准为 200 年一遇, 非常运用洪水标准为 1000 年一遇; 下水库拦沙坝和泄洪排沙洞的正常运用洪水标准为 500 年一遇, 非常运用洪水标准为 2000 年一遇。本工程上、下水库壅水建筑物抗震设防类别为甲类, 抗震设计标准采用基准期 100 年超越概率 2%, 相应的地震水平峰值加速度为 0.374 g, 校核标准采用基准期 100 年超越概率 1%, 相应的地震水平峰值加速度为 0.437 g; 非壅水建筑物抗震设防类别为乙类, 抗震设计标准采用基准期 50 年内超越概率 10%, 相应的地震水平峰值加速度为 0.171 g。

2 工程建设条件

电站上水库位于大青山自然保护区主峰料木山的东北侧, 下水库位于主峰西坡下的哈拉沁沟峡谷中部, 输水发电系统位于哈拉沁沟左岸上、下水库间的山体内部。

上、下水库间直线距离约为 2 km, 上、下库坝址处库底高差约 553 m, 额定发电水头为 521 m, 最大发电水头 580 m, 最小发电水头 491 m, 水泵最大扬程 591 m, 最小扬程 510 m。

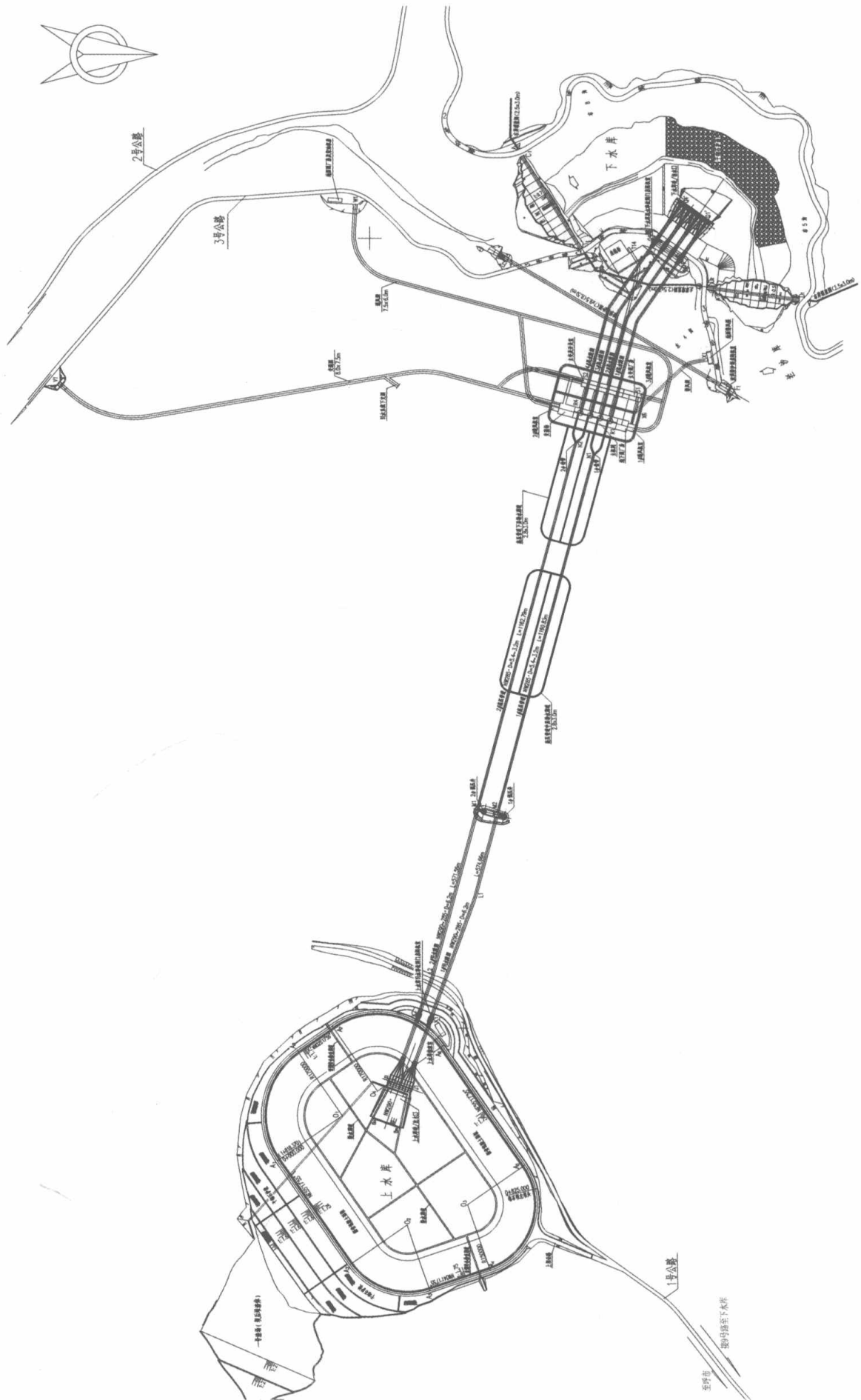


图1 枢纽布置平面图

工程所在地区属中温带季风亚干旱气候，极端最高气温上水库为 35.1°C ，下水库为 38.5°C ；极端最低气温上水库为 -41.8°C ，下水库为 -32.8°C 。多年平均水面蒸发量上水库为 1883.6 mm ，下水库为 1795.5 mm ；多年平均降水量上水库为 428.2 mm ，下水库为 424 mm ，其中6—9月降水占年降水量的70%以上。冻土深度上水库为 284 cm ，下水库为 156 cm 。

上水库、下水库200年一遇最大24小时降水量为 286 mm ，1000年一遇最大24小时降水量为 377 mm 。泄洪排沙洞2000年一遇洪峰流量为 $740\text{ m}^3/\text{s}$ 。

