

科学技术进步奖公示内容

一、项目名称：土工膜用于高水头永久水工建筑物防渗关键技术与应用

二、提名者及提名意见（包含提名等级）：中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司

我国土工膜防渗起步早，但受多种条件制约，发展滞缓，土工膜防渗系统技术体系不完善，制约了高坝土工膜防渗在我国的发展。本项目围绕土工膜膜材选择、结构及防渗系统设计、施工方法及控制标准等多方面关键技术问题提出了土工膜用于高水头和永久水工建筑物防渗技术体系。取得了四大创新性成果：（1）系统提出了高水头永久水工建筑物土工膜防渗设计安全系数、结构布置、局部不均匀变形适应性等主要控制指标，为土工膜在高水头永久水工建筑物中应用提供了技术支撑；（2）揭示了土工膜厚度对其耐久性的影响规律，质量合格、厚度得当的土工膜其耐久性能满足高水头永久水工建筑物合理使用年限要求；（3）首次提出了柔性宽凸埂的设计结构，有效解决了土工膜对下支持层软硬结合部位不均匀大变形的适应问题；（4）明确了 HDPE、PVC、TPO 土工膜适用于水头大于 70 米或永久水工建筑物防渗。

研究成果已成功应用于多个水电站工程，如江坪河水电站、以色列 K 抽水蓄能电站（全库盆防渗）和句容抽水蓄能电站等工程，运行实践和研究表明采用土工膜防渗在技术上是可行的，可有效降低工程投资。同时，研究成果拟应用于同德、南山口、山阳、牛首山东等多座抽水蓄能电站工程，在库盆防渗应用中具有广阔前景。研究成果突破了土工膜应用在高水头、永久水工建筑物存在的关键技术瓶颈，解决了土工膜用于高水头、永久水工建筑物的关键技术问题，推动了土工膜在水电水利工程中应用的技术进步，取得了良好的经济效益和生态环境效益，促进了水电等清洁能源的大力发展，对推动能源结构合理配置和高效利用、助力实现“碳达峰、碳中和”目标等具有重要意义。

成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科学技术奖提名条件。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖三等奖。

三、项目简介：

土工膜具有防渗性能好、适应变形能力强、抗震性能好、施工方便快捷、造价低、易于修复和更换等优点，但在挡水水头大于 70 米和设计合理使用年限为

50~100 年的高水头永久挡水建筑物的防渗中存在土工膜选材、设计和施工的关键技术问题没有解决。本项目采用理论分析、数值模拟和试验研究等手段，从膜材选择、结构及防渗系统设计、施工方法及控制标准等方面研究了土工膜适应高水头、永久水工建筑防渗的关键性能、设计关键技术、施工关键技术、依托工程应用可行性。取得的四大创新性成果如下：

（1）系统提出了高水头永久水工建筑物土工膜防渗设计安全系数、结构布置、局部不均匀变形适应性等主要控制指标，为土工膜在高水头永久水工建筑物中应用提供了技术支撑；

（2）揭示了土工膜厚度对其耐久性的影响规律，质量合格、厚度得当的土工膜其耐久性能满足高水头永久水工建筑物合理使用年限要求；

（3）首次提出了柔性宽凸埂的设计结构，有效解决了土工膜对下支持层软硬结合部位不均匀大变形的适应问题；

（4）明确了 HDPE、PVC、TPO 土工膜适用于水头大于 70 米或永久水工建筑物防渗。为土工膜在江坪河特高坝混凝土面板坝辅助防渗和国内设计施工的以色列 K 抽蓄电站上库和下库全库盆防渗提供了技术支撑。

研究成果突破了土工膜应用在高水头、永久水工建筑物存在的关键技术瓶颈，解决了土工膜用于高水头、永久水工建筑物的材料、设计、施工、监测等关键技术问题；通过产学研用深度融合，推动了土工膜在水电水利工程中应用的技术进步。该成果也进一步促进了水电等清洁能源的大力发展，对推动能源结构合理配置和高效利用、助力实现“碳达峰、碳中和”目标等具有重要意义。

