

重点水电工程报道

## 共筑锦屏梦 双星耀若水

——雅砻江锦屏水电站全面投产发电回眸

姚国寿, 罗崇伸, 张蕴华, 于步亚

### 高峡平湖连双星

公元2014年11月29日,四川水电开发史上将记下这一天。

这一天,在四川西部崇山峻岭中的锦屏山下,在古称若水的雅砻江上,世界罕见的被称为“双子座”的锦屏一、二级巨型水电站翻开了新的一页。

早晨,初冬的阳光洒满雅砻江河谷。站在锦屏一级电站305米世界最高拱坝上望去,坝前一江绿水,波光粼粼,深不可测,一直延伸到远处峡谷的天际线之中。坝后不远处,在一级电站发完电的江水,通过锦屏山中4条长达16.67公里、洞径12.4米的巨大引水隧洞,又到二级水电站做功。安装在一、二级水电站地下厂房的14台单机容量60万千瓦的巨型水力发电机组,正飞速运转,发出的强大电流通过架设在锦屏山上的特高压输电线路源源不断地送到1900多公里外的我国华东地区。

上午10时,雅砻江流域水电开发有限公司和成勘院、华东院、西北院、贵阳院、中南院、长江委、葛洲坝工程局、水电七局、水电十四局、水电三局、水电四局、水电五局、江南公司、振冲公司、中铁二局、中铁十三局、中铁十八局、中国能建集团、武警水电一总队、东方电机公司、哈尔滨电机公司、上海福伊特水电设备公司等参建单位的领导与员工代表一起在二级水电站厂房内举行了简短的雅砻江锦屏水电厂站全面投产发电仪式。

雅砻江公司总经理陈云华在会上正式宣布:“雅砻江锦屏水电站全面投产发电!”

收稿日期:2014-12-18

雅砻江公司副总经理、锦屏建设管理局局长王继敏告诉记者,锦屏水电站是一个“双子座”电站,由拥有世界最高拱坝的锦屏一级水电站和拥有世界最大规模水工隧洞群的锦屏二级水电站组成,它是国家西部大开发标志性工程和国家“西电东送”骨干电源点,是中国已经建成的装机容量第三、“一厂两站”最大的水力发电厂,是国内同规模水电站中经济效益较好、淹没耕地和动迁人口较少、具有年调节能力、梯级补偿效益最明显的电站。

锦屏一级水电站是雅砻江干流下游开发的龙头电站和雅砻江下游电站开发建设的关键性工程。电站于2005年9月8日通过国家核准,2005年11月12日正式开工,2006年12月4日提前两年实现大江截流,2009年10月23日开始大坝浇筑,2012年11月30日开始蓄水,2013年8月30日实现首批2台机组投产发电,2013年12月23日大坝全线浇筑到顶,2014年7月12日比可研计划提前8.5个月实现全部投产发电。2014年8月24日首次安全顺利地实现蓄水至正常水位,大坝孔口和泄洪洞已经经过了正常蓄水位的泄洪考验。

锦屏二级水电站是雅砻江上水头最高、装机规模最大的巨型水电工程,同时也是四川省境内除界河外最大的水电工程。锦屏二级于2006年12月通过国家核准,2007年1月30日正式开工,2008年11月30日大江截流,2009年12月26日开始闸坝浇筑,2011年11月8日4条引水隧洞全面贯通,2012年12月30日实现“一洞双机”投

产发电目标,2014年10月12日引水隧洞工程全面完建,2014年11月26日比可研计划提前4个月实现全部投产发电。

王继敏讲,1965年,在国家“建设三线”的号召下,当时的水电部把开发锦屏水力资源作为重点项目,组织了国内众多水电工作者奔赴锦屏,开展勘测、设计和科研工作。2003年,新世纪的锦屏建设者,胸怀水电报国之大志,肩负“贡献清洁能源、服务国家发展”之使命,以浩荡之势,挺进这片沉寂的深山,开启了锦屏水电站波澜壮阔的建设历程。从锦屏工程艰苦卓绝的前期工程建设,到2008年主体工程建设的转换年、2009年攻坚年、2010年突破年、2011年决战年、2012年决胜年、2013年丰收年,再到今年2014年收官年,锦屏水电站的建设已经历经10余个春秋。

10年来,149家参建单位,数万名建设者,本着对国家、对历史、对中国水电事业高度负责的精神,栉风沐雨,风餐露宿,团结拼搏,无私奉献,攻克了深切峡谷复杂地质条件下世界最高的超300米高拱坝建设过程中的大坝温控防裂、世界最大规模的高边坡处治、世界最大规模的拱坝地基处理、世界最难的极高地应力环境大型地下厂房洞室群围岩稳定与变形控制,以及锦屏二级深埋长大引水隧洞施工中的极强岩爆、高压大流量突涌水、洞室群多工作面高强快速施工组织、高水头、大容量机组设计、制造及安装等一个又一个世界级技术难题,创造了一个又一个世界奇迹。建设期间,锦屏水电站接连创造了二十项世界第一、二十项国内第一和水电行业“二十三个首创”。目前,已获国家科技进步奖4项,省部级科技进步奖40余项,并取得了近百项发明专利和工法。

10年来,锦屏水电站累计开挖土石方开挖4889万方,累计完成混凝土浇筑1461万方,相当于0.5个三峡工程的工程量;累计完成钢筋制安45.8万吨,相当于1.5个三峡工程的工程量;累计固结灌浆和帷幕灌浆678万米,相当于9个三峡工程的工程量。自首批机组投产至今的23个月里,累计完成了14台共计840万千瓦的机电安装奇迹;目前所有投产机组运行状况优良。锦屏电站机组投产数量之多、投产密集、规模之大、强

