



宜兴 西龙池 抽水蓄能电站工程 施工技术

葛洲坝集团第三工程有限公司 龚前良 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

宜兴西龙池抽水蓄能电站工程 施工技术

葛洲坝集团第二工程有限公司 龚前良 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是江苏宜兴、山西西龙池抽水蓄能电站的施工技术总结。重点论述了宜兴抽水蓄能电站上水库建在倾斜建基面上的钢筋混凝土面板堆石混合坝、山西西龙池上水库沥青混凝土面板堆石坝、以及库盆分别采用全面积钢筋混凝土和沥青混凝土防渗施工技术。

图书在版编 (CIP) 数据

宜兴、西龙池抽水蓄能电站工程施工技术/龚前良主编.
北京: 中国水利水电出版社, 2009
ISBN 978-7-5084-6017-8

I. 宜…… II. 龚… III. ①抽水蓄能水电站—建筑工程—施工技术—宜兴市②抽水蓄能水电站—建筑工程—施工技术—五台县 IV. TV743

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 169294 号

书 名	宜 兴 西 龙 池 抽 水 蓄 能 电 站 工 程 施 工 技 术
作 者	葛洲坝集团第二工程有限公司 龚前良 主编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市三里河路 6 号 100044) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 63202266 (总机)、68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京市展博雅图文排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16 开本 18 印张 416 千字
版 次	2008 年 11 月第 1 版 2008 年 11 月第 1 次印刷
印 数	001—480 册
定 价	63.00 元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

宜兴、西龙池抽水蓄能电站工程 施工技术编委会

顾 问：任尚卿 郭德福

主 任：邱小平

副 主 任：朱明星 陈 刚

委 员：丁新中 王 英 李向东 胡义重 蔡国忠 陈春雷
夏青鹏 龚前良 吴琴凤 徐 升 戴海蓉 马玉芽
杨友山 马江权 高一军 仵慧广

主 编：龚前良

副 主 编：夏青鹏 陈春雷

参编人员：戈文武 叶卫国 淡昭敏 胡为森 吴琴凤
彭会椿 朱伟兵 张俊阳 黄传庚 闫 平
姬新伟 冉红彬 蔡维鑫

目 录

第一篇 宜兴抽水蓄能电站工程施工技术

一、宜兴抽水蓄能电站工程简介	(1)
二、上水库钢筋混凝土面板堆石混合坝建设实践	朱明星 (14)
三、上水库富有特色的排水系统	朱明星 龚前良 (22)
四、上水库工程建基面开挖爆破控制技术	龚前良 (27)
五、上水库工程洞室开挖与支护	胡为森 (32)
六、上水库工程基岩固结灌浆	郭晓勇 (37)
七、上水库面板堆石混合坝填筑质量控制指标和方法	龚前良 (42)
八、上水库面板堆石混合坝填筑质量浅析	胡为森 (46)
九、软岩堆石料在上水库面板堆石坝填筑中的应用	龚前良 梁 洪 郭晓勇 (51)
十、上水库主坝防渗面板裂缝控制	龚前良 (55)
十一、上水库钢筋混凝土面板防渗设计与施工	龚前良 (60)
十二、罗泰克 (Rotec) 在上水库主坝重力挡墙混凝土 施工中的应用	龚前良 李志亮 (66)
十三、上水库副坝碾压混凝土 (RCC) 施工	龚前良 淡昭敏 (71)
十四、干贫混凝土在上水库的应用	龚前良 (76)
十五、地下厂房机电安装工程混凝土结构施工	龚前良 吴琴凤 (81)

