

# 破岩求索,向新之力

## 记中国电建华东院复杂敏感环境超临界流体冲击破岩技术

奚灵智 杨槐 胡少斌 张强 李晨

随着我国城市化的快速发展,为科学利用土地资源,建设工程逐渐向地下深处及立体空间发展。在此过程中,施工区域常与已有建筑物、交通线、管线毗邻,或处于人流集中处等复杂敏感且多变的施工环境。在此类条件下进行石方开挖时,炸药爆破因其安全风险极高通常被禁止使用,而机械开挖、静态膨胀、二氧化碳气爆等非炸药爆破破岩技术,则难以满足工程建设在施工效率与成本、环境影响等方面的需求。

针对这一挑战,中国电建华东院联合江苏中控能源科技有限公司组成科研团队共同完成科技攻关,解决了复杂敏感施工环境下岩石开挖难度大、安全风险高、成本费用高、施工效率低的难题,并形成科技成果——《超临界流体冲击破岩精准控制关键技术与应用》,该成果顺利经中国电力建设企业协会成果鉴定与验收,达到国际领先水平。

**创新一:本安型高能复合材料研发**

与炸药爆破相比,二氧化碳气爆技术具有无明火、弱扰动、低噪声、不产生有害气体的优点,属于安全性高、环境友好的绿色破岩方法。然而,以往二氧化碳气爆操作时,激发二氧化碳发生相变的发热药的主要成分含有高氯酸钾、草酸

铵和水杨酸等易制爆危险化学品,导致二氧化碳气爆技术使用过程中存在以下安全隐患:(1)发热体的加工易引发燃烧、爆燃甚至爆炸;(2)危化品监管愈发严格,市场准入性不足;(3)发热体结构与电雷管相似,易发生误触事件;(4)危化品泄露或大量使用会造成局部不可逆的环境污染。

为此,团队特别研发了具有本质安全特性的复合高能材料,仅可在一定压力下的气体环境中着火燃烧放热(非爆燃、爆炸过程),极大保障了技术的安全性、环保性和市场准入性。同时,经过国家民用爆破器材质量监督检测中心、南京理工大学化学材料测试中心等专业检测机构鉴定,该材料不具有物理危险性、爆炸性,不属于易燃固体和限制性运输货物,有效避免了传统发热药的安全隐患问题。

**创新二:基于本安型复合高能材料的便携式干冰致裂破岩装备研制**

除了发热药的安全隐患之外,二氧化碳气爆技术还涉及液态二氧化碳运输、存储以及充装过程中的带压作业问题,高压容器的使用同样会给现场机械设备、作业人员带来安全风险。

在本安型复合高能材料的基础上,团队进一步研制了便携式干冰致裂器,以固态干冰粉代替液态二氧化碳,摒弃了高压容器存储与

装填过程,从根本上杜绝了带压作业的安全隐患。

环境影响方面,单次干冰用量4kg的破岩振动影响范围实测可控制在20m内,重点影响区域则主要集中在10m范围内(地表振动幅值 $>0.4\text{m/s}^2$ ),相较于液压破碎锤该影响半径缩减50%;20—40m区域仅产生微弱振动( $0.2\text{—}0.4\text{m/s}^2$ ),同等距离下振动强度较液压破碎锤降低32%;此外,干冰致裂振动衰减系数为1.7,较液压破碎锤(衰减系数1.1)衰减更快,均体现出干冰致裂破岩在振动控制上的优势。

**创新三:首台套超临界流体冲击破岩装备研制**

为进一步提升自动化作业水平和破岩效率,团队创新性地以压缩空气为破岩介质,研发了具有自动充装、自动激发、重复连续破岩作业功能的超临界流体连续脉动冲击发生装置,并将其搭载至可移动机械平台上,形成首台套超临界流体冲击破岩装备。

同其他非炸药破岩技术相比,超临界流体冲击破岩装备具有以下特点:

(1)能量可控。超临界流体冲击破岩装备通过压力传感器实时监测爆燃气体压力值,可以针对不同的施工场景或岩石类型精准调控高压冲击能量,改善破岩质量、提高作业效率,同时可有效调节岩石破碎块度和飞石距离。