工程区地处阴山山脉中段大青山中部，无区域性断裂，分布的地层岩性主要为上太古界乌拉山群、下元古界二道洼群变质岩，吕梁期、燕山期侵入岩及新生界松散堆积物。工程区出露的岩性主要有片麻状黑云母花岗岩和斜长角闪岩，两种岩性新鲜状态都是高强度、高弹性模量的坚硬岩石。吕梁期片麻状黑云母花岗岩为工程区的主要基岩，岩体中包裹大量偏基性的呈脉状、瘤状和不规则状展布的乌拉山群和二道洼群残留体，岩石坚硬，大部分为块状、镶嵌碎裂结构。

3 上水库

上水库位于哈拉沁沟左岸的料木山顶，周边多有邻谷，库区外围地下水位大部分低于上水库正常蓄水位，库底及库周片麻状花岗岩、斜长角闪岩和云母片岩以弱透水和中等透水岩体为主。上水库开挖筑坝成库，采用全库防渗，主要建筑物包括沥青混凝土库盆、沥青混凝土面板堆石坝和排水系统。

上水库正常蓄水位为 1940 m ，死水位 1903 m ，工作水深 37 m ，正常蓄水位以下库容 679.72 万立方米 ，其中调节库容 637.73 万立方米 ，死库容 41.99 万立方米 。库顶高程为 1943 m ，顶宽 10 m ，库顶轴线总长 1818.37 m ，库底高程为 1900 m 。库顶设 1.2 m 高连续封闭的防浪墙，避免库周洪水入库。

库盆采用沥青混凝土面板防渗，防渗总面积为 24.48 万平方米 ，其中库底防渗面积为 10.11 万平方米 ，库岸防渗面积为 14.37 万平方米 。沥青混凝土面板坡比为 $1:1.75$ ，采用筒式断面，由内至外为 8 cm 的整平胶结层、 10 cm 的防渗层、 2 mm 的封闭层，总厚度为 18.2 cm 。在沥青混凝土面板斜坡平面转弯处、斜坡与库底连接处，设置弧面过渡区与平面相切连接，岸坡四个角转弯处采用转弯半径为 $69.75\sim 165\text{ m}$ 的圆弧面平顺连接，库岸面板与库底面板之间设半径 30 m 的圆弧面平顺连接。