十六、上水库工程混凝土拌和系统		龚前良	(88)
十七、上水库主坝挡墙预应力锚索加固	龚前良 淡昭敏 叶卫国		(95)
十八、上水库工程施工测量概述		徐文革	(101)
十九、上水库爆破振动测试研究	吴琴凤 徐 丽		(105)
二十、上水库工程面板堆石混合坝坝体填筑料 碾压试验	龚前良 杨建洲 任耕耘		(110)
二十一、上水库防渗面板混凝土试验研究	叶卫国 龚前良 沈彦红		(115)
二十二、上水库碾压混凝土生产试验	龚前良 叶卫国		(125)
二十三、压力分散型预应力锚索受力性能研究		龚前良	(134)
二十四、上水库面板堆石混合坝施工期安全监测		龚前良	(142)
二十五、上水库面板堆石混合坝重力挡墙稳定分析		龚前良	(154)
二十六、上水库蓄水安全鉴定阶段主坝动力计算分析		夏青鹏	(164)
二十七、上水库蓄水安全鉴定阶段主坝抗震稳定性计算分析		李向东	(174)
二十八、上水库压力钢管制作与安装质量	龚前良	彭会棒	(179)
二十九、上水库工程正、倒垂孔有效孔径检测方法	吴琴凤 龚前良		(184)
三十、上水库蓄水安全鉴定结论			(188)

第二篇 西龙池抽水蓄能电站工程施工技术

一、上水库工程施工概述			(195)
二、沥青混凝土面板施工工艺研究		姬新伟 闫 平	(211)
三、上水库沥青混凝土防渗面板施工		闫 平 姬新伟	(218)
四、上水库沥青混凝土面板施工设备的配置	陈春雷 黄传庚	闫 平 孙生林	(225)
五、核子密度仪在沥青防渗面板工程中的应用		戈文武 柯俊涛	(230)
六、上水库沥青混凝土现场施工质量控制要点		蔡维鑫 王清涛	(235)

七、上水库工程库盆水泥置换料工艺性试验研究	陈卫烈	毕云	(242)
八、上水库进出水口施工		黄传友	(249)
九、沥青混凝土防渗面板塑性材料选择	柯俊涛	吉婷	(253)
十、上水库底垫层料变形模量试验研究	陈刚	黄传庚	孙生林 (258)
十一、上水库进出水口弯管段模板设计与应用			
	陈春雷	黄传庚	姬新伟 孙生林 (262)
十二、上水库排水廊道混凝土施工		黄传庚	孙生林 (267)
十三、上水库坡面垫层料施工技术	陈春雷	姬玉波	黄传庚 孙生林 (273)

第一篇

宜兴抽水蓄能电站工程施工技术

一、宜兴抽水蓄能电站工程简介

1 概况

宜兴抽水蓄能电站位于江苏省宜兴市西南郊约 10km 的铜官山区，是一座日调节纯抽水蓄能电站。电站安装 4 台单机容量 250MW 立轴单级混流可逆式抽水蓄能机组，总装机容量为 1000MW，装机日满发利用 4h。设计年平均发电量为 14.69 亿 kW·h，年抽水耗电量为 19.59 亿 kW·h。电站以两回 500kV 输电线路接入 500kV 宜溧变电站，进入华东及江苏 500kV 主网架。电站在江苏电网中主要担负调峰、填谷；同时根据电网需要，承担事故旋转备用、调频、调相等任务。

