

《山区小流域沟道人工阶梯-深潭系统技术 导则》

(☒征求意见稿 ☐送审稿 ☐报批稿)

编制说明

主编单位：清华大学

2023 年 4 月

编制说明

一、工作简况

1.1 任务来源

2022年11月，中国水利学会根据《中国水利学会团体标准管理办法》相关规定，组织立项论证，通过论证后，以《中国水利学会关于批准〈引调水工程物探检测技术规程〉等3项标准立项的通知》进行公示，批准该标准立项。

本标准的编制单位为清华大学、中国科学院地理科学与资源研究所、中国科学院地质与地球物理研究所、中国科学院成都山地灾害与环境研究所、北京林业大学。

1.2 任务背景

山区河流广泛分布在我国境内，且大多数山区河流为下切型河流。河流在下切过程中会伴随河岸侵蚀、河床冲刷，从而引发滑坡和泥石流等，对河流生态产生扰动，给河道沿岸和下游区域的环境、交通、生产等带来许多问题。因此，山区河流治理一直是各方重点关注的对象，也是生态文明建设中的重要组成部分。

阶梯-深潭结构是比降大于3%的山区河流中广泛发育的微地貌形态，为典型的高效消能结构，是山区河流自我调整的结果。阶梯-深潭结构的阶梯由卵石或巨石组成，深潭中颗粒较细，阶梯和深潭在河段中交替排列，纵断面呈现连续的台阶状。阶梯-深潭结构通过消耗水流能量、增加河道阻力的方式提升沟道的稳定性，进而稳定河床、控制侵蚀，并能够有效降低泥石流运动。近年来，随着国家对山区小流域山地灾害的持续关注，以及建设美丽山区的需求，以生态措施的为代表的工程被广泛使用。人工阶梯-深潭系统常用于河流修复中，能够起到防治山地灾害、有效提升和保持河流生态功能及廊道连通性的作用。阶梯-深潭系统具有就地取材、因地制宜和施工难度低的优势，适用于交通不便的山

区小流域。

国内外学者对阶梯-深潭结构的形态特征、消能率以及稳定性方面开展了大量研究，在此基础上总结了阶梯-深潭结构关键参数和物理关系，例如地貌特征式、消能率公式、阻力公式等，并从实验和工程应用方面开展了大量的减灾效果评估。但是，目前国内还没有关于阶梯-深潭系统设计和建造的统一成熟标准，这非常不利于阶梯-深潭系统的应用。因此，迫切需要制定一套科学合理、实用性强的阶梯-深潭系统设计和建造标准。为推广阶梯-深潭系统在山区小流域沟道中的应用，建立稳定可靠、有效的减灾系统，保证阶梯-深潭系统在一定洪水条件下充分发挥功效，特申请编制本标准。编制该标准能够为人工阶梯-深潭系统的设计、建造和监测维护等提供技术支撑，为构建稳定的人工阶梯-深潭系统提供有效方法，服务于山区小流域沟道治理，具有显著的经济、社会和生态环境效益。

1.3 主要工作过程

1.3.1 组建标准编制组

清华大学作为标准编制实施机构，于2022年3月组建了由中国科学院地理科学与资源研究所、中国科学院地质与地球物理研究所、中国科学院成都山地灾害与环境研究所、北京林业大学的行业专家及一线人员组成的标准编制组，制定了标准编制工作方案，开展标准编制工作。

1.3.2 文献和资料收集

标准编制组收集整理了相关的国家或行业标准，如《防洪标准》（GB 50201-2014）、《河湖生态系统保护与修复工程技术导则》（SL/T 800-2020）、《水利水电工程施工导流设计规范》（SL 623-2013）、《堆石混凝土筑坝技术导则》（NB/T 10077-2018）、《泥石流防治工程设计规范》（T/CAGHP 021-2018）等相关标准，以及关于阶梯-深潭结构稳定性和消能率方面的相关资料。标准编制组按照标准编制依据和原则，对上述资料进行了认真分析、学习和研讨，初步理顺了标准编制的方向和思路，确定了标准编制框架、各项工作完成时间节点及各参编人员的任务分工。