沥青混凝土面板堆石坝坝顶高程为 1943 m ，坝顶宽 10 m ，坝顶长 1266.37 m ，最大坝高坝轴线处为 69.85 m ，上游坝脚处为 43.9 m ，下游坝脚处为 95.2 m 。大坝上游坝坡比为 $1:1.75$ 、下游坝坡坡比为 $1:1.6$ ，填筑分区自上游向下游依次为碎石垫层、过渡层、主堆石区、下游堆石区和干（浆）砌石护坡；为防止坝基粗骨料架空，沿堆石坝基础铺设 1 m 厚过渡料；为防止地震情况坝体下游坝坡表面上部堆石滚动滑落，在 1922 m 高程以上通过长锚筋与堆石坝体相连。由于坝基分布两条较大的冲沟，呈“两沟、一梁、四面坡”形态，渗漏水沿沟汇集，在沟底设 3 m 厚坝基排水区。堆石坝坝料采用强风化—新鲜的片麻状花岗岩和斜长角闪岩，以及弱风化—新鲜的云母片岩，筑坝时尽量利用库盆开挖料，规划紧

邻水库东岸的四号山梁作为备用料场。为减少大量弃渣对工程区环境的影响，在坝后设置堆渣区。

排水系统包括排水垫层、排水管网和排水廊道。沥青混凝土面板堆石坝面板后设水平宽3 m的碎石排水垫层，坝面渗水通过面板后再通过排水垫层排到坝脚，然后沿过渡料或库底排水垫层排到坝下游或库底排水廊道。库岸边坡沥青混凝土面板后设0.6 m厚的碎石垫层，面板渗水透过排水垫层排至库底排水垫层内的塑料排水盲沟，最终排至库底排水廊道。排水廊道分为库底周圈廊道、连接廊道、外排廊道和安全检查廊道，总长约3056.35 m，城门洞形，宽1.5 m，高2 m。库底排水垫层内布置塑料排水盲沟管网收集面板渗水排入库底排水廊道，所有汇集至库底排水廊道中的渗水最后通过布置于坝基下的外排廊道集中排出库外。

4 引水系统

引水系统为一管两机布置，尾水系统为一机一洞布置，直进直出厂房。水道系统由上水库进/出水口、引水隧洞、引水调压井、压力管道、尾水隧洞和下水库进/出水口组成，长约2293 m（如图2所示）。

上水库设两个岸边侧式进/出水口，中心间距为272 m，底板高程1886 m，由进/出水口段、隧洞段和闸门井段组成，进/出水口前沿设前池。

引水隧洞布置在上水库西北侧的山体中，洞线走向为 $NW290^{\circ}\sim NW285^{\circ}$ 。1#、2#引水隧洞分别长4384 m和434.94 m，坡度分别为6.787%和6.835%，圆形断面内径均为6.2 m，钢筋混凝土衬砌厚0.55 m。

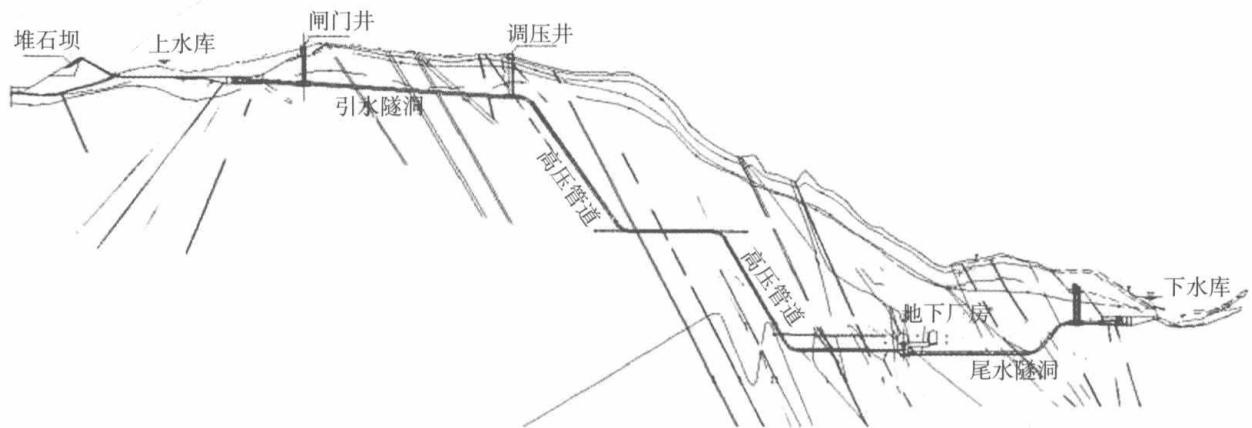


图2 输水发电系统剖面图

引水调压井采用阻抗上室式，布置于两条引水隧洞的末端，两调压室中心距离44 m，为半地下结构，竖井部分位于地下，竖井圆形断面内径9 m，竖井顶高程1939 m；底高程1860.5 m，下部设直径4.3 m的连接段与引水隧洞相连；上室位于地面，断面尺寸为25 m×9 m×12 m（长×宽×高），上室底板高程1940 m，顶板高程1951 m。