电站由上水库、下水库、输水系统、地下厂房和地面开关站、中控楼等建筑物组成。电站枢纽布置见图 1-1（图 1-2 略）。

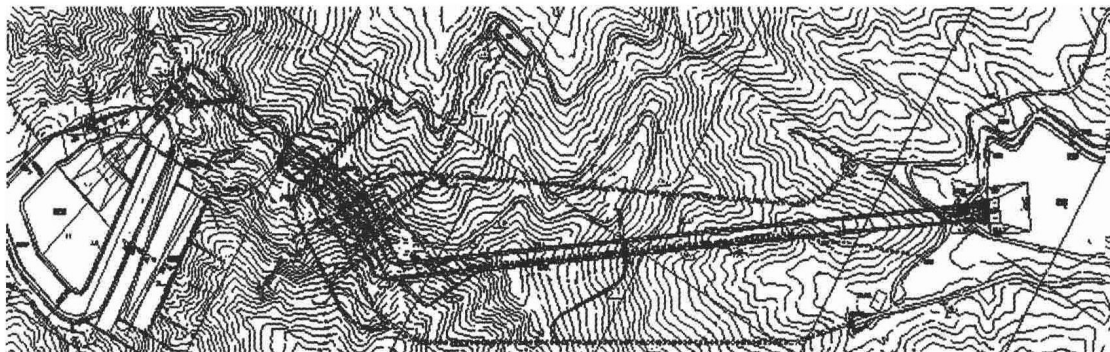


图 1-1 枢纽总布置图

该电站是江苏省第一个大型水电项目，也是世界银行贷款项目。工程总投资 47.63 亿元人民币，静态投资 39.85 亿元人民币，其中世行贷款 1.48 亿美元。

2 工程特性

2.1 枢纽工程特性

宜兴抽水蓄能电站枢纽工程特性见表 1-1。

2.2 主要建筑物土建工程特性

宜兴抽水蓄能电站枢纽上水库、输水系统、下水库、厂房及开关站等各主要建筑物土建工程特性见表 1-2~表 1-4。

表 1-1

宜兴抽水蓄能电站工程特性

序号	项 目 名 称	单 位	数 量	
1	电站型式：日调节纯抽水蓄能电站			
2	水文		上水库	下水库
2.1	集水面积	km ²	0.21	1.87
2.2	多年平均径流量	万 m ³	30.3	104.5
2.3	设计洪水洪量 (P=0.5%)	万 m ³	9.75	66.4
2.4	校核洪水洪量 (P=0.1%)	万 m ³	12.29	79.0
3	动能特性			
3.1	装机容量	MW	1000	
3.1.1	机组台数	台	4	
3.1.2	单机容量	MW	250	
3.2	发电及填谷效益			
3.2.1	最大日发电量	万 kW·h	409.9	
3.2.2	最大日抽水用电量	万 kW·h	540.2	
3.2.3	平均年发电量	亿 kW·h	13.382	
3.2.4	平均年抽水耗电量	亿 kW·h	19.60	
3.2.5	年发电利用小时	h	1491	
3.2.6	年抽水利用小时	h	1820	
3.3	电站水头			
3.3.1	正常最大毛水头	m	413.5	
3.3.2	正常最小毛水头	m	356.1	
3.3.3	极限最大毛水头	m	414.5	
3.3.4	极限最小毛水头	m	348.0	
3.3.5	最大扬程	m	420.0	
3.3.6	最小扬程	m	352.3	
3.3.7	水轮机工况额定净水头	m	363.0	
4	机组特性			
4.1	额定转速	r/min	375	
4.2	吸出高度	m	-60	
4.3	水轮机额定水头	m	363	
4.4	水轮机额定流量	m ³ /s	79	
4.5	水泵最大流量	m ³ /s	70.9	

表 1-2

宜兴抽水蓄能电站上水库、下水库工程特性

序号	项目名称	单位	数量	
			上水库	下水库
1	水位			
1.1	校核洪水位 ($P=0.1\%$)	m	472.11	81.62
1.2	设计洪水位 ($P=0.5\%$)	m	471.98	81.30
1.3	正常蓄水位	m	471.50	78.90
1.4	正常发电消落水位	m	435.00	58.00
1.5	死水位	m	428.60	57.00
2	库容			
2.1	总库容 (正常蓄水位以下)	万 m ³	530.7	572.8
2.2	有效库容	万 m ³	507.3	522.3
2.3	死库容	万 m ³	23.4	50.5
3	主坝			
3.1	坝型		钢筋混凝土面板混合堆石坝	粘土心墙堆石坝
3.2	坝顶高程	m	474.40	83.60
3.3	最大坝高	m	75.20	50.60
3.4	坝顶长度	m	494.90	482.91
3.5	坝顶宽度		8.00	8
3.6	上游坝坡		1:1.4	1:2
3.7	下游坝坡		1:1.26	1:2.5
4	副坝			
4.1	坝型		碾压混凝土重力坝	
4.2	坝顶高程	m	474.40	
4.3	最大坝高	m	35.10	
4.4	坝顶长度	m	216.00	
4.5	坝顶宽度	m	8.00	
5	泄水建筑物			
5.1	型式			泄水底孔(泄水钢管兼放空管)
5.2	直径	m		1.00
5.3	长度	m		256.50

