

ICS 27.140

P 56

SL

中华人民共和国水利行业标准

SL/T 796—2020

小型水电站下游河道减脱水 防治技术导则

Technical Guidelines for control of flow reduction
downstream of small hydropower stations

2020 - 06 - 05 发布

2020 - 09 - 05 实施

中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部

关于批准发布《水工预应力锚固技术规范》
等 5 项水利行业标准的公告

2020 年第 9 号

中华人民共和国水利部批准《水工预应力锚固技术规范》
(SL/T 212—2020) 等 5 项为水利行业标准，现予以公布。

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	水工预应力 锚固技术规范	SL/T 212—2020	SL 212—2012 SL 46—94	2020.6.5	2020.9.5
2	水利系统通 信业务技术 导则	SL/T 292—2020	SL 292—2004 SL 305—2004 SL 306—2004	2020.6.5	2020.9.5
3	水利行业反 恐怖防范要求	SL/T 772—2020		2020.6.5	2020.9.5
4	河湖健康评 估技术导则	SL/T 793—2020		2020.6.5	2020.9.5
5	小型水电站 下游河道减 水防治技术 导则	SL/T 796—2020		2020.6.5	2020.9.5

水利部

2020 年 6 月 5 日

前 言

根据水利技术标准制修订计划安排，按照 SL 1—2014《水利技术标准编写规定》的要求，编制本标准。

本标准共 6 章和 1 个附录，主要技术内容有：

- 减脱水调查与分析；
- 减脱水防治范围与目标；
- 生态流量泄放设施与调度保障措施；
- 减脱水治理辅助工程设施；
- 生态流量监测与减脱水防治设施的运行维护。

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部农村水利水电司

本标准解释单位：水利部农村水利水电司

本标准主编单位：国际小水电中心

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：欧传奇 谭湘清 郑明珂 叶敏敏

郑 良 阮伏水 周伟彬

本标准技术内容审查人：吴时强 刘德有

本标准体例格式审查人：于爱华

本标准在执行过程中，请各单位注意总结经验，积累资料，随时将有关意见和建议反馈给水利部国际合作与科技司（通信地址：北京市西城区白广路二条 2 号；邮政编码：100053；电话：010-63204533；电子邮箱：bzh@mwr.gov.cn），以供今后修订时参考。

<https://www.slzjxx.cn>
水利造价信息网

目 次

1	总则	1
2	术语	3
3	防治目标与要求	5
3.1	调查与分析	5
3.2	范围与目标	5
4	生态流量泄放	7
4.1	一般规定	7
4.2	泄放设施	7
4.3	运行调度	9
5	辅助工程设施	11
5.1	一般规定	11
5.2	生态跌坎	11
5.3	生态堰坝	12
5.4	生态闸坝	13
5.5	阶梯-深潭系统	13
5.6	河道纵向深槽	14
6	监测与维护	15
6.1	流量监测	15
6.2	运行维护	15
附录 A	流量泄放设施泄流能力计算	16
标准用词说明		24
条文说明		25

1 总 则

1.0.1 为规范小型水电站下游河道减脱水防治措施的设计、建设、运行以及管理中的技术工作，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于单站装机容量 50MW 及以下的水电站下游河道的减脱水防治。

1.0.3 新建水电站应确定生态流量，编制有利于生态保护的运行或调度方案，设置生态流量泄放设施，采取下游河道减脱水防治措施，与主体工程同时设计、同时施工、同时投入使用。已建水电站应开展调查分析，进行生态流量泄放能力评估，确定防治范围和目标，制定河道减脱水防治技术方案。

1.0.4 河道减脱水防治技术方案制定应遵循下列原则：

- 1 符合国家及地方生态、环境建设的总体方针、政策。
- 2 与已批复的流域综合规划、防洪规划、水能资源开发规划和生态环境保护规划等相协调。
- 3 不影响水电站原设计的安全等级。
- 4 因地制宜，防治结合，技术可行，经济合理。

1.0.5 本标准主要引用下列标准：

GB 50179 河流流量测验规范

GB 50201 防洪标准

GB/T 50979 橡胶坝工程技术规范

SL 25 砌石坝设计规范

SL 61 水文自动测报系统技术规范

SL 74 水利水电工程钢闸门设计规范

SL 252 水利水电工程等级划分及洪水标准

SL 265—2016 水闸设计规范

SL 282 混凝土拱坝设计规范

SL 285 水利水电工程进水口设计规范

SL 319—2018 混凝土重力坝设计规范

SL 537 水工建筑物与堰槽测流规范

SL 555 小型水电站现场效率试验规程

SL 609 水利水电工程鱼道设计导则

SL 651 水文监测数据通信规约

SL 655—2014 水利水电工程调压室设计规范

1.0.6 小型水电站下游河道减脱水防治技术除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 河道减脱水 water reduction and dehydration in the river

水电站建设及运行引起坝（闸）下游河道内水量较天然条件下减少甚至断流的现象。

2.0.2 减脱水河段 river reach of water reduction and dehydration

发生河道减脱水现象的河段。

2.0.3 生态泄流孔（槽） ecological drainage hole

设置在坝身或两岸等适宜部位且满足下游河道生态流量泄放要求的无节制过流通道。

2.0.4 生态泄流阀 ecological drain valve

设置在泄流孔、洞、管道上，并安装阀门最小开度限位装置，通过调节阀门开度控制下泄流量不小于下游河道生态流量的泄流节制设施。

2.0.5 生态泄流闸 ecological drain gate

设置在泄流孔、洞、槽上，并安装闸门最小开度限位装置，通过调节闸门开度控制下泄流量不小于下游河道生态流量的泄流节制设施。

2.0.6 生态虹吸管 ecological siphon

由跨越坝体的一系列串联管道和辅助设施组成，利用虹吸原理将坝（闸）上游侧水体引流至坝（闸）下游侧，泄流能力不小于下游河道生态流量的泄流设施。

2.0.7 生态机组 ecological generator unit

以泄放生态流量为目的，装设在坝身、两岸或坝（闸）附近，在现有设施无法保障生态流量的时段，连续运行的水轮发电机组。

2.0.8 生态鱼道 ecological fish passage

承担过鱼任务并兼顾生态流量泄放的过鱼通道。

2.0.9 生态跌坎 ecological falling - sill

以河道生态修复为目的，采用体型较大的石料按照特定结构沿河道横向堆积并可形成跌水的壅水建筑物。

2.0.10 生态堰坝 ecological management weir

以河道生态修复为目的，顶部长期过水的壅水建筑物。

2.0.11 生态闸坝 ecological management gate

以河道生态修复为目的，通过节制闸控制下泄流量的壅水设施。

2.0.12 阶梯-深潭系统 step - pool system

自然形成或沿河道流向构建的规则或不规则的阶梯与其下游河床冲蚀下陷后形成的深潭所组成的一种平衡稳定的河道地貌形态。

2.0.13 河道纵向深槽 deep trough of channel

经疏浚、加深、加固和维护后，河道主槽长期连通并维持一定水深的贯穿性流道。

3 防治目标与要求

3.1 调查与分析

3.1.1 调查与分析内容应包括下列内容：

- 1 建站前及现状调查与资料收集。
- 2 现有措施的有效性。
- 3 问题分析与防治建议。

3.1.2 调查分析应收集与水电站相关的下列资料：

- 1 所在河流流域规划、规划环评、生态红线等相关规划和管控要求。
- 2 所在区域气候条件，流域特性，影响区段建站前后的河流生态特征及河道特征。
- 3 取水、退水方式，上游来水年内分配及年际变化等情况，取、退水区间汇入支流位置及水文情势、地下水情况等。
- 4 受影响的坝（闸）下游河道以及可能造成减脱水现象的重点河段。
- 5 坝（闸）下游重要生态敏感区、生态保护目标、河道需水要求，区域经济社会发展对减脱水河段用水需求。
- 6 关联水库调节性能及运行调度方案。
- 7 已采取的防治措施及运行情况。
- 8 其他相关资料。

