

紫坪铺工程建设与管理回顾

李 洪

(四川省紫坪铺开发有限责任公司,四川 成都 610091)

摘要:紫坪铺工程是成都市最重要的防洪屏障和饮用水源地,其地理位置特殊,地质条件复杂,建设受特定历史背景和社会经济发展变革的影响,具有较为曲折和长期的历史,加之经受住了汶川特大地震的考验,成为业界和社会普遍关注的焦点。工程建成投产以来发挥出了巨大的经济和社会效益,但因原设计批复的下游反调节水库未建、500 kV 单回出线等多重因素影响,工程运行安全、供水安全和泄洪安全仍存在一定隐患。

关键词:紫坪铺;工程规划;建设历程;重要成就;主要问题

中图分类号:[TM622];TV;C931.1

文献标识码: E

文章编号:1001-2184(2018)04-0001-06

0 引言

建国初期,紫坪铺工程作为岷江流域规划中的一级,因地理位置优越、交通便利,施工条件较好,被选为该流域第一期开发工程。工程在未充分进行勘测设计和施工论证的情况下快速上马,后受工程地质条件复杂、施工技术和设备不足及中苏关系恶化等因素影响而停建。改革开放后,成都市工业用电、生活和环保用水等迅速增加,开发紫坪铺工程被提上议程。在详细的规划、勘测和设计之后,紫坪铺工程于2001年开工建设,2006年完建。2008年遭受汶川8级地震震损,后经修复与重建,工程功能恢复至震前水平。工程投入运行12年来,发挥出巨大的综合效益,但因受到原设计批复的反调节水库未建、电站设计为

500 kV 单回送出线路等的影响,工程运行仍存在隐患,亟待解决。

1 工程规划和建设历程

紫坪铺工程作为岷江上游茂县至都江堰市河段可综合开发项目,早在1954年就被规划为四级待开发项目;1956年,被确定为流域八级开发方案中的第七级;1958年,原八级开发方案改为七级,紫坪铺位列第六级;1960年,受国内形势变化影响,原七级开发方案调整为六级,紫坪铺位列第五级;1972年,该流域段又被提出五级和六级开发方案,紫坪铺均被划在鱼嘴电站的上一级;1986年,成都平原的工农业用水、用电需求日趋迫切,开发紫坪铺被再次提出。历次规划时间及参数见表1。

表1 紫坪铺枢纽工程历次规划时间与开发参数表^[1]

紫坪铺工程的 规划级数	规划时间	正常蓄水位 /m	利用落差 /m	水库容积 /亿 m ³		装机容量 /万 kW	保证出力 /万 kW	年发电量 /万 kW
				总库容	调节库容			
4	1954年	810	60	1.48	0.72	7.42	5.55	4.08
7	1956年	807	60	1.55		39	16.8	20.5
6	1958年	814	67	2.00	0.81	29	6.9	18.7
5	1960年	817	70	2.00	0.81	29	6.9	18.7
4	1972年	810	66	1.86	1.32	28.2	6.1	15.70
5	1987年	877	130	11.20	7.74	76	16.8	34.17

1.1 早期规划和勘测设计阶段(1954 - 1960)

1.1.1 规划过程

1954年,原西南水力发电勘测处及北京勘测设计院提出岷江上游河流规划的三个方案,其中

一个方案将紫坪铺工程列为岷江上游五级开发中的第四级^[1]。

1955年,北京勘测设计院(局)成立工作组开展岷江上游水力发电规划工作,提出岷江上游八级坝式开发方案。7月,苏联专家复勘后基本

收稿日期:2018-05-22

同意该方案,并提出紫坪铺为第一期工程的意见。年底,成都水力发电勘测设计院(局)成立,正式开展岷江上游河流规划工作,提出了堤坝式八级开发方案,推荐紫坪铺为第一期工程。