压力管道采用一管两机的布置方式，由压力主管、岔管和高压支管组成，采用钢板衬砌。两条压力主管平行布置，平面走向为 $NW285^{\circ}$ ，立面采用地下埋藏式斜井布置。1#压力主管长1092.14 m，上斜井与水平面夹角为 55° ，下斜井为 60° ；2#压力主管长1109.1 m，

上斜井与水平面夹角为 60° ，下斜井为 55° ，均设有中平段，中平段中心高程为1550 m。压力主管管径由5.4 m变至4.6 m，钢衬外围回填混凝土厚0.6 m。

高压岔管布置在距厂房上游边墙65 m/50 m处，采用对称“Y”形内加强月牙肋钢岔管，分岔角 70° ，公切球直径为5.2 m，中心高程1280 m。岔管将每条压力主管分成2条高压支管，高压支管内径为3.2~2 m，长度为68.672、53.672 m，四条高压支管平行布置，走向为NW 285° ，垂直进厂。

为降低钢管外水压力，在压力管道中平段和下平段分别布置排水廊道，断面尺寸为 $2.8\text{ m}\times 3\text{ m}$ ，中平段排水廊道长1363.22 m，与中部施工支洞相连；下平段排水廊道长856.76 m，与厂房上层排水廊道相连。

尾水隧洞采用一机一洞的布置方式，设四条尾水隧洞，洞轴线走向为NW $285^\circ\sim\text{NW}305$ ，尾水隧洞长度分别为377.91 m、385.66、393.42、401.18 m，内径5 m，由下平段、斜井段和上平段组成，下水库防渗帷幕上游采用钢板衬砌，下游侧采用钢筋混凝土衬砌。在尾水隧洞上部布置了尾水隧洞排水廊道，与厂房上层排水廊道相接，断面尺寸 $2.8\times 3\text{ m}$ ，长624.17 m。

下水库设四个岸边侧式进/出水口，中心间距为22 m，底板高程1338 m，由闸门井段、隧洞段和进/出水口段组成，进/出水口末端设前池。

5 地下厂房系统

地下厂房系统主要包括主副厂房、安装场、母线洞、主变洞（含主变副厂房）、主变运输洞、低压电缆洞、排水廊道、出线洞、排风洞及排风竖井、通风洞、交通洞等地下建筑物和出线场、地面副厂房和排风楼等地面建筑物。

本工程主机间长度为95 m，布置4台机组。其中1#机边机组段长度为15 m，1#~4#机组中心间距为22 m，4#机边机组段长度为14 m。主机间宽度为23.5 m，机组中心线上游侧为13.5 m，下游侧为10 m。

发电机层以上布置吊顶支座梁和吊车梁，均采用岩壁梁的型式。吊车梁上安装2台250/50 t单小车桥式起重机，轨顶高程为 $\nabla 1305.8\text{ m}$ ，岩壁吊车梁以上的开挖跨度为25 m。

主机间发电机层地面高程 $\nabla 1295\text{ m}$ ，上游侧布置机旁动力盘，下游侧布置励磁盘、机组控制保护盘等。母线层地面高程为 $\nabla 1288.8\text{ m}$ 。风罩内径10 m，风罩混凝土结构外边形状布置为八边形，结构厚度为0.7~0.9 m。水轮机层地面高程为 $\nabla 1282.8\text{ m}$ ，机坑里衬内径为7.5 m。外围形状仍为八边形，机墩混凝土最小厚度为2.25 m。蜗壳层地面高程为 $\nabla 1275.7\text{ m}$ ，布置有机组技术供水泵及滤水器、压力钢管充水泵、机组检修排水泵等。蜗壳层以下为尾水管层，布置有尾水管排水廊道、厂内渗漏排水泵室、闸阀室等，1#机组右侧布置有集水井。主机间上游侧布置有两个楼梯满足各层交通要求，同时在每台机组均布置了球阀吊物孔。主机间混凝土结构采用一机一缝。

