

YELE SHUIDIANZHAN DABA
FANGSHEN GONGCHENG SHIGONG JISHU

冶勒水电站大坝 防渗工程施工技术

向永忠 朱志坚 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

YELE SHUIDIANZHAN DABA
FANGSHEN GONGCHENG SHIGONG JISHU

冶勒水电站大坝 防渗工程施工技术

向永忠 朱志坚 著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

冶勒水电站碾压沥青混凝土心墙堆石坝是目前已经建成的同类型国内第一、亚洲第二高坝。大坝基础需要处理的防渗深度超过 220m, 坝体碾压沥青混凝土防渗心墙净高 120m, 均属国内首次。本书系统介绍了大坝深厚覆盖层基础防渗工程施工、高寒多雨地区大坝碾压沥青混凝土心墙施工新技术、新方法、新工艺、新机具、新材料, 以及各项关键技术创新和施工经验。

本书共 22 章, 分上下两篇, 上篇主要介绍冶勒水电站大坝深厚覆盖层基础防渗工程施工技术, 下篇主要介绍大坝碾压沥青混凝土心墙施工技术。本书可供水利水电工程施工、监理、设计、管理人员参考, 也可供科研院所、大专院校及相关专业人员和师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

冶勒水电站大坝防渗工程施工技术/向永忠, 朱志坚
著. —北京: 中国电力出版社, 2010. 12

ISBN 978-7-5123-1121-3

I. ①冶… II. ①向… ②朱… III. ①水力发电
站-大坝-渗流控制-工程施工-施工技术-研究-四川省
IV. ①TV752. 71

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 233079 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京盛通印刷股份有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2012 年 11 月第一版 2012 年 11 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21 印张 475 千字

定价 78.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

前言

冶勒水电站枢纽工程位于四川冕宁县和石棉县境内，大坝坝址位于冕宁县冶勒乡，是大渡河中游右岸一级支流南桠河流域梯级开发的龙头工程。大坝为碾压沥青混凝土心墙堆石坝，最大坝高 124.5m，按水工 I 级建筑物设计。

冶勒水电站大坝工程所在地海拔高程 2700~3760m，属四川西部山地湿润气候，低温多雨，全年无夏季，冬季长达 6~7 个月，年极端最低温度达 -20°C ，极端最高气温达 27.5°C ，年平均气温 6.5°C ；多年平均降雨天数达 215d，多年平均降雨量 1830.9mm，最大风速 20m/s，5~10 月为雨季。

冶勒水电站大坝坝址及库区地质构造为第四纪构造断陷盆地。河床下部及右岸均为很厚的第四系堆积体，最大厚度超过 420.0m，需要进行基础处理的厚度达 220.0m。由于该堆积体厚度很大，沉积年代较长，经过长期超固结压密，具有弱钙质胶结的卵砾石、粉质壤土和硬质土互层，形成含水层隔水层相间分布，河床下部石英闪长岩顶板的埋深为 55~160m，右岸坝肩勘探到 420m 深仍不见岩石，水文地质结构十分复杂。

冶勒水电站大坝的坝高和填筑工程量虽然规模不大，但坝体超过 100m 的碾压沥青混凝土防渗心墙，坝基超过 100m 深厚覆盖层防渗墙及超过 100m 深厚覆盖层帷幕灌浆，恶劣的气候和施工环境、施工的难度，当时在国内居首，国际也少有，属在建同类型国内第一、亚洲第二高坝。在当时我国已有的机械设备及施工方法的条件下，对大坝基础进行有效的防渗处理施工成为冶勒电站大坝工程施工的关键。

冶勒水电站大坝的建设施工，面对恶劣的施工条件和复杂的高难度的深厚覆盖层基础处理，以及高海拔高寒多雨地区进行碾压沥青混凝土心墙堆石坝施工等水电工程建设关键技术难题，国内没有先例和现成的经验可以借鉴，更没有相关的设计、施工标准，面临技术、工艺、组织管理等方面的严峻挑战。因此冶勒水电站工程从 1970 年开始勘测设计至 2000 年 7 月批复工程开工报告，2001 年初开工建设，经历了漫长的研究、试验、审批阶段。该项目被国家列为“十五”期间国家重点水电工程开发建设项目，也是国家实施“西部大开发”第一个重点水电工程。

