**科学技术进步奖公示内容**

**一、项目名称**

大型水工闸门数字化设计及分析技术创新与应用

**二、提名者及提名意见（包含提名等级）**

提名单位：中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司

提名意见：本次提名项目为“大型水工闸门数字化设计及分析技术创新与应用”，由中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司、西北农林科技大学、西安理工大学联合完成。本项目结合水利水电工程钢闸门数字化设计、计算分析和软件系统应用的实际需求，以国内外多个大型水利水电工程为依托，系统地开展了大型水工钢闸门数字化设计理论、结构静动力失稳及参数振动分析计算方法、高水头闸门空间有限元数值仿真及安全评价关键技术、数字化和标准化设计方法、数字化设计与分析软件开发等方面的研究及工程实践。在多年来国家自然科学基金等纵向科研项目的支持下，紧密结合工程实际，采用理论分析、数值模拟与工程实践相结合的手段，开展了水电工程钢闸门数字化设计及分析技术研究和数字化设计分析系统开发，提出了水工钢闸门有限元数值计算方法的应用和评价原则；研究形成了CAD/CAE一体化设计分析技术与集成系统开发、基于子模型法的钢闸门焊缝分析方法、钢闸门应力集中与拓扑优化分析方法、钢闸门加固改造及安全评价分析方法、结构静动力失稳及参数振动分析计算方法等，为推行钢闸门数字化设计奠定了基础；提出和实现了基于BIM的水工钢闸门标准化、系列化设计；研发了涵盖全流程的水工钢闸门数字化设计及分析计算平台，取得了水电工程钢闸门数字化设计分析关键技术的研究成果，并应用于多项水电站工程，经过了实际工程应用和检验。

该项目提出的水工钢闸门有限元数值计算方法的应用和评价原则，以及钢闸门数字化、系列化设计方法，开发的数字化设计系统在行业内属于首次。研究形成的关键技术在黄河玛尔挡水电站、大渡河巴塘水电站、下凯富峡水电站等其他大型水电水利工程项目中得到了广泛推广与应用。水电工程钢闸门数字化设计关键技术研究成果，有效地提升了电站金属结构设备数字化设计水平，有力地促进了水利水电金属结构行业技术进步，进一步提高了工程建设及运行管理的效率，取得了显著社会效益和经济效益。

特提名该项目参评2023年度陕西省科学技术奖二等奖。

**四、项目简介**

本项目属于水利工程水工金属结构研究领域。水工钢闸门作为水利水电工程的重要工程设备，呈现出高水头、大型化的发展趋势。由于水利水电工程本身各具特殊性，钢闸门具有明显的非标准化产品特点，且大型闸门具有较强的空间效应。近年来，随着结构有限元、优化理论的日趋成熟，以及我国BIM标准框架体系的建立和国家“十四五”等宏观政策的出台，为解决水工钢闸门数字化设计问题提供了理论与技术支持。但依然存在以下问题急待解决：一是缺少与现代三维设计手段相适应的建模、出图标准；二是水工钢闸门结构计算仍以二维平面体系简化计算方法为主，缺少CAD/CAE一体化设计及分析、数值仿真结果评价的基本原则和标准。三是在水工钢闸门数字化、标准化设计，设计出图智能化、CAD/CAE计算集成化等BIM技术应用方面仍存在较大工程需求和发展空间；四是仍然缺少专业化、订制化的数字化设计系统或平台，数字化设计成果未完全转化。

该项目完成单位结合国家自然科学基金项目以及企业实际工程研究课题，采用理论分析、数值模拟以及工程实践等方法，系统地开展了大型水工钢闸门设计理论、结构计算方法、有限元数值仿真关键技术、数字化和标准化设计方法、数字化软件系统二次开发等方面的研究及工程实践。本项目研究成果已成功应用于国内外多个在建和已建的大型水电工程的数字化设计，正逐渐大力推广数字化设计关键技术在抽水蓄能电站中的应用。本项目取得的主要内容及创新成果如下：

