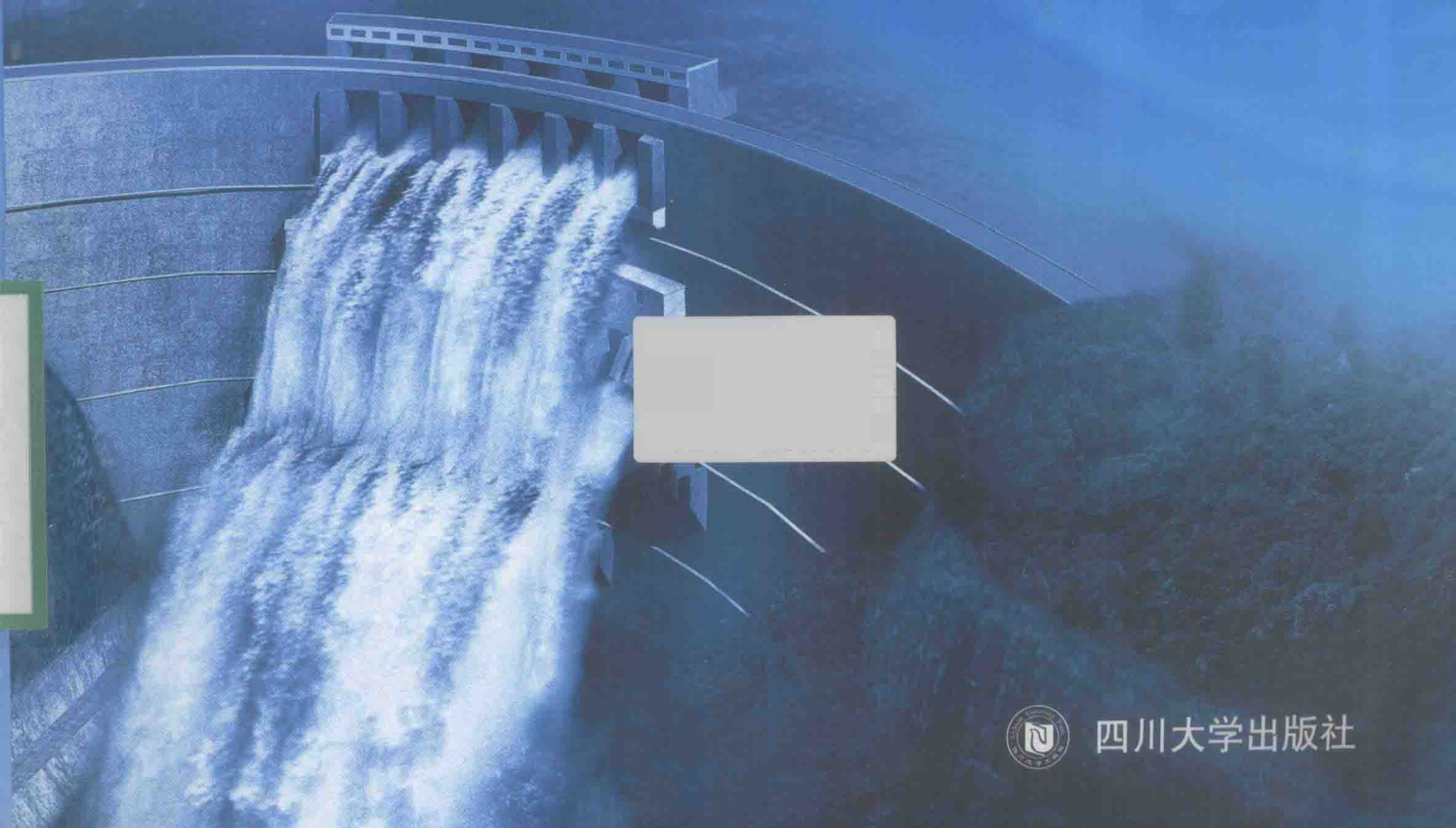


Advances in High Dam Technology

高坝工程技术进展

贾金生 张 林 樊启祥 王仁坤 主编



四川大学出版社

Advances in High Dam Technology

高坝工程技术进展

贾金生 张 林 樊启祥 王仁坤 主编



四川大学出版社

特邀编辑:唐 飞
责任编辑:毕 潜
责任校对:李思莹 梁 平
封面设计:墨创文化
责任印制:李 平

图书在版编目(CIP)数据

高坝工程技术进展 / 贾金生等主编. —成都: 四川大学出版社, 2012. 3
ISBN 978-7-5614-5726-9

I. ①高… II. ①贾… III. ①高坝—水利工程—工程技术 IV. ①TV649

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 043357 号

书名 高坝工程技术进展

主 编	贾金生 张 林 樊启祥 王仁坤
出 版	四川大学出版社
地 址	成都市一环路南一段 24 号 (610065)
发 行	四川大学出版社
书 号	ISBN 978-7-5614-5726-9
印 刷	郫县犀浦印刷厂
成品尺寸	210 mm×285 mm
印 张	28
字 数	905 千字
版 次	2012 年 4 月第 1 版
印 次	2012 年 4 月第 1 次印刷
定 价	98.00 元

版权所有◆侵权必究

◆读者邮购本书,请与本社发行科联系。电 话:85408408/85401670/
85408023 邮 政 编 码:610065

◆本社图书如有印装质量问题,请寄回出版社调换。

◆网址: <http://www.scup.cn>

高坝工程前沿论坛

会议组织机构

组织委员会

主 席：谢和平 樊启祥 宋胜武
副 主 席：贾金生 许唯临 付兴友 吴世勇 宋彦刚 向 建
李 嘉 陈建康
委 员（按姓氏笔画排序）：
申满斌 刘兴宁 余 挺 吴晓铭 张 林 张建海
李文伟 李永红 杨兴国 陈万涛 郑瑾莹 徐建荣

