《**复杂条件下多沙河流大跨度施工导流工程关键技术研究**》项目公示信息

**项目名称**

# 复杂条件下多沙河流大跨度施工导流工程关键技术研究

# 提名者与提名意见

提名单位：陕西省水利厅

提名意见：该项目以黄河流域生态保护和高质量发展重大国家战略需求为导向，针对当前复杂条件下多沙河流大跨度施工导流工程面临导流洞泄量大、流速高、大跨度等系列突出难题，依托东庄水利枢纽工程，开展了理论及试验分析研究，指导优化了施工设计方案，提出了大跨度导流洞风险评估检验及结构设计方法、高含沙导流洞混凝土抗冲耐磨及温控防裂技术、大跨度导流洞混凝土施工运输优化设计方法、“嵌入式”塔架及生态引流的导流洞结构设计方法等，系统形成了高含沙、大跨度、大泄量、高流速等多沙河流大跨度导流洞工程成套理论技术体系。

项目成果成功运用于东庄水利枢纽工程，经过近两年的运行与检验，导流洞工程结构稳定，运行安全可靠，为东庄工程如期截流、安全度汛和主体工程建设有序推进奠定了坚实基础，对支撑黄河流域生态保护和高质量发展重大国家战略具有重要意义。

基于上述原创性成果，我单位愿意提名该项目参与陕西省科技进步奖的评选。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖 三 等奖。

# 项目简介

东庄水利枢纽工程开发任务以防洪减淤为主，兼顾供水、发电和改善生态等综合利用。东庄水库河段年均含沙量为140kg/m3，汛期平均含沙量为207kg/m3，实测最大含沙量高达1428kg/m3，东庄拱坝正常水位的浑水容重为1.38t/m3，超过清水容重33%~68%。坝址为巨厚层灰岩，河谷断面成“V”型，760m高程以下为基岩裸露，平均坡角60°，最大75°～80°，平水期河床水面宽20～30m。

当前复杂条件下多沙河流大跨度施工导流工程面临导流洞泄量大、流速高、大跨度等系列问题。导流洞在水利枢纽工程施工关键线路上，是施工准备工程建设的控制性工程，其工程可靠性、施工质量与施工进度控制等对水利枢纽工程建设具有重要影响，需具备面对极端洪水的泄洪能力，有效应对黑天鹅事件。随着水利水电工程中大跨度导流洞建设不断涌现，狭窄河谷不良地质条件的增多，所遇到的问题也越来越多。

东庄工程导流洞成洞尺寸是17m×19m，为国内目前在建洞室跨度最大的导流洞工程，最大泄量6539m3/s，洞内最大流速22m/s，工程特点具有大跨度、大泄量、高流速，同时还需面临高含沙水流的磨蚀问题。

本项目依托东庄水利枢纽工程，开展了理论及试验分析研究，指导优化了施工设计方案，提出了大跨度导流洞风险评估检验及结构设计方法、高含沙导流洞混凝土抗冲耐磨及温控防裂技术、大跨度导流洞混凝土施工运输优化设计方法、“嵌入式”塔架及生态引流的导流洞结构设计方法等，系统形成了高含沙、大跨度、大泄量、高流速等多沙河流大跨度导流洞工程成套理论技术体系，主要技术创新点如下：

（1）针对导流标准制定、单双洞选取和围堰结构型式等开展了多目标风险决策权重检验和灵敏度分析，建立了施工导流标准风险多目标决策分析模型，为东庄工程施工导流标准的可靠性提供了理论支撑。

（2）导流洞成洞尺寸17m×19m，最大开挖断面尺寸22m×25m，是当前国内在建最大洞室规模的导流洞。基于导流洞围岩条件，采用有限单元法及新奥法，协同设计一次喷锚支护与二次混凝土衬砌支护，在保证安全以及满足设计标准的前提下，有效地减小了锚固长度和衬砌厚度。

