

责任编辑 于军琴

封面设计 宋程

中国长江三峡集团有限公司
China Three Gorges Corporation

金沙江白鹤滩水电站 (2017-2019)

编著

中国三峡建设管理有限公司白鹤滩工程建设部
中国三峡出版传媒有限公司



中国三峡
China Three Gorges Corporation

金沙江白鹤滩水电站
(2017-2019)

中国三峡出版传媒
中国三峡出版社



中国三峡出版传媒
中国三峡出版社



定价：290.00元

金沙江白鹤滩水电站

(2017—2019)

编著

中国三峡建设管理有限公司白鹤滩工程建设部
中国三峡出版传媒有限公司

中国三峡出版传媒
中国三峡出版社

图书在版编目(CIP)数据

金沙江白鹤滩水电站. 2017-2019 / 中国三峡建设管理有限公司白鹤滩工程建设部,
中国三峡出版传媒有限公司编著. -- 北京: 中国三峡出版社, 2020.9

ISBN 978-7-5206-0139-9

I. ①金… II. ①中… ②中… III. ①金沙江- 水力发电站- 概况 IV. ①TV752

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第119050号

责任编辑: 于军琴

中国三峡出版社出版发行

(北京市海淀区复兴路甲1号100038)

电话: (010) 57082645 57082655

<http://media.ctg.com.cn>

北京世纪恒宇有限公司印刷 新华书店经销

2020年9月第1版 2020年9月第1次印刷

开本: 635毫米×965毫米 1/8 印张: 17.5

字数: 249千字

ISBN 978-7-5206-0139-9 定价: 290.00元

《金沙江白鹤滩水电站》编委会

主任

雷鸣山

副主任

王琳 王良友 龙飞 范夏夏 张定明 杨世省 孙志禹

委员

洪文浩 张成平 汪志林 樊义林 何炜 罗荣海 陈文夫 文小平 涂阳文 程剑平
张海星 李晓东 郑斌

总策划

范夏夏

策划

汪志林 樊义林 何炜 罗荣海 谭云影 黄正平

主编

孙会想

副主编

刘涛

撰稿

周天刚 段兴平 罗刚 张光飞 周孟夏 吴思源 王红彬 龚子桢 徐剑 余维
陈洋 张俊鹏 冯博 黄纪村 龚远平 王霄 孙会想 胡晓

摄影

刘涛 黄正平 黄春江 谢雷 赵洋 尹春 王广浩 江力 孙会想 张光飞
余维 柴峻峰 胡晓

文字统筹

孙会想

责任编辑

于军琴

美术编辑

宋程

承制

中国三峡出版传媒有限公司



支持电站建设 共圆美好明天

目录 CONTENTS

01/	序言	8
02/	工程进展	10
	大坝工程	12
	引水发电系统工程	30
	机电工程	44
	泄洪洞工程	46
	辅助工程	52
03/	工程建设管理	56
	精品工程	58
	质量上乘	60
	本质安全	74
	成本合理	84
	进度受控	86
	创新工程	88
	管理创新	90
	技术创新	92
	工艺创新	94
	智能建造	96

目录 CONTENTS

	绿色工程	98
	环保达标	100
	水保合规	101
	施工文明	102
	资源节约	103
	民生工程	104
	企地和谐	105
	工区稳定	108
	人才辈出	109
	廉洁工程	110
	党建有力	111
	制度管用	112
	教育有效	113
	监督到位	114
	惩戒从严	115
04/	领导关怀	116
05/	工程大事记(2017-2019)	128

01

序言

白鹤滩水电站是中国长江三峡集团有限公司开发建设金沙江下游河段四个梯级电站的第二级，其规模大、调节性能好、建设条件优越，是国内大型水电站中难得的优质电源点，是继三峡水电站和溪洛渡水电站之后的又一巨型水电工程。白鹤滩水电站设计总装机容量 1600 万 kW，是世界第二大水电站、全球在建第一大水电站。水电站以发电为主，兼有防洪、拦沙、航运等作用，是我国实施“西电东送”战略的骨干工程，也是国家调结构、保增长、惠民生的重大工程项目，将对实现国家西部大开发战略，促进偏远地区经济增长、社会发展发挥重要作用。

2017 年 7 月 31 日，白鹤滩水电站工程获得国家核准，历经十余年的科研、勘测、设计和六年多的精心筹备，进入主体工程大规模建设的新阶段。白鹤滩水电站工程坚持贯彻“创新、协调、绿色、开放、共享”的发展理念，广泛开展世界一流典范工程创建活动，致力打造精品工程、创新工程、绿色工程、民生工程、廉洁工程，为实现 2021 年 7 月首批机组发电目标奠定了决定性基础。



02

工程进展

2017年以来，白鹤滩水电站工程建设逐步由开挖向混凝土浇筑转序，土建与金结机电同步施工，全面开展世界一流精品工程创建，紧盯安全准点发电目标，科学组织施工，积极化解风险，扎实开展主题教育活动，强化工程管控，高质量推进主体工程建设。



大坝工程

白鹤滩水电站拦河坝采用混凝土双曲拱坝，坝顶高程 834m，最大坝高 289m。坝身布置有 6 个表孔、7 个深孔。坝体混凝土 803 万 m^3 。

大坝主体工程混凝土于 2017 年 4 月 12 日开浇，累计浇筑量为 565.1 万 m^3 ，最高浇筑至 757m，最高上升高度 200m，其中 2019 年浇筑量为 270.94 万 m^3 。2019 年，大坝导流底孔具备过流条件；泄洪深孔全线封顶，出口支撑大梁与坝体同步浇筑，实现优质高效百日过深孔，大坝整体快速均衡连续上升；水垫塘施工基本完成，具备 2020 年 3 月充水条件；固结灌浆基本完成，帷幕灌浆仍持续高强度推进，大坝接缝灌浆顺利开展；大坝下游围堰启动拆除工作，导流洞封堵顺利推进。



左岸坝肩槽



右岸坝肩槽





2017年4月12日大坝工程首仓混凝土开仓浇筑



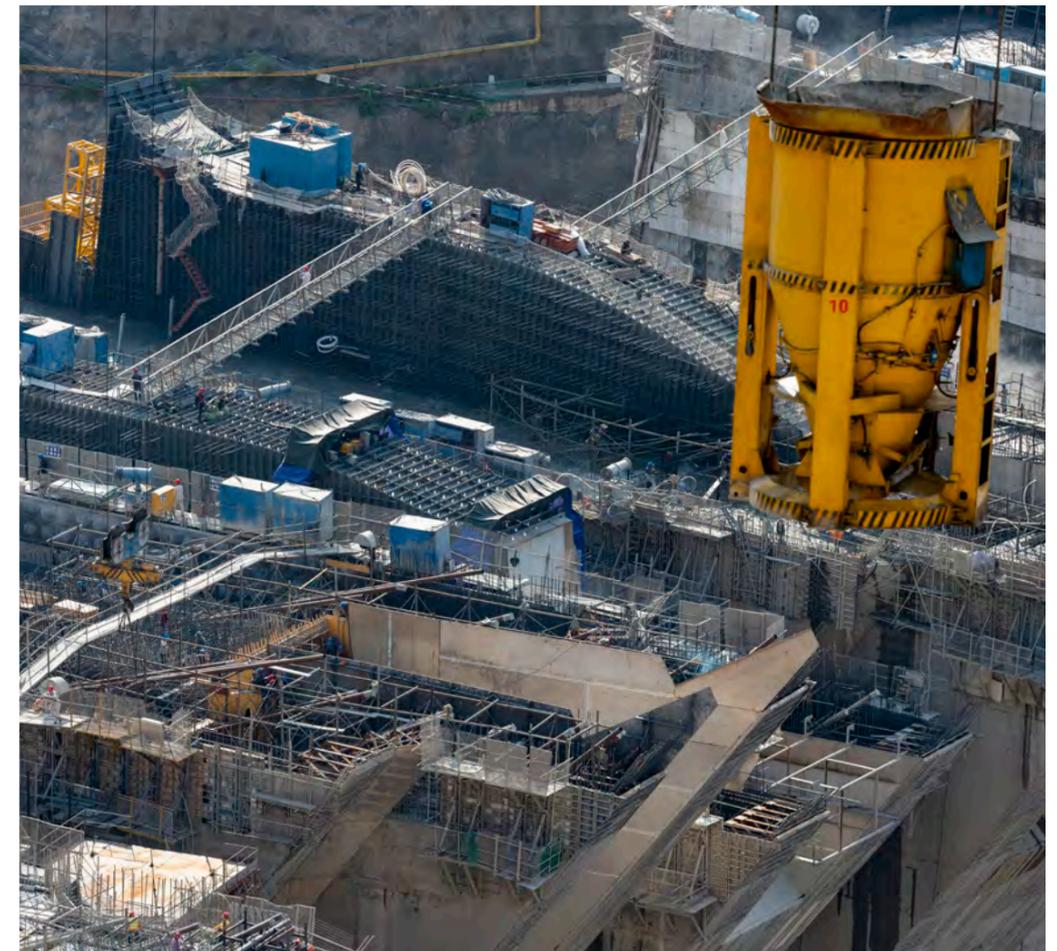
2017年大坝工程浇筑形象

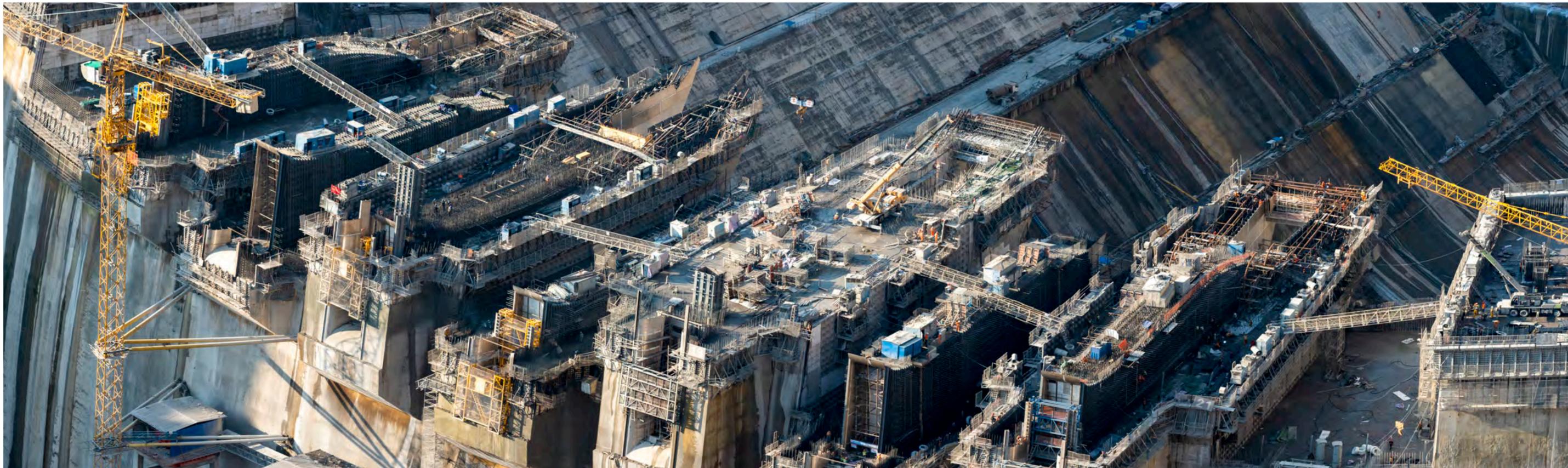


2018年白鹤滩水电站大坝浇筑形象

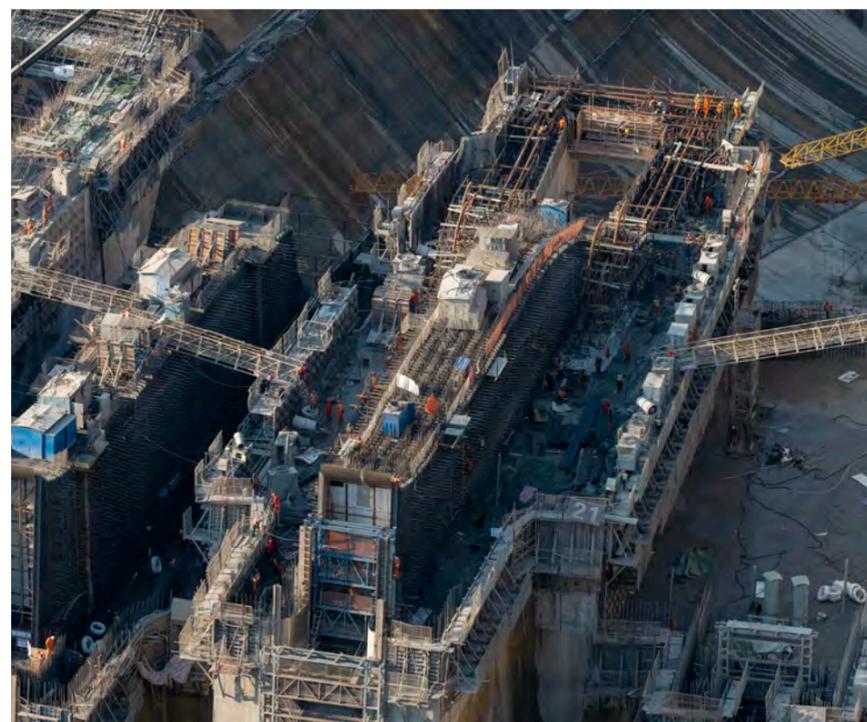


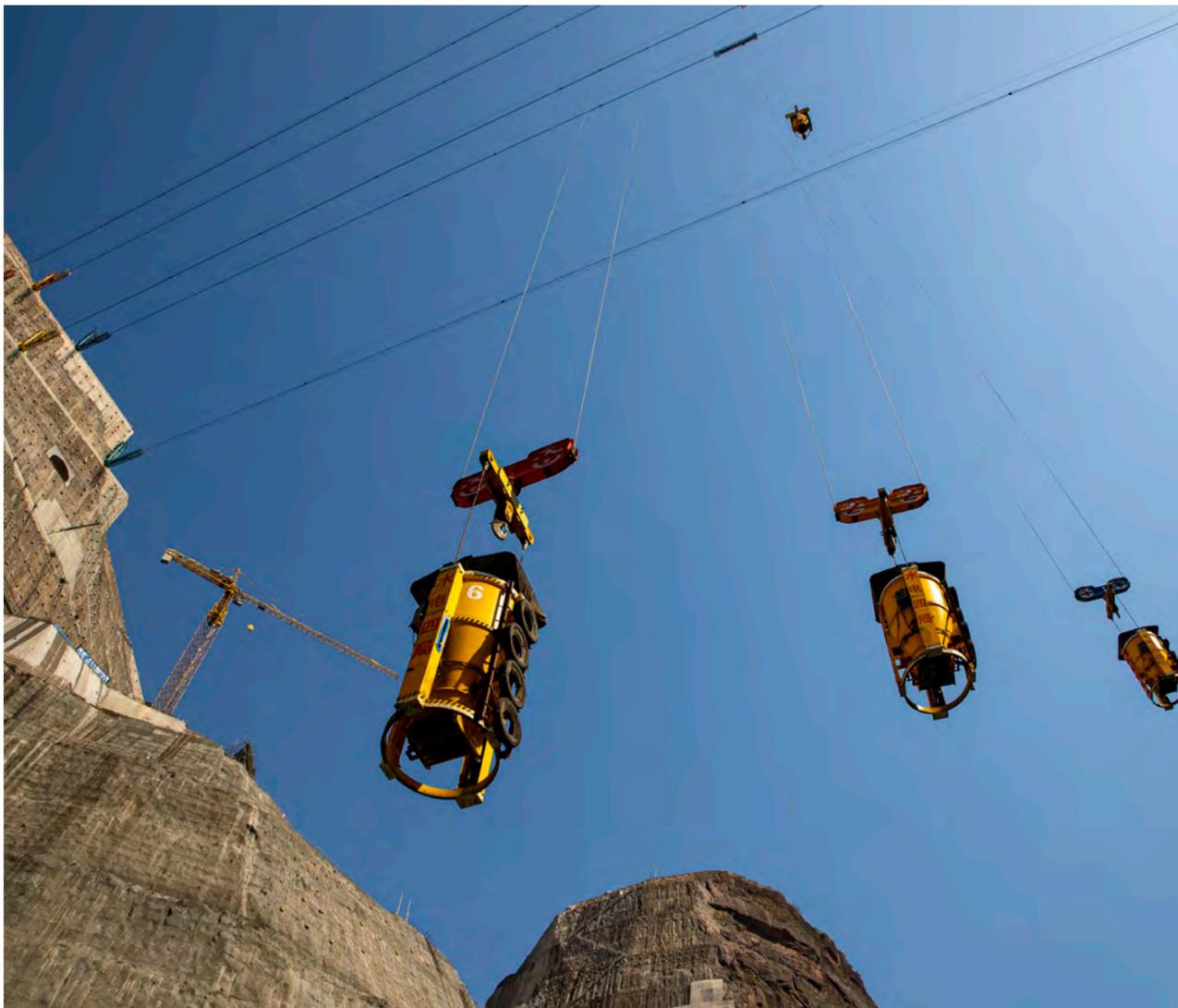
2019年白鹤滩水电站大坝浇筑形象





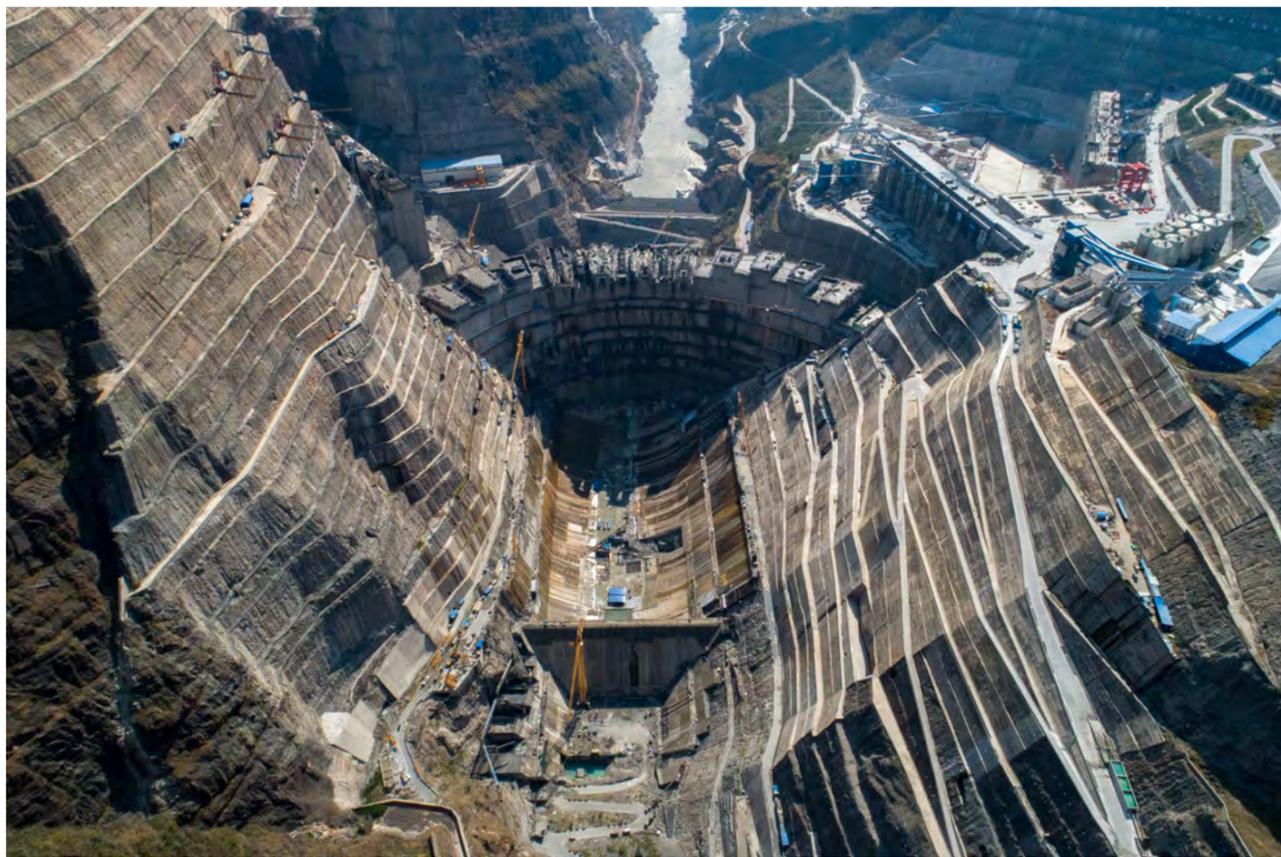
大坝深孔备仓浇筑施工形象







二道坝浇筑形象



大坝水垫塘浇筑形象



二道坝浇筑完毕形象



导流洞封堵闸门槽检测



导流洞进水口形象



航拍下游围堰拆除开挖施工形象



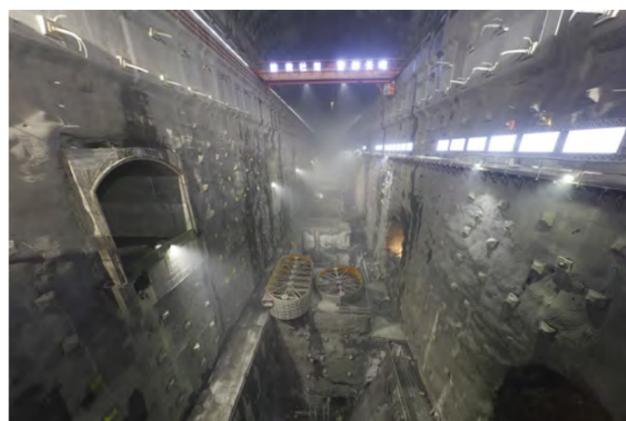


引水发电系统工程

白鹤滩水电站左、右岸地下厂房各布置 8 台 100 万 kW 立式水轮发电机组。左、右岸引水发电系统工程于 2014 年 6 月 1 日正式开工建设，2017 年洞室群陆续由开挖向混凝土、灌浆、金结安装转序，2018 年全面进入机组埋件安装与混凝土施工阶段，左岸 1 号、8 号机，右岸 9 号、14 号机座环吊装完成，并开始蜗壳挂装。历时 18 个月，2019 年完成首批机组土建向机电安装交面，创造了同规模工程交面工期的最短纪录。