学术委员会

主 席：陆佑楣 潘家铮
副 主 席：陈厚群 陈祖煜 马洪琪 吴中如 张超然 张楚汉
郑守仁 钟登华
委 员（按姓氏笔画排序）：
孔宪京 王仁坤 邓良胜 邓建辉 艾永平 何江达
吴关叶 张国新 张宗亮 张建华 李庆云 杨 强
陈五一 陈生水 周创兵 周建平 姚福海 钮新强
顾冲时 常晓林

会议秘书处

秘 书 长：张 林
副秘书长：郑瑾莹 李文伟 陈万涛 余 挺
秘 书：马忠丽 苏 立 彭 澎 唐 兰 马方平 谢红强
王滨蓉 李洪涛 薛新华 陈 媛 董建华

论文编辑

张建海 余 挺 薛新华 陈 媛 李洪涛 董建华

序

“高坝工程前沿论坛”的召开具有重要的现实意义。人类为了有效地利用有限的水资源及具有重要功能的水能资源，兴建水坝是不可缺少的工程措施。随着筑坝技术的发展，坝的高度已发展到 200 m~300 m 以上。我国的高坝工程建设，经过从新中国成立到改革开放前的发展期，直至改革开放迄今的鼎盛期，走过了 60 多年漫长而艰难的道路，已建成 30 m 以上大坝 5 564 座，近年来已开始建设 300 m 级的世界顶级高坝。为了取得清洁的可再生能源，高坝的发展还有很大的空间。2012 年的政府工作报告中指出，要“积极发展水电”，因此我国高坝工程事业的参与者们依然肩负着重要的历史责任。目前，我国的高坝工程在很多方面已经居于国际先进，乃至国际领先地位。无论从装机规模还是坝高来看，我国都有多个大坝进入了世界前十的行列。然而高坝工程是复杂的系统工程，用现代技术兴建的高坝虽然风险概率不高，但风险后果严重。我国的许多高坝工程具有坝高、流量大、河谷狭窄、地质条件复杂等特点，其技术难度十分突出。伴随着我国高坝建设事业的发展，一些重大自然灾害，如 98 大洪水、汶川特大地震等也使得工程经历了严峻的考验。这些因素从不同的方面促进了我国高坝工程研究、设计和建设水平的提高。但是，我们也应该清醒地意识到，我们在高坝工程领域的原创性成果还不多，许多方面的研究水平还没有很好地满足工程实践的需求。因此，我国高坝工程整体技术水平的提高仍然任重而道远。

在这样的背景下，由中国大坝协会主办的“高坝工程前沿论坛”在我国高坝工程最集中的西南地区召开，来自高坝工程研究、设计和建设单位的高水平专家学者汇聚成都，共同总结和交流已有的成果和经验，展望高坝技术的未来。相信这次盛会的召开以及这部论文集的出版，势将与其他的高水平学术活动一样，为促进我国乃至世界的高坝工程技术的发展添上浓墨重彩的一笔。

祝我国的高坝事业不断取得新的进展！

祝我国的高坝工程同仁们不断为国家和世界做出新的贡献！

陆佑楣

2012 年 3 月

前 言

当前，我国正处于水利水电开发和大坝建设的高峰期，已建、在建和待建的一大批高坝工程大多位于地形、地质及水文气象环境极为复杂的西部地区，如金沙江上的溪洛渡、白鹤滩、乌东德、向家坝，雅砻江上的锦屏一级、两河口，大渡河上的大岗山、双江口，澜沧江上的小湾、糯扎渡等。这些工程具有坝高库大、泄洪流量大、地震强度高、地质条件复杂等特点，多项工程技术指标已达到或超过世界水平。在复杂的自然条件下建设具有世界水平的高坝工程，将面临着前人未曾遇到的科学技术难题和严峻挑战。

长期以来特别是近年来，相关单位和专家学者在高坝建设领域进行了大量的研究与实践，解决了工程中许多关键科学与技术问题，取得了丰硕的成果。为了给大家提供一个学术交流平台，共同探讨高坝工程中的学术和技术难题，由中国大坝协会主办，四川大学、中国长江三峡集团公司、中国水电顾问集团成都勘测设计研究院承办及相关单位协办的“高坝工程前沿论坛”于2012年4月在四川成都举行。会议围绕高坝建设中的科学与工程技术问题，针对高坝与地基稳定安全、高坝结构与材料、高坝泄洪与消能、高坝设计与施工、高坝运行与管理、高坝生态与环境等议题进行学术交流和探讨，旨在为高坝工程建设与科技进步起到促进作用。

本次论文征集得到了坝工界专家、学者及工程技术人员的积极响应和大力支持，共有69篇论文收入会议论文集。收录的论文议题广泛、内容丰富、理论联系实际，具有实际工程背景。在此，特向所有论文作者和专家学者对本次会议的的大力支持表示衷心感谢！对会议秘书处工作人员和论文编辑人员的辛勤劳动表示深深的谢意。

由于时间匆促，疏漏和不足之处敬请各位读者批评指正。

编 者

2012年3月于成都

目 录

院士论文

金沙江下游河段水力资源开发进程及项目管理实践	陆佑楣	樊启祥 (2)
混凝土重力坝设计及运行监测的问题探讨	郑守仁	(10)
糯扎渡高心墙堆石坝坝料特性研究及填筑质量检测方法和实时监控关键技术	马洪琪	(16)
基于全生命周期的特高拱坝设计和建设管理	张超然	朱红兵 (23)