（1）采用CAD/CAE一体化分析技术，首次形成了水电工程钢闸门数值仿真分析基本原则，并成功揭示了水电工程钢闸门空间效应影响。

（2）创建了基于数值仿真分析的数字化水工钢闸门优化设计方法和计算体系，研究形成了水工钢闸门数值仿真分析关键技术，为推行钢闸门数字化设计奠定了基础。

（3）提出和采用水电工程钢闸门特征分类和系列化设计方法，实现了钢闸门产品的标准化和数字化，有效缩短了产品设计周期。

（4）率先基于标准化设计理念，开发形成水工钢闸门可视化设计及数据库管理系统，为水工钢闸门设计提供专业化、数字化设计平台。

该项目研究成果解决了水电工程钢闸门数字化设计关键技术问题，该项目提出了水工钢闸门有限元数值计算方法的应用原则，以及钢闸门数字化、标准化设计方法，开发了水电工程钢闸门数字化设计系统。水电工程钢闸门数字化设计关键技术研究成果，有力地提升了金结设备数字化设计水平，促进了水利水电金属结构行业技术进步，为其他工程提供借鉴并有一定指导意义。基于项目研究成果，获得软件著作权5项、发明专利6项、实用新型专利10项、著作3部，学术论文30余篇，其中SCI/EI收录论文10余篇。相关研究成果已成功应用于玛尔挡、金川、巴塘、下凯富峡水电站以及大石峡水利枢纽等国内外在建工程，并应用在刘家峡、李家峡、石泉等已建水电站的改造工程中，也正在大力推广水工钢闸门数字化设计关键技术在抽水蓄能电站设计中的应用。

**五、客观评价**

**（1）总体科学技术水平。**该项目提出的水工钢闸门有限元数值计算方法的应用原则，钢闸门数字化、系列化设计方法，以及开发的水电工程钢闸门数字化设计系统在国内外属于首次。经中国水力发电工程学会科技成果鉴定，研究成果在本行业达到国际领先水平。

**（2）主要技术指标比较。**与国内外已有研究成果相比，本项目的创新性在于：①采用CAD/CAE一体化分析技术，首次形成了水电工程钢闸门数值仿真分析基本原则，并成功揭示了水电工程钢闸门空间效应影响；②创建了基于数值仿真分析的数字化水工钢闸门优化设计方法和计算体系，研究形成了水工钢闸门数值仿真分析关键技术，为推行钢闸门数字化设计奠定了基础；③提出和采用水电工程钢闸门特征分类和系列化设计方法，实现了钢闸门产品的标准化和数字化，有效缩短了产品设计周期；④率先基于标准化设计理念，开发形成水工钢闸门可视化设计及数据库管理系统，为水工钢闸门设计提供专业化、数字化设计平台。

**（3）主要知识产权评价。**基于项目研究成果，获得软件著作权5项、发明专利6项、实用新型专利10项、著作3部，学术论文30余篇，其中SCI/EI收录论文10余篇。

**（4）基金支持。**本研究项目获得了国家自然科学基金面上项目（大型水工弧门树状柱动力失稳机制及结构优化研究51179164）和国家科技支撑计划子课题项目（农村小水电新型水工结构和降损技术研究（2012BAD10B02））的支持。

1. 应用情况

本项目针对水电工程钢闸门数字化设计关键技术问题，集合设计、科研及运行等单位进行“产、学、研、用”联合攻关，通过理论研究、数值模拟、分析预测、软件二次开发、工程应用等多手段融合，在钢闸门数字化一体化设计方面取得了突破。本项目研究成果已成功应用于玛尔挡、金川、巴塘、下凯富峡水电站等国内外在建工程的数字化设计，并应用在刘家峡、李家峡、石泉等已建水电站的改造工程中，也正在大力推动数字化设计在抽水蓄能电站水工钢闸门设计中的应用。工程实践证明，成果应用效果显著，数字化、系列化设计有效缩短了产品设计周期，节约设计资源和投入约40%，数字化产品有助于提高产品质量和整个工程的质量，经济效益突出。本项目相关研究成果为水工金属结构有限元数值分析导则的形成，为水工金属结构三维制图标准的建立、实现金属结构设备全生命周期管理奠定了重要基础，也为类似大型水电站工程数字化设计提供了经验借鉴。其研究内容可作为工程技术人员、大专院校师生等学习、研究、生产等的系统全面的指导参考资料，提升水工钢闸门的设计水平与设计效率，对提高工程建设及运行管理的综合效益具有重大意义。