研究成果已成功应用于最大坝高 219m 的江坪河水电站、国内设计的第一个上下库均采用土工膜防渗的以色列 K 抽水蓄能电站以及库底最大填筑高度达 120m 的句容抽水蓄能电站等工程。开具的经济效益证明材料显示，累计节省工程投资和创造经济效益共 3.9 亿元。同时，研究成果拟应用于山阳、同德、南山口、牛首山东等多座抽水蓄能电站工程，社会经济效益显著，推广应用前景广阔。

相关成果通过了多名同行大师和知名专家的鉴定，鉴定认为“项目成果达到国际先进水平，其中高水头永久水工建筑物土工膜防渗技术体系达到国际领先水平”。依托项目研究成果制定行业标准 1 部，省部级建设工法 2 项，获发明专利 9 项，实用新型专利 11 项，软件著作权 1 项，发表高水平论文 16 篇。



图 1 项目整体框架

四、 客观评价：

1. 科技查新报告

科学技术部西南信息中心查新中心对本项目研究成果“提出高水头永久水工建筑物土工膜防渗设计安全系数、结构布置、局部不均匀变形适应性等主要控制指标；给出不同代表性土工合成材料的耐久性评价，揭示土工膜厚度对其耐久性的影响规律，按高水头工程防渗等级，制定出土工膜设计厚度设计安全系数；通过试验证明质量合格、厚度得当的土工膜，其耐久性能满足高水头永久水工建筑物合理使用年限要求；针对土工膜对下支持层软硬结合部位不均匀大变形的适应问题，提出柔性宽凸埂的设计结构”进行国内外查新，结果表明：在国内外公开发表的中外文文献中与本项目查新点完全相同的未见报道。可见，本成果在国内外同行业领域创新突出。

2. 项目验收意见

[1]中国电力建设股份有限公司重点科技项目及推广应用项目（项目编号：DJ-ZDXM-2017-28），高水头永久水工建筑物土工合成材料防渗关键技术研究与应用：验收认为，该项目完成了合同规定的研究任务，总体达到国际先进水平，同意通过验收。

3. 获得的科技奖励

[1]土工膜用于高水头永久水工建筑物防渗关键技术研究与应用，获 2023 年度电力建设科学技术进步奖三等奖。

[2]高水头永久水工建筑物土工合成材料防渗关键技术研究与应用，获 2023 年度中国电建科学技术奖三等奖。

4. 国内外同行评价

研究成果得到国内同行设计大师、对土工膜防渗材料有深入研究的高校教授以及多个项目建设单位的高度评价，评价认为土工膜在高水头永久水工建筑物应用是水工防渗技术的重大突破，社会经济和生态环境效益显著，推广应用前景广

阔。研究成果总体达到国际先进水平，其中高水头永久水工建筑物土工膜防渗技术体系达到国际领先水平。

5. 取得的重要知识产权

依托项目研究的主要技术和成果，制定国家行业标准 1 部，省部级建设工法 2 项，获发明专利 9 项，实用新型专利 11 项，软件著作权 1 项，发表高水平论文 16 篇。

五、应用情况：

本项目从膜材选择、结构及防渗系统设计、施工方法及控制标准等多方面进行了系统研究，结合各工程水头条件、地形地质条件、气候条件等，选取合适的土工防渗材料及相应的设计方案及施工方法，研究成果已成功应用于江坪河水电站、以色列 K 抽水蓄能电站、句容抽水蓄能电站、哈密抽水蓄能电站等工程，具体如下：

(1) 江坪河水电站挡水建筑物为混凝土面板堆石坝，最大坝高 219.00m。大坝高程 380m 以下混凝土面板表面铺设 2.5mm 厚 PVC 复合土工膜作为辅助防渗系统，高程 380m 以下设有粘土铺盖及石渣压重，大坝需要检修时库水位可放空至 378m 高程，因此土工膜顶端在高程 380m（端口密封区设在高程 380m~382m）。在高程 380m 以上的面板竖缝及周边缝处土工膜延伸至坝顶，缝的两侧密封固定，土工膜周边密封固定于趾板上，跨缝通过土工膜焊接将缝两侧土工膜连为一体形成连续的防渗系统。本工程目前已建成蓄水。在库水位高程 460m 条件下，高程 382m 以下（对应的最大水头 197m）土工膜总渗漏量为 5.3L/s，如不采用土工膜加强防渗，相应渗漏量为 13.2L/s，可见土工膜防渗效果明显，实现了土工膜在特高面板坝防渗中的应用。项目节省工程投资 1027 万元，创造经济效益 1600 万元。