1956年4月,成都水力发电勘测设计局编制完成《岷江上游综合利用规划报告》,并于8月在北京经水电总局及电力工业部组成的有关专家组审查通过。同年,《岷江上游综合利用规划报告》经国家建设委员会正式批准,流域八级开发方案中的第七级电站紫坪铺水电站,被选定为开发岷江上游的第一期工程^[2]。

1.1.2 坝址初选与建设情况

工程初设的勘测设计工作分别于1956年夏秋季开始。紫坪铺电站的开发目标以发电为主,大坝设计为混凝土重力坝,最大坝高93 m,设计正常高水位814 m,坝前水头67 m,库容2亿m³,装机容量为4×72.5 MW,第一批机组计划于1962年末投入运行。大坝左岸是非溢流坝,右岸是混凝土溢流坝,坝后式厂房位于左岸。坝区全长约2.5 km,共选择4个坝址进行比较(图1)。第一坝址位于现紫坪铺大坝附近,第二坝址位于现冲砂洞出口附近,第三坝址位于现1号泄洪洞出口处附近,第四坝址位于白沙河口附近(图1)。

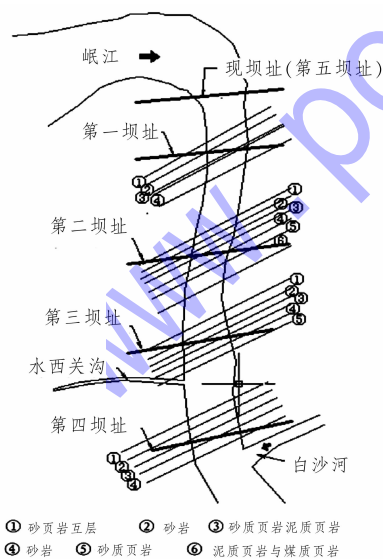


图1 紫坪铺水电站规划坝址示意图

初步地勘分析认为,4个拟定备选坝址中,第三、第四坝址在地质、地形上不如第一第二坝址好;第一坝址的坝基岩体质量、软弱夹层处理、坝基下游消能及建坝投资上均优于第二坝址。1956

年11月,成都水力发电勘测设计院提出选坝报告,选定第一坝址为紫坪铺电站坝址,使勘探工作能在已选定的第一坝址上逐步深入^[3]。12月,原电力工业部组织了紫坪铺水电站选坝委员会,在苏联专家帮助下选定第一坝址作为下一步勘测设计施工对象。1957年审查初步设计阶段报告时发现,在选定的第一坝址下游不远处可能有断层存在,地质构造上对大坝安全不利,建议跟第四坝址作进一步比较。1958年6月初,水利电力部勘测设计总局在北京组织了一次有苏联专家参加的会议,再次对坝址、坝高、坝型问题进行了审查,最后确定在第一坝址修建水头67m的混凝土重力坝。^[4]

1956年第4季度,紫坪铺水电站建设的准备工作开始;1958年第2季度,主体工程开工,年底大江截流成功。1959年5月,一场暴雨冲垮了建设中的大坝,后因中苏关系恶化,苏联专家撤走及其他因素影响,紫坪铺水电站于1960年停建。

1.1.3 主要面临的问题

在紫坪铺水电站建设施工过程中,发现的工程地质条件比设计和开工时的情况要坏得多,在中国水利电力部工作的苏联专家组,受水利电力部和水利水电建设总局的委托,于1958年8月18日至25日召开会议研究枢纽工程地质条件、坝高、坝型、坝址、施工组织等方面遇到的难题。