2017 年右岸地下电站主厂房



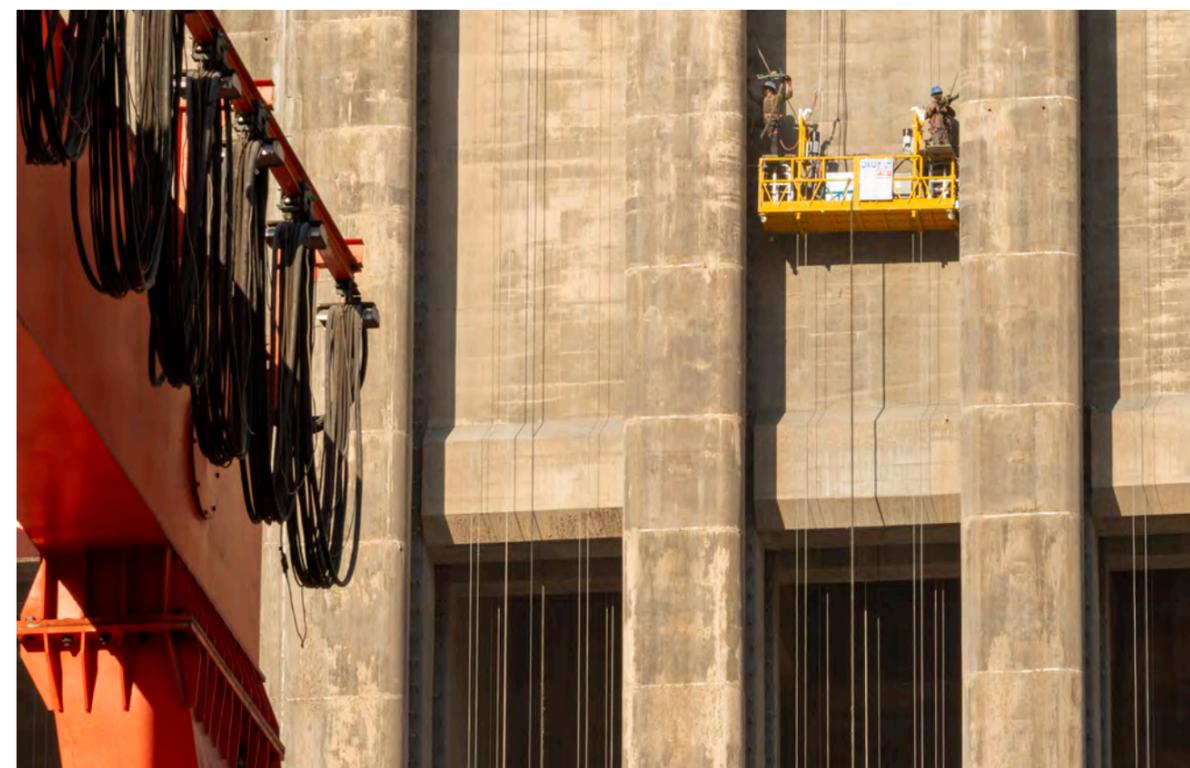
2018 年右岸地下电站主厂房



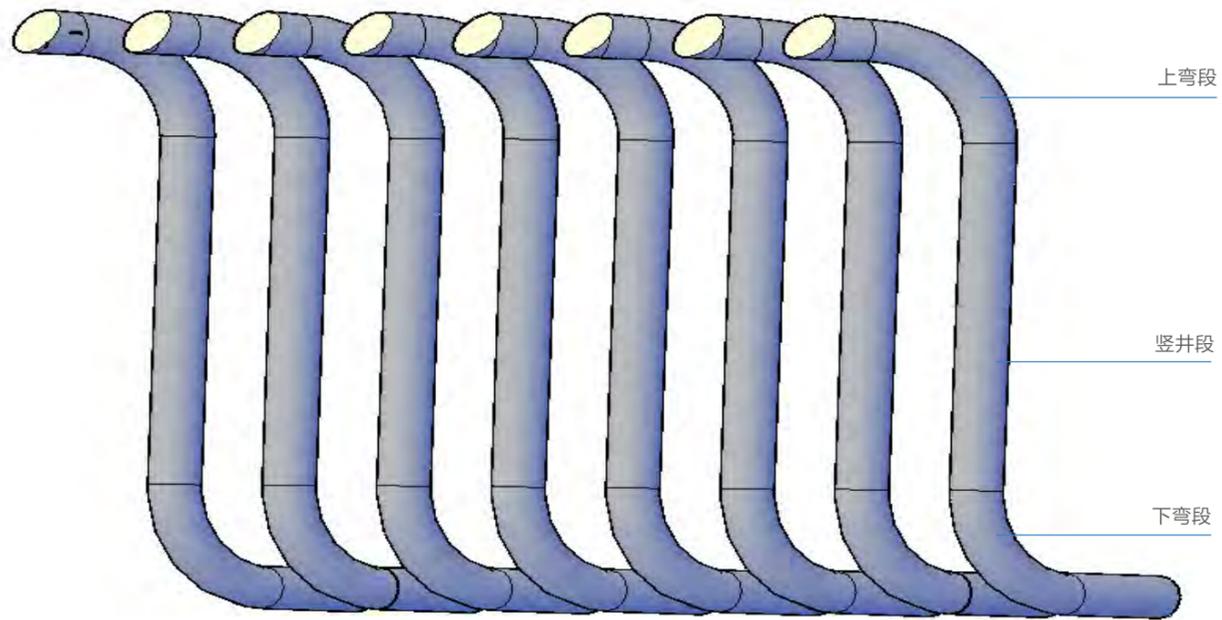
2019 年右岸地下电站主厂房



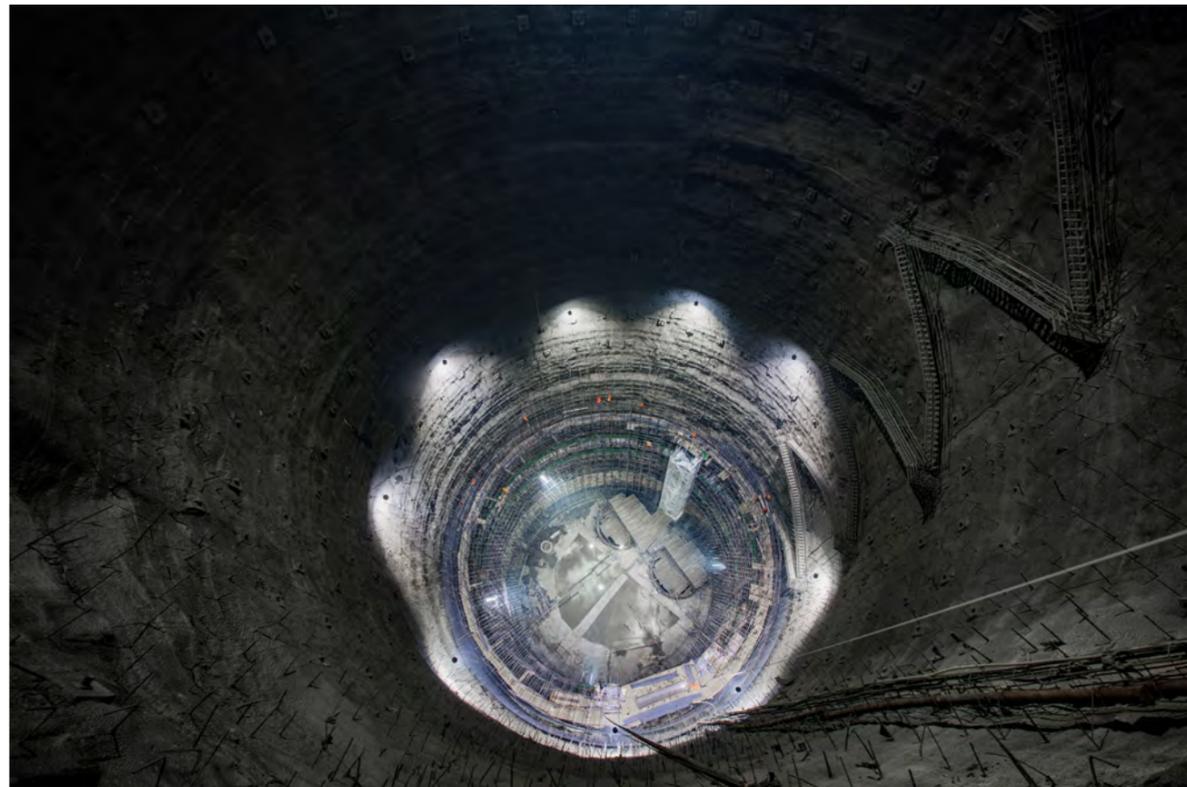
左岸进水塔施工形象



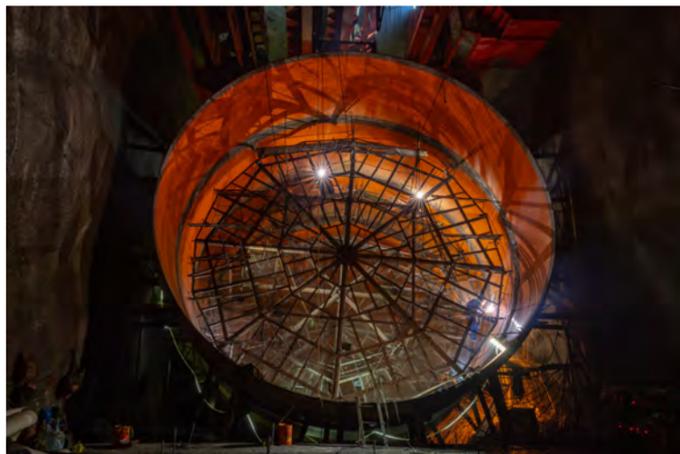
拦污栅门槽二期混凝土凿毛施工形象



压力管道结构三维效果图



左岸 4 号尾水调压室形象



压力钢管上弯段焊接施工



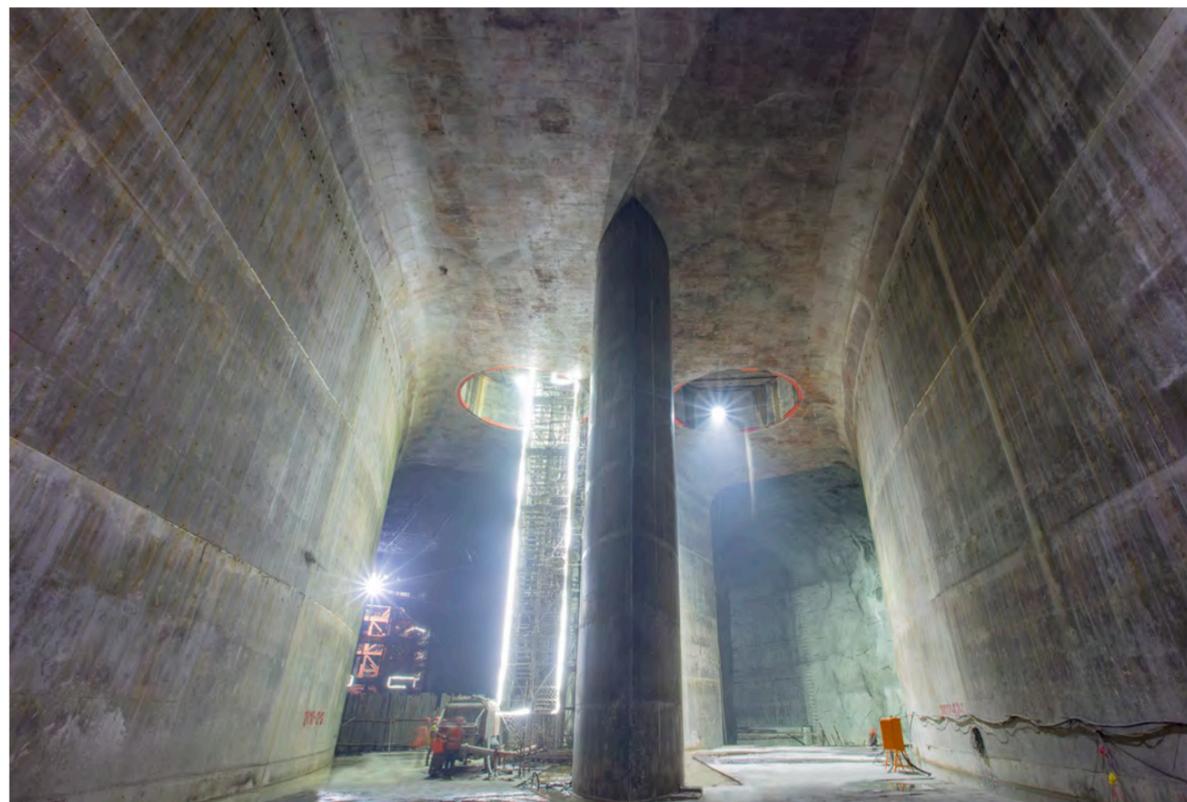
压力钢管竖井段焊接施工



白鹤滩左岸水电站首节压力钢管下弯段安装



压力钢管焊接施工



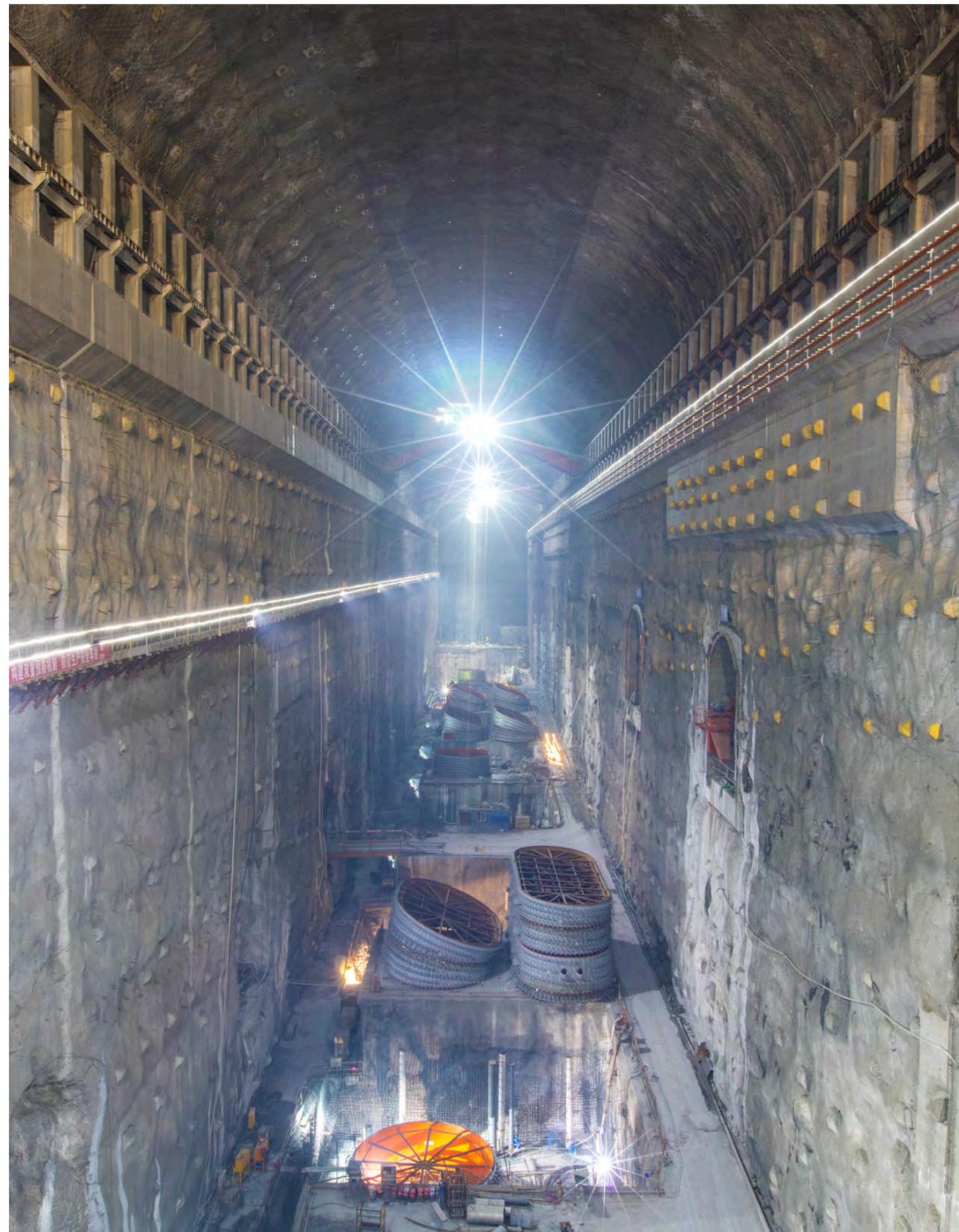
尾水调压室流道混凝土浇筑形象



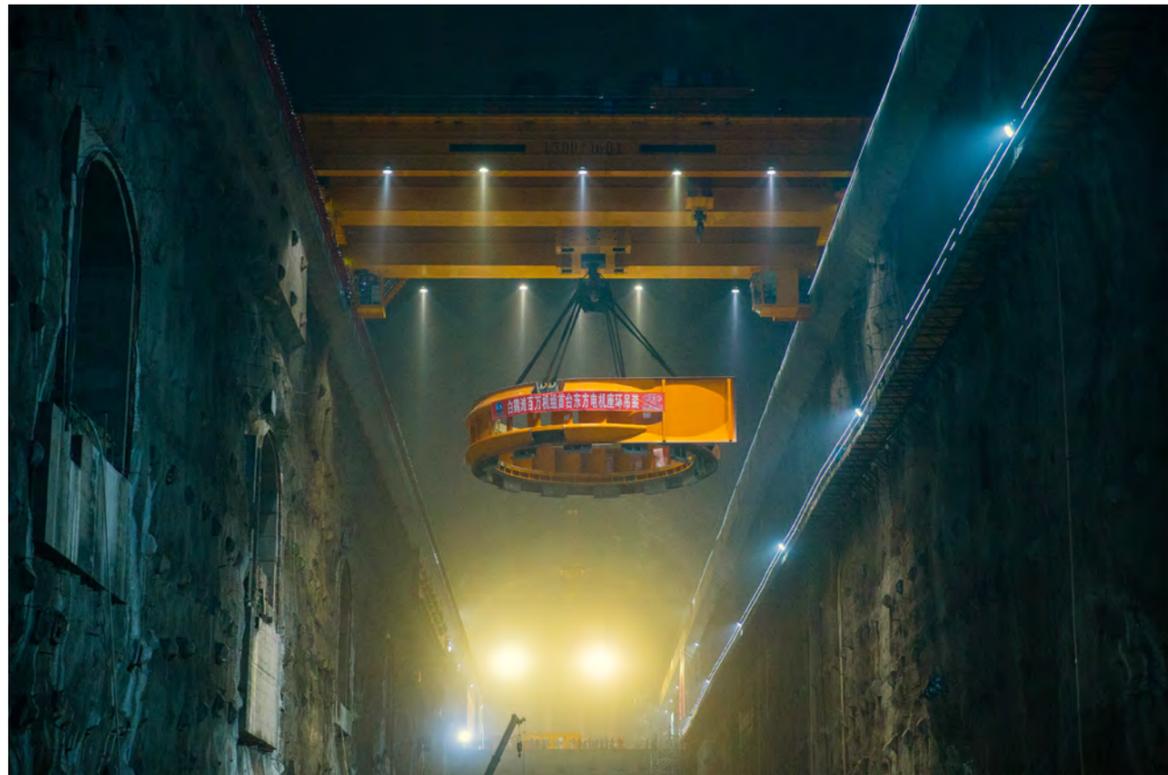
肘管安装与混凝土备仓



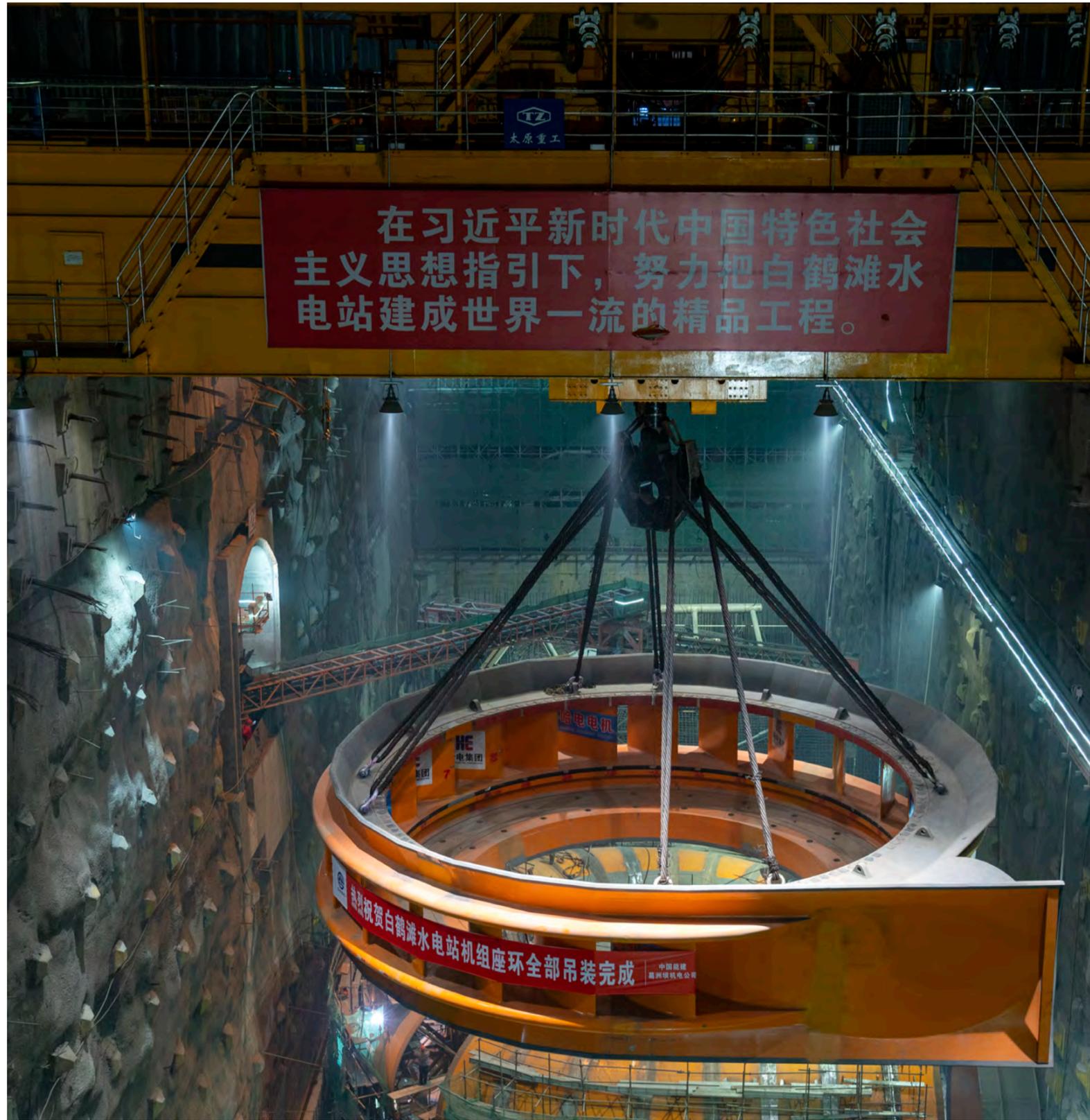
锥管吊装



地下厂房肘管与锥管安装现场



首台百万机组座环整体吊装



右岸最后一台座环圆满完成吊装



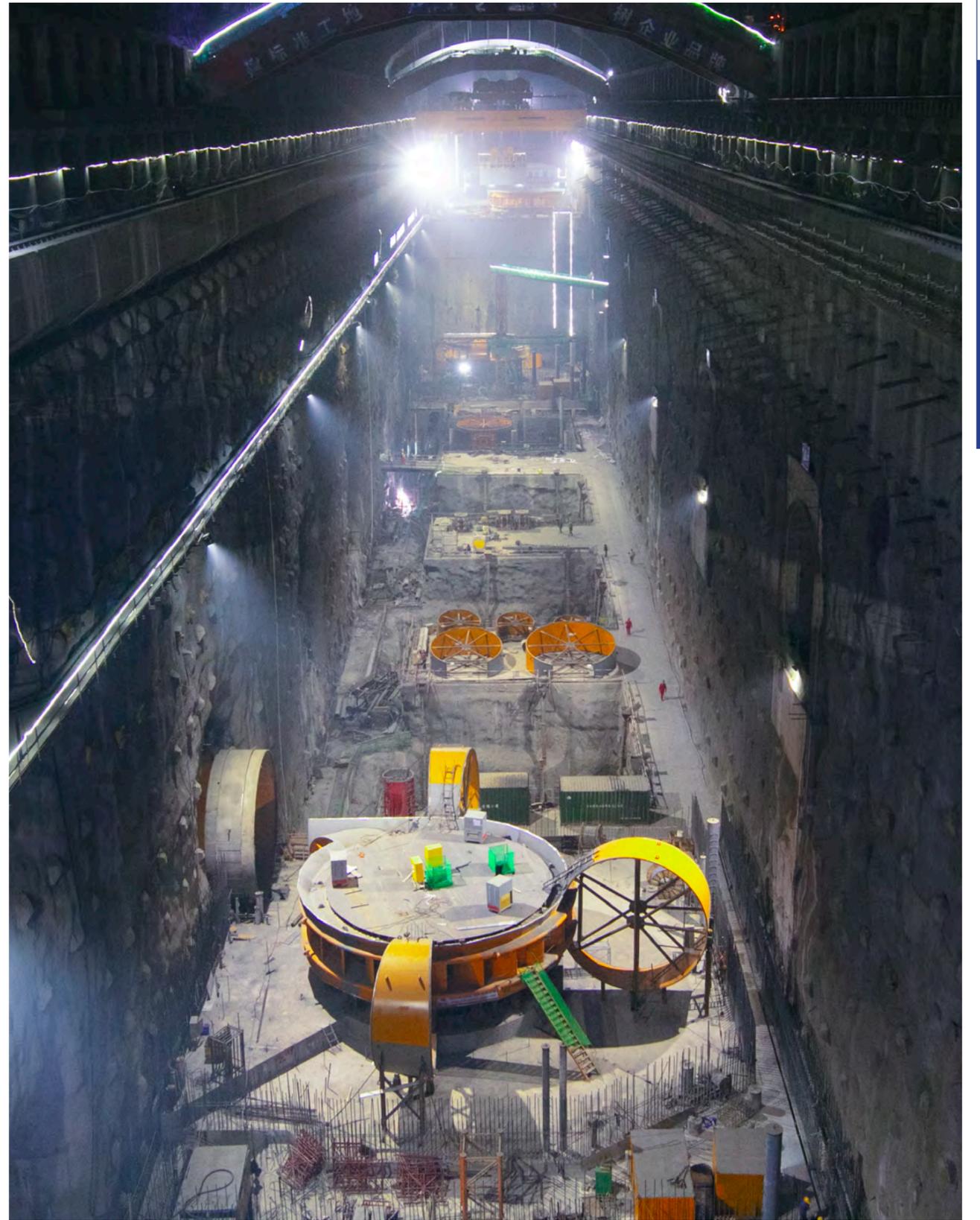
左岸最后一台座环圆满完成吊装



左岸1号机组首节蜗壳挂装



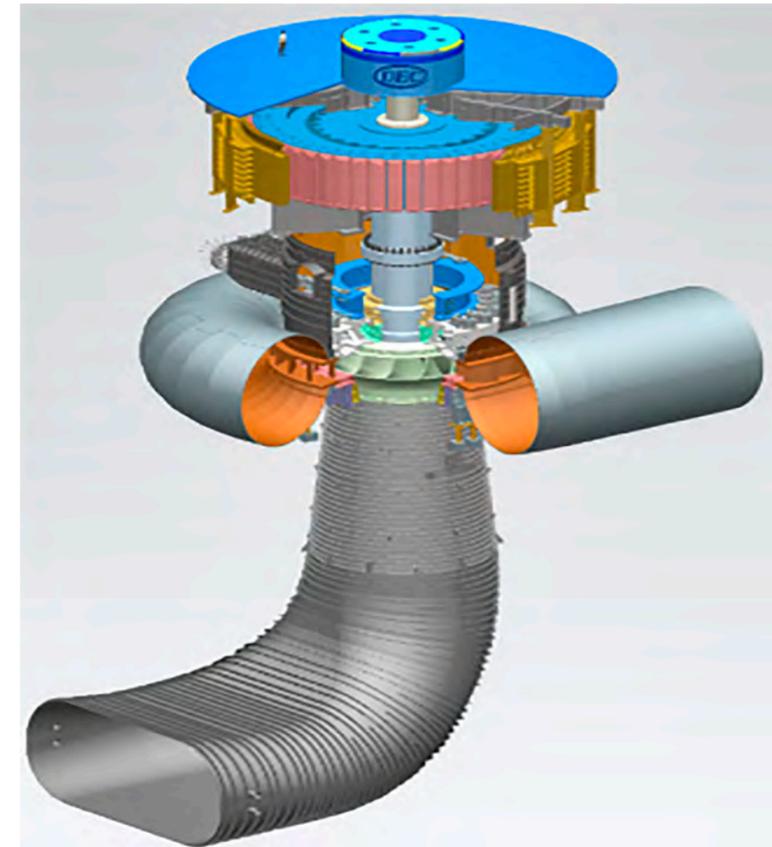
左岸蜗壳挂装现场



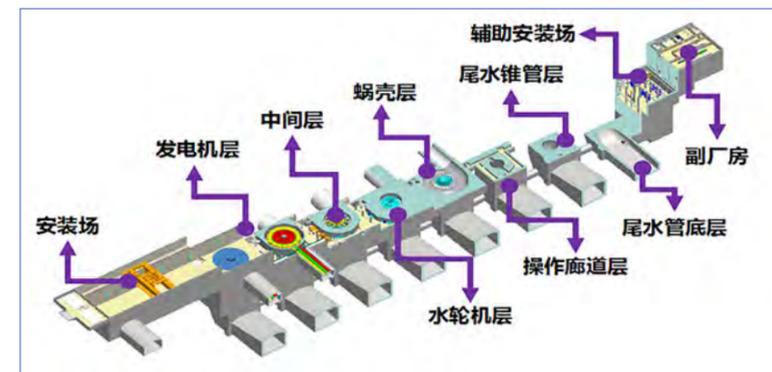
右岸主厂房安装施工形象



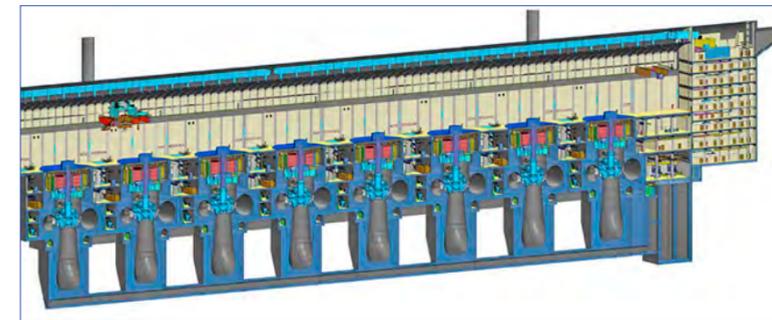
2019年左岸1号机窝施工形象



水轮机三维效果图



水轮机结构布置示意图



地下厂房纵剖面图



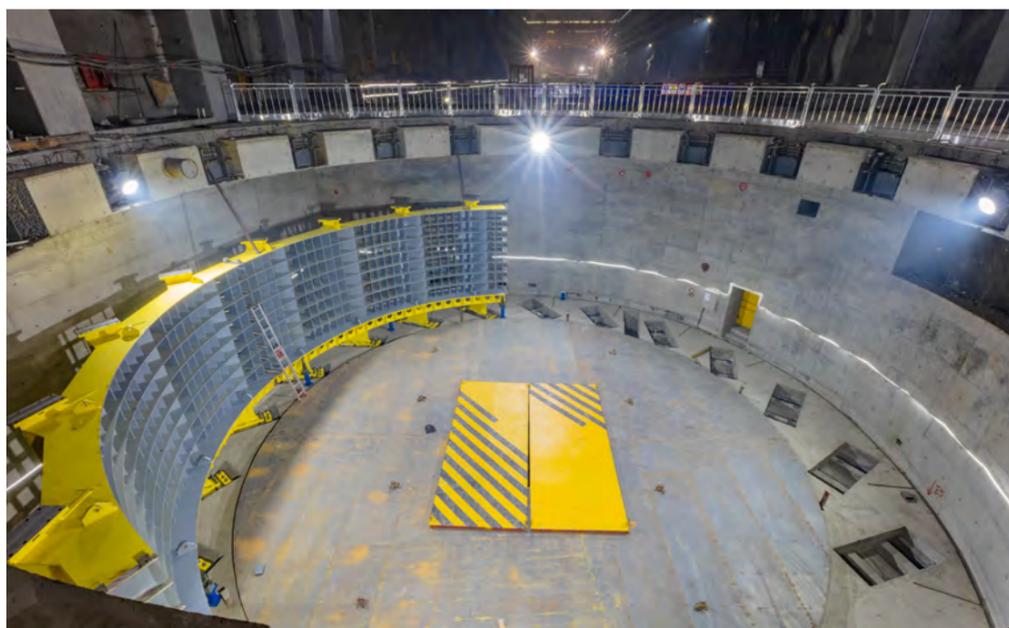
地下厂房蜗壳内部

机电工程

白鹤滩水电站是世界上在建规模最大、单机容量最大的超级水电工程，16台百万千瓦水轮发电机组埋件制造项目（肘管、锥管、蜗壳、机坑里衬）自2017年7月7日开始生产，2019年11月全面完成，共计总重量为13638t。

截止2019年底，已完成4台转轮（1号、2号、14号、15号）、4台下机架（1号、2号、14号、15号）的制造工作，均达到白鹤滩机电设备制造精品的目标。