高坝与地基稳定安全

高拱坝稳定与控制理论及其试验验证	杨 强	刘耀儒	潘元炜	冷旷代	李 波	崔智雄	杨若琼 (30)
重力坝沿建基面失稳破坏研究	常晓林	关 凯	胡 超	任宇新 (40)			
锦屏高拱坝复杂地基加固处理及整体安全性分析	周 钟	唐忠敏 (45)					
金川水电站坝基砂土液化与破坏评价研究	段 斌	吴晓铭	陈 刚	付恩怀	张晓将 (52)		
大岗山拱坝施工期坝肩抗滑稳定分析及安全评价	黎满林	刘 翔	王 超 (58)				
锦屏一级水电站拱坝坝肩稳定分析及工程措施研究	庞明亮	唐忠敏 (64)					
基于 FEM 的高土石坝坝坡稳定体系可靠度分析	吴震宇	陈建康	裴 亮 (70)				
高拱坝坝肩稳定地质力学模型综合法试验研究	张 林	杨宝全	陈 媛	陈建叶	胡成秋 (77)		
大岗山高拱坝坝肩刚体弹簧元抗滑稳定分析	殷荣岗	张建海	刘喜康	杨 琼 (83)			
复杂岩基上重力坝深层抗滑稳定研究	董建华	张林	李蓉芳	陈建叶	陈媛	胡成秋 (90)	
大岗山拱坝整体稳定模型试验研究与有限元计算分析	陈建叶	张 林	石 云	杨宝全	董建华 (96)		

高坝结构与材料

高压水劈裂模拟方法与特高重力坝设计准则初步探讨	贾金生	汪 洋	冯 炜	常清睿 (104)			
糯扎渡心墙堆石坝防渗料的设计、研究与实践	张宗亮	冯业林	相彪 (110)				
基于现场温度梯度实验的干热河谷高温季节混凝土裂缝产生机理及防裂措施	张国新	刘有志	王振红	李仁江	李金桃 (117)		
大岗山拱坝坝面抗震钢筋设计	陈 林	刘 洋 (125)					
官地水电站碾压混凝土配合比设计及优化	陈 磊	聂 强 (132)					
双江口水电站防渗土料掺合工艺试验研究	李善平	彭旭初	刘颖雄	王 力 (138)			
低热硅酸盐水泥在泄洪洞工程中的应用研究	孙明伦	胡泽清	石 妍	宋登会 (144)			

200 m 以上高拱坝有限元压应力控制标准的探讨	刘 洋 陈 林 童 伟	(148)
溪洛渡拱坝混凝土温度控制与防裂施工简介	于永军	(153)
沙牌碾压混凝土拱坝在不同地震作用下的变形破坏特性及抗震超载能力评价	卓 莉 何江达 肖明砾 陈建叶 谢红强	(157)
溪洛渡拱坝表孔群及悬臂结构应力分析	马 杰 周 雪 张建海 王仁坤 赵文光	(168)

高坝泄洪与消能

拉西瓦水电站泄洪消能设计	张友科 杜生宗 王亚娥	(176)
溪洛渡水电站泄洪建筑物布置方案优化设计	黄 庆 杨 敬 陈亚琴	(181)
阶梯高度对掺气型阶梯水流水力特性及消能效果的影响	张建民 陈剑刚 何顺宾 伍小玉 邱 玥	(186)
高拱坝泄洪深孔出口突扩水翅及其消减方法	张法星 徐建荣 彭 育 刘善均 许唯临 邓 军	(193)
闸门局开下突扩突跌水力特性数值模拟	赵蕾蕾 戴光清 杨 庆 许 杰	(199)
进口形式对浅水垫消力池水跃特性的影响	李连侠 廖华胜 刘 达 杨 华 沈焕荣 易文敏	(205)
自由射流消力井实验及数值模拟研究	田 忠 邓 军 刘善均	(214)
中高水头中闸室滑动转铰弧形闸门突扩突跌的水力特性研究	杨 庆 周顺文 戴光清 王海云 马旭东	(219)
高水头泄洪洞弧形闸门出口侧墙防空蚀方案研究	段鸿锋 邓 军 卫望汝 刘小江 刘发智 钱小燕	(225)

高坝设计与施工

锦屏一级大坝建设中的关键技术问题及实施进展	吴世勇 曹 薇	(230)
溪洛渡拱坝河床坝基处理与底部结构设计	王仁坤 陈丽萍	(237)
300 m 级高拱坝施工方案和进度	郑家祥 阎士勤 李 翔 尹习双	(243)
长距离大落差连续下运带式输送机在瀑布沟水电站工程中的应用	张建华 杨兴国 肖培伟	(247)
溪洛渡特高拱坝施工期全坝全过程反馈仿真关键技术问题与温控防裂措施优化分析	张国新 刘有志 周绍武 刘 毅 杨 萍	(251)
白鹤滩坝肩高边坡失稳模式分析及加固措施探讨	陈 星	(266)
拉西瓦高拱坝坝基开挖爆破及其影响	巨广宏	(272)
浅谈锦屏一级水电站混凝土双曲拱坝 4.5 m 升层施工	周 强	(275)
临时断面挡水度汛对于面板坝坝坡稳定的影响研究	王瑞骏 崔自力 郭永吉 王志杰	(282)
官地水电站建坝岩体质量与坝基固结灌浆处理效果评价	马行东 彭仕雄	(288)
特高拱坝施工及初次蓄水变形回归统计模型研究	张国新 李海枫 艾永平	(296)
土石坝施工仿真模拟及在双江口工程上的应用研究	李玉珠 李 翔 何学仁	(305)
双江口心墙堆石坝的渗流控制分析	钱晓慧	(310)
大岗山水电站缆机布置及平台结构设计	刘 翔 黎满林 王 超	(316)
锦屏特高拱坝左岸抗力体 f_5 断层处理研究	蒋学林 祝华平 李正兵	(319)
向家坝水电站大坝纵缝 I 并缝施工质量控制	梅雪东 陈 乔 宫照光	(325)

官地水电站上游坝面防渗设计 刘 洋 吴晨阳 王小安 (335)

马鹿塘二期大坝料场方案调整对项目施工影响的分析与评价
..... 邓仁杰 杨立峰 马 炜 (339)

水电站施工的缆机工程设计综述 洪行远 (345)

特高拱坝真实工作性态探讨 张国新 周秋景 刘 毅 李海枫 陈培培 (352)