（3）针对导流洞长期运行受大泄量、高含沙水流的磨蚀问题，开展了抗冲磨材料研究，通过硅粉混凝土配合比试验，得到最优的混凝土配合比，同时开展抗冲磨试验验证其抗冲耐磨性能，基于试验结果导流洞采用抗冲耐磨硅粉混凝土，有效保证了导流洞在高泥沙、大泄量、高流速条件下的安全运行。

（4）结合国内外导流洞混凝土温控防裂研究技术和工程实践经验，利用温控仿真进行温控措施敏感性分析，提出了不同部位、不同时段的混凝土温控标准及可实施的温控措施，有效控制了混凝土温度应力，保证了导流洞混凝土的结构安全。

（5）针对导流洞衬砌混凝土浇筑所需的材料及配套设备运输困难问题，提出了垫层混凝土找平层设计方案，对基岩和垫层混凝土采用统一固结灌浆，保证了垫层混凝土施工质量，解决了施工交通运输问题，提升了施工效率。

（6）针对工程下闸蓄水初期存在的生态过流问题，采用生态引流的导流洞进口塔架旁通结构，保证了导流洞下闸、生态基流永久设施尚未运行期间维持下游河流基本形态和生态功能。

# 客观评价

1.检测报告

中国水利水电第四工程局有限公司陕西省泾河东庄水利枢纽工程项目部对本技术的混凝土材料抗冲磨检测报告显示：实际混凝土抗冲磨强度为10.0~10.9h/(kg/m2)，符合《水工混凝土试验规程》要求。

2.验收意见

黄河勘测规划设计研究院有限公司工程设计院对本技术依托的自主研发项目《泾河东庄水利枢纽工程施工导流设计关键技术研究》验收结论认为：研究成果基本资料、计算和各项指标合理，技术措施先进，方案比较全面，分析论证充分。选定全年围堰右岸布置单洞的导流方案，妥善解决了从初期导流到后期导流施工全过程中的挡水和泄水问题。导流洞尺寸17m×19m，规模位于国内外先列，为其他大型工程导流设计积累了宝贵经验，研究成果具有很好的参考、应用及推广价值。

黄河勘测规划设计研究院有限公司工程设计院对本技术依托的自主研发项目《泾河东庄水利枢纽导流洞施工方案关键技术研究》验收结论认为：以东庄工程导流洞为研究对象，研究特大断面导流洞施工方案，从常规道路、竖井、斜坡道、缆机等多种出渣方式进行了多方案对比论证，为工程技术决策提供了支撑，提升了公司在特大断面隧洞施工技术能力，锻炼和培养了专业技术人员。

黄河勘测规划设计研究院有限公司工程设计院对本技术依托的自主研发项目《泾河东庄水利枢纽工程准备工程规划关键技术研究》验收结论认为：利用达索公司Catia软件进行施工总布置三维设计，形成系统的三维施工总布置设计成果，解决了目前行业中三维设计在施工总布置设计中如道路设计的瓶颈问题，通过三维真实表述和多方案比选，合理规划确定了准备工程中场内外交通、施工生产生活设施、渣场、料场、导流洞和围堰等设施，成果感知性强，对工程施工指导意义大。

陕西省水利厅对本技术依托的陕西省水利科技计划项目《东庄水利枢纽超高混凝土拱坝全过程温控防裂关键技术研究》验收结论认为：基于配合比试验结果，对东庄拱坝混凝土热力学参数进行系统综合分析，提出了混凝土施工配合比热力学参数，提出了温度和应力双控条件下东庄拱坝混凝土防裂的温控标准及措施。针对东庄混凝土拱坝建设全过程温控防裂要求，提出了温控成套技术智能化的解决方案，实现了温控全要素、全环节、全过程的透彻感知、全面互联、实时分析及智能控制。

陕西省东庄水利枢纽工程建设有限责任公司主持的东庄水利枢纽工程导流洞临时过水部分工程验收意见为：导流洞临时过水部分工程已全部完成；工程主要原材料、中间产品按规范要求进行了质量检测，检测结果合格，工程质量检查资料和评定资料齐全，施工过程中未发生质量、安全事故；导流洞临时过水部分工程质量优良，具备临时过水条件，同意通过验收。