度之高,工程质量和机组运行情况之好,在中国水电建设史上都属罕见。

10年来,面对工程施工难度高,施工任务艰巨,质量控制工作量大,难度高等难点,广大建设者通过一系列的质量控制手段,严把质量关口,实现了实体工程质量优良的目标。锦屏一级蓄水至1880米高程后,大坝径向、切向位移变化均小于设计控制指标,渗流、渗压监测值均小于设计预控值,左、右岸边坡稳定,枢纽工程工作性态正常;近坝库岸和库区安全可控。4条长16.67公里、衬后洞径约12米的引水隧洞,几乎堪称滴水不漏。锦屏水电站投入运行的14台机组其出力、效率、振动、摆度、瓦温等关键指标优良,前期投入运行的12台机组均实现“百日首稳”目标;最后投入运行的2台机组也正在向这一目标迈进。锦屏工程的质量经受了实践的最终检验,得到了行业专业的高度肯定,在中国的水电工程建设中树立了典范。锦屏一、二级水电站成为中国水电版图中两颗灿烂的星星。

面对如此辉煌的成绩,陈云华动情地说,锦屏水电站到今天能够顺利建成,不是我作为总经理有多大能耐,也不是雅砻江公司一家的功劳,而是参建各方共同努力的结果。早在锦屏电站建设之初,雅砻江公司董事长王会生就提出了“共同的锦屏、共同的责任、共同的荣辱”的建设理念,各参建单位热烈响应,精诚协作,攻坚克难,忠诚奉献,终于取得了锦屏工程全面建成投产这一来之不易的伟大胜利。

在当天下午举行的投产发电总结大会上,参建者讲述的一个个动人的故事,让我们看见了锦屏水电站建设不平凡的历程。

#### 锦屏山下寻梦人

雅砻江发源于青海,穿过横断山脉,由北向南,在凉山州盐源、木里两县交界处遇锦屏山的阻挡,掉头向北,在甘孜州九龙县绕过锦屏山北端,又回头向南,形成“几”字形长达150多公里大河湾。隔山对峙的“几”字体底部,直通距离约17公里,而水流落差却达300多米。如果在山脚开通隧洞,引水发电,将会产生多么大的效益啊!

这个美好的锦屏梦,吸引了中国几代水电人

的目光和脚步。最先到锦屏寻梦的是中国电建集团成都院的工程技术人员,接着是电建集团华东院的工程技术人员。成都院负责设计锦屏一级水电站,华东院负责设计锦屏二级水电站。

成都院副总工程师周钟讲,锦屏工程前期勘测设计始于上个世纪50年代,那时到西昌还没有成昆铁路,只能乘车前往。勘测人员翻越锦屏山,爬过四十四弯、八十八拐,穿行于滑坡、悬崖、山峰间的羊肠小道。前期经历唐古栋发生特大山体大滑坡,发现深部裂缝影响建坝坝址,论证降低大坝高度的方案。艰苦的条件,恶劣的自然环境,让水电人付出了巨大牺牲。在1979年完成《雅砻江锦屏水电站开发方案研究报告》,1998年9月,完成了《四川省雅砻江锦屏一级水电站预可行性研究报告》,2003年9月完成《雅砻江锦屏一级水电站可行性研究报告》,通过可研报告审查,为绚丽的锦屏规划蓝图,为锦屏一级水电站工程的开工建设,奠定良好的技术基础。

进入21世纪后,成都院一大批有志青年,怀揣着建设西部大水电的宏图壮志,勇敢地投身于锦屏工地现场,在大河湾、牦牛山、景峰桥、解放沟、普斯罗沟、勘探平硐、深裂缝等到处留下他们的足迹。他们中的代表人物杨静熙,1990年毕业于成都地质学院,一直从事锦屏一级水电站的地质勘探工作,刚工作就来到锦屏,那时正是雅砻江卡拉至江口下游河段规划和锦屏一级预可行性研究报告时期,工作生活条件极其艰苦,住的是当地老乡养牲口的房子,不但味道大,而且跳蚤多,天天顿顿吃的是粉条、海带、土豆,白天上山啃冷馒头。勘探区内没有便道,灌木、杂草丛生,悬崖峭壁随处可见,那时出行交通靠走,通信靠吼,野菜干粮把肚补,人担马驮物资走。有次参加1920至1930米高程勘探与试验工作,杨静熙生病在身,仍坚持工作,完成了PD40-PD18连接平硐的编录工作,身体高烧实在坚持不下去了,被提前返回解放沟医疗室输液,结果由于身体太虚弱在输液时差点休克,让医生和同伴们虚惊了一场。象杨静熙这样的人物还有不少,许多工程技术人员扎根锦屏,勇于拼搏,默默奉献,他们是最值得敬佩的人。

锦屏山下寻梦人中最具代表性的当数中国水电泰斗、两院院士潘家铮等老一代华东院人。

2010年5月,潘家铮在为《四川水电史略》作《序》时写道:“开发世界少有的”三江“(金沙江、雅砻江、大渡河)水电富矿一直是我的梦想。20世纪六十年代,我也热血沸腾地带着一批‘江东子弟’从上海来到雅砻江江畔进行锦屏二级和磨房沟水电站的勘测设计,企图开发这一宝藏,却遇上‘十年浩劫’而梦断雅砻江。”此后,他对开发雅砻江水电魂牵梦绕,写下多首以雅砻江水电为题材的诗句。他生前曾说,“进入新千年后,我以垂暮之年再次来到金沙江溪洛渡、向家坝和雅砻江锦屏一、二级水电站工地旧地重游时,那宏伟的建设场面,先进的科学技术,朝气蓬勃的年轻建设队伍,已远远超出当年的梦想,使我热泪盈眶。”

华东院锦屏二级设代处的张洋讲,已故两院院士潘家铮为代表的700多位华东院人响应国家“建设大三线”的号召,毅然离开江南水乡,浩浩荡荡来到锦屏大河湾,开展锦屏工程的查勘和建设工作。

历经磨难,1969年,《四川省雅砻江锦屏水电站初步设计报告》终于在第一代锦屏人的生死考验中完成,执行任务的过程中,金树培、吴本波等多位工程技术人员长眠于锦屏的山水间。“大河湾之梦”,凝聚着所有和潘家铮一样的老一辈华东院人的付出与理想,开启了华东院和锦屏工程几近半个世纪的不解情愫。

直到上世纪八十年代末,锦屏水电开发才又迎来希望的曙光。华东院第二代锦屏人开始踏上这沉寂了二十年之久的大河湾。

为了更深入探明锦屏山地质构造,当时只是初出茅庐的单治刚、周垂一、周春宏等华东院地勘、设计人员,在全国劳模张一生等老一辈华东院人的带领下,攀绝壁,爬雪山,过险滩,再次和锦屏的高山峡谷展开了殊死搏斗,克服了无数的困难,创造了激励新一代华东院人的锦屏精神。