1.3.3 标准编制

(1) 科学试验

针对本标准涉及的阶梯-深潭系统设计和建造问题，项目组前期开展了一系列室内和室外试验，探究了阶梯-深潭结构稳定性、阶梯-深潭结构消能率和阶梯-深潭结构对沟道稳定性的试验，并在野外泥石流沟道开展试验性示范，建造逐级阶梯-深潭系统并搭建了自动实时动力过程监测体系，揭示阶梯-深潭系统对山地灾害治理的机制和效果。最后，总结在野外泥石流沟道建造人工阶梯-深潭系统的经验和方法，提出了《山区小流域沟道人工阶梯-深潭系统技术导则》。

上述资料的分析和深入研究，为《山区小流域沟道人工阶梯-深潭系统技术导则》团体标准的编制指明了方向。

(2) 形成标准初稿

通过科学试验和前序文献资料，标准编制组对收集到的相关信息、资料进行了详细的分析、研讨和总结，结合阶梯-系统高效消能和实现山地灾害防治的特点，根据阶梯-深潭结构稳定性的要求，形成了《山区小流域沟道人工阶梯-深潭系统技术导则》设计思路。在此基础上，参照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》、GB/T 20001.4-2015《标准编写规则 第4部分：试验方法标准》的规则，编写了《山区小流域沟道人工阶梯-深潭系统技术导则》标准初稿。

(3) 标准立项

2022年11月14日，标准编制组完成《山区小流域沟道人工阶梯-深潭系统技术导则》初稿和立项申请材料，提交中国水利学会。2022年11月18日，中国水利学会以现场会议和线上会议结合的方式召开了立项论证会，会议成立了专家组，听取了标准提案单位对标准立项背景、必要性、可行性、应用前景、已有工作基础等情况汇报，立项论证专家对标准进行了讨论，一致同意该标准立项。

立项论证会专家意见及建议主要包括以下内容：

- 1) 标准名称修改为《山区小流域沟道治理阶梯-深潭技术规范》；

- 2) 进一步明确适用范围;
- 3) 进一步补充完善术语, 优化标准框架与章节内容;
- 4) 按照《工程建设标准管理规定》格式编制。

(4) 大纲审查会

2023年1月17日, 中国水利学会以现场会议和线上会议结合的方式召开了大纲审查会, 会议专家对标准初稿的框架和内容进行了审查, 并形成明确的审查意见, 一致同意通过大纲审查, 按照专家组意见修改完善后提交征求意见稿。

- 1) 名称修改为《山区小流域沟道人工阶梯-深潭系统技术导则》;
- 2) 进一步明确适用范围和条件;
- 3) 进一步完善和简化设计、施工、监测和维护章节内容, 删除系统评估章节, 部分内容调整到其他章节;
- 4) 进一步复核附录A、B中的计算方法和适用条件, 完善附录图文。

(5) 形成征求意见稿

2023年2月至2023年4月, 根据专家组意见, 标准编制组逐条讨论处理, 对标准初稿进行了多次讨论、修改, 于2023年4月20日形成征求意见稿, 完成征求意见稿阶段材料(征求意见稿和编制说明), 于2023年4月21日提交中国水利学会。

