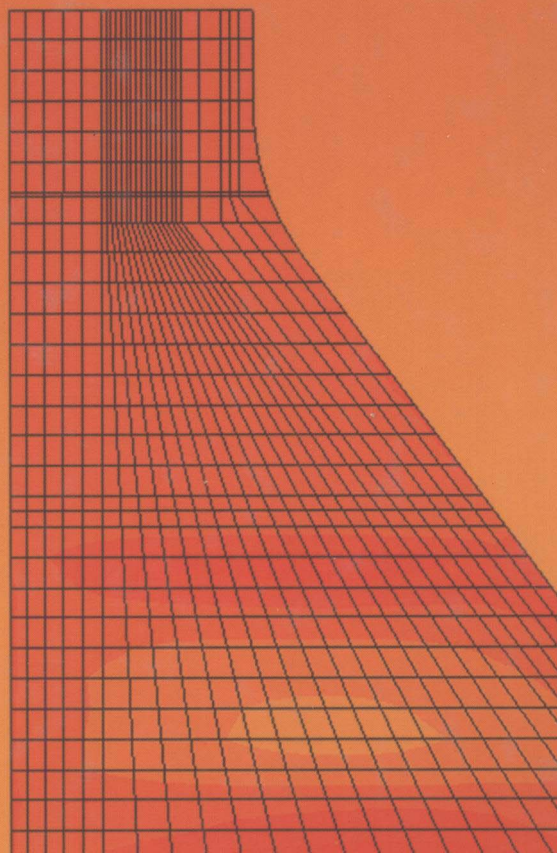


寒冷地区碾压混凝土坝 施工技术及仿真

杨长征 曹 伟 等 编著
范金勇 杨开春



科学出版社
www.sciencep.com



寒冷地区碾压混凝土坝 施工技术及仿真

杨长征 曹 伟 范金勇 杨开春 等 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以工程实践和仿真计算为基础,展示了寒冷地区碾压混凝土施工全过程中的技术创新和新型材料的应用,内容包括:坝线、坝型选择;挡水建筑物;保温材料简介及选择;大坝混凝土;热传导原理及有限元分析;计算模型、参数及边界条件;大坝安全监测与产测温度数值计算时分析;大坝仿真计算等。

本书可供从事水利工程设计、施工、临理和科研工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

寒冷地区碾压混凝土坝施工技术及仿真/杨长征等编著. —北京:科学出版社,2009

ISBN 978-7-03-025836-6

I. 寒… II. 杨… III. 冻土区-碾压土坝-混凝土坝-施工技术
IV. TV642.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 190249 号

责任编辑:杨家福 / 责任校对:王万红

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 11 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2009 年 11 月第一次印刷 印张:15 1/4

印数:1—2 000 字数:346 700

定价:43.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62137026(HA08)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

从 20 世纪 80 年代碾压混凝土引进以来,中国的水利工程界就大力从事碾压混凝土的防裂研究。研究表明,在寒冷地区气候较恶劣的条件下,碾压混凝土大坝更易产生裂缝,而且绝大多数是表面裂缝,其中一部分存在发展成为贯穿性裂缝的可能,直接影响大坝的整体性和耐久性,从而最终影响大坝的安全。

引起裂缝的原因主要是干缩应力、温度应力以及结构受力。干缩裂缝主要靠表面养护解决。引起表面拉应力的温度因素有气温变化、混凝土绝热温升和初始入仓温度。其中气温的变化主要有寒潮和气温年变化。寒潮是引起表面裂缝的重要原因,在温差较大的地区,气温年变化也是引起表面裂缝甚至深层裂缝的重要原因。因此温控防裂仍是碾压混凝土坝的关键技术之一。