3.1.3 应根据调查评价资料，分析确定河道减脱水防治范围、防治目标与防治措施。防治目标应与保护对象和保护水平相适应。

3.2 范围与目标

3.2.1 河道减脱水防治范围为水电站取水可能造成河道水量减少甚至脱流，以致不满足河道所需生态流量的河段及岸边区域。

不同类型水电站防治范围应符合下列规定：

1 引水式及混合式水电站，防治范围为厂坝间河段及相应受减脱水影响的岸边区域。当厂坝间存在汇流且汇流后满足下游河道所需生态流量时，防治范围为坝址至汇流处河床断面之间的河段及其受减脱水影响的岸边区域。具体应符合下列规定：

- 1) 跨流域引水的，应以取水、引水坝（闸）作为起点，确定其下游河道减脱水防治范围。涉及多个水源、多条河流时，应按水源分别确定其下游河道减脱水防治范围。
- 2) 建设在供水、灌溉等引水渠道上的，应以与河道相连的第一级水电站取水、引水坝（闸）作为起点，确定其共同的下游河道减脱水防治范围。

2 坝后式及河床式水电站，防治范围为满足下游河道所需生态流量的河床断面与坝（闸）址之间的河段，以及相应受减脱水影响的岸边区域。

3 引用暗河、洞水、泉水等地下水发电的水电站，若水电站建设前已形成地表径流，应按天然河流开发的水电站确定其防治范围。

3.2.2 水电站坝（闸）下游河道减脱水防治目标应包括下列内容：

- 1 保障下游河道减脱水防治范围内的生态流量。
- 2 增加下游河道减脱水防治范围内的水域面积和流动性，保障河道最小水深，恢复河流连通性。最小水深可取 0.2m，无特殊保护要求的可适当放低要求，但不宜造成明显的河床裸露。

4 生态流量泄放

4.1 一般规定

4.1.1 水电站应根据坝（闸）下游河道生态流量等需水量、上游来水情况及水库蓄水等情况，制定生态流量泄放方案，明确生态流量泄放要求、泄放设施及运行调度方式。

4.1.2 除发电调度可满足下游河道生态流量的坝后式及河床式水电站外，水电站均应设置生态流量泄放设施。尚未设置生态流量泄放设施的，应结合电站枢纽布置情况，改建或增设生态流量泄放设施。

4.1.3 水电站应考虑下游生态保护目标和河道生态流量泄放等要求，编制有利于生态保护的运行或调度方案，优化运行方式，实施生态调度。

4.2 泄放设施

4.2.1 生态流量泄放设施包括生态泄流孔（槽）、生态泄流阀、生态泄流闸、生态虹吸管、生态机组以及生态鱼道等。生态流量泄放设施应符合下列规定：

1 按水电站最低运行水位复核，泄流能力不应小于水电站坝（闸）下游河道生态流量。

2 应布置在坝身或坝址附近，与主体工程布置相协调。布设位置与坝址间的距离应以足量泄放生态流量时可使坝址附近河床不裸露为控制原则。当受地形、地质条件限制，必须远离坝址时，应增加辅助工程措施，确保坝址附近河床不裸露。

3 泄流时对水电站设施及下游河道不造成危害，并应对影响主体工程安全的因素进行复核。

4 进水口宜避开高含沙量、回流区及漂浮物聚集区，其设计应符合 SL 285 的有关规定。

5 溢流部分宜采用钢筋混凝土，管材宜采用铁管、钢管、不锈钢管或高密度聚乙烯管等。

4.2.2 生态泄流孔（槽）包括无压和有压两种型式，适用于泄流能力稳定、无用水调度要求的情况。坝顶易于开槽或引水渠渠首侧向易于开孔（槽）时，宜采用无压生态泄流孔（槽）；坝体或两岸岸坡易于开孔时，宜采用有压生态泄流孔（槽）。

4.2.3 生态泄流孔（槽）应符合下列规定：

1 无压生态泄流孔（槽）底板高程不应高于发电引水建筑物进口底板高程，断面尺寸可按附录 A 中 A.0.1 条和 A.0.2 条确定。

2 有压生态泄流孔（槽）进口底板高程不应高于死水位，过流断面尺寸可按附录 A 中 A.0.3 条确定。

3 设置多孔（槽）的，过流断面宜具有相同尺寸和布置高程。

4.2.4 生态泄流阀适用于需要阀门调节下泄流量，以及有用水调度要求的情况。

4.2.5 生态泄流阀应符合下列规定：

1 流道可按有压生态泄流孔布置和设计。

2 应选择与作用水头以及有压生态泄流孔尺寸相匹配的阀门。

3 宜布置在有压生态泄流孔末端等易于操作的部位。

4 阀门全开时过流流量可按附录 A 中 A.0.4 条确定，最低作用水头时泄流能力不应小于下游河道所需生态流量。

4.2.6 生态泄流闸包括常开状态的闸门、设置在拦河闸顶部的舌瓣闸门、设置最小开度限位装置的闸门、可锁定至预定开度的闸门，适用于有用水调度要求，需要闸门调节下泄流量的情况。