正是这些默默坚持的工作和默默坚守的人,为锦屏工程的再次上马打下了坚实基础。

当时光的脚步在坚守者的期待中缓缓步入21世纪之时,锦屏山终于苏醒。2000年初,华东



院与雅砻江公司领导进行了积极沟通,详细介绍了华东院在锦屏二级工程所取得的大量的研究成果,建议加快推进锦屏二级工程建设。这一建议立刻受到雅砻江公司领导的高度重视。在各方的共同努力下,2006年12月15日,锦屏二级水电站工程通过国家核准,2007年1月30日,锦屏主体工程正式开工建设。

然而真正的考验才刚刚开始。虽然“截弯取直”的益处不可尽数,但还是会存在争议,因为这里同时集中了隧洞挖掘史上几乎所有的世界级技术难题:强岩爆、突涌水、岩溶、软岩、长距离通风……,任何一个槛跨不过去都会让之前所有的努力付诸东流。

经过反复研究,华东院提出了“引水隧洞施工采用提前建设施工辅助洞”的方案。通过提前建设辅助洞,起到引水隧洞超前勘探的作用,还可以为长引水隧洞的施工开辟新的工作面,更重要的是它将极大地缩短锦屏山东西两端的交通联系,一举数得。

辅助洞的开挖毫不留情地暴露了锦屏山复杂的地质环境。随着埋深的不断增大,各种问题纷至沓来,尤其是强岩爆和高压大流量突涌水,不仅严重阻碍着工程进度,也严重威胁着人身安全。

设计人员不惧风险,同参建单位一起进洞测量、素描、试验、研究方案,以张春生、何海源、周垂一等为代表的领导和技术专家举着竹竿,牵着绳子,趟着齐腰深的水钻进隧道深处查看出水情况,该院副总工周垂一更是在潮湿阴冷的隧洞工棚里住了一个多月。

站在解决锦屏工程世界级技术难题的平台上,华东院在深埋地下工程设计、深埋长隧洞地质勘探技术等方面均取得了长足进步,在与业主、参建单位的紧密协作和配合下,一项项新工艺、新技术在这里孕育而生,并发展进步;一个个新方法、新手段在这里综合利用、并收获成效。

2011年注定是丰收的一年,4条引水隧洞和1条施工排水洞相继贯通,成功实现“一年五通”!世界最大规模地下洞室群在这里诞生!

虽然奇迹已经出现,但确保2012年底按期发电仍然是一个十分艰巨的挑战。

华东院从一开始起就明确将“负责、高效、最好”的企业精神落实在锦屏工程建设上,该院地质、施工、引水、厂房等20多个专业长年以锦屏设代处为家,在一线从事工程设计、勘测、科研等方面的工作。

锦屏项目副经理、华东院副院长侯靖在主体工程刚开工的两年时间里,一半时间扎根在前方,从现场方案决策,到设代处日常管理,凡事亲力亲为。项目设总、设代处长陈祥荣,经常牺牲休息时间总结技术研究成果,协调好技术生产。从成立之日起,加班加点早已成为所有设代人员的家常便饭。

当引水隧洞TBM掘进受阻、整体工期严重滞后时,华东院人顶着压力,提出开挖“辅引施工支洞”的建议;当规模浩大的灌浆量足以使发电计划严重推迟时,华东院人用半年的时间论证分析进而全面优化灌浆方案;当8.30泥石流灾害使得实现年底发电目标前途未卜时,华东院因地制宜的优化调整了引水系统充排水试验和机组调试计划方案,节省了一个月的宝贵时间。

这一项项优化成果得到有效检验:2012年10月18日,1号引水系统一次充水成功,12月底首批两台机组提前实现“一洞双机”的发电目标,直至今天的8台机组提前全部投产,这支山间现代化的管风琴终于吹奏出了美妙的最强音。

#### 千军万马铸丰碑

参予锦屏水电站建设的企业先后有149家,奋战在电站建设现场的员工有数万人,可谓千军万马。

他们所面对的锦屏水电工程是世界级的工程。其建设难度前所未有的。锦屏水电站具有“五高一深”的特点,即“世界最高混凝土拱坝,高山峡谷、高边坡、高地应力、高压大流量地下水、深部卸荷裂隙”,被国内外水电界公认为建设管理难度最大,施工布置难度最大,工程技术难度最大,施工环境危险最大的巨型水电站,是世界电站大坝建设和引水发电隧洞建设的里程碑。305米高的世界第一高拱坝工程、大型地下厂房工程、大型地下洞室群工程、大规模地下基础处理工程以及7条长度各约17公里的引水隧洞和交通隧洞的

设计、施工和建成后的管理都是世界级难题。

雅砻江公司总经理陈云华对记者说,作为锦屏建设管理局的第一任局长,我也是一名锦屏工程的参建者,对锦屏工程的艰巨性和复杂性有着切身的感受。我记得,我任局长后的第二个月,2004年春节,我与成都院郑声安院长一起,研究锦屏一级水电站施工规划,当时,我想锦屏一级水电站力争2012年发电,现在回想起来,当时对锦屏这个世界级工程的困难估计不足。锦屏水电工程的施工条件、施工难度是史无前例的,锦屏水电工程的技术复杂性突出表现在锦屏一级在复杂地质、地形条件下的高拱坝建设、左岸基础处理及锦屏二级高埋深长隧洞的施工。由于锦屏工程地处深山峡谷,山势陡峭,特别是锦屏一级水电站大坝两岸,均为悬崖峭壁。在如此狭窄的场地条件下,要布置世界第一高拱坝、大型地下厂房洞室群、高低线公路、料场、拌合系统等,难度巨大。施工区山势陡峻,可直接利用的台地和缓坡地非常稀少,几乎找不到可以立足的工作面,临建和道路布置极其困难。久经沙场的中国工程院院士王思敬说,他当年最早到这里的时候,脑子里就有一个疑问:这个地方大型工程能不能建?能不能施工?施工当中能不能保障安全?工程开展前期,由于准备时间严重不足,在通信、供电、生活设施等基本施工条件不具备的情况下,项目快速全面展开,现场客观条件与施工进度的矛盾尖锐,物资运输异常困难,施工干扰突出,施工安全风险巨大。一系列问题摆在我们面前,但我们还是坚信锦屏工程是能够实现的。这不仅是因为中国水电已经走在了世界前列,很多技术、措施都已成熟,还因为锦屏得天独厚的水能资源优势对水电人巨大的吸引力。后来的事实也证明,众多业内专家、水电精英都为世界级的锦屏工程所吸引,献智献策、贡献力量,使得几代人的锦屏梦才得以实现。