安装场长度为33 m，按布置两个定子位设计。地下副厂房布置在主厂房右端，与主机间同宽，长度24 m，分八层布置。由下至上依次为空压机层、公用变和照明变层、电缆

层、配电盘和保护盘层、中控室层、通信设备和电源设备层、蓄电池和直流盘层及通风管道层。

主变及开关室分三层布置，为变压器层、管道层和GIS层。变压器层与主厂房发电机层同高程，布置1#4#主变压器、冷却器等设备。管道层地面高程 $\nabla 1306.7$ m，布置SF6管道母线及电缆。GIS层地面高程 $\nabla 1310.7$ m，主要布置GIS开关设备。主变副厂房布置在主变及开关室右端，与主变及开关室同宽，长度30 m，分八层布置。由下至上依次为SFC变压器层、电缆层、SFC盘柜层、电缆层、10 kV开关柜层、电缆层、直流盘室和蓄电池室层及通风管道层。

出线洞位于主变洞下游边墙，经出线平洞、出线斜洞通向地面出线场。出线洞全长328 m，上平洞结构断面尺寸为4.5 m \times 8.2 m，其余部位结构断面尺寸为4.5 m \times 5.5 m。出线下平洞与主变洞电缆层相平，高程为 $\nabla 1306.7$ m；出线上平洞接地面出线场，分两层出洞，上层与出线场相平，高程为 $\nabla 1409$ m，下层与出线场管道母线廊道底板相平，高程为 $\nabla 1404.5$ m。

地面出线场位于下水库左岸环库公路边，长45.5 m，宽33 m，与尾水闸门井平台相平，高程为 $\nabla 1409$ m；布置有出线构架、避雷器及电压互感器等设备。地面副厂房位于通风洞洞口左侧，占地41.4 m \times 10.1 m。分四层布置，主要布置变压器室、中控室、值班室和消防水箱间等。

交通洞布置在安装场左侧，由交通洞引出支洞至主变开关室。交通洞洞口设在下水库拦河坝下游左侧的3#公路边，交通洞全长1117 m。通风洞布置在厂房右侧，由通风洞引出通风支洞至厂房左侧，通风洞全长1012 m。通风洞洞口设在下水库拦河坝下游左侧的3#公路边。

6 下水库

下水库位于哈拉沁沟与大西沟交汇处上游，由拦河坝河拦沙坝围筑形成，正常蓄水位为1400 m，死水位为1355 m，工作水深45 m；正常蓄水位以下库容698.29万立方米，其中调节库容628.73万立方米，死库容69.56万立方米。下水库封闭布置成蓄能电站专用水库，主要建筑物由拦河坝、拦沙坝及左岸泄洪排沙洞组成。左岸开挖以满足调节库容需要；采用右岸覆盖层清理、表面不稳定岩体清除和库底1347 m高程以上河床覆盖层全部清除的方式，避免泥沙对机组的不利影响。

拦河坝采用“金包银”式碾压混凝土重力坝，坝顶高程为1401 m，顶宽6 m，坝顶长236 m，最大坝高73 m，上游坝坡上部铅直，下部为1:0.1；下游坝坡为1:0.7。坝体不设纵缝只设横缝，共分14个坝段，坝缝间距18 m、14 m。坝体内布置上、下两层廊道，并设两个通向下游坝面的出口。下水库的泄洪放空通过坝体内埋设钢管来解决，在河床坝段布置5根内径400 mm的钢管，管中心线高程为1366 m，泄洪时采用闸阀控制下泄量；当下水库放空检修时，在拦河坝前放置潜水泵，将排水管与预埋的放空钢管连接，使库水排往下游。

拦沙坝也采用“金包银”式碾压混凝土重力坝，位于拦河坝上游约740 m处。坝顶

高程为 1401 m，顶宽 6 m，坝顶长 200 m，最大坝高 58 m，上、下游坝坡均为 1:0.5。坝体不设纵缝只设横缝，共分 12 个坝段，坝缝间距 18 m、14 m。坝体内布置上、下两层廊道，通过廊道或竖井互相连通，并设通向坝顶的出口。为满足下水库补水的要求，在河床坝段设置 2 根自流钢管，钢管内径 700 mm，管中心线高程为 1385.5 m，采用电动蝶阀控制补水量。

