

思政案例 3 鲁布革水电站 VS 两河口水电站

一、案例内容

鲁布革水电站工程建设背景、招投标、建设过程和建设管理过程。
具体内容详见第四部分：鲁布革水电站工程介绍。

二、案例资源形式

文字、图片、视频。

三、思政案例使用说明

1. 本案例在讲解工程项目招投标的发展历史、工程项目质量管理中使用。

2. 鲁布革水电站项目，创造出多项中国“第一”：中国第一个面向国际公开招标工程，国内第一个引进世界银行贷款的工程建设项目，中国第一次项目管理体制改革，首个土木施工国际招标项目，首个采用合同制管理的项目，首次引进监理制度的项目。

自此以后，中国水利建设事业从无到有，从有到优，取得了一系列骄人的成就。并且，借自身丰富的工程经验和业绩，我国水电建设企业积极向海外开拓经营，占有全球水利水电建设市场 50% 以上份额，成为当今世界水利水电建设行业名副其实的引领者。随着“一带一路”蓝图不断推进，国内水电投资开发、施工建设、设备制造、设计咨询等产业链有望加速“出海”，为沿线国家带来更多发展机遇。

（思政融入点 1：制度自信）

3. 建设时期，鲁布革工程创造了 14 项全国纪录，荣获了“**国家优秀勘察（金质）奖**”、“**国家优秀设计（金质）奖**”和“**建筑工程鲁班奖**”，被评为新中国成立六十周年百项经典暨精品工程之一。鲁布革水电工程施工**节省工程成本，保证工程质量**，提前竣工，井井有条

的施工管理和人们习惯的“走进大工地，脚踩人民币”的印象形成强烈对比。(思政融入点 2: 工程建设成本、质量追求精益求精的精神)

4. 国内的多数施工单位，不重计划，反复无常，返工浪费，多用大会战赶进度，这必然多投入，超预算。鲁布革做到降低造价、工期提前，质量达标。在鲁布革项目上，中外施工单位出现的情况迥异，表现出突击生产和均衡生产，区别在于外方实行了项目管理，严格按照计划和合同推进施工。人们认识到，**大型工程建设项目普遍出现的拖工期、超概算、质量不稳定现象，是因为缺乏良好的体制和科学的管理。**(思政融入点 3: 科学系统的工程建设与管理思维)

四、鲁布革水电站工程介绍

1.1 鲁布革工程介绍

鲁布革水电站位于云南罗平和贵州兴义交界的黄泥河下游，整个工程由首部枢纽拦河大坝、引水系统和厂房枢纽三部分组成。

首部枢纽拦河大坝最大坝高 103.5m；引水系统由电站进水口、引水隧洞、调压井、高压钢管四部分组成，引水隧洞总长 9.38km，开挖直径 8.8m，调压井内径 13m，井深 63m，两条长 469m、内径 4.6m、倾角 48 度的高压钢管；厂房枢纽包括地下厂房及其配套的 40 个地下洞室群。厂房总长 125m，宽 18m，最大高度 39.4m，安装 15 万 kW 的水轮发电机四台，总容量 60 万 kW，年发电量 28.2 亿 kW·h。



早在 20 世纪 50 年代，国家有关部门就开始安排了对黄泥河的踏勘。昆明水电勘测设计院承担项目的设计。水电部在 1977 年着手进行鲁布革电站的建设，水电十四局开始修路，进行施工准备。但由于资金缺乏，准备工程进展缓慢，前后拖延 7 年之久。1981 年 6 月经国家批准，鲁布革电站列为重点建设工程，总投资 8.9 亿美元，总工期 53 个月，要求 1990 年全部建成。



为了使用世界银行贷款，工程三大部分之一的引水隧洞工程被从水电十四局的“铁饭碗”中捞出来，投入了国际施工市场。在中国，日本，挪威，意大利，美国，联邦德国，南斯拉夫，法国 8 个国家承

包商的竞争中，日本大成公司以比中国与外国公司联营体投标价低 3600 万元中标。于是形成了“一项工程、两种体制、三方施工”的格局：一方是由挪威专家咨询，由水电十四局三公司承建的厂房枢纽工程；一方是由澳大利亚专家咨询，由水电十四局二公司承建的首部枢纽工程；一方是由日本大成公司承建的引水系统工程。两种体制是：一种是以云南电力局为业主，鲁布革工程管理局为业主代表及“工程师机构”，日本大成公司为承包方的合同制管理体制；一种是以鲁布革管理局为甲方，以水电十四局为乙方的投资包干管理体制。

鲁布革工程管理体制的局部突破，使小小的鲁布革成了个混合物，四方八国，两种管理体制，于是产生了磨擦、较量。

引水隧道工程于 1984 年 6 月 15 日发出中标通知书，7 月 14 日签订合同。1984 年 7 月 31 日发布开工令，1984 年 11 月 24 日正式开工。中国工人在大成公司的管理体制下，创造出了惊人的效率。日本大成公司仅派到中国来三十多人的管理队伍，从水电十四局雇佣了 424 名劳务工人，他们开挖隧道，单头月平均进尺 222.5 米，相当于我国同类工程的二到三倍，全员劳动生产率 4.57 万元/每人每年。1988 年 8 月 13 日正式竣工。合同工期为 1597 天，实际工期为 1475 天，提前 122 天；而水电十四局承担的首部枢纽工程，1983 年开工，由于种种原因，进展迟缓，世界银行特别咨询团于 1984 年 4 月和 1985 年 5 月两次来工地考察，都认为按期完成截流难以实现。



近距离的对比，面对面的比较，没想到初试竟是如此结果，鲁布革人被震动了！因为问题是复杂的：难道中国人的潜能非得靠外国人来挖掘不成——几乎每一个平凡的鲁布革人都思考过这些本该是政治家们思考的问题。民族自尊心、自信心被唤醒了！“为中国人争口气！”一场没有裁判的角逐开始了！水电十四局鲁布革工程指挥部开始扩大自主权，调整领导结构，推行新的管理体制。首先在首部枢纽工程发动了千人会战。局长，指挥长都成了目标责任制的负责人，他们不再远离工地，而是昼夜奋战在工地。工人们更是整天整夜呆在隧洞里，干累了，搬块木板躺一会，醒了再干。最后，奇迹终于被创造出来了：1985年11月，大坝工程按期截流。