中铁二局是进入锦屏水电站的第一批铁路主力军。从2003年开始,在长达十余年的时间里,中铁二局先后承建了锦屏山隧洞和1号、2号引水隧洞工程,在锦屏山中共挖出了四条高埋深、超长隧洞。

2006年4月,施工进入高埋深的白山组大理

岩。当时,中铁二局的员工在洞内水速1.2米/秒,最大水深1米,水温11℃刺骨的地下水环境中作业。而在涌水特别厉害的洞段,甚至需要人员潜入到冰冷刺骨的涌水下进行装药作业。

2007年,刚经过富水区洗礼的中铁二局锦屏人迎来了更为艰巨的考验——极强岩爆。在极强岩爆洞段,隧洞地应力高达80 MPa及以上,将数百公斤的岩石从掌子面弹射出60余米远,破坏力极强,而且进入高埋深洞段后岩爆发生频繁,实属世界罕见。

为打消工人对岩爆的恐惧心理,时任二公司副总经理兼项目经理的侯永和以实际行动诠释了一个共产党员人的誓言。在强岩爆洞段施工时,被大家称为“铁闯将军”的他带领党员突击队冲锋在前,并亲自在掌子面蹲守,给大家鼓劲。他说:“在这最危险的时候,我们大家一定要站在一起,共进退”,他这句话深深地鼓舞了大家,也感染着每个人,大家慢慢打消了对岩爆的恐惧,干劲更足了。

中铁十三局集团与北京振冲公司作为联合体中标锦屏二级水电站C5标东端3号、4号引水隧洞工程。该工程洞径大、洞线长、埋深大、洞群密。高压突涌水、高应力强岩爆,被称为世界级难题,是锦屏二级水电站的重难点控制性工程。

2010年初,雅砻江公司提出了确保2012年首台机组发电的目标。制定了通过增加3条辅引支洞,横穿引水隧洞中段,形成“长洞短打”的方案,辅引1号、2号支洞没有争议,很快就实施了。但辅引3号施工支洞,地处强岩爆、富涌水洞段,又是大坡度反坡施工,施工风险巨大。可它不能按时打通,光有辅引1号、2号施工支洞,首台机组发电目标仍无法实现。由此辅引3号施工支洞成为了制约发电目标的瓶颈、变成了最大的“拦路虎”。时任集团公司董事长雷升祥主动请缨,说道:“必须打破施工瓶颈,辅引3#支洞必须上马,有风险我们来承担!”中铁十三集团以设计施工总承包的方式接下了这个艰巨任务,随后立即举全集团之力并广邀各类专家,先后三次召开专家论证会,详细研究设计和施工方案,为扫除“拦路虎”奠定了坚实基础。

辅引3号施工支洞刚刚开挖40米,即碰到了第一个拦路虎,1.4立方米每秒的大涌水出现了,喷射距离达20多米。面对这股像小河一样的大水,项目部领导日夜蹲守在施工现场,分析涌水情况,科学决策,果断提出了垫高掌子面形成水沟、采取绕行的措施继续掘进。几天后第一个拦路虎被驯服了。隧洞缓慢地向前延伸着,在开挖到186米时,又一股大水出现了,涌水瞬间淹没了掌子面,并不断汇集着、向上蔓延着。险情就是命令,值班人员立即带领工人开始安装水泵,架设管路,工人们穿着沉重的防水裤,站在齐腰深、冰冷刺骨的水中,肩扛手抬,使尽全力,与大水顽强地抗争着……,随着一台台水泵的运转,水面开始慢慢下降,10天后第二个拦路虎又被驯服了。随后在此位置布置了固定水仓,引进当前国内居首1800千米,双回路供电的高压大流量水泵,确保了抽排水的可靠性。

辅引3号支洞累计揭露大小涌水点共计42处,可以说整条隧洞就像一个水帘洞,工人在洞内作业需穿着雨衣雨裤,在“暴雨”中打风枪、锚杆是家常便饭。干干净净进洞,浑身是泥出来更是平常之事。由于洞内湿度大、温度低,好多工人都得了湿疹、风湿性关节炎,工作艰辛可想而知。

四分部副经理裴志权是一名53岁的老铁道兵,施工经验丰富,有一股不服输的精神,即将退休仍不辞劳苦,与一线工人并肩作战,由于长期待在阴冷潮湿的环境,经常反复患重感冒,甚至戏称“拿感冒药当饭吃”。但是他却更加关心现场,关心工人。抽水工班要长期在水中作业,患感冒的人更多。他与项目领导紧急研究对策,增加抽水人员,将每天3班调整为4班,减少工作时间;现场增设取暖棚和烘干房,工人冷了就去取暖,衣服湿了可以烤干;为了让工人在洞内吃上一口热饭菜,每人都配备保温饭盒。如此细致周到的一系列保障措施,工人们都竖起大拇指、用朴实的方言称赞道“裴经理是个好人!”