4.2.7 生态泄流闸应符合下列规定：

1 结构设计应符合 SL 74、SL 265 的有关规定，在现有闸门上开孔布置的，应对现有闸门结构设计进行复核。

2 可按附录 A 中 A.0.5 条确定闸孔尺寸或闸孔最小开度。

宜根据闸孔泄流公式计算对应孔口开度的泄流量，绘制水位开度曲线（表），指导闸门运行控制。

4.2.8 生态虹吸管适用于坝体不宜开孔、最大虹吸高度不应超过当地允许的最大真空度的情况。

4.2.9 生态虹吸管应符合下列规定：

1 进水口吸水高程不应高于发电引水建筑物进口底板高程，淹没深度按 SL 285 确定。出水口宜采用淹没出流。

2 宜采用单一特性的圆形断面管道，孔口过流断面尺寸可按附录 A 中 A.0.6 条确定。

3 最大虹吸高度不应超过当地允许的最大真空度。

4 顶部“驼峰”处应设置排气设施，过流管道应便于与阀门连接。

5 管道转弯处应设置镇墩，管道连接接头宜包纳在镇墩内。

4.2.10 生态机组适用于有增设生态机组场地，技术经济可行的情况。

4.2.11 生态机组应符合下列规定：

1 装设在坝身、两岸或坝（闸）附近。

2 最小发电流量应根据上游来水资料及下游生态需水要求，经技术经济比较后确定，且不应小于下游河道生态流量。

3 机组停机检修时应有泄流措施，宜在机组入口和尾水间设置旁通管道和旁通阀。

4.2.12 生态鱼道适用于有过鱼要求且符合鱼道建设条件的情况。

4.2.13 生态鱼道应符合下列规定：

1 符合 SL 609 的有关规定。

2 下游出口应在坝（闸）下游附近，回水可达坝址。

3 常年过流，检修时应有泄流措施。

4.3 运行调度

4.3.1 单站有调节能力的，应利用水库的调蓄能力，提高下游

河道生态流量保障水平；无调节能力的，当上游来水流量小于生态流量时，应按不小于坝址处上游来水流量泄放。

4.3.2 具备梯级联合调度条件的，应编制联合调度方案，保障下游河道生态流量。

4.3.3 宜以流域为单位，实施流域统一调度，最大限度保障全流域的生态流量。

5 辅助工程设施

5.1 一般规定

5.1.1 防治范围内的河道可采取辅助工程设施予以治理。对于调节能力较小的、具有综合利用功能的或建设在季节性河流上的水电站，宜在防治范围内的河道上修建辅助工程设施。

5.1.2 常用的辅助工程设施包括生态跌坎、生态堰坝、生态闸、阶梯-深潭系统以及河道纵向深槽等，并应符合下列规定：

1 符合 GB 50201、SL 252 的有关规定，不影响下游防洪安全和区间排涝等。

2 以河道连通性、水面率、水深保障为目标，具有生态流量泄放通道或设施，按不小于来流最大限度满足生态流量泄放要求。

3 控制断面最小水深应符合 3.2.2 条的规定。

4 宜维持局部弯道、深潭、浅滩以及洲滩湿地等自然景观的多样性特征，避免改变河道平面轨迹。

5 宜与景观修复、生态水文化建设相结合，与河道自然景观相协调。

6 辅助工程设施的建设宜就地选材，采用天然材料，结构型式、施工工艺应考虑河道内各种生物生境要求。

7 应在河道深潭、深槽等危险断面附近醒目位置设置安全防护设施及警示标识。

5.1.3 辅助工程设施应结合其适用条件和修复河道特征进行选择。当需要修复的河道较长时，可选择多种辅助工程设施进行组合。

5.2 生态跌坎

5.2.1 生态跌坎宜布设在水流平缓、有鱼类等水生生物洄游的

顺直河段。应考虑河道水流特性及生物习性进行布置，河道横向宜条状排布，并在河道深槽处降低坎顶高程，纵向宜顺水流布置。

5.2.2 生态跌坎应考虑防冲、壅水、孔隙率和连通性的要求，保证鱼类等洄游水生生物能够顺利通过，坎高不宜超过 2m，有鱼类等水生生物洄游的时段跌水落差不宜大于 0.3m。宜就地取材，以大粒径石材为主要构架，并辅以小粒径石材填充。石材的容重及大小可根据生态跌坎的最大高度和汛期可能的最大水头和流速，通过试验或按经验公式确定。

5.2.3 生态跌坎可设置多级，多级生态跌坎的组成和构造与单级生态跌坎相同，多级跌坎的分级数量、坎高和间距，应根据河势、地质、控制断面最小水深要求等具体情况综合分析确定。

5.3 生态堰坝

5.3.1 生态堰坝宜布设在现状河面宽、河床岩基埋深浅、流态平顺、对区间防洪影响小河段。具有调峰作用的引水式及混合式水电站，宜布设在厂房出口下游较顺直的河段上。

5.3.2 生态堰坝应结合坝型和坝体材料，按照 GB/T 50979、SL 25、SL 282、SL 319 等设计规范进行结构设计，并应符合下列规定：

1 河床以上部分的堰坝高度不宜超过 3m，低于 1m 的宜采用坦水堰或宽顶堰，高于 2m 的宜采用多级跌水堰或滚水堰。

2 堰坝断面可采用单一或复合断面，局部堰段下游坡面宜选择有利于鱼类洄游的斜坡，坡度宜在 1:10~1:60 之间，溢流表面力求构造多孔性丰富循环性空间结构，并利用原河道河谷漫滩的自然地貌，构造采用柔性结构的坡脚。宜考虑景观建设的要求。

3 建筑材料可采用钢筋石笼、干砌条石、浆砌块石等。

5.3.3 生态堰坝可治理的河道长度可按公式 (5.3.3) 计算：

$$L_y = (h - L_s) / i \quad (5.3.3)$$

式中 L_y ——生态堰坝可治理的河道长度, m;
 h ——生态堰坝河床以上部分的坝高, m;
 L_s ——控制断面最小水深, m;
 i ——河道底坡。

5.3.4 当防治范围内的河道长度超过单个生态堰坝可治理的河道长度时,可设置多级。分级数量、落差及间距应根据控制断面最小水深要求、河道底坡、地形地质条件等因素综合分析确定,宜采用相同坝高等距布置,以及坝高较小的方案。

5.4 生态闸坝

5.4.1 生态闸坝宜布置在河道顺直、水流较平顺且地质条件良好的河段,适用于有防洪、抗冲刷、水深和景观要求的情况。

5.4.2 生态闸坝设计应符合 SL 74、SL 265 的有关规定。

5.4.3 生态闸坝宜结合局部溢流堰或生态泄流闸用于生态流量泄放。

5.4.4 生态闸坝闸高应结合控制断面最小水深等蓄水要求、河流连通性以及结构安全性,经技术经济比较后确定,闸高不宜超过 5m。

5.4.5 当防治范围内的河道长度超过单个生态闸坝可治理的河道长度时,可设置多级。分级数量、落差及间距应根据控制断面最小水深要求、河道底坡、地形地质条件、运行控制要求等因素综合分析确定,宜采用相同闸高等距布置,以及闸高较小的方案。

5.5 阶梯-深潭系统

5.5.1 阶梯-深潭系统宜布置在河道底坡陡、水流流速快、河道内鱼类等水生生物对水流条件有特殊要求的河段,并应避开淤积河段。

5.5.2 阶梯-深潭系统构造应优先选用卵石、块石等天然材料。当缺乏合适粒径的卵石、漂石或块石时,或阶梯高度较大时,可

采用石笼和木桩。可结合小型结构物、河床抛石以及人工鱼巢等进行设计。

5.5.3 阶梯-深潭系统阶梯高度可按构成阶梯的最大粒径取值,不宜超过 2m。当阶梯高度超过 1m 时,宜在阶梯旁侧开辟有利于水生生物洄游的缓坡流道。

5.5.4 阶梯-深潭系统的阶梯单元长度可按公式 (5.5.4) 计算:

$$L_i = \frac{H_i}{ki} \quad (5.5.4)$$

式中 L_i ——阶梯单元长度, m;