然而，对比大成公司的管理方式和我们的会战，我们明显感到了自己的不足：均衡生产搞不好、人员管理混乱、缺乏统一协调指挥！思考从这里开始了，鲁布革经验迅速成为中国工程管理改革的突破口和催化剂，推动了我国施工企业管理直至项目管理的本质的变化。

1.2 鲁布革工程经验

(1) 工程采购实行公开竞争性招标；

因为鲁布革工程项目建设利用世界银行贷款 1.454 亿美元，按世界银行规定，引水系统工程的施工实行建国以来第一次按照 FIDIC 组织推荐的程序进行的国际公开(竞争性)招标。招标工作由水电部委托中国进出口公司进行。

1982 年 9 月，刊登招标公告、编制招标文件，编制标底。引水系统工程原设计概算 1.8 亿元，标底 14958 万元。

1982 年 9 月~1983 年 6 月，资格预审。

1983 年 6 月 15 日，发售招标文件(标书)。15 家取得投标资格的中外承包商购买了招标文件。

经过 5 个月的投标准备，1983 年 11 月 8 日，开标大会在北京正式举行。

1983年11月~1984年4月，评标、定标。经各方专家多次评议讨论，日本大成公司中标。

(2) 工程招标采用严格资格预审条件下的低价中标原则；

本工程的资格预审分两阶段进行。招标公告发布之后，13个国家32家承包商提出了投标意向，争相介绍自己的优势和履历。第一阶段资格预审(1982年9月~12月)，招标人经过对承包商的施工经历、财务实力、法律地位、施工设备、技术水平和人才实力的初步审查，淘汰了其中的12家。其余20家(包括我国公司3家)取得了投标资格。第二阶段资格预审(1983年2月~6月)，与世界银行磋商第一阶段预审结果，中外公司组成联合投标公司进行谈判。各承包商分别根据各自特长和劣势进一步寻找联营伙伴，中国3家公司分别与14家外商进行联营会谈，最后闽昆公司和挪威FHS公司联营，贵华公司和前联邦德国霍兹曼公司联营，江南公司不联营。这次国际竞争性招标，按照世界银行的有关规定我国公司享受7.5%的国内投标优惠。

最后总共8家公司投标，其中前联邦德国霍克蒂夫公司未按照招标文件要求投送投标文件，而成为废标。从投标报价(根据当日的官方汇率，将外币换算成人民币)可以看出，最高价法国SBTP公司(1.79亿元)，与最低价日本大成公司(8463万元)相比，报价竟相差1倍之多，前几标的标价之低，使中外厂商大吃一惊，在国内外引起震动不小。各投标人的折算报价如表1所示。

表1 鲁布革水电站引水系统投标报价一览表

投标人	折算报价(元)	投标人	折算报价(元)

日本大成公司	84630590.97	南斯拉夫能源工程 公司	132234146.30
日本前田公司	87964864.29	法国 SBTP 公司	179393719.20
意美合资英波吉 洛联营公司	92820660.50	中国闽昆、挪威 FHS 联营公司	121327425.30
中国贵华、前联 邦德国霍兹曼联 营公司	119947489.60	德国霍克蒂夫公司	内容系技术转让，不 符合投标要求，废标

按照国际惯例，只有报价最低的前三标能进入最终评标阶段，因此确定大成、前田和英波吉洛公司 3 家为评标对象。评标工作由鲁布革工程局、昆明水电勘测设计院、水电总局及澳大利亚等中外专家组成的评标小组负责，按照规定的评标办法进行，在评标过程中评标小组还分别与三家承包商进行了澄清会谈。4 月 13 日评标工作结束。经各方专家多次评议讨论，最后取标价最低的日本大成公司中标，与之签订合同，合同价 8463 万元，合同工期 1597 天，比标底低 43.4%。

(3) 出资人、融资机构对招标过程乃至项目管理过程实行监督审查；

世界银行对于由其贷款的项目有一整套完善的评估体系和监督审查制度，比如通过项目预评估和项目评估，详细、准确地考察项目的经济技术可行性，对项目的技术、管理、经济和财务等方面进行评价，考察项目成功实现的可能性，以及如何才能保证项目的顺利实施，为世界银行最终决定发放贷款提供坚实依据，同时，也为以后对项目的监督和总结评价提供比较的基础。在此阶段，世界银行要编写一份“评估报告”，还要讨论采购计划的安排，确定采购方式、组织管理

等问题；进行投标人的资格预审、编制和发售招标文件、和接受投标书；

项目完成后，世行与借款人一起，将项目执行结果与“评估报告”进行比较，进行评价，编写出项目完成报告。

由于世行贷款的大部资金都是花费在项目采购上，因而要对借款人的采购程序、文件、评标、授标建议以及合同进行审查，以确保采购过程是按照双方同意的程序进行的。

具体的监督审查方式包括：

- (1) 对招标（合同）文件的审查
- (2) 审阅借款人（项目单位）所提供的各种报告、资料
- (3) 定期或不定期派遣项目官员或小组赴现场检查
- (4) 对特别咨询团的咨询工作进行监督
- (5) 对提款申请的审查
- (6) 通过与借款国的联合检查行动进行监督

根据世界银行的上述规定，1984年4月17日，我国有关部门正式将定标结果通知世界银行，世界银行于6月9日回复无异议，完成了对授标结果的审查。此外，世界银行除推荐澳大利亚 SMEC 公司和挪威 AGN 公司作为咨询单位，分别对首部枢纽工程，引水系统工程和厂房工程提供咨询服务外，还两次委派特别咨询团对鲁布革工程进展情况进行现场检查。