水管冷却三维动态控制的时空效应 刘 俊 李红叶 刘亚洲 孙宝来 (360)

地质雷达在衬砌混凝土无损检测中的应用 刘颖雄 彭旭初 江长森 (369)

冲击回波法在水工钢衬混凝土无损检测中的应用 刘颖雄 彭旭初 江长森 (373)

暴雨滑坡中的两个关键问题及其工程应用 杨 皓 钱晓慧 李 毅 (378)

饶磺水电站砾石土心墙堆石坝填筑施工技术
..... 李洪涛 何福江 杨兴国 周家文 周宏伟 (383)

高坝运行与管理

二滩水电站大坝运行管理重大技术问题研究 冯永祥 张晓松 (392)

三峡工程质量管理经验浅析 关文海 许春云 吴彭年 (396)

双江口水电站 300 m 级高堆石坝长期变形初步研究 周 伟 李善平 彭旭初 (401)

水利水电工程震害分析及抗震措施建议 雷红富 苏 立 (406)

溪洛渡大坝运行初期主要安全风险及应对措施浅析 谭大文 (412)

北斗卫星通信在高坝运行调度水文测报数据传输中的应用 华小军 (416)

高坝生态与环境

高坝建设对生态环境的影响及对策措施 孙丹丹 杨玖贤 彭翠华 (422)

关于我国高坝泄水总溶解气体过饱和影响问题的探讨
..... 李 然 李克锋 李 嘉 冯镜洁 (426)

金沙江下游在建水库水沙时空分布规律及异重流潜入分析 马 倩 安瑞冬 李 然 (434)

院士论文

金沙江下游河段水力资源开发进程 及项目管理实践

陆佑楣 樊启祥

中国长江三峡集团公司, 湖北宜昌, 443002

摘 要 金沙江下游河段向家坝、溪洛渡、白鹤滩、乌东德四个梯级电站的建设将在促进我国政府实现“大力发展可再生能源, 争取到 2020 年非化石能源占一次能源消费比重达到 15%, 到 2020 年全国单位 GDP 二氧化碳排放比 2005 年下降 40%至 45%”的目标中占有重要的部分。但需要妥善处理好项目开发建设管理体制、移民搬迁安置、枢纽工程建设、生态环境保护、项目建设程序、水电开发利益共享机制、促进地方经济社会发展等问题。本文围绕溪洛渡、向家坝工程建设实践, 对以上问题进行了初步探索。

关键词 项目管理 水力资源 金沙江

1 金沙江下游河段水力资源开发特点

1.1 中国水力资源开发进程

新中国成立 60 多年, 尤其是改革开放 30 多年以来, 中国水电在支撑国民经济建设中发挥了重要作用。根据 2003 年全国水力资源复查成果, 中国水力资源地域分布状况极其不均, “东少西多”, 需要“西电东送”。中国水力资源开发程度与国家经济社会的发展阶段和区域条件相关, “东多西少”, 需要加快西部水力资源开发。随着西部大开发战略及“西电东送”规划的全面实施, 西部地区水力资源开发必然成为中国水电建设的主要基地。开发重点在金沙江、雅砻江、大渡河、澜沧江、黄河上游等。

1.2 金沙江下游河段水力资源

金沙江属于长江上游河段, 坡陡流急, 水量丰沛且稳定, 落差大且集中, 是我国水能资源开发的“富矿”及实现“西电东送”战略目标的重要能源基地之一。金沙江的下游河段从攀枝花到宜宾, 全长 782 km, 落差 729 m。开发任务是发电、航运、防洪、灌溉和水土保持, 自上而下分乌东德、白鹤滩、溪洛渡、向家坝 4 级开发。金沙江下游河段水力资源梯级开发各电站的主要特性见表 1。

表 1 金沙江下游河段水力资源梯级开发各电站主要特性

项 目	单位	乌东德	白鹤滩	溪洛渡	向家坝	合计
控制流域面积	万 km ²	40.61	43.03	45.44	45.88	174.96
年平均流量	亿 m ³	3 870	4 110	4 570	4 570	17 120
坝高	m	265	284	278	162	—
正常蓄水位	m	975	825	610	380	—
正常蓄水位库容	亿 m ³	58.63	190.06	115.70	49.77	414.16
防洪库容	亿 m ³	18.60	75.00	46.50	9.03	149.13
装机容量	MW	8 700	14 004	12 600	6 400	41 704
多年平均发电量	亿 kW·h	386.70	602.41	571.20	307.47	1 867.78
淹没土地面积	亩	155 671	324 413	231 313	88 275	781 672
淹没影响人口	人	37 377	81 866	46 786	95 597	261 626

溪洛渡和向家坝水电站作为第一期工程，是“西电东送”中通道的一组骨干电源，已相继于 2005 年、2006 年正式开工，并于 2007 年、2008 年工程截流。乌东德和白鹤滩水电站作为第二期工程，现处于可研工作阶段。按照国家可再生能源中长期发展规划，水电装机规模到 2020 年达到 3 亿 kW，2020 年前的 10 年需要新增装机 1.2 亿 kW。向家坝和溪洛渡将分别在 2012 年和 2013 年投产，计划在 2015 年前全部投入使用；乌东德和白鹤滩如能按照 2012 年项目核准正式开工、2014 年工程截流的目标实施，则两个电站都能在 2020 年前投入运行。这四个电站的建设将在促进我国政府实现“大力发展可再生能源，争取到 2020 年非化石能源占一次能源消费比重达到 15%，到 2020 年全国单位 GDP 二氧化碳排放比 2005 年下降 40%至 45%”的目标中占有重要的部分。