工程于 2001 年 1 月 1 日开工建设，经过数千名建设者历时五年的艰苦努力，2005 年 11 月 18 日大坝全线达到设计高程，提前 43 天完成合同任务，创造了多项中国水电建设史上前所未有的奇迹，在高寒多雨地区成功地解决了深厚覆盖层超深防渗墙施工、超深帷幕灌浆、碾压沥青混凝土心墙施工、砂砾石地质条件下的洞室群施工

等关键技术难题。在高寒多雨施工环境下，创造了大坝月填筑强度超 50 万 m^3 ，碾压沥青混凝土心墙月上升 10m 两项施工奇迹；刷新了碾压沥青混凝土心墙在零下 5°C 以上施工、铺筑层厚达到 30cm、日连续铺筑 3 层三项碾压沥青混凝土心墙施工纪录；突破了多项水电工程施工规范。通过大坝蓄水运行和 2010 年竣工验收，碾压沥青混凝土心墙铺筑以及基础防渗墙施工质量可靠、坝体运行稳定，防渗效果完全满足设计和运行要求。

冶勒水电站大坝防渗工程作为我国高寒多雨地区碾压沥青混凝土心墙堆石坝和深厚覆盖层超深防渗墙及帷幕灌浆的成功典范，为我国类似工程的设计、建设、管理标准制定和施工乃至世界坝工技术的发展提供了宝贵的实践资料。

通过五年的施工、五年的蓄水运行，2010 年冶勒水电站大坝工程通过国家竣工验收，备受关注的坝体碾压沥青混凝土心墙变形稳定和防渗问题、坝基和右岸坝肩深厚覆盖层超深防渗墙和超深帷幕灌浆稳定和防渗问题得到了验证：大坝运行安全稳定，防渗效果达到或超过设计标准。

近年来，我国的水电设计、施工水平已经达到世界领先水平，当年冶勒水电站大坝的设计、施工难题已经成为历史。但作为冶勒水电站大坝施工的参与者和从事水利水电工程施工的工程技术人员，深知冶勒水电站大坝五年施工的艰辛，更深知由于冶勒水电站大坝工程恶劣的施工环境，大坝防渗工程的复杂性、特殊性以及在水电工程建设施工中的代表性，因此把施工过程和一些成功做法写出来，作为一份总结资料，留存于世，与大家共勉，几经周折和努力，今天奉献给大家，希望以此能为推动我国碾压沥青混凝土心墙筑坝技术和深厚覆盖层超深防渗墙及超深帷幕灌浆基础处理技术的发展尽绵薄之力。

由于本书涉及专业较多，工程完工时间较久，作者专业及文字水平有限，疏漏和不足之处在所难免，诚望专家、同行、读者批评指正。

作 者

2012 年 6 月

目 录

前言

上篇 冶勒水电站大坝深厚覆盖层基础防渗工程施工技术

第一章 综述	3
第一节 工程简介	3
第二节 水文气候条件	7
第三节 工程地质条件	8
第二章 大坝设计参数及坝基深厚覆盖层防渗施工特点	13
第一节 大坝设计施工主要技术参数	13
第二节 大坝基础防渗工程施工特点和关键技术	23
第三章 防渗墙高强低弹混凝土配合比试验	26
第一节 混凝土配合比试验	26
第二节 防渗墙试验混凝土检测成果分析	27
第三节 防渗墙混凝土试验配合比调整	29
第四节 防渗墙混凝土试验坍落度与扩散度研究	31
第五节 防渗墙施工试验混凝土凝固时间研究	32
第六节 砂石骨料对防渗墙混凝土性能的影响研究	34
第四章 防渗墙施工设备选择	35
第一节 混凝土防渗墙槽孔施工设备概况	35
第二节 冶勒水电站大坝基础防渗墙造孔设备比较选择	37
第三节 施工机具的改进	43
第五章 大坝基础混凝土防渗墙施工准备	45
第一节 前期准备工作	45
第二节 防渗墙施工相关工程量计算方法确定	47
第三节 防渗墙施工平台及导墙修建	48
第四节 超深槽孔型混凝土防渗墙接头方式研究	55
第五节 护壁泥浆配制试验	62
第六章 深厚覆盖层超深防渗墙施工试验	72