- (4) 大成公司按照现代项目管理方法实施项目；

从项目的实施方式上，日本大成公司采取了与当时我国项目建设完全不同的项目组织建设模式，实际上就是今天被人们熟知的“项目管理”。这些主要体现在：

管理层与作业层分离，总包与分包管理相结合；大成公司从对鲁布革水电站引水系统提出投标意向之后，立即着手选配工程项目领导班子，他们首先指定了所长泽田担任项目经理（日本人叫所长），由泽田根据工程项目的工作划分和实际需要，向各职能部门提出所需要的各类人员的数量、比例、时间、条件，各职能部门推荐备选人名单，磋商后，初选的人员集中培训两个月，考试合格者选聘为工程项目领导班子的成员，统交泽田安排作为管理层。大成公司采用施工总承包制，在现场日本的管理及技术人员仅 30 人左右，雇用我国的公司分包，而作业层则主要从中国水电十四局雇用；

项目矩阵制组织与资源动态配置；鲁布革大成事务所与本部海外部的组织关系是矩阵式的，在横向，大成事务所的班子的所有成员在鲁布革项目中统归泽田领导；在纵向，每个人还要以原所在部门为后盾，服从原部门领导的业务指导和调遣，比如机长宫晃，他在鲁布革工程中，作为泽田的左膀右臂之一，负责本工程项目的所有施工设备的选型配套，使用管理、保养维修，以确保施工需要和尽量节省设备费用，对泽田负完全责任。在纵向，他要随时保持和原本部职能部门的密切联系，以取得本部的指导和支持。当重大设备部件损坏，现场不能修复时，他要及时以电报或电传与本部联系，由本部负责尽快组织采购设备并运往现场，或请设备制造厂家迅速派人员赶赴现场进行修理和指导。工程项目组织与企业组织协调配合十分默契。比如工程项目隧洞开挖高峰时，人手不够，总部立即增派有关专业人员到现场。当开挖高峰过后，到混凝土补砌阶段，总部立即将多余人员抽回，调往其他工程项目。这样，横纵向的密切配合，既保证项目的急需，又提高了人员的效率，显示矩阵制高效的优势。

科学管理与关键线路控制方法；大成公司采用网络进度计划控制项目进展，并根据项目最终效益制定独到的奖励制度，将奖励与关键线路结合；若工程在关键线路部分，完成形象进度越快奖金越高，若在非关键线路部分的非关键工作，到适当时候干得快奖金反而要降低，就是说非关键工作速度快了对整个工程没有什么效益；科学管理还体现在施工设备管理上，为了降低成本，他们不备用机械设备，而是多备用机械配件，机械出现故障，将配件换上立即运转，机械修理在现场进行，而不是将整个机械运到修理厂去修理。而且机械设备不是由专门司机开着上下班，司机坐着班车上下班，做到机械设备不离场，使其充分发挥效率。

（5）设计施工一体化；

日本公司通过施工图设计和施工组织设计的结合，进行方案优化。比如引水隧道开挖，当时国内一般是采用马蹄形开挖，直径 8 米的洞，下面至少要挖平 7 米直径宽，以便于汽车的进出，主要是为了解决汽车出渣问题。日本大成公司通过优化施工方案，改变了施工图设计出来的马蹄形断面开挖，采用圆形断面一次开挖成型的方法，计算下来，日本公司要比我们传统的方式少挖 6 万立方米，同时就减少了 6 万立方米的混凝土回填量。圆形开挖的出渣方法是：保留底部 1.4 米先不挖，最为垫道，然后利用反铲一段段铲出来。除此之外，日本公公司改变了汽车在隧道内掉头的做法，先前是每 200 米搞个 4 米×20 米的扩大洞，汽车可调头；日本公司采用在路上安装个转向盘，汽车开上去 50 秒就可实现掉头，仅此一招就免去了 38 个扩大洞，减少 5 万立方米开挖量和混凝土回填量。

（6）项目法人制度与“工程师”监理制度。

为了适应外资项目管理的需要，经贸部与水电部组成协调小组作为项目的决策单位，下设水电总局为工作机构，水电部组建了鲁布革工程管理局承担项目业主代表和工程师(监理)的建设管理职能，对外资承包单位按 FIDIC 合同条款执行，管理局的总工程师执行总监职责。鲁布革工程管理局代表投资方对工程的投资计划、财务、质量、进度、设备采购等实行包干统一管理，还要协调水电十四工程局，昆明勘测设计院，原云南省电力局等与鲁布革工程的关系，办理招标、评标、签订承发包合同，编制年度基本建设投资计划和财务计划，掌握工程投资，办理工程融资、财务收支、信贷，编制世行及水电局要求的各种规划、计划，结算、决算报表，审核预决算，按照合同对各承包商实行计划、人员、工程、财务、质量等各方面的监督，组织工程竣工验收、移交、试运行、生产培训，安排材料、设备落实。依据国家水电部规定的方针、政策、制度规定，处理和解决设计、施工与生产运行单位之间的矛盾。

(7) 合同管理制度；

中国的工程建设管理还处在计划体制的环境下，对市场管理手段和经济手段还比较陌生，在鲁布革工程里面第一次使用了国际性的合同管理制度，由鲁布革工程管理局与日本大成公司签订承发包合同。中国施工管理人员对合同制管理体制是陌生的。一条运输路，合同规定由甲方提供三级碎石路，由于翻修不当，造成日方汽车轮胎损失严重，于是日方提出索赔 200 多条轮胎。这些事件对我国管理人员来说都是前所未有的，但是合同执行的结果让我们彻底改变了看法：工程质量综合评价为优良，包括除汇率风险以外的设计变更、物价涨落、索赔及附加工程量等增加费用在内的工程结算为 9100 万元，仅为标底 14958 万元的 60.8%，比合同价仅增加了 7.53%。合同管理制度

相比传统那种单纯强调“风格”而没有合同关系的自家“兄弟”关系，发挥了管理刚性和控制项目目标的关键作用。



雅砻江，金沙江的最大支流，又名“若水”，中国水能资源最富集的河流之一。

在雅砻江干流和鲜水河汇合口下游 2 公里处，一座世界级的高土石坝——两河口水电站大坝已初具雏形，横跨在雅砻江上。航拍下的两河口水电站宛若一颗耀眼的藏区明珠嵌入 V 字形峡谷间，与两岸高山陡立，悬崖峭壁遥相呼应。

