

溪洛渡水电站工程技术丛书

# 泄洪洞工程实践

樊启祥 等 编著



中国三峡出版传媒  
中国三峡出版社



溪洛渡水电站工程技术丛书

# 泄洪洞工程实践

樊启祥等 编著

(节选版)

中国三峡出版传媒  
中国三峡出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

泄洪洞工程实践 / 樊启祥等编著. —北京: 中国三峡出版社, 2016. 6

(溪洛渡水电站工程技术丛书)

ISBN 978-7-80223-928-9

I. ①泄… II. ①樊… III. ①水力发电站-泄洪隧洞-工程技术 IV. ①TV74  
②TV651.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 140125 号

责任编辑: 祝为平 彭新岸

中国三峡出版社出版发行

(北京市西城区西廊下胡同 51 号 100034)

电话: (010) 66112758 66116828

<http://www.zgsxcbs.cn>

E-mail: sanxiaz@sina.com

北京市十月印刷有限公司印刷 新华书店经销

2016 年 9 月第 1 版 2016 年 9 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 25.75

字数: 550 千字

ISBN 978-7-80223-928-9 定价: 168.00 元

溪洛渡水电站工程技术丛书

# 《泄洪洞工程实践》

编委会

顾问：张超然  
主任：樊启祥  
副主任：洪文浩 张世保  
委员：王仁坤 陈正云 廖建新 鲁结根 聂庆华  
李金河 刘晓东 王孝海 李小春 吴涛  
尹晓华  
编写组人员：樊启祥 聂庆华 陈庄明 李果 许传稳  
刘太平 黄勇 彭帅 伍文峰 席前伟  
董万里 杨敬 吴世斌 于文璟 王丰  
覃壮恩 祝细根 易丹 黄伟洪 罗勇  
黄照元 李国军 张兴全 余沿波 徐勇  
孙玮

# 序

溪洛渡水电站位于四川省雷波县和云南省永善县相接壤的金沙江下游峡谷段，电站装机容量 13860MW，其装机规模仅次于三峡工程，是我国第二大水电站，世界第三大水电站。溪洛渡水电站是实施西电东送、优化我国能源布局和改善电力结构的关键电源点。

溪洛渡水电站枢纽主要建筑物由混凝土双曲拱坝、地下引水发电系统和泄洪建筑物组成。混凝土双曲拱坝最大坝高 285.50m，是目前世界上已建成的三座 300m 级特高拱坝之一，系世界第四高坝。引水发电系统采用左、右岸地下式库区厂房布置，各布置 9 台 770MW 水轮发电机组，是世界上最大的地下电站。泄洪建筑物由坝身 7 个泄洪表孔、8 个泄洪深孔和左右岸共 4 条泄洪洞组成。水库正常蓄水位 600.00m，死水位 540.00m，水库总库容 126.7 亿  $\text{m}^3$ ，调节库容 64.6 亿  $\text{m}^3$ ，可进行不完全年调节。

枢纽最大泄洪流量高达  $50900\text{m}^3/\text{s}$ ，泄洪总功率近 1 亿 kW，为世界拱坝枢纽之最。其中，7 个表孔和 8 个深孔的最大泄洪流量达  $32000\text{m}^3/\text{s}$ ，为世界混凝土拱坝坝身泄洪之首；左、右岸 4 条泄洪洞最大泄洪流量超  $16600\text{m}^3/\text{s}$ ，是世界上最大的泄洪洞群，居泄洪洞群泄洪流量之冠。

由于溪洛渡水电站泄洪具有窄河谷、高水头、大泄量的特点，又位于高地震烈度区，因此，泄洪建筑物的设计、施工和安全运行面临一系列困难和挑战。其中，高水头、大流量、泄洪频繁的泄洪洞工程备受世人关注，面临着更为严峻的考验。

四条泄洪洞在两岸对称布置，左、右岸各两条，洞长 1.5 ~ 1.8km。泄洪洞的设计充分考虑了工程地质和地形条件、流道水流特性、闸门结构和流激响应，以及出口消能防冲等综合因素；采用平面转弯、有压流下接无压流和洞内龙落尾的布置，出口采用斜切扭曲式的挑流鼻坎，将水舌沿河道纵向拉开，使水流挑射均匀落入河道，左右岸挑流水舌水下碰撞消能的方式。

泄洪洞单洞最大泄流量为  $4200 \text{ m}^3/\text{s}$ ，最大流速达  $50\text{m/s}$ ，其多项指标均居世界前列，没有类同的工程经验可借鉴，因而在设计和建设过程中必须坚持技术创新和管理创新。

首先在设计上，采用了有压流下接无压流的流道结构，通过有压段实现平面转弯，绕过拱坝坝肩抗力体，不影响拱坝坝肩的稳定性，并实现了布置的灵活性；在隧洞中部设置液压弧形工作闸门，通过无级开度调节控制有压段水流流态，避免有压段的明满流过渡，削减进水口水流的立轴漩涡，调度灵活；采用龙落尾的结构形式，将 70% 左右的总水头集中在仅占全洞长度 25% 的尾部洞段，将高速水流区段集中在远离拱坝坝肩抗力体的部位，万一在该部位产生气蚀破坏也不会危及大坝安全，并提高了泄洪洞整体运行的可靠性和安全性；经国内多家权威科研院所水力学模型试验研究，优选了掺气底坎和侧墙掺气的体型，掺气减蚀效果良好；出口采用斜切扭曲挑坎，水舌分布均匀、挑距稳定，不砸本岸、不冲对岸，实现了挑流水舌入水纵向拉开、水下对冲消能的消能方式。

在溪洛渡泄洪洞施工过程中，坚持科技创新，研制和采用了一大批新技术、新装备、新材料、新工艺和新标准，因而确保了施工工期和作业安全，全面提升了工程质量，并取得了较显著的经济效益。

泄洪洞工程施工中，全面实现了“体型精准、平整光滑、耐磨防裂”的工程质量目标，堪称精品工程。在三峡集团公司金沙江质量检查专家组历年检查中，泄洪洞工程年年都被评为优良工程，这在工程建设中是很难得的。前来溪洛渡工地参观交流的单位和同仁，也对溪洛渡泄洪洞工程质量给予了高度评价，认为泄洪洞工程质量是一次性达标，坚持从头到尾不断创新，全面提升了我国水工隧洞建造水平。泄洪洞工程建设六年来，共获评省部、行业级科技成果奖 6 项，获批水利部工法 4 项，获得专利 13 项。

泄洪洞工程在建设取得的丰硕创新成果，归功于三个方面的努力：首先是对“求真务实、创新拼搏、追求卓越”的三峡文化的传承和发扬，以“工程有亮点、管理有创新、各方有收获”为起点，努力追求精品工程，形成全员敢挑重担、勇于开拓的氛围；二是规范化的管理与施工，使各项技术创新落到实处，让质量、安全管理执行到位，为生产标准化打下基础；三是方法科学、目标合理，提出了施工质量要做到“亲水和气、体型精准、平顺光滑、耐磨防裂”的要求，建设者们围绕着这一要求探寻规律、开拓创新，促进泄洪洞工程全面达到国内领先、世界一流的水平。

《泄洪洞工程实践》一书分设计篇、施工篇和运行篇三部分，全面回顾了泄洪洞工程真实的建设历程，系统总结了其设计、施工和运行的成功经验和有益的启迪及教训。各部分从回顾历程开始，系统介绍各阶段基本情况，详细描述施工的有利条件和不利因素以及作业环境；认真梳理各阶段遇到的问题，提出处理方案的思路，比选各种解决方案，以及方案执行过程中的管理与控制，并对方案的执行效果进行评价；最后分析提炼经验与教训，并对后续工程提出改进意见与建议。

鉴于国内外很多大型泄洪洞因高速水流气蚀或大流量泄洪都曾出现过损坏或严重破坏的问题，为此，在建设过程中我曾多次强调：“纵观国内外高水头泄洪洞运行的实例，均不同程度出现损伤和破坏，大家一定要特别认真地对待设计、施工和运行中的每一个细小环节，切实做到全过程、全方位严控，防患于未然。”陆佑楣院士在金沙江质量专家组检查大会上对全体参建者说：“从水力学模型上观察，40m/s 的流速已经是无坚不摧的感觉了，你们搞 50m/s 流速的泄洪洞，如果不出问题那就是奇迹了，期待你们创造奇迹。”

本书详细记载了施工中取得的一系列技术创新成果，包括底板水平和喇叭口双向光爆技术；钢筋拱肋替代钢拱架支护技术；采用布料机入仓，实现隧洞浇筑常态混凝土技术；研发的常态混凝土衬砌台车、斜洞混凝土衬砌台车、悬臂隐轨拖模台车和过流面处理登高台车等新装备；低热水泥与低硅粉掺量和高粉煤灰掺量配制的兼顾高强耐磨与和易性的高性能复合混凝土新材料。在施工过程中，结合新技术、新设备和新材料，还制订了一批新工艺和新标准，包括翻模工艺的改进、锚杆注浆工艺的改进等，并对典型的施工工艺都制订了工艺标准，实现了工程施工的标准化，使我国水工隧洞施工水平提升到一个新高度。

溪洛渡泄洪洞工程于 2007 年 3 月正式开工，在参建各方团结拼搏、不断创新、攻坚克难、科学设计、精心施工下，于 2013 年 4 月顺利完建。2013 年 9 月泄洪洞首次过流，2014 年 6 月 30 日完成泄洪洞单位工程验收，并整体移交溪洛渡电厂管理运行。

截至 2015 年汛末，泄洪洞已经历两个汛期和一个枯水期的运行，共泄洪运行 27 次，累计过流 1047 小时，单洞最大泄量  $2081\text{m}^3/\text{s}$ ，最大流速超过 40m/s。原型监测成果表明，泄洪洞运行性态正常，没有发生空化损坏，运行安全可靠，经受了泄洪的初步考验。但是，泄洪洞尚未经受大洪水和设计运行工况的考验，运行单位务必遵循精心调度、精心运

