

《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相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。