建设困难，前所未有

这是一项世界级工程，拥有世界第三高土石坝，也是目前我国在藏区开工建设规模和投资最大的基建项目，其建设难度居全世界土石坝前列。

由中国电建水电十二局和水电五局组成的联合体承建大坝标段，是当前国内水电最大单体标。两河口水电站大坝坝高 295 米，集超高心墙堆石坝、大填筑方量、高原高寒气候等施工难度于一体，可以说，每一项都具有挑战性。



“对于在高海拔寒冷地区建设 300 米级的超高砾石土心墙，国内尚缺乏借鉴成熟的建设经验，国内已建成类似工程为坝高 261.5 米的糯扎渡工程，但两河口水电站在坝高、土料场选择与土料性质、场地条件、地形地质条件、外部气候环境等方面仍有较大差异。”水电十二局副局长、项目常务副经理练新军说：“目前，我国土石坝设计、施工规范的最大坝高为 200 米级，而两河口水电站为 300 米级高土石坝，其建设突破了现有规程规范及已有工程经验的范畴，在建设过程中必然面临诸多无法预估的挑战和困难。

难题需要攻克，科技尤为重要。两河口水电站大坝工程是一座名副其实的科技大坝，在这些世界级挑战背后，是一系列创新攻坚和技术支撑的强力驱动。联合体科技办负责人郭新海表示，我们与雅砻江公司及科研院校一起，围绕科技两河口大坝建设研究为主线，对高原寒冷地区 300 米级土石坝智能化施工等开展了多项科研专题研究和攻关，用科技力量征服了这项世界级工程。

智能建造，攻坚克难

两河口水电站地处青藏高原东侧边缘地带，属川西高原气候区，项目所在地平均海拔 3000 米左右，空气稀薄、气候复杂，其含氧量约为北京的 69%。普通人走路尚且不能过急，机械设备也“喘不上气”、降效约 35%。

据了解，两河口水电站大坝为砾石土心墙堆石坝，总填筑方量约 4233 万立方米，相当于 6 个“鸟巢”的体积。项目经理余良松介绍，两河口水电站大坝主要分为两部分，中心位置的心墙由防渗性极强的砾石土填筑；而起保护作用的外壳，则由反滤料、过渡料、堆石料等抗压性极高的砂石填筑。作为挡水建筑物的大坝是水电站工程的关键，最终要能抵挡 260 米、107 亿立方米库容的水压。

既要保证大坝碾压紧实，又要安全可靠。如此大规模的填筑，难度可想而知。更何况还是在气候复杂的高原高寒高海拔地区施工。

为了解决这些难题，联合体积极参与雅砻江公司、天津大学开展的大坝填筑智能无人碾压技术研究。



“嚯，无人驾驶不止是汽车，还有智能无人碾压机”！在大坝填筑施工现场，只见大坝堆石区，几台智能无人碾压机在操作手的指挥下，在规定区域内进行碾压作业。“来两河口参观考察的同行们，都会掏出手机记录眼前的景象。”负责现场无人智能碾压机管理的曹坤告诉记者。

目前，施工现场已经投入了 15 台智能无人碾压机，覆盖堆石区、过渡料及心墙料多种坝料、多种机型，12 月 20 日累计填筑已经突破了 150 万方。“就在不久前，联合体参与的《300 米级高心墙堆石坝智能填筑关键技术及工程应用》还荣获了中国大坝工程学会科学技术奖特等奖”，曹坤自豪地说。

无人碾压机是会“思考的”。在接收作业指令后，会按照规划路径开展前进、后退、错距、振动等碾压作业。在处理大块石碾压等极端情况时，还能及时纠偏，保持高精度循迹，实现了大粒径坝料碾压轨迹的智能化精确控制。

智能建造，攻坚克难。除了智能无人碾压机，在两河口水电站，还引进了智能爆破开采技术、智能灌浆等等，真正实现了大坝建设向智能化的跨越发展。

数字监控，保驾护航

土石坝填筑质量的核心是施工过程参数控制，工作面广且填筑质量要求严苛。如果没有按照规范要求填筑的话，将严重影响工程质量。

“我们需要一双慧眼，能够实时监控大坝填筑状况。”数字监控正是解决难题的关键。

在大坝右岸的指挥中心，我们找到了答案。这就是两河口水电站数字大坝系统前方指挥中心。数名工作人员盯着电脑屏幕上的监测数据，通过对讲机发出一道道指令。在大屏幕上，两河口大坝的实时施工进度面貌一览无余。



据工作人员介绍，这套系统集合了包括灌浆监控与分析系统、心墙料掺和工艺监控系统、坝体堆石自动加水监控系统、大坝填筑运输与碾压等 11 个子系统的信息体系。利用这套系统，两河口水电站大坝建设工程在坝料开采、运输、掺和、水量调节、摊铺和碾压全过程各环节均实现了实时监控，使得能够对两河口水电站大坝施工进行远程、实时、动态监控。

数字监控，保驾护航。不仅如此，智能大坝实时监控系統，定位精度达到厘米级，能够实时计算分析碾压机行走轨迹、车速、碾压遍数、压实厚度等，并实时自动报警，杜绝了隐患。这不禁让人感叹科技的强大魅力。

技术支撑，安全可靠

“冻不得淋不得”，用这个词来形容砾石土心墙堆石坝非常形象。在大坝填筑过程中，我们发现土料受冬雨季影响非常大，根据统计，全年有效施工时间仅有 200 天左右。这些给大坝施工进度和质量控制带来极大挑战。

每年 5 月至 10 月为两河口的雨季，雨季瞬时雨量大、持续时间长，砾石土在 2 毫米雨量下就无法施工，超现规范标准。每年 11 月至次年 2 月为两河口的冬季。冬季气温较低，极端最低气温为零下 15.9，昼夜温差较大。两河口水电站遇到的是浅表层日循环冻土，与青藏铁路的多年冻土不一样，这种每晚冻结、白天融化的情况给施工带来的难度非常大。