由于开工前周密的策划、过程中的科学应变、强有力的组织协调,最终辅引3号支洞提前48天到达1号引水隧洞,为1号至4号引水隧洞及排水洞增加了10个作业面,让锦屏水电站2012年首

台机组发电的计划从不可能变成了游刃有余,彻底打破了制约发电目标的瓶颈,为并网发电做出了铁的保证。

引水隧洞施工劲旅还有中铁十八局。2007年,中铁十八局又成功中标锦屏二级电站C4标东端1号、2号引水隧洞工程。他们说,在锦屏,辛苦算不得什么,最危险的是随时可能发生的涌水和岩爆。尤其是岩爆,它的发生没有任何征兆且破坏力巨大。

2010年2月3号,2号引水隧洞发生的一次罕见的极强岩爆,巨大冲击波把地面冲击出3条横向贯穿性裂缝,深1.5米,最宽裂缝达25公分,可谓天崩地裂;停放在一旁的40吨自卸车被冲击至7米以外,后箱发生侧翻;重达十几吨的装载铲车被弹起三次,挡风玻璃脱落,造成装载机司机颈椎骨折。

许多工人见到这种场面吓得不敢再进洞,施工情绪异常低落,部分民工结账回家。按照常规像这样的岩爆一般要停工三到五天甚至一周,面对这种突发情况,他们没有被眼前的困难所屈服!冲击波刚过,领导就带领着技术人员迅速进入洞里,查看险情,及时召开技术骨干会议,制定多项安全保证措施和安全预案,干部技术人员靠前指挥,第二天就恢复了施工。

2010年锦屏电站施工进入高峰期,中铁十八局3300多名参战将士,13个工作面昼夜鏖战,900多台机械设备昼夜轰鸣。

为了加快工程进度,为完成2012年首台机组发电的目标要求,他们开展百日大战,响亮提出“用十八局的智慧和勇气,打出十八局的威风”的口号,并按“分钟”对工序循环进行考核奖惩,“开挖、支护、落底、出渣、二衬、底拱施工”等,卡死时间,一周兑现一次奖惩。一下子群情高涨,项目领导没有一个人在大干期间休假,带头靠前指挥,在洞里交接班,一干就是十多个小时!干部、技术人员跟班作业,随时解决施工工序矛盾,大家都坚定一个信念,为了十八局的荣誉而战!

针对高地应力、强岩爆、突发涌水条件下钻爆法和TBM掘进施工问题,积极开展技术咨询、QC活动、科研攻关,施工进度不断加快。2010年四



季度完成隧道开挖6532米,平均月进尺2200米,创造了多工作面同时作业的施工新记录。2012年度完成衬砌8公里,超额完成了业主下达的年度施工计划,各项节点目标提前再提前,1号引水隧洞终于在2012年9月24日提前6天达到充水条件。2号引水隧洞又于2013年8月19日提前13天达到充水条件。

中国水电七局承建锦屏一级左岸大坝。有人说:“锦屏最难、锦屏左岸更难”。面对世界级的锦屏工程,参建各方都集中优势力量,挑战前所未有的困难。水电七局在大坝决战决胜抢发电阶段,为工程的建设,新增大型设备达890多台套,新增自购材料6万多吨,投入人力8600多人,还接受多项险难的任务。

水电七局承担的任务在左岸。陡峭泥泞的左岸山梁上,没有一块平台,搭建绝壁上的临时住所,竟是锦屏的“布达拉宫”,而挑夫、马帮,就成了物资运输唯一的补给力量,大家沿着几乎70度的陡坡运上去,垂直距离200多米,人往上走要匍下身子,踩稳脚步,还要抓紧旁边的草木,否则很容易滑下去,下面就是滔滔雅砻江。每天爬到工作面几乎要耗费大半天时间,边坡上正常起风扬尘、滚石,吃饭没法躲,饭面上蒙上一层灰。下班时,除了从两只眼睛上还看得见黑白转动外,个个浑身都是泥人。

2009年10月,300米级的高拱坝混凝土浇筑开始施工,世界最高的拱坝没有现成的样板可循,从技术上、施工组织上、管理上都是挑战。水电七局总部抽调了七局的技术骨干,整体细致规划,每一仓混凝土都精心呵护,每一道工序、每一仓温度都了然于胸,怀着敬畏之心,依靠管理科技创新,突破100米,200米,向300米迈进。“8·30”特大泥石流,他们的临建设施、营地冲损毁了,但没冲垮员工的意志,几天就恢复大坝的施工生产。

就在这样恶劣环境下,水电七局创造了高陡边坡连续安全下挖540米、高拱坝结构仓月浇筑上升达12米、年单坝段上升92米国内最好成绩。从普通仓到复杂结构仓三次分区温控的科技成果,基础面反压水灌浆到筑牢170米超深帷幕抗力体基础生命防线,132米高水头充压水封弧门

安装到12米水下左导混凝土围堰施工,大坝浇筑50个月提前了一个月到顶等关键性目标的全面实现。水电七局施工的团队项目都经受住了考验,创造了多项行业第一,先后两次荣获四川省五一劳动奖状,获得左岸高陡边坡开挖“A”级样板工程、拱坝浇筑样板仓、多项国家专利、工法、QC成果和科技奖项等。

水电十四局承建的右岸地下厂房洞室群总长约2.5万米,落差大、纵横交错、岔洞多,如同一座大型的地下迷宫,即使业务熟练的“水电人”要熟悉这座迷宫,至少也需要1个月的时间。且锦屏一级水电站地下厂房地质情况异常复杂,属于极高地应力区。

随着厂房开挖深度逐步加深,大理岩应力释放越加明显,加上高边墙的因素,2009年4月份时围岩变形已经非常严重,在主厂房拱脚位置发现的裂缝宽达100多毫米,甚至出现掉块的现象。如果出现厂房坍塌,后果不堪设想,千秋功业可能毁于一旦,十四局也承受了巨大的压力。危难之时,该单位根据多年的地下施工经验,提出“稳住上部,增强中部,加固下部”的加强支护建议,得到各方专家及参建各方的一致认可。雅砻江公司及时决策,停止厂房继续下挖,立即对厂房、主变、调压室三大洞室进行加固处理。得令即行,十四局当机立断,立即在锦屏一级6台机组大面积同时施工,搭建46米高的施工排架,相当于16层楼的高度,兵贵神速,并在短时间内调动了上千劳动力保证施工。

2012年8月30日锦屏发生特大群发性地质灾害,整个工区停水、断电、路塞、通讯中断,形成一个孤岛……。在这场抗灾救援中,十四局锦屏一级机电安装项目经理毛永茂在灾难面前置自己的生命于不顾,不顾劝阻于泥石流发生的当晚冒着倾盆大雨亲自开车前往北沟泥石流重灾区解救被困的职工。他说“员工最需要我的时候我不在最前面,那什么时候去?!”在危难之际不分你我,许许多多的十四局人在次抗灾救援中不顾自身安危,众志成城,尽可能地保护人员生命安全、最大程度地降低了国家财产损失。