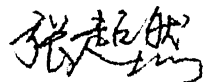


行、精心维护的刚性原则，确保泄洪洞长期、安全运行。建设者们期待着迎接更大洪水的检验，以见证溪洛渡泄洪洞创造大流量、高水头泄洪洞安全可靠运行的奇迹。

从我国水电施工现状来看，距真正的现代工业化仍有不小差距：首先是机械化程度需继续提升，尤其是辅助作业仍大量采用手工操作，还有很大提升空间；二是施工工法没有形成系列通用标准，不同的工人操作往往会出现不同效果，难以全面确保施工质量；三是建设者人员素质参差不齐，许多农民工还达不到职业工人水准，部分管理人员职业意识也有待提高等。针对上述问题，溪洛渡泄洪洞工程项目部强化机械化、标准化作业意识的教育，大力研发专用设备，鼓励和推广深度机械化、标准化施工作业，不断提升了施工质量，努力缩短差距。

中国长江三峡集团公司是溪洛渡水电站的项目法人，溪洛渡工程建设部代表项目法人负责组织项目建设；设计单位是成都勘测设计研究院有限公司；泄洪洞工程水力学模型和混凝土材料试验研究由中国水利水电科学研究院、清华大学、四川大学和成都院研究所、长江科学院等多家国内权威科研单位承担；主要土建施工、设备安装单位有中国水利水电第七工程局有限公司、中国人民武装警察部队水电部队、中国葛洲坝集团有限公司和中国水利水电第十四工程局有限公司等单位；监理单位是长江三峡技术经济发展有限公司和中南勘测设计研究院有限公司；由长江电力溪洛渡水力发电厂负责运行。在本书出版之际，谨向全体建设者致以崇高的敬意！

本书是对泄洪洞工程建设的纪实，力图让参建者全面再认识泄洪洞工程建设全过程，促使后续工程在技术和管理水平再上一个新台阶。本书可供水利水电工程技术人员、管理人员和高等院校水利水电专业师生参考。希望本书能为推动我国水工隧洞的设计、施工和管理水平的整体提升作出有益贡献。



2015年11月

# 目 录

1 综 述 .....	1
1.1 基本情况 .....	1
1.2 主要成果 .....	3
1.3 体会与愿景 .....	5
2 设计篇 .....	6
2.1 概述 .....	6
2.1.1 工程概况 .....	6
2.1.2 工程等级及洪水标准 .....	6
2.1.3 基本资料及主要数据 .....	7
2.1.4 泄洪消能建筑物布置格局 .....	8
2.2 泄洪洞设计历程 .....	9
2.2.1 布置原则 .....	9
2.2.2 可研阶段推荐布置方案 .....	9
2.2.3 对可研推荐方案的优化 .....	10
2.2.4 水力学模型试验研究 .....	11
2.3 地质条件 .....	12
2.3.1 左岸泄洪洞工程地质条件 .....	12
2.3.2 右岸泄洪洞工程地质条件 .....	14
2.4 泄洪洞总体布置 .....	17
2.4.1 隧洞轴线 .....	18
2.4.2 进水塔 .....	18
2.4.3 有压隧洞段 .....	19
2.4.4 工作闸门室 .....	20
2.4.5 工作闸门室通气洞 .....	21
2.4.6 无压隧洞段 .....	21
2.4.7 龙落尾段 .....	22
2.4.8 补气洞布置 .....	24
2.4.9 掺气设施布置 .....	24

2.4.10	明渠段	24
2.4.11	挑流鼻坎段	25
2.5	泄洪洞水力特性与体型设计	26
2.5.1	泄流能力	26
2.5.2	水流流态	27
2.5.3	压力分布	44
2.5.4	水流速度和水流空化数	47
2.5.5	龙落尾段掺气减蚀措施研究	47
2.5.6	出口挑流水舌归槽情况	86
2.6	泄洪洞结构设计	87
2.6.1	进口结构设计	87
2.6.2	有压隧洞段结构设计	89
2.6.3	闸门室结构设计	90
2.6.4	无压隧洞上平段结构设计	90
2.6.5	龙落尾段结构设计	91
2.6.6	挑流鼻坎结构设计	91
2.7	泄洪洞运行方式研究	92
2.7.1	泄洪洞整体运行方式	92
2.7.2	泄洪洞单洞运行方式	92
2.8	泄洪洞抗冲耐磨材料选择	93
2.8.1	泄洪洞对材料的要求分析	93
2.8.2	抗冲耐磨材料选择	93
2.9	下游河道防护设计	94
2.9.1	下游河道防护原则	94
2.9.2	下游河道防护范围	94
2.9.3	水力模型试验成果	94
2.9.4	下游河道防护方案	101
2.10	设计小结	102
3	施工篇	103
3.1	施工总体情况	103
3.1.1	工程简况	103
3.1.2	工程地质情况	104
3.1.3	主要参建单位	105
3.1.4	主要设计指标	105
3.1.5	主要工程量	107
3.1.6	工程总布置	108

3.1.7	工程总进度	121
3.2	开挖支护	137
3.2.1	开挖施工布置	137
3.2.2	有压段开挖	138
3.2.3	工作闸门室开挖	148
3.2.4	无压段开挖	154
3.2.5	龙落尾段开挖	164
3.2.6	出口明挖	169
3.2.7	洞室支护	172
3.2.8	特殊部位及不良地质洞段开挖支护处理	177
3.2.9	开挖支护小结	182
3.3	泄洪洞混凝土	183
3.3.1	混凝土施工布置	183
3.3.2	进水塔施工	183
3.3.3	有压段施工	194
3.3.4	工作闸门室施工	205
3.3.5	无压段施工	211
3.3.6	龙落尾施工	221
3.3.7	明渠段施工	243
3.3.8	挑坎施工	250
3.3.9	混凝土温控与防裂	257
3.3.10	混凝土过流面处理	266
3.4	闸门与启闭机安装	275
3.4.1	工程概况	275
3.4.2	工程特点	278
3.4.3	泄洪洞进口事故闸门施工过程及控制	278
3.4.4	固定卷扬式启闭机施工过程及控制	280
3.4.5	中闸室工作闸门施工过程及控制	283
3.4.6	液压启闭机施工过程及控制	288
3.4.7	质量保证措施	296
3.4.8	施工效果	297
3.4.9	经验小结	298
3.5	灌浆与基础处理	298
3.5.1	基本概况	298
3.5.2	施工难点及应对措施	301
3.5.3	施工规划	302

3.5.4	施工布置	305
3.5.5	灌浆施工	305
3.5.6	灌浆成果分析	310
3.5.7	经验小结	314
3.6	技术创新	316
3.6.1	概述	316
3.6.2	开挖施工技术创新	318
3.6.3	混凝土施工技术创新	329
3.6.4	新材料应用	354
3.6.5	技术创新小结	362
3.7	施工小结	366
4	运行篇	368
4.1	泄洪洞初期运行情况	368
4.2	安全监测	373
4.2.1	泄洪洞及出口边坡安全监测	373
4.2.2	水力学原型观测	375
4.2.3	中闸室环境量观测	381
4.3	运行中关注问题的探讨	381
4.3.1	进口立轴漩涡	381
4.3.2	闸门和启闭机	385
4.3.3	通气补气的情况	385
4.3.4	掺气坎掺气减蚀效果	385
4.3.5	出口挑坎挑流效果	386
4.3.6	出口挑流消能效果及下游防护	392
4.3.7	雾化范围及强度	393
4.4	运行小结与建议	395
5	结 语	396
	致 谢	398
	参考文献	399

# 1 综述

## 1.1 基本情况

溪洛渡水电站位于四川省雷波县和云南省永善县相接壤的金沙江下游峡谷段，电站总装机容量 13860MW，年发电量 573.5 亿 kW·h。水库正常蓄水位 600.00m，死水位 540.00m，水库总库容 126.7 亿 m<sup>3</sup>，调节库容 64.6 亿 m<sup>3</sup>，可进行不完全年调节。枢纽主要建筑物由混凝土双曲拱坝、地下引水发电系统和泄洪建筑物组成。混凝土双曲拱坝坝高 285.50m，引水发电系统采用地下式库区厂房布置，在左、右岸各布置有 9 台 770MW 的发电机组，单机引用流量 423.8m<sup>3</sup>/s。溪洛渡水电站于 2003 年开工，2013 年首台机组发电，2014 年全部机组投产。

溪洛渡水电站泄洪具有窄河谷、高水头、大泄量的特点。工程按千年一遇洪水设计，万年一遇洪水校核，相应洪水流量分别为 43700m<sup>3</sup>/s 和 50900m<sup>3</sup>/s，泄洪总功率近 1 亿 kW，堪称世界拱坝枢纽之最。电站枢纽位于深山峡谷区，岸坡陡峻、河谷狭窄，枯水期河面宽度仅 100 余 m，泄洪消能难度大。因此枢纽泄洪采取分散泄洪、分区消能，在坝身布置 7 个表孔、8 个深孔，泄洪能力约 21644 ~ 32278m<sup>3</sup>/s（设计至校核），还需要左、右岸泄洪洞承担泄洪流量 15430 ~ 16648m<sup>3</sup>/s（设计至校核），泄洪洞泄量约占枢纽总泄量的 1/3。

### (1) 泄洪洞总体布置与结构形式

溪洛渡水电站共布置有四条泄洪洞，左、右岸基本对称布置各两条，洞长 1.5 ~ 1.8km。泄洪洞的布置综合考虑了地形地质条件、泄量要求、闸门结构设计、出口消能防冲等要求，采用有压接无压、洞内龙落尾的形式，由上游至下游依次布置有进水塔、有压段、工作闸门室、无压段、龙落尾、明渠段和挑流鼻坎。利用大坝和厂房进水口之间的中等缓坡台地布置泄洪洞进水塔，在平面上利用有压段进行转弯，绕过拱坝坝肩，经工作闸门室后接顺直的无压段；然后结合出口地形条件，采用洞内龙落尾的形式，将 70% 左右的总水头差集中在占全洞长度 25% 的尾部，便于集中处理高速水流问题；最后通过明渠段连接斜切扭曲式的挑流鼻坎，将水舌纵向