第一节	设计阶段深厚覆盖层超深防渗墙施工试验	72
第二节	建设阶段深厚覆盖层超深防渗墙生产性施工试验	74
第三节	深厚覆盖层防渗墙生产性施工试验成果	82
第七章	左岸及河床段覆盖层内防渗墙施工技术	83
第一节	防渗墙设计要求及标准	83
第二节	左岸及河床覆盖层基础防渗墙槽段划分	85
第三节	左岸及河床覆盖层基础防渗墙槽段施工	86
第八章	右岸覆盖层内防渗墙施工廊道及排水、交通廊道施工	88
第一节	防渗墙施工廊道和排水、交通廊道布置	88
第二节	防渗墙施工廊道地层地质条件分析	89
第三节	覆盖层内防渗墙施工廊道施工	90
第九章	右岸坝基覆盖层超深防渗墙槽孔施工	99
第一节	设计布置及施工方案	99
第二节	大坝右岸基础防渗体设计施工参数	105
第三节	右岸台地（廊道上方的）覆盖层内防渗墙施工	106
第四节	廊道内覆盖层超深防渗墙施工	114
第十章	大坝基础防渗墙槽孔施工特殊情况处理	134
第一节	防渗墙槽孔施工除渣清孔	134
第二节	防渗墙槽孔漏浆的处理	135
第三节	槽孔内孤石处理	135
第四节	塌孔处理	136
第五节	掉钻处理	137
第六节	槽底淤积物处理及清孔	138
第七节	特殊地层槽孔钻进	139
第十一章	防渗墙槽孔施工质量控制及验收	142
第一节	防渗墙槽孔施工孔斜率控制	142
第二节	槽段验收	143
第十二章	防渗墙混凝土施工及质量控制	146
第一节	钢筋笼制作和下设	146
第二节	防渗墙混凝土浇筑	147
第三节	防渗墙混凝土施工质量检测及验收	152
第四节	大坝基础混凝土防渗墙工程施工质量总体评价	164

第十三章 大坝基础深厚覆盖层内帷幕灌浆施工·····	166
第一节 大坝基础超深帷幕灌浆施工特性·····	166
第二节 覆盖层内超深帷幕灌浆施工设备·····	168
第三节 覆盖层内超深帷幕灌浆施工试验·····	172
第四节 深厚覆盖层内超深帷幕灌浆施工·····	185
第五节 帷幕灌浆集中监测研发及应用·····	218
第十四章 廊道顶拱与上方防渗墙间的防渗处理·····	223
第一节 防渗处理施工方案及布置·····	223
第二节 “墙—廊”连接帷幕灌浆施工试验·····	225
第三节 “墙—廊”连接帷幕灌浆施工·····	230
第四节 “墙—廊”连接帷幕灌浆总体质量评定及效果·····	238