1.3 开发特点和开发理念

金沙江水力资源开发面临工程技术、水库移民、生态环境、区域发展、民族团结、建设程序和社会稳定等问题。金沙江是中国的江河之源，虽然水能、矿藏、森林、生物植物多样性等优势资源富集，但是生态环境却十分脆弱，同时因地理位置、历史、民族、交通等诸多原因，经济也一直较弱。金沙江下游河段属四川、云南两省界河，涉及两省 7 个市（州）24 个县（区），是少数民族聚集区。该区域绝大部分人口散布在零星平坝和支流河谷内，人多耕地少。工程地域地形、地质条件复杂，地震活动频率高、强度大，地震烈度一般为 7~8 度。金沙江下游河段土壤侵蚀严重，河流含砂量大，珍稀特有鱼类种群资源和繁殖逐渐减少。从一定程度上来说，非工程技术问题成为了水电开发需要特别重视的问题。中国水力资源开发经历了技术与装备制约、项目投资制约、电力市场制约等阶段，在西部尤其是西南水力资源全面开发的现在，进入了水库移民制约、生态环境制约和建设程序制约的阶段。要实现又好又快的开发目标，需要在保护生态与环境、做好移民工作的基础上，积极有序地开发水电。

中国西部水力资源开发处于干支流、梯级、多项目同时开发阶段，大多遵循“流域、梯级、滚动、综合”的开发模式。流域资源综合利用面临从单项目的多目标管理与调度转向流域多个业主、多项目、多目标水库群的建设与调度。流域性水电开发企业面对跨地域、多项目管理与未来水库群联合运行的挑战。中国长江三峡集团公司肩负“建设三峡、开发长江”的历史使命，在建设运行好三峡工程的同时，经国家授权开发金沙江下游河段水力资源。三峡集团提出了“建好一座电站，带动一方经济，改善一片环境，造福一批移民”的水电开发新理念；本着“长期合作、融入当地、兼顾平衡、互利共赢”的原则，力求处理好流域资源开发，移民安稳致富，生态环境保护以及地方经济社会发展的全局性、累积性和差异性；从河流和项目的全生命周期理论出发，注重从整体、综合的角度，兼顾两省界河的特点，统筹考虑项目规划、建设、运行全周期的开发体制、运行机制与利益关系；遵循“规范、有序、协调、健康”的管理原则，努力把金沙江下游河段水电开发项目做成工程建设好、环境保护好、移民安置好、综合治理好的西部水电典范工程。

从 2003 年溪洛渡工程筹建以来，国家主管部门和云南、四川两省各级党委政府高度重视工程建设和移民工作，采取多种措施，如期完成了施工区和截流围堰区的移民搬迁，创造了稳定的工程建设环境，确保了溪洛渡和向家坝水电站开工、截流等国家核准的工程控制性节点目标的顺利实现。目前，两个工程已经由开挖阶段转入大坝主体混凝土施工、地下厂房机电埋件和混凝土浇筑的阶段。库区移民工作也在国家主管部门和地方各级党委政府的重视下抓紧推进。

2 跨省界河电站资源开发管理体制

2.1 界河电站资源开发体制

大江大河干支流的水电开发基本形成了以中央电力企业为主，与地方政府投资机构和相关投资者共同组建流域开发的项目业主，发挥了企业和政府的积极性。金沙江下游河段溪洛渡和向家坝项目核准时，国家确定“该电站由三峡总公司负责建设和管理；今后，根据金沙江开发进程等实际情况，可吸收其他投资者，特别是四川、云南两省的投资机构，共同组建由三峡总公司控股的金沙江下游水电开发公司进行建设和管理”。

三峡集团以三峡工程发电资产的市场化、资本化运作形成了滚动开发长江上游水力资源的资本能力，通过三峡工程形成了大型水电工程建设管理和运行维护的核心能力。目前，三峡集团公司作为项目业主负责溪洛渡、向家坝工程的建设。

2.2 项目建设组织结构

三峡集团工程建设实行矩阵式管理，设立了金沙江开发公司筹建处（现建设管理局），负责流域开发综合性的公共关系、基地建设、后勤保障、技术支持；在工程所在地设立工程建设部，负责工程建设的质量、安全、进度、投资、环境保护和施工区封闭管理；设立移民管理局，负责金沙江移民实施和规划设计工作。金沙江各部门设立有综合职能部门和动态调整的项目管理部门，并建立了水文气象、试验、测量、金结检测、安全监测、环境管理和工程档案中心等专业技术中心。集团公司对项目投资、财务、人力资源、新闻宣传以及工程管理信息系统实行跨地域、多项目的集中统一管理。

2.3 梯级调度和建设管理基地布局

考虑到四个电站按两组电源分送国网、南网，结合地理位置又处川滇两省的特点，在成都、昆明分别设立了两个梯级调度中心，并与宜昌负责三峡、葛洲坝两个电站的梯调中心互为备用。

考虑到四个电站所处川滇两省以及昆明、昭通、凉山、移民四个地州市的情况，根据地理位置、坝址地形、对外交通等条件，从有利于减少征地和移民、有利于保护环境和水土保持、有利于电站建设生产与生活设施合理布置、有利于资源优化配置出发，确定四个电站工程建设与运行管理中心所在地。

梯调中心以及项目建设与运行管理基地布局遵循了尊重当地自然环境、有效配置资源、减少征地移民并有利于环保水保的原则，妥善平衡了两省四州市和坝址所在县的利益关系。

2.4 界河电站建设期税收征管体系

在川滇两省领导和税务部门的支持下，建立了界河电站建设期税收“两地联合组建一个征管机构、业主集中代扣代缴、按比例和属地分配税收”的联合征管体系，建立了年度和专题性的税费联合会议制度。跨省界河电站建设期税收征管体制的有效探索，有利于充分利用坝址区自然地形环境来合理布置枢纽建筑物与施工总平面，做到资源优化配置。

2.5 施工区封闭管理体制

结合大型水电工程施工区封闭管理经验，给工程创造一个良好的建设环境，云南、四川两省联合下文，确定了“业主为主、地方配合、依法管理、分区负责”的施工区封闭管理体制，并设立由工程所在地市州政府领导和项目业主共同参加的施工区管理委员会。地方政府在施工区内成立电站公安分局。