3.国内外重要奖励

《东庄水利枢纽工程施工准备工程规划》获得河南省优秀工程咨询成果一等奖。

4.学术评价

张春生等人在《基于两层决策模型的东庄水库导流方案优选》中对本技术成果进行评价：建立基于两层决策的施工导流方案优选模型，解决了东庄水库施工导流方案选取难题，同时很好地反应了工程特征。

张春生等人在《东庄水利枢纽工程导流洞布置设计》中对本技术成果进行评价：合理确定导流洞布置方案问题，解决了导流洞布置存在的设计难题，并优化了导流洞泄流能力的计算方法。

# 应用情况

（1）多沙河流大跨度导流洞工程关键技术研究

复杂条件下多沙河流大跨度施工导流工程主要面临水流泥沙含量高和泄水建筑物泄量大、流速高等系列问题。东庄导流工程的设计、施工和正常运行中，利用导流洞风险评估检验方法对导流标准、单双洞选取等进行了系统研究，确定了最优的施工导流方案；采用大跨度结构导流洞室设计方法有效地优化了一次支护和二次衬砌工程量；采用高含沙导流洞混凝土抗冲耐磨及温控防裂技术，解决了导流洞混凝土抗磨蚀问题，控制了混凝土温度应力，保证了导流洞混凝土的结构安全；采用生态引流的进口塔架旁通结构，保障了下闸蓄水初期下游河流基本形态和生态功能流量；采用嵌入式塔架设计方案，将进水塔尾部分嵌入塔后岩体中，并通过塔筒后回填混凝土至塔顶高程，充分利用了山体岩石抗力，改善了塔基应力分布，优化了塔架结构体型，降低了工程投资。

经过近两年的运行与检验，施工导流工程结构稳定，运行安全可靠，为东庄工程如期截流、安全度汛和主体工程建设有序推进奠定了坚实基础。

（2）混凝土抗冲磨检验检测报告

为验证高含沙水流导流洞混凝土抗冲磨技术的可靠性，选取导流洞底板、3m高边墙及塔架表层过流面、墩墙、明渠侧墙等部位成型混凝土，依据《水工混凝土试验规程》SL352-2006进行混凝土抗冲磨试验，各组试件混凝土抗冲磨强度为10.0~10.9h/(kg/m²)，抗冲磨强度满足设计标准要求。

（3）泾河东庄水利枢纽工程施工导流设计关键技术研究报告

针对截流、初期导流、后期度汛、封堵及下游供水均进行了深化研究，最终推荐了东庄拱坝全年围堰、单洞导流、右岸布置的导流方案，并提出了具体措施，对导流洞洞线布置、进出口开挖、洞身衬砌等进行了深化研究与设计，将项目建议书阶段推荐的导流临建工程投资由6亿元最终优化至3.6 亿元，经济社会效益显著。

该项目研究中所包含导流方案的优选、淹没出流联合泄流水力计算、以及三维设计在洞线布置优选方面的应用等一些难点问题为今后的工程积累了经验，尤其是三维设计中的导流洞模板应用(含参数化建模)，能够快速建立导流洞三维模型，便于方案比较，极大地提高了工作效率，为其他大中型工程导流设计积累了宝贵的经验，参考性极高，可在今后的设计工作中大力推广。

（4）泾河东庄水利枢纽工程导流洞施工方案关键技术研究报告

课题研究特大断面导流洞施工方案，分析思路和方法较新颖，具有一定的开创性，针对东庄水利枢纽工程特大断面导流洞的施工，从常规道路、竖井斜坡道、缆机等多种出渣方式进行了方案分析计算，拓宽了公司特大断面隧洞施工技术思路。