拉开,使水流挑射均匀落入河道,水下碰撞消能。

泄洪洞进水塔为深水岸塔式结构,检修闸门孔口尺寸 $12\text{m}\times 15\text{m}$ (宽 $\times$ 高);有压洞段为衬砌后直径 $15\text{m}$ 的圆形断面,末端与地下工作闸门室相接;地下工作闸门室分为上、下两室,上室为控制室,下室设有 $14\text{m}\times 12\text{m}$ (宽 $\times$ 高)的潜孔弧形工作闸门;无压段紧接弧形工作闸门之后,为衬砌后断面尺寸 $14\text{m}\times 19\text{m}$ (宽 $\times$ 高)的城门洞形,底板纵坡 $2.3\%$ ;龙落尾段体型复杂,断面尺寸与无压段相同,由奥奇曲线段、斜坡段、反弧段和下直坡段组成(为减免空蚀对衬砌结构的破坏,在奥奇段的起始处设置了与地面相通的补气洞,并根据龙落尾高流速区的长度分别设置了 $3\sim 4$ 道掺气坎);出口明渠与龙落尾下直坡段顺接,底板纵坡 $8\%$ ;末端挑坎高程高于下游水位,采用扭曲斜切挑流鼻坎。

### (2) 参建单位

溪洛渡水电站的建设单位为中国长江三峡集团溪洛渡工程建设部,泄洪洞单项工程初期由建设部下设的地下厂房项目部管理,至2008年6月转为泄洪洞项目部管理。

溪洛渡水电站的设计单位为成都勘测设计研究院有限公司。在可研及设计阶段,还有中国水利水电科学研究院、清华大学、四川大学等多家单位对溪洛渡泄洪洞工程进行了水力学模型试验,为泄洪洞的设计与运行提供了理论技术支持。

泄洪洞工程土建项目的主承建单位:左岸1#、2#泄洪洞为中国水利水电第七工程局有限公司,右岸3#、4#泄洪洞为中国人民武装警察部队水电部队;金结安装的主承建单位:左岸1#、2#泄洪洞为中国葛洲坝集团有限公司,右岸3#、4#泄洪洞为中国水利水电第十四工程局有限公司。在施工阶段还有湖南中铁五新钢模有限责任公司、广汉金达隧道机械有限公司、湖北高曼重工股份有限公司等专业公司参与了装备研发工作,长江科学院参与了混凝土材料研究。

泄洪洞工程的监理单位:左岸1#、2#泄洪洞为长江三峡技术经济发展有限公司,右岸3#、4#泄洪洞为中南勘测设计研究院有限公司。

溪洛渡水电站的运行管理单位为长江电力溪洛渡水力发电厂。

### (3) 进度节点与工程量

泄洪洞开挖于2007年3月开始,2010年12月开挖完成。进口混凝土于2009年7月开始,2012年4月完成;隧洞混凝土衬砌于2009年10月开始,2013年4月完成全部混凝土及灌浆施工。闸门及启闭机安装于2013年5月完成。2013年9月泄洪洞首次过流;2014年6月30日完成泄洪洞单位工程验收,并整体移交溪洛渡电厂管理。

左右岸泄洪洞共计完成石方洞(井)挖 $197.31\text{万}\text{m}^3$ ,混凝土衬砌 $119.3\text{万}\text{m}^3$ ,钢筋制安 $5.39\text{万}\text{t}$ ,锚杆锚筋 $18.98\text{万根}$ ,喷混凝土 $4.17\text{万}\text{m}^3$ ,橡胶止水 $4.69\text{万}\text{m}$ ,铜片止水 $1.07\text{万}\text{m}$ ,回填灌浆 $11.59\text{万}\text{m}^2$ ,固结灌浆 $8.09\text{万}\text{m}$ ,帷幕灌浆 $1.19\text{万}\text{m}$ 。

## 1.2 主要成果

泄洪洞最大设计流速达 50m/s，单洞设计流量约 4000m<sup>3</sup>/s，总泄量超过 16000m<sup>3</sup>/s，最大坡度达 22.46°，多项指标均居世界前列。其技术要求及建造难度极具挑战性，没有相同的工程经验可供学习照搬，需要技术与管理的创新。通过全体参建单位的努力，泄洪洞工程在建设过程中取得了丰硕的成果。

### (1) 设计成果

①采用有压接无压的结构形式，通过有压段实现平面转弯，绕过拱坝坝肩，实现了布置的灵活性。

②在隧洞中部设置液压弧形工作闸门，通过无级开度调节来控制有压段水流流态，避免有压段的明满流过渡，消减立轴漩涡，调度灵活。

③采用龙落尾的结构形式，将高速水流区集中在泄洪洞尾部，以便于集中处理高速水流问题，万一发生气蚀破坏也不至于危及大坝及其他建筑物安全。

④多家科研单位对泄洪洞进行大比例尺的水力学模型试验及深入细致的研究，比选出最优掺气底坎和侧墙掺气体型，掺气减蚀效果良好。

⑤出口采用斜切扭曲挑坎，水舌分布均匀、挑距稳定，不砸本岸、不冲对岸，实现了入水纵向拉开、水下对冲消能。

### (2) 施工成果

#### ① 新技术拓展

a. 底板水平光爆：设计了水平光爆造孔设备固定支架，保证水平架钻造孔精度，提高底板开挖平整度，减少超欠挖。泄洪洞底板平均超挖值小于 10cm，不平整度控制在 8cm 内，半孔率达 94.5%，大幅减少超挖和混凝土回填，提高施工效率，节约施工成本。

b. 喇叭口双向光爆：开挖体呈倒楔形，且位于高处，需要一次爆破成型，避免多次临时支护和反复搭设排架。通过“水平、倾斜混合造孔，大孔、小孔穿插，双向三面光爆，加设爆破减震空孔”的双向控制爆破技术，实现了一次爆破成型，爆破总体半孔率达 92.5% 以上，开挖面平顺整齐，三面交角部位控制轮廓分明，施工质量优良，大大提高施工效率，同时降低了安全风险。

c. 钢筋拱肋支护：利用钢筋拱肋能贴紧岩面或喷混凝土面的特性，通过拐子筋使之与锚杆焊接，使钢筋拱肋、锚杆、钢筋网及喷混凝土形成整体，与围岩体共同变形承载，提高了支护强度，保证应力复杂及不良地质段的围岩稳定。该方案应用于泄洪洞进出口、51 个洞井交叉口及不良地质洞段均未发生塌方或掉块，应用效果良好。

d. 采用布料机入仓，实现全部底板浇筑常态混凝土。

#### ② 装备研发

a. 常态混凝土衬砌台车：设计了“垂直提升、横向输送、多点下料”的混



凝土供料系统，有效解决了常态混凝土的上料、布料问题，成功实现了大断面高边墙隧洞的常态混凝土浇筑，减少使用胶凝材料，有利于温控防裂、提高质量。

b. 斜洞混凝土衬砌台车：在斜洞采用钢模台车衬砌，主要存在两大技术难点，首先是300t级的台车在斜坡上的爬升移动问题，其次是20m高的钢结构在倾斜面上的安全问题。泄洪洞工程左右岸两个施工团队各自设计了不同的解决方案。左岸采用液压自行式钢模台车，利用两组液压油缸顶推台车行走，同时两组液压油缸互为保险，在一组油缸驱动行走时另一组锁定卡死，保证台车运行安全；右岸采用摩擦式卷扬机双倍率牵引钢模台车，利用卷扬机牵引台车行走，设计了液压夹轨器和防坠器两套保险措施来确保台车运行安全。

c. 悬臂隐轨拖模台车：通过悬臂式设计在传统拖模台车的基础上增设隐轨和抹面平台，解决了有限空间内的拖模轨道问题和已浇面不能承载的问题，取得了良好的施工效果。

d. 过流面处理登高台车：引进用于高空清洁作业的蜘蛛台车，并针对泄洪洞龙落尾段特点进行改进，让台车能在30°斜坡上自行爬升、自我找平、自助过坎，极大地提高了施工效率。

### ③ 新材料应用

将硅粉、粉煤灰与低热水泥配合，试验确定了“两低一高”（即低热水泥、低硅粉掺量和高粉煤灰掺量）的配比方案，成功配制出兼顾高强耐磨与和易性的高性能复合混凝土材料，其中30%的高粉煤灰掺量已超过规范限值。

### ④ 工艺改进与工艺标准制定

a. 翻模工艺的改进：设计了双向可调节螺栓代替拉条和混凝土垫块固定模板，既方便又不留孔洞；采用分段围檩，很好地适应了翻模时间，减少翻模时对临近模板的扰动；设置轻型工作平台，方便工人在弧面上进行抹面和搬运。

b. 锚杆注浆工艺的改进：设计了注浆塞来控制注浆管拔管速度，避免人为干扰；采用止浆片避免插杆过程中孔内砂浆大量外溢问题；根据锚杆设计外露长度制作相应长度的套管，插杆快结束时，用套管推入锚杆，保证外露长度符合要求。

c. 对所有的典型施工工艺都制定了工艺标准，实现了从工程产品的标准化到工程生产的标准化。

### ⑤ 工程质量

泄洪洞工程全面实现了体型精准、平整光滑、耐磨防裂的工程质量目标：泄洪洞龙落尾和明渠挑坎段体型偏差平均值小于10mm；不平整度以3m靠尺检测，有压段和无压段小于5mm的点达96.4%，龙落尾段小于3mm的点达97.8%。从2007年至2013年溪洛渡水电站样板工程评选活动中，泄洪洞工程共获评样板工程29个，推广工程154个，精品工程5项，约占全工地总数的1/3。

在三峡集团公司金沙江质量专家组历年的检查评比中，泄洪洞工程年年被评为

优良，这在工程建设过程中是少有的。三峡集团公司质量安全部在参加三峡三期混凝土精品仓质量活动后，到溪洛渡巡查时认为泄洪洞混凝土仓库都是精品。

来溪洛渡泄洪洞参观交流单位和同仁，也都对泄洪洞工程的质量给予了高度评价，认为泄洪洞工程的质量是一次性做好的，是从头到尾的创新，全面提升了隧洞工程建造水平，“有从第三世界国家到了第一世界国家的感觉”。