表 1-3

江苏宜兴抽水蓄能电站枢纽输水系统工程特性

序号	项目名称	单位	数量
1	输水道总长	m	2882.33~2861.0
2	上进/出水口		
2.1	型式	岸边侧式竖井式(设拦污栅)	
2.2	数量	个	2
2.3	底板高程	m	415.00
2.4	进/出水口拦污栅处(单个)净尺寸(宽×高)	m	20.00×9.00
2.5	进/出水口段长度(单个)	m	42.00
3	上游闸门井兼调压井		
3.1	高度	m	85.5
3.2	直径	m	9.0
4	引水隧洞(全长设钢衬)		
4.1	型式:一洞二机竖井式		
4.2	数量(主洞/支洞)	条	2/4
4.3	内直径(主洞/支洞)	m	6.00~4.80/3.40
4.4	引水隧洞长度	m	1242.12~1153.47
5	尾水隧洞		
5.1	型式:一洞二机		
5.2	数量(主洞/支洞)	条	2/4
5.3	内直径(主洞/支洞)	m	7.20/5.00
5.4	尾水隧洞长度	m	1640.21~1707.68
6	尾水调压井		
6.1	型式		阻抗上室式
6.2	大井直径	m	10.0
6.3	上室(宽×高×长)	m	12.0×10.0××76
7	下游检修闸门井		
7.1	型式		井式(矩形)
7.2	尺寸(长×宽)	m	7.00×6.20
7.3	高度	m	45.2
7.4	闸门型式:		平面滑动检修闸门
7.5	底槛高程	m	41.00
7.6	闸门数量/孔口尺寸(宽×高)	扇/m	2/6.20×7.20
7.7	启闭机型式		卷扬式启闭机
8	下进/出水口		
8.1	型式:岸边侧式塔式(设拦污栅)		
8.2	数量	个	2
8.3	底板高程	m	41.00
8.4	进/出水口拦污栅处(单个)净尺寸(宽×高)	m	18.00×10.80
8.5	进/出水口段长度(单个)	m	44.00

表 1-4

宜兴抽水蓄能电站枢纽地下厂房及开关站工程特性

序 号	项 目 名 称	单 位	数 量
1	地下厂房		
1.1	厂房型式:		中部地下式
1.2	主副厂房洞		
1.2.1	开挖控制尺寸(长×宽×高)	m	155.30×22.00×52.40
1.2.2	水泵水轮机安装高程	m	-3.00
1.3	主变洞		
1.3.1	开挖控制尺寸(长×宽×高)	m	134.65×17.50×20.70
1.4	尾水闸门廊道		
1.4.1	开挖控制尺寸(长×宽×高)	m	111.00×8.0×19.05
2	地面开关站		
2.1	型式		地面户内式
2.2	平面尺寸	m	31.5×128.35
3	500kV 出线洞		
3.1	开挖控制尺寸(长×宽×高)	m	609.7×5.80×4.45
4	进厂交通洞		
4.1	开挖控制尺寸(长×宽×高)	m	1628.165×8.60×8.75
5	通风交通兼安全洞(厂顶施工支洞)		
5.1	开挖控制尺寸(长×宽×高)	m	1358.99×7.74×7.27

3 工程立项、审批、建设

电站于 1996 年规划选点, 当年进行了规划设计, 1998 年 4 月完成了预可行性研究, 1999 年 11 月完成了可行性研究设计。1999 年 11 月中国国际工程咨询公司组织专家组对《江苏宜兴抽水蓄能电站项目建议书》进行了评估, 认为项目建设非常必要, 经济上也是合理的, 建议尽早批准立项。

2000 年 1 月, 中国水电顾问有限公司会同江苏省计经委组织的审查并通过了《江苏宜兴抽水蓄能电站可行性研究报告》。2000 年 12 月国家经贸委对审查意见进行了批复。

2000 年 9 月和 12 月, 国家环保总局和水利部分别批复同意了本工程环境影响报告书和水土保持方案。

2001 年 2 月国务院批准了《国家计委关于审批江苏宜兴抽水蓄能电站工程项目建议书的请示》。

2001 年进行了可行性研究补充设计, 对上水库坝型及库岸防渗方案进行了优化设计, 将上水库沥青混凝土面板堆石主坝和库盆沥青混凝土面板优化为钢筋混凝土面板混合堆石坝和库盆为钢筋混凝土面板防渗。