H_i ——阶梯高度, m;

k ——计算系数,可在 1.0~2.0 之间取值。

5.5.5 阶梯-深潭系统的深潭与浅滩宜成对设计,可设置多级,每对深潭、浅滩可按河宽的 3~10 倍距离交替布置。河湾段深潭宜设在凹岸,浅滩宜设在凸岸。

5.6 河道纵向深槽

5.6.1 河道纵向深槽宜用于河道主槽稳定,枯水期来水少、河道宽且蒸发量大,以及区间鱼类等水生生物对河道水深有要求的减脱水河道修复。河道纵向深槽设置应避开淤积河段。当上游来水含沙量大、汛期主槽易淤积时,不宜采用。

5.6.2 河道纵向深槽的断面形式宜采用近似抛物线型,深槽的尺寸应综合考虑河床的挖填平衡、最小水深要求、最小水面宽要求以及下游拦水堰的壅水等因素确定。

5.6.3 宜根据上游来水流量、丰枯期水量差异,分析深槽水深和水面宽度、过流流速,确定深槽两侧是否需要加固,深槽是否需要疏浚。

6 监测与维护

6.1 流量监测

6.1.1 生态流量监测系统应包括流量测量、数据传输等设备和流量监管平台。

6.1.2 流量测量系统应符合下列规定：

1 监测点分别布设在水电站生态流量泄放设施出口处，或下游附近符合测流要求的河道断面。

2 测流装置应按照技术可靠、经济适用、维护便捷的原则选择和安装。

3 流量测量方法应符合 GB 50179、SL 61、SL 537、SL 555 的规定。

6.1.3 数据传输系统应具备数据、视频或图像等传输能力，其数据通信应符合 SL 651 的规定。

6.1.4 流量监管平台应符合下列规定：

1 具备流量数据记录、存储、分析、打印、输出以及异常告警功能。

2 具备流量视频监控功能，可存储、输出流量泄放图片或视频。

6.1.5 梯级水电站宜建立区域生态流量监测平台。

6.2 运行维护

6.2.1 水电站应将生态流量泄放及其监测、监管设施的运行维护纳入日常管理工作中。

6.2.2 水电站应如实记录下泄流量监测数据，并定期汇总。

6.2.3 水电站应定期维护生态流量泄放、监测等设备设施，发现故障及时排除，将其故障记录在案。

附录 A 流量泄放设施泄流能力计算

A. 0.1 矩形断面的无压生态泄流孔（槽）正堰泄流能力可按公式（A. 0.1 - 1）～公式（A. 0.1 - 3）计算，计算简图如图 A. 0.1 所示。

$$Q = Cm\epsilon\sigma_s B \sqrt{2gH_0^3} \quad (\text{A. 0.1 - 1})$$

$$H_0 = H + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g} \quad (\text{A. 0.1 - 2})$$

$$v_0 = \frac{Q}{aB_s} \quad (\text{A. 0.1 - 3})$$

式中 Q ——下泄流量， m^3/s ；
 C ——上游面坡度影响修正系数，可按 SL 319—2018 中表 A. 3.1 - 2 取值，当上游面为铅直面时取 1.0；
 σ_s ——淹没系数，视淹没程度取值或经试验确定，自由出流时取 1.0，完全淹没时取 0；
 ϵ ——侧收缩系数，可取 $\epsilon = 0.90 \sim 0.95$ ，或按经试验确定；
 m ——流量系数，可取 $m = 0.385$ ，或按 SL 319—2018 中表 A. 3.1 - 1 取值，或经试验确定；
 B ——溢流宽度， m ；
 g ——重力加速度， m/s^2 ；
 H ——堰上水头， m ；
 H_0 ——计入行进流速的堰上总水头， m ；
 α_0 ——行进流速系数，宜取 1.0；
 v_0 ——行进流速， m/s ；
 a ——行进流速断面河道水深， m ；
 B_s ——行进流速断面河道宽度， m 。

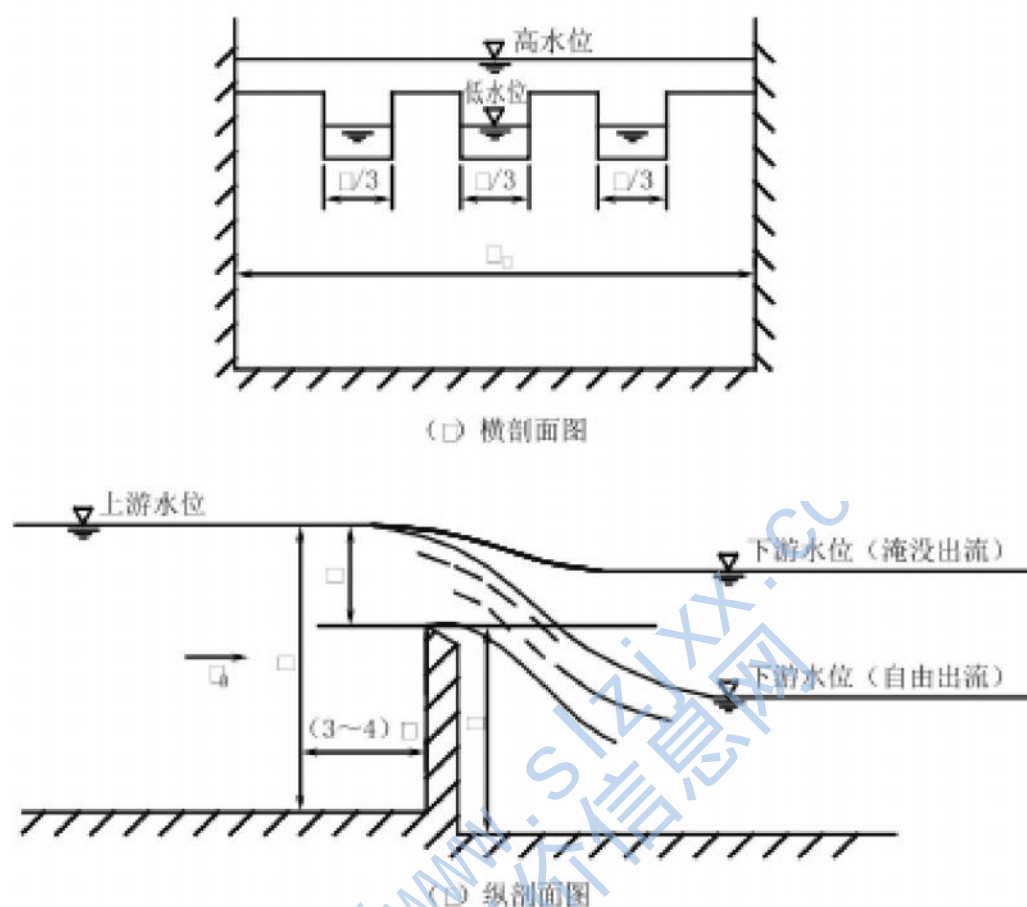


图 A.0.1 无压生态泄流孔(槽)矩形断面正堰泄流计算简图

A.0.2 矩形断面的无压生态泄流孔(槽)侧堰泄流能力可按公式 (A.0.2-1) ~ 公式 (A.0.2-3) 计算, 计算简图如图 A.0.2 所示。

$$Q = m_1 L_c \sqrt{2g \bar{H}^3} \quad (\text{A.0.2-1})$$

$$m_1 = (0.9 \sim 0.95) m_0 \quad (\text{A.0.2-2})$$

$$\bar{H} = 0.5(H_1 + H_2) \quad (\text{A.0.2-3})$$

式中 m_1 ——侧堰流量系数;

