

一、项目名称：水电工程钢闸门数字化设计关键技术创新及应用

二、提名者及提名意见（包含提名等级）：

提名者：中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司

提名等级：三等奖

提名意见：本次提名项目为“水电工程钢闸门数字化设计关键技术创新及应用”，由中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司、西北农林科技大学和国能青海黄河玛尔挡水电开发有限公司联合完成。本项目结合水电水利工程金属结构数字化设计和 BIM 应用的实际需求，以国内外多个大型水电工程为依托，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。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关键技术研究 and 数字化设计系统开发，提出了水工钢闸门有限元数值计算方法的应用原则；研究形成了：CAD/CAE 一体化分析技术、基于子模型法的钢闸门焊缝模拟技术、钢闸门应力集中与拓扑优化方法、钢闸门加固改造及分析、高水头闸门静动力特性分析方法等，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平台，取得了水电工程钢闸门数字化设计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。经审查，该项目推荐书中各项材料完整，相关栏目的内容填写符合申报要求，完成人和完成单位资格有效，并经过本单位公示无异议，符合陕西省科学技术奖的推荐要求，特推荐该项目参加 2022 年度陕西省科学技术三等奖评审。

三、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 一体化分析、数值仿真结果评价的基本原则和标准。三是水工钢闸门数字化、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空间；四是仍然缺少专业化、定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 2 项、实用新型专利 8 项、著作 2 部，学术论文 30 余篇，其中 SCI/EI 收录论文 3 篇；国家重要学术期刊论文 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。

#### 四、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 2 项、实用新型专利 8 项、著作 2 部，学术论文 30 余篇，其中 SCI/EI 收录论文 3 篇；国家重要学术期刊论文 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。

#### 五、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

设计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(标准编号)	授权(标准发布日期)日期	证书编号(标准批准发布部门)	权利人(标准起草单位)	发明人(标准起草人)
1	软件著作权	基于 CATIA 的金属结构专业出图软件 V1.0	中国	2019SR0829308	2019年6月11号	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, 李岗, 朱增兵, 翟超, 范媛等
2	软件著作权	水电工程数字化移交系统 V1.0	中国	2020SR0486631	2020年1月8号	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, 李岗, 朱增兵, 翟超, 范媛等
3	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号	国家版权局	西北农林科技大学	赵春龙, 李岗, 朱增兵, 翟超, 范媛等
4	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	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
5	著作	水工弧形钢闸门设计(普通高等教育“十四五”系列教材)	中国	ISBN: 9787522605579	2022年4月	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, 张欢龙, 赵春龙
6	学术论文	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, 王明疆, 等
7	学术论文	大型水工钢闸门的研究进展	中国	DOI:10.11660/slfd	2017年9月	水力发电学报	西北农林科技大学	王正中, 张雪才, 刘计

		及发展趋势		xb.20171001				良.
8	学术论文	高水头导流洞封堵闸门静动力特性有限元分析	中国	DOI:10.3969/j.issn.1006-2610.2020.S1.024	2020年10月	西北水电	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司	赵春龙,翟超,李岗,等
9	学术论文	CAD/CAE技术在钢闸门数字化设计中的应用	中国	DOI:10.3969/j.issn.0559-9342.2019.09.025	2019年9月	水力发电	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	王文武,王正中,赵春龙,等
10	发明	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	ZL201610286043.X	2016年7月13日	国家知识产权局	西北农林科技大学	王正中 张雪才 吴思远

### 七、主要完成人情况:

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
赵春龙	1	副所长	工程师	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。
王正中	2	无	教授、博导	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,完成国家自然科学基金2项,专利4项,发表论文20余篇,出版专著3部
李岗	3	所长	正高	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

朱增兵	4	副院长	正高	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。
翟超	5	无	工程师	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。
范媛	6	无	工程师	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
郑建民	7	副总经理	副高	国能青海黄河玛尔挡水电开发有限公司	国能青海黄河玛尔挡水电开发有限公司	主要贡献在数字化系统开发研究工作和工程应用推广方面。完成了多项相关工程的试验研究。将水电工程钢闸门数字化设计关键技术应用于黄河黄河玛尔挡水电工程

#### 八、主要完成单位及创新推广贡献:

完成单位	排名	对本项目科技创新和应用推广情况的贡献
中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司	1	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。
西北农林科技大学	2	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。
国能青海黄河玛尔挡水电开发有限公司	3	国能青海黄河玛尔挡水电开发有限公司为建设单位,承担了本项目的主要工程试验和技术论证工作,并为整个电站推行数字化和 BIM 技术应用提供了有力的环境和人力支持。

## 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相关工程技术人员，西北农林科技大学从事水工钢结构的教师、研究生，以及国能青海黄河玛尔挡水电开发有限公司的工程建设和管理人员共同完成的。

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作，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，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。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科学基金等多个项目，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2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。

完成人郑建民高工为国能青海黄河玛尔挡水电开发有限公司副总经理，机电技术负责人之一，是本项目多项成果的主要参与者。与中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司等在黄河玛尔挡等多项水电工程项目中进行合作。