以位于严寒地区恶劣条件下的新疆山口水电站为例,坝体的稳定温度场较低,碾压混凝土冬季无法施工,夏季施工时气温又较高,这些因素对混凝土的护裂非常不利,因此其温控防裂问题尤为突出。为确保工程质量,铸造精品工程,建设者针对工程难点和特点采用行进的技术、科学的方法和新型的材料与工艺,并通过仿真计算确定大坝浇筑、运行过程,以及采用喷涂聚氨酯材料保温保湿措施防裂,并在保温保湿层外添加防护层,保证了混凝土坝的优质建设,从而使这项混凝土坝新技术更具有深远的意义。

本书共分为九章,包括引言、坝线、坝型选择,挡水建筑物,保温材料简介及选择,大坝混凝土,热传导原理及有限元分析,计算模型、参数及边界条件,大坝安全监测与实测温度数值计算及对比方法,大坝仿真计算等。本书以工程实践和仿真计算为基础,运用理论与实践相结合的方法,展示了寒冷地区碾压混凝土施工全过程中的技术创新和新型材料的应用。

参加本书编著的还有李世新、王静、胡昱、叶尔肯、胡新丽、焦全喜、杜彬等。

在编著过程中,承蒙建设、设计、监理施工等单位的学者大力协助,他们为本书提供了有关方面的资料,给编写工作带来了很大帮助,特在此对他们表示衷心的感谢!

本书是寒冷地区碾压混凝土施工及仿真计算方面的科研成果专著,可供从事水利工程设计、施工、监理和科研的人员参考。

因时间仓促,编者水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者指正。

目 录

前言

第一章 引言	1
1.1 山口水电站概况	1
1.2 设计基本资料	2
1.2.1 开发利用要求	2
1.2.2 各泄水建筑物水位及泄量	2
1.2.3 水文气象资料	3
1.2.4 水位、库容及动能参数	7
1.2.5 地基特性及设计参数	7
1.2.6 基岩峰值加速度	7
1.2.7 安全系数	7
1.3 碾压混凝土坝的发展及其温控问题.....	16
第二章 坝线、坝型选择	18
2.1 坝线选择.....	18
2.1.1 坝线比选阶段	18
2.1.2 项目建议书阶段	19
2.1.3 可行性研究阶段	19
2.2 坝型选择.....	20
2.2.1 坝线比选阶段坝型比选	20
2.2.2 可行性研究阶段坝型比选.....	20
2.2.3 碾压混凝土重力坝方案	20
2.2.4 混合坝方案	24
2.2.5 二种坝型的综合比较	27
2.2.6 工程总体布置	29
2.3 泄水建筑物布置方案比选.....	30
2.3.1 泄水建筑物布置比选	30
2.3.2 泄水建筑物布置方案比较.....	32
2.3.3 泄水建筑物布置方案比较结论	36
2.4 混合坝右岸当地材料坝段比选.....	37
2.4.1 混合坝右岸当地材料坝段坝型	37
2.4.2 右岸挡水坝段比选	41
2.5 工程总体布置方案简述.....	46
第三章 挡水建筑物	48

3.1	碾压混凝土坝段	48
3.1.1	坝体轮廓设计	48
3.1.2	坝体防渗结构设计	50
3.1.3	坝体分区设计	51
3.1.4	坝体分缝、止水及排水设计	52
3.1.5	坝体层面结合处理设计	53
3.1.6	基础处理	54
3.1.7	稳定应力分析	55
3.1.8	坝体抗震措施	64
3.2	黏土心墙坝段	65
3.2.1	坝顶高程	65
3.2.2	坝体结构	67
3.2.3	坝基及坝肩处理	68
3.2.4	坝体抗震措施	69
3.2.5	土料设计	69
3.2.6	坝体计算	73
3.3	接头设计	83
第四章	保温材料简介及选择	86
4.1	保温材料简介	86
4.1.1	聚苯板保温材料的主要理化性能	87
4.1.2	珍珠岩发泡保温涂料的主要理化性能	87
4.1.3	聚氨酯保温材料的主要理化性能	87
4.2	聚氨酯保温材料	88
4.2.1	化学反应	88
4.2.2	聚氨酯硬质泡沫(PU)的主要原材料	89
4.2.3	彩色聚氨酯	89
4.2.4	设备的选型及改造	89
4.3	聚氨酯硬质泡沫保温保湿研究	91
4.3.1	混凝土保湿意义	91
4.3.2	混凝土热湿耦合传导方程及数值解法	93
4.3.3	混凝土热湿耦合传导试验研究	95
4.4	保温材料施工实例	98
4.4.1	三峡工程	98
4.4.2	响水拱坝	98
4.4.3	新疆石门子碾压混凝土拱坝聚氨酯保温保湿效果分析	99
4.4.4	拉西瓦水电站大坝保温和保湿效果试验研究与分析	100
4.5	保温材料比较	101
4.5.1	施工方法比较	101