结合东庄水利枢纽工程导流洞施工方案研究，分析了与导流洞施工相关的因素和条件，并进行了相应的技术、经济比较，为工程项目技术决策提供了支撑，同时也加强了公司特大断面隧洞施工技术能力，锻炼和培养了相关技术人员。

（5）泾河东庄水利枢纽工程准备工程规划关键技术研究报告

利用达索公司Catia软件进行施工总布置三维设计，形成系统的三维施工总布置设计成果，解决了目前行业中三维设计在施工总布置设计中如道路设计的瓶颈问题，通过三维真实表述和多方案比选，合理规划确定了准备工程中场内外交通、施工生产生活设施、渣场、料场、导流洞和围堰等设施，成果感知性强，对工程施工指导意义大。

泾河水年均含沙量为140kg/m3，汛期平均含沙量207kg/m3，如此高含沙量水源作为施工供水在国内外已建和在建工程尚属首例，高含沙量水的工艺处理和布置难度大。通过辐流式预沉池、高密度沉淀池等工艺处理技术，解决了高含沙量水源用于施工用水的水质处理技术难题，施工供水工艺处理技术先进。

（6）东庄水利枢纽超高混凝土拱坝全过程温控防裂关键技术研究报告

基于配合比试验结果，对东庄拱坝混凝土热力学参数进行系统综合分析，提出了混凝土施工配合比热力学参数，提出了温度和应力双控条件下东庄拱坝混凝土防裂的温控标准及措施。针对东庄混凝土拱坝建设全过程温控防裂要求，提出了温控成套技术智能化的解决方案，实现了温控全要素、全环节、全过程的透彻感知、全面互联、实时分析及智能控制。

# 主要知识产权和标准规范等目录

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 知识产权类 别 | 知识产权具体名称 | 国家（地区） | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
| 1 | 实用新型专利 | 一种导流洞与灌浆洞的平面交叉结构 | 中国 | CN212248057U | 2020.12.29 | 第12239355号 | 黄河勘测规划设计研究院有限公司  | 张金良 刘继祥 刘庆亮 杨顺群 王惠芹 付健  |
| 2 | 实用新型专利 | 用于生态引流的导流洞进口塔架旁通结构 | 中国 | CN213571809U | 2021.06.29 | 第13553946号 | 黄河勘测规划设计研究院有限公司 | 刘庆亮 刘新云 王惠芹 董甲甲 任松林 游慧杰 杨军义 |
| 3 | 实用新型专利 | 用于增加封堵休与岩壁之间摩擦力的导流洞结构 | 中国 | CN213571834U | 2021.06.29 | 第13538139号 | 黄河勘测规划设计研究院有限公司 | 刘继祥刘新云王惠芹董甲甲任松林何 楠杨军义陈 丹 |
| 4 | 实用新型专利 | 带式输送机保温廊道 | 中国 | CN216686064U | 2022.06.07 | 第16668728 号 | 黄河勘测规划设计研究院有限公司 | 竹怀水魏建鹏王 伟宋双杰李沛霖徐 庆顾康辉郑 宇 |
| 5 | 实用新型专利 | 钢筋提升用作业装置 | 中国 | CN211198285U | 2020.08.07 | 第11185359 号 | 中国水利水电第八工程局有限公司 | 王秋阳田福文卢大文何冬太张微微罗召义 |
| 6 | 实用新型专利 | 钢筋输送定位小车 | 中国 | CN211202014U | 2020.08.07 | 第 11184892 号 | 中国水利水电第八工程局有限公司 | 王秋阳卢大文田福文何冬太张微微罗召义 |
| 7 | 实用新型专利 | 导流洞钢筋台车 | 中国 | CN211144513U | 2020.07.31 | 第11118607 号 | 中国水利水电第八工程局有限公司 | 王秋阳田福文卢大文何冬太罗召义张微微 |
| 8 | 实用新型专利 | 一种隧洞开挖施工新型台车 | 中国 | CN210622815U | 2020.05.26 | 第10614642 号 | 中国水利水电第四工程局有限公司 | 鲁满库付开红李玉才郭磊强庞怀有高金录应成泰王健真 |
| 9 | 实用新型专利 | 一种适用于隧道断面的衬砌台车 | 中国 | CN216974871U | 2022.07.15 | 第16967435 号 | 中国水利水电第四工程局有限公司 | 罗藏青排 蔡 杨杨 斌康 杰罗嘉博许 蕾应成泰王建南晏合肖沈利晶 |
| 10 |  |  |  |  |  |  |  |  |