(2)本质安全。超临界流体冲击破岩装备生产、运行不涉及任何危化品的运输、存放和使用,不受相关监管影响,市场准入性好。

(3)绿色环保。超临界流体冲击破岩装备以空气作为冲击介质、生物质材料作为增压药剂,节能减排特点突出;此外,作业过程中的振动、噪声等环境有害效应较弱,明显小于炸药爆破和机械破碎。

(4)快捷高效。超临界流体冲击破岩装备机械化程度高,1—2人即可轻松操作,单次循环作业时长约15分钟,能够有效提高技术效率、降低施工成本。

**技术推广应用与社会经济效益显著**

该技术成果已推广应用至杭州临安青山湖湖底隧道及延线道路工程、青岛青银高速公路增设唐山路互通及连接线工程、浙江景宁抽水蓄能电站工程等10余个项目中,采用超临界流体冲击破岩技术能有效控制振动对周围建筑物的

影响、降低安全隐患,同时破岩效率显著高于镐头机、膨胀剂等方法。

以浙江景宁抽水蓄能电站工程为例,项目下水库料场局部邻近已建中控楼,无法全部采用大规模炸药爆破采掘,而单台镐头机单日开采方量约150立方米,难以满足大坝填筑石料用量需求,工程进展缓慢。采用超临界流体冲击破岩技术后,施工效率比传统机械提高2—3倍,成本同比下降30%—50%。同时过程中保护项目中控楼,避免了振动、飞石等对其结构和内部人员的影响,且未对作业区域内的人员和设备带来安全风险,经济效益和社会效益显著。

该技术的成功应用,为复杂敏感环境下的工程建设提供了一种安全、经济、环保、高效的破岩新技术。下一步,团队将继续推动该技术的系统化、标准化、规范化建设,持续为工程建设提供更多经济、安全、高效、环保的解决方案。

# 数智融合绘宏图 绿色转型立新标

## 中国水电六局句容抽水蓄能电站机电安装工程科技创新纪实

在全球能源版图加速重构的当下,中国正以前所未有的步伐迈向“双碳”目标。新能源装机容量连年攀升,对稳定与调节的需求也愈加迫切。抽水蓄能电站因此走到聚光灯下,成为保障电网安全、推动绿色转型的关键支撑。

作为长三角地区的重要能源工程,国网新源江苏句容抽水蓄能电站(以下简称“句容电站”)以“世界最高库盆大坝”“世界最大规模堆石坝”等纪录刷新行业认知。这里不仅是一座电站,更是一座科技与绿色交织的未来工厂。在施工一线,中国水电六局(以下简称“水电六局”)以数字化技术为笔,书写着机电安装领域的新篇章。

这场科技与工程的深度融合,不仅为句容注入澎湃动能,也为我国抽水蓄能建设探索出一条可复制、可推广的智慧之路。

**绿色“调节器”:能源战略下的时代担当**

在“双碳”目标引领的时代背景下,抽水蓄能电站正逐步成为新型电力系统的“稳定器”和“调节器”。江苏句容抽水蓄能电站作为国家能源局“十三五”规划的重点建设项目,被赋予保障华东电网安全稳定、促进新能源消纳的战略使命。

句容电站安装6台22.5万千瓦可逆式水轮发电机组,总装机容量135万千瓦,设计年发电量高达



13.5亿千瓦时。水库大坝高达182.3米,相当于60层楼的高度,刷新了“世界最高库盆大坝”“世界最大规模堆石坝”等三项世界纪录。建成后,这座能源巨擘将承担调峰、填谷、调频、调相及事故备用任务,为长三角地区提供源源不断的绿色动力。

在这座宏伟工程的背后,水电六局扮演着重要角色。作为承建方,他们不仅负责机电设备安装,还承担了主副厂房洞、主变洞、母线洞等多个关键部位的施工。面对世界级工程的复杂挑战,水电六局以创新为驱动,交出了一份亮眼答卷。