2019年5月，机电安装标进场。2019年11月，左岸1号机坑土建向机电交面。2019年12月，右岸9号、14号机坑土建向机电交面。白鹤滩左、右岸机电安装工作正式拉开序幕。



机组埋件安装形象

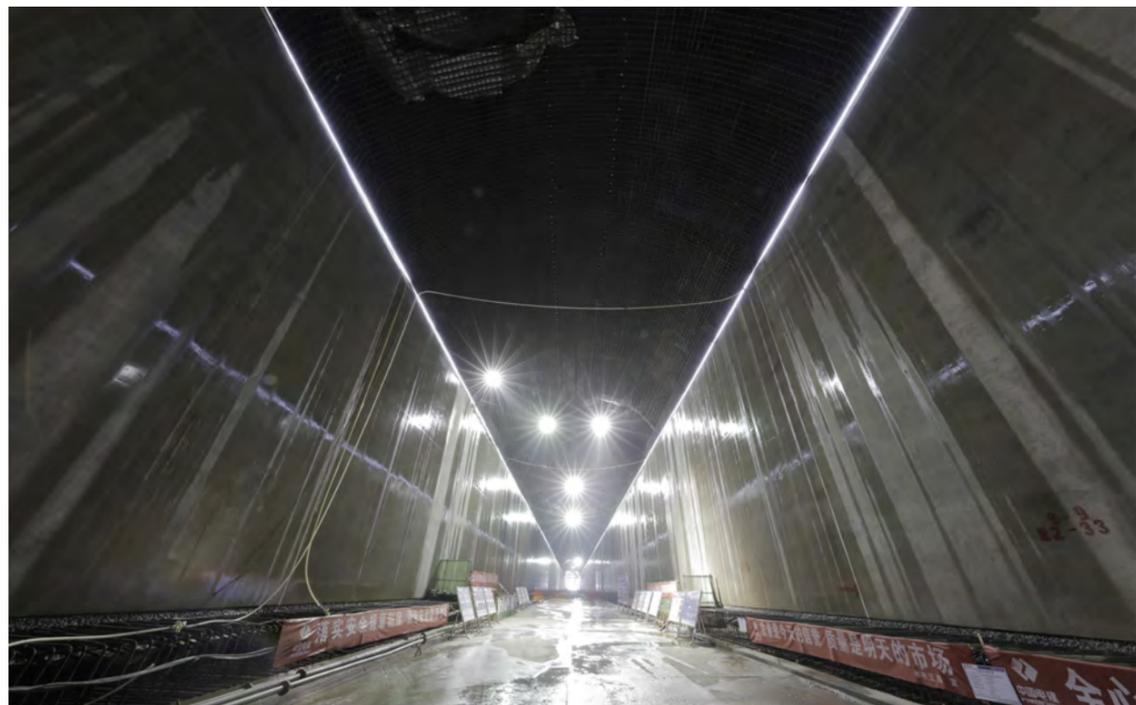


泄洪洞工程

泄洪建筑物由坝身泄洪消能建筑物与泄洪洞组成，最大总泄量为每秒 42 348m³/s。泄洪洞共三条，均布置于左岸山体，全洞无压，由进水塔、上坪段、龙落尾、挑流鼻坎、掺气补气系统组成，最大泄量为 12 250m³/s。

泄洪洞工程于 2016 年 5 月开始进水塔混凝土浇筑，2017 年 1 月开始上坪段混凝土浇筑，2018 年开始大坡度龙落尾段混凝土浇筑。2019 年泄洪洞出口边坡开挖至高程 594m，支护至高程 600m。出口 535m 高边坡土石方明挖完成 600 万 m³；进水塔浇筑到顶，塔顶门机安装完成；上坪段混凝土浇筑完成 90%，龙落尾浇筑量完成 70%。

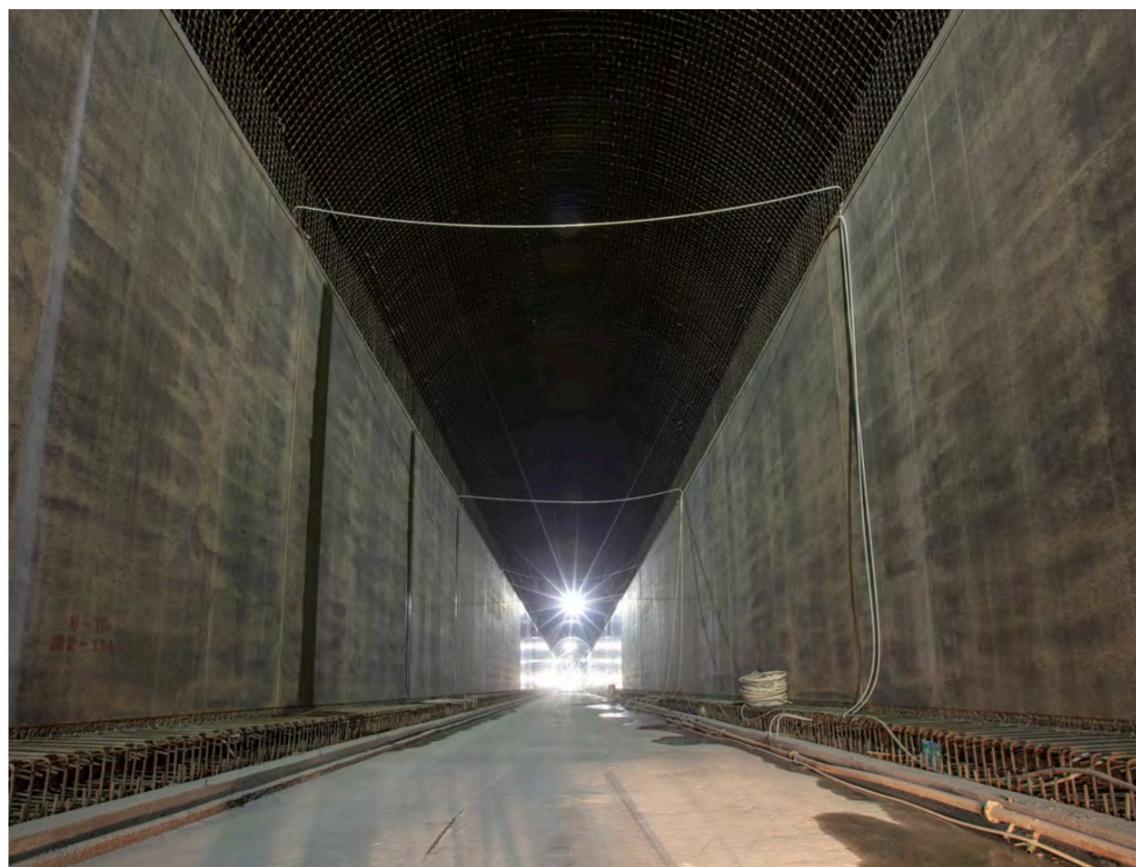




2017 年左岸 2 号泄洪洞边顶拱衬砌形象



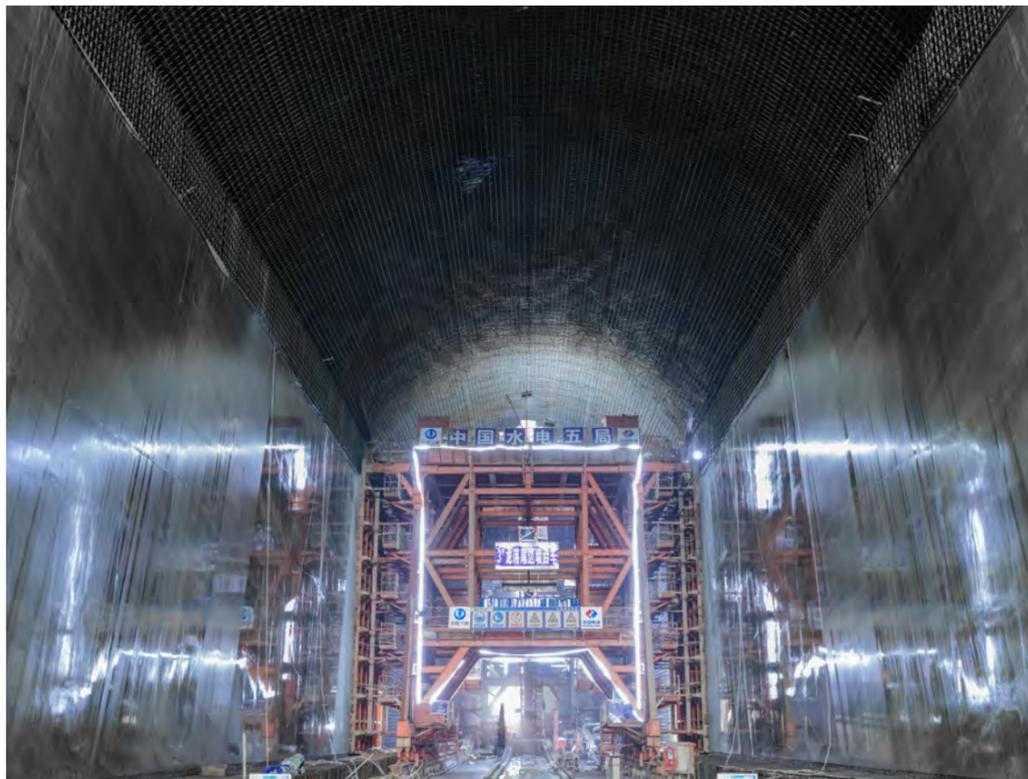
2019 年左岸 3 号泄洪洞上平段边顶拱底板衬砌形象



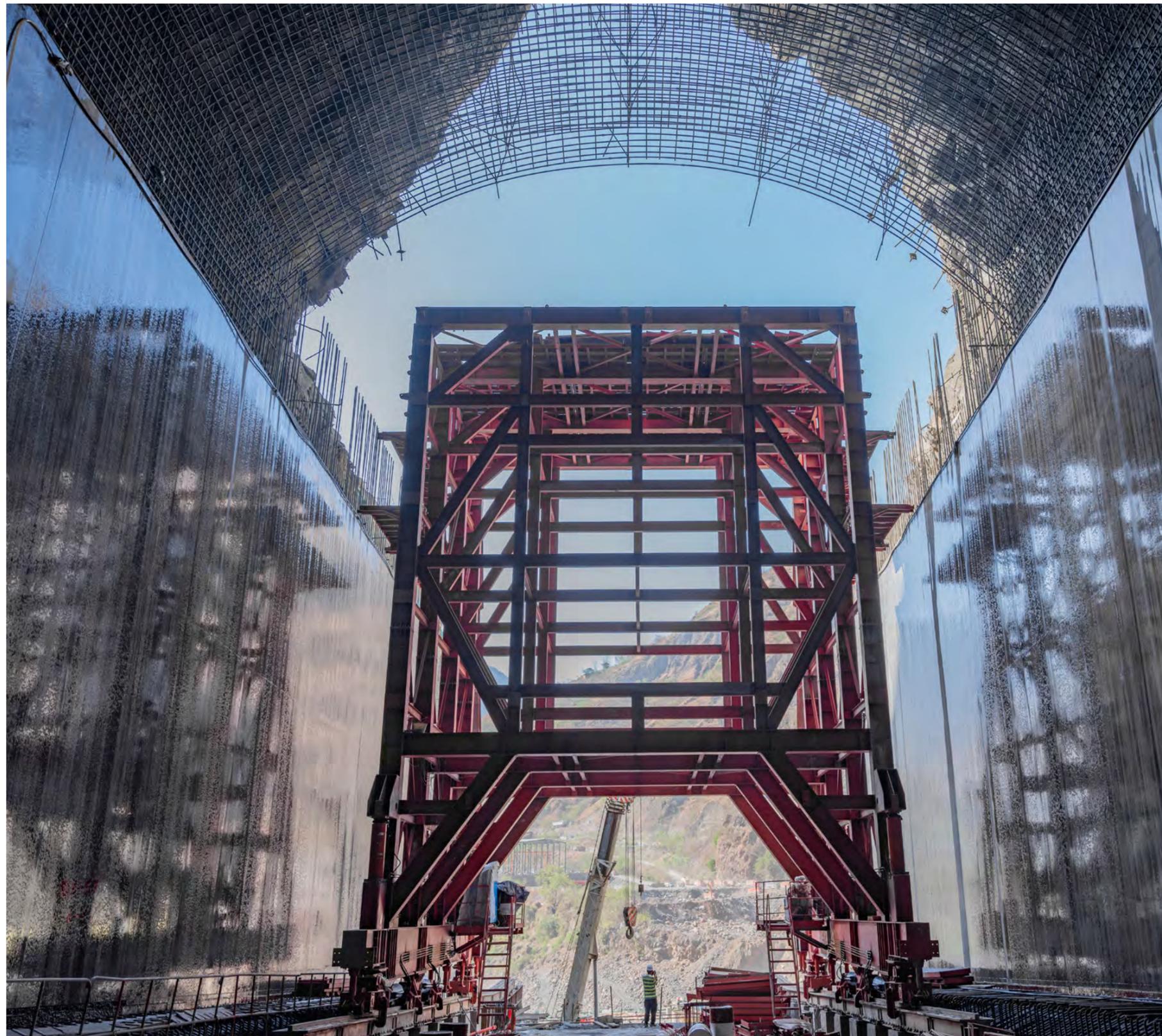
2018 年左岸 2 号泄洪洞上平段衬砌形象



左岸 3 号泄洪洞底板边顶施工形象



2019 年左岸 2 号泄洪洞龙落尾边顶拱钢筋备仓衬砌形象



2019 年左岸 3 号泄洪洞龙落尾出口边墙衬砌施工形象



2019 年左岸 1 号泄洪洞龙落尾边顶拱衬砌备仓形象

辅助工程

施工区共有5座砂石混凝土加工系统，其中大坝高线、低线混凝土系统专用生产大坝混凝土，各设置2座 $4 \times 4.5\text{m}^3$ 自落式拌和楼，满足预冷混凝土高峰浇筑强度 $20\text{万 m}^3/\text{月}$ 。三滩和荒田系统为砂石骨料加工与混凝土拌和楼一体化，各设置2座 $4 \times 3\text{m}^3$ 自落式拌和楼，满足预冷混凝土高峰浇筑强度 $12\text{万 m}^3/\text{月}$ ，供应导流洞、泄洪洞、左、右岸引水发电系统、大坝水垫塘及二道坝等工程。大坝砂石系统专用生产大坝灰岩骨料，生产规模和运输能力满足大坝混凝土高峰强度 $26\text{万 m}^3/\text{月}$ ，成品骨料采用LNG环保汽车运输（运距约 47km ）。