L_c ——侧堰长度, m;

$\bar{H}$ ——堰上水头, 取堰首端和末端水头的平均值;

m_0 ——正堰流量系数, 可按 A.0.1 条取值;

H_1 ——堰首端水头, m;

H_2 ——堰末端水头, m。

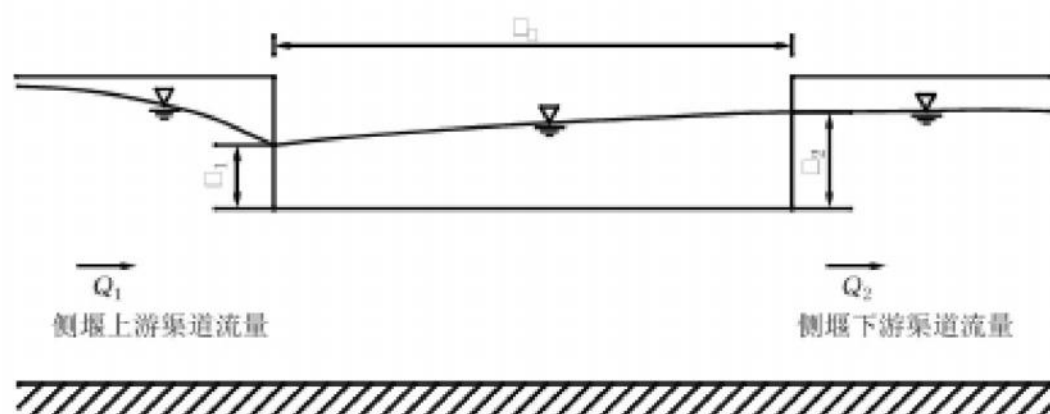


图 A.0.2 无压生态泄流孔（槽）矩形断面侧堰泄流计算简图

A.0.3 采用单一特性圆形断面管道的有压生态泄流孔，孔口泄流能力可按公式（A.0.3-1）～公式（A.0.3-4）计算，计算简图如图 A.0.3 所示。

$$Q = \sqrt{H/R_T} \quad (\text{A.0.3-1})$$

$$R_T = \frac{Ln^2}{R^{4/3}A^2} + \frac{\sum \xi + x}{2gA^2} \quad (\text{A.0.3-2})$$

$$R = D/4 \quad (\text{A.0.3-3})$$

$$A = \pi D^2/4 \quad (\text{A.0.3-4})$$

式中 H ——孔口最小作用水头，淹没出流时为上下游水位差，自由出流时为上游水位与出口中心高程的差，m；

R_T ——水头损失综合系数；

L ——管道长度，m；

n ——糙率，可按 SL 655—2014 中第 A.1.1 条、A.1.2 条确定；

R ——水力半径，m；

A ——断面面积， m^2 ；

ξ ——局部水头损失系数，可按 SL 655—2014 中第 A.2.1 条确定；

x ——出流系数，自由出流时取 1.0，完全淹没时取 0；

D ——管道直径，m。

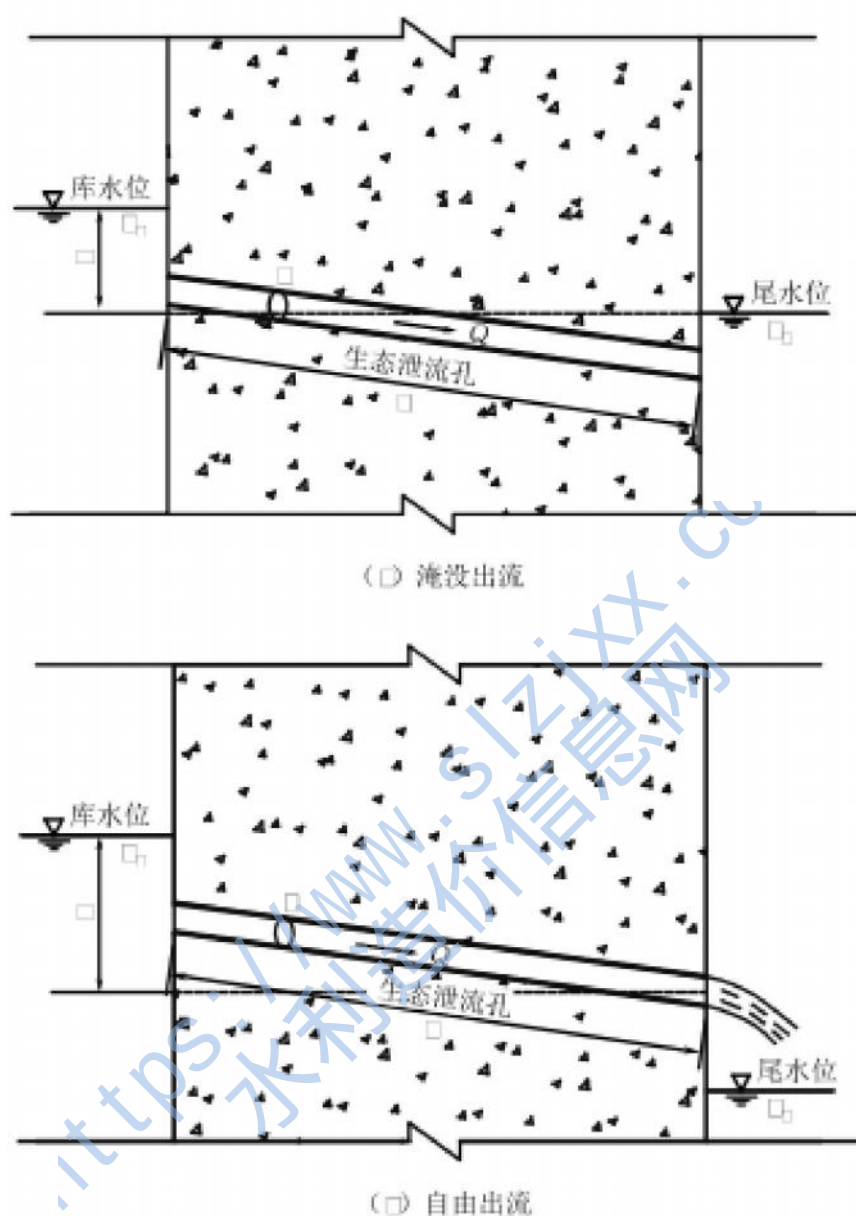


图 A.0.3 有压生态泄流孔泄流计算简图

A.0.4 生态泄流阀全开泄流能力可按公式 (A.0.4-1) ~ 公式 (A.0.4-3) 计算, 计算简图如图 A.0.4 所示。

$$Q = \sqrt{H/R_T} \quad (\text{A.0.4-1})$$

$$R_T = \frac{Ln^2}{R^{4/3}A^2} + \frac{\sum \xi + \xi_k + x}{2gA^2} \quad (\text{A.0.4-2})$$

$$\xi_k = \frac{2gA^2 H_r}{KQ_r^2} \quad (\text{A.0.4-3})$$

式中 ξ_k ——阀门全开时的阻力系数；
 H_r ——阀门全开时的作用水头，m；
 Q_r ——阀门全开时的过流流量， m^3/s ；
 K ——大于1的系数，宜取 $K \geq 1.1$ 。

