

2024 年度大禹水利科学技术奖提名项目公示材料

一、 项目名称

黄土高原淤地坝溃决风险防控创新技术

二、 主要完成单位及其排序

中国水利水电科学研究院、西安理工大学、西安交通大学、黄河水利委员会黄河上中游管理局、中国电建集团西北勘测设计研究院有限公司、黄河水土保持绥德治理监督局(绥德水土保持科学试验站)、延安市水务局

三、 主要完成人及其排序

陈祖煜、于沐、张茂省、王琳、黄保强、张乃畅、尹鹏海、贾路、岳凡、刘立峰、高海东、韩宗军、冯立、张西宁、郝建伟

四、 成果主要创新点

近十年来,研究团队研发了安全可靠且经济合理的土工布柔性台阶式溢洪道、预应力钢筒混凝土管(简称“PCCP”)有压输水管道等新型水工结构,为解决淤地坝超标准洪水和坝下输水孕育的溃决风险提供了关键防控技术。在基础理论方面,发现了呈并/串联型淤地坝系内部存在与人类家谱类似的结构,应用计算机鲁棒算法,为每一座淤地坝提供了考虑其上游所有坝溃决风险的临界降雨量阈值,并将溃坝风险预警落实到下游每一家、每一户。上述成果均已获得应用,部分成果已纳入 2021 年颁布实施的《淤地坝技术规范》。

1. 淤地坝新型安全、经济输水泄洪水工结构

(1) 柔性台阶式溢洪道技术。实现土坝坝身泄洪，降低溢洪道建设成本，始终是几代水利人孜孜不倦追求的目标。制约土坝坝身泄洪的风险主要有以下两个因素：一是，由混凝土、浆砌块石或其它刚性材料组成的溢洪道一旦开裂，在泄洪过程中即因下卧土体被冲刷快速崩溃；二是，即便在坝高 10m 条件下溢洪道底部水流流速将超过 10m/s，若没有足够的消能措施，溢洪道和消力池将被冲毁。2019 年，研究团队在陕西省绥德县辛店沟淤地坝试验基地成功建成一个高差达 10m 的土工布和当地黄土材料建成的柔性台阶式溢洪道。这一新型结构较好地解决了上述两个制约土坝坝身泄洪的风险因素，为坝高不超过 15m、泄洪时间较短的淤地坝提供了一个经济、安全泄洪的新型水工结构（参见图 1）。



图 1. 柔性台阶式溢洪道

(2) 新型坝下埋管 PCCP 输水技术。传统的淤地坝放水建筑物由放水卧管和输水混凝土管组成，埋在坝下，其安全运用的前提是在各种运用条件下水流的水力学特征能保证输水混凝土管处于无压明流状态。但在实际运用中难以有效地实施，由于输水管破裂导致管涌事

故频发。研究团队首次在陕西省延安市王崖尧淤地坝开展了淤地坝 PCCP 输水管的科研试验及示范应用工作。鉴于 PCCP 可以承受高达 100 米水头的内水压力，在市政输水工程中已有超过半个世纪的广泛应用，这一技术在淤地坝行业得到普遍认可，并纳入了 2021 年颁布实施的《淤地坝技术规范》。

2. 建立在精细水文分析基础上的淤地坝系溃决风险分析和预警平台

(1) 小流域并/串联型复杂淤地坝系防洪风险精细水文分析。淤地坝多以坝系形式开发，一个小流域通常由数十座或一、二百座呈复杂的串联和并联关系的淤地坝组成，这些坝的等级和风险各异。图 2 所示为 22 座坝构成的王茂沟淤地坝系。对每座坝进行降雨径流调洪演算时都需要考虑上游各支流坝因溃坝或溢洪道泄流汇入的入库流量。如何合理确定它的临界降雨阈值并有针对性地对不满足风险防控标准的坝进行除险加固？近期的研究较好地解决了这一复杂的水文风险分析问题。研究团队发现，小流域淤地坝系和人类家谱有相近的结构特点，即任一坝系均在下游终端存在一个控制全流域径流的骨干坝，称为宗坝，如图 2 中的王茂沟 1#坝。从这一坝往上游追溯，可以发现“下一代”的子坝，这样，一代一代往上游延伸，到达最后一批再无“子代”的“源头坝”。在这一理论发现指导下，使用计算机的鲁棒算法成功地破解了坝系径流的逻辑关系，为每一座坝提供相应的风险阈值，也让真正孕育重大风险的坝浮出水面。



图 2. 王茂沟淤地坝系

(2) 建立在溃坝洪水分析基础上淤地坝风险分析和预警平台。

研究团队近年来致力于从理论分析、材料试验和数值计算层面全面提升土石坝溃决洪水分析方法，在 Excel 界面开发了面向工程师的溃决洪水快速分析计算软件 DB-IWHR。结合无人机对流域地形、人居和财物捕捉的遥感信息，可以在一、二个月内对包含有一百余座淤地坝的小流域完成溃坝风险的定量分析工作，为所有风险点划出预警红线，把风险防控落实到每一家、每一户。这一成果将为淤地坝安全度汛工作提供有力的科技支撑。