下篇 冶勒水电站大坝碾压沥青混凝土心墙施工技术

第十五章 土石坝碾压沥青混凝土防渗心墙概述·····	241
第一节 碾压沥青混凝土防渗心墙在国内水电工程建设中的应用·····	241
第二节 碾压沥青混凝土心墙特性·····	241
第三节 碾压沥青混凝土防渗墙分类·····	242
第十六章 大坝碾压沥青混凝土防渗心墙设计布置及施工特点·····	246
第一节 沥青混凝土防渗心墙设计布置·····	246
第二节 沥青混凝土防渗心墙技术要求及施工特点·····	250
第十七章 碾压沥青混凝土心墙施工关键设备摊铺机·····	253
第一节 沥青混凝土摊铺机分类及现状·····	253
第二节 冶勒大坝碾压沥青混凝土心墙摊铺机解决方案·····	253
第三节 碾压沥青混凝土心墙摊铺机研制·····	254
第十八章 碾压沥青混凝土心墙施工辅助设备·····	259
第一节 砂石骨料生产系统·····	259
第二节 沥青混凝土拌制系统·····	260
第三节 其他设备·····	263
第十九章 冶勒大坝沥青混凝土心墙混合料配比试验·····	265
第一节 沥青混凝土的组成材料及要求·····	265
第二节 骨料的物理、化学性质及对混凝土性能的影响·····	266
第三节 沥青混凝土配合比设计选择·····	267

第四节	沥青混凝土物理力学及变形性能的复核试验·····	274
第五节	生产性应用结果·····	276
第二十章	碾压沥青混凝土心墙快速施工技术研究·····	279
第一节	研究内容和要求·····	279
第二节	沥青混合料摊铺层厚 30cm 施工技术研究 ·····	281
第三节	环境气温-5℃施工技术研究 ·····	289
第四节	小雨雪天铺筑施工技术 & 措施研究·····	299
第五节	夜间铺筑施工技术 & 措施研究·····	300
第六节	快速施工技术试验研究小结·····	301
第二十一章	碾压沥青混凝土心墙快速施工技术研究成果应用·····	302
第一节	心墙沥青混凝土摊铺层厚 30cm 施工 ·····	302
第二节	当日连续铺筑 2~3 层及夜间施工 ·····	308
第三节	气温-5℃时碾压沥青混凝土心墙施工 ·····	309
第四节	施工中突降小雨雪的施工措施·····	314
第五节	沥青混凝土心墙铺筑快速施工技术的应用·····	317
第六节	碾压沥青混凝土心墙快速施工技术成果的作用和意义·····	318
第二十二章	碾压沥青混凝土心墙芯样模量系数试验检测·····	320
第一节	检测沥青混凝土心墙的模量系数 K 值的必要性 ·····	320
第二节	检测沥青混凝土心墙模量系数 K 值的意义 ·····	320
第三节	水工碾压沥青混凝土心墙的芯样力学性能试验研究·····	321
参考文献	·····	326
后记	·····	327



上 篇

冶勒水电站大坝深厚覆盖层基础 防渗工程施工技术

第一章

综 述

第一节 工 程 简 介

冶勒水电站位于四川省石棉县和冕宁县交界处，大渡河中游右岸Ⅰ级支流南桤河（见图 1-1）上游，为南桤河流域梯级规划“一库六级”的龙头水库电站。南桤河流域规划可开发水能资源约 726MW，自上而下分别为冶勒（已建，240MW）、栗子坪（在建，132MW）、姚河坝（已建，132MW）、南瓜桥（已建，120MW）、洗马姑（规