(2) 以色列 K 抽水蓄能电站上、下水库均采用半挖半填成库，上水库土体为饱和高液限含砾石粘土，下水库土体为饱和高液限含碳酸钙粘土。上、下水库全库盆均采用 2mm 厚 PVC 外露土工膜防渗，防渗面积均为 22 万 m²，为国内设计的第一个采用全库盆裸露土工膜作为防渗层的抽水蓄能电站，在材料选型、防风锚固、排水排气、焊接及质量检查等方面有其独有的特点。目前工程即将竣工，现场施工过程顺利，可为后续国内相关水库防渗工程提供参考。

(3) 句容抽水蓄能电站上水库库底最大填筑高度达 120m，且回填料成分复杂，包括含碎石粘土、白云岩、灰岩、粗面岩、安山岩及蚀变闪长玢岩混合料等，库底回填区、尤其是挖填交界处存在明显的不均匀沉降变形。设计在开挖区采用 1.5mm 厚 HDPE 土工膜，回填区采用 1.5mm~2mm 厚 TPO 土工膜（进出水口部位采用 2mm，其他部位 1.5mm），HDPE 和 TPO 通过改性 HDPE 土工膜连接。

采用土工膜防渗能够很好地适应不均匀沉降变形，且具有一定的经济优势（比库底采用沥青防渗节约 1.3 亿元），为高填方区库盆防渗设计积累了经验。目前水库已蓄水。

（4）哈密抽水蓄能电站上水库库底由开挖和填筑两部分形成，采用土工膜防渗能较好适应库底不均匀沉陷变形，且施工便捷，工期短，造价低（库底采用 TPO 土工膜比钢筋混凝土面板和沥青混凝土面板分别节约 8182 万元和 3242 万元），可为土工膜在夏天温度高、冬天严寒地区大型工程应用积累一定经验。

此外，研究成果拟应用于同德、南山口、山阳、牛首山东等多座抽水蓄能电站工程。运行实践和研究表明，采用土工膜防渗在技术上是可行的，可以有效降低工程投资，保障工程安全和质量，加快工程建设进度，极具发展和应用前景。该成果也进一步促进了水电等清洁能源的大力发展，对推动能源结构合理配置和高效利用、助力实现“碳达峰、碳中和”目标等具有重要意义，创造了良好的经济、社会、生态效益。

主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	应用单位联系人/电话
1	湖北能源集团涑水水电有限公司	土工膜用于高水头永久水工建筑物防渗关键技术研究与应用	大坝面板防渗，防渗总面积 2.65 万 m ²	2017-2019 年	王晓亮 15802676895
2	Star 抽水蓄能开发有限公司	土工膜用于高水头永久水工建筑物防渗关键技术研究与应用	上、下水库全库盆土工膜防渗，防渗总面积 44 万 m ²	2020-2022 年	罗书靖 18268126833
3	江苏句容抽水蓄能有限公司	土工膜用于高水头永久水工建筑物防渗关键技术研究与应用	上水库库底防渗	2020-2022 年	孙檀坚 19857179082
4	新疆哈密抽水蓄能有限公司	土工膜用于高水头永久水工建筑物防渗关键技术研究与应用	上水库库底防渗	2018-2023 年	吴磊 18092515803