大坝高、低线、三滩和荒田砂石混凝土系统累计供应混凝土 $1\,470\text{万 m}^3$ ，大坝砂石加工系统累计供应成品骨料约 $1\,298\text{万 t}$ 。



高线拌和系统



低线拌和系统



荒田砂石混凝土系统



三滩砂石混凝土系统



大坝砂石骨料加工系统



云雾中的低线拌和系统

03

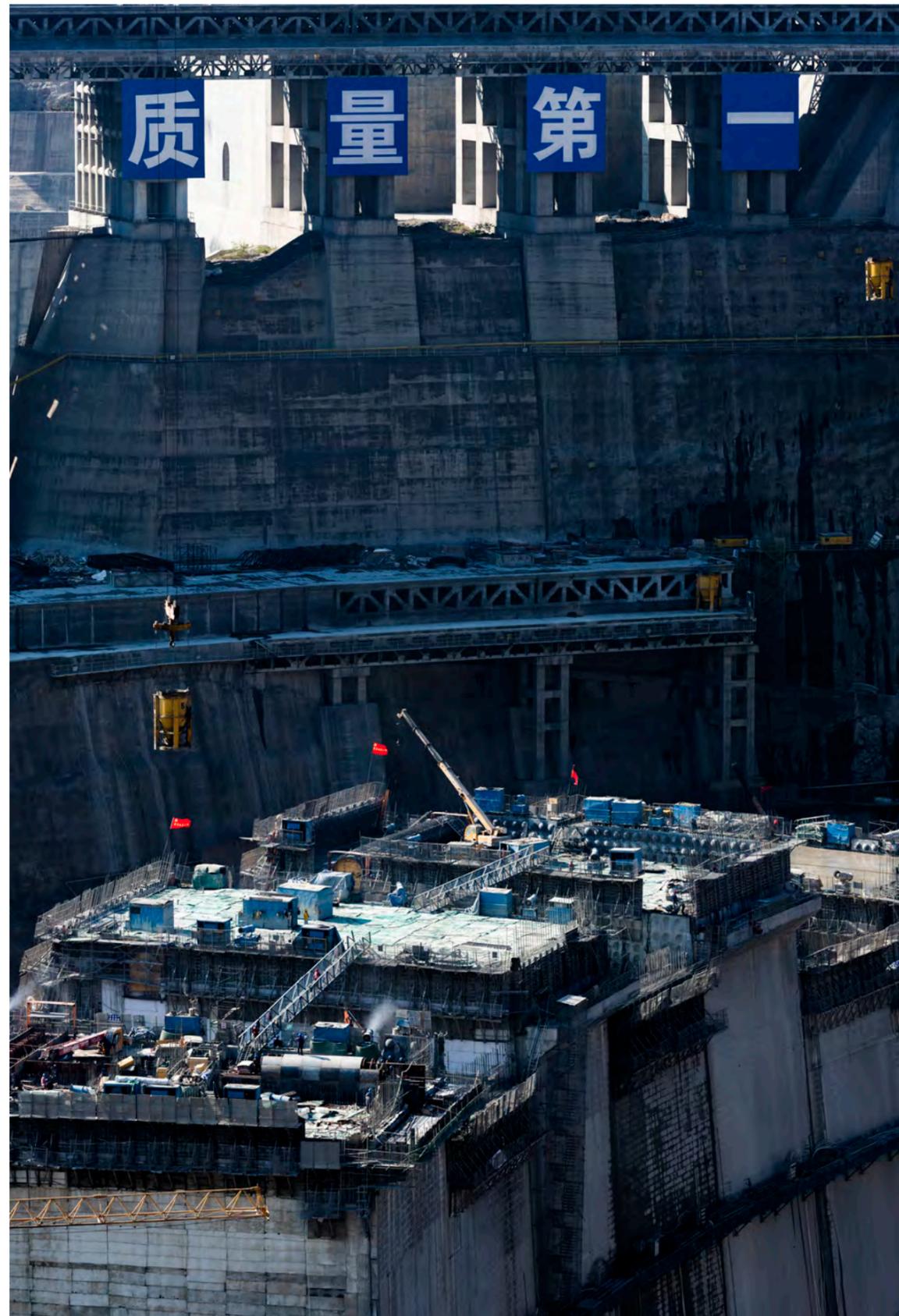
工程建设管理

白鹤滩水电站是国之重器，其工程质量安全事关水电站的长期安全稳定运行，事关下游人民的生命财产安全，事关党和国家的形象。建设者始终本着对党、对国家、对人民、对历史高度负责的精神，始终以如临深渊、如履薄冰的态度，以最高的标准、最优的工艺、最严的管控，建设经得起历史检验的工程。



精品工程

三峡集团不忘初心、牢记使命，争创世界一流精品工程，铸大国重器水电站典范，始终把质量和安全放在首位，精心组织工程施工，有序推动工程建设，坚持严谨的态度、严肃的作风、严格的管理、精细的工艺，精心策划、周密组织、严格控制、精细实施，实现质量上乘、本质安全、成本合理、进度受控的建设目标。



质量上乘

三峡集团全面推行标准化工艺、全面创建精品工程、全面防范质量风险，坚持“重策划、强过程、勇创新、铸典范”的理念，质量意识不断提高，工程质量持续提升，呈现“大坝整体精品、地下厂房亮点纷呈、泄洪洞全面精品”的良好态势。开工建设以来，未发生质量事故，单元优良率屡创新高。自工程质量获得政府质量监督专家组的高度评价，达到水电行业的顶尖水平。



大坝工程

大坝工程采用变径式坝体拔管、止水定型模板、门槽一期直埋等创新技术，使得混凝土能够整体快速均衡连续上升，优质、快速、安全过底孔，从而打造精品廊道。此外，混凝土质量优良，取芯“一芯到底”至基岩，长达 25.7m，打破行业记录，芯样骨料分布均匀，密实无气泡；温控策略措施到位、控制有效，持续推广可复制的保温标准化工艺，实现精细化过程温控，全坝未出现温度裂缝，混凝土性能优良、体型达标、内实外光、无裂无缺、免于处理、无疵可求。

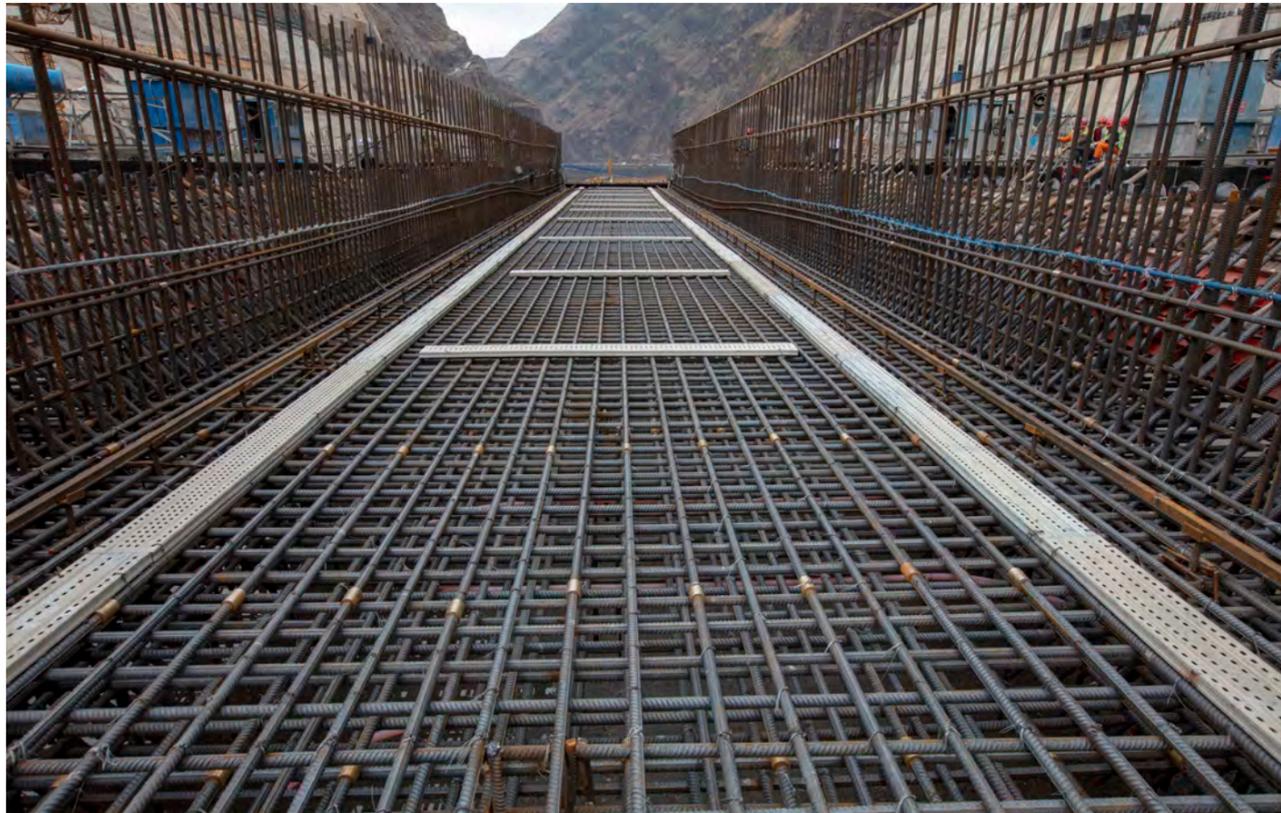


大坝导流深孔钢衬备仓安装施工形象





大坝基坑清理

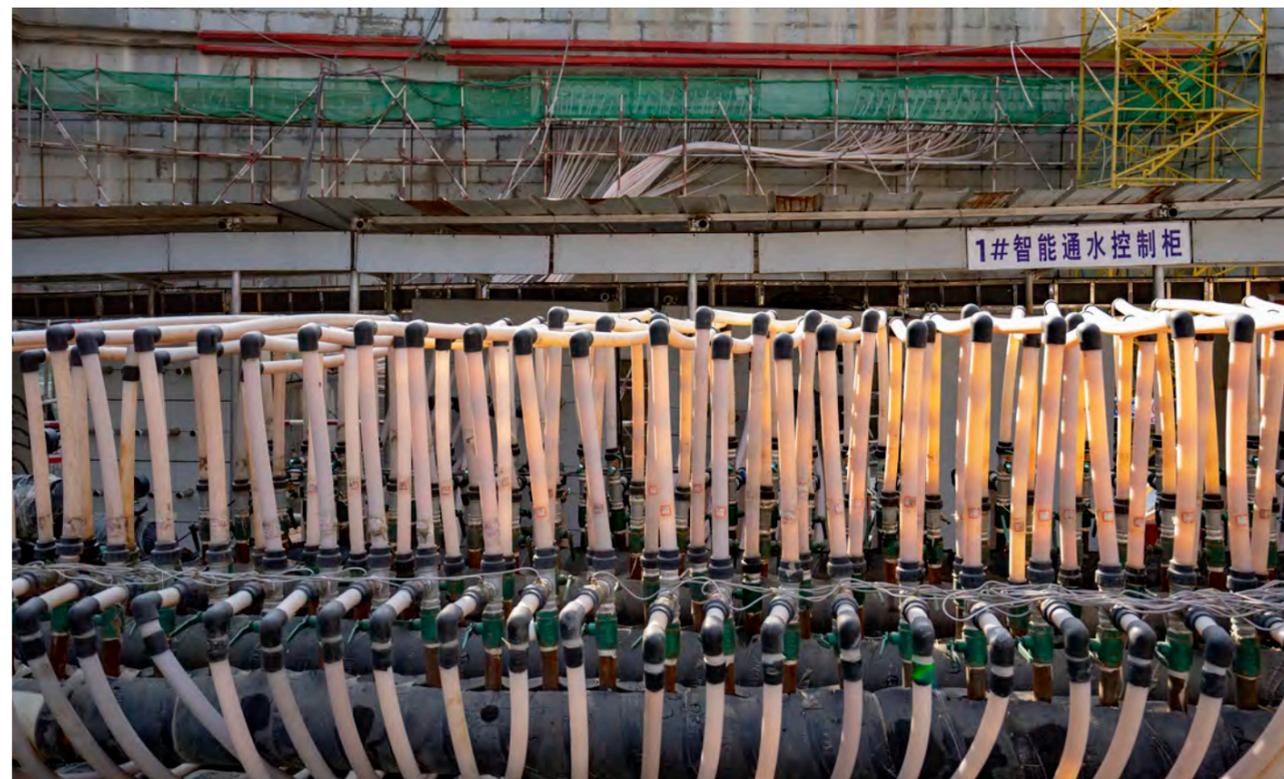


大坝导流孔底板钢筋备仓





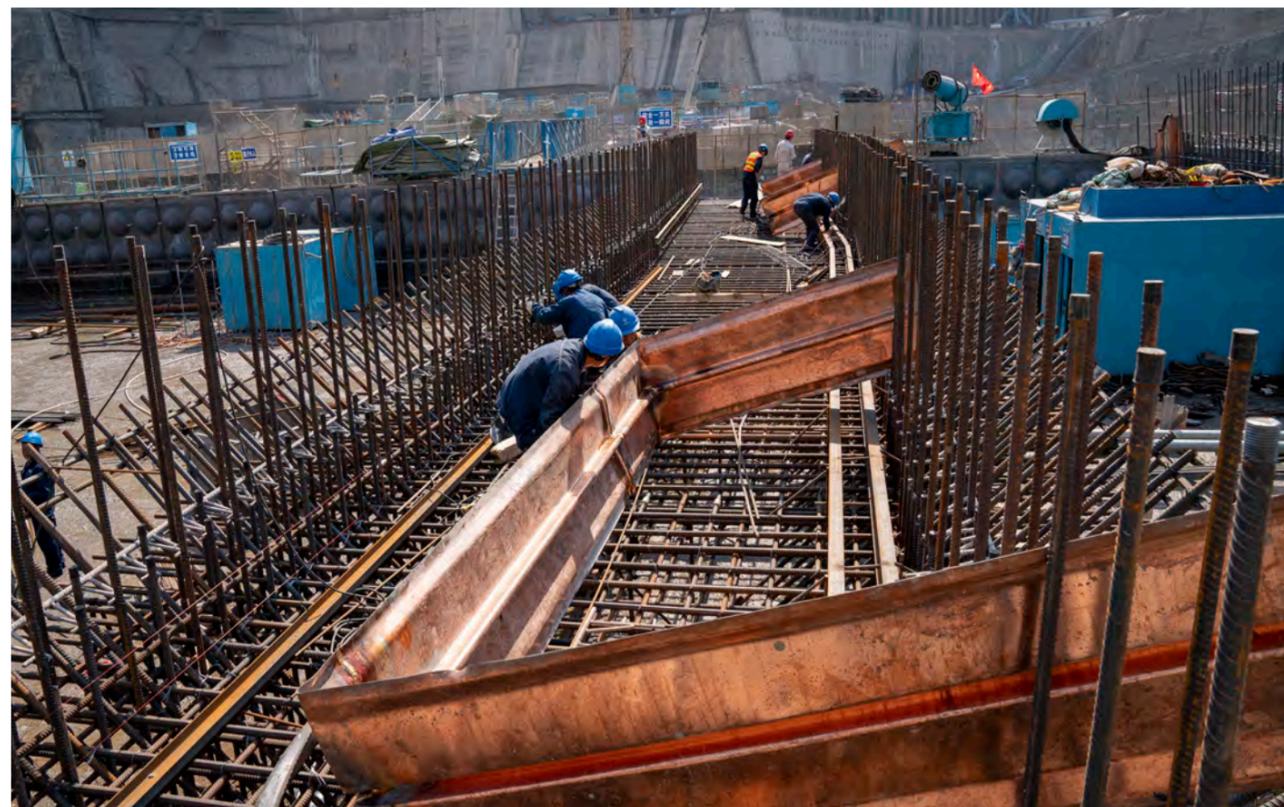
大坝混凝土浇筑取芯验收



大坝智能通水系统

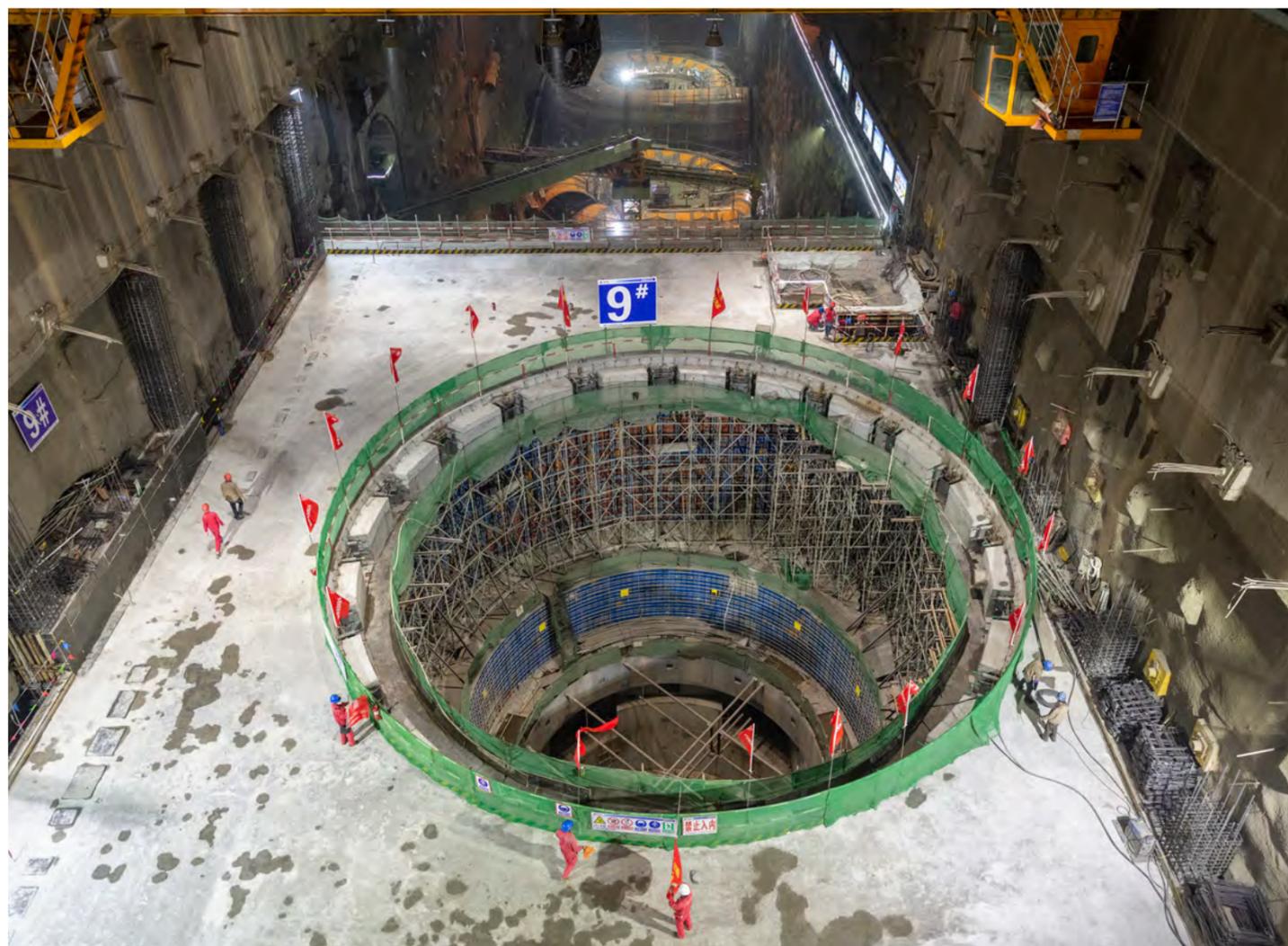


大坝廊道



地下厂房工程

通过组织优化混凝土浇筑工艺、关键工序联合验收、重要仓号和工序全程旁站、脱模后质量联合管控等措施，全面提升了引水发电系统工程的混凝土质量；主厂房机组混凝土外光内实、体型精准、未出现开裂现象；7号~10号机组、安装场、主变室、出线楼等部位板梁柱免装修混凝土表面光滑平整、四周棱角分明、外观细腻精致、质感严密均匀，得到了专家和同行的一致好评；尾调室流道、阻抗板和井身混凝土体型优良、外观颜色均匀一致，精品工程创建已见成效。而且，混凝土埋件准确无遗漏，蜗壳阴角密实无脱空、浇筑过程无抬动。