4.5.2 施工成本比较	102
4.6 保温材料厚度计算	103
4.7 碾压混凝土养护情况	104
第五章 大坝混凝土	105
5.1 大坝混凝土设计	105
5.1.1 大坝混凝土强度的设计龄期	105
5.1.2 抗冻、抗渗设计指标选择	105
5.1.3 坝体各区混凝土设计指标	106
5.1.4 原材料的选择	107
5.1.5 碱活性骨料对混凝土的影响	110
5.1.6 合理选择混凝土粗骨料的粒径	111
5.1.7 坝体混凝土配合比设计	112
5.2 碾压混凝土配合比及其性能试验成果	113
5.2.1 碾压混凝土配合比初选试验结果	113
5.2.2 碾压混凝土抗冻耐久性	115
5.2.3 碾压混凝土自身体积变形性能	117
5.2.4 碾压混凝土热学性能	117
5.3 常态混凝土配合比及其性能试验结果	118
5.3.1 常态混凝土配合比初选试验结果	118
5.3.2 常态混凝土抗冻耐久性	121
第六章 热传导原理及有限元分析	122
6.1 热传导原理	122
6.2 有限元理论	123
6.2.1 弹性力学问题基本方程	123
6.2.2 有限元方法	124
6.2.3 变分原理	125
6.2.4 稳态温度场计算	125
6.2.5 瞬态温度场计算	127
6.2.6 温度应力计算的有限元法	129
6.2.7 徐变理论分析	130
6.3 计算分析程序	132
6.3.1 量纲	133
6.3.2 绝热温升计算实例	134
6.3.3 平板冷却 1(表面给定温度条件)	135
6.3.4 平板冷却 2(对流散热边界条件)	136
6.3.5 混凝土浇筑过程中层间温度突变	137
6.3.6 混凝土浇筑过程温度应力	139

第七章 计算模型、参数及边界条件	142
7.1 有限元模型	142
7.2 材料参数	143
7.2.1 基础岩石资料	143
7.2.2 混凝土的热学性能	144
7.2.3 混凝土力学参数及力学性能	144
7.2.4 保温层有限元模型	146
7.3 边界条件	147
7.3.1 气温资料	147
7.3.2 坝址区平均河水温度	148
7.3.3 寒潮资料	148
7.3.4 水库水温的计算	148
第八章 山口电站大坝安全监测	152
8.1 大坝安全监测设计	152
8.1.1 碾压混凝土坝段观测设计	155
8.1.2 碾压土石坝部分观测设计	159
8.1.3 自动化系统设计初步设想	160
8.2 监测资料整理和初步分析	160
8.2.1 泄洪底孔坝段	160
8.2.2 非溢流坝段(0+158.0断面)	171
8.2.3 溢流表孔坝段	174
8.2.4 发电引水坝段	175
8.2.5 新增温度监测	177
8.2.6 应变、自生体积变形结果	179
8.2.7 结论	180
8.3 数值计算与仿真资料对比分析	181
8.3.1 非溢流坝段(0+158.0断面)	181
8.3.2 坝体应力计算结果	194
8.3.3 泄洪底孔坝段温度监测及分析	198
第九章 大坝仿真计算	211
9.1 横缝间距的计算	211
9.1.1 外界温度年变化引起的应力	211
9.1.2 山口碾压混凝土横缝间距的计算	211
9.1.3 参数分析	213
9.2 仿真计算考虑因素	213
9.2.1 混凝土厚度的影响	213
9.2.2 边界条件	213
9.2.3 入仓温度	214