“解决全年受冬雨季施工组织难的问题，需要摸透老天爷的‘脾气’，更需要一系列优化后的技术支撑。”练新军说，我们在施工过程中摸索创新，不断优化技术方案，以技术为支撑，想出绝招使大坝填筑安全可靠。

雷雨季节，通过甘孜州气象云图预判技术，提前拿到下雨的“情报”，精准度达到95%以上。现场采用小仓面快速施工，提前将黏土平碾成两边低中间高的“龟背”光面状，这样雨水可以排到四周。通过技术革新，不仅减小了土料浸润深度和土料换填量，还大大提高了复工复产速度，避免机械及人工的浪费。

寒冬时节，按照“冻土不上坝、冻土不碾压、碾后土不受冻”的施工原则。对料场开采、温度监测、土料运输、掺拌工艺、坝面保温等进行了技术优化。为了充分利用每天有限的正温时段，采用小仓面流水进行施工，松土虚铺、铺设土工膜等措施。根据不同的温度采用“三布两膜”保温材料，给心墙盖上“保温被”。研发的冻土破碎升温装置和土工膜快速收放机，使覆盖心墙的时间由原来的半天缩短至三小时。

技术支撑，安全可靠。从项目开工至今，科技创新的理念贯穿始终。这个超级工程集结了高寒高海拔地区建世界高砾石土心墙坝的八个专题的研究。目前，在研子课题数量达18个，已经获得国家专利55项，其中发明专利2项，发表论文26篇，创建申报的工法10余项。

不久的将来，这座依托科技建造，含金量十足的大国重器——两河口水电站将以新姿态屹立于峡谷中，不断闪耀着科技之光，向世人诉说着世界级工程的“科技密码”。

中国电建两河口水电站一二·五局联合体副经理练新军介绍，两河口水电站大坝是砾石土心墙堆石坝，心墙则是大坝的“心脏”。“大坝之心”将经过1000多层填筑，上万次碾压，最终炼成能抵挡260米高水压力、库容107亿立方米的铜墙铁壁。大坝总填筑方量达4300

万立方米，如果按 1 米见方的填筑料铺展开，可绕地球一圈还多，碾压长度可绕地球 6 圈。

超乎寻常的工期任务

在雅砻江公司两河口建设管理局大坝组组长杨希的工作本上，“11 月 1 日大坝心墙全面填筑”被红笔标注，这是今年最重要的工程节点。“每年 6 月至 9 月是雨季，12 月至来年 2 月是冬季，施工条件恶劣，有效施工时间只有 200 天左右。”时间紧迫，而高海拔作业效率又比在平原低。以大坝坝肩开挖工程为例，项目实施过程中，从材料堆放点到达作业面，需要攀爬 200 米至 500 米的垂直高差，作业人员仅此一项就耗时至少 2 小时。

为了赶工期，上万工人、上千台设备日夜奋战在一线。中国电建两河口水电站二?五局联合体生产指挥中心主任余良松介绍，刚刚过去的 9 月几乎天天下雨，而化学灌浆必须在干燥状态进行。等雨停不是办法，余良松和同事们想出了绝招，在灌浆作业面上砌砖，把雨水引到两边，并在上面盖雨布，用钢丝绳固定，这样一个干燥的“小房间”就盖好了，几乎不影响作业。在大坝两岸，这样的“小房间”有上千个，灌浆口有上万个。

冬季施工，气温低下，有效使用时间短缺，为延长施工时段，联合体科技办充分发挥主观能动性。一方面，联合寒早所、设计院等进行砾石土冬季施工研究，研究砾石土料冬季冻融后的微观结构、渗透性、强度及压实度的变化，提高了对砾石土在冻融循环后性质改变的认识，为延长冬季砾石土施工时间提供了科学依据。另一方面，自主研发的土工膜收放机在获得国家实用新型专利权的同时，立即制作加工并投入

了使用,极大的提高了季施工土工膜收放效率,有效的避免了人工收放作业的弊端,减少了施工成本。

雨季时段长,严重影响大坝填筑质及效率。为此,联合体组织了《雨季砾石土施工技术》课题研究,现已取得初步成效。同时,针对高原高寒地区特有的雨季气候,引进了气象云图实时监控系統,2小时趋势预报做好应对准备,半小时精准预报迅速实施防雨措施,精确度高达90%,达到国内预测最高水平。测含水率、刨毛、加水、密实度检测、上料一气呵成的雨后复I措施,使施I质量与非雨季完全一致。可靠的质量保证手段,使雨季心墙填筑进度从投标时的5米/季,提高到目前的13.5米季。

与时俱进,土坝不土。为确保大坝碾压施工质量、提高施工生产效率,联合体充分发挥大坝数字化监控中心的作用,全面监控砾石土、过渡料、反滤料、堆石料的碾压比例合格率。全程跟踪各种土石料的碾压遍数、厚度、含水及机械设备运行速度、轨迹等,达到了及时反馈数据,及时调整参数,及时调配资源等目的。

一二·五联合体自2015年5月1日进场以来,充分发扬水电铁军精神,克服高原高寒气候恶劣影响,尤其是特有的土料性质影响,有效利用两家母公司各项资源优势,使得两河口大坝工程建设的每一个重大节点均提前完成。2018年,为确保大坝心墙在5月31日达到2680米高程这一重大节点,一二·五联合体加大人员和设备投入,加强对冬雨季施工的研究,实行领导干部夜间带班值班制度,开展形式多样的劳动竞赛活动,充分发挥党员先锋队和青年突击队先锋模范作用,多次创造24小时填筑两层的心墙记录,且安全质量受控,为国内最高施工水平,受到建设单位、监理单位一致好评。

11月24日，两河口水电站大坝心墙已填筑至2648米高程，提前36天完成年度合同填筑目标。

经统计，在心墙填筑达到高峰期间，日平均填筑施工运输砾石土料约301车，反滤料约45车，现场施工的设备达到18台，作业人员达到58人。心墙填筑现场施工人员实行白班夜班不间断施工，真正弘扬了争分夺秒，停人不停机的大干精神。