9号机组发电机层浇筑完成



左岸1号尾水洞上平段衬砌



2号阻抗板浇筑外观质量



蜗壳安装与混凝土备仓

机电工程

尾水肘管焊缝探伤一次合格率为 99.55%；尾水锥管焊缝探伤一次合格率为 99.66%；蜗壳焊缝探伤一次合格率为 99.65%，制作尺寸优良率为 97.10%。

至 2019 年末，完成 1 号、2 号、14 号、15 号转轮制造。1 号转轮焊缝一次交检合格率为 98.62%；2 号转轮焊缝一次交检合格率为 99.62%；14 号转轮焊缝一次交检合格率为 99.57%；15 号转轮焊缝一次交检合格率为 99.63%。累计完成 1 号、2 号、14 号、15 号下机架制造。4 台转轮及 4 台下机架均达到白鹤滩水电站机电设备制造精品的目标。



白鹤滩水电站百万机组首套肘管预装

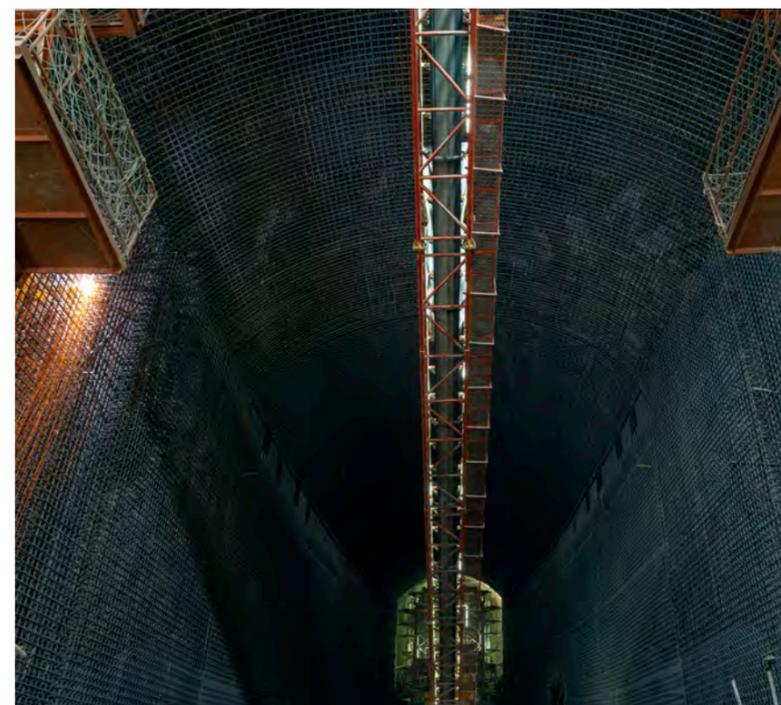


泄洪洞工程

紧盯泄洪洞“全面精品工程”的目标，不断攻克技术瓶颈和施工质量顽疾，底板锚筋第三方无损检测一次合格率达到 99%，衬砌混凝土体型偏差最大为 6mm，不平整度最大为 3mm/2m 靠尺，边墙施工缝面实现“无缝衔接”，底板施工缝面达到“看得见、摸不着”的效果，通过精细化通水冷却，混凝土最高温度平均富裕度为 5~6℃，采用智能养护并延长混凝土养护时间至 90 天，保温措施到位，未发现温度裂缝，始终保持体型精准、平整光滑、耐磨防裂、零缺陷的“镜面混凝土”质量标准。



泄洪洞底板镜面效果展示



左岸 2 号泄洪洞上平段衬砌形象



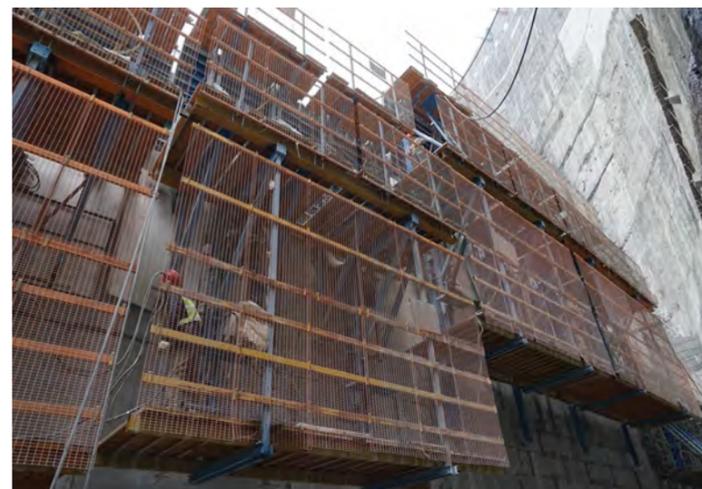
泄洪洞边墙无缝连接



泄洪洞底板工艺

大坝工程

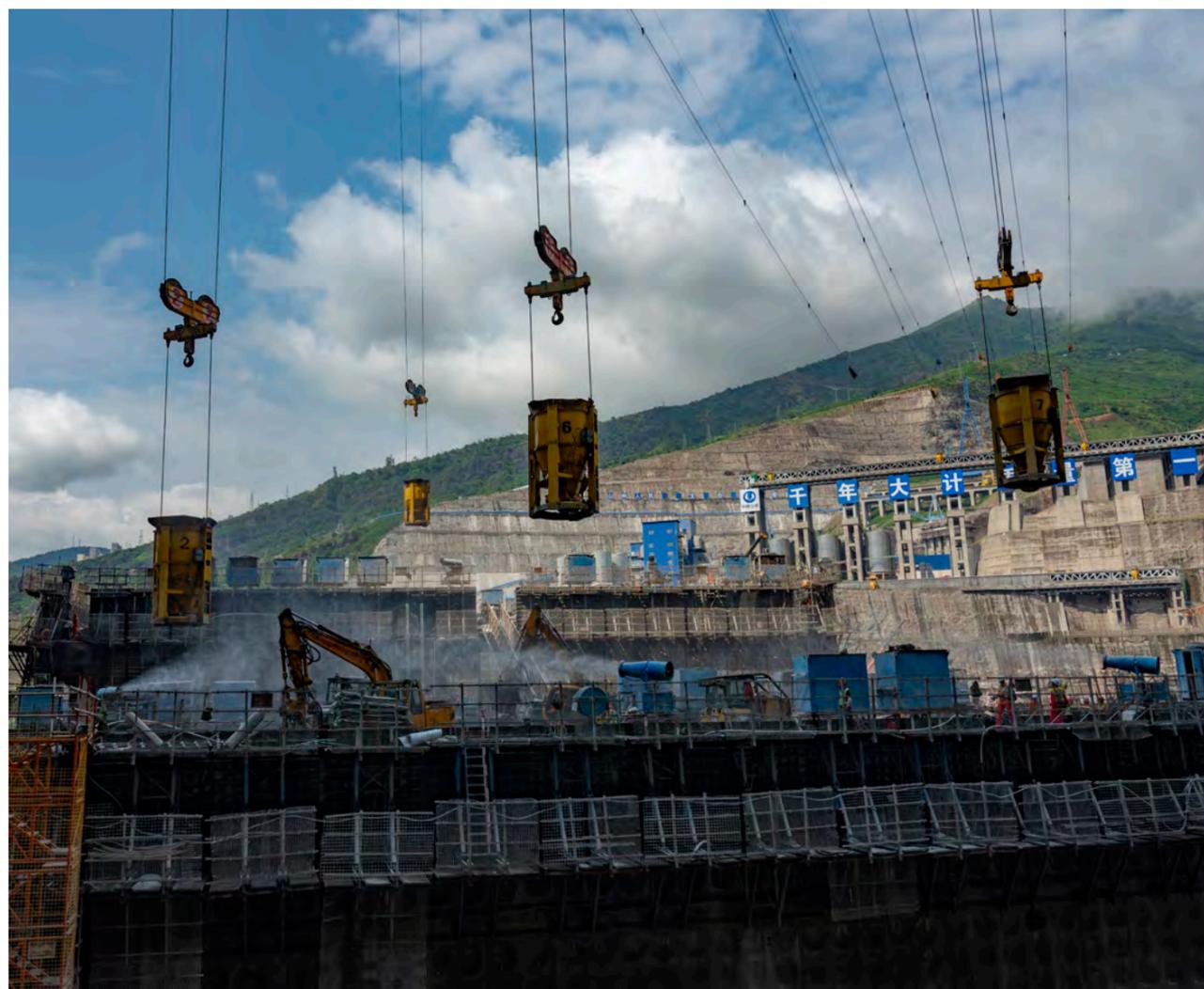
牢固树立生命至上、安全第一的管理理念，定期全面排查治理方面的安全隐患，层层压实全员安全责任。研究采用液压自爬升悬臂模板、自升式转梯、门槽一期直埋云车等新型设备，制定缆机大风天气运行制度，落实缆机防碰撞管理规定，有效管控高强度混凝土浇筑带来的高处坠落、物体打击、起重伤害等重大安全风险，创造安全的施工环境，推动安全生产持续向前。



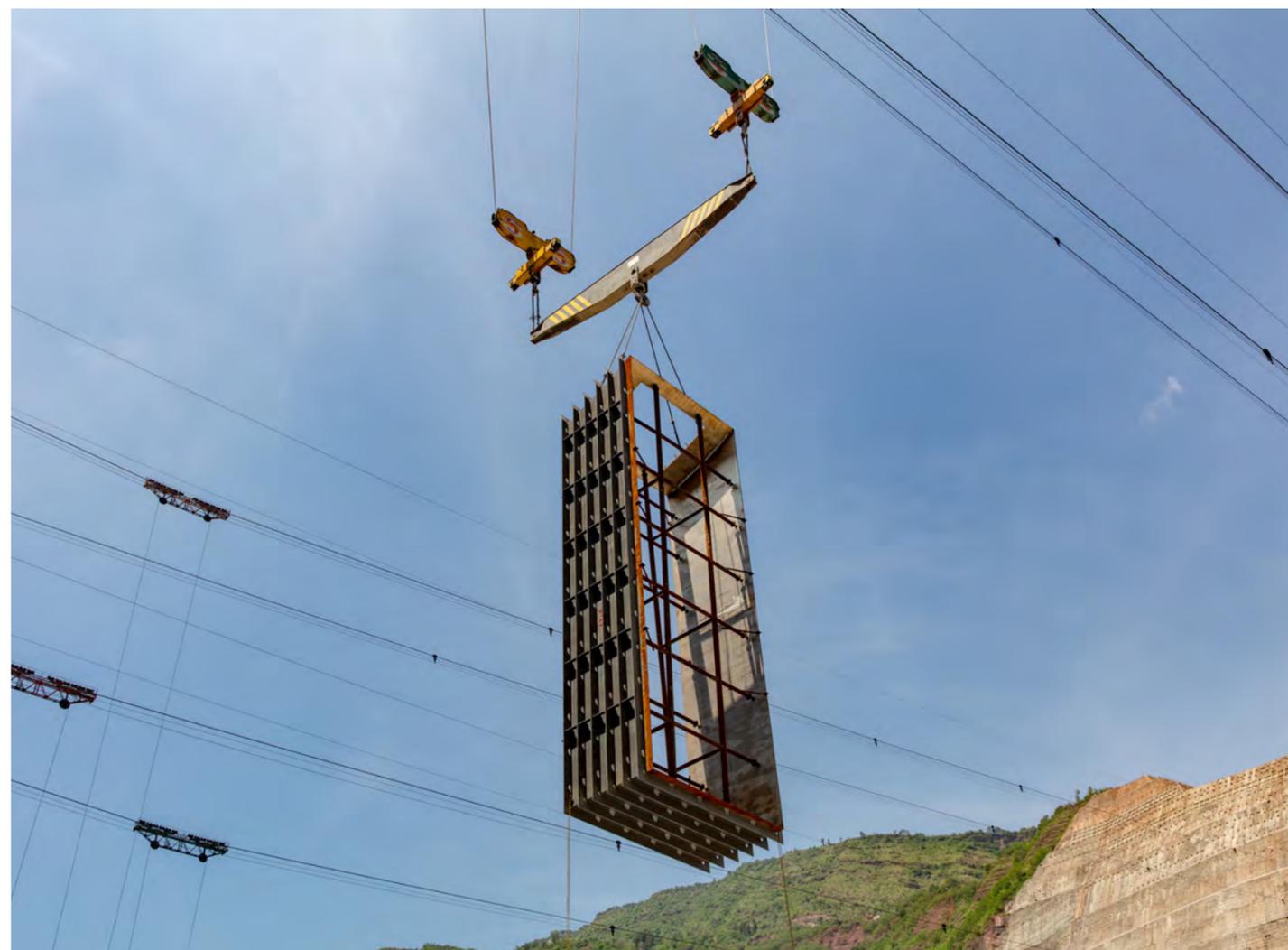
大坝 23 号坝段液压爬升模板提升施工



运行中的七台缆机



大坝高强度浇筑



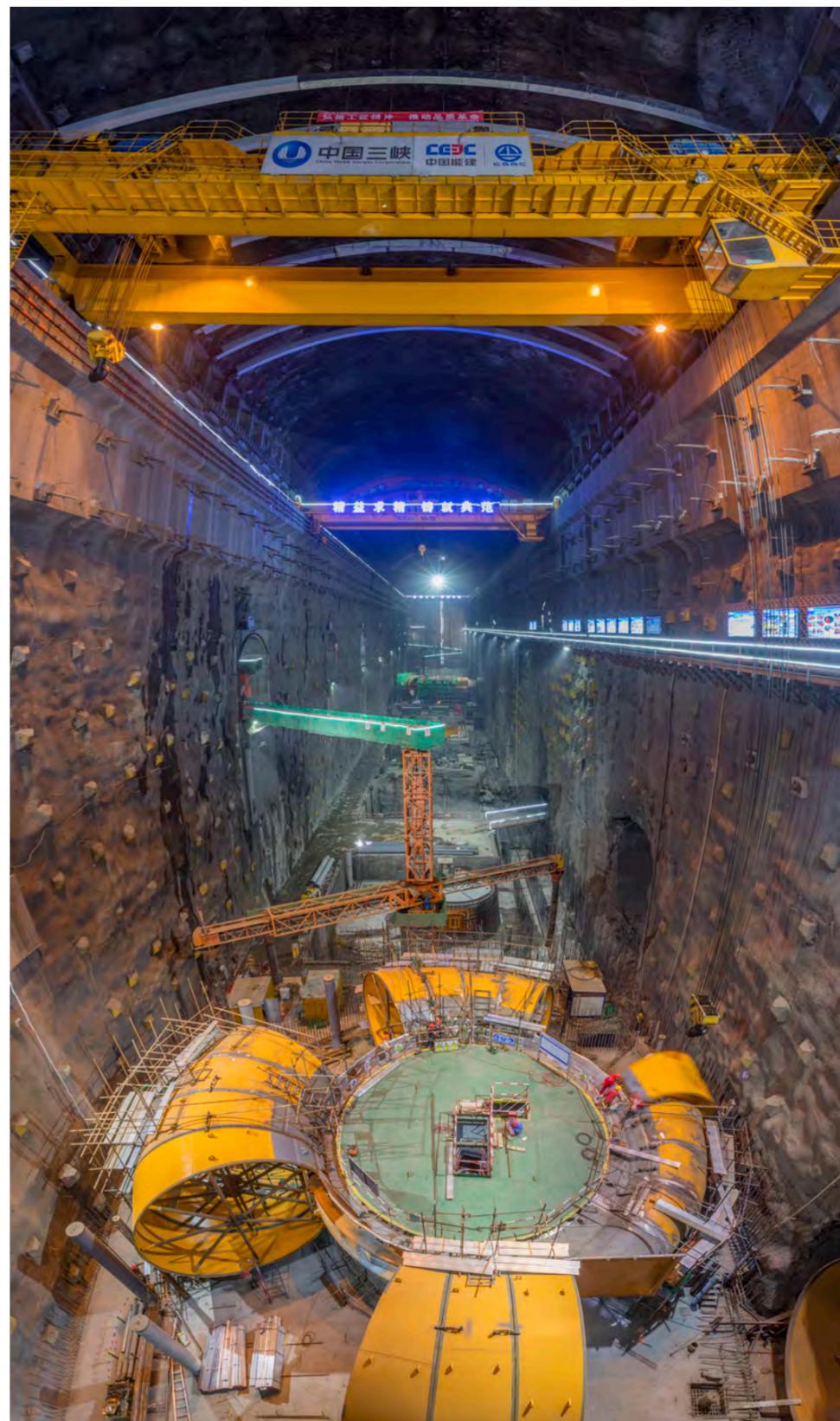
19 号坝段导流深孔钢衬吊装

地下厂房工程

合理规划主厂房吊顶及埋件吊装与下部施工，建立多专业交叉作业避让机制，制定桥机、塔机防碰撞措施，采用高强度盘扣式脚手架，研究导流洞下闸抽水顺序并进行实战演练，开展安全文明施工联合周检查和专项安全大检查，利用安全微信平台形成隐患排查治理长效机制，从源头上树立文明施工形象，保障工程建设安全，继续保持无安全事故的管理目标。



8号尾水调压室高排架



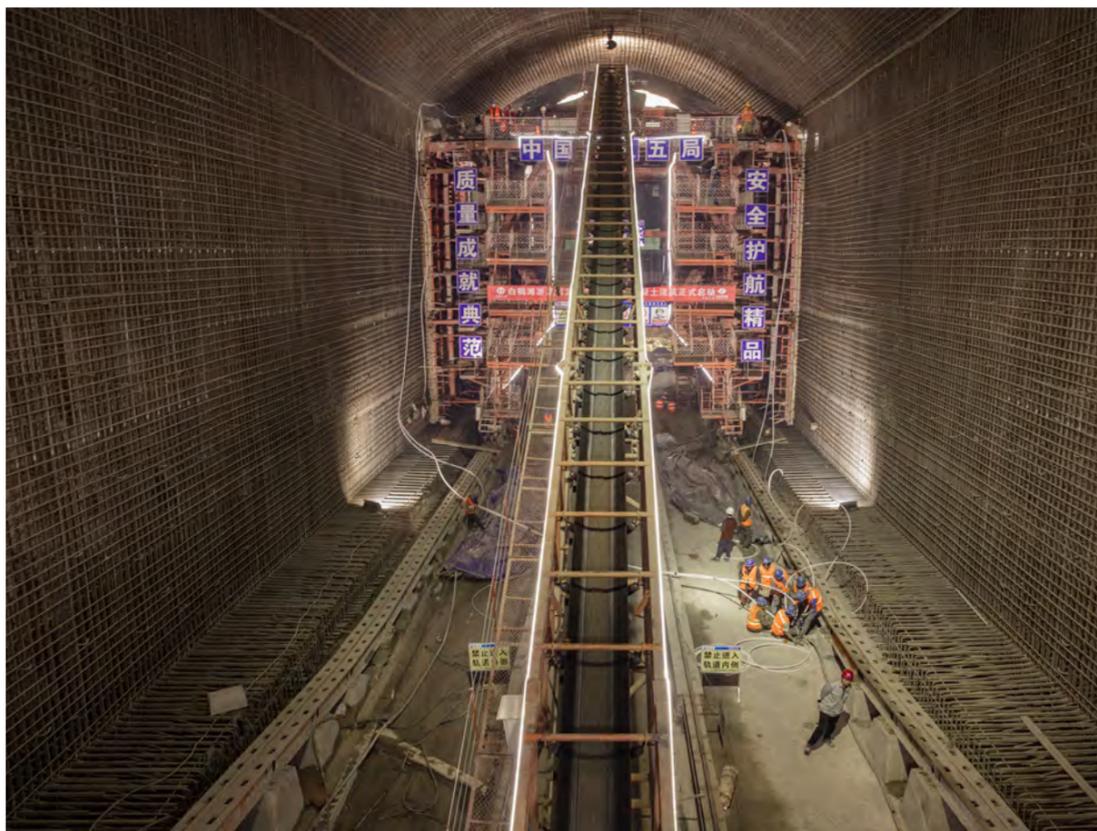
右岸主厂房

泄洪洞工程

龙落尾首次采用大坡度重载上料系统来实现低坍落度混凝土运输，增加供料小车安全冗余，设置全过程运行视屏监控系统，严格执行“一仓一验收”的制度，2019年底已安全运行7000小时；泄洪洞出口400m高边坡通过精细化过程管控、跟进支护等方法已持续保持安全“双零”目标；研发车辆管理系统，实时动态监控车辆超速、疲劳驾驶等情况，全面掌握车辆运行状态，确保车辆运行安全。