1.4 主要起草人及其所做的工作

1.4.1 起草单位

本标准起草工作由清华大学牵头负责。

本标准起草单位: 中国科学院地理科学与资源研究所、中国科学院地质与地球物理研究所、中国科学院成都山地灾害与环境研究所、北京林业大学。

1.4.2 任务分配介绍

中国水利学会作为主管单位负责指导与协调标准的编制工作。

清华大学作为标准起草的主编单位, 负责标准起草、处理反馈意见、会议召集以及编制单位之间的沟通交流。

中国科学院地理科学与资源研究所、中国科学院地质与地球物理研究所、中

国科学院成都山地灾害与环境研究所、北京林业大学参与草稿的编写、讨论及技术支持等工作。

二、主要内容及来源依据

2.1 主要内容

本标准共包括7章和5个附录，分别为：

1.范围

2.规范性引用文件

3.术语和定义

本章给出了本标准的主要术语和定义。

4.总体要求

5.阶梯-深潭系统设计

本章给出了阶梯-深潭系统的设计方法和相关要求。

6.阶梯-深潭系统施工

本章给出了阶梯-深潭系统的施工方法和相关要求。

7.监测维护

本章给出了阶梯-深潭系统监测和维护的相关要求。

附录A（规范性）阶梯-深潭设计参数表

附录B（资料性）阶梯-深潭结构示意图

附录C（规范性）阶梯-深潭系统设计方法计算公式

附录D（资料性）阶梯-深潭系统设计示意图

附录E（资料性）阶梯-深潭系统建造示意图

2.2 来源依据

《防洪标准》（GB 50201-2014）、《河湖生态系统保护与修复工程技术导则》（SL/T 800-2020）、《水利水电工程施工导流设计规范》（SL 623-2013）、《堆石混凝土筑坝技术导则》（NB/T 10077-2018）、《泥石流防治工程设计规范》（T/CAGHP 021-2018）

2.3 主要试验结果及应用效果

(1) 阶梯-深潭结构稳定沟道试验：为探究阶梯-深潭结构稳定沟道的效果，通过水槽试验模拟了大比降沟道中的冲刷过程，试验设计的阶梯-深潭结构考虑了结构在横向和纵向上的稳定性要求。试验结果显示，阶梯-深潭结构能有效消耗水流能量、抑制泥沙输移和提升水流阻力，从而有效控制河床下切和边坡破坏。在阶梯-深潭结构的作用下，沟道的阻力系数（Darcy-Weisbach系数）约增加为无结构条件下的4倍，时均输沙率降低20%-66%，沟道稳定性得到明显提升。随着流量的增大，阶梯-深潭结构稳定沟道的效果降低，当阶梯高度与长度比相同时，结构提升沟道稳定性的效果接近。在实际工程应用中，需采取措施防止结构发生逐级破坏。对于需要重点治理的沟道，可适当增加结构强度，以抵御重现期超过50年的洪水。

(2) 阶梯-深潭系统防治泥石流灾害试验：为提升阶梯-深潭系统在山区小流域沟道中的应用潜力，选取西南山区典型泥石流沟道作为试验对象，在沟道内布置逐级消能结构（主沟共16级，支沟采用人工石笼网布置4级阶梯）。分析各级阶梯-深潭结构的地形地貌参数，通过对比汛期前后地形，确定各区域泥沙来源。结合泥石流运动模拟结果，揭示逐级阶梯-深潭消耗泥石流运动动能达27%的效果，将沟道物源段近70%的泥沙拦截在阶梯-深潭河段中。研究结果确立了阶梯-深潭系统在野外沟道的应用思路和设计方式。

(3) 基于多源监测数据的阶梯-深潭河段灾害动力分析：针对传统监测中对阶梯-深潭结构灾害动力数据测量不足的问题，以野外人工阶梯-深潭系统为监测对象，在沟道内布置了包括雨量计、泥位计、流速仪、地震动传感器和视频监控，并通过无线传输设备对监测数据进行实时传输。针对地震动监测数据，提出阶梯-深潭河段山洪和泥石流运动的阈值，为监测预警提供依据和支撑，同时，通过推移质计算模型，量化阶梯-深潭河段的泥沙通量，确定了沟道上下游泥石流运动的特点，揭示了逐级阶梯-深潭结构将泥石流向下游转化为高含沙水流或稀性泥石流的规律。

（4）阶梯-深潭系统与生态措施协同减灾试验：考虑到阶梯-系统在野外泥石流沟道进行生态治理周期较长，且野外沟道植被情况较差的问题，在人工阶梯-深潭系统的基础上，在泥石流沟道内实施生态治理工程，结合已有措施，达到防灾减灾效益最大化。试验布置了沟床防护林、沟岸护岸林和台地防护林，对山洪和泥石流运动起到拦截作用，并控制沟床稳定性。根据现场试验的结果和经验，总结了阶梯-深潭系统与生态措施协同减灾的方式。