武警水电一总队主要负责二级水电站3号、4

号引水隧洞及排水洞西端工程项目的施工。隧洞地质情况的复杂多变堪称世界之最,具有超高的埋深、超长的隧洞、超强的岩爆、超量的地下水、超大的溶洞,短短几公里包含了大理岩、绿片岩、砂板岩等各种岩体,断层塌方、逆坡排水、长隧洞通风等各种不利因素,是摆在水电官兵面前的一道世界级难题,时刻考验着官兵的智慧、胆识和毅力。

恶劣的施工环境肆意侵蚀着官兵的身心,但他们无所畏惧,迎难而上。他们有时一天工作15小时,满身灰尘不辨面目,累得腰酸腿痛,迈不开脚步。洞内作业的官兵永远不会忘记,那些整天泡在泥水里,衣服湿了晒干,干了又浸湿的日子,夜以继日加班加点,以至于双脚沤烂红肿,痛得连雨靴都穿不进去。更为惊心的是,洞里施工要经常与飞石、涌水激战,有时发现洞顶几片小石块坠落,转眼就演变为大片岩石轰然崩塌,灰尘形成的气浪,导致洞内照明瞬间熄灭,把工作中的钻爆台车砸得面目全非。水电兵们永远不会忘记进入锦屏山时的誓言:选择了在锦屏当兵,就是选择了艰难困苦。他们中百分之八十的战士,由于长时间作业,衣服被汗水浸透,腋下和裆部溃烂,疼痛难耐,头发掉落更是触目惊心。230名官兵在锦屏山当兵,在锦屏山退伍,从穿上军装到脱下军装,连锦屏山的“门”都没迈出过。他们打破多项施工记录,获得多项荣誉,被称为“锦屏山中橄榄绿”。

当雅砻江水从锦屏一级大坝泄洪孔喷薄而出的时候,一座428米的高边坡在大奔流料场巍峨耸立,成为呼应锦屏一级大坝又一壮丽景观。这是葛洲坝集团第五公司的杰作。历时八年,葛洲坝五公司发扬了“敢为人先、敢于超越;不屈不挠、坚忍不拔”的精神品质,创造了在高陡狭窄地形条件下开采砂石骨料的诸多奇迹,用半边山的石头筑起了这座世界级高坝。

大奔流沟料场在锦屏一级大坝下游左岸9公里处,这里山体陡峭,地质条件复杂、自然条件恶劣、施工场地狭窄。料场开口线在2188高程,与地面高差达560米,料场上部坡度近70度,在这种悬崖峭壁的地方大规模的开采毛料,难度堪比

“登天”。中国工程院资深院士谭靖夷看了现场之后,语气沉重地说:“这是世界级难度!”面对困难,葛洲坝五公司建设者没有退缩,而是义无反顾地攀上了这座陡峭的山峰。

大奔流沟料场顶部海拔2400米,有用料分布在2100米至1670米之间。由于紧临雅砻江,距离锦屏二级闸坝不足300米,料场内不具备明路修筑条件,也不能采用传统的开采方式向外爆破抛渣,否则,雅砻江就成了“堰塞湖”。葛洲坝五公司砂石领域的行家里手通过多次实地勘察,因地制宜,最终创造性地采用了地下洞室群(隧洞达10余公里)、超深溜井(1号竖井达277米)、井下布置旋回破碎机先进工艺方案,实现了矿山技术与传统开采方式的完美结合。

2008年10月大奔流料场从2188高程开始揭顶,到2009年6月大奔流料场开挖至1940高程,在交通道路多次塌方情况下,为了确保料场开挖支护正常进行,材料全部靠马驮、人扛运到施工部位,经过近一年的艰苦鏖战,1号竖井开始填料运行,料场具备了规模开采条件,砂石骨料满足供应需求,为2009年10月锦屏一级大坝混凝土正式浇筑奠定了坚实基础。

施工离不开工程监理的保驾护航,尽管长江委监理中心从三峡工程一路走来,但锦屏工程世界的技术难度和施工难度,对他们更是巨大的挑战。为此,长江委给予了全力支持,将曾担任过三峡工程总监、时任南水北调中线水源公司总经理的杨浦生调任项目总监,长江委监理中心总经理、副总经理担任副总监,组建了一支特别能吃苦、特别能较真和敢于担责、敢于创新的优秀监理团队。

同时,建立了由委内院士、大师组成的咨询专家组,并多次到锦屏工地指导监理工作。

十年的工程建设,长江委监理人用理想信念和敢于担当的勇气,在艰苦的锦屏山深处,求真务实,谱写出人生中最灿烂乐章。

2005年12月15日,左岸导流洞发生大规模塌方,杨浦生总监第一时间赶到了塌方洞口。面对从洞中狂奔而出、灰头土脸和表情木然的工人,面对洞内塌方仍在继续的险情,人们都处在惊恐



之中。此时,杨浦生对承建单位负责人说:“现在是领导和共产党员站出来的时候了”。说完,他的车开足车灯,冲入伸手不见五指的洞内,冒着生命危险查看了洞内塌方险情和人员设备撤离情况。工人们看到杨总来了,而且是从200多米塌方渣堆的一头爬到了另一头。面对成天在工地忙碌的杨总,现场许多工人都认识他。工人们想:“领导都不怕,咱还怕啥!”终于工人们进入了抢险工作面施工,保证了塌方处理的有序推进,确保了导流洞按期过流。

作为世界最高坝的锦屏一级大坝,温控防裂技术要求高,但面对粗骨料膨胀系数大、粒形差,细骨料石粉含量高、中间颗粒缺失和混凝土水泥用量大的极为不利条件,只能从管理上从严把关。为此,对大坝每仓混凝土原材料、配合比、混凝土施工性能、浇筑和混凝土保温冷却都关口前移,从严要求,确保不留隐患。锦屏一级大坝混凝土无温度裂缝,超过三峡大坝混凝土温控防裂控制水平。2014年9月,经专家评审,锦屏一级大坝第四阶段蓄水期,大坝各项性态指标正常,工程质量经受住了正常蓄水位的考验,蓄水圆满成功。