三峡集团公司原主要领导视察泄洪洞时也表达过这样的看法：“泄洪洞挖得真好”，“混凝土仓与仓之间看不出接缝”，并总结道：“你们搞了这么多创新，不简单！”这些都从侧面说明了泄洪洞工程卓越的工程质量。

### 1.3 体会与愿景

泄洪洞工程建设六年来，累计获评省部、行业级科技成果奖6项，获批水利部工法4项，获得发明专利13项。

能够取得这些成果，首先来源于对三峡文化的传承和发扬。求真务实：在认识规律和把握规律的基础上遵循规律、运用规律，务实事、求实效，取得实实在在的业绩；规范有序：规范化地管理与施工，让各项技术创新落到实处，让质量、安全管理执行到位，为生产标准化打下基础；追求卓越：工作中的每一步都高标准严要求，同时对取得的成绩没有故步自封，而是不断总结改进、不断超越自我。

其次来源于共同努力。综合各方意见达成共识，以“工程有亮点、管理有创新、各方有收获”为起点，让建设者们对各自的工作有着强烈的认同感和责任感，形成敢挑重担、勇于开拓的氛围。

第三来源于科学方法。“亲水和气、体型精准、平顺光滑、高强防裂”是高速水流下泄洪洞的核心要求，建设者们围绕着这些核心要求探寻规律、开拓创新，让泄洪洞工程全面达到国内领先、世界一流的水平。

本书将泄洪洞工程分为设计、施工、运行三个部分进行总结。从回顾历程开始，介绍各阶段的基本情况，对工作的主客观条件、有利和不利条件、工作的环境与基础等进行分析；然后梳理各阶段遇到的问题，提出解决方案的思路，比选各种解决方案，并对方案的执行效果进行评价；最后分析提炼各种经验与教训，对后续工程提出一些改进的方向与建议。

本书是对泄洪洞工程的纪实，力图让参建者全面地再认识泄洪洞工程建设的全过程，更好地提升管理水平。同时也为没有类似工程管理经验的青年干部提供参考，使其从中汲取成功的经验和挫折的教训，为未来的工程建设奠定技术基础，并取得更好的业绩。另外，也期望本书能给有类似工程经验的同仁提供一些借鉴，共同推动水工隧洞施工技术水平的整体提升。

## 2 设计篇

### 2.1 概述

#### 2.1.1 工程概况

溪洛渡水电站位于四川省雷波县和云南省永善县境内的金沙江干流上，坝址距离宜宾市河道 184km，是金沙江下游河段开发规划的第三个梯级水电站，上接白鹤滩电站尾水，下与向家坝水库相连，电站控制流域面积 45.44 万 km<sup>2</sup>。溪洛渡水电站以发电为主，兼有防洪、拦沙和改善下游航运条件等功能，具有巨大的综合效益。

溪洛渡水电站规模宏大，枢纽主要建筑物由混凝土双曲拱坝、地下引水发电系统和泄洪建筑物组成。混凝土双曲拱坝最大坝高 285.5m，正常蓄水位 600.0m，死水位 540.0m，水库总库容 126.7 亿 m<sup>3</sup>，调节库容 64.6 亿 m<sup>3</sup>，可进行不完全年调节；引水发电系统采用“地下式、库区厂房”布置，在左、右岸分别布置有 9 台 770MW 的发电机组，总装机容量 13860MW，多年平均发电量 575.5 亿 ~ 640.6 亿 kW·h（近期至远期）；泄洪建筑物采取“分散泄洪、分区消能”的布置原则，在坝身布设 7 个表孔、8 个深孔，两岸布置 4 条泄洪洞共同泄洪。

#### 2.1.2 工程等级及洪水标准

根据《水电枢纽工程等级划分及设计安全标准》DL 5180—2003 规定，溪洛渡水电站为一等工程，永久性主要建筑（拦河大坝、泄水建筑物、引水发电建筑物）为一级建筑物，次要建筑物为三级建筑物。本工程挡水建筑物与泄水建筑物按千年一遇洪水设计，万年一遇洪水校核；地下厂房及尾水建筑物按二百年一遇洪水设计，千年一遇洪水校核；消能防冲建筑物按百年一遇洪水设计。相应频率的入库洪水流量见表 2.1-1。

表 2.1-1 不同频率的入库洪水流量

洪水频率 $P$	万年一遇 (0.01%)		五千年一遇 (0.02%)	千年一遇 (0.1%)	二百年一遇 (0.5%)
	天然	白鹤滩调蓄			
流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	52300	50900	49800	43700	37600
洪水频率 $P$	百年一遇 (1%)	五十年一遇 (2%)	二十年一遇 (5%)	十年一遇 (10%)	二年一遇 (50%)
流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	34800	32000	28100	25100	16900

## 2.1.3 基本资料及主要数据

### 2.1.3.1 径流特征值

金沙江流域径流主要来自降水，上游有部分融雪补给，7月~9月为降雨最为集中的月份，也是径流量最大的月份。最大、最小年平均流量分别为  $6390 \text{ m}^3/\text{s}$  和  $3330 \text{ m}^3/\text{s}$ ，二者相比仅 1.92；径流与多年平均流量相比分别为 1.37 和 0.72，年际变化相对稳定。径流年内分配与降水基本相应，丰水期径流量占全年的 81.1%，年最小流量多发生在 3月~4月。根据溪洛渡坝址下游 124km 处的屏山水文站 1939 年 6月~1998 年 5月的实测资料统计，各径流特征值如表 2.1-2：

表 2.1-2 溪洛渡水电站径流特征值

多年平均流量	多年平均年径流量	实测最大流量	实测最小流量	调查历史最大洪水流量
$4570 \text{ m}^3/\text{s}$	1440 亿 $\text{m}^3$	$29000 \text{ m}^3/\text{s}$	$1060 \text{ m}^3/\text{s}$	$36900 \text{ m}^3/\text{s}$

### 2.1.3.2 泥沙

根据屏山站实测资料推算，坝址处多年平均悬移质输沙量为 2.47 亿 t。多年平均含沙量为  $1.72 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。悬移质颗粒级配：最大粒径 1.09mm，中数粒径 ( $d_{50}$ ) 0.043mm，平均粒径 0.081mm。根据水槽试验成果推算坝址处多年平均年推移质输沙量为 182 万 t。

### 2.1.3.3 水库特性

正常蓄水位	600.00m
设计洪水位	600.63m
校核洪水位	608.90m
死水位	540.00m
汛期防洪限制水位	560.00m
坝前淤沙高程	490.00m
正常蓄水位下库容	115.70 亿 $\text{m}^3$
调节库容 (死水位~正常蓄水位)	64.60 亿 $\text{m}^3$
发电防洪共用库容 (汛限水位 560.0m~正常蓄水位)	46.50 亿 $\text{m}^3$
水库调节性能	不完全年调节

## 2.1.4 泄洪消能建筑物布置格局

溪洛渡水电站泄洪消能的特点是水头高、泄量大、河谷狭窄、泄洪功率大，采用安全可靠的泄洪方式，合理布置泄洪建筑物，解决下游的消能防冲问题，是溪洛渡水电站设计的关键技术问题之一。根据枢纽总泄流能力的要求，结合地形地质条件、水文特性、水库调度运行方式并兼顾中后期导流，泄洪建筑物按照“分散泄洪、分区消能”的原则进行布置，由“坝身7个表孔+8个深孔，左右岸各布置2条泄洪洞”构成，枢纽泄洪设施见表2.1-3。其中，坝身采用“分层出流、空中碰撞、水垫塘消能”的布置形式，考虑坝身泄洪水流归槽及顺应下游河道形态，将坝身孔口布置在拱坝的中央；四条泄洪洞均采用“有压接无压、洞内龙落尾”形式，左右岸基本对称布置，出口采用扩散式挑流消能与下游河道衔接。整个泄洪建筑物的泄量分配如下：坝身最大泄流量约 $32278\text{m}^3/\text{s}$ ，约占总泄量的66%；四条泄洪洞最大泄流量约 $16648\text{m}^3/\text{s}$ ，约占总泄量的34%。枢纽最大泄量达到约 $48926\text{m}^3/\text{s}$ ，泄流能力满足设计洪水的要求，且在遭遇校核洪水的情况下不会漫坝，能够满足枢纽安全运行的需要。

表 2.1-3 枢纽泄洪建筑物特性表

泄洪建筑物	坝身孔口		泄洪隧洞
	表孔	深孔	
孔（洞）数	7个	8个	4条
断面尺寸（m×m）	12.5×13.5	6.0×6.7	14.0×12.0
进口高程（m）	586.50	490.70~502.80	540.00
单孔（洞）泄流能力（ $\text{m}^3/\text{s}$ ）	1326/2771	1545/1610	3858/4162

表 2.1-4 泄洪设施洪流量分配表

洪水频率 $P$	入库流量 （ $\text{m}^3/\text{s}$ ）	枢纽总泄 量（ $\text{m}^3/\text{s}$ ）	上游最高 水位（m）	坝身泄量（ $\text{m}^3/\text{s}$ ）			四条泄洪洞 总泄量 （ $\text{m}^3/\text{s}$ ）	机组过流
				表孔	深孔	坝身总泄量		
0.01% （优化调整后）	50900	48926	608.90	19400	12879	32278	16648	0
0.02%	49800	47281	607.85	17969	12814.6	30783	16498	0
0.05%	46400	42853	604.89	14152	12631.83	26784	16069	0
0.1% （设计）	43700	40888	600.63	9280	12363.81	21644	15430	3814

## 2.2 泄洪洞设计历程

### 2.2.1 布置原则

溪洛渡水电站坝址河谷狭窄，两岸谷坡陡峻，河谷断面呈基本对称的窄“U”形；坝区河道狭窄顺直，枯水期水位 370.00m，江面宽 70.00 ~ 110.00m。河床覆盖层厚 10.0 ~ 35.0m，坝基、坝肩均为坚硬完整的二叠系上统峨眉山玄武岩 ( $P_2\beta$ )；金沙江洪水峰高量大、历时长，溪洛渡水电站泄洪消能具有水头高、泄量大、河谷狭窄、泄洪功率大的特点，结合坝址区的地形地质条件、水文特性、水库调度运行方式及兼顾施工中后期导流，泄洪消能建筑布置的原则为：