上述方法均在野外泥石流沟道实际工程中进行了实践验证，效果良好。最后，总结国内外阶梯-深潭结构稳定性和消能率方面相关研究成果，提出了《山区小流域沟道人工阶梯-深潭系统技术导则》。

本项目参与单位涉及高校、科研院所等多个单位，这些单位长期以来，在山区河流演变、阶梯-深潭结构消能减灾、小流域沟道灾害治理等方面进行了系统研究，主持完成了多项山地灾害防治的科研项目，取得了良好的科研成果和实践经验。

本标准的编写，将引导人工阶梯-深潭系统在防灾减灾中的应用，指导阶梯-深潭结构的设计、建造和维护，保障阶梯-深潭系统的稳定性和防灾减灾效果，促进山区小流域沟道治理与生态修复。目前，相关技术已经在四川省凉山州热水河小流域得到应用，取得显著的效益。标准的编写，吸纳了示范应用过程中的成功经验，解决了项目实施中存在的问题，对标准的验证、应用和推广具有重要意义。

三、专利情况说明

该标准涉及的专利包括如下1项，与专利不同的是，专利更注重阶梯-深潭系统的设计，本标准结合应用经验更注重阶梯-深潭系统的建造、监测和维护：

[1] 发明专利：张晨笛，徐梦珍，王兆印，一种天然石块构成型多级阶梯-深潭消能系统设计方法. 2021.11，中国，ZL 2020 1 1119174.1

四、与相关标准的关系分析

4.1 与国际、国外同类标准水平的对比情况

目前国内外暂无专门针对阶梯-深潭结构的设计和建造标准，所以没有对比情况。

4.2 与国内相关标准协调性分析

本标准编写过程中，编制组参考了相关国家、行业和地方标准，充分考虑了与国内相关标准的协调性问题，所述内容与国内相关标准保持协调。具体如下：

阶梯-深潭系统的设计洪水流量根据防洪标准等确定，防洪标准可参照《防洪标准》（GB 50201-2014）的有关规定。

阶梯-深潭系统施工需进行导流施工时，参照《水利水电工程施工导流设计规范》（SL 623-2013）的有关规定执行。

建造多级阶梯-深潭系统需进行混凝土浇筑时，浇筑技术要求应符合《堆石混凝土筑坝技术导则》（NB/T 10077-2018）的有关规定。

施工迹地应按《河湖生态系统保护与修复工程技术导则》（SL/T 800-2020）的有关规定进行修复。

阶梯-深潭系统监测方式和监测频率，参照《泥石流防治工程设计规范》（T/CAGHP 021-2018）的9.3.4条。

制定专项监测措施可参照《泥石流防治工程设计规范》（T/CAGHP 021-2018）的9.4条。

五、重大分歧或重难点的处理经过和依据

无。

六、贯彻措施及预期效果

山区河流治理是生态文明建设的重要组成部分，对促进山区经济、社会发展具有重要意义。阶梯-深潭系统具有就地取材、因地制宜、施工难度低的优势，适用于交通不便的山区小流域。为推动阶梯-深潭系统在山区小流域沟道治理中的应用，

迫切需要建立人工阶梯-深潭系统相关的标准和规程。因此，需根据天然阶梯-深潭系统的发育规律，结合人工阶梯-深潭系统的应用经验，加快《山区小流域沟道人工阶梯-深潭系统技术导则》团体标准编制进程，争取早日发布和实施，为相关工程的设计建造应用及运行管理提供科学方法和技术支撑。

《山区小流域沟道人工阶梯-深潭系统技术导则》团体标准出版后，应加大对本标准的宣贯力度，并将标准积极运用到具体工程建设中，逐步提高行业、社会的标准意识，使其发挥应有的作用。

七、其他说明事项

无。