#### 效益巨大科技新

锦屏水电站全面建成投产发挥出巨大的生态环境效益,每年可向川渝电网和华东电网输送408.5亿千瓦时清洁优质电能,相当于每年减少标煤消耗1348.05万吨,减少排放二氧化硫25.75万吨和二氧化碳3370.13万吨。锦屏水电站水库建成后,可减轻长江中下游防洪压力,减少长江三峡水库的泥沙淤积,对长江上游生态屏障建设具有重要作用。

锦屏水电站全面建成投产后,雅砻江公司总装机达到1410万千瓦,成为四川省最大的水电企业,在国内流域水电企业中装机规模名列前茅。随着锦屏水电站的全面建成,作为全国第三大水电基地的雅砻江,“西电东送”骨干作用和流域梯级补偿效益凸显。从2015年开始,雅砻江每年将有近700亿千瓦时的清洁电能送往川渝和华东。将使四川电网枯水期平均出力增加22.5%,极大地优化川渝电网电源结构;每年使雅砻江下游梯级电站增加发电量60亿千瓦时,相当于新建了一

座装机120万千瓦的水电站;每年使金沙江溪洛渡、向家坝、长江三峡和葛洲坝水电站增加发电量37.7亿千瓦时。

锦屏水电站地处经济欠发达的凉山彝族自治州,电站建设有力地促进了民族地区经济发展和 社会进步。用工需求、物流、信息流等带动了地区建材市场、交通、运输、农产品、旅游、社会服务等行业的快速发展,地方财政收入得到显著增长。电站建设过程中,已向地方政府上缴税收42.1亿元。电站全面建成投产后,每年可上缴税收约34.6亿元。

面对锦屏水电站工程建设的一系列世界级难题,中国水电界的知名院士、专家、国内一流的设计、施工、监理队伍鏖战高山峡谷,攻克道道难关。雅砻江流域水电开发有限公司充分发挥业主在工程建设中的主导作用,通过与国家自然科学基金会共同成立雅砻江水电开发联合研究基金、成立锦屏水电工程特别咨询团、设立博士后科研工作站、引进国际国内著名咨询公司等,构建了一个实力雄厚的科研攻关及管理咨询体系,在科技创新工作上探索出了一条运用市场化手段,集成科研资源,业主主导,联合创新的新路子,取得了丰硕的科研成果。锦屏一级水电站创造了十项世界第一、十项国内第一和水电行业“十个首创”;锦屏二级水电站创造了十项世界第一、十项国内第一和水电行业“十三个首创”。其中锦屏水电站控制碱活性骨料的研究、锦屏一级左岸深部卸荷裂隙处理对大坝推力对称的研究、锦屏二级引水洞高地应力超前释放的研究、锦屏二级引水洞高压涌水堵水研究、锦屏一级世界高坝混凝土浇筑仿真系统的研究等成果在工程建设中成功应用,解决了制约工程施工、质量、安全等关键环节的技术难题,确保了工程建设顺利、稳妥地推进。锦屏水电站引进世界最先进的直径12.4米的TBM大截面硬岩掘进机,引进世界最先进的长7.5公里、最小转弯半径1000米、最大坡度14度的双向曲线皮带机技术,在中国水电建设史上都是史无前例的尝试,由此为工程带来成倍的效率提高和巨大的经济效益。锦屏水电站工程诸多科研试验和研究成果的运用,大大提升我国大型水电

工程建筑材料的研发和生产水平;电站高深埋长隧洞的地质勘探和快速施工关键技术的攻克,使我国隧道及地下工程技术再跃一个新台阶;而用于锦屏工程的水轮发电机组、高压电器设备和直流、交流输变电设备实现了全部国产化,极大地提升了我国机电工业的制造水平。

作为“一个主体开发一条江”开发模式的倡导者和探索者,雅砻江流域水电开发有限公司努力探索开发效益最优、生态保护最完整、人文环境最和谐的流域开发模式,在锦屏水电站工程建设中,不断完善项目环境保护的各项制度,建立健全环境友好的评价指标体系,切实落实环保水保措施,通过大坝分层取水、生态流量泄放、建设联合鱼类增殖站和鱼类种质资源库、设置人工鱼巢等辅助方式帮助雅砻江锦屏河段原有鱼类生存和繁殖,环保的内容由过去陆地上的植被保护等“看得见的保护”发展到水下的“看不见的保护”。锦屏水电站用于环境保护和生态保护上的投资达20亿元。

#### 成功经验堪弘扬

锦屏水电建设不仅建成了世界最高拱坝,不仅建成了世界最大规模水工洞室群,而且还通过10年奋战,创造了一系列建设经验。

陈云华总经理在锦屏水电站工程全面建成投产总结大会上说,我认为锦屏工程建设有以下七点经验值得大力继续与弘扬。

一是锦屏工程为我们提供了“休戚与共,合作共赢”的大舞台,在雅砻江中上游开发中,需要我们进一步提升战略合作意识,共谱互利共赢新篇章。

十年来,各参建单位都有一个共同的目标,那就是把锦屏这个世界级工程建设好,打造成“科技工程、精品工程、和谐工程、环境友好工程”,本着相互包容、合作共赢、共同提高的主基调,合力推动工程建设顺利进行。

二是大力弘扬艰苦奋斗、吃苦耐劳、勇于奉献的锦屏“硬骨头精神”,在持续创业、再铸辉煌的大路上阔步前行。

锦屏工程建设过程中的“硬骨头”、拦路虎比比皆是,拿得下,工程顺利开展,拿不下,工期就要

延误甚至工程就要夭折。所以今天我们说,锦屏硬骨头精神是保障锦屏工程顺利开展下去主要精神支柱。锦屏工程的全面建成离不开广大建设者艰苦奋斗、乐于奉献的精神。锦屏水电工程的建设经验告诉我们,只要大家拥有艰苦奋斗、吃苦耐劳、勇于奉献的锦屏“硬骨头精神”,就没有风险不能抵御,没有困难不可逾越。