(1) 利用水库库容，合理调度水库运行方式，挖掘水库调洪削峰潜力，减小下泄流量。

(2) 枢纽泄量大，水头高，下游河道窄，水垫深，应分散泄洪分区消能，在下游河床容许的重刷条件下，充分利用坝身孔口泄洪，减少岸边泄洪洞的泄量，合理选择枢纽泄洪设施的泄量分配比例。

(3) 各泄洪设施的泄量分配应满足在中小洪水时增加削峰、错峰能力，并提高泄洪设施的运行灵活性；遇特大洪水时，具有足够的超泄能力，保证泄洪设施泄流的可靠性及大坝的安全。

(4) 坝身孔口布置应尽量减少对拱坝结构的不利影响，消能区水舌分散，控制入水宽度，有利于拱坝坝肩稳定和两岸岸坡的稳定。

(5) 布置一定数量的深式泄水孔，以满足水库泥沙调度和降低水库水位的需要。

(6) 高度重视泄洪雾化的影响，对雾化区内的建筑物采取避让和工程保护措施相结合的原则，保证工程的安全运行。

(7) 泄洪建筑物的布置应与其他枢纽建筑物的布置相协调，避免施工和运行期相互干扰。

### 2.2.2 可研阶段推荐布置方案

可行性研究阶段根据枢纽总泄洪能力要求及坝址区的地形地质条件、水文特性、水库调度运行方式并兼顾施工中后期导流，泄洪消能建筑物由“坝身 7 个表孔 + 8 个深孔，坝后设水垫塘；左右岸边各布置 2 条有压接无压、洞内龙落尾泄洪隧洞；左岸利用 1 条导流隧洞改建为竖井泄洪隧洞”等组成，这套泄洪设施既可满足枢纽泄洪要求，又可适应分期蓄水、提前发电的需要。

坝身采用“分层出流、空中碰撞、水垫塘消能”的布置形式，坝身最大泄量  $30700\text{m}^3/\text{s}$ ，约占总泄量的 61%。考虑坝身泄洪水流归槽及顺应下游河道形态，将

坝身孔口布置在拱坝的中央，溢流中心线与拱坝中心线平行并向左岸偏移 5m。表孔 7 个，孔口尺寸 12.5m×13.5m，堰顶高程 586.50m，出口为大差动齿坎消能；深孔 8 个，孔口尺寸 6m×6.7m，孔底高程 499.5~501.0m，出口为挑流消能；坝下水垫塘和二道坝。

岸边泄洪隧洞最大泄量 19223m<sup>3</sup>/s，约占总泄量的 39%。左、右岸各 2 条常规泄洪隧洞，均为有压接无压、洞内龙落尾形式，控制闸门尺寸 14m×12m，底高程为 540.00m，出口采用扭曲斜切挑坎，两岸对称挑流、水下碰撞消能；左岸 1 条由导流洞改建成的竖井式非常泄洪洞，孔口尺寸 14m×12m，进口底高程 570.00m，采用洞内消能方式。非常泄洪洞只在遭遇千年一遇以上洪水时启用。

2003 年 8 月 24 日至 28 日，国家发展和改革委员会在北京主持召开了《金沙江溪洛渡水电站可行性研究报告》审查会议。会议认为，《金沙江溪洛渡水电站可行性研究报告》满足本阶段设计深度和内容的要求，会议审查同意该报告：同意采用屏山水文站作为水文计算的依据站；同意本阶段根据历史洪水和实测洪水系列分析计算的设计洪水成果，坝址万年一遇洪峰流量为 52300 m<sup>3</sup>/s，千年一遇洪峰流量为 43700 m<sup>3</sup>/s；同意挡水建筑物、泄水建筑物和电站进口按千年一遇洪水设计，万年一遇洪水校核；同意枢纽布置河床双曲拱坝、两岸首部地下厂房、坝身泄洪孔口和两岸泄洪洞的总体布置方案（XA22 方案）；同意泄水建筑物采用坝体设计 7 个表孔和 8 个深孔，左、右岸各设两条泄洪洞，左岸利用导流洞改建一条非常泄洪洞的泄洪布置方案。

### 2.2.3 对可研推荐方案的优化

随着溪洛渡上游梯级白鹤滩电站的逐步开发，后期的优化方案中考虑了白鹤滩电站及其调蓄影响。白鹤滩电站防洪库容 56.23 亿 m<sup>3</sup>，电站建成后对溪洛渡电站万年一遇校核洪水能起到调蓄削峰作用。考虑白鹤滩的调蓄作用，溪洛渡万年一遇洪水量由 52300 m<sup>3</sup>/s 降为 50900 m<sup>3</sup>/s，减少流量 1400 m<sup>3</sup>/s，入库洪水过程线有所调整，相应峰值流量降低，经过可研泄洪设施推荐方案调洪演算后，溪洛渡校核洪水水位由可研阶段的 607.79m 变为 607.15m，计入风浪影响及安全超高 1.34m，坝顶高程为 608.49m 就足够了，而溪洛渡拱坝坝顶高程为 610.00m，坝顶安全富余 1.51m。因此有可能减少泄洪设施，降低工程造价。

溪洛渡泄洪设施可研推荐方案为坝身 7 表孔、8 深孔 + 岸边 4 条常规泄洪洞及一条非常泄洪洞，经过对泄洪设施的分析研究，泄洪设施优化方案有三：方案一，可研推荐方案其他泄洪设施不变，取消非常泄洪洞；方案二，可研推荐方案其他泄洪设施不变，减小非常泄洪洞尺寸，泄量由原来的约 2700 m<sup>3</sup>/s 降为 1500 m<sup>3</sup>/s 左右；方案三，可研推荐方案其他泄洪设施不变，四条常规泄洪洞工作闸门尺寸由原来的 14m×12m 变成 13m×11.5m。

三个优化方案水库上游最高水位都不会超过坝顶加防浪墙高，因此三个方案对

拱坝坝高没有影响；三个方案对拱坝坝体位移、坝面主应力有一定的影响，但坝面最大主拉、主压应力值均能满足设计要求；三个优化方案在技术上都是可行的；三个方案对施工中后期导流都可行，其中方案三悬臂挡水稍高，为 5.24m；方案一、方案二对汛期水库调蓄方式都没有影响，方案三则对汛期水库调蓄方式有影响，因此方案一、方案二较方案三更优；方案一较方案二更节省工程投资，经济效益显著，且在今后的电站运行管理中，方案一较方案二少一条泄洪洞的管理。因此推荐方案一，取消非常泄洪洞。

取消非常泄洪洞后，在不考虑白鹤滩调蓄影响、遭遇万年一遇校核洪水、从 560m 水位起调的情况下：上游水位最高达到 609.47m；加上风浪及安全超高后（610.81m），仍低于坝顶防浪墙的高程（611.5m），库水不会翻坝，对拱坝稳定也没有影响。因此，溪洛渡泄洪设施方案优化调整为坝身 7 个表孔、8 个深孔 + 岸边 4 条常规泄洪洞，节约直接投资约 1.37 亿元。

## 2.2.4 水力学模型试验研究

溪洛渡工程从可行性研究阶段到技施设计阶段，针对枢纽泄洪消能建筑物开展了大量的科研试验研究工作。有关泄洪隧洞的科研试验工作见表 2.2-1。

表 2.2-1 泄洪隧洞相关科研试验项目汇总表

序号	项目名称	承担单位	完成时间
1	溪洛渡水电站枢纽整体水力学模型试验	清华大学、成勘院研究所、四川大学、南京水科院	可研阶段
2	溪洛渡水电站泄洪洞单体水力学模型试验及数值分析研究	北京水科院、河海大学、清华大学、华北水院、长江科学研究院	可研阶段
3	金沙江溪洛渡水电站 3#泄洪洞水力学数值模拟计算研究	四川大学	2005.5
4	溪洛渡水电站枢纽整体水力学模型试验	四川大学	2006.12
5	溪洛渡水电站 3#泄洪洞 1:45 常压及减压水力学模型试验	中国水利水电科学研究院	2006.12
6	溪洛渡水电站枢纽整体水力学模型试验	清华大学	2008.3
7	溪洛渡水电站 3#泄洪洞 1:25 水力学模型试验	中国水利水电科学研究院	2008.3
8	溪洛渡水电站 3#泄洪洞 1:25 水力学模型补充试验	中国水利水电科学研究院	2009.12
9	溪洛渡水电站枢纽整体水力学模型试验补充试验	清华大学	2009.12
10	溪洛渡水电站 2#泄洪洞单体模型试验研究 (1:35)	四川大学	2009.12



相关科研试验成果及设计优化详见 2.5 节。

## 2.3 地质条件

### 2.3.1 左岸泄洪洞工程地质条件

#### 2.3.1.1 进口区工程地质条件及边坡稳定性评价

左岸泄洪洞进口段布置在厂房取水口与大坝之间高程 570m ~ 640m 处的斜坡地带。斜坡宽约 40m，坡度 40° ~ 50°，边坡开挖时，可充分利用该斜坡，不触及 640m 高程以上的陡壁。坡体表面分布 1 ~ 5m 厚的崩坡积物覆盖层，地基及边坡基岩为  $P_2\beta_9 \sim P_2\beta_{12}$  层玄武岩和角砾集块熔岩。层间、层内错动带较发育， $C_9$  层间错动较强，规模较大，以岩屑角砾型为主； $C_{10}$ 、 $C_{11}$  层间错动相对较弱，以裂隙岩块型为主，部分含屑角砾型。层内错动带规模较小，产状平缓，以裂隙岩块型为主。裂隙较发育，主要为 ① EW/S  $\angle 70^\circ$ 、② N40° ~ 60° W/SW  $\angle 70^\circ \sim 80^\circ$ 、③ N35° W/SW  $\angle 75^\circ$ 、④ N70° ~ 85° E/SE  $\angle 65^\circ \sim 85^\circ$  等四组，延伸短小，平直粗糙，微张。据 PD92 平硐揭露，边坡卸荷较强，强卸荷 27m，弱卸荷和弱风化下段深约 37m。