9.2.4	混凝土的绝热温升 θ_0	214
9.2.5	放热系数 m	214
9.2.6	层间间隙时间的影响	214
9.3	寒潮情况下表面保温的计算	215
9.3.1	寒潮应力的计算	215
9.3.2	实测温度分析	217
9.3.3	山口水电站保温保湿方案	219
9.4	温度控制措施及其效果分析	221
9.5	温度控制标准	230
9.5.1	基础温差	230
9.5.2	最高温度	231
9.5.3	浇筑温度控制	231
9.5.4	上下层温差	231
9.5.5	表面保温控制内外温差	231
9.6	结论	232
参考文献		233

第一章 引 言

1.1 山口水电站概况

山口水电站工程位于新疆境内,在特克斯河中下游河段上,距上游正在建设的上游水利枢纽工程 16.2km。本工程是特克斯河干流梯级开发的最末一级,利用上游水利枢纽调节后的下泄水量发电,同时作为上游水利枢纽工程的发电反调节水库。

山口水电站工程由拦河坝、泄水建筑物和发电引水系统及电站厂房等主要建筑物组成,最大坝高 49.8m,水库总库容 $1.21 \times 10^8 \text{ m}^3$,装机容量 141MW。

根据《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL252-2000)的规定,该工程规模属大(2)型,工程等别为 II。

永久性主要建筑物大坝、泄水建筑物、引水建筑物的进水口采用 2 级,电站厂房、尾水渠等其他永久建筑物采用 3 级,临时建筑物采用 4 级。

洪水标准根据《水利水电工程等级划分及洪水标准》(SL252-2000)的规定:大坝、泄水建筑物和引水建筑物进口设计洪水标准为 100 年一遇(经上游水库调蓄后的洪峰流量 $Q=1563 \text{ m}^3/\text{s}$),校核洪水标准为 2000 年一遇(经上游水库调蓄后的洪峰流量 $Q=3891 \text{ m}^3/\text{s}$)。

发电厂房设计洪水标准为 50 年一遇(经上游水库调蓄后的洪峰流量 $Q=1488 \text{ m}^3/\text{s}$),校核洪水标准为 200 年一遇(经上游水库调蓄后的洪峰流量 $Q=3218 \text{ m}^3/\text{s}$)。

导流标准:围堰挡水阶段,采用设计洪水频率 $P=10\%$ 全年洪水(经上游水库调蓄后的洪峰流量 $Q=800 \text{ m}^3/\text{s}$);坝体度汛阶段,采用设计洪水频率 $P=5\%$ 全年洪水(经上游水库调蓄后的洪峰流量 $Q=1200 \text{ m}^3/\text{s}$)。

工程总体布置方案大坝采用混合坝,如图 1.1 所示。

右岸阶地采用黏土心墙坝,桩号为坝 0+496.00~坝 0+963.10,坝顶高程为 916m,坝顶宽度为 10m,最大坝高 38.26m,坝长 467.1m。坝顶采用混凝土路面,厚 0.2m。坝顶上游侧设置 L 形 C25 钢筋混凝土防浪墙,防浪墙顶高程 917.2m,墙底高程 914.0m。上游坝坡 1:2.5;下游坝坡 1:2,下游坝坡 896m 高程处设 4m 宽的马道。上游设 0.25m 厚的混凝土护坡,下游坝坡设 0.3m 厚的干砌石护坡。坝体填筑分区从上游至下游分为上游沙砾料区、上游反滤料区、黏土心墙区、下游反滤料区、下游过渡料区、下游排水体、下游沙砾料区。