泄洪排沙洞布置在左岸，为一条直洞，长 525.754 m，采用有压短管进口后接无压隧洞的类型，施工期兼作导流洞。进口底板高程为 1380 m，设一道 7 m×9 m 的平板事故门和一道 7 m×8 m 的弧形工作门；洞身断面尺寸为 7 m×9.5(8.5) m，采用钢筋混凝土衬砌，无压隧洞底坡度为 4.14%；出口采用渐扩式连续挑坎挑流消能。

库区左、右岸库顶均设有三级公路，公路宽 8 m，靠山侧设置浆砌石排洪沟，公路临库侧、拦河坝上游侧及拦沙坝下游侧设置封闭的防浪墙，防浪墙高出路面 1.2 m。库顶以上开挖边坡喷混凝土支护，每 20 m 设一条马道和排水沟。暴雨时山洪漫流由边坡上的排水沟及库岸公路内侧的排洪沟排洪，遇特大暴雨时，库岸公路参与汇流排洪，排往拦沙库或拦河坝下游，确保两岸洪水不入库。

7 结语

呼和浩特抽水蓄能电站距离负荷中心近，地理位置和建设条件好，枢纽布置合理，技术经济指标较优，建成后将大大改善蒙西电网火电运行工况，降低污染、改善环境，是蒙西电网经济的、运行灵活的调峰电源，同时承担系统调频、调相、紧急事故备用等任务。

惠州抽水蓄能电站高压隧洞围岩渗透特性研究

吴国荣

(广东省水利电力勘测设计研究院, 广东 广州 510635)

摘要: 惠州抽水蓄能电站高压隧洞开挖洞径10 m, 内水静水压力172~627 m。场区发育的NE向和NW、NNW向断层、裂隙构成复杂的透水性好的网络, 水文地质条件复杂。围岩在高压内水作用下的透水性大小是隧洞能否采取钢筋混凝土衬砌的关键。通过对围岩透水特性的研究, 查明隧洞围岩岩体多数为弱微透水, 仅局部属中等透水, 高压隧洞具备采用钢筋混凝土衬砌的条件。运行证明采用钢筋混凝土衬砌成功。

关键词: 惠州抽水蓄能电站; 高压隧洞; 渗透特性; 钢筋混凝土衬砌

1 引言

惠州抽水蓄能电站工程是世界上一一次性修建的装机容量最大的抽水蓄能电站。电站总装机容量为 8×300 MW, 工程为I等大(1)型。分A厂、B厂两条输水发电系统, 各采用一洞四机供水方式。两厂共用同一上、下水库, 上、下水库自然高差531 m, 水平距离约4140 m。A厂输水隧洞长4493 m, 高压隧洞长1257 m; B厂输水隧洞长4487 m, 高压隧洞长955 m, 高压隧洞包括调压井后上平洞段、中斜井、中平洞、下斜井、下平洞、高压岔管等。开挖洞径约10 m, 衬砌后洞径8.5 m, 采用钢筋混凝土衬砌, 限裂设计。高压隧洞内水静水压力172~627 m, 在这样大的内水压力条件下, 能否采用钢筋混凝土限裂设计, 围岩的渗透性是控制因素。因此对高压隧洞沿线围岩渗漏特性的研究至关重要。

2 工程地质概况

高压隧洞大体呈北东—南西向, 两条隧洞大体平行布置, 间距70~150 m。沿线山坡坡度一般 $5^\circ \sim 30^\circ$, 地形较完整。地面高程780~490 m, 隧洞埋深135~420 m, 隧洞上覆弱风化—微风化, 岩体厚度115~400 m, 覆盖厚度满足上抬理论(如图1、图2所示)。

岩性主要为燕山四期($\gamma_5^{(1)}$)中细粒花岗岩及加里东期混合岩(M_3), 岩石坚硬属硬质岩。加里东期混合岩分布于地面高程较高的范围, 主要在上游调压井至中斜井地段, 混合岩覆盖在燕山期花岗岩之上, 呈残留顶盖形式存在。两者呈逐渐过渡关系, 接触带有混合岩化现象, 接触面胶结好。