苏联专家组认为,紫坪铺坝区的工程地质条件极为复杂,构造断裂为数众多,且存在新地质构造现象。由于剧烈的构造作用,坝基的岩体十分支离破碎,强度大大减低^[6],需根据新的地勘资料再次复核坝区地震烈度;开挖揭露的坝基岩体质量不能满足修建高混凝土重力坝的要求,结合国民经济对修建67m水头高坝的需求,特别是选择土石坝可以节约缺乏的水泥达30万吨,这对中国完成水电建设总的计划来说具有重要意义^[6],建议选择土石坝坝型;考虑在第一坝址已进行了围堰、导流明渠和大坝基坑开挖施工,如将坝址由规划中的第一坝址转移到第四坝址,则将放弃已投资1000万的前期工程,损失重大,转移坝址的经济合理性需继续深入研究;建议修整施工道路、改扩建桥梁、提升混凝土制拌能力等来确保工程施工进度。

1.2 复建可行性、初步设计研究论证阶段(1984-2001)

随着国民经济的发展,灌溉和综合用水的矛盾日益突出,八十年代中期,在沙金坝一带即目前称为第五坝址处,修建高土石坝的设想被提出。

1984年4月,水利电力部将岷江映秀至灌县河段规划任务下达给四川省水利电力厅,同年11月水电建设总局以(84)水建计字第164号文进一步明确紫坪铺水利枢纽的规划设计工作由四川省水利水电勘测设计研究院(以下简称“四川院”)承担,地勘工作由成都勘测设计研究院(以下简称“成都院”)负责^[5]。

河段规划从1985年全面展开。1986年10月《岷江映秀至灌县河段规划报告》编制完成。1988年3月水电部和四川省政府在都江堰市共同主持了该规划报告审查会,会后省政府以川府函(1988)125号文将《岷江映秀至灌县河段规划报告》和《审查意见》报水利部。年底,水利部([1988]水规55号文)批复了该报告。1989年3月四川省水利电力厅于在规划报告基础上编制了《四川省都江堰紫坪铺、鱼嘴枢纽工程项目建议书》,并会同四川省计经委报水利部和国家计委。

根据进一步的勘探分析后认为,受F3断层及地形条件的影响,原规划的四个坝址中,一、二、三坝址均不如四坝址有利于枢纽布置。在可行性研究阶段放弃了这三个坝址,保留四坝址与五坝址进行精度比较。经过同精度技术经济比较:五坝址有利于枢纽布置、投资较省、施工期较短,发挥经济效益较快,决定推荐五坝址(图1)。1989年12月和1990年4月,紫坪铺水库工程环境影响报告书和可行性研究报告编制完成。1990年7月,水利水电规划设计总院(以下简称“水规总院”)分别对上述两个报告进行了预审和审查,同意推荐五坝址和当地材料坝坝型。1991年4月,国家环保局以(91)环监字150号文批复了《环境影响报告书》;11月,水利部(水规[1991]13号文)批复了可研报告和审查意见。

1993年4月,按照基本建设程序,四川省水利电力厅和四川省计经委向国家计委报送了紫坪铺水库可行性研究报告。1994年4月,紫坪铺水库工程的初步设计报告编制完成,1995年5月水

规总院进行了审查并将审查意见报水利部。2000年初,国家计委(计农经[2000]173号文)向国务院报送了《国家计委关于审批四川岷江紫坪铺工程可行性研究报告的请示》。

2000年3月2日,国务院办公厅第60次会议讨论通过《关于审批四川岷江紫坪铺工程可行性研究报告的请示》,22日国家计委以计农经(2000)300号文下达了《印发国家计委关于审批四川岷江紫坪铺工程可行性研究报告的请示的通知》,紫坪铺工程正式被国家批准立项,工程建设进入施工准备阶段。6月,四川院重新编制了补充初步设计报告,12月水规总院审查了该报告,水利部(水总[2000]612号文)批准了报告。当年,紫坪铺工程被列入国家实施西部大开发首批开工建设的十大标志性工程、国家和四川省“十五”基础设施建设重点项目。

2001年1月,国家环保局以环审(2001)5号文批复了《四川省岷江紫坪铺工程环境影响评价报告书》。2月,国家计委(计投资[2001]222号文)下发了《国家计委关于2001年第一批基本建设新开工大中型项目计划的通知》,将紫坪铺工程列为国家2001年第一批基本建设开工项目计划。