2017年，两河口施工区气候异常，冬季气候恶劣、雨季时间延长两月，使得大坝心墙顺利实现年度目标困难增加。为了确保年度目标顺利实现，联合体通过倒排工期、细化工程量、增加资源投入等，从组织管理、技术管理、经济管理、施工管理、后勤管理等各方面对大坝心墙填筑进行加强。在母公司的大力支持下、在联合体干部职工的共同努力下、在坝料生产、运输、碾压、检测各环节无缝链接下，大坝心墙填筑屡次实现24小时分仓流水作业达到2层高峰填筑纪录，安全可控、质量优良，为大坝心墙填筑提前36天完成年度合同填筑目标提供了有力保障。

合力则步伐一致，全力则创造奇迹。经过坚持不懈努力奋斗，终于迎来了心墙填筑合同节点目标的提前完成。在接下来的时间里，联合体将继续发扬“艰苦不怕吃苦，缺氧不缺精神”的两河口精神，全力保障大坝心墙的填筑施工，给建设方和母公司交一份满意的答卷！

两河口水电站为砾石土心墙堆石坝，由于施工区域地处高原、高寒、高海拔的高山峡谷，大坝心墙施工严重受季节、气候因素制约，全年有效施工期仅160天左右，全天平均正温时间13小时，有效施工时间9小时。

为确保大坝填筑施工质量，一二·五联合体严格按照“冻土不上坝”、“冻土不碾压”、“碾压土不受冻”的填筑方案进行施工，采

取对大坝心墙建立气象站、使用红外线测温仪、覆盖土工膜保温、料场向阳区开采等一系列措施，使大坝心墙每天有效施工时间延长至 12 小时，运输填筑保持 200 车（约 3800 立方米）以上，填筑高度提升 1.2 层，在保证安全可控、质量合格的情况下，有效提升了冬季填筑效率，为下闸蓄水目标、年度任务提供了坚实的冬季施工进度保障。2020 年是两河口水电站下闸蓄水决胜年，联合体全体职工将继续发扬“艰苦不怕吃苦、缺氧不缺精神”的两河口作风，始终相信一座电站、一群人，一个目标、一条心，一起拼搏、一定赢，思想不恐高、生理不缺氧、工作不缺劲，做到疫情防控不松懈、质量安全不打折、进度履约不掉链，全力向下闸蓄水目标奋进！



元旦期间，川西高原藏区白雪皑皑。在海拔 3000 米的长江上游两河口水电站施工现场，工人们冒着冰雪天气夜以继日施工，一片热火朝天的景象。

从雅江县城出发，穿过一个隧道后，只见绵延起伏的群山，山顶白雪皑皑、银装素裹。山谷间，是一片繁忙的景象：推土机来回运土作业、工人们沿陡峭的崖壁施工——这是正在建设中的两河口水电站施工现场。

由中国雅砻江流域水电开发有限公司建设管理的两河口水电站位于雅砻江和鲜水河汇合口下游 2 公里处，海拔近 3000 米，气候恶劣，山势陡峻。要截断汹涌的雅砻江，在峡谷间筑起一座 295 米高的水电站大坝，施工难度可想而知。



1 月 2 日，两河口建设管理局常务副局长张鹏（右）在查看项目进展情况。新华社记者 刘坤摄

2 日中午，记者从海拔 3000 米的地方深入约 300 米的谷底看到，水电站大坝填筑质检员魏鹏飞正在检查坝底的泥土。这些泥土是从 30 多公里以外的未来库区淹没区运来，用于填筑 295 米大坝中最核心的部分——心墙，这也是解决大坝防渗的核心工程。

来自河南的魏鹏飞前年大学毕业，进入建筑工地之初，感到不适应。“走路还可以，只要一爬坡就气喘吁吁。”魏鹏飞说，但作为质检员，责任重大，毕竟心墙是大坝的核心工程，用于筑心墙的泥土不能受冻，否则会影响防渗功能。

在这个高寒、高海拔地区，施工人员发明了给泥土盖“被子”的技术：一种叫“三布两膜”的保温材料整齐覆盖在泥土上。

“零上 4 摄氏度就要开始盖‘被子’，在零摄氏度之前必须覆盖完

毕。”魏鹏飞说，他的工作之一就是去检查这些“被子”是否盖好，有时候要忙到凌晨才下班。

1月2日，工人们在揭开“三布两膜”。“三布两膜”是一种保温材料，气温低时将它整齐覆盖在筑心墙的泥土上，保障作为大坝核心工程的心墙泥土不受冻，否则会影响防渗功能。

来自成都金堂的胡小平是工地上的一名推土机驾驶员，2日中午，他正蹲在工地上吃盒饭。胡小平用长满老茧的左手指着一辆推土机说，他一天要工作12小时。这个元旦假日不休息，可能农历春节也不会回家。“我是中国水电5局的职工，在工地上过年有十几年了，毕竟工期很紧。”

尽管胡小平是个“老水电”，但到海拔3000米的高寒地区施工还是第一次。“去年9月份到工地时，爬坡上坎上气不接下气，后来我就走慢一点。”胡小平说，再大的困难都要克服，毕竟大家都是为了藏区水电开发，造福藏区群众。

两河口建设管理局总工程师张贵科在施工现场对记者说，工地上冰天雪地，地形复杂，施工难度大，但是工人们建设的热情高涨。两河口水电站工程已全面进入施工高峰期，工地上每天都有上万人在紧张施工。这个工程是目前我国藏区开工建设规模和投资规模最大的基建项目，大坝总填筑方量约4244万立方米，为目前国内已建或在建的填筑方量最大的土石坝。“如果砌成1米高1米宽的墙，可以绕地球一圈，还多出2000公里。”张贵科说。两河口水电站工程于2015年11月实现大江截流，计划2023年12月完工。



不尽江河滚滚流，流的都是煤和油。”这是水电行业送给水能的打油诗。从四川甘孜藏族自治州雅江县出发约半小时，车子穿过数条狭长的隧道后，眼前陡然一亮。迎着光，开出洞口，车子停到 2875 米高的观望平台，凭栏俯瞰：嚯！削山筑墙，拦江垒坝，脚下居然有座 50 多层楼高、40 万平方米的巨型工地，将汹涌奔流的雅砻江拦腰截断。40 万平方米，相当于 56 个标准足球场！一辆辆装有土石料的卡车，如同蚂蚁般盘旋在施工步道上。这就是世界第三高土石坝、总投资 664.57 亿元、目前我国藏区开工建设规模和投资规模最大的基建项目——两河口水电站。作为已建在建综合难度最大的项目之一，建设者们面临着哪些挑战？又如何“摸着石头过河”？记者日前走进两河口水电站施工现场一探究竟。