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	发明专利	一种土工膜锚固密封结构	中国	ZL202011262663.2	2022.06.07	第5213402号	中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司	彭凯、钟明璐、刘要来、马亮亮、王晓亮
2	发明专利	一种分散性土高均质坝	中国	ZL202010933184.2	2022.02.08	第4922039号	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司	蔡新合、王静、蔡佳姝、蔡敏、吕琦、王丹迪、乔鹏
3	发明专利	一种防水材料多向拉伸的试验系统及试验方法	中国	ZL201910859570.9	2022.03.18	第5006456号	北京东方雨虹防水技术股份有限公司	韩忠强、顾克、丁红梅、束一鸣、张振、段文锋、毛文龙、刘云锋
4	实用新型专利	土工膜修复面板堆石坝结构	中国	ZL201921518118.8	2020.06.26	第10839762号	中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司	胡娟、刘昊、彭凯
5	实用新型专利	一种面板坝的防渗结构	中国	ZL201821652713.6	2019.09.24	第9407766号	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司	姚栓喜、蔡新合
6	实用新型专利	一种面板堆石坝防渗结构	中国	ZL202020918195.9	2021.04.02	第128497432号	中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司	彭凯、胡娟、潘江洋、欧红光
7	实用新型专利	一种混合坝型结构	中国	ZL201922360461.0	2020.10.20	第11701004号	中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司	彭凯、胡娟；潘江洋、欧红光、钟明璐
8	标准	建筑防水材料老化试验方法	中国	/	2022.07	GB/T 18244-2022	中华人民共和国国家标准	杨斌、朱志远、陈斌、高敏杰、丁红梅、刘建钊等
9	论文	Application of Geomembrane on the Dam of Concrete Face in a	中国	2020, 198: 01054	2020.10	E3S Web of Conferences	中国电建集团中南勘测设计研究院有	彭凯、刘要来、马亮亮、王国辉、王晓亮、胡娟

		Certain Hydropower Station Project					限公司	
10	计算机软件著作权	抽水蓄能电站前期全库盆防渗解决方案三维设计软件系统 V1.0	中国	2022S R1623 901	2022.12.29	软著登字第 10578100 号	中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司	王明疆、孔锐、李锋、周邠鹏、郭红彦、贾巍、蔡新合、狄圣杰、黄鹏、姚夏繁、张莹、雷艳

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	李锋	高级工程师	部门所长	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	(1) 本项目主要负责人，参与项目研究大纲、技术路线和方案策划，成果主要编制人员。提出高水头永久水工建筑物土工膜防渗设计控制指标，提出适应于土工膜下支持层软硬结合部位不均匀大变形的柔性宽凸埂的设计结构；(2) 对发现点 1、3、4 做出了创造性贡献；(3) 是代表作 10 的第三作者
2	姚栓喜	正高级工程师	公司原总工程师	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	(1) 本项目组织者和技术负责人，参与项目研究大纲、技术路线和方案策划，成果主要审批人员；提出并构建了高水头永久水工建筑物土工膜防渗技术体系。(2) 对发现点 1、3、4 做出了创造性贡献；(3) 是代表作 5 的第一作者
3	彭凯	正高级工程师	副主任工程师	中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司	中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司	(1) 参与项目研究大纲、技术路线和方案策划，报告主要编写人员。提出了高水头永久水工建筑物土工膜防渗结构布置形式。(2) 对发现点 1、4 做出了主要贡献；(3) 是代表作 1、6、7、9 的第一作者，代表作 4 的第三作者
4	门利利	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	(1) 参与项目研究大纲、技术路线和方案策划，报告主要编写人员；(2) 构建宽凸埂（鼓包）和凹坑两种连接模式有限元模型，验证了柔性宽凸埂设计结构的合理性；(3) 对发现点 1、3 做出了主要贡献

5	李宏伟	正高级工程师	公司副总工程师	中国水电十五工程局有限公司	中国水电十五工程局有限公司	(1) 参与项目研究大纲、技术路线和方案策划, 报告主要编写人员。提出平面和斜坡面土工膜施工关键技术, 提出各土工膜材料的施工工艺; (2) 对发现点 4 做出了创造性贡献
6	丁红梅	正高级工程师	公司技术总监	北京东方雨虹防水技术股份有限公司	北京东方雨虹防水技术股份有限公司	(1) 参与项目研究大纲、技术路线和方案策划, 成果主要审核人员。揭示了土工膜厚度对其耐久性的影响规律, 通过试验证明了质量合格、厚度得当的土工膜其耐久性能满足高水头永久水工建筑物合理使用年限要求; (2) 对发现点 2 做出了创造性贡献; (3) 是代表作 3、8 的共同作者
7	蔡新合	正高级工程师	一级管理专家	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	(1) 参与项目研究大纲、技术路线和方案策划, 报告主要编写及审核人员; (2) 对发现点 1、3、4 做出了主要贡献; (3) 是代表作 2 的第一作者, 代表作 5 的第二作者, 代表作 10 的共同作者