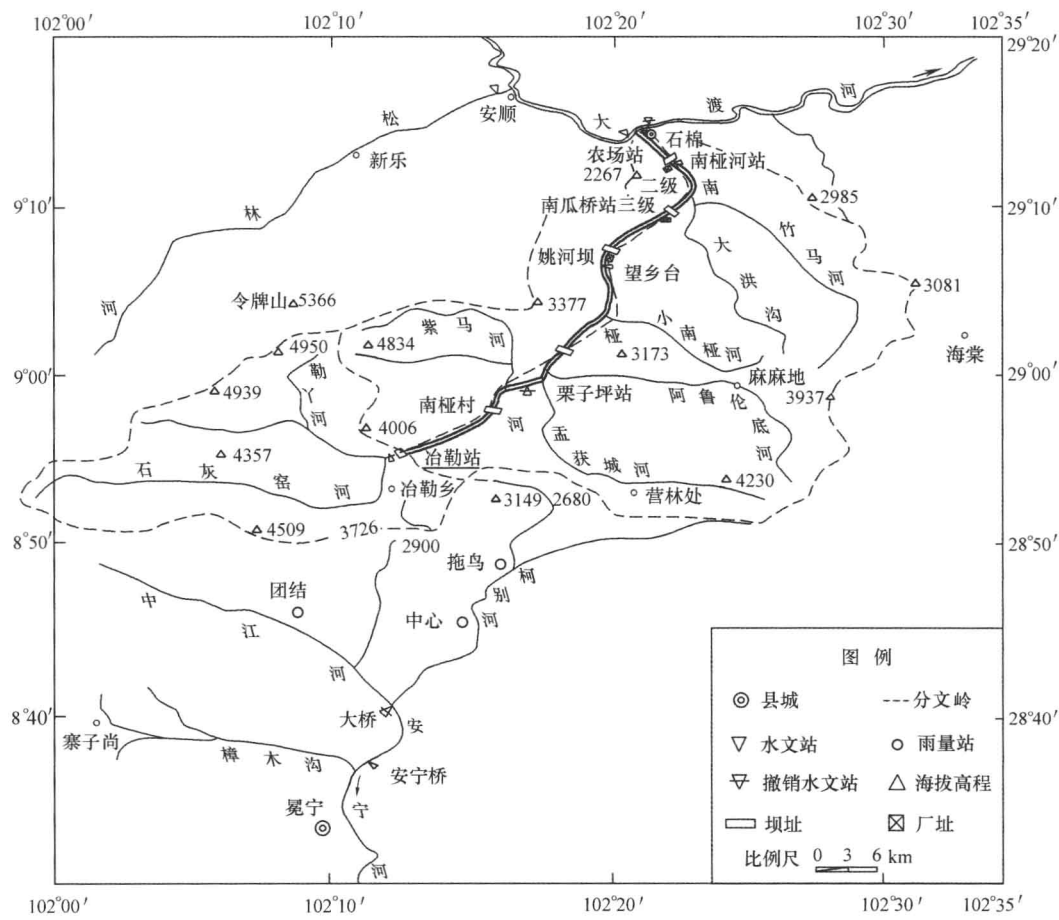


图 1-1 南桤河流域水电开发规划布置图

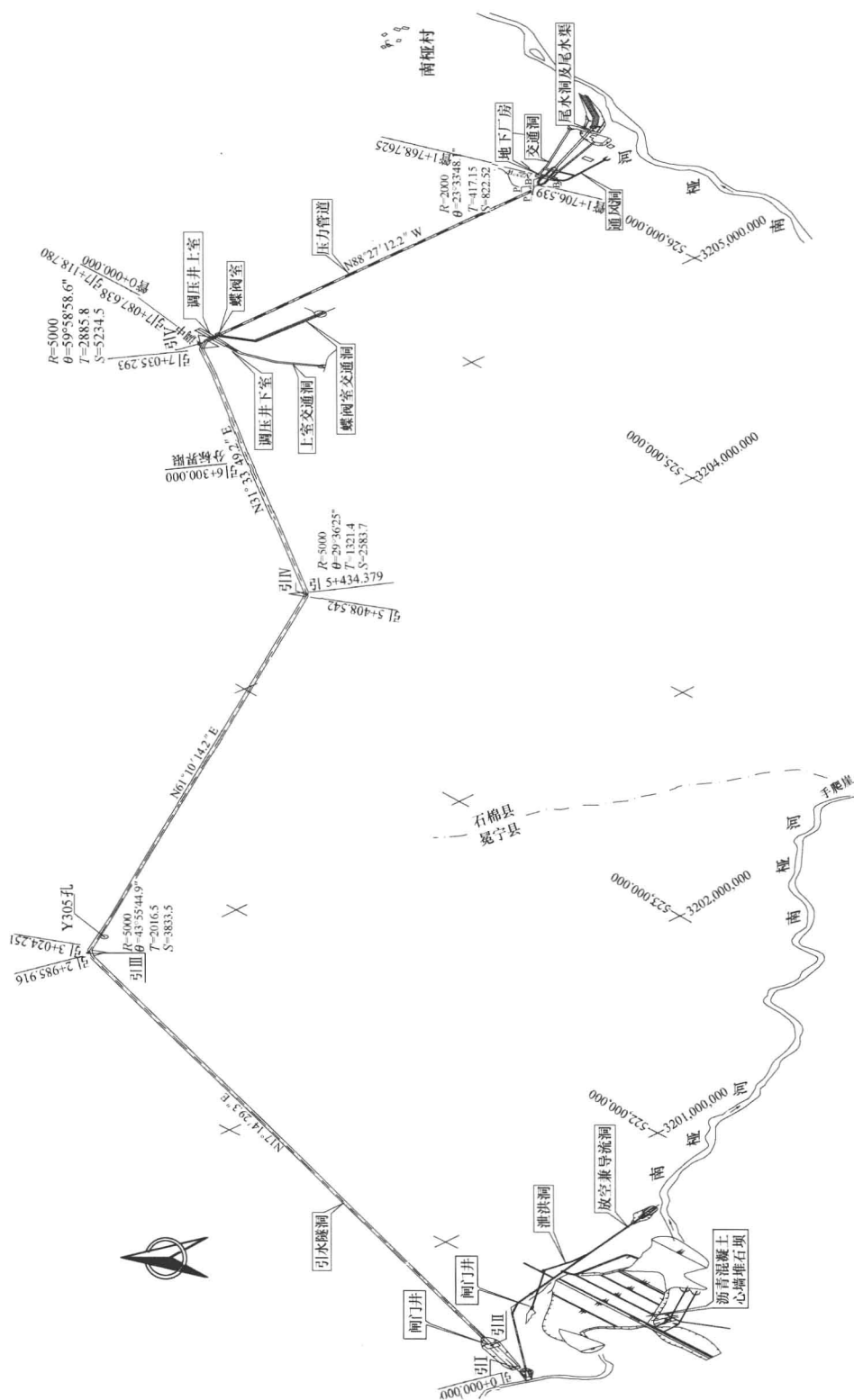


图 1-2 冶勒水电站站枢纽工程布置图

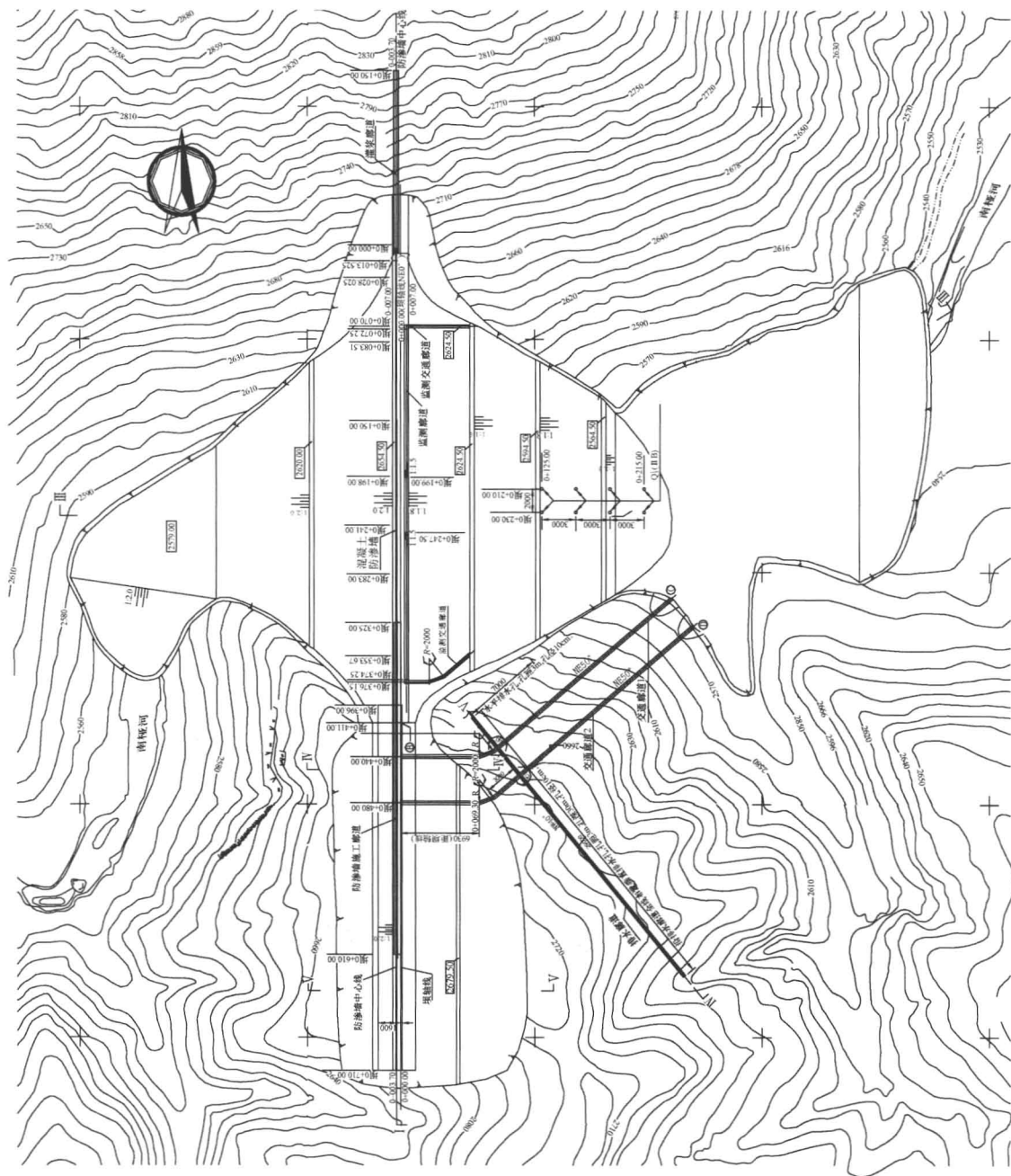


图 1-3 冶勒水电站大坝工程平面布置示意图

划 42MW, 已建 20MW)、大渡河边 (拟建, 60MW) 6 个梯级电站。

冶勒电站大坝坝址位于冕宁县冶勒乡, 厂房位于石棉县栗子坪乡。坝址以上流域面积 323km^2 , 多年平均降雨量 1830.9mm 。