项目面临“四高”挑战两河口水电站的调节能力和补偿效益巨大，加上自身发电量，将超过海南省去年的用电量我国水能资源技术可开发量世界第一。随着近年来水电开发建设的进程加快，乌江、大渡河、长江上游等河流开发程度已达 80%以上，未来水电开发潜力主要集中在

在西南诸河。其中，雅砻江天然落差 3830 米，水能资源丰富，是我国第三大水电基地。作为雅砻江中游的龙头梯级水库电站，两河口水电站的位置“得天独厚”：有库容，107.67 亿立方米的库容约相当于北京 3 年的用水量；有水量，坝址年径流 210 亿立方米；有落差，电站下游至葛洲坝近 2600 米落差，“一方水能发六度电”。利用丰富的水能资源，两河口水电站设计多年平均年发电量为 110 亿千瓦时！除了自身发电效益，更具价值的还有两河口水电站的调节能力和补偿效益，这能增加雅砻江中下游梯级电站平枯期电量 225 亿千瓦时，加上自身发电量，将超过海南省去年的用电量。

“‘丰余枯缺’是水电的突出矛盾，两河口的巨大库容，可以在丰水期通过蓄水减少下游弃水，平枯期则释放蓄水增加下游电站的发电量。”两河口建设管理局局长王金国解释道。电站建成后，计入下游补偿效益增加的年发电量，每年能减少标煤消耗 1330 万吨，减少二氧化碳排放 2130 万吨，相当于少建 4 座年产 400 万吨的大型煤矿。

虽然发电、调节等效益巨大，但在深山峡谷中，建设如此大规模的项目谈何容易：人工降效约 15% 的高海拔——项目所在地海拔平均 3000 米，含氧量约为北京的 69%， “睡不着” “干不动” “心脏负荷大”……成为工程建设者们面临的首要困难。水电总院专门做的研究显示，在缺氧环境下，人工降效约 15%，就连机械也“喘不上气”、降效约 35%。不仅如此，水电站地处川西高原高山峡谷地带，天气条件恶劣、昼夜温差大，对土石坝“冻不得淋不得”的“娇弱”体质而言，又是一大挑战。世界第三的高土石坝——两河口水电站大坝为砾

石土心墙堆石坝，坝高 295 米，为世界第三高土石坝。大坝总填筑方量约 4233 万立方米，相当于 6 个“鸟巢”的体积；如果做成 1 立方米的墙体铺展开，可绕地球一圈多。要把如此大体量的土石料精心筛选，并且碾压得牢不可破，难度可想而知。世界最高的泄洪流速——两河口水电站最大泄洪流速每秒 53.76 米，世界第一，设计最大泄量为每秒 4076 立方米，这样的冲击力相当于 160 辆满载 25 吨货的卡车群，以时速 200 公里进行冲撞。如何让泄洪工程抗冲耐磨也是道棘手难题。世界水电最大规模高边坡群——两河口水电站坝址区地形高陡，大坝两岸的边坡众多，其中 200—300 米级工程高边坡多达 7 个，300 米及以上工程高边坡 5 个，为世界水电最大规模高边坡群。这对做好开挖、支护提出了严格要求。“土石坝一点不土，娇气得很，要像婴儿般细心呵护。”在王金国和同事们看来，水电往条件艰苦的河流上游、高海拔地区开发的趋势越来越明显。在没有相应技术规范和工程实例可借鉴的情况下，两河口水电站填补了高海拔地区超高堆石坝的建设空白，能给未来类似坝型建设提供借鉴。“两河口建成，当惊世界殊！”建设者们信心满满。

“智能”大坝办法多给碾压机“装大脑”，给混凝土“敷面膜”，给高边坡“纳鞋底”千里之堤毁于蚁穴。要让土石坝成为铜墙铁壁，需要破解诸多世界级难题。为此，两河口的建设者们琢磨了不少巧办法。——**给碾压机“装大脑”，智能碾压保质量**大坝中心区相当于心脏，为了防渗透，就要在心脏位置砌上保护墙——“心墙”。目前“心

墙”填筑高度已经突破 164 米。要让“心墙”抵挡住 260 多米高、107 亿立方米库容的水压力，碾压紧实是最关键的步骤之一。王金国告诉记者，“心墙”需要经过 1176 层的填筑，每层需经过 10 遍碾压，马虎不得。上万遍的重复碾压，枯燥乏味，工人总有大意迷糊的时候，怎么杜绝错碾、漏碾，保障大坝安全？在两河口水电站智能大坝系统前方指挥中心的屏幕上，记者找到了答案。

“24 号凸块碾：速度，2.63 千米/时；错距，4 厘米；遍数，3……”屏幕上呈现的是立体图形，4 台碾压车正在屏幕上行驶，每台车的轨迹由不同颜色替代。

“传统土石坝的心墙碾压，通过人工翻牌子计数控制遍数，碾压轨迹只能通过监理工程师的肉眼判断，速度控制则凭感觉，施工质量存在很大的主观因素。”天津大学建筑工程学院副教授崔博介绍，雅砻江流域水电开发有限公司和天津大学联合开发了智能大坝实时监控系
统，定位精度达到厘米级，能够实时计算分析碾压机行走轨迹、车速、碾压遍数、压实厚度等，并实时自动报警，杜绝了隐患。不仅如此，针对碾压工招工难、低频振动带来的职业健康困扰等问题，两河口水电站还研发了碾压机无人驾驶系统，进一步提升心墙施工智能化水平。**——给混凝土“敷面膜”，智能养护防干裂。**为了在主汛期分担长江防洪压力，两河口水库预留了 20 多亿立方米的防洪库容。从“心墙”施工现场来到宽 16 米、高 22 米的泄洪洞，顿觉清凉。只见洞两边的灰色混凝土上，贴满了白色养护布，墙顶部铺设的管道正