# 主要完成人情况

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 排名 | 姓名 | 技术职称 | 行政职务 | 工作单位 | 完成单位 | 对本项目的贡献 |
| 1 | 刘涛 | 高级工程师 | 副总经理 | 陕西省东庄水利枢纽工程建设有限责任公司 | 陕西省东庄水利枢纽工程建设有限责任公司 | 主要负责项目策划、工作大纲审定、关键技术识别及成果审定工作，参与导流风险分析及标准决策研究工作等。 |
| 2 | 刘庆亮 | 正高级工程师 | 无 | 黄河勘测规划设计研究院有限公司 | 黄河勘测规划设计研究院有限公司 | 主持编制《复杂条件下多沙河流大跨度施工导流工程关键技术研究》，科技创新点识别与技术路线制定及成果审定，完成导流洞与灌浆洞的平面交叉结构、用于生态引流的导流洞进口塔架旁通结构的实用新型专利等工作。 |
| 3 | 杨俊峰 | 高级工程师 | 总工程师 | 陕西省东庄水利枢纽工程建设有限责任公司 | 陕西省东庄水利枢纽工程建设有限责任公司 | 参与项目策划、工作大纲审定，负责关键技术识别及成果审定，中大断面洞室厚壁衬砌混凝土温控仿真研究工作。 |
| 4 | 王惠芹 | 正高级工程师 | 无 | 黄河勘测规划设计研究院有限公司 | 黄河勘测规划设计研究院有限公司 | 负责编制《复杂条件下多沙河流大跨度施工导流工程关键技术研究》导流洞设计章节，参与科技创新点识别与技术路线制定，导流风险分析及标准决策研究工作等；完成导流洞与灌浆洞的平面交叉结构、用于生态引流的导流洞进口塔架旁通结构、增加封堵体与岩壁之间摩擦力的导流洞结构实用新型专利。 |
| 5 | 李少宜 | 高级工程师 | 安全技术部部长 | 陕西省东庄水利枢纽工程建设有限责任公司 | 陕西省东庄水利枢纽工程建设有限责任公司 | 参与项目策划、工作大纲审定，负责关键技术识别及成果审定，针对导流洞长期运行受大泄量、高含沙水流的磨蚀问题，完成导流洞混凝土抗冲磨研究等。 |
| 6 | 王伟 | 高级工程师 | 无 | 黄河勘测规划设计研究院有限公司 | 黄河勘测规划设计研究院有限公司 | 参与关键技术识别及成果审定，负责大断面洞室厚壁衬砌混凝土温控仿真研究工作。 |
| 7 | 徐伟 | 高级工程师 | 无 | 陕西省水利电力勘测设计研究院 | 陕西省水利电力勘测设计研究院 | 参与关键技术识别及成果审定，负责大跨度导流洞混凝土施工运输优化设计方法研究等工作。 |
| 8 |  |  |  |  |  |  |

# 主要完成单位及创新推广贡献

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 排 名 | 完成单位 | 创新推广贡献 |
| 1 | 陕西省东庄水利枢纽工程建设有限责任公司 | 作为项目牵头单位，主持研究全面工作，负责项目总体思路及技术路线制定，参与项目研究的各项事宜，对发明点（1）、（2）都做出了重要贡献。 |
| 2 | 黄河勘测规划设计研究院有限公司 | 参与项目总体思路及技术路线制定，对项目开展进行总体指导，对发明点（4）做出了重要贡献，简化了导流洞封堵施工程序，节约了封堵施工工期，为工程下闸蓄水奠定基础；采用了嵌入式塔架设计方案，改善塔基应力分布，优化了塔架结构体型，节约了工程投资。 |
| 3 | 陕西省水利电力勘测设计研究院 | 对发明点（3）做出了重要贡献：解决了大跨度导流洞衬砌交通运输困难问题，提升了施工效率。 |
| 4 |  |  |