电站为高坝、长引水隧洞、地下厂房混合式开发, 以单一发电为主, 无航运、漂木、防洪、灌溉等综合利用要求。

冶勒水电站大坝正常蓄水位高程 2650m , 相应水库总库容 3亿 m^3 , 调节库容 2.8亿 m^3 , 具有多年调节能力。电站最大水头 644.8m , 最小水头 546.7m , 额定水头 580m , 总装机容量 240MW , 多年平均发电量 $6.5\text{亿 kW}\cdot\text{h}$ 。

枢纽工程由碾压沥青混凝土心墙堆石坝、左岸泄洪洞、放空洞 (兼导流洞)、引水系统 (左岸取水口、引水隧洞、调压室、蝶阀室和压力管道)、地下厂房、尾闸室和地面开关站等建筑物组成, 平面布置图见图 1-2。

大坝按水工 I 级建筑物设计, 地震基本烈度为 VIII 度。

碾压沥青混凝土心墙堆石坝坝顶高程 2654.5m , 最大坝高 124.5m , 坝顶宽 14m , 坝轴线长 412m 。其中碾压沥青混凝土防渗心墙高 120m , 属亚洲同类第一、世界第二高坝。

大坝平面布置见图 1-3, 建成后的大坝见图 1-4。



图 1-4 冶勒水电站碾压沥青混凝土心墙堆石坝

坝体主要工程量为: 覆盖层开挖 236万 m^3 , 沥青混凝土心墙 2.23万 m^3 , 心墙过渡料 18万 m^3 , 坝壳料填筑 650万 m^3 , 混凝土防渗墙 5.51万 m^2 , 基础帷幕灌浆 3万 m 。