**六、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 | 著作 | 水工钢闸门数字化设计新技术 | 中国 | ISBN：978-7-5226-0294-3 | 2021年11月1日 | 中国水利水电出版社 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司技术专著系列 | 王正中，赵春龙等 |
| 2 | 著作 | 水工钢结构 | 中国 | ISBN：978-7-5226-0300-1 | 2021年12月31日 | 中国水利水电出版社 | 西北农林科技大学、中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 王正中（主编）,赵春龙（参编）等 |
| 3 | 著作 | 水工弧形钢闸门设计 | 中国 | ISBN：978-7-5226-0557-9 | 2021年12月1日 | 中国水利水电出版社 | 西北农林科技大学、中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 王正中, 孙丹霞,赵春龙等 |
| 4 | 软件著作权 | 基于ANSYS的弧形弧闸门有限元分析软件[简称：TGESoftware]V1.0 | 中国 | 2018SR816179 | 2018年8月20日 | 国家版权局 | 西北农林科技大学 | 王正中等 |
| 5 | 软件著作权 | 基于CATIA V6的金属结构专业多功能出图软件V1.0 | 中国 | 2022SR0397816 | 2022年3月28日 | 国家版权局 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 赵春龙，朱增兵，李岗，谭大基，王海峰，翟超，范媛等 |
| 6 | 软件著作权 | 水工弧形钢闸门参数振动分析软件V2.0 | 中国 | 2019SR1074099 | 2019年07月01日 | 国家版权局 | 西安理工大学 | 刘计良等 |
| 7 | 发明专利 | 一种弧形钢闸门纵向框架支臂合理布置的简明图表法 | 中国 | CN105756020B | 2017年10月13号 | 国家版权局 | 西北农林科技大学 | 王正中等 |
| 8 | 实用新型专利 | 一种闸门槽底部防淤弹性底坎 | 中国 | CN211340709U | 2020年8月 | 国家版权局 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 朱增兵，李岗等 |
| 9 | 论文 | 深孔平面钢闸门挡水布置形式的受力特性比较 | 中国 | DOI:10.11660/slfdxb.20180102. | 2018年1月 | 水力发电学报 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 赵春龙,王正中,李岗等 |
| 10 | 论文 | 水工金属结构BIM技术研究与应用 | 中国 | DOI:10.3969/j.issn.1000-1379.2022.09.028 | 2019年9月 | 人民黄河 | 西北农林科技大学、中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 赵春龙,王正中,李岗,翟超,范媛等 |