碾压混凝土重力坝挡水坝段位于主河床和左岸阶地、右岸阶地,坝顶高程 916m,防浪墙顶高程 917.2m,最大坝高 49.8m,坝顶宽度 8m。坝体剖面为:坝体上游面 880m 高程至坝顶 917.2m 高程为垂直面,880m 高程至坝基为 1:0.2 的斜坡面。坝体下游面

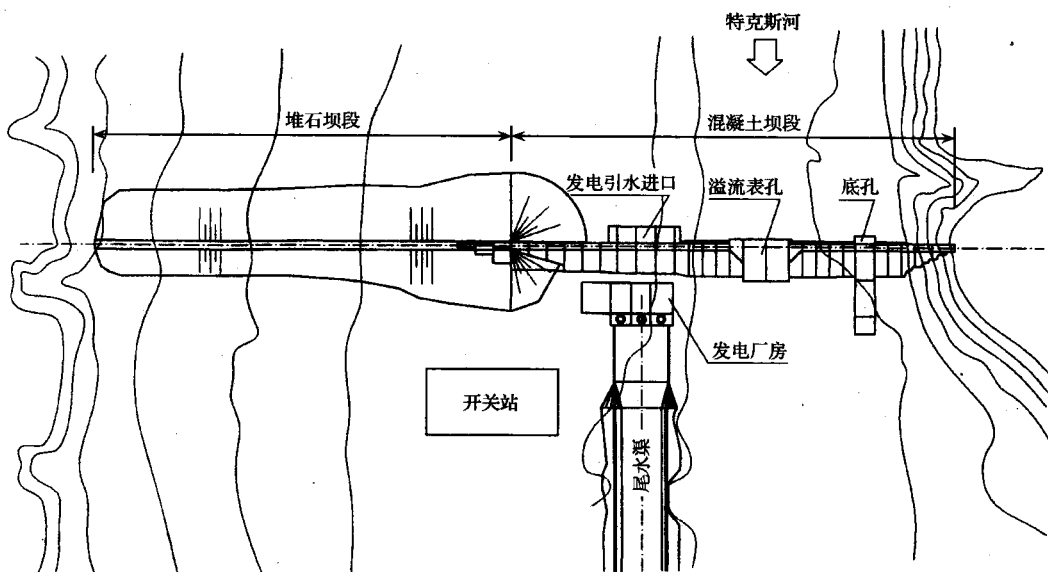


图 1.1 山口水电站枢纽总平面布置图

908.667m 以上为垂直面,以下由半径为 8m 的圆弧与下游 1:0.75 的坝坡连接至坝基。

黏土心墙坝与碾压混凝土重力坝采用较经济的插入式连接方法。黏土心墙坝与碾压混凝土重力坝结合时,桩号 0+496.000~0+516.000m 重力坝上游面不变,下游面坝坡为 1:0.5,桩号 0+516.000~0+556.000m 重力坝上游面向下游移 1m,下游面坝坡分 1:0.3、1:0.1 两段变化,在 0+496.0m 结合处心墙断面由 1:0.3 放大至 1:0.5,反滤料及过渡料包裹混凝土坝。

1.2 设计基本资料

1.2.1 开发利用要求

(1) 发电任务

装机容量 141MW,保证出力 40.3MW,多年平均年发电量 $5.7 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。

(2) 反调节任务

上游水利枢纽电站在系统调峰时需要反调节库容为 $600 \times 10^4 \text{ m}^3$,下游引水枢纽拦河引水枢纽 $360 \times 10^4 \text{ m}^3$ 的蓄冰库无法满足反调节库容要求,严重影响上游电站的效益发挥,不能实现上游承担系统调峰的设计要求,需要山口水电站工程承担反调节任务。