左岸泄洪洞进口引渠基础均放在  $P_2\beta_9$  层角砾集块熔岩上，渠基为 III<sub>2</sub> ~ IV<sub>1</sub> 级的强 ~ 弱卸荷岩体，闸墩为 III<sub>2</sub> 类弱卸荷岩体，裂隙较发育，结构较松弛，需进行局部岩体的稳定性处理。

1#、2#泄洪洞进口相距 60 余米，边坡开挖后形成连续的整体，洞轴线方向均为 S86°W。洞口开挖后，1#泄洪洞洞脸边坡高 35 ~ 90m，引渠上游侧边坡 70 ~ 85m；2#泄洪洞洞脸边坡高 40 ~ 60m，引渠下游侧边坡高 5 ~ 10m。开挖揭示表明，未发现控制边坡整体稳定的结构面，边坡整体较稳定。但由于进口部位岩体风化卸荷较严重，特别是坡顶  $P_2\beta_{12}$  层下部的细长柱状节理发育，岩体完整性差，加之错动带和裂隙的切割，在高达 50 ~ 100m 边坡中上部，出现局部失稳的可能性较大，需进行工程处理。

#### 2.3.1.2 洞身围岩工程地质条件及评价

左岸 1#、2#泄洪洞沿线工程地质条件基本相似，综述如下：

泄洪洞深埋段上覆岩体厚 100 ~ 250m，水平埋深 200 ~ 500m，出口段上覆岩体厚 30 ~ 50m，水平埋深 50 ~ 150m。

沿线地层岩性为  $P_2\beta_9 \sim P_2\beta_{12}$  层致密状玄武岩及角砾集块熔岩。洞身段约 80% 布置在  $P_2\beta_{12}$  层中下部致密状玄武岩内。沿线岩流层产状有一定的变化，大致分三段：前段（桩号大致在 0 + 300m 以前）为 N25° ~ 35° E/SE  $\angle 7^\circ \sim 15^\circ$ ；中段（桩号大致在 0 + 300 ~ 1 + 100m）为 N0° ~ 20° W/SE  $\angle 5^\circ \sim 8^\circ$ ；后段（桩号大致在 1 + 100m 以后）为 N40° ~ 50° E/SE  $\angle 10^\circ \sim 15^\circ$ 。沿线地层岩质坚硬，岩体新鲜，嵌合紧密，岩体多呈块状 ~ 次块状结构，局部层间、层内错动带发育段岩体呈镶嵌结构。

出口段部分岩体位于弱风化、弱卸荷带内，多呈次块状结构~镶嵌结构，嵌合较松弛。

根据坝区勘探揭示的宏观规律，左岸泄洪洞部位层间错动带较发育。其中  $C_9$  层间错动较强，分布连续，性状较差，错动带宽 10~20cm，由角砾、岩屑组成，浅表部普遍充填次生泥，以岩屑角砾型为主，部分为含屑角砾型。 $C_{10}$ 、 $C_{11}$  层间错动较弱，断续分布，以裂隙岩块型为主，部分含屑角砾型。层内错动带在  $P_2\beta_{12}$  层中下部致密状玄武岩内部局部集中呈带状分布，优势方向主要为① $N20^\circ \sim 40^\circ E/SE$  ( $NW$ )  $\angle 5^\circ \sim 25^\circ$ 、② $N60^\circ \sim 70^\circ E/SE$   $\angle 5^\circ \sim 30^\circ$ 、③ $N20^\circ \sim 40^\circ W/NE$   $\angle 5^\circ \sim 25^\circ$ 、④ $N50^\circ \sim 60^\circ W/SW$   $\angle 15^\circ \sim 35^\circ$ ，延伸长度 20~40m，错动面起伏粗糙，由角砾及少量岩屑组成，部分充填石英绿帘石条带，局部阳起石化。

节理裂隙优势方向主要有：① $N20^\circ \sim 30^\circ W/NE$   $\angle 10^\circ \sim 30^\circ$ ；② $N60^\circ \sim 70^\circ E/SE$   $\angle 5^\circ \sim 30^\circ$ ；③ $N65^\circ \sim 85^\circ W/SW$   $\angle 65^\circ \sim 85^\circ$ ；④ $N70^\circ \sim 85^\circ E/SE$   $\angle 70^\circ \sim 90^\circ$ ；⑤ $N20^\circ \sim 50^\circ W/SW$   $\angle 75^\circ \sim 90^\circ$ 。延伸长一般为 2~4m，少量达 5~10m，间距 0.5~1m，裂面起伏粗糙，闭合，普遍充填方解石脉和石英绿帘石条带，局部阳起石化。

在上述裂隙发育优势方向中，①、②、③、④组较发育，⑤组仅分布于进出口浅埋隧洞部位弱卸荷带内，裂面普遍张开 1~2cm，局部可达 5~15cm，充填角砾、岩块，局部次生泥。

据坝区地应力测试成果分析，泄洪洞沿线由于埋深不大，地应力约 8~15MPa。

泄洪洞洞线位置远高于地下水位，地下水不活跃，进出口部位处于弱风化、弱卸荷带内，局部渗、滴水。

左岸泄洪洞施工中需注意的主要工程地质问题：

(1) 泄洪洞沿线层间、层内错动带较发育，一般断续延伸，挤压紧密，但  $C_9$  层间错动较强，分布连续，性状较差。由于错动带产状平缓，一旦出现在顶拱部位，可以沿洞顶拱延伸很长的距离，当其埋深较浅时，容易形成塌顶和局部的楔形、三角形块体，对顶拱围岩稳定不利。1#泄洪洞 0+500m~1+650m、2#泄洪洞 0+540m~1+310m 段出现这种情况的可能性较大，需加强施工过程的超前预测预报，并采取相应的处理措施。

(2) 泄洪洞沿线岩体中同一部位的基体裂隙一般只发育 1~2 组，较少有同时出现 3 组的情况，因此形成大规模不稳定块体的可能性较小，但仍有形成小型掉块的可能，施工中需有一定的防备措施。

(3) 泄洪洞进出口段上覆岩体厚度较薄，并且位于弱风化、卸荷带内，岩体完整性较差，顺坡向卸荷裂隙发育，普遍张开，出现不稳定块体的概率较大，施工中应加强工程处理措施。

### 2.3.1.3 出口区工程地质条件及边坡稳定性评价

左岸 1#、2#泄洪洞出口区布置在溪洛渡大桥上游 1000~2000m 处，坡面呈阶梯状，总体自然坡度  $30^\circ \sim 40^\circ$ ，地表大部分被崩坡积块碎石覆盖，厚度一般 2~5m，

天然边坡稳定。构成地基和边坡的基岩主要为  $P_2\beta_9 \sim P_2\beta_{12}$  层致密状玄武岩和角砾集块熔岩，产状  $N40^\circ \sim 50^\circ E/SE \angle 8^\circ \sim 18^\circ$ ，与河谷岸坡近于正交。 $P_2\beta_{11}$  层顶部分布有厚约 1.0 ~ 1.5 m 的紫红色凝灰岩，浅表风化严重，性软，遇水易软化崩解。 $C_9$ 、 $C_{10}$  层间错动较强，以岩屑角砾型为主，部分为含屑角砾型，浅表部普遍充填次生泥； $C_{11}$  层间错动较弱，以熔结型为主，部分裂隙岩块型。节理裂隙主要发育为① $N50^\circ \sim 70^\circ W/NE \angle 55^\circ \sim 75^\circ$ 、② $N50^\circ W/NE \angle 5^\circ \sim 10^\circ$ 、③ $EW/N60^\circ$  等三组，延伸长 3 ~ 5 m，间距 0.5 ~ 1 m，面起伏粗糙，闭合。据 PD16、PD74 平硐揭露，弱风化上段水平深 25 ~ 45 m，弱风化下段 50 ~ 70 m，强卸荷 5 ~ 10 m，弱卸荷 25 ~ 45 m。

1#、2#泄洪洞出口底板高程 415 m，洞向  $S32^\circ E$ ，引渠基础均放在  $P_2\beta_9$ 、 $P_2\beta_{10}$  层玄武岩和角砾集块熔岩上，明渠基础岩体为  $III_2 \sim IV_2$  级。岩体完整性较差，以  $25^\circ \sim 35^\circ$  倾角倾向下游的错动带较发育，应注意边坡及地基岩体的局部稳定性。此外，还应做好  $P_2\beta_{11}$  层顶部紫红色凝灰岩的防护处理。

1#、2#泄洪洞出口相距 120 m，边坡开挖后形成连续的整体，其中 1#泄洪洞洞脸边坡高 32 ~ 49 m，引渠下游侧边坡高 35 ~ 50 m；2#泄洪洞洞脸边坡高 35 ~ 90 m，引渠下游侧坡高 70 ~ 90 m，上游侧边坡高 30 ~ 40 m。据地表和平硐调查结果，边坡均由坚硬的玄武岩组成，未发现控制边坡整体稳定的结构面分布，裂隙延伸不长。据赤平投影分析，泄洪洞出口边坡走向与其裂隙走向均有一定的交角，边坡整体较稳定。但局部分布的错动带强风化夹层和规模较大的中倾下游的层内错动带，对边坡局部岩体的稳定性有一定影响，特别是受长期雾化作用下的稳定性更应重视，需要相应的加固和保护措施。建议开挖坡比为 1:0.45 ~ 1:0.55。