**七、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 | 赵春龙 | 高工 | 副所长 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 本项目主要研究人员，负责制定研究大纲和技术方案，提出了水电工程钢闸门标准化、系列化三维设计方法、钢闸门三维模板特征分类编码及检索方法等，取得了关键技术成果和软件著作权，成果主要编制人员。发表论文8篇，专利3项，参与出版专著3部，主编相关规范2部。 |
| 2 | 王正中 | 教授、博导 | 无 | 西北农林科技大学 | 西北农林科技大学 | 本项目主要技术负责人，参与研究大纲和技术方案审定，主持系统理论研究工作，提出水工钢结构数值分析以及CAD/CAE联合仿真分析和优化方法。主要贡献在大型水工钢闸门的稳定和优化理论方面，完成国家自然基金2项，专利4项，发表论文20余篇，出版专著3部 |
| 3 | 李岗 | 正高 | 所长 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 本项目主要研究人员，对本项四个方面的创新成果均有不同程度的贡献，参与研究大纲和技术方案制定，主要研究人员，并负责报告部分内容编制。发表论文4篇，专利2项 |
| 4 | 朱增兵 | 正高 | 副院长 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 本项目总负责人，负责研究大纲和技术路线的审定，对成果中的关键技术问题提出了创新设计思路，建立了水工钢闸门数值仿真分析的总原则。完成专利3项。 |
| 5 | 翟超 | 工程师 | 无 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 参与本项目方案策划研讨，项目成果报告部分内容编制，主要贡献在标准化设计及系统研发。 |
| 6 | 范媛 | 工程师 | 无 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 主要贡献在数字化系统开发研究工作，针对水工钢闸门空间效应进行平面结构力学和有限元分析比较研究 |
| 7 | 刘计良 | 博士后 | 无 | 西安理工大学 | 西安理工大学 | 主要贡献在水工弧门树状柱动力失稳机制及结构优化，以及大型闸门的参数振动及荷载识别分析方面的研究。 |
| 8 | 孙丹霞 | 正高 | 无 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 参与项目闸门结构优化分析研究，以及成果报告部分内容编制工作，主要贡献在弧形钢闸门动力失稳机制及结构优化研究，参编专著及规范各一部。 |
| 9 | 谭大基 | 正高 | 专总 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 参与本项目主要子课题研究，参与申请了大型水工闸门的标准化设计方法，以及基于特征编码的闸门系列化设计方法等发明专利，相继发表论文2篇，专利5项 |
| 10 | 王海峰 | 正高 | 无 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 参与本项目主要子课题研究，负责研究钢闸门CAD/CAE一体化分析技术，首次形成了水电工程钢闸门数值仿真分析基本原则和方法，在编金属结构有限元分析导则行业标准一部，相继发表论文3篇。 |

**八、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 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司 | 中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司项目组依托国家博士后科研工作站、陕西省西北院技术中心等科研平台，在研究人员及科研经费上大力投入，提出主要研究方法，制订技术研究路线，并结合实际工程项目进行应用和技术验证。公司集合设计、科研及建设运行等单位进行“产、学、研、用”联合攻关，与特别是与西北农林科技大学在人才培养和横向课题等各个方面积极合作交流。 |
| 2 | 西北农林科技大学 | 西北农林科技大学项目组依托多项国家自然科学基金、国家科技支撑计划子课题项目，主要开展理论研究，并结合工程项目进行数值仿真实验研究，西北农林科技大学在实验设备，人力物力给与了项目大力支持，并为多项工程的实际应用提供了重要数据和理论支撑。 |
| 3 | 西安理工大学 | 西安理工大学主要负责水工弧门树状柱动力失稳机制理论研究，结合工程项目进行数值仿真实验研究，为大型水工弧形闸门数字化分析计术，尤其弧形闸门的参数振动和荷载识别分析提供了基础研究成果，并为水工钢闸门静、动力优化设计方法提供了重要数据和理论支撑。 |

**九、完成人合作关系说明**

本项目是中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司从事水工金属结构研究及设计的相关工程技术人员，西北农林科技大学以及西安理工大学从事水工钢结构的教师、研究生共同完成的。

中国电建集团西北勘测设计有限公司是西北农林科技大学的长期固定合作单位，本项目的完成人通过项目合作，联合培养研究生等形式紧密合，联合完成项目科技攻关。

项目完成人合作关系说明如下：

完成人赵春龙为中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司金属结构所的副所长，是本项目的第一完成人。自攻读硕士学位起就一直从事水工钢闸门的结构稳定理论和数值仿真分析研究，对水工钢结构子模型数值仿真分析方法、拓扑优化方面具有一定经验。负责多项公司级科研课题和规范编制工作，完成多项著作和相关知识产权的总结申报工作。