龙落尾供料小车



运输轨道



泄洪洞出口形象

机电工程

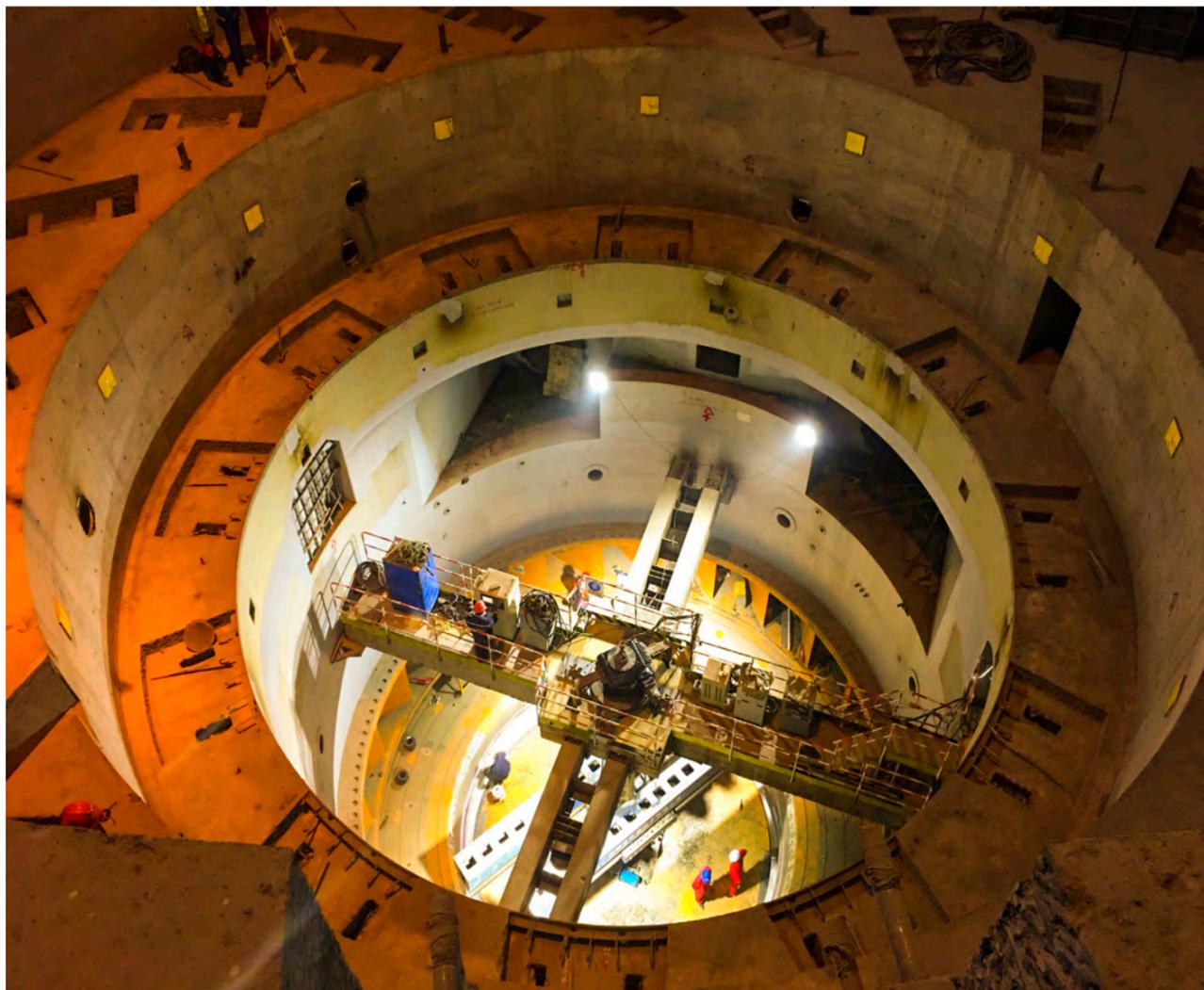
按照“精品工程”的要求及目标编制了《白鹤滩机组埋件质量检验标准》，建立全过程可追溯制度，从原材料进场到焊条存储、烘烤、领用、发放、线能量检查、焊条回收、焊缝探伤等实行全过程的管理，实现了“管理过程流程化，验收结果表格化”的目标。

建立了完整的转轮加工生产管理体系，5S管理成果初步显现，标准化生产模式已经形成，生产工序及工期安排科学，质量、安全、进度总体状况良好，得到各参建单位的一致肯定，展现了机电工程的精神面貌和业务能力，树立了水电行业转轮制造的标杆。

坚持“以创建精品工程，打造美丽机电”为宗旨，编制了《1000MW水轮发电机组安装质量检测标准》，电气一次、电气二次、辅助控制系统的相关标准已初步定稿，各项工作质量总体可控。



转轮加工厂



成本合理

白鹤滩水电站的动态总投资额为1728亿元，累计完成投资额782亿元，占总投资额的45%。在工程建设阶段实行“静态控制、动态管理、合理调整、全程考核”的投资控制管理模式。

“四同时”合同管理系统

研发并应用现场完工、工程计量、质量验评、资料归档的“四同时”合同管理系统，进行“完工之时即竣工之日”的工程管理新探索。

实现“安全准点”发电目标

本着“利益共享、风险共担、互利共赢”的理念，按照“实事求是、概算为限、合法合规、高效有效”的原则，在合同框架下积极、主动地研究解决一系列重大经济问题，为实现“安全准点”发电目标提供资金保障。

合同变更索赔管理

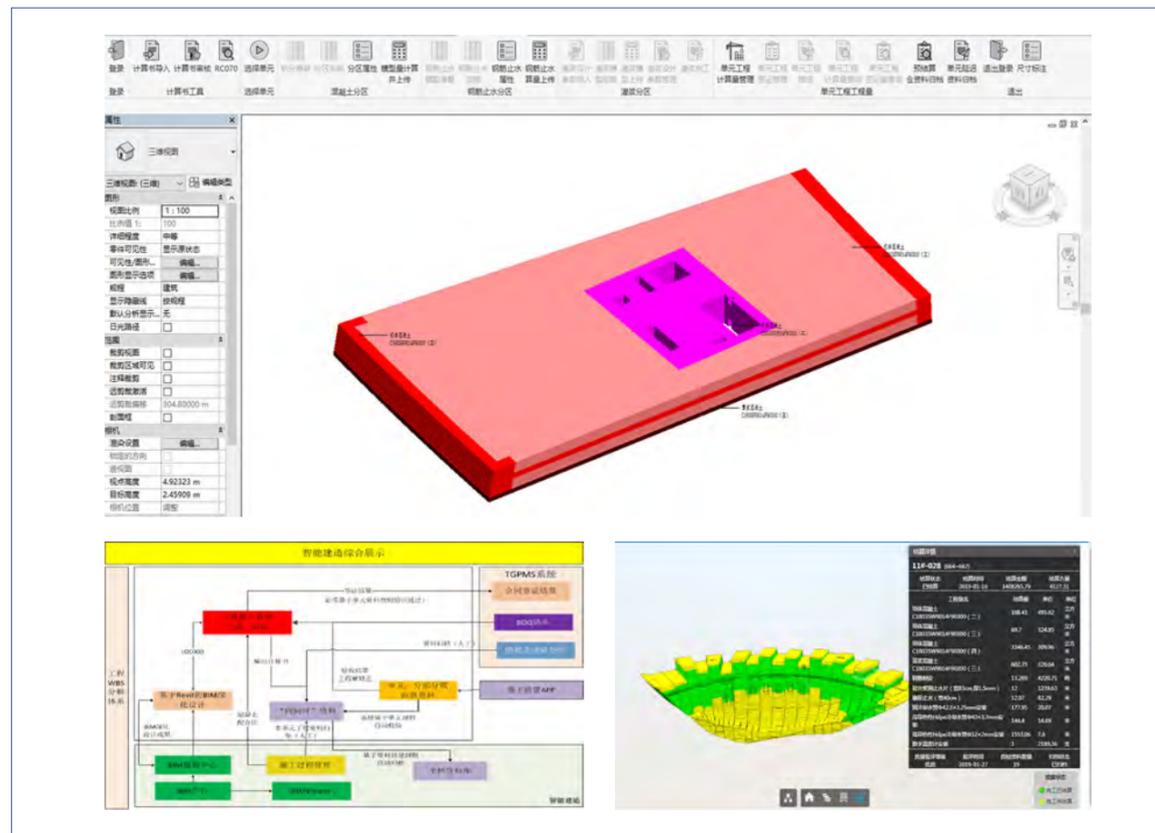
建立“以变更结算例会为龙头，变更立项审批为抓手，变更信息管理为载体”的变更管理体系，公开、公正、合规管理合同变更索赔。

接受集团公司内部审计

截至2019年底，白鹤滩水电站的完工合同已全部完成内部审计，审计问题整改关闭率为100%，数百项审计成果直接应用于工程建设管理，各项制度更加完善、规范，有效发挥了审计监督和促进管理的作用。



集团公司进行内部审计



“四同时”合同管理系统



进度受控

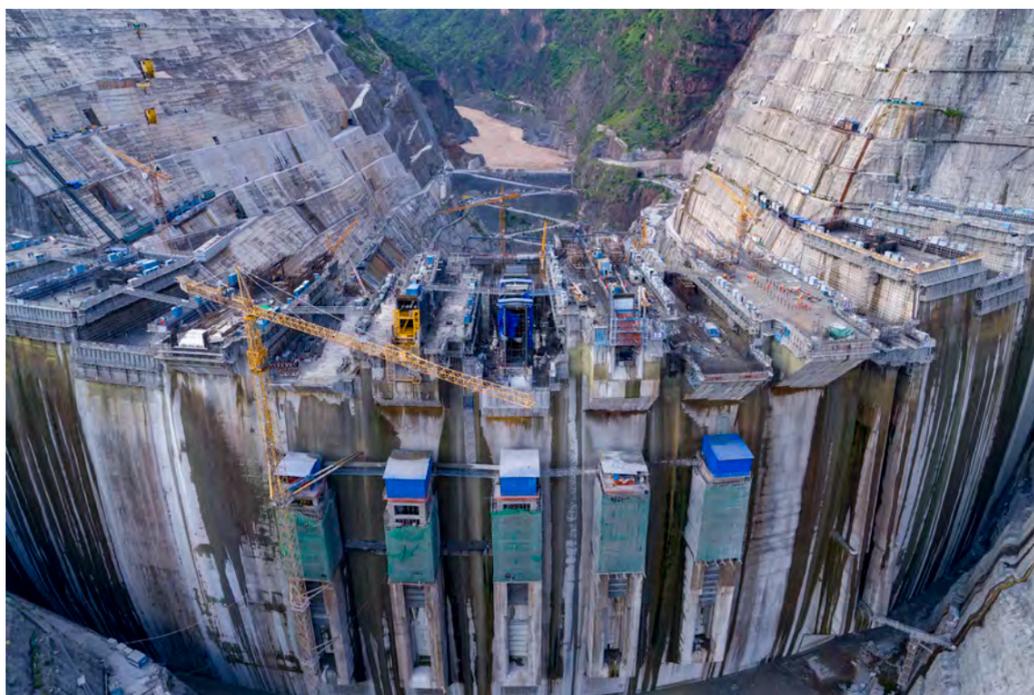
坚持紧盯“安全准点”发电目标，按照年度工程计划，精心组织各方资源，制定专项施工保障措施，实现工程稳步推进，工程形象、投资、工程量总体匹配较好。

大坝工程

研发缆机自动配置程序，精确配仓、科学排仓、高效备仓，全面实行三仓同浇。2018年浇筑220万 m^3 ，2019年浇筑270万 m^3 ，2019年11月创造了单月浇筑27.3万 m^3 和单日浇筑1.2万 m^3 的新纪录。

采用牛腿预制模板，提高备仓效率；引进十字盘脚手架流道顶板支撑，实现快速安拆；编制泄洪深孔施工导则，梳理技术方案，逐仓制订备仓设计，细分施工任务和土建金结协调关系；采用标准化型钢支撑架，上下游同步推进压缝焊接，钢衬安装12天内完成；出口闸墩部位定制吊车平台，保障备仓效率；支撑大梁底部钢衬与型钢桁架整体制作后吊装，解决高空支撑难题；通过科学组织，深孔底板仓间歇期最长为26.3天，最短为19.6天，创造了百日过深孔（最快89天）的奇迹。

紧抓施工主线、快速处理问题、优化施工安排，组织专题研究会分析典型仓备仓设计及资源配置、总结固化标准化工艺，有效提高备仓效率和施工质量，水垫塘和二道坝完美收官，已实现2020年充水目标。大坝工程正安全、优质、高效地朝着蓄水发电目标推进。



地下厂房工程

白鹤滩工程建设部多次组织参建各方开展专题研究，进一步细化施工方案、优化施工程序，采用肘锥管擦节安装、座环整体吊装、立柱伸缩式混凝土布料系统、盘扣式脚手架等一系列技术措施，形成参建各方现场碰头会机制和交面前尾工项目清单销项制度，实行关键仓位联合验收、现场总结的方法，历时17个月，破纪录完成首批机组混凝土浇筑，按要求完成首批机组交面目标，为2021年7月投产发电打下了坚实基础。



左岸地下厂房1号发电机层浇筑完成

泄洪洞工程

研制龙落尾大坡度重载上料系统，在龙落尾23°大坡度工况下具有最高运行速度60m/min、单次送料6 m^3 的能力，入仓强度可达10 m^3/h ；实现龙落尾大坡度工况下边墙单洞6仓/月、顶拱单洞7仓/月的施工效率。

研制变断面液压自行走台车，同一台车具备四种断面衬砌功能，实现了掺气坎变折点安全通行，确保龙落尾可在复杂体型工况下连续施工。

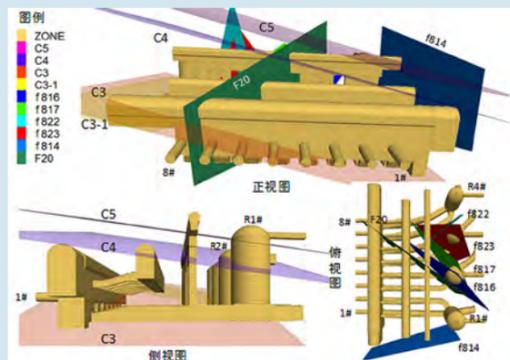


创新工程

始终贯彻创新驱动发展战略，坚持自主创新、集成创新，广泛开展国际和国内技术交流，全面推动技术管理创新，有效提升工程质量、保障施工安全、提高管理效率，形成了一批引领世界水电发展的科技创新成果。获得多项行业学会（协会）级科技进步奖、技术发明奖，其中，《白鹤滩水电站巨型地下厂房洞室群岩石力学关键问题及其防控技术》获中国岩石力学与工程学会科学技术奖特等奖。

白鹤滩水电站巨型地下厂房洞室群岩石力学关键问题及其防控技术

白鹤滩水电站巨型地下厂房洞室群规模、地下厂房跨度均位列世界第一，厂区构造地应力高，玄武岩坚硬性脆、隐裂隙发育，多条长大缓倾角软弱错动带斜切地下洞室群，洞群效应及围岩稳定问题十分突出，建设管理难度巨大。项目通过理论分析、室内试验与现场测试、数值分析与工程类比、实时监控与反馈优化、工程设计与工程建设管理相结合，揭示了高地应力下玄武岩多层次力学特性和错动带不连续变形特性，提出的理论模型合理地描述了高地应力下的玄武岩围岩深层/分区破裂特性，创建了玄武岩洞室群围岩时空变形全过程调控的成套技术与方法，提出了“认识围岩、利用围岩、保护围岩、监测反馈”的原则，建立了地下工程建造和管理一体化的技术体系、玄武岩巨型地下洞群稳定性关键调控技术和施工与管理关键技术，突破了复杂地质条件下建造巨型地下洞室群的技术难题。



白鹤滩右岸地下厂房洞室群地质条件

关键问题	· 硬脆性玄武岩开挖破裂松弛控制	· 缓倾角软弱错动带不连续变形控制	· 地下洞室群联动效应控制
研究方法	室内试验+现场测试	理论分析+工程类比	实时监控+全息分析
研究成果	高应力下玄武岩洞群多层次力学特性 · 岩石、岩体、工程岩体力学特性 · 围岩深层/分区破裂理论模型 · 错动带不连续变形特性 · 洞室群时空联动效应	洞群围岩时空变形全过程调控技术与方法 · 地下洞室群布置技术 · 不同部位变形协调控制技术 · 错动带变形控制成套技术	建设管理一体化体系和实时监控体系 · 建设管理一体化技术体系 · 快速施工工艺及工法 · 实时监控预警系统
应用效果	成功实现了白鹤滩地下厂房洞室群安全高效建造成型		



地厂开挖现场



开挖完成后的地厂



通过智能控制屏讲解大坝构造原理和大坝建设进度



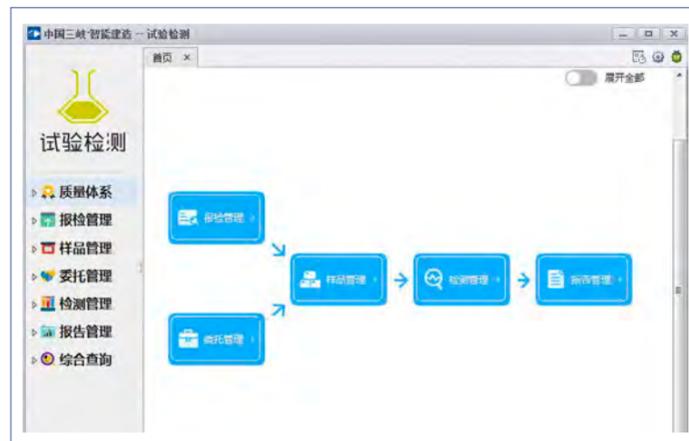
获中国岩石力学与工程学会科学技术奖特等奖



管理创新

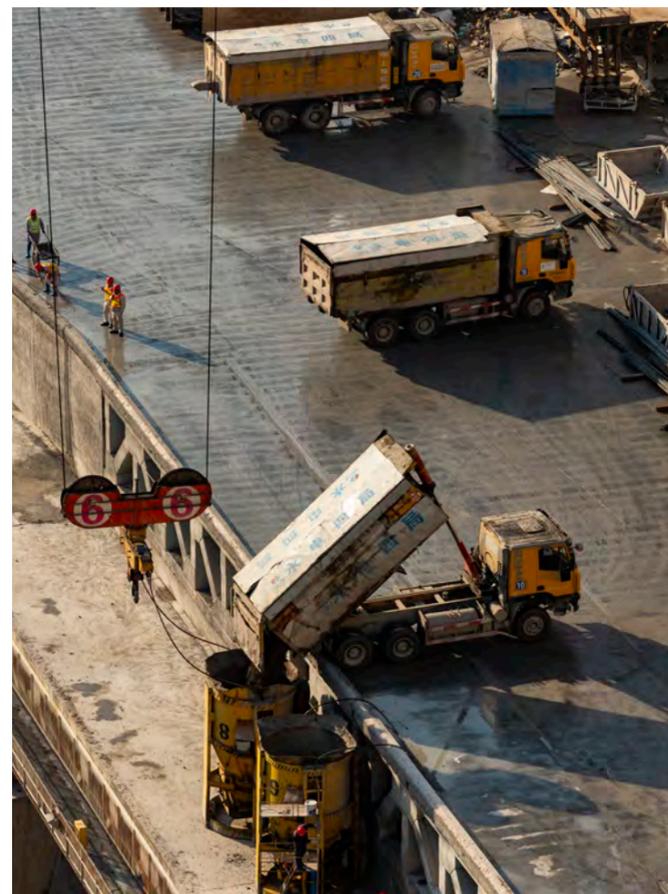
试验检测信息管理系统

借助信息化手段对试验检测“样品取样、样品检测、数据获取”等关键环节进行“事前、事中、事后”的全方位管控，确保工程试验检测数据的真实性、可靠性、唯一性和可追溯性，实现了原材料从出厂到工程实体的全过程质量监控，保障了300m特高级低热水泥混凝土拱坝浇筑质量，提升了集团公司乃至水电工程行业的试验检测信息化水平。



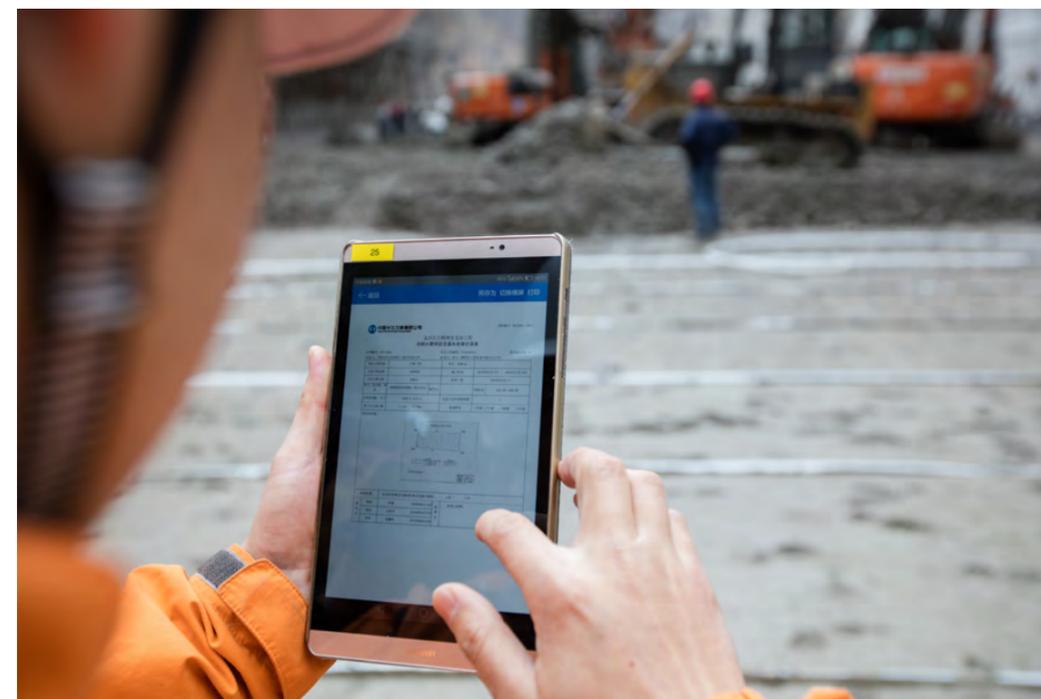
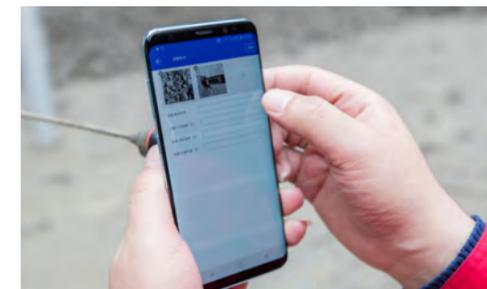
大坝砂石骨料车辆运输安全管理系统

以卫星定位技术为基础建立的大坝砂石骨料车辆运输安全管理系统，实现了对车辆位置、车速、车辆周围环境的实时监控，并可对超速、危险路段进行语音提醒，提高了骨料运输的安全性，提升了管理水平。



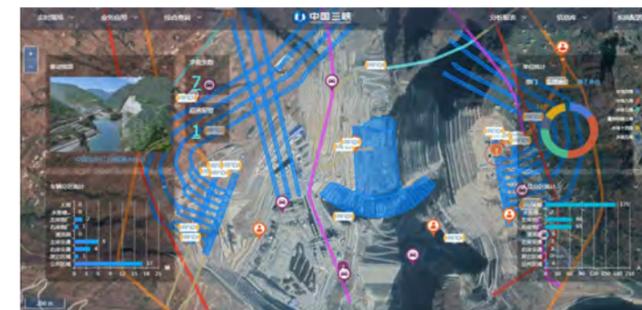
施工管理 APP 系统

全面推广 APP 系统进行混凝土施工现场验收，推进灌浆智能化系统与 APP 系统对接，推进金结安装 APP 系统投运。推动工程数字化和项目表格与管理流程规范化，实现特定人员在指定位置和规定时间完成数据采集和质量管控的目标，实现质量过程资料电子化的目标。