1.3 工程建设阶段(2001~2006)

紫坪铺工程设计为混凝土面板堆石坝,最大坝高156m,属超高面板坝(坝高大于150m),大坝抗震设防标准为VIII度。水库正常蓄水位877m,死水位817m,总库容11.12亿m³,装机容量为4×190MW。大坝右岸依次为非常溢洪道、4条引水发电洞、冲砂洞、2条泄洪洞,电站厂房布置在坝后靠右岸。

1.3.1 建设过程

2001年3月29日,紫坪铺工程正式开工。2002年11月23日,实现大江截流。2003年3月,大坝开始填筑。2004年5月1日,大坝I期面板开始施工,9月27日1号导流洞下闸封堵成功,11月17日2号导流洞左、右两孔启闭机及封堵门通过安装验收,试运行情况正常,具备下闸条件。2005年6月,大坝填筑至880m高程,9月30日,2号导流洞下闸,水库开始蓄水,11月首台机组(4号机组)发电。

2006年5月底,最后一台机组(1号机组)通过启动验收。水库淹没影响涉及的3.64万移民同步迁建安置完成。6月28日,大坝、溢洪道、2号泄洪排沙洞单位工程通过投入使用验收。自此,紫坪铺工程开始全面发挥灌溉、供水、发电、防洪和环境保护等综合效益。至12月底,工程基本完工。

1.3.2 主要技术难题与设计优化

(1)复杂地质问题研究与高边坡治理

紫坪铺工程地理位置特殊,地质条件复杂。右岸条形山脊为向斜结构,断层、层间剪切破碎带及裂隙极为发育,风化卸荷作用强烈,且富含瓦斯地层和煤层,岩性软弱,存在突出的高边坡稳定性问题。通过对枢纽区10个主要高边坡进行深入研究和设计优化,结合施工开挖建立了紫坪铺地层的岩体分类标准和边坡及建筑物基础验收标准,采用多种方法对其稳定性进行评价和预测,设立监测预警系统,修正和优化设计参数,为卓有成效地处理好高边坡打下基础。

(2)地下洞室群围岩稳定性和废旧煤洞煤窑的调查处理

紫坪铺工程2条泄洪洞,冲沙洞,1-4号引水发电洞共计7条隧洞横穿右岸条形山脊,将遭遇6条(L9-L14)剪切破碎带,其中泄洪洞穿越F3断层(宽80-100m)。坝区煤洞开采历史长达300年,废旧煤洞多,揭示43个煤洞,对洞室群稳定具有非常不利的作用。为此开展了以瞬间电磁法结合前期地质地表探察成果和开挖过程的煤洞揭示工作,发现40余条在洞室布置区的废旧煤洞,相互连通,危害较大的穿越趾板和帷幕线的贯穿性煤洞10余条。对洞室群和煤洞针对性地进行了分析评价和处理。

(3)坝前堆积体监测和处理

左岸坝前堆积体距引水系统进水口250m,距大坝618m,总方量3500万 m^3 。经研究,蓄水前该堆积体整体稳定,水库运行时整体稳定但安全余度少,灯盏坪和葫豆坪前沿一带处于不稳定状态。库水位从877m快速消落至817m并遭遇Ⅶ度地震时,其前沿土体(约100余万)将失稳,同时带动上部土体失稳变形,失稳后将严重威胁工程安全。采取结合上游围堰对堆积体进行压坡

脚处理,并进行工程监测和评价,取得显著成效。

(4)紫坪铺水情自动测预报系统建设

紫坪铺工程下游的都江堰灌区及成都市属于四川省最重要、经济最发达地区,保障水库运行安全,确保下游防洪安全极其重要。工程建立了采用卫星通讯为主的自动化水情测报系统,尽量缩短上游实时水雨情数据的采集和传输时间,以完成实时数据联机作业预报,为工程防洪创造有效时间,同时将气象预报纳入水情预报,设置坝区气象雷达,通过气象定量预报达到增长洪水预报有效预见期的目的,为水库安全运行提供良好的基础。