## 2.3.2 右岸泄洪洞工程地质条件

### 2.3.2.1 进口区工程地质条件及边坡稳定性评价

右岸泄洪洞进口段布置在厂房取水口与大坝之间高程 535 m ~ 640 m 处的斜坡地带。斜坡宽约 80 m，坡度  $35^\circ \sim 50^\circ$ ，边坡开挖时可充分利用该斜坡，不触及 640 m 高程以上的陡壁。坡体表面分布 1 ~ 5 m 厚的崩坡积物覆盖层，地基及边坡基岩为  $P_2\beta_8 \sim P_2\beta_{12}$  层玄武岩和角砾集块熔岩，岩层微倾山外偏下游。层间、层内错动带较发育， $C_8$ 、 $C_9$  层间错动较强，规模较大，分布连续，以岩屑角砾型为主； $C_{10}$ 、 $C_{11}$  层间错动相对较弱，断续分布，以裂隙岩块型为主，部分含屑角砾型。层内错动带规模较小，产状平缓，以裂隙岩块型为主。层内错动带多为裂隙型，倾角平缓，对边坡稳定性不起控制性作用，裂隙主要有① $EW/N \angle 70^\circ \sim 90^\circ$ 、② $SN/E \angle 80^\circ \sim 90^\circ$ 、③ $N40^\circ \sim 50^\circ W/NE \angle 70^\circ \sim 80^\circ$ 、④ $EW/S \angle 5^\circ \sim 15^\circ$ ，延伸短小，间距 1 ~ 2 m，面平直粗糙，闭合。据 PD73 平硐揭露，边坡风化卸荷较强，强卸荷 9 m，弱卸荷和弱风化上段深约 39 m。

右岸泄洪洞进口底板高程为 545 m，3#泄洪洞引渠长 70 m，4#泄洪洞引渠长

65m, 基础均放在  $P_2\beta_8$  层角砾集块熔岩上, 渠基为  $III_2 \sim IV_2$  级的强 ~ 弱卸荷岩体, 闸墩为  $III_2$  类弱卸荷岩体, 岩体完整性较差, 结构较松弛, 裂隙普遍充填岩屑和次生泥, 应注意局部岩体的稳定性。

3#、4#泄洪洞进口相距 60 ~ 70m, 边坡开挖后形成连续的整体, 洞轴线方向均为  $S10^\circ E$ 。其中 3#泄洪洞洞脸边坡高 20 ~ 70m, 引渠上游侧边坡 60 ~ 70m; 4#泄洪洞洞脸边坡高 65 ~ 75m, 引渠上游侧边坡高 50 ~ 60m, 下游侧边坡高 5 ~ 10m。根据地表和勘探平硐调查, 边坡岩石坚硬, 未发现控制边坡整体稳定的结构面, 边坡整体较稳定。但由于进口部位岩体风化卸荷较严重, 特别是坡顶  $P_2\beta_{12}$  层下部的细长柱状节理发育, 岩体完整性差, 斜坡的表层分布有 1 ~ 5m 的崩坡积层, 加之错动带和裂隙的切割, 在高达 50 ~ 100m 边坡中上部, 出现局部失稳的可能性较大, 应做好系统的加固处理。建议开挖坡比为 1:0.45 ~ 1:0.55, 对开口线附近的覆盖层应全部清除。

### 2.3.2.2 洞身围岩工程地质条件及评价

右岸 3#、4#泄洪洞沿线工程地质条件基本相似, 综述如下:

泄洪洞深埋段上覆岩体厚 100 ~ 300m, 水平埋深 200 ~ 450m, 出口段上覆岩体厚 30 ~ 50m, 水平埋深 50 ~ 150m。沿线地层岩性为  $P_2\beta_8 \sim P_2\beta_{12}$  层含斑玄武岩、致密状玄武岩及角砾集块熔岩。沿线岩流层产状有一定的变化, 大致分两段: 隧洞中前段 (桩号大致在 0+800m 以前) 为  $N20^\circ \sim 30^\circ E/SE \angle 3^\circ \sim 8^\circ$ ; 隧洞后段 (桩号大致在 0+800m 以后) 为  $N40^\circ \sim 50^\circ E/SE \angle 10^\circ \sim 15^\circ$ 。沿线地层岩质坚硬, 岩体新鲜, 嵌合紧密, 岩体多呈整体块状 ~ 次块状结构, 局部层间、层内错动带发育段岩体呈紧密镶嵌结构。出口段少量岩体位于弱风化、弱卸荷带内, 多呈次块状结构 ~ 镶嵌结构, 嵌合紧密。

根据坝区勘探揭示的宏观规律, 层间错动带总体较发育。其中  $C_8$ 、 $C_9$ 、 $C_{10}$  层间错动较强, 特别是  $C_9$  层间错动带, 以岩屑角砾型为主, 部分含屑角砾型。 $C_{11}$  层间错动较弱, 多表现为熔结型。层内错动带总体较发育, 局部集中呈带状发育, 优势方向主要为①  $N15^\circ \sim 40^\circ E/SE (NW) \angle 5^\circ \sim 25^\circ$ 、②  $N60^\circ \sim 70^\circ E/SE \angle 5^\circ \sim 25^\circ$ 、③  $N25^\circ \sim 50^\circ W/NE \angle 5^\circ \sim 25^\circ$ 、④  $N60^\circ \sim 70^\circ W/SW \angle 5^\circ \sim 20^\circ$ , 延伸长度 20 ~ 40m, 最长可达 40 ~ 60m, 主错面波状起伏, 粗糙, 主错带宽 5 ~ 15cm, 由角砾、岩屑组成。上述优势方向中①、②、③组往往集中呈带状分布。

泄洪洞沿线裂隙较发育, 优势方向主要有: ①  $N15^\circ \sim 40^\circ E/SE \angle 5^\circ \sim 25^\circ$ ; ②  $N60^\circ \sim 70^\circ E/SE (NW) \angle 70^\circ \sim 85^\circ$ ; ③  $N60^\circ \sim 80^\circ W/NE (SW) \angle 5^\circ \sim 25^\circ$ ; ④  $N40^\circ \sim 60^\circ W/NE \angle 55^\circ \sim 85^\circ$ ; ⑤  $EW/S \angle 5^\circ \sim 15^\circ$ 。延伸长 2 ~ 3m, 局部可达 5 ~ 15m, 裂面平直粗糙, 闭合, 无充填。其中④组为卸荷裂隙, 主要分布在进出口部位, 裂隙普遍张开, 充填角砾、岩屑, 局部充填次生泥。

在上述裂隙发育优势方向中, ①、②、③、④较发育, ⑤组仅分布于进出口浅埋隧洞部位弱卸荷带内, 裂面普遍张开 1 ~ 2cm, 局部可达 5 ~ 15cm, 充填角砾、岩

块，局部次生泥。

据坝区地应力测试成果分析，泄洪洞沿线由于埋深不大，地应力约 8 ~ 15MPa。

泄洪洞洞线位置远高于地下水位，地下水不活跃，进出口部位处于弱风化、弱卸荷带内，局部渗、滴水。

右岸泄洪洞施工中需注意的主要工程地质问题：

(1) 泄洪洞沿线层间、层内错动带较发育，一般断续延伸，挤压紧密，但  $C_{11}$  以及该层顶部岩质较软的紫红色凝灰岩构成一软弱夹层，该夹层一旦出现在顶拱部位，可以沿洞顶拱延伸很长的距离，当其埋深较浅时，容易形成塌顶和局部的楔形、三角形块体，对顶拱围岩稳定不利；另外  $C_8$ 、 $C_9$  层间错动带在顶拱发育时也会形成一定的块体稳定问题。针对这些特殊部位，需加强施工过程的超前预测预报，并采取相应的处理措施。

(2) 泄洪洞沿线岩体中同一部位的基体裂隙一般只发育 1 ~ 2 组，较少有同时出现 3 组的情况，因此形成大规模不稳定块体的可能性较小，但仍有形成小型掉块的可能，施工中需有一定的防备措施。

(3) 泄洪洞进出口段上覆岩体厚度仅 20 ~ 30m，并且位于弱风化、弱卸荷带内，岩体完整性较差，顺坡向卸荷裂隙发育，普遍张开，且与洞轴线交角较小，成洞条件较差，施工中应加强工程处理措施。

### 2.3.2.3 出口区工程地质条件及边坡稳定性评价

右岸 3#、4#泄洪洞出口区布置在溪洛渡大桥上游 1000 ~ 2000m 处，坡面呈阶梯状，总体自然坡度 40° ~ 50°。局部被崩坡积块碎石覆盖。构成边坡的岩层主要为  $P_2\beta_8 \sim P_2\beta_{12}$  层玄武岩和角砾集块熔岩，岩层微倾下游。 $P_2\beta_{11}$  层顶部分布有厚约 1.0 ~ 1.5m 的紫红色凝灰岩，浅表风化严重，性软，遇水易软化崩解。 $C_9$  层间错动较强，以岩屑角砾型为主，浅表部普遍充填次生泥； $C_8$ 、 $C_{10}$  层间错动较弱，以裂隙岩块型为主； $C_{11}$  层间错动不发育，多为熔结型。边坡部位层内错动带较发育，由于倾角较缓，延伸有限，对边坡整体稳定性不起控制性作用。裂隙主要发育有：①  $N20^\circ \sim 50^\circ W/NE \angle 75^\circ \sim 85^\circ$ ，延伸长 3 ~ 5m，面起伏粗糙，张开，属卸荷裂隙；②  $N50^\circ E/SE \angle 10^\circ \sim 15^\circ$ ，延伸长 3 ~ 5m，起伏粗糙，闭合。据 PD77、PD79 平硐揭露，风化卸荷较强，弱风化上段水平深 15 ~ 24m，弱风化下段水平深 33 ~ 58m，强卸荷 15 ~ 33m，弱卸荷 24 ~ 58m。

3#泄洪洞引渠长 192m，渠基为  $P_2\beta_8$  层上部角砾集块熔岩和  $P_2\beta_9$  层致密状玄武岩；4#泄洪洞引渠长 235m，渠基为  $P_2\beta_9$  层上部角砾集块熔岩和  $P_2\beta_{10}$  层致密状玄武岩，为弱 ~ 强卸荷的  $III_2 \sim IV_2$  级岩体，完整性差，裂隙普遍充填岩屑和次生泥，应注意边坡及地基岩体的局部稳定性。此外，还应做好  $P_2\beta_{11}$  层顶部紫红色凝灰岩的保护处理。

3#、4#泄洪洞出口相距 100 ~ 120m，洞轴线方向均为  $S71^\circ E$ ，边坡开挖后形成连续的工程边坡，其中 3#泄洪洞洞脸边坡高 10 ~ 50m，引渠上游侧坡高 10 ~