2.6 国家审计过程跟踪审计制度

三峡集团公司在已建立的内部审计和第三方社会审计制度的基础上，主动提请国家审计署对金沙江下游河段已经开工建设的溪洛渡和向家坝水电工程进行过程跟踪审计。国家审计署建立年度跟踪审计制度，溪洛渡已完成 2007 年、2008 年两个年度审计；向家坝已完成 2009 年度审计。通过国家审计，进一步规范了国家重点工程的建设管理，推动了枢纽工程和水库移民工作的有序进展。

3 水库移民工程

3.1 金沙江下游水库移民任务

西部大型水电项目建设正处于我国体制转轨、社会转型、政策与法规完善、利益分配格局调整、人们思想观念深刻变化的改革发展时期，移民搬迁安置面临的问题更加复杂。

金沙江下游四个电站共需搬迁安置移民大约 30 万人。向家坝库区主要淹没 2 个县城近 10 个集镇，规划移民约 12 万人，城集镇移民与农村移民基本相当。根据库区地形地质条件以及安置容量，向家坝

库区需要整体搬迁的 2 个县城，四川的屏山县由目前的金沙江边整体搬迁到岷江边，云南的绥江县整体后靠。其他三个电站库区移民主要是农村移民，其中溪洛渡规划移民约 6 万人，以农村为主。

3.2 水力资源开发的移民工作体制

国家水电开发移民工作体制是“政府负责、县为基础、项目法人参与、综合咨询”。地方政府是移民工作的责任主体，全面负责实施。国家实施开发性移民方针，使移民“搬得出，稳得住，逐步能致富”。项目业主在移民实施过程中处在参与地位，负责移民资金的筹措和拨付。在项目规划和建设阶段，要注重电站蓄水位和施工总布置的选择，通过综合比较，采取管理措施和技术措施，利用时间和空间差，少征地、少移民。

3.3 西部水力资源开发的移民资源环境

西部水电工程一般位于淹没耕地面积和迁移人口相对不多的区域，相比东中部地区，水库移民经济指标相对优越。我国西部地区国土面积大但耕地并不多，人均耕地面积不及全国平均水平，高产稳产良田占总耕地的 20%~30%，农民对江边良田好地的依赖程度更大。因此，开发水库虽然淹没耕地相对较少，但对移民生活、地区经济和社会发展影响很大。

流域梯级开发在空间和时间上的集中程度大、项目规模大，在一个区域内淹没土地和搬迁移民相对集中，农村移民安置所需的耕地及其后备土地资源更加紧张。农村移民在以大农业安置的原则下，需要采取外迁以土地安置或者多渠道安置方式。

3.4 金沙江下游界河电站水库移民特点

两省界河工程水电移民工作中妥善处理的主要问题有：两岸社会经济发展水平及相关税费政策差异，两岸农村移民安置环境容量和相关基础条件不同，安置方式对应的补偿补助费差异对安置意愿选择的引导，库区基础设施重建在标准、规模上超出“保持原规模、原标准，恢复原功能”原则以及两岸移民工作在安置方式兑现和工作步骤等协调平衡问题。

3.5 两省界河电站移民工作的基本做法

移民工作中要处理好两省界河电站建设的差异性。经过国家发展与改革委员会和能源局的协调决策，对于界河两岸差异要做到“两岸一致、协调平衡”。

“两岸一致”的内容：严格执行国家移民政策和补偿补助标准，严格执行移民规程规范；两岸移民个人财产补偿项目和价格一致；两省征收的相关税费在可研概算范围内按照两省确定的标准就高不就低；工程概算外由项目法人从电站出资的部分两岸基本一致；支持两岸经济社会发展和履行企业社会责任大体一致。在“两岸一致”原则下，各个电站的补偿补助标准依据当地社会经济发展水平，按照规程规范确定，并要做好上下库搭接县乡实物指标调查和补偿标准衔接平衡的问题。面对四个梯级电站连续滚动开发的现实，要积极研究国家水电移民条例下金沙江下游河段省际界河电站水库移民搬迁安置工作导则。

项目业主作为电站投资主体，既要维护移民政策的严肃性和连续性，又要实事求是地解决发展中的移民问题，保证投资效益。在实施中要充分依靠各级政府推动落实移民工作：一是移民实施规划要严格落实国家移民政策和规程规范；二是确实需要解决的政策之外的移民问题采取非移民政策的特殊措施来解决；三是由电站出资的超出工程概算的部分，技术论证，统筹协调，两省相当；四是执行重大设计变更程序。此外，实施中还要注重两省移民工作在控制性节点、政策宣传、移民培训等方面的协调。

建立有效的分层次移民协调机制。为了及时有效沟通和协调解决水库移民中出现的问题，在国家发展与改革委员会和能源局的主导下，基本形成了四个层次的协调机制：一是以国家发展与改革委员会、能源局牵头的由川滇两省项目业主、水电规划总院等参加的国家部委层面协调机制；二是云南、四川两省和三峡总公司的协调机制；三是项目所在地州市政府和三峡总公司及其移民管理局的协调机制；四是移民项目所在地县级政府与业主、设计单位、移民监理单位等各方参加的县级政府层面协调机制。在这

个协调体系中，首先强调实施过程中的执行问题立足基层和现场在县级政府层面解决；对于移民两省相关政策差异问题、建设规模和标准问题，以省级层面和州市层面协调为基础，兼顾两省平衡立足国家层面解决。水电规划总院在这些协调中发挥行业和专业审查咨询的作用。

3.6 落实“先移民，后工程”的要求

移民是一次社会资源和财富的重置过程，是发展的机遇，做不好也是发展的制约。溪洛渡和向家坝水库移民工作处于国家移民政策的调整时期。在移民实施规划方面的主要变化，就是在可研阶段由项目法人为主编制移民搬迁安置规划，实施阶段由地方政府负责编制移民实施规划的两阶段工作体制，转变为可研阶段由项目法人完成实施规划的一阶段工作体制。