三是坚持科技支撑,创新突破,合力创造水电工程领域的一项项世界新纪录。

锦屏工程的建设史可以说是一部工程技术的攻关史,很多难题属世界首例,为了保证工程的顺利开展,雅砻江公司广泛开展科技和管理方面的国际合作,借力雅砻江水电联合研究基金、虚拟研究中心、锦屏水电工程特别咨询团、博士后工作站等平台,解决制约锦屏工程设计、施工、质量、安全等关键环节的技术难题。同时,各参建单位也通过自主攻关,使一大批技术精英充分参与到世界级工程中去,在收获大锦屏的同时,也收获一批优秀的工程技术专家型人才。

四是坚持以合同为基础,进度为主线,又好又快推进工程建设。工程合同是锦屏工程建设的基础和依据,由于锦屏工程的复杂性,许多合同问题受多种因素交叉影响,工程项目实际施工情况与项目招标设计时产生很多重大变化,加大了合同问题处理的难度。雅砻江公司从抓好合同澄清、落实业主提供条件;坚持合同交底,建立合同履行评价机制;关注合同边界条件变化,及时签订补充协议;充分发挥业主主导作用和监理及行业咨询机构技术优势,实事求是,推动重大合同问题解决等几方面进行合同管控,使主要工程节点如期实现。在不断提高合同管理水平的基础上,雅砻江公司通过靠前管理、建立进度管理体系、采取纠偏措施等提升关键项目管理水平,保障工程进度计划落到实处,打造了一个个世界水电建设史上的“锦屏速度”,保证了锦屏工程建设全面推进。

五是继续将“安全为天,质量是命”理念,作为打造“雅砻江水电”品牌的本质所在。

质量是世界级锦屏工程的核心和精髓。锦屏工程建设的10年间,雅砻江公司和各参建单位一

道,以打造锦屏精品工程为目标,通过聘请外籍质量总监、引进第三方检测力量、充分发挥“四大”中心协管作用,持续提升全员质量意识和精细化管理水平。同时,我们坚持开展“创样板工程”、“对手赛”、“专项技能比赛”,部分项目制定比国标更严、更高的企业标准,使工程质量全面受控。安全是一切工作的前提和保障,锦屏工程始终坚持以安全促进度、保质量,建立、完善应急管理体系,严格安全生产费用管理,确保安全生产费用专款专用,全面实施“科技兴安”战略,并在流域开发中率先推行安全生产标准化建设。锦屏建设期间有效杜绝了重大安全事故的发生,受到国家、四川省专管机构的一直好评。雅砻江公司连续多年荣获四川省和全国“安全文化建设示范企业”等称号。

六是与青山绿水和睦共邻,建设环境友好型工程,是我们铸就世界水电丰碑的重要前提与保障。

在雅砻江流域水电开发的过程中,雅砻江公司充分发挥“一个主体开发一条江”的优势,始终坚持开发与保护并重,企业效益与社会责任并重,努力创建开发效益更显著、生态保护更完整、人文环境更和谐的水电开发模式。锦屏水电工程自始至终贯彻环境保护意识,坚持环境保护措施与主体工程三同时,大力开展环境保护与管理系列重大科研课题的研究,引进国外流域环保管理经验和先进保护技术,提高解决环境问题的能力;在国内水电界率先使用中水处理技术进行生活污水处理和利用;通过大坝分层取水、生态流量泄放、建设联合鱼类增殖站和鱼类种质资源库、设置人工鱼巢等辅助方式帮助雅砻江锦屏河段原有鱼类生存和繁殖,使锦屏水电工程建设和环境保护和谐统一。这里特别提到的雅砻江锦屏·官地水电站鱼类增殖放流站属于目前国内水电行业放流规模最大的鱼类增殖站之一,同时也是国内第一

个由业主直接参与运行的鱼类增殖站,开创了水电界同行业先河,设计每年放流4~12公分的苗种最高可达150~200万尾。2011年首次放流至今,累计放流雅砻江特色鱼类鱼苗达到166万余尾。

七是维护好、发展好“企地共建,联动共赢”的良好机制,让雅砻江流域水电开发的步伐走得更加稳健。

锦屏水电站位于凉山彝族自治州少数民族地区,经济相对落后,加快雅砻江流域水电开发,推动锦屏水电站早日建成投产,是凉山加快发展和雅砻江公司做大做强的重要途径和迫切需求,是双方一致的目标和共同愿望。按照“共生、共建、共享、共赢”的原则,雅砻江公司和凉山州不断巩固联动机制,不断深化互惠共赢的新型合作关系。通过与凉山州政府联合成立锦屏水电站施工区管理委员会共同管理锦屏水电站对外交通专用公路和施工区,减少了外界因素对工程建设的影响;通过建立雅砻江公司经营班子和凉山州委、州政府主要领导高层联络机制,共同解决锦屏工程建设涉及地方的重大问题,构建了锦屏工程建设和谐稳定的建设环境。电站的建设也有力地促进了民族地区经济发展和进步。用工需求、物流、信息流等带动了地区建材市场、交通、运输、农产品、旅游、社会服务等行业的快速发展,地方财政收入得到显著增长。电站建设过程中,已向地方政府上缴税收42.1亿元。电站全面建成投产后,每年可上缴税收约34.6亿元。通过移民新村建设,让不发达地区实现了通路、通电、通水,有力的带动了基础设施建设和旅游产业发展。公司还为当地贫困地区捐建了希望小学,并与当地特困学生群体建立了长效的帮扶机制,为少数民族地区教育事业作出贡献。

(责任编辑:卓政昌)

## 国内泄洪消能专家莅临指导向家坝消力池检修

1月12日,三峡集团公司科学技术委员会主任张超然、国内泄洪消能专家郑守仁院士等16位专家组一行莅临向家坝消力池检修现场调研,指导向家坝泄洪消能建筑物运行调度和检修维护工作。专家组首先深入现场查看左消力池抽干检查情况,随后,在向家坝工区召开调研会,中南院及向家坝电厂向专家组汇报了向家坝电站2014年度泄洪消能建筑物运行、检修情况、原型观测情况。当前左消力池检修已经全面铺开,本次调研会专家组对消力池检修工作给予了肯定,这也将促进检修项目的顺利实施。