20m 下游侧坡高 40 ~ 50m; 4#泄洪洞洞脸边坡高 20 ~ 60m, 引渠上游侧坡高 10 ~ 20m, 下游侧坡高 30 ~ 60m。天然边坡稳定。据赤平投影分析, 工程边坡无不利结构面组合, 边坡整体较稳定, 建议开挖坡比为 1:0.45 ~ 1:0.55。但局部分布的错动带强风化夹层和规模较大的中倾下游的层内错动带, 对边坡局部岩体的稳定性有一定影响, 特别是受长期雾化作用下的稳定性更应重视, 需要相应的加固和保护措施。

## 2.4 泄洪洞总体布置

泄洪洞总体布置需要综合考虑枢纽总体规划、建筑物特性和相互关系、地形地质条件、出口消能防冲等因素, 尽量使洞内水流满足“平、顺、直”的要求, 确保泄流顺畅。溪洛渡工程泄洪洞采用了有压接无压、洞内龙落尾的布置形式, 将 70% 左右的总水头差集中在占全洞长度 25% 的尾部, 无压上平段至龙落尾段进口流速 25m/s, 至反弧段末端流速近 50m/s。与龙抬头式泄洪洞相比, 这种布置方式大部分洞段为坡度较小的平洞, 水流流速较低, 减少了高流速段的范围和掺气减蚀的难度, 有利于对高速水流问题进行集中处理, 同时将最容易发生空蚀破坏的部位尽量靠近出口, 远离大坝等其他永久建筑物, 即使在反弧末端发生空蚀破坏, 也不至于对全洞甚至大坝构成安全威胁。溪洛渡工程泄洪洞总体平面布置如图 2.4-1。

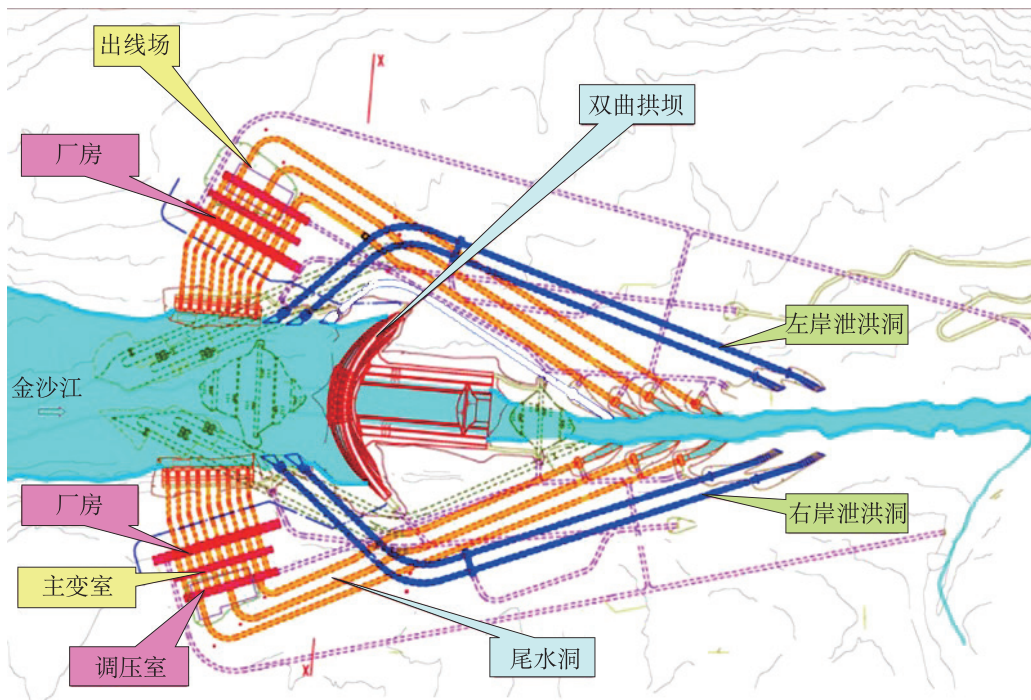


图 2.4-1 泄洪洞总体平面布置图

左右两岸四条泄洪洞均由进水塔、有压洞段、地下工作闸门室、无压洞段、龙落尾段和出口明渠及挑坎段等组成。4条泄洪洞均利用有压段进行平面转弯，进口置于大坝与厂房进水口之间，出口位于厂房尾水洞出口下游，左右岸基本对称布置。具体布置方案见图 2.4-2。

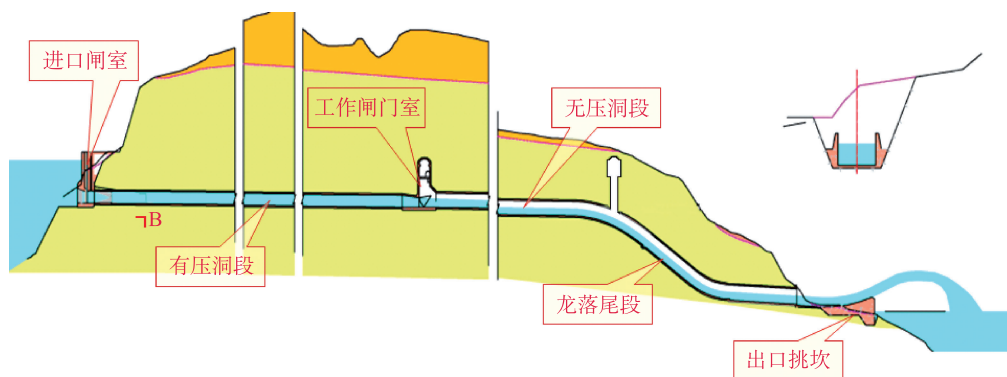


图 2.4-2 泄洪洞剖面示意图

### 2.4.1 隧洞轴线

左岸 1#、2#泄洪隧洞轴线平行布置，有压段中心间距为 52.27m，无压段中心间距为 49.69m，进口轴线方位角 NE86.19°，转弯半径为 200m，转弯角度 62°，出口轴线方位角 NW31.81°，泄洪隧洞全长分别为 1845.00m、1618.30m。右岸 3#、4#泄洪隧洞轴线同样平行布置，有压段中心间距为 51.14m，无压段中心间距为 54.30m，进口轴线方位角 NW9.12°，转弯半径为 200m，转弯角度 61.98°，出口轴线方位角 NW71.10°，泄洪隧洞全长分别为 1625.67m、1868.44m。

### 2.4.2 进水塔

溪洛渡坝址区两岸山体雄厚，谷坡陡峻，但在坝轴线上游 250.0m ~ 550.0m 范围内，535.0m ~ 640.0m 高程之间的左右岸均存在中等缓坡台地，坡度为 35° ~ 50°，水平宽度 100 ~ 150m。泄洪洞进水塔的布置充分利用了该范围的缓坡台地。进水塔顶高程均为 610.0m，基础建基面高程为 540.0m。基岩由二叠系上统峨眉山玄武岩 ( $P_2\beta_{12}$ ) 组成，进水塔前缘与河道流向形成一迎水流向夹角，使进口水流顺畅，利于洞内水流流态。采用深水岸塔式进口，顺水流向底长 30.0m，底宽 28.0m，塔高 70.0m。塔体内设事故闸门和通气孔，事故闸门尺寸为 12m × 15m (宽 × 高)，底板高程为 545.00m。



图 2.4-3 右岸泄洪洞进水塔

### 2.4.3 有压隧洞段

泄洪洞有压段位于泄洪洞进口塔和工作闸门室之间，有压段起始段为  $12.0\text{m} \times 15.0\text{m}$ （宽  $\times$  高）方形洞，连接泄洪洞进口，经  $25.0\text{m}$  长的连接段渐变为  $D = 15.0\text{m}$  圆形隧洞，渐变段末端为起坡点。由于电站枢纽布置于顺直河道段，泄洪洞在该段作平面转弯，转弯半径  $200\text{m}$ ；与工作闸门室连接段为圆变方压坡连接段，连接段长  $25.0\text{m}$ ，渐变为  $14\text{m} \times 12\text{m}$ （宽  $\times$  高）方形洞紧接工作闸门室。1#~4#泄洪洞有压段主要参数见表 2.4-1。



图 2.4-4 泄洪洞有压段



表 2.4-1 1#~4#泄洪洞有压段主要参数表

泄洪洞	起点渐变段长度(m)	跨帷幕起始桩号	弯段前直段长度(m)	弯段			弯段后直段长度(m)	末端渐变段长度(m)	坡度(%)	有压段长度(m)
				转弯半径(m)	转弯角(°)	弯段长度(m)				
1#	25	0+063.146	315.114	200	62.00	216.421	71.831	25	0.8273	653.366
2#	25	0+048.718	247.939	200	62.00	216.421	39.046	25	0.9913	553.406
3#	25	0+134.378	319.282	200	61.98	216.351	38.79	25	0.8689	624.423
4#	25	0+183.688	403.816	200	61.98	216.351	67.8	25	0.7257	737.967

#### 2.4.4 工作闸门室

左岸 1#、2#泄洪洞工作闸门室集中布置，右岸 3#、4#泄洪洞工作闸门室集中布置。工作闸门室紧接有压段，分为上、下两室。上室连通，为控制室，洞室净空为 16m×65.29m（顺水流向×横水流向），上室底高程 578.00m，布置有弧形工作闸门启闭设备、检修平台及一台 300kN 的桥机，桥机轨道高程为 594.00m。下室不连通，底板高程为 540.00m，顺水流向长 36.0m，布置有弧形工作闸门，闸门孔口尺寸 14.0m×12.0m（宽×高），弧形工作闸门的支铰梁固定于闸门室后壁岩体。工作闸门室下室不连通。工作闸门室上室端头设有交通洞，与上坝公路连接。泄洪洞工作闸门室底板主要参数如表 2.4-2。

未经中国三峡出版传媒有限公司的书面许可，任何媒体及个人不得转载、摘编该节选内容。违者将被依法追究其侵权责任。

如有需要请购买原版书。



三峡小微

中国三峡出版传媒

中国三峡出版社