# 完成人合作关系说明

**完成人合作关系说明**

陕西省东庄水利枢纽工程建设有限责任公司、黄河勘测规划设计研究院有限公司、[陕西省水利电力勘测设计研究院](http://www.baidu.com/link?url=LprsAtLH94FLgRmBS63mJODu3Ghc84ajWh96wfcwwPC_80Ku9LwDcgJF0Ks2yVrA" \t "https://www.baidu.com/_blank)等单位，分工明确、优势瓦补、联合攻关，针对东庄水利枢纽导流工程面临导流洞泄量大、流速高、大跨度等系列问题，合作提出了复杂条件下多沙河流大跨度施工导流工程关键技术，支撑了工程设计，有效控制了施工质量与施工进度，保证了工程设计和运行的可靠性。

陕西省东庄水利枢纽工程建设有限责任公司（刘涛、杨俊峰、李少宜）与黄河勘测规划设计研究院有限公司（刘庆亮、王惠芹、王伟）自2017年开始合作，针对大跨度、大断面导流洞施工效率问题和高含沙河流泥沙磨蚀机理，共同撰写了《复杂条件下多沙河流大跨度施工导流工程关键技术研究》报告，解决了施工导流标准、大洞室衬砌结构、高含沙和高速水流磨蚀、洞室混凝土温度控制及生态基流等系列问题，为工程设计和建设提供了有力的技术支撑。

黄河勘测规划设计研究院有限公司刘庆亮、王惠芹、王伟自2018年开始合作，为保证施工进度，针对如何处理好导流洞与灌浆洞的平面交叉问题和封堵体设计问题，共同发表了专利。

黄河勘测规划设计研究院有限公司（王伟）和[陕西省水利电力勘测设计研究院](http://www.baidu.com/link?url=LprsAtLH94FLgRmBS63mJODu3Ghc84ajWh96wfcwwPC_80Ku9LwDcgJF0Ks2yVrA" \t "https://www.baidu.com/_blank)（徐伟）自2016年开展合作，合作撰写了《东庄水利枢纽工程施工准备工程规划》专题研究报告。专题研究报告针对初期导流标准与导流方案、特大断面导流洞结构设计、新型围堰结构型式研究、高陡边坡开挖施工、大坝混凝土施工缆机的选型与布置及结构设计、超高含沙河流库水温、高拱坝混凝土温控、高拱坝坝体混凝土浇筑、复杂水沙条件下的施工供水等。系统开展了多方案比选和研究论证等，系统性解决了上述关键技术难题，为工程的顺利实施提供有力支撑。《东庄水利枢纽工程施工准备工程规划》专题研究报告获得了河南省优秀工程咨询成果一等奖。

**第一完成人签名：刘涛**

**完成人合作关系情况汇总表**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 合作方式 | 合作者/项目排名 | 合作起始时间 | 合作完成时间 | 合作成果 | 证明材料 |
| 1 | 专利合著 | 刘庆亮 /2 王惠芹 /4  | 2019.06.01 | 2022.06.01 | 一种导流洞与灌浆洞的平面交叉结构 | 见附件一 2.1 |
| 2 | 专利合著 | 刘庆亮/2 王惠芹/4  | 2019.06.01 | 2023.01.01 | 用于生态引流的导流洞进口塔架旁通结构 | 见附件一 2.2 |
| 3 |  |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |  |
| 不限条目 |  |  |  |  |  |  |

**承诺：**本人作为项目第一完成人，对本项目完成人合作关系及上述内容的真实性负责，特此声明。

**第一完成人签名：刘涛**