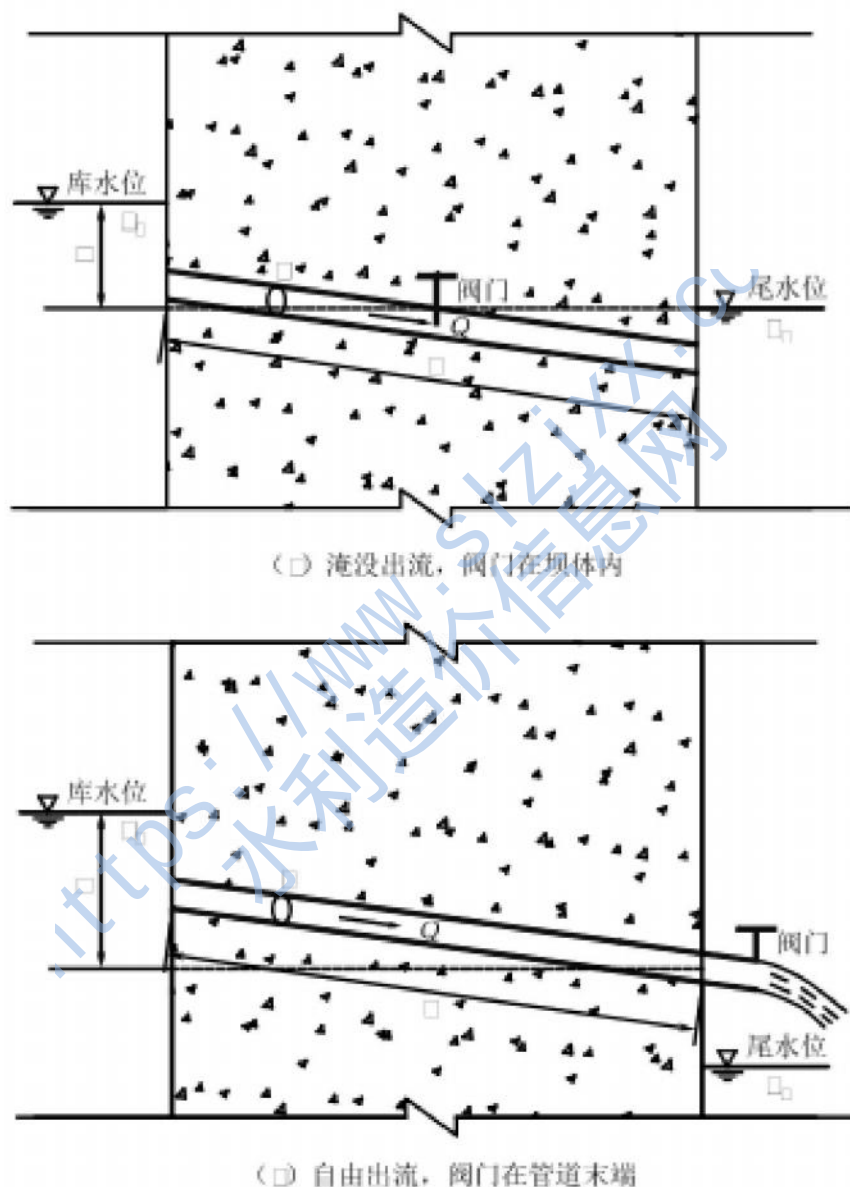


图 A.0.4 生态泄流阀泄流计算简图

A.0.5 生态泄流闸泄流能力可按公式 (A.0.5)、公式 (A.0.1-2) ~ 公式 (A.0.1-3) 计算，计算简图如图 A.0.5 所示。

$$Q = \sigma_s \mu \varepsilon B \sqrt{2gH_0} \quad (\text{A.0.5})$$

式中 μ ——闸孔流量系数，可按 SL 265—2016 中公式 (A.0.3-2) ~ 公式 (A.0.3-4) 确定。

e ——闸门开度，m。

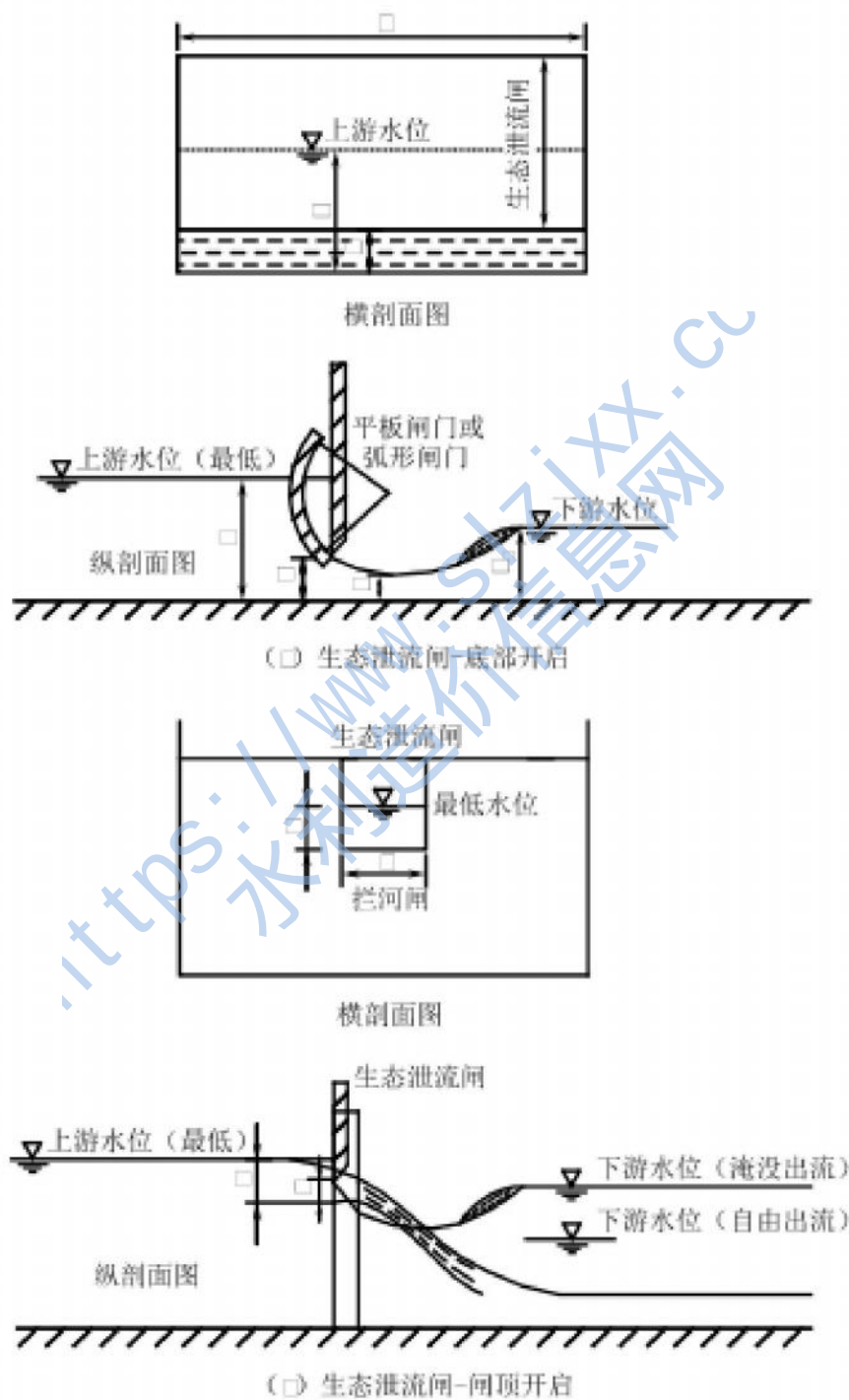


图 A.0.5 生态泄流闸泄流计算简图

附录 A 流量泄放设施泄流能力计算

A. 0.1 矩形断面的无压生态泄流孔（槽）正堰泄流能力可按公式（A. 0.1 - 1）～公式（A. 0.1 - 3）计算，计算简图如图 A. 0.1 所示。

$$Q = Cm\epsilon\sigma_s B \sqrt{2gH_0^3} \quad (\text{A. 0.1 - 1})$$

$$H_0 = H + \frac{\alpha_0 v_0^2}{2g} \quad (\text{A. 0.1 - 2})$$

$$v_0 = \frac{Q}{aB_s} \quad (\text{A. 0.1 - 3})$$

式中 Q ——下泄流量， m^3/s ；
 C ——上游面坡度影响修正系数，可按 SL 319—2018 中表 A. 3.1 - 2 取值，当上游面为铅直面时取 1.0；
 σ_s ——淹没系数，视淹没程度取值或经试验确定，自由出流时取 1.0，完全淹没时取 0；
 ϵ ——侧收缩系数，可取 $\epsilon = 0.90 \sim 0.95$ ，或按经试验确定；
 m ——流量系数，可取 $m = 0.385$ ，或按 SL 319—2018 中表 A. 3.1 - 1 取值，或经试验确定；
 B ——溢流宽度， m ；
 g ——重力加速度， m/s^2 ；
 H ——堰上水头， m ；
 H_0 ——计入行进流速的堰上总水头， m ；
 α_0 ——行进流速系数，宜取 1.0；
 v_0 ——行进流速， m/s ；
 a ——行进流速断面河道水深， m ；
 B_s ——行进流速断面河道宽度， m 。

<https://www.slzjxx.cn>
水利造价信息网

标准用词说明

标准用词	严 格 程 度
必须	很严格，非这样做不可
严禁	
应	严格，在正常情况下均应这样做
不应、不得	
宜	允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做
不宜	
可	有选择，在一定条件下可以这样做

中华人民共和国水利行业标准

小型水电站下游河道减脱水
防治技术导则

SL/T 796—2020

条 文 说 明