冶勒大坝工程于 2001 年 1 月开工建设, 2005 年 11 月 18 日大坝填筑到设计高程, 2006 年 1 月下闸蓄水, 6 月投产发电。

第二节 水文气候条件

一、水文条件

南桡河是大渡河中游右岸的Ⅰ级支流，发源于四川省甘孜州九龙县牦牛山东麓，分南北两源。南源为石灰窑河，北源为勒丫河，两河于冕宁县冶勒乡两岔河汇合后始称南桡河，于石棉县城附近注入大渡河。流域全长 78km，集水面积 1200km²。

冶勒水电站大坝水库径流主要来源为降雨，其次是融雪和地下水。坝址多年平均流量 14.2m³/s，5～9 月为汛期，1 月～次年 3 月为枯水期。多年平均降雨量 1830.9mm，年均降雨天数 215d。

二、气候条件

冶勒水电站大坝处于高寒、多雨区，全年无夏季，冬季长达 6～7 个月，11 月～次年 3 月为降雪、积雪期，多年平均气温 6.5℃，年平均相对湿度在 86% 以上。坝区冬夏季景色对比见图 1-5 和图 1-6。

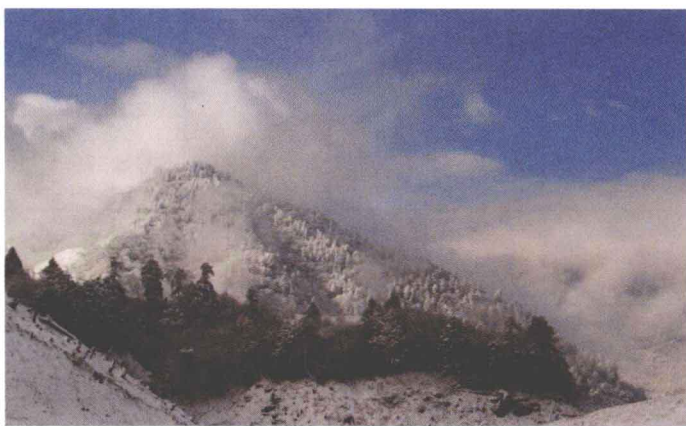


图 1-5 冶勒水电站坝区冬季景色

坝区主要气象指标如下：

- (1) 多年平均气温 6.5℃；
- (2) 多年平均降雨量 1830.9mm；
- (3) 年平均降雨天数 215d；
- (4) 极端最高气温 27.5℃；
- (5) 极端最低气温 -20℃；



图 1-6 冶勒水电站坝区夏季景色

- (6) 月平均最低气温 -2°C ；
 - (7) 最大风速 20m/s 。
- 冶勒水电站坝区气象统计见表 1-1。

表 1-1 冶勒水电站坝区气象统计表

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	全年
气象参数													
平均气温 ($^{\circ}\text{C}$)	-2	-0.5	-3	-6.9	9.7	12.9	14.6	13.9	10.9	6.7	3.2	-0.2	6.5
降雨量 (mm)	36.7	69.1	72.8	122.4	184.4	296.9	252.4	260.2	324.5	176.5	49.2	31.9	1872.8
降雨天数 (d)	11	13.5	16	21.8	24.8	24.8	24.8	23.5	24.8	24.6	15	7.8	229.8
极低气温 ($^{\circ}\text{C}$)	-20	-12	-2.5	-6.0	-4.0	-1.2	3.0	1.5	0.4	-3.0	-9.2	-19.5	—

第三节 工程地质条件

一、地震基本烈度

冶勒水电站坐落于四川安宁河断裂带与小金河断裂所切割、南面以南河断裂为界的冶勒断块上。经四川省地震局鉴定，冶勒水电站地震基本烈度为Ⅷ度。