人员与设备定位及轨迹跟踪系统

室内基于 ZigBee 定位技术、室外基于卫星定位技术，实现洞室内外定位全覆盖，可掌握施工管理人员和工程车辆的实时位置，追溯其历史轨迹，为工程生产、施工质量、安全管理提供位置信息服务。



第 18 号坝段智能大坝监控埋件安装过程

技术创新

全坝使用低热水泥混凝土

针对特高拱坝温控防裂难题，创造性地在全坝使用低热水泥；充分利用低热水泥早期水化热低的特点，有效降低混凝土最高温度；执行标准化全温控工艺，进行大坝混凝土温度全过程精准控制；采用大坝混凝土无温度裂缝，实现“无缝大坝”的目标。



泄洪洞“镜面”混凝土浇筑系列技术

针对泄洪洞高流速过流面混凝土抗冲耐磨防裂的难题，全面采用低热水泥混凝土，采取先边墙、后顶拱、再底板的衬砌方案；研发了大断面高边墙低坍落度混凝土上料系统，实现了低坍落度混凝土连续入料的目标；研发了大坡度重载快速自动供料系统，解决了在低坍落度混凝土大坡度工况下运输的难题；研制了大坡度变断面液压自行走混凝土衬砌台车，解决了复杂体型下混凝土浇筑的难题；研制了大跨度重型三辊轴底板混凝土整平设备，提高了泄洪洞底板高流速过流面收面效率和平整度；研发智能保湿养护设备，提高了混凝土养护效率，降低了施工成本。泄洪洞混凝土实现了体型精准、平整光滑、耐磨防裂的目标，达到了镜面效果。



泄洪洞镜面



研发应用压力钢管万向运输对装台车



液压伸缩万向移动衬砌台车

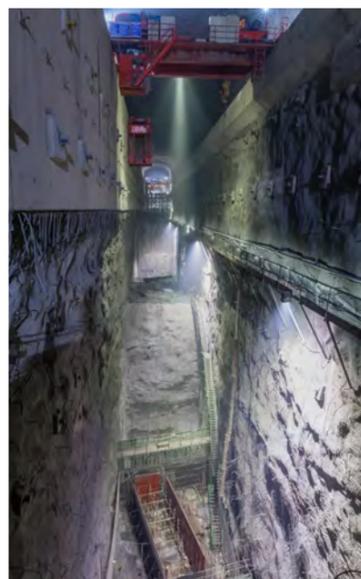
智能灌浆系统

积极推广应用智能灌浆系统，实现了规模化应用，累计投入 64 套系统用于大坝基础帷幕灌浆、地下厂房帷幕灌浆等重要部位。提升灌浆作业过程的标准化、规范化、智能化，提升了灌浆质量，极大地减轻了工人劳动强度，改善了灌浆作业的环境。



门槽一期直埋技术

大坝工程研究应用门槽一期直埋技术，可使混凝土一次浇筑成型，门槽埋件随浇筑仓面同步安装，解决了传统的分两期施工而导致的影响工期、质量安全难以保证的问题，大坝导流底孔和泄洪深孔全面实现门槽一期直埋。目前门槽相关控制尺寸已验收合格，一期埋设取得成功。



大坡度变断面液压行走台车

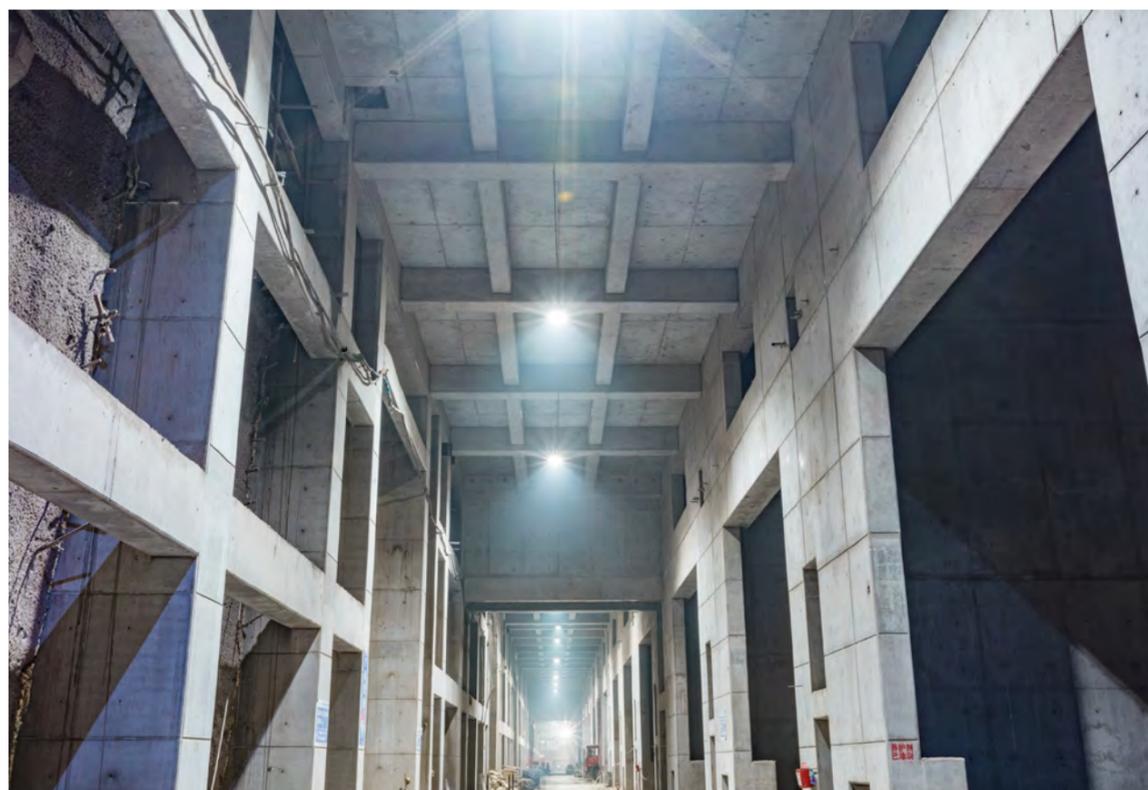
研制大坡度变断面液压行走台车及龙落尾坡道重载供料小车，用于龙落尾段大坡度环境下常态混凝土的运输，成功填补了国内的技术空白。

在左岸地下厂房和尾水管检修闸门室岩壁梁浇筑施工中，首次采用了钢筋、钢模台车进行钢筋绑扎和混凝土浇筑的全新施工工艺，有效利用钢模台车模板整体性好、自行机动性强等特点，避免在岩壁梁混凝土施工过程中搭设高排架、减少吊装作业，提高岩壁梁混凝土浇筑质量、降低施工安全风险、改善文明施工环境、实现浇筑流水作业。

工艺创新

免装修混凝土施工工艺

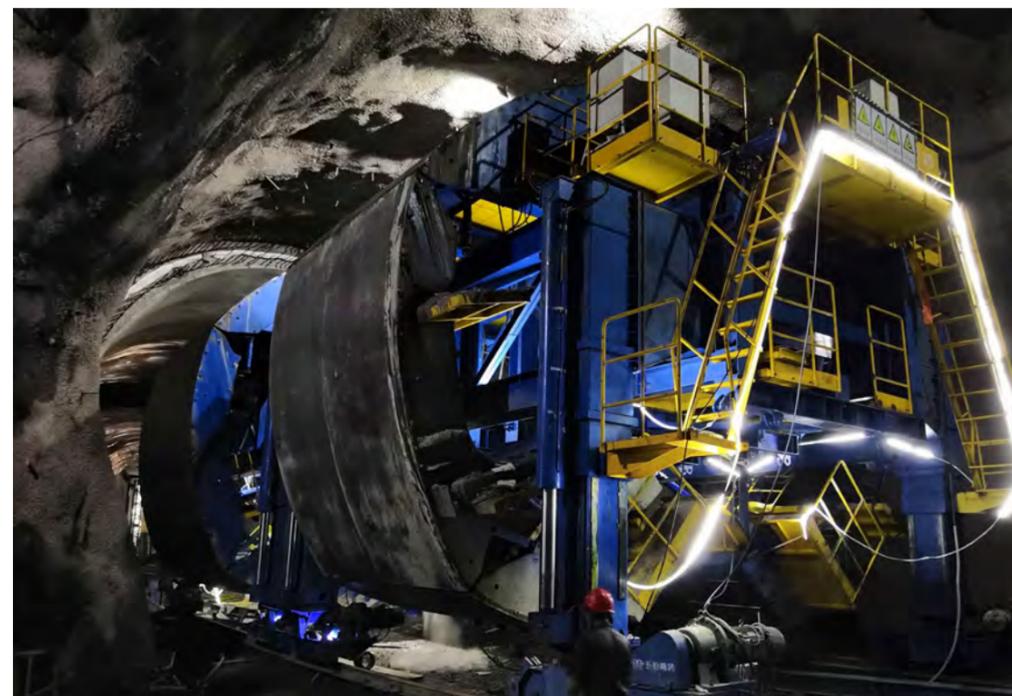
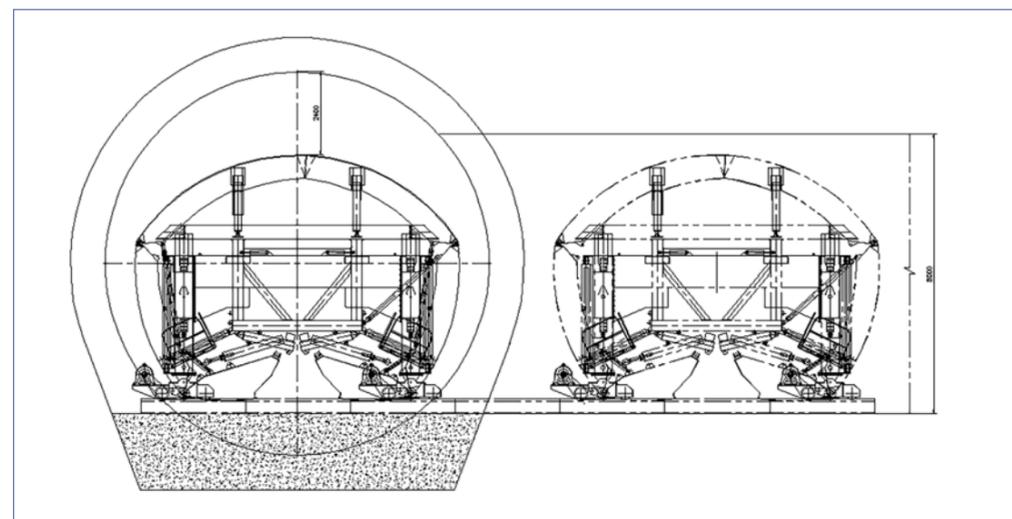
经过多次模拟试验和生产性试验，不断完善以覆塑型 WISA 模板、明缝条、倒角条嵌缝为核心的免装修混凝土施工工艺，将其推广应用到左、右岸厂房机组、安装场、主变室、出线楼等部位板梁柱结构混凝土中，混凝土表面光滑平整、四周棱角分明、外观细腻精致、质感严密均匀，具有独特的美感，实现了免装修的良好外观效果。



左岸主变室混凝土浇筑形象

变断面隧洞衬砌快速施工工艺

研制出一种适用于引水上平段变断面衬砌快速施工的的液压伸缩万向移动台车，此设备具备大幅度收缩、快速转移、 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 转向、“S”形轨道通过支洞、快速台阶式降轨等功能，形成了备仓、浇筑、养护一条龙的衬砌快速施工工艺，确保衬砌混凝土内实外光、质量优良、进度受控。



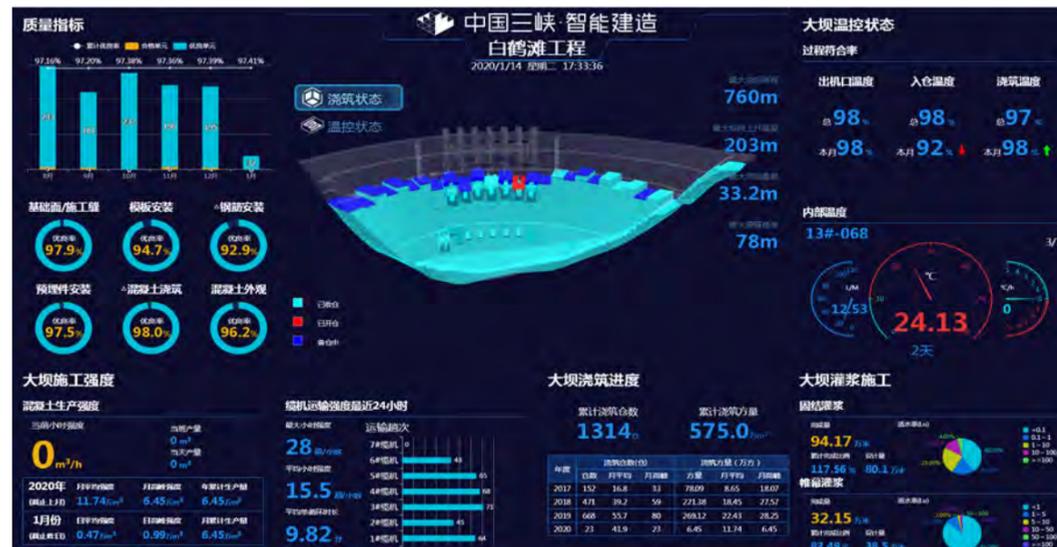
智能建造

为建设无缝大坝，保障全生命周期安全稳定运行，在遵循全面感知、真实分析、实时控制的智能建造理念基础上，组织实施大坝工程智能建造，构架形成了覆盖工程建设全过程的智能建造体系。

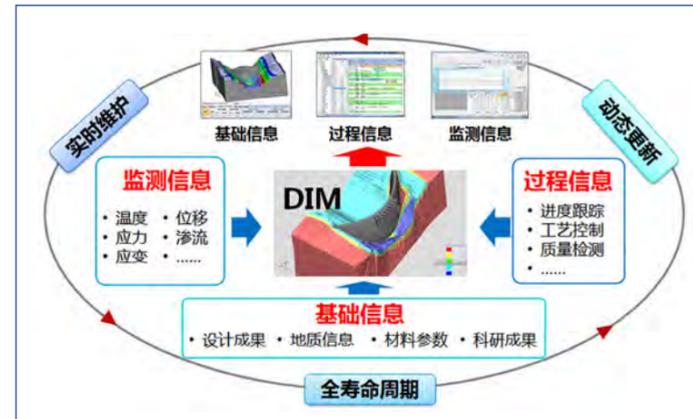
大坝智能建造项目已在现场全面应用，有效提升了工程建设管理水平，逐步形成了中国坝工智能建造标准和规范，在世界水电行业内起到了技术引领和示范效应的作用。



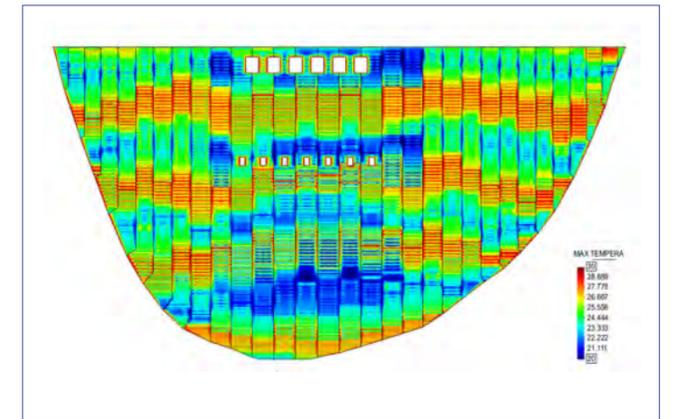
大坝工程智能建造体系



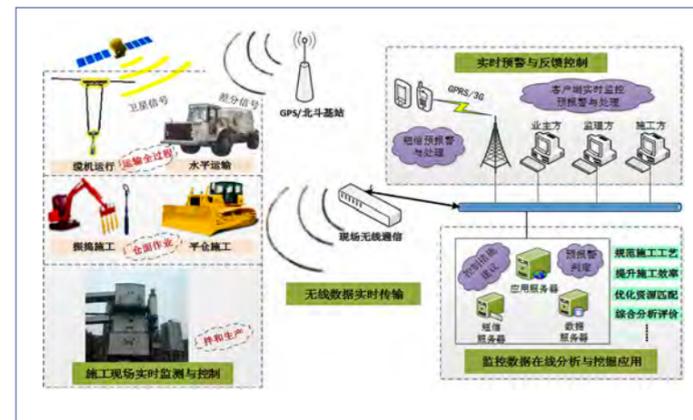
智能建造信息管理平台



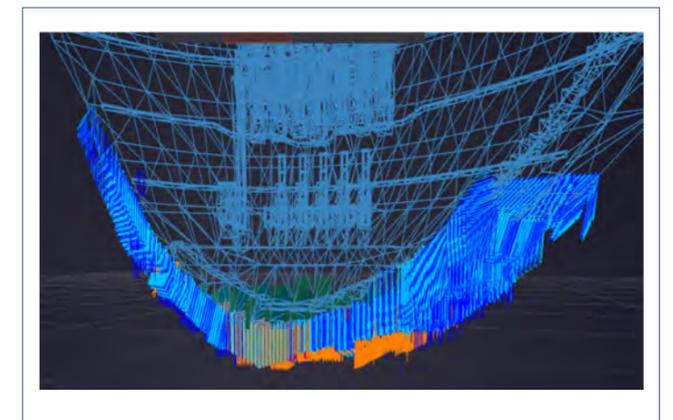
大坝全景信息模型 (DIM)



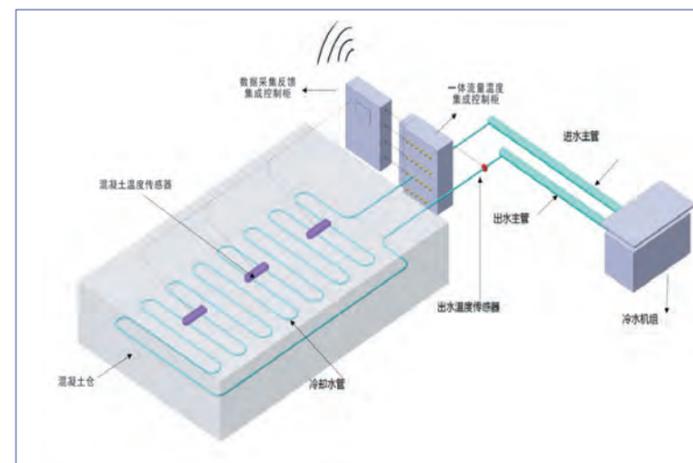
大坝全生命周期性态仿真



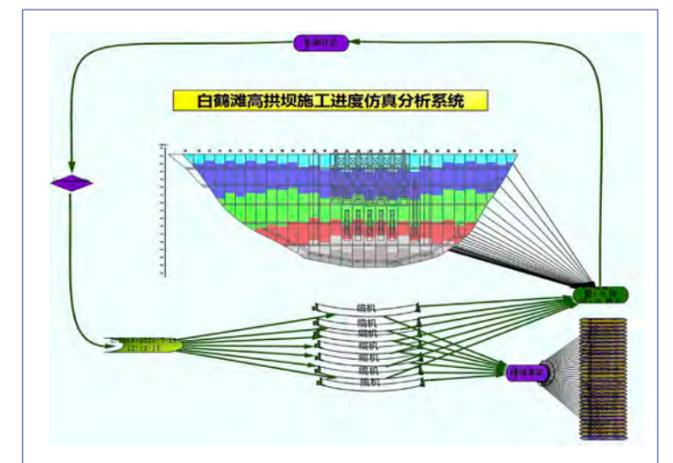
大坝混凝土浇筑“一条龙”全过程高效施工智能控制系统



大坝三维地质与渗流模型



大坝混凝土智能通水系统



多维多要素耦合的拱坝施工进度仿真系统

绿色工程

深入贯彻十九大关于生态文明建设的精神，践行“绿水青山就是金山银山”的发展理念，精心谋划、全力推动，环保达标、水保合规、施工文明、资源节约等指标要求得到了落实、提升，绿色工程全面推进、成效显著。



环保达标

响应集团公司“不让一滴污水流入长江”的号召，生活污水全部达标排放，上村梁子营地污水处理厂提标优化，中水回用于植物园绿化养护。砂石系统完成改造后，生产废水实现全工况零排放。罐车冲洗废水处理系统完成改造升级，实现罐车冲洗废水零排放。

全过程控制施工扬尘，实施“粉尘控制五部曲”（钻孔、爆破、翻渣、运输、弃渣），实现施工区空气质量达到国家二级标准的目标。



三滩砂石系统污水处理



渣车淋雨降尘



荒田罐车冲洗

水保合规

施工区水土保持措施实行分区防治的方法，各项水土保持措施已有效落实，各分区截排水、拦挡、护坡等水土保持措施已基本完成，施工区生态迹地恢复面积达到近 300 公顷。



矮子沟渣厂边坡治理



大寨沟泥石流排导槽环境综合治理



白鹤滩上村梁子营地绿化

施工文明

白鹤滩水电站工程建设贯彻以人为本的理念，努力创造和谐施工环境，高标准编制出《白鹤滩水电站工程安全文明施工标准化图册》，严要求打造文明施工样板工作面，通过以点带面、以面带全的措施，全面促进和提高整体文明施工形象，基本实现了施工区布置科学合理、场地平整整洁、道路清洁通畅、风水管线规范有序、材料堆放整齐、通道平台安全标准、照明通风优良等文明施工效果。