<https://www.slzjxx.com>
水利造价信息网

目 次

1	总则	27
3	防治目标与要求	28
3.1	调查与分析	28
3.2	范围与目标	28
4	生态流量泄放	31
4.1	一般规定	31
4.2	泄放设施	32
4.3	运行调度	33
5	辅助工程设施	34
5.1	一般规定	34
5.2	生态跌坎	34
5.3	生态堰坝	35
5.4	生态闸坝	39
5.5	阶梯-深潭系统	40
5.6	河道纵向深槽	42
6	监测与维护	43
6.1	流量监测	43

1 总 则

1.0.1 本条为标准编制的目的。小水电的历史任务已逐步由解决农村用电和帮助农民脱贫向减少环境污染、改善能源结构转变。制定小型水电站下游河道减脱水防治技术导则，贯彻生态治水新理念，能够为小型水电站的生态建设提供技术支撑，并促进小水电实现科学开发和可持续发展。

1.0.2 本条规定了本标准的适用范围。与大中型水电站相比，小型水电站及其下游减脱水现象有其特殊性。小型水电站多布置在中小河流上游河道底坡较大的河段，以引水式开发居多，一般没有调节水库或水库调节能力较小，且中小河流上游河道自然条件下存在季节性减脱水。大中型水电站则多布置在大中型河流下游河道底坡较小的河段，以坝式或河床式开发居多，一般均有调节能力较强的水库，河流下游一般不存在天然断流或减水严重的情况。

1.0.4

4 我国小型水电站数量较多，广布农村，情况复杂，“因地制宜”是指根据水电站的实际状况，采取合适的减脱水防治内容及技术措施。“防治结合”是指优先采取预防措施，保障坝（闸）下游河道生态需水，控制河道减水程度，防止河道断流，充分发挥河段生态自然修复功能的作用。当无法保障坝（闸）下游河道生态需水的，或在下泄河道生态流量后其下游影响河段生态功能自然修复仍存在困难的，一方面，仍要积极采取调度等预防措施，尽量提高坝（闸）下游河道生态需水保障程度，同时考虑对下游影响河道采取治理措施，在有限的下泄流量的情况下，使得下游河道仍能维持相对稳定和健康的河流生境。

3 防治目标与要求

3.1 调查与分析

3.1.1 水电站开发方式各异、对河流影响情况不一，所在区域及河流的气候条件、生态特征不尽相同，调查分析是因地制宜确定防治目标的重要途径。对于已建水电站，多数已经造成了下游河道的减脱水，调查分析重在明确现状影响情况，现有措施的有效性，分析改造以新增预防性措施的可行性，以及可行的治理措施方案。

3.1.2

2 河流生态特征调查分析以河道内及岸边带物种的组成、生活习性为主，河道特征以调查分析水电站影响区域内河道平面形状，河道大致宽度，河道底坡及其变化情况为重点。

3 可通过查阅水电站水资源论证报告并结合现场调查确定，其中上游来水情况可以通过上游水文测站获悉。下游调查分析重点为支流补给情况以及下游需水结构组成等。

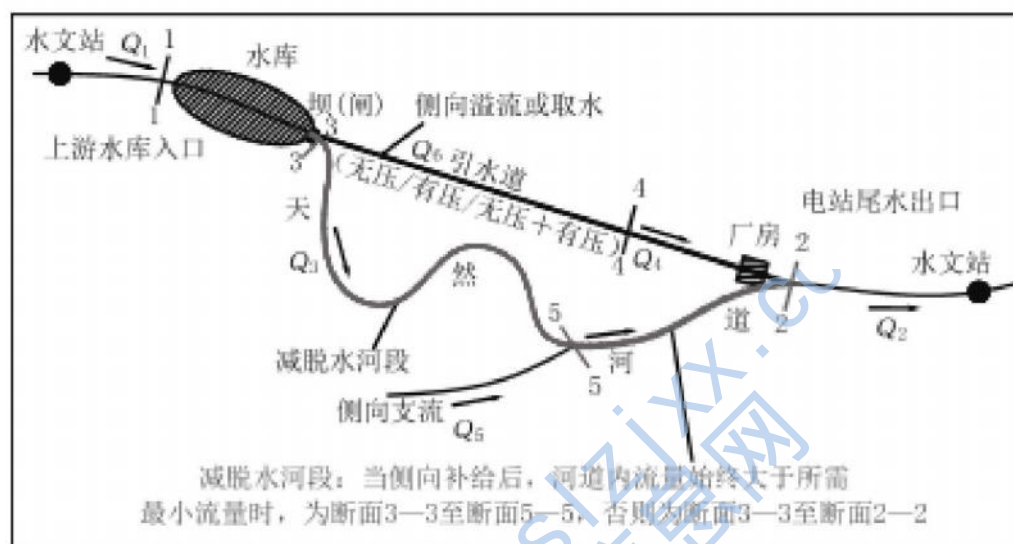
4 对于引水式及混合式电站，重点关注水电站厂坝间河段；对于坝后式和河床式水电站，则需重点关注坝（闸）下游可能存在减脱水问题的河段。