1.2.2 各泄水建筑物水位及泄量

各泄水建筑物水位及泄量见表 1.1。

表 1.1 泄水建筑物水位及泄量

泄洪组合	洪水标准	入库流量 (m^3/s)	库水位 /m	泄流量/(m^3/s)		
				表孔(4孔)	底孔(1孔)	总泄量
设计工况	1%	1563	912	1563		1563
校核工况一	0.05%	3891	914.50	2881	791	3672
校核工况二 (非常工况)	0.05%	3891	916.68	3666		3666

1.2.3 水文气象资料

坝址以上流域面积 27 402 km^2 , 水文系列年限 46 年(1957~2002 年)。

1. 多年平均月流量

河流经上游综合利用水利枢纽调蓄后, 径流的天然情况受到破坏。山口水电站坝址径流可分为上游水库出库放水过程和区间上游天然汇入过程两部分, 有关资料见表 1.2、1.3。

表 1.2 上游水库出库(非天然)月平均流量及径流量分配

月份	1	2	3	4	5	6	7
月平均流量/(m^3/s)	129.05	134.46	141.58	147.5	168.4	241.7	470.75
月径流量/ $\times 10^6 \text{m}^3$	345.6	328.2	379.2	382.3	451.1	626.5	1260.861
百分率/%	5.15	4.89	5.65	5.70	6.72	9.34	18.80
月份	8	9	10	11	12	$Q_{\text{年}}/(\text{m}^3/\text{s})$	$W_{\text{年}}/\times 10^8 \text{m}^3$
月平均流量/(m^3/s)	473.8	244.8	139.1	124.5	125.43	212.6	
月径流量/ $\times 10^6 \text{m}^3$	1269	634.5	372.4	322.7	335.9		67.083
百分率/%	18.92	9.46	5.55	4.81	5.01		100

表 1.3 上游(天然)月平均流量及径流量分配

月份	1	2	3	4	5	6	7
月平均流量/(m^3/s)	6.55	6.50	7.96	13.2	27.6	46.5	54.75
月径流量/ $\times 10^6 \text{m}^3$	17.53	15.87	21.32	34.27	73.91	120.6	146.640
百分率/%	2.51	2.27	3.05	4.91	10.58	17.26	20.99
月份	8	9	10	11	12	$Q_{\text{年}}/(\text{m}^3/\text{s})$	$W_{\text{年}}/\times 10^8 \text{m}^3$
月平均流量/(m^3/s)	46.4	24.3	13.5	9.7	7.48	22.1	
月径流量/ $\times 10^6 \text{m}^3$	124.4	62.97	36.08	25.13	20.04		6.987
百分率/%	17.80	9.01	5.16	3.60	2.87		100

2. 不同频率洪水成果

不同频率洪水成果见表 1.4。

表 1.4 上游水库建成后山口水电站水库入库设计洪水成果

设计频率	洪峰/(m^3/s)	24 小时洪量/ $\times 10^6 \text{m}^3$	3 天洪量/ $\times 10^6 \text{m}^3$	5 天洪量/ $\times 10^6 \text{m}^3$	7 天洪量/ $\times 10^6 \text{m}^3$
0.01	4455	346.9	936.9	1443.1	1873.7
0.02	4148	322.0	878.6	1364.0	1765.1
0.05	3891	312.4	876.8	1314.3	1650.4
0.1	3674	296.6	799.2	1200.2	1513.9
0.2	3468	276.9	727.4	1087.2	1377.2
0.5	3218	265.2	650.4	938.8	1200.0
1	1563	125.0	358.0	586.9	814.0
2	1488	121.4	351.4	578.1	803.3
5	1399	117.0	343.1	567.0	789.6
10	1343	114.1	337.2	559.0	779.7
20	1304	111.7	332.0	551.7	770.5