溪洛渡和向家坝施工区和截流围堰的部分移民进行了临时过渡搬迁和应急保障搬迁。国家发展与改革委员会明确提出“先移民、后工程”的要求，是从根本上保证移民搬迁安置工作按规划先行有序进展，不搞过渡安置。实施中，需要从建设程序上处理好电站筹建和移民实施规划及项目核准的关系。对大型水电工程，宜从施工区移民和截流围堰区移民来试点。实施中需处理好搬迁和安置的关系，搬迁完成不等于安置到位，要做到移民宅基地和住所落实、生产安置手段落实、就业培训落实、养老保险及社会保障落实。

3.7 移民管理信息系统

移民管理信息系统以求在移民实物指标管理、移民投资结算管理等方面，依靠地理信息系统和网络信息技术，实现地方政府移民部门、项目业主、项目设计单位、移民监理单位，在一个系统平台上的跨地域管理，做到实物指标的合法、准确、唯一，做到移民投资和移民搬迁安置工作在完成量上、形象上的匹配，为移民搬迁安置后的生产生活发展提供评价基础。在地方移民机构的支持下，三峡集团公司组织开发了金沙江项目移民信息管理系统。目前，实物指标模块进入试点应用。

3.8 移民和地方经济发展的长效机制

金沙江下游河段水力资源的开发主要输送到东中部和沿海地区，要保持移民搬迁安置后生产生活的稳定与发展，需要建立西部水力资源开发利益分配的长效机制：一是在外送电落地电价具有竞争力的基础上，在电价中适当考虑地方经济社会发展和移民生产生活长远保障的利益机制；二是中央和地方从电站建设和运行中取得的财税更多地用于资源所在地付出土地代价的地方政府和移民；三是地方政府投资机构入股获得电站运行受益的分成，在地方投资机构方面要考虑省、州市和县级层面的受益；四是落实电站直供电政策，使直供电成为当地经济发展的基础动力；五是探索移民个体和水库淹没地地方政府使用电力的优惠措施。

4 枢纽工程建设管理

4.1 枢纽工程建设管理体制

溪洛渡和向家坝水电站枢纽工程建设严格执行“项目法人负责制、招标投标制、建设监理制、合同管理制”的原则，科学规划，合理分标。首先编制工程总体实施规划，对主体工程制订了“招标项目实施规划、设计与施工重大技术专题研究、招标设计、招标文件、施工图设计”的工作程序和审查审批制度，对前期筹建工程确定施工图招标。其次实施中要确保合理的勘测设计周期和招标设计深度，以减少合同实施中的变更；对建安工程、物资设备采购以及项目监理，采用“公开招标、公平竞争、公正评标”的方式，择优选择承建单位。最后根据招标项目的性质和特点，确定采用综合评标法和合理最低价等评标方法，依靠专家评标，集体决标。

4.2 投资管理和合同管理

对枢纽工程建立了“静态控制、动态管理”的投资控制体制。对静态投资，建立了国家核准概算、

业主执行概算、合同变更价管理和合同价管理的四级投资控制责任体系，明确了合同价管理和变更价管理的制度和程序。对动态投资，委托专业单位开展价格动态监测，提出价差调整方案，根据合同条款，适时进行价差结算。合同商务部分风险分担条款和报价单的设计适应了水电建筑市场和承包商组织结构与管理格局的变化形势。聘请专业机构开展了工程建设主要合同单价的定额测定和单价分析工作。

4.3 技术管理和科技创新

金沙江下游梯级电站因所处的地质地震背景和水文泥砂环境，一般具有“三高三大”的特点。“三高”是高坝、高边坡、高地震烈度；“三大”是流速大、地下厂房大、水轮发电机组大。实行总工程师技术负责和重大技术专家咨询；聘请国内外资深专家和科研院校对工程重大设计和施工技术问题进行研究和咨询；充分发挥施工科研的作用，做好关键技术的科技攻关。通过深化设计和进一步的模型试验，大坝、泄洪建筑物以及水库泥砂等关键技术问题得到了有效解决。

在实践中，向家坝工程深厚覆盖层沉井群、31 km 长皮带骨料运输系统、大跨度 A 字架平移式国产缆机系统、溪洛渡工程拱坝拱肩槽开挖、导流洞进出口围堰群爆破、工程截流、溪洛渡和向家坝大坝河床坝段复杂基础处理、大型地下厂房岩壁吊车梁开挖、大型地下洞室群开挖、地下薄壁结构常态混凝土施工及薄壁结构混凝土温控防裂等关键技术问题得到了有效解决。部分项目获得国家岩石力学与工程学会、国家爆破学会的一等奖。

4.4 坚持质量、安全“双零”管理目标，建设本质安全工程

坚持“双零”管理目标。在工程质量和安全管理上，牢固树立“零质量事故、零安全事故”的“双零”管理目标，要求用“零违章、零隐患确保零安全事故，用零缺陷确保零质量事故”。

建立了“1+5+2”的质量管理体系。1 是指由工程建设业主、设计单位、施工单位、监理单位等组成的工程质量管理委员会。5 是体现在内部质量管理和监督上，由施工单位“三检”制，监理工程师平行抽检，业主项目部和试验、测量、金属结构检测、安全监测、环境保护等中心的专业抽检与复核，专业质量总监技术把关，三峡总公司金沙江质量检查专家组年度和专项检查等构成。2 是体现在外部管理上，由常驻现场承担政府质量监督职责的水利部水利工程建设质量与安全监督总站和阶段性开展工作的履行国家工程安全鉴定职能的水电水利规划总院两方面构成。这个体系在溪洛渡和向家坝工程截流验收中发挥了重要作用。