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	<p>中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司为本项目研究的牵头单位, 负责确定研究目标和总体思路, 制定研究方案, 全面组织项目的开展。同时为本项目创新成果的主要贡献单位。提出了高水头永久水工建筑物土工膜防渗设计主要控制指标, 解决了土工膜在高水头永久水工建筑物应用在设计方面的关键问题; 揭示了土工膜厚度对其耐久性的影响规律, 用定量数据首次证明质量合格、厚度选择得当的土工膜, 其耐久性能满足高水头永久水工建筑物合理使用年限要求; 首次提出的柔性宽凸埂的设计结构, 解决了土工膜对局部不均匀大变形的适应问题。</p> <p>对该项目的科学发现点 1、3、4 做出了创造性贡献。</p> <p>本项目的创新成果成功应用于江坪河水电站、以色列 K 抽水蓄能电站和句容抽水蓄能电站等工程。同时, 研究成果拟应用于同德、南山口、山阳、牛首山东等多座抽水蓄能电站工程, 社会效益显著, 推广应用前景广阔。</p>
2	中国水电十五工程局有限公司	<p>中国水电十五工程局有限公司参与项目的执行和成果的凝练, 为该项目提供了学科支撑, 给予了人力、物力保障。提出平面和斜坡面土工膜施工关键技术; 提出了挡水水头大于 70 米或永久水工建筑物采用 HDPE、PVC、TPO 土工膜材料的施工工艺, 对发现点 4 做出了创造性贡献。</p>

3	中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司	中国电建集团中南勘测设计研究院有限公司参与项目的执行和成果的凝炼，为该项目提供了学科支撑，给予了人力、物力保障。提出了高水头永久水工建筑物土工膜防渗结构布置型式、防渗层结构设计参数；成功实现土工膜在 220m 级特高面板堆石坝防渗中的首次应用，对发现点 1、4 做出了主要贡献。
4	北京东方雨虹防水技术股份有限公司	北京东方雨虹防水技术股份有限公司参与项目的执行和成果的凝炼，为该项目提供了学科支撑，给予了人力、物力保障，揭示了土工膜厚度对其耐久性的影响规律，通过试验证明了质量合格、厚度得当的土工膜其耐久性能满足高水头永久水工建筑物合理使用年限要求，对发现点 2、4 做出了创造性贡献。

九、完成人合作关系说明：（合作方式包括专著合著、论文合著、共同立项、共同知识产权、共同获奖、共同参与制定标准规范、产业合作等。下表中的“项目排名”指在本次报奖中的完成人排序。）

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	共同立项	李锋/1 姚栓喜/2 彭凯/3 门利利/4 李宏伟/5 丁红梅/6 蔡新合/7	2017-2021	2021	中国电力建设股份有限公司 2017 年度科技项目：高水头永久水工建筑物土工合成材料防渗关键技术研究与应用	立项文件、项目合同、研究总报告
2	共同知识产权规范	彭凯/3	2020-2022	2022	一种土工膜锚固密封结构	发明专利证书
3	共同知识产权规范	蔡新合/7	2020-2022	2022	一种分散性土高均质坝	发明专利证书
4	共同知识产权	丁红梅/6	2019-2022	2022	一种防水材料多向拉伸的试验系统及试验方法	发明专利证书
5	共同知识产权	彭凯/3	2019-2020	2020	土工膜修复面板堆石坝结构	实用新型专利证书
6	共同知识产权	姚栓喜/2 蔡新合/7	2018-2019	2019	一种面板坝的防渗结构	实用新型专利证书

7	共同知识 产权	彭凯/3	2020-202 1	2021	一种面板堆石坝防渗结构	实用新型 专利证书
8	共同知识 产权	彭凯/3	2019-202 0	2020	一种混合坝型结构	实用新型 专利证书
9	共同参与 制定标准 规范	丁红梅/6	2020-202 2	2022	建筑防水材料老化试验方法	标准首 页、编者 页
10	论文合著	彭凯/3	2019-202 0	2020	Application of Geomembrane on the Dam of Concrete Face in a Certain Hydropower Station Project	EI检索证 明
11	共同知识 产权	李锋/1	2021-202 2	2022	抽水蓄能电站前期全库盆防 渗解决方案三维设计软件系 统 V1.0	软件著作 权证书