3. 泥沙

山口水电站入库的多年平均悬移质输沙率为 44.82kg/s , 相应年输沙量为 $141.44 \times 10^4\text{t}$, 多年平均悬移质含沙量为 0.176kg/m^3 。山口水电站入库的推移质泥沙按 $\beta=0.15$ 计, 得多年平均推移质输沙量为 $22.63 \times 10^4\text{t}$, 多年平均输沙总量为 $164.06 \times 10^4\text{t}$ 。

4. 泥沙淤积

水库运行 50 年时, 总库容损失 $0.14 \times 10^8 \text{m}^3$, 其中调节库容损失 $0.047 \times 10^8 \text{m}^3$, 死库容仅损失 $0.089 \times 10^8 \text{m}^3$; 水库运行 100 年时, 总库容损失 $0.26 \times 10^8 \text{m}^3$, 其中调节库容损失 $0.092 \times 10^8 \text{m}^3$, 死库容损失 $0.17 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

水库运行 50 年时, 坝前泥沙淤积厚度为 1.95m ; 水库运行 100 年时, 坝前泥沙淤积厚度为 3.98m 。

5. 气象

结合上游水文站的气象观测资料, 综合描述山口水电站工程区域的气象要素特征, 上游水文站实测资料见表 1.5 和图 1.2, 坝址气象要素推算及设计值研究成果见表 1.6。

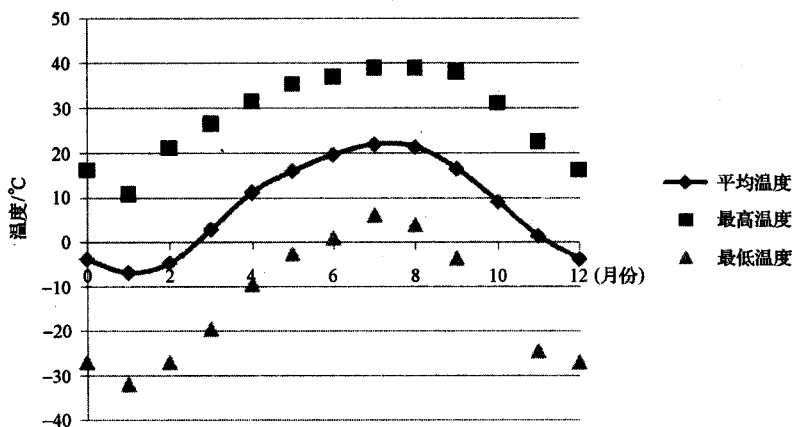


图 1.2 上游水文站温度实测资料

表 1.5 上游水文站历年月气象要素统计(上游水文站实测)

项目	单位	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	全年
平均气温	℃	-6.8	-4.6	3	11.3	16	19.7	22	21.4	16.5	9.2	1.5	-3.7	8.8
极端最高气温	℃	10.8	21	26.5	31.5	35.3	37	39	39	38	31	22.5	16.1	39
发生时间		1963年 1月26日	1963年 2月27日	1989年 3月3日	1985年 4月27日	1977年 5月31日	1984年 6月25日	1983年 7月31日	1979年 8月2日	1966年 9月14日	1985年 10月1日	1979年 11月4日	1989年 12月1日	1983年 7月31日
极端最低气温	℃	-32	-27	-19.5	-9.4	-2.5	1	6.2	4	-3.5	-7.8	-24.5	-27	-32
发生时间		1981年 1月22日	1988年 2月26日	1989年 3月2日	1960年 4月11日	1983年 5月22日	1987年 6月21日	1972年 7月12日	1978年 8月24日	1973年 9月28日	1961年 10月9日	1987年 11月26日	1984年 12月23日	1981年 1月22日
降水量	mm	9.56	12.05	29.19	44.86	46.01	41.01	33.55	22.67	26.1	34.54	20.54	13.94	334.02
日最大降水量	mm	15.1	15.5	31.4	35.7	29	29.3	32	36.6	33.1	27.6	22	12.6	36.6
发生时间		1974年 2月6日	1988年 5月	1970年 2月5日	1967年 2月9日	1960年 2月2日	1987年 2月1日	1979年 1月4日	1958年 1月2日	1958年 2月1日	1967年 1月6日	1965年 5月	1976年 1月5日	1958年 8月12日
蒸发量	mm	44.19	51.95	101.26	185.26	229.52	256.03	303.55	307.5	220.98	136.96	72.95	50.38	1961.04