**数字引擎:数字化+智能施工的突破**

与传统电站不同,句容项目因库区条件特殊,额定水头仅175米,属于低水头电站,对机组选配要求极高。如何在有限空间内高效完成巨型机组的安装,成为工程推进的最大难题。

数字化技术贯穿机电安装全周期,成为资源优化的“神经中枢”。在电缆桥架定制阶段,团队

完成全厂桥架三维安装和分解,优化电缆路径设计,通过数字化清单和可视化交底,实现三维敷设与实际施工“所见即所得”的效果,材料利用率提升显著。

管路安装领域,全厂管路三维设计实现设备、管路、桥架与厂房混凝土的综合预安装,球阀管路三维设计指导现场施工,大幅降低了返工率。针对高竖井大直径管路安装难题,创新采用“顶部钢构架+卷扬起重分段整装”方案,结合全焊缝探伤和自密实混凝土浇筑技术,节约材料的同时确保施工安全。机组安装中,肘管洞外双节组焊整体吊装方案破解场地限制,通过模型模拟优化工序,减少现场焊接量,提升施工效率与质量稳定性。

这些技术创新最终凝结为多项重量级成果:《抽蓄电站主机及辅机设备数字化安装关键技术研究与应用》被评为电力建设科学技术进步奖三等奖,《基于BIM技术电缆三维敷设及数字化安装施工工法》被评为中国施工企业管理协会一等工法,《基于BIM的管路预

制生产管理系统》获得工程建设行业高推广价值专利大赛二等专利,《BIM技术在抽水蓄能电站机电安装现场的应用》获第九届建设工程BIM大赛二等奖。其中,经中国安装协会专家组鉴定,《抽水蓄能电站主机及辅机设备数字化安装关键技术研究与应用》达到国际领先水平。

数字化不仅提升了效率,更重塑了质量管控体系。项目部建立了全过程质量追溯机制,从材料进场、工序验收到最终投运,层层把关、环环紧扣,确保每一台机组都达到最佳状态。

**安全护航:智慧工地与人文关怀并重**

科技创新之外,安全生产始终是水电六局的“生命线”。句容电站项目将数字化技术融入安全管理,构建起立体化安全屏障。

三维模型辅助下,安全文明施工标准化布置更成为亮点。利用SketchUp、Revit等软件,按1:1比例绘制效果图,管路预制厂、钢筋加工厂等区域的设备布置与宣传标识严格按图实施,现场安全规范有序,为施工人员营造了安全舒适的工作环境。

管理制度上,句容电站项目制定覆盖20个方面的专项制度,形成“领导带班—管理包保—班组落实”的闭环体系。结合“智慧工地”监督系统,实现隐患即查即改,让安全管理既有技术支撑又

有制度保障。

在硬核的安全管理之外,句容电站项目还融入了“人文关怀”。通过亲情号码、安全教育室和奖惩制度,增强工人安全意识,同时,也让他们感受到企业的温度。

从黑龙江荒沟到江苏句容,从一纸蓝图到智慧工地,水电六局用数字化安装技术绘就出一幅绿色能源的宏伟画卷。句容电站的建成,不仅刷新了世界纪录,更以“智慧+绿色”的实践,书写下中国能源结构转型的鲜明注脚。

在“双碳”愿景下,这座高耸入云的大坝不仅是一项工程,更是一种信念的象征。它代表着中国在能源革命中的战略定力,见证着央企在科技创新道路上的持续探索,也承载着长三角乃至全国绿色发展的宏伟期待。机组的轰鸣,不只是电力的涌动,更是国家在高质量发展征程上坚定步伐的回响。

这场由数字赋能驱动的建设实践,折射出科技与产业的深度融合,呈现出“创新即发展”的生动注脚。它告诉我们,唯有把握住科技创新的主动权,才能在全球能源变局中掌握话语权。随着机组的陆续投产,句容电站将释放出巨大的经济效益、社会效益与生态效益,持续为电网安全提供保障,为新能源消纳开辟空间,为区域经济注入活力。

(敖然 程堃玺 孙蓉)