2002年3月,通过了中国水电顾问有限公司对《可行性研究补充设计》的审查。

2002年8月中国国际工程咨询公司组织专家组对《利用外资建设江苏宜兴抽水蓄能电站可行性研究报告》进行了评估,2002年12月获国家发展和改革委员会批准。

2003年8月国家发展和改革委员会批准了江苏宜兴抽水蓄能电站开工报告。

2003年8月电站主体工程开工,2007年12月31日电站第一台250MW机组发电,2008年年底电站全部4台机组投产,历时60个月。

4 上水库工程

4.1 概述

上水库利用沟源坳地挖填形成,设计库底开挖高程为427m,库容为530.7万 m^3 ,上水库正常蓄水位471.5m。主要建筑物有钢筋混凝土面板混合堆石主坝、碾压混凝土重力副坝、进/出水口等。全库盆采用钢筋混凝土面板防渗,防渗总面积为18.06万 m^2 。

图1-3为上水库平面布置图。上水库工程主要工程量见表1-5。

表 1-5 上水库工程主要工程量

序号	项目	单位	数量	序号	项目	单位	数量
1	土石方开挖	万 m^3	835	6	基础固结灌浆	t	1245
2	土石方填筑	万 m^3	278	7	排水孔	万m	12
3	混凝土浇筑	万 m^3	41.2	8	止水铜片	万m	2.06
4	钢筋制安	万t	8.2	9	金属结构安装	t	708
5	浆砌石砌筑	万 m^3	2.9				

4.2 上水库工程地质条件

4.2.1 地层岩性

上水库库区出露地层主要为泥盆系中下统茅山组上段(D1-2ms3)和泥盆系上统五通组下段(D3w1)的碎屑岩,局部见燕山晚期侵入之花岗斑岩脉,上覆厚度不大的第四系残坡积层。

茅山组上段(D1-2ms3):为灰白色中厚层状岩屑石英砂岩夹灰白、灰黄、灰绿色中薄~薄层状粉砂质泥岩或泥质粉砂岩,常见斜层理、交错层理。岩体中常具黄褐色网纹状裂隙,沿裂隙面常有铁锰质渲染、富集。

五通组下段(D3w1):为灰白色中厚~厚层状石英岩状砂岩夹灰白色(局部呈灰绿、紫红等杂色)中薄~薄层状粉砂质泥岩或泥质粉砂岩。主坝左岸(F_4 断层下盘)以茅山组地层为主,山顶为五通组;坝址中部(F_4 与 F_2 之间)以五通组地层为主,茅山组上段分布于高程350~385m以下;主坝右岸(F_2 与 F_{23} 之间)两地层交替出露;西南角(F_{23} 上盘)则为五通组地层。

第四系残坡积层(Q4ed1)由灰黑色含有机质壤土、褐黄色壤土夹碎石、块石等组成,松散堆积,厚度一般在0.5~1.0m之间,局部缓坡、坳沟地带厚2~3m,有花岗斑岩脉