表 1.6 上游水文站历年月气象要素分析

[illegible]

1.2.4 水位、库容及动能参数

1. 水库特征水位

校核洪水位为 914.50m,设计洪水位为 912m,正常蓄水位为 912m,死水位为 905m。

2. 水库水域面积

正常蓄水位 912m 时水库面积为 7.9km²。

3. 水库回水长度

正常蓄水位 912m 时水库回水长度为 12.2km。

4. 水库容积

总库容(校核洪水位以下库容)为 $1.21 \times 10^8 \text{ m}^3$,正常蓄水位以下库容为 $1.00 \times 10^8 \text{ m}^3$,调洪库容(校核洪水位至汛期限制水位)为 $0.21 \times 10^8 \text{ m}^3$,调节库容(正常蓄水位至死水位)为 $0.45 \times 10^8 \text{ m}^3$,死库容为 $0.55 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

5. 动能参数

最大水头为 36.7m,最小水头为 29.7m,多年平均水能加权水头为 36.1m,装机容量为 141MW,保证出力($P=90\%$)为 40.3MW,电站最大引水用流量为 472.14m³/s。

1.2.5 地基特性及设计参数

坝址区岩石、岩体及筑坝材料物理力学性质见表 1.7~1.14。

1.2.6 基岩峰值加速度

据 1:400 000《中国地震动参数区划图》(GB18306-2001),工程区处在地震动峰值加速度为 0.2g 的区域内,其对应地震基本烈度为 8 度。

工程枢纽区地震基本烈度为 8 度,根据《水工建筑物抗震设计规范》(SL203-97)的规定,大坝及其他主要建筑物设防烈度为 8 度。

1.2.7 安全系数

1. 碾压混凝土重力坝抗滑稳定安全系数

基本组合为 $K \geq 3.0$;特殊组合(1)为 $K \geq 2.5$,特殊组合(2)为 $K \geq 2.3$ 。

2. 黏土心墙坝坝坡稳定安全系数(毕肖普法)

正常运用条件为 $K \geq 1.35$,非常运用条件为 $K \geq 1.25$,非常运用条件为 $K \geq 1.15$ 。

表 1.7 山口水电站坝基岩体质量分类

分类依据类别		岩石质量											透水性		
		类	亚类	岩性	湿抗压强度 /MPa	描述	RQD /%	波速	完整性系数	体积裂隙人数	结构面特征				岩体结构特征类型
裂隙组数	裂隙间距 /m										结构面发育及性状特征				
Ⅱ	B _Ⅱ		(第一类) 以砂岩、砾岩为主夹泥质粉砂岩	31.58~65.42	较完整	40~55	3000~4500	0.65~0.8	10~20	3~4	0.3~1	结构面较发育, 充填方解石脉及钙质膜	块状、层状	微风化新鲜	湿润或滴水
				27.38~46.34		30~50	2300~4000	0.50~0.65							
Ⅲ	B _{Ⅲ2}		(第二类) 以泥质粉砂岩为主夹砂岩、砾岩	11.2~28.7	完整性较差	40~50	2200~3500	>0.55	20~30	4~5	0.3~0.1	结构面发育, 充填方解石脉及锈色钙质膜	层状、互层状	微~新鲜	湿润或滴水
				25~40		2000~3000	0.35~0.5								