(5)枢纽布置、单体建筑物与施工技术优化

先后开展了覆盖层建超高面板堆石坝、趾板帷幕灌浆、填筑料料源优化和试验等大坝的设计优化,泄洪洞进水塔设计优化,减少混凝土面板变形裂缝研究,对大坝面板周边缝变形和止水效果的试验和研究,泄洪洞高速水流的水力学模型试验研究和设计体型优化(泄洪洞最高流速45m/s),机组设计控制参数研究(紫坪铺机组具有运行水头变幅大的特点,最大水头和最小水头之比 $Kh = 132.76/68.4 = 1.94$ 为国内罕见),工程地质、开挖、基础处理和高边坡工程处理方案与对策研究,防渗与排水,坝体施工及分期、水流控制与防洪渡汛,水库地震台网监测设计等多项专题研究,并借助于技术发展的多种手段,实践表明成效非常显著。

1.4 震后抗震抢险和灾后恢复重建阶段(2008~2011)

2008年5月12日汶川发生的里氏8.0级特大地震是新中国成立以来破坏力最大的一次地震。紫坪铺大坝距震中约17.7公里,地震时库水位828.74m,坝址区地震烈度超过IX度,远超大坝抗震设防标准。紫坪铺大坝成为世界上第一座经受高烈度地震检验的超高混凝土面板堆石坝。大坝等枢纽工程建筑物在地震中遭受一定程度的震损震害。

在党中央、国务院和四川省委省政府的坚强领导下,在社会各界的大力支持下,项目法人紫坪铺开发公司(以下简称“公司”)通过三年不懈努力,圆满完成了抗震抢险和灾后恢复重建任务。

1.4.1 抗震应急抢险与修复

地震后,公司第一时间开展应急抢险和生产自救,及时组织国内科研、设计、施工单位专家进行现场评估和大坝震后修复方案的咨询论证。

震后10分钟,立即恢复了向成都供水($60\text{ m}^3/\text{s}$),基本满足了下游生产生活用水需求,避免了可能因断水引起的更大混乱;震后30 min,成功黑启动电站机组,及时解决了厂区内的自供电,为设备抢修、开启闸门提供了电源保障,部分缓解了水位上涨给大坝造成的威胁;震后24小时,开启冲沙洞向下游泄水($300\text{ m}^3/\text{s}$),震后27小时,开启2号泄洪洞向下游泄水($500\text{ m}^3/\text{s}$),至此,泄洪洞和冲沙洞下泄流量之和已大于水库入库流量($600\text{ m}^3/\text{s}$),水位上涨给大坝造成的威胁完全化解;震后5天,电厂4台机组全部并网发电,发电流量达到 $800\text{ m}^3/\text{s}$,大于水库震后入库流量。

2008年5月下旬,四川院编制完成《紫坪铺工程震后大坝面板修复设计报告》,6月6日水利部(水总[2008]174号文)批复该报告。为确保工程安全,公司先后安排了大坝面板应急修复、边坡抢险,泄洪洞闸门及启闭设备等应急抢险项目施工。10月,大坝面板应急修复完成,大坝恢复设计挡水标准。12月底,应急抢险项目施工完成。

2009年3月,水规总院组织的震后应急除险工程安全评估。同年9月,通过水规总院组织的震后安全鉴定。

1.4.2 灾后恢复重建

2008年6月至2010年4月,《紫坪铺工程灾后恢复重建初步设计报告》(以下简称《初设报告》)批复前,为满足大坝、泄洪建筑物的度汛要求和水库蓄水需要,公司相继优先组织实施了包括大坝防浪墙及坝顶公路拆除重建、坝后坡修复、泄洪排沙洞进水塔顶闸房拆除重建、2号泄洪洞固结灌浆及过流面裂缝化灌、水情自动测报系统、厂房桥机等涉及防洪度汛安全项目的恢复重建。