为加强对金沙江水电工程质量的监督检查，三峡总公司于 2005 年 10 月成立以潘家铮、谭靖夷为顾问，陆佑楣为组长，张超然等为副组长的由国内同行业院士和资深专家组成的金沙江水电开发质量检查专家组，到工地开展年度例行检查，并根据工程建设的阶段性、专业性特点开展专项检查。金沙江各工程建设部设立了混凝土、灌浆、地质、地下工程等专业质量总监。

实行对标管理，树立质量和安全样板作业面。传承三峡工程的管理理念和管理措施，向三峡三期工程管理看齐，并在管理上要有所创新和进步。对混凝土施工、地下厂房岩壁吊车梁和溪洛渡大坝拱肩槽开挖确定了对标目标。通过同台竞技、技术比武、劳动竞赛、创优争先、考核奖励等活动，树立质量、安全文明的样板工程和样板作业面。

安全生产实现“三个转变”。安全生产实现从事后查处向事前防范，从集中整治向规范化、制度化、日常化管理，从人治向法治的三个转变；制定了《水电工程建设项目招标文件安全生产标准条款》，专列安全项目和投入，从技术和商务上规范全过程安全管理；重点做好建筑市场准入和农民工“统一用工、统一培训、统一食宿、统一劳保、统一体检”的五统一管理；聘请日本安全总监，建立了安全总监和专职安全员队伍，增加安全投入；主动接受国家安全生产监督管理总局和两省各级安全生产监督管理局的检查。

通过工点管理落实精细化管理。工程建设是一个持续的生产实践活动。工程管理要求在“PDCA”的循环中实行精细化管理：一是全员全过程全面的管理；二是过程管理；三是数据管理，依靠数据说话；四是持续改进。溪洛渡主体工程实行工点管理：对各项目建立工点责任制，明确施工、监理、设计和业主项目管理对口责任人，把项目质量、安全、进度和文明施工的考核落实到工点上，使项目管理的

重心落实到现场上。

4.5 风险管理和应急管理

水电工程是一个高风险的工程，项目管理的水平一定程度地体现在对工程风险的把握上。对每个合同项目，建立了各阶段动态风险分析制度，每年的工程安排重点是对风险的分析和防范。注重应急管理，分阶段进行工程建设危险源分析，编制了应急预案，并开展了演练；形成了建筑工程一切险、业主大型施工设备综合险及雇主责任险“业主统筹安排、择优选择承保、合理分配风险、跨区联合服务、兼顾各方利益”的保险模式。承担工程保险的各大保险公司也把工作重点放在风险辨识和风险防范上。

4.6 工程管理信息系统

金沙江水电开发的项目管理是跨地域、分职能、分项目、分层次的管理。工程进度、质量、安全、投资管理及财务结算，在业务链上实现业主、设计、监理、施工各方同平台无缝交接和有效认证。金沙江工程管理信息系统的主要原则是统一规划建设多项目、跨地域的网络通信系统；构建集团化办公平台，实现公共管理共享；规划专业系统和公共系统的数据结构，统一软件与接口；依项目概算和投资的完整性及时分摊与汇总。根据业务需求和管理要求，金沙江项目形成了“以 TGPMS 工程管理系统为基础平台和核心系统，工程协调工作平台为基础，各专业化子系统并举，合理扩展和外延”适应精细化管理的信息化体系。

5 环境管理

金沙江下游河段水电开发的库首是国家西部重工业基地攀枝花市，出库是四川省宜宾市和云南省化工生产基地水富县。入库有雅砻江汇流，出库有岷江汇流后入长江。梯级水库的出库是长江上游珍稀特有鱼类保护区。梯级水电开发环境保护主要面临两个挑战：一是枢纽工程建设区的环境问题，二是流域梯级水电开发的综合性和累积性环境问题。

5.1 枢纽工程建设环境保护

可行性研究阶段，开展了工程环境影响评价报告和水土保持方案研究设计工作。重点对长江上游国家级珍稀特有鱼类自然保护区、水库水温与水质、气体过饱和、陆生生态、施工区及移民安置区环境保护和水土保持等专题进行了充分论证和规划设计，系统地制订了可行的对策和减缓措施。对白鲟、达氏鲟、胭脂鱼等国家珍稀保护鱼类和特有鱼类的影响，采取枢纽工程结构与水库调度优化，珍稀特有鱼类保护区范围合理调整，开展鱼类生态史研究，采取人工繁殖、增殖和放流等综合措施进行适当的补救、补偿后，可将不利影响降到最低程度。长江上游珍稀特有鱼类国家级自然保护区已经开始建设，溪洛渡、向家坝增殖放流站已在向家坝工地建成，在 2008 年以来进行了多次珍稀和特有鱼种的人工放流。

实施阶段，分阶段开展了电站“三通一平”筹建工程环境影响评价、环境保护总体设计、流域梯级开发环境问题专题研究和环境保护措施变更设计等工作。主要做法有：建立并不断完善环境保护和水土保持管理体系，设立环保管理中心；制定《金沙江下游水电工程项目招标文件环境保护条款》，要求各项环保措施和对应的技术要求真正落实到招标文件的合同条款、设计图纸和工程量报价清单中，保证环境保护与水土保持工作投资到位，使用到位；制定环境保护工作的管理办法和考核体系；开展建设期环境保护重大技术专题研究和技术引进；开展环保、水保监测和污染物排放申报；按照“界河以流域机构为主、陆上按属地分区实施”的形式开展环境监测，综合发挥流域管理机构和地方行业专业部门的作用，全方位、全过程主动接受各级部门的监督检查和行业指导。

5.2 梯级开发环境保护对策研究

梯级开发环境保护对策重点研究梯级开发对水文情势、水温、气体过饱和、水质等对水生生物的累积影响。根据梯级开发低温水累积影响专题研究成果，溪洛渡水电站进水口已明确采取分层取水方案，并与美国大自然保护协会开展了金沙江下游向家坝以下至重庆段长江上游珍稀特有鱼类保护区生态流域