在进行喷淋，洞室仿佛敷上了面膜。将养护布揭开，混凝土墙面光滑如镜，能够清晰看到人影。为何混凝土需要这么光滑湿润的“肌肤”？

两河口高边坡和泄洪洞室项目负责人王泽光向记者揭开了谜底：原来，洞室要应对每秒 4076 立方米的最大泄量，也就是 160 辆满载 25 吨货的卡车群快速冲撞的冲刷力，这对混凝土的耐冲磨质量提出了极高要求，相应的养护要求也会很高。“养护期内混凝土温度和湿度得严格控制在规定范围内，喷淋的水温与混凝土温度的差值不能大于 20 摄氏度，否则会有开裂风险，这可开不得玩笑。”王泽光说。

严格控制温度和湿度，在空气湿度小、风速大、日温差最高能达到 30 多摄氏度的两河口，并不容易。为了保证抗冲耐磨混凝土的浇筑成型，两河口项目运用了智能养护的办法，在混凝土墙上铺设埋有传感器的管道，实时监测混凝土的温度和湿度，对喷淋时间和温度再进行智能调整。“相比传统的人工喷淋，智能养护不仅节省人工、喷淋更加均匀、无死角，用水量还节省了将近一半。”王泽光算了算账。

给高边坡“纳鞋底”，智能感应张拉力山高谷深的复杂地形，决定了两河口水电站的高边坡规模巨大，其中最高边坡 684 米，比上海中心大厦还高 50 来米，位居世界水电第二。如何应对强大的水压，防止山体变形呢？建设者们采取“纳鞋底”的方式加固山体，记者看到山体上红黄蓝白四色、密密麻麻的小点，便是“纳鞋底”的“针线”——锚索。据了解，项目总共需要向山体钉入约 1.3 万束锚索，每束锚索约 70 米长、2 吨重，相当于把整个“鸟巢”的主结构用钢量搬运到海拔 3000 多米的高山上。

“一束锚索得三四十人一齐用力，经常要扛着往五六十米垂直高度的作业面送。”来自四川凉山的锚索工人曹庭发说，由于缺氧，经常走十来米就得歇一会儿，有的工友还会流鼻血，完工时肩膀也磨破了。看着“笨重”的锚索其实也暗藏玄机。王泽光告诉记者，部分锚索安装了感应器，未来能够实时监测相应边坡范围的张拉力，进行智能监测。在高海拔地区，土料对于低温霜冻和含水量的变化极为敏感，全年有效施工时间只有200天左右。为了工程又好又快地建成，两河口的建设者们总在不断摸索创新：寒冬时节，让心墙盖上“保温被”，通过研发快速收放机，覆盖差不多三个足球场大小的心墙仅需3小时；雷雨季节，碾压机的轮胎陷入被水浸泡过的砾石土无法动弹，“有时填筑方量还比不上被刮掉的方量，心墙越填越低”。翻过来倒过去地想办法，后来建设者们引入气象雷达，采用填筑面龟背状施工、小仓面快速轮换施工等方式，让二三十个小时的复工时间缩短了一半……“开门见山，转头还是山。”荒野之中，不少建设者一年的工作时间超过300天，“给孩子盖被子没几次，给心墙盖‘保温被’却有上百次”“干水电硬生生把爱人逼成女汉子”……伴随着大坝一天天升高的，是建设者们一股股迎难而上的劲头、一份份善作善成的决心。

“致富”大坝奔头足

电站周边地区的交通、电力、通信等基础设施将实现跨越式升级。“以前有一搭没一搭地找活，如今有了份稳定工作。还是头一回见这么庞大的工地，村里人都羡慕。”家住雅江县应龙村的泽仁汪堆今年

40岁，在两河口水电站开挖掘机，他毫不掩饰自己的成就感。更令他满意的是，近20万元的年收入让家人住上了县城的漂亮房子，生活更踏实、更有劲儿了。像泽仁汪堆一样，不少当地人因水电站的建设找到了稳定的工作。王金国告诉记者，两河口水电站建设期间累计聘用当地务工人员超过2000余人次；前期工程项目90%以上物资运输均由当地移民、村民及当地运输企业承担。水电站的建设不仅带动当地百姓就业，也成为当地产业发展、生活水平提升的“发动机”。2017年，雅江县学优村通往县上的泥巴路变成了水泥路，村里的主要经济来源——松茸虫草也有“门路”了。

“6米宽的大马路方便得很，这不，村里人天不亮采完松茸就去县上卖了，路上只用1小时。”学优村村支书以珠阿之告诉记者，过去上趟县城可不容易，两三米的土路上下颠左右晃，一下雨还容易塌方，有时大半天都到不了。这可愁坏了卖松茸为生的村民，“松茸讲究新鲜，时间一长，变软、发黑，市场价五六十元时，只能忍痛十元卖出！”如今路通了，松茸“身价”也高了，村里人均年收入能达到四五千元。不仅如此，利用“走婚大峡谷”发展旅游业，种植中草药、核桃……随着交通改善，学优村已规划起了致富新产业。

改变村民生活的除了“路”，还有“电”。“原先村里用电靠装机100多千瓦的小水电站供应，灯泡经常微闪微闪就灭了，尤其到冬季，村与村还得轮流用电。”回忆起原来“点油灯”的生活，以珠阿之印象深刻。现在复建工程架起了电网，家家户户用电不愁，“灯火通明才真正有家的感觉”。受益的不仅是学优村，两河口工程建设涉

及甘孜州雅江、道孚、理塘、新龙四县，届时将复建干支线道路近 400 公里、供电线路 330 公里，复建特大桥 8 座、大桥 20 座，电站周边地区的交通、电力、通信等基础设施都将实现跨越式升级。30 多年前，饥贫交困的家乡因一座小土石坝重获丰收，这让王金国立志从事水电行业；如今，这位干了 20 多年的“老水电”憧憬着，两河口水电站竣工后风调雨顺，百姓的生活也能水涨船高！