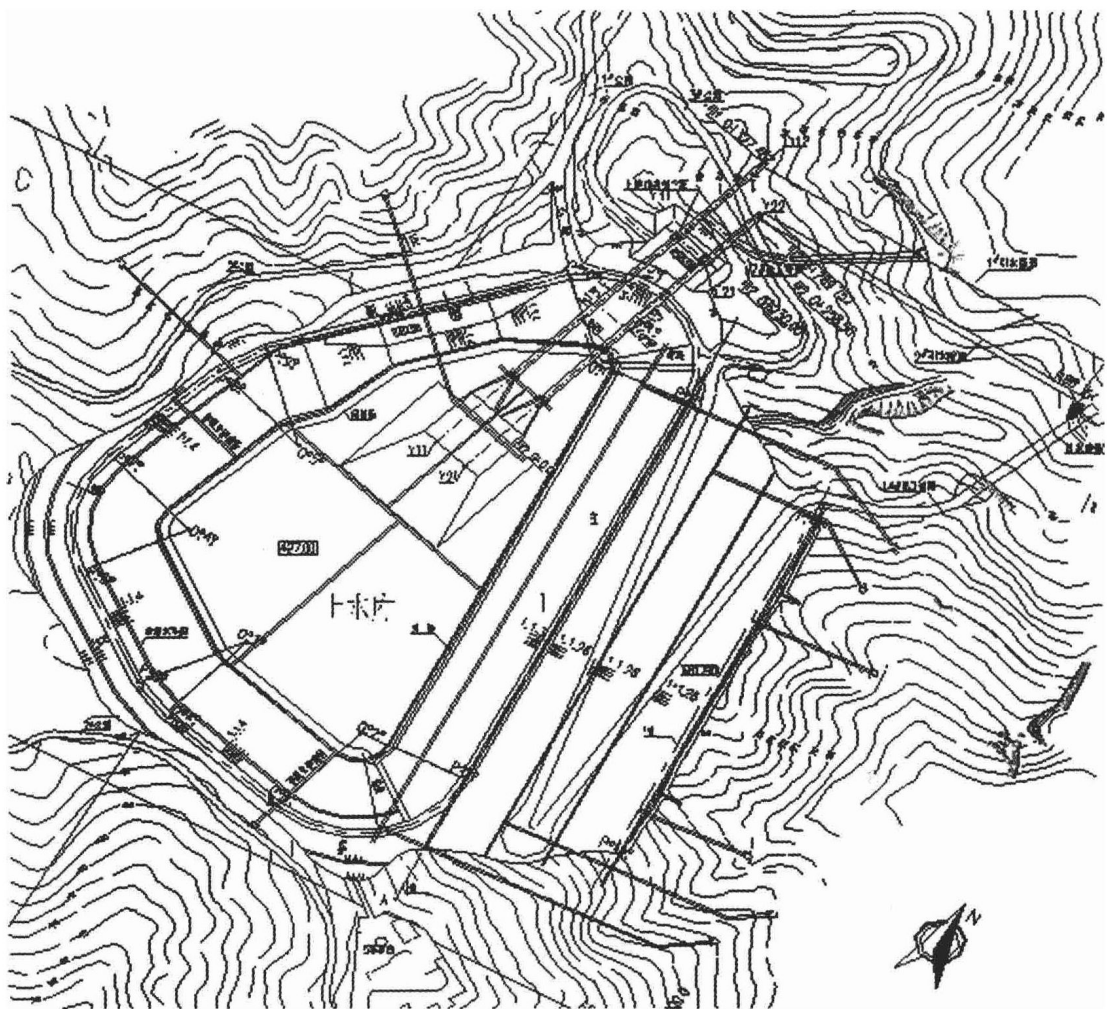


图 1-3 上水库平面布置图

分布的冲沟内其厚一般在 6m 以上，局部达 8.50m。

燕山晚期花岗斑岩 ($\gamma\pi 53-3$) 呈青灰、浅肉红色，球状嵌晶结构，块状构造。岩体抗风化能力差，地表多呈全风化，风化后呈褐黄、褐红、灰白色，土状或砂粒状，岩脉呈北西西走向脉状（枝状）自西库岸经库盆至主坝及下游坝坡延伸。上库主要有 $\gamma\pi 53-3-(11)$ ，宽度 25~45m；至库内分成二条，即 $\gamma\pi 53-3-12$ 、 $\gamma\pi 53-3-13$ ，宽度 10~25m，至主坝一带分枝若干，宽 2~15m 不等，花岗斑岩脉与围岩接触面倾角 70° 以上，接触带常呈囊状风化。

4.2.2 地质构造

上水库以单斜构造为主，地层产状 $N40^\circ\sim 80^\circ W$ ， $NE\angle 5\sim 20^\circ$ ，走向与坝轴线大角度相交，缓倾左岸偏下游。

库区断裂构造发育，断层以 $NWW\sim EW$ 向陡倾角为主，其次为 NW 和 $NNE\sim SN$ 向，规模较大的有 30 余条，以正断层为主，并有数米~百米的错距。一般宽 1~2m，其

中 F_4 断层宽达 3~5m，断层带内普遍发育碎裂岩、断层角砾岩、糜棱岩及断层泥。除断层外，尚发育错距不明显的破碎带和节理密集带，宽 1~5m。

上库区节理极发育，除陡倾角节理外，缓倾角节理也较发育。陡倾角节理面较平直，大多微张，局部张开宽 1.0cm 左右，沿面铁锰质渲染，少数铁锰质富集厚 0.1~0.5cm，部份节理充填泥质。