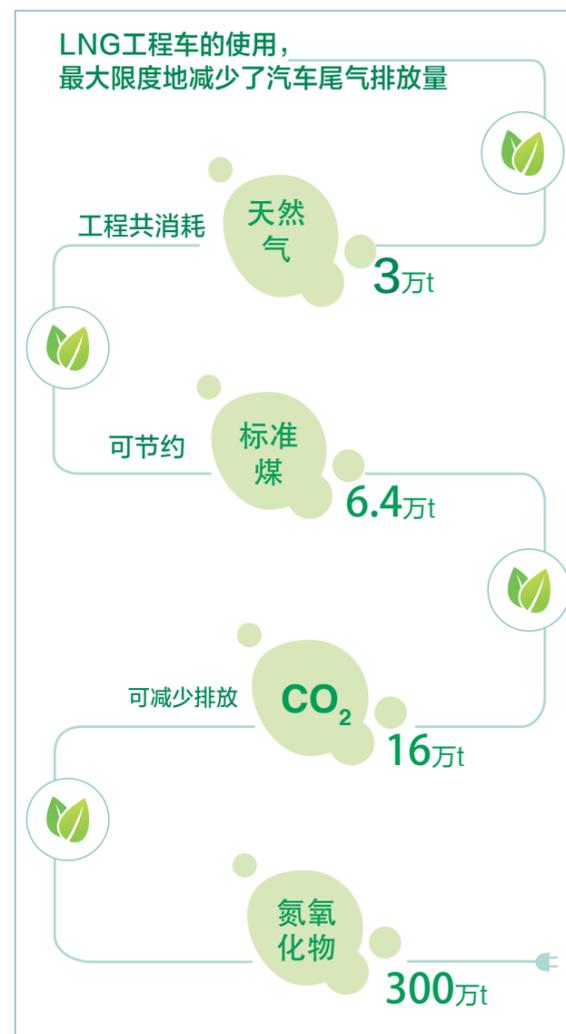


资源节约

推广 LNG 工程车的使用，最大限度地减少了汽车尾气排放量。工程共需消耗天然气 3 万 t，相当于节约标准煤约 6.4 万 t，减少二氧化碳排放量约 16 万 t，减少氮氧化物排放量约 300 万 t。

生产废水回用：施工区三滩、荒田、大坝三个大型砂石骨料加工系统产生的生产废水经处理后全部回用于生产，年减少废水排放量约 1000 万方；施工区混凝土罐车冲洗产生的废水经处理后继续回用于罐车冲洗，高峰期每年减少颗粒物排放量约 6400 万 t。

洞挖料回用：对施工区洞室开挖的部分石料进行了综合利用，回用于骨料生产，减少石渣排放量近 2000 万 t，实现了节能减排的目标。



三滩大型砂石骨料加工系统厂



荒田大型砂石骨料加工系统厂

民生工程

白鹤滩水电站是国家重大基础性工程，对地方基础设施建设与完善并带动当地群众就业、推动库区经济社会发展、助力四川和云南两省打赢脱贫攻坚战具有重要意义。三峡集团继续秉承“四个一”水电开发理念，建成以发电为主，兼顾防洪、改善航运、推动当地经济、社会发展的民生工程。



火把节

企地和谐

依托白鹤滩工程施工区社会治安综合治理委员会，形成了以“建设部为主、地方政府协同使得参建单位配合、建设者全员参与”的施工区社会治安综合治理工作大格局，使得履行社会责任工作稳步推进，“责任三峡”的品牌形象持续提升。





高举民族团结旗帜 携手迈向小康社会
建设美丽幸福文明和谐新跑马

工区稳定

全面推行农民工“七统一”的管理方法，使得农民工的合法权益能够得到有效保障。

交通安全管理更加精准细化，交通安全形势平稳可控。

白鹤滩工程应急救援队取得国家应急救援技术中级资质和国家应急救援中级资质、专职消防队骨干队员取得美国心脏学会急救员证，白鹤滩工程应急救援中心成为民政部紧急救援促进中心。

白鹤滩施工区连续七年实现全年无重大群体性事件、无重大刑事治安案件、无重大交通事故、无重大火灾事故和无重大公共卫生事件的目标。



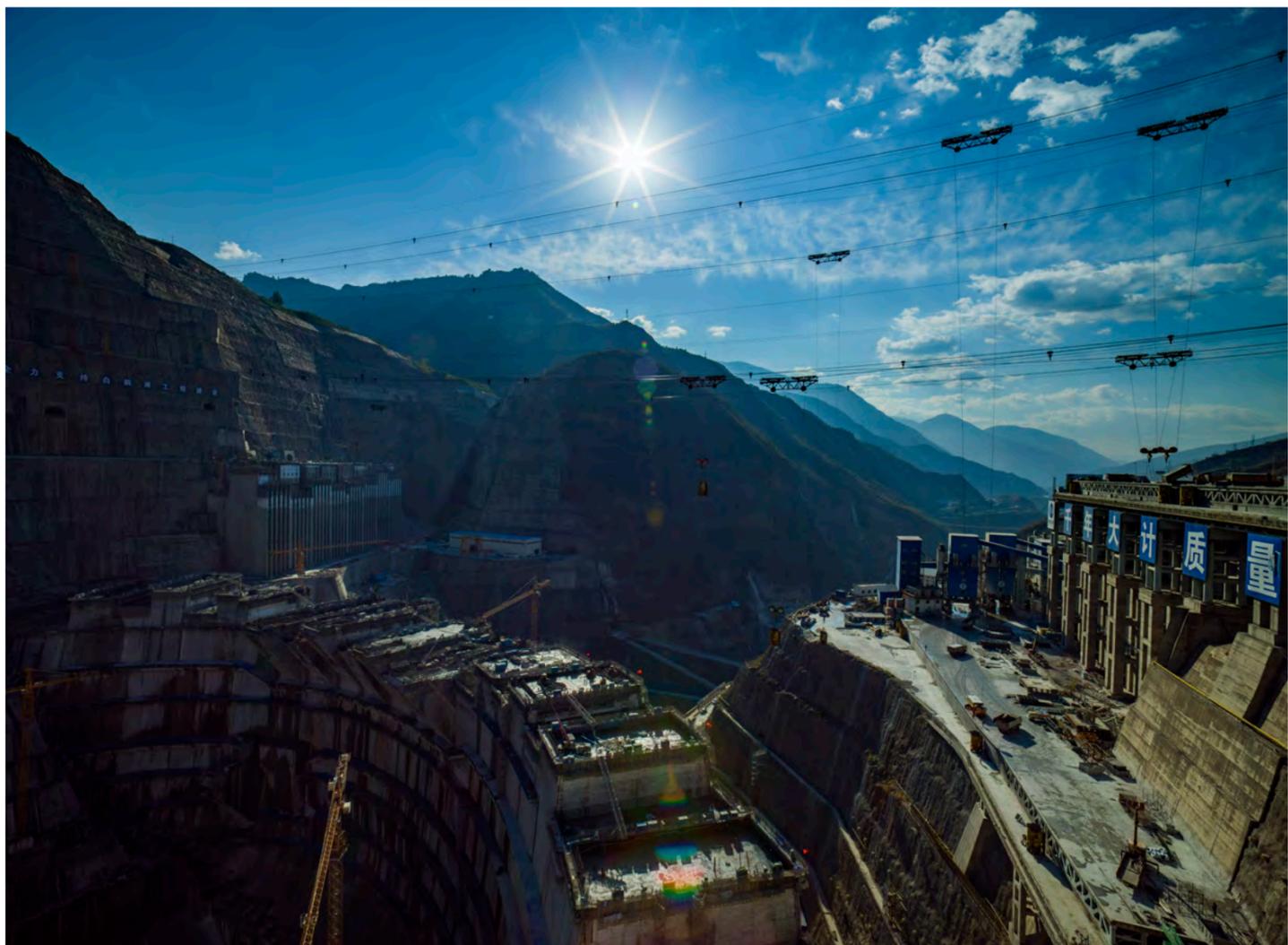
人才辈出

创新民技工培训方式，形成了“老带新、师带徒、大讲堂、技能比武、体验教学、劳动竞赛、取证培训”等多种培训模式，质量、安全及技能知识入脑入心入行，一大批大国水电工匠在此成长成才。2017年至2019年，共获四川、云南五一劳动奖章4人、五一劳动奖状2个单位、工人先锋号4个。



廉洁工程

白鹤滩水电站投资巨大，任何资金的侵占、挪用和浪费都是对三峡廉洁品牌的玷污，都是对大坝质量安全的侵蚀，都是对党和国家、对人民的犯罪。始终牢记廉洁是三峡集团的第一品牌和生命线，应严格落实“两个责任”，深化党风廉政建设和反腐败工作。全面推进施工区大党建工作，发挥各级党组织的政治核心和战斗堡垒作用，坚持“两坝同筑”理念，工程建设与反腐倡廉两手都要抓。建立健全预防腐败的工作机制，深入抓好反腐倡廉的宣传教育工作，对任何违纪违法行为都要“零容忍”，做到党建有力、制度管用、教育有效、监督到位、惩戒从严，建成“工程优质、干部优秀”的廉洁工程。



党建有力

坚持党的领导、加强党的建设，筑牢“根”和“魂”。克服工学矛盾，以多种形式落实“两学一做”、“不忘初心、牢记使命”的主题教育要求。

深化基本组织、基本队伍、基本制度“三基建设”，集中开展党员组织关系、党费收缴等问题的排查工作，规范支部工作。

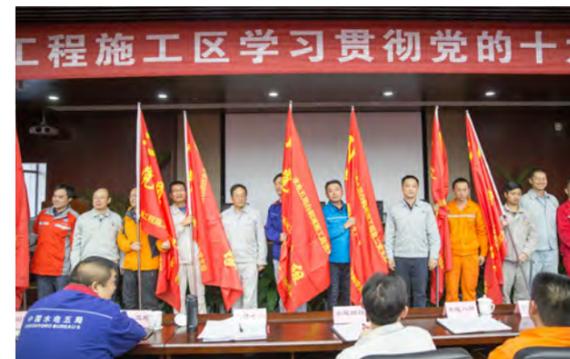
建立白鹤滩工程施工区大党建工作统筹协调委员会，联合参建各方贯彻全面从严治党的要求。“党员红旗岗”践行服务宗旨，“党员先锋号、攻关小组”直面世界难题，以党组织为纽带，创建清正廉洁的工程建设关系。



雷鸣山董事长调研建设部第二党支部的党建开展情况



建设部集中收听收看党的十九大开幕式



为施工区党员红旗岗、先锋号、攻关小组授旗



党员攻关小组检查 19 坝段泄洪深孔备仓



白鹤滩施工区联建共创主题党日活动

制度管用

压实工作责任，纳入绩效考核，《廉洁协议》是每份合同的必备要件，《党风廉政责任书》覆盖现场管理的每个环节。

招标采购严格依法依规，合同结算权责明确，财务事务分制平衡。变更索赔审批相互监督，工程量以项目部门为准，单价以合同部门为准。

坚持把党风廉政建设和反腐败工作与业务工作同研究、同部署、同实施、同考核，已连续5年每年开展制度汇编工作。



将党风廉政建设和反腐败制度落实落细



每年召开党风廉政建设和反腐败工作会

教育有效

按季度开展“党风廉政宣传教育日”，看教育视频、上主题党课、学制度法规、谈心得体会已形成长效机制。每年7月前后“开展党风廉政宣传教育月”活动，依托川云两省各市州法纪教育资源，进行现场情景式警示教育。

坚持廉洁文化“三进”：进班子，领导干部不搞特殊化；进部门，严禁从事与工程建设相关的“副业”；进家庭，暑期固定开展以“传家训、立家规、扬家风”为主题的茶话会。

通过征集灌浆者之歌、集中进行灌浆从业诚信宣誓、打造灌浆廉洁诚信文化长廊等方法，一改灌浆工序弄虚作假的风气，使得“隐蔽工程 阳光作业”的理念牢固树立。



施工区监督员在凉山州法纪教育中心接受廉洁教育



施工区灌浆者党员参加廉洁诚信承诺宣誓主题党日活动



廉洁文化进家庭座谈会



在大坝灌浆廊道设置廉洁文化景观长廊

监督到位

强化党内监督机制，严肃党内政治生活，真诚开展“批评与自我批评”，规范民主生活会，彻底整改巡视巡察中发现的问题。

依靠专业监督，与凉山州、宁南县检察院联合开展“共建工程优质、共树干部优秀”双优创建工作，主动纳入法检监督网络。

接受社会监督，施工区聘请纪检监督员，定期召开纪检联席会。在施工区各营地设立廉洁从业举报箱、举报牌，联系方式365天、7×24小时保持畅通。信访处置不拖延、不推诿，处置率达100%。

运用内控监督体系，主动配合审计工作，自觉整改“回头看”工作，善于举一反三，查漏补缺，形成长效机制。



施工区各营地均设置的反腐倡廉举报牌



凉山州检察院在白鹤滩施工区开展反腐倡廉警示教育大会

惩戒从严

对顶风违规事件严肃查处、重拳打击，对知错悔改人员认真帮扶、持续教育。自2016年集团巡视以来，对责任人不回避、不护短，严格落实追责意见要求。同时认真注意进行追责谈话，坚持做好帮扶跟进，使得追责理念入脑入心。

贯彻中央八项规定精神，使其落实落细，使得工程管理工作作风有效改善，施工区吃请送礼等人情往来得到全面遏制。

以踏石留印的劲头抓文风、整会风等，确定重心前移的工作要求，减轻内业留痕负担，强调现场碰头机制。



建设部的党员同志在宁南县监管中心接受惩戒从严警示教育

04

领导关怀

白鹤滩水电站工程建设得到了各级领导和专家的关怀与支持。2017年至2019年，国家有关部门、云南和四川两省、三峡集团各级领导和专家多次莅临白鹤滩工程建设一线调研考察。





2019年12月5日至6日，国家能源局党组书记、局长章建华（右三）考察白鹤滩水电站的建设情况。



2018年11月12日，四川省委书记彭清华（右二）与集团党组书记、董事长雷鸣山交流金沙江下水水电开发、新能源建设及脱贫攻坚等方面的工作。



2018年5月26日，云南省委书记陈豪（左二）考察白鹤滩水电站的建设情况。



2019年11月30日，水利部长江水利委员会党组书记、主任马建华（右三）调研白鹤滩水电站工程。



2019年11月5日至6日，中央主题教育第十三巡回督导组组长王炳华（中）调研指导白鹤滩主题教育工作。



2019年7月4日，集团公司党组书记、董事长雷鸣山（左二）调研白鹤滩水电站工程建设及移民工作情况。



2019年6月6日，中央主题教育第一巡回督导组组长黄先耀（右一）调研指导白鹤滩施工区机电项目基层党建工作。



2019年7月18日至20日，集团公司党组副书记、总经理王琳（右四）在白鹤滩工地开展主题教育专题调研。



2019年5月14日，集团党组成员、副总经理范夏夏（中）调研白鹤滩水电站工程，检查安全生产及防洪度汛落实情况。



2019年1月11日，集团公司党组成员、副总经理王良友（左二）调研白鹤滩水电站工程。



2019年5月17日至22日，集团公司总工程师张曙光（左一）在白鹤滩工地主持召开8号尾调室围岩异常响应机理及处理方案审查会。



2017年3月15日，中国大坝工程学会理事长、水利部原副部长矫勇（右三）调研白鹤滩水电站工程。



2019年8月21日，国务院原南水北调工程建设委员会党组书记、办公室主任张基尧（中）调研白鹤滩水电站工程。



2018年10月24日，云南省委副书记李秀领（左三）、昭通市委书记杨亚林（左二）一行考察白鹤滩水电站工程。



2017年2月6日，凉山州副书记、代州长苏嘎尔布（中）考察白鹤滩水电站工程。



2019年10月22日，水利部长江水利委员会副主任胡甲均（左三）调研白鹤滩水电站工程。



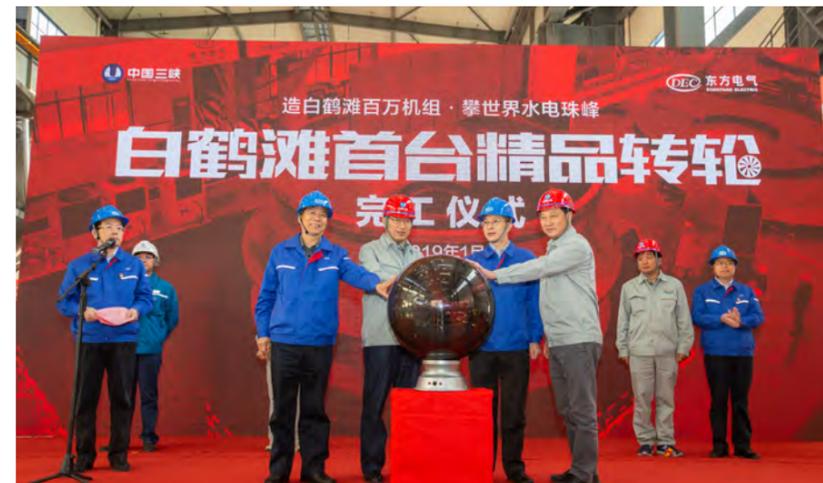
2017年10月23日，时任凉山州副州长的何绍忠（中）考察白鹤滩水电站工程。



2018年8月30日，国家发改委能源研究所原所长周大地（右二）调研白鹤滩水电站工程。



2019年6月12日，中国三峡建设管理有限公司党委书记、董事长洪文浩（左一）调研白鹤滩工程建设和党建工作。



2019年1月12日，中国三峡建设管理有限公司总经理、党委副书记张成平（前排右一）出席白鹤滩水电站首台百万机组转轮完工仪式。



2018年6月23日，三峡集团外部董事王志森（左二）调研白鹤滩水电站工程。



2019年4月11日，中国科学院院士何满潮（中）调研白鹤滩水电站工程。



2018年11月14日至15日，三峡金沙江云川水电开发有限公司股东代表调研白鹤滩水电站工程。



2018年11月13日，国际岩石力学学会秘书长路易斯·拉马斯（Luis Lamas）教授（右四）调研白鹤滩水电站工程，并进行学术交流。



2017年3月26日，中国工程院院士张超然（右四）等专家对白鹤滩水电站大坝工程建基面开展技术预验收。



2019年11月13日，国际大坝委员会荣誉主席路易斯·贝尔加（Luis Berga）（中）教授调研白鹤滩水电站工程。

05

工程大事记 (2017-2019)



2017 年

1月4日至5日

白鹤滩水电站大坝垫座混凝土建基面技术预验收。

3月24日至26日

白鹤滩水电站大坝工程建基面通过专项验收，中国工程院院士张超然、郑守仁，水电水利规划设计院、水电工程质量监督总站和各参建单位主要负责人及专家参加验收。

7月21日

白鹤滩水电站大坝工程智能建造科研项目招标工作结束。

8月3日

白鹤滩水电站工程建设动员大会在大坝基坑召开。

8月24日至26日

大坝工程建基面保护层开挖、钢筋钢模台车浇筑地下厂房岩壁梁工艺研究成果分别荣获中国质量协会举办的第二届全国质量创新大赛一、二等奖。

9月3日至10日

中央电视台在白鹤滩工地录制国庆特别节目《我和我的祖国》。

1月

3月

7月

8月

9月

7月31日

白鹤滩水电站正式通过国家核准，全面进入主体工程大规模建设阶段。

8月15日

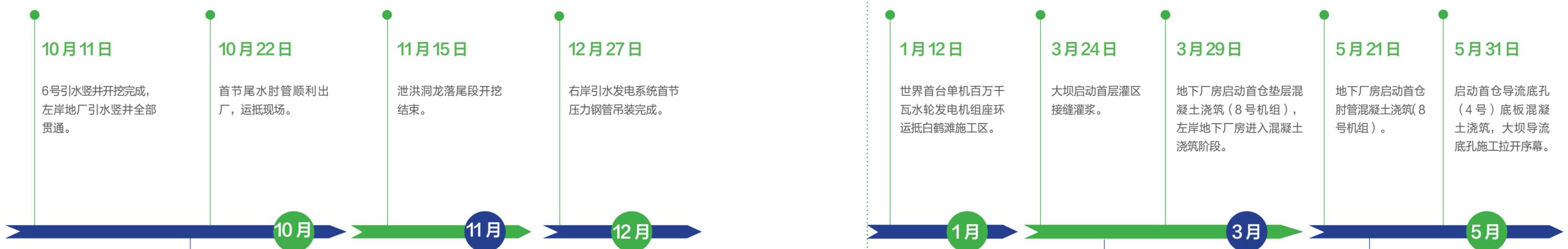
左岸引水发电系统出线竖井全部开挖完成。

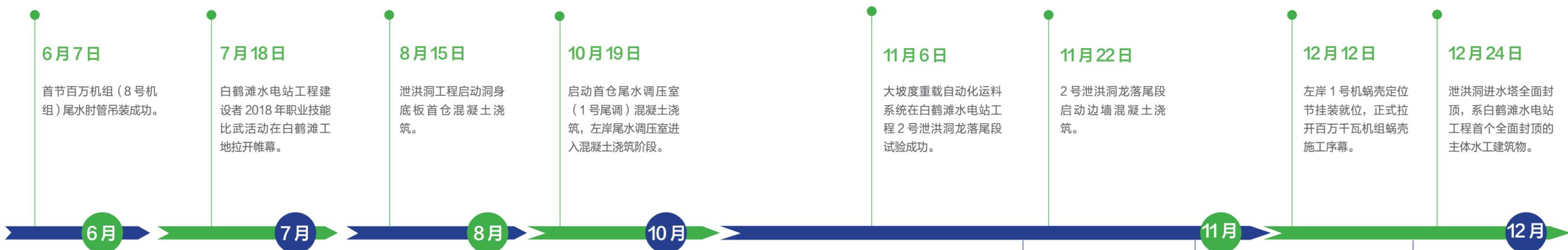
9月4日

启动首个地下厂房机坑开挖支护（7号机组）。



2018年





6月7日

首节百万机组（8号机组）尾水肘管吊装成功。

7月18日

白鹤滩水电站工程建设者2018年职业技能比武活动在白鹤滩工地拉开帷幕。

8月15日

泄洪洞工程启动洞身底板首仓混凝土浇筑。

10月19日

启动首仓尾水调压室（1号尾调）混凝土浇筑，左岸尾水调压室进入混凝土浇筑阶段。

11月6日

大坡度重载自动化运料系统在白鹤滩水电站工程2号泄洪洞龙落尾段试验成功。

11月22日

2号泄洪洞龙落尾段启动边墙混凝土浇筑。

12月12日

左岸1号机蜗壳定位节挂装就位，正式拉开百万千瓦机组蜗壳施工序幕。

12月24日

泄洪洞进水塔全面封顶，系白鹤滩水电站工程首个全面封顶的主体水工建筑物。

6月

7月

8月

10月

11月

12月

11月16日

坝区左岸垃圾填埋场上方倒垂观测孔（IPpmw3）完成浮子安装及基准点观测，标志着在建世界第一水电站的首个倒垂观测装置具备了投入使用条件。

11月24日

全球首台单机容量百万千瓦水轮发电机组的重要埋件座环成功吊入白鹤滩水电站左岸地下厂房1号机窝。

12月21日

右岸首台百万千瓦机组座环吊装成功，左右两岸机组埋件安装全面铺开。



2019年