2008年10月国家发改委(发改厅[2008]2688号文)印发了汶川地震灾后恢复重建基础设施专项规划,将紫坪铺水库纳入水利重建规划项目,属“次高危”水库。11月,四川院受公司委托

组织开展紫坪铺工程地震安全性评价、抗震设计复核和加固设计工作。次年10月,四川院和成都院编制完成了《初设报告》并通过审查。2010年5月水利部(水总[2010]147号文)批复了《初设报告》,工程建设转入灾后恢复重建阶段。按照批准的设计,2010年6月灾后恢复重建主体项目开工,2011年9月灾后恢复重建工程全部完建,并通过项目法人组织验收。

2 工程建设与管理取得的重要成就

为加强紫坪铺水库建设领导,1997年8月,四川省政府(川府函[1997]285号文)成立了四川省紫坪铺水库建设领导小组,同年,四川省政府第72次常务会议决定成立四川省紫坪铺水库建设管理局。1998年10月,四川省政府(川府函[1998]578号文)批准成立了紫坪铺开发公司,与紫坪铺水建设管理局并行运作,同时成立了紫坪铺工程前期工作筹备小组。2001年9月,四川省政府决定成立紫坪铺工程建设指挥部,负责工程建设的领导和建设中重大问题的协调处理。2006年,紫坪铺工程从建设期转入运行期。

工程投运12年来,公司始终按照“电调服从水调,水调支持电调”的调度运行原则,科学管理,精心调度,较好地发挥了工程综合供水、防洪、发电、生态环境保护等综合效益。

2.1 提前完成工程建设任务,工程质量经受住汶川地震的考验

工程建设过程中,公司精心组织,精心实施,攻克了复杂地质条件下“三高两超”(超高坝、高流速、高边坡、超深闸门、机组运行水头超宽变幅)系列重大技术难题,平稳有序地完成了库区3.5万移民搬迁安置,于2006年5月提前半年完成国家下达的工程建设项目。汶川特大地震中,紫坪铺大坝经受住了强震考验,成为世界上唯一一座距离地震震中最近、经过8级强震严峻考验的超高混凝土面板堆石坝,在中国和世界坝工史上写下了光辉的篇章,被国际大坝协会授予“国际里程碑面板堆石坝特别工程奖”,入选全国土木工程行业“百年百项杰出土木工程”。

2.2 全面发挥工程综合效益,促进成都平原经济发展

截至2017年年底,紫坪铺水库累计向下游

供水 1 622 亿 m^3 ; 枯水期和早期, 累计增加供水 96.5 亿 m^3 , 有效缓解了下游旱情和成都市的用水紧张状况; 春灌期向下游增加供水 36.2 亿 m^3 , 为都江堰灌区粮食丰产稳产打下了坚实基础; 实施应急调水 10 余次, 累计调水 3.8 亿 m^3 , 有效协助处置了下游多起水污染事件; 每年枯期向成都市提供环保用水流量 20 m^3/s 以上, 年增加供水 3 亿 m^3 , 确保了府南河连续 12 年枯期不断流, 极大改善了城市水环境质量。累计拦蓄 60 余场洪水, 拦蓄洪量 70.8 亿 m^3 , 最大消减洪峰 3 600 m^3/s , 大大减少了下游地区洪涝灾害损失。紫坪铺电站累计发电 364 亿度, 为四川经济发展提供了大量优质清洁能源。防灾减灾方面, 除汶川地震外, 还成功抗御了 2006 年四川百年不遇特大干旱和 2013 年区域“7·9”特大暴雨洪涝灾害, 为区域经济发展、社会稳定、粮食生产安全和防灾减灾作出了重要贡献。