缓倾角节理主要为层面节理，产状： $N40^\circ\sim 80^\circ W$ ， $NE\angle 5^\circ\sim 20^\circ$ ，节理面较平整，延伸较长，铁锰质渲染或泥质充填。软弱岩层内缓倾角节理由于顺层挤压、风化、地下水入渗等作用，常形成软弱夹层、夹泥节理，地表揭露达 50 余条，性状以岩屑夹泥型为主，一般厚 0.5~10cm，最厚达 20~30cm。

上水库卸荷裂隙不发育，仅存在于局部地段，其发育深度一般在 2~5m，且以陡倾角为主，部份呈中~缓倾角，具浅层性。

4.2.3 基岩风化

上库区基岩以弱风化为主，全、强风化厚度不大。地表裸露砂岩等硬质岩抗风化能力较强，多呈弱风化，粉砂质泥岩类软岩抗风化能力弱，多为强风化。

花岗岩斑岩脉抗风化能力差，且风化分带复杂，地表以全风化为为主，全风化下限深 3.00~46.34m 不等，强风化下限 14.95~60.32m，与围岩接触带呈囊状风化，全风化囊深达 111.95~114.78m (ZK50)，强风化囊深达 118.40~125.50m (ZK35)。

受断裂构造、节理等影响，岩体弱风化下限深达 140.15m，且沿断层、破碎带常见陡倾角的风化夹层。

4.3 上水库主要建筑物

上水库工程主要建筑物有钢筋混凝土面板混合堆石主坝、碾压混凝土重力副坝、进/出水口等，全库盆采用钢筋混凝土面板防渗。

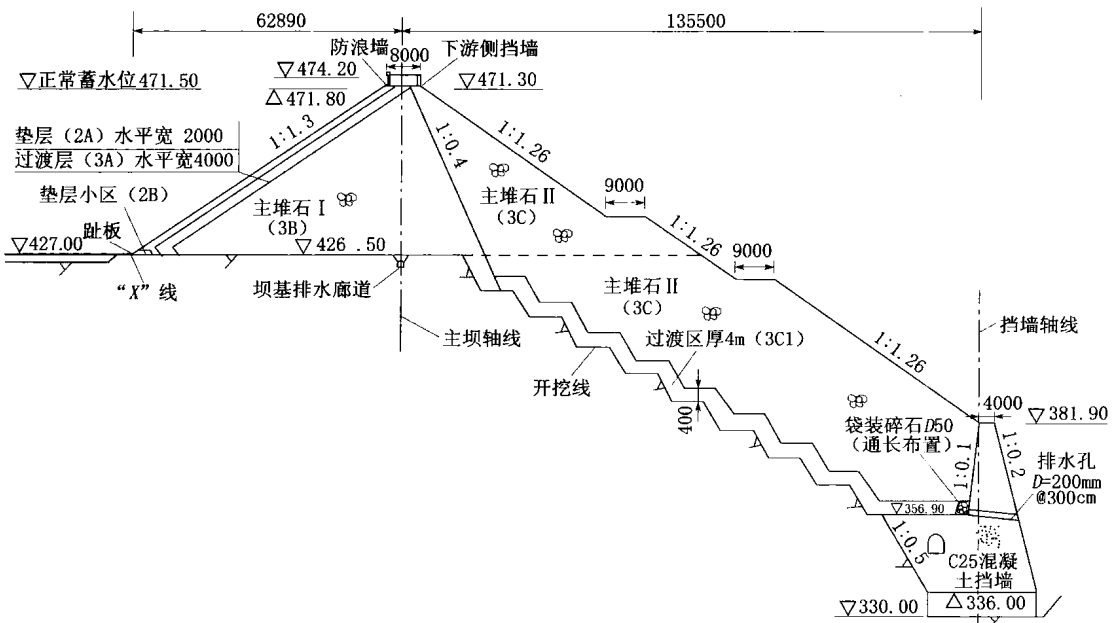


图 1-4 主坝典型断面图 (尺寸单位: mm)