完成人王正中教授是西北农林科技大学旱区寒区水工程安全研究中心、旱区农业水土工程教育部重点实验室研究团队负责人。与项目完成人赵春龙，孙丹霞，李岗，翟超，范媛等都有密切的合作，王正中教授团队与中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司合作完成了包括汉江蜀河水电站大型弧形钢闸门以及刘家峡水电站深孔闸门的局开振动研究，取得了重要的合作研究成果。

完成人李岗正高工为中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司金属结构所的所长。项目期间积极推动将水电工程钢闸门数字化设计关键技术应用于大渡河、黄河上游及国外多项水利水电工程，如玛尔挡、金川、巴塘、下凯富峡水电站等国内外在建工程的数字化设计，以及在刘家峡、李家峡、石泉等已建水电站的改造数字化设计。

完成人朱增兵正高工是中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司水电与抽水蓄能工程院副院长，也是企业合作导师。朱增兵长期主要从事水电工程金属结构优化设计及BIM技术的相关研究，是本项目多项专利的主要完成人。并拥有10余项专利。

完成人翟超为中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司金属结构所技术骨干，参与多个公司级项目的研究，为完成人李岗的企业师带徒弟，合作发表论文3篇，合作申请专利6项。。负责本项目主要标准化设计及系统研发。

完成人范媛是王正中教授指导的硕士研究生，参与完成相关国家自然基金等多个项目，毕业后到中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司金属结构所工作，为完成人赵春龙的企业师带徒弟，合作发表论文2篇，申请专利5项。负责本项目水工钢闸门空间效应进行平面结构力学和有限元分析比较研究。

完成人刘计良是西安理工大学教师,博士后，主要从事水工弧门树状柱动力失稳机制的研究，与项目完成人赵春龙，王正中等都有密切的课题研究合作关系，是本项目多项成果的主要参与人，结合多个工程项目进行数值仿真实验研究，为数字化水工钢闸门优化设计及参数振动分析方法提供了理论支撑。并与其他完成人合作发表论文3篇，完成科研课题2项。

完成人孙丹霞正高工是中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司金属结构所技术专家，主要从事水工弧形钢闸门动力失稳机制及结构优化的相关研究，是本项目多项专著的主要完成人。负责本项目钢闸门静力失稳及结构优化研究。

完成人谭大基正高工是中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司金属结构所专总，主要从事抽水蓄能电站金属结构设计的相关研究，是本项目多项专利及获奖的主要完成人。参与本项目部分内容的编写，负责本项目钢闸门系列化选型及布置的研究。

完成人王海峰正高工是中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司金属结构所技术专家，主要从事大型水工钢闸门结构设计的相关研究，是本项目多项专利及获奖的主要完成人。参与本项目部分内容的编写，负责本项目钢闸门特征分类的研究。

**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 |
| 1 | 专著合著 | 赵春龙/1  王正中/2 | 2019年11月 | 2021年11月 | 水工钢闸门数字化设计新技术、水工钢结构 |
| 2 | 专著合著 | 赵春龙/1  孙丹霞/7  王正中/2 | 2019年12月 | 2021年12月 | 水工弧形钢闸门设计 |
| 3 | 共同知识产权 | 朱增兵/4  李岗/3 | 2019年11月 | 2020年8月 | 一种闸门槽底部防於弹性底坎 |
| 4 | 论文合著 | 赵春龙/1  王正中/2  李岗/4  刘计良/5 | 2018年1月 | 2018年1月 | 深孔平面钢闸门挡水布置形式的受力特性比较 |
| 5 | 论文合著 | 赵春龙/1  王正中/2  李岗/3  翟超/5  范媛/6 | 2019年9月 | 2019年9月 | 水工金属结构BIM技术研究与应用 |
| 6 | 共同获奖 | 朱增兵/2  李岗/5  赵春龙/9  王海峰/6,谭大基/7 | 2018年10月 | 2018年10月 | 水库大坝水下浮潜闸门封堵关键技术研究及应用 |