2.3 夺取抗震救灾重大胜利

“5·12”地震发生后, 公司第一时间启动地震灾害应急抢险救援预案, 及时化解了岷江断流可能给成都地区社会稳定带来的巨大风险, 缓解了四川电网一度出现的电力供应紧张状况, 全面解除大坝安全风险, 顺利完成了工程灾后恢复重建重任。紧急协助救援部队开辟紫坪铺水库通往灾区的水上生命通道(通过水库转运救援人员与受灾群众 4 万多人), 在四川抗震救灾中发挥了至关重要的作用。

3 工程运行中存在的主要问题

一是由于紫坪铺工程原设计批复的下游反调节水库未建, 工程缺乏专用供水通道, 枢纽供水功能不完善; 二是由于紫坪铺电站设计为 500 kV 单回送出线路, 线路出现事故、故障和检修时, 无法通过机组而只能开启高流速泄洪设施向下游供水; 三是“5·12”震后电站 GIS 设备尚未检修, 一旦出现故障, 检修期间亦无法通过机组向下游供水, 只能利用泄洪设施长时间向下游供水。加之受“5·12”汶川地震及震后次生灾害、流域水文情势和电力市场供需形势变化等多重因素影响, 高流速泄洪隧洞被作为供水设施频繁用于向下游供配水, 其设计运行条件发生改变, 洞室衬砌在高速水流的作用下已经受到一定程度损坏, 给工程

运行安全、供水安全和泄洪安全带来隐患, 亟需采取工程措施予以解决。

近年来, 公司同紫坪铺工程原设计单位四川院反复研究, 共同提出了增设紫坪铺输水隧洞及配套工程的解决方案。通过新建该工程, 进一步完善紫坪铺枢纽的供配水功能, 提高供水保证率, 提高工程的可靠性和调度的灵活性, 确保大坝防洪安全, 保证工程长期安全运行。

4 结 语

紫坪铺工程是成都市最重要的防洪屏障和饮用水源地, 其地理位置特殊, 地质条件复杂, 建设受特定历史背景和社会经济发展变革的影响, 具有较为曲折和长期的历史, 加之经受住了汶川特大地震的考验, 成为业界和社会普遍关注的焦点。工程建成投产以来发挥出了巨大的经济和社会效益, 但因原设计批复的下游反调节水库未建、500 kV 单回出线等多重因素影响, 工程运行安全、供水安全和泄洪安全仍存在一定隐患。建设高质量的紫坪铺工程, 并让其运行地更加安全、高效, 是公司重大的历史责任, 相信在各方的支持和共同努力下, 完善枢纽功能, 促进岷江上游生态屏障建设, 构建成都平原安全用水保障体系, 紫坪铺工程定会在新时代治蜀兴川战略中为四川经济、社会、生态环境可持续发展做出更大贡献。

参考文献:

- [1] 黄永绥. 岷江上游水电规划的启示——岷江上游水电规划总结[J]. 水电站设计, 2007(02): 35-39.
- [2] 黄健. 岷江紫坪铺水电站初步设计阶段的勘探工程[J]. 水力发电, 1957(21): 40-42+34.
- [3] 王世康. 岷江紫坪铺水电站正加紧进行河床勘探工作[J]. 水力发电, 1957(10): 48-51.
- [4] 关于紫坪铺水电站坝高坝型问题的讨论会[J]. 水利水电技术, 1959(02): 3.
- [5] 四川省水利水电勘测设计研究院. 四川岷江紫坪铺工程初步设计报告[R]. 成都: 四川省水利水电勘测设计研究院, 2000.
- [6] 苏联专家组对紫坪铺水利枢纽设计和施工问题的意见[J]. 水利水电技术, 1959(02): 14-18.

作者简介:

李 洪(1963-), 男, 河南新野人, 四川省紫坪铺开发有限公司党委书记、董事长、总经理, 教授级高级工程师, 博士, 从事水利水电工程开发建设和运行管理工作。

(责任编辑: 卓政昌)