5 水电站坝（闸）下游生态保护目标应包括保护对象和保护水平，不同时期应有不同的生态保护目标。保护对象包括水生物种和陆生物种以及赖以生存的重要生境，例如：国家和地方重点保护、珍稀濒危以及开发区域河段特有的水生生物、陆生生物、洄游或半洄游鱼类以及鱼类三场（越冬场、产卵场和索饵场）等。

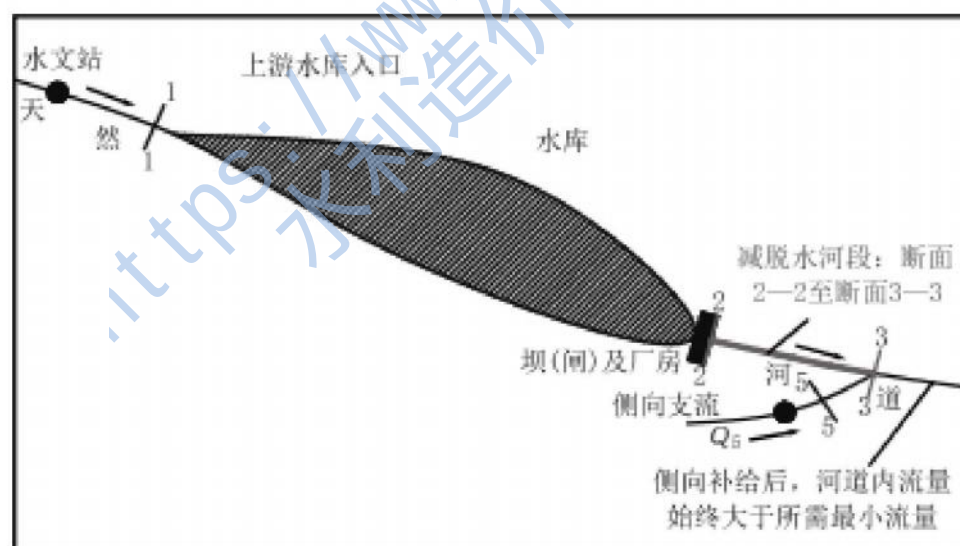
3.2 范围与目标

3.2.1 河流及其生态系统有一定的自我调节和恢复能力，轻微

减水或者现行技术标准认为可接受的减水程度，一般不会对河流健康产生有害影响。本标准减脱水河段特指水电站坝（闸）下游需要采取措施预防和治理控制其减水程度的关键河段，其范围及特征因开发方式而异，如图 1 所示。



(D) 引水式、混合式水电站减脱水河段示意图



(E) 坝式水电站减脱水河段示意图

图 1 不同开发方式的水电站减脱水河段示意图

1 跨流域引水的，被引水量无法回到原河道，减脱水防治范围取决于下游支流汇流情况；涉及多个水源的，不仅存在被引

水量无法回到原河道的情况，还具有多个互不连通的减脱水防治范围，是防治的重点。建设在供水、灌溉等引水渠道上的水电站，除了与河道相连的第一级水电站，其调节可能引起下游河道减脱水外，其他各级来水均受第一级控制，对河道是否减水没有直接影响，因此尽管防治范围相同，但防治职责可视情况而定。

3 在我国湖北、云南、广西等地一些喀斯特地貌的区域，存在引用地下水（例如：暗河、洞水、泉水）发电的水电站，这类电站与地表水发电的情况不同，除确定防治范围外，也有地下水的保护要求。

3.2.2

1 保障生态流量是预防河道减脱水的核心内容，包括核定生态流量、设置生态流量泄放设施以及实施生态流量监测等。

2 我国小型水电站多数位于季节性中小河流上，不具备调节库容，在枯期生态流量难以保障，需要配套辅助工程设施，以增加水域面积和流动性，保障最小水深，恢复河流连通性。最小水深可根据保护目标确定，其中以鱼类最为常见。SL 609—2013《水利水电工程鱼道设计导则》第 6.1.2 条、第 6.2.4 条、第 6.3.4 条分别规定，隔板式鱼道最小池室水深应大于 0.3m，对于体长超过 0.2m 的鱼类，最小池室水深应大于过鱼体长的 2.5 倍；仿生态式鱼道水深不应小于 0.2m；槽式鱼道水深不应小于 0.35m。NB/T 35054—2015《水电工程过鱼设施设计规范》第 3.3.4 条规定，池室水深应视过鱼对象的体高和习性确定，可取 0.5~1.5m；第 4.3.5 条规定，通道内水深应根据过鱼对象的体形尺寸与生态习性确定，不应小于 0.2m。综合考虑，最小水深可取 0.2m，无特殊保护要求的，最小水深可适当放低要求，但不宜造成明显的河床裸露。

4 生态流量泄放

4.1 一般规定

4.1.1 水电站生态流量泄放方案，一般需要在调查评价的基础上，结合工程实际编制。

4.1.2 改建生态流量泄放设施的主要方式如下：

(1) 改造引水系统。渠道引水式电站，在渠道过坝后的适当位置开口修建侧堰或埋设放水管，向下游坝后河道泄放流量；隧洞引水式电站，可利用原有的近坝施工支洞改造或新挖泄水洞，并安装放水管向下游河道泄放流量；有设置生态机组条件的，可在放水管出口安装生态机组。

(2) 改造泄洪闸。对闸坝电站，可控制一孔或多孔闸门一定开度向下游河道泄放流量。闸门泄流开度通过闸孔泄流公式计算确定后，可通过闸门行程控制器或在闸底板设置限位墩（水泥墩）等方式控制。

(3) 改造溢洪道闸门。根据电站枢纽布置的实际情况，可对溢洪道工作闸门进行改造，设置门中门或舌瓣门，增设启闭设备，向下游泄放流量。

(4) 改造大坝放空设施。对大坝原有的底孔设施（如导流底孔、排沙孔、水库放空孔、泄洪洞等）进行改造，增设闸控系统，调整调度运行方式，泄放生态流量。

(5) 设置生态基荷或采用反调节调度，利用现有机组发电进行泄流。

4.1.3 在特枯年份或正常年份的枯水期，水电站上游来水流量小于规定应下泄的生态流量的情况比较普遍，河道存在天然减水，《关于深化落实水电开发生态环境保护措施的通知》（环发〔2014〕65号）规定，“当天然来流量小于规定下泄最小生态流量时，电站下泄生态流量按坝址处天然实际来流量进行下放”，

体现的是“来多少泄多少”的要求。此外，不少小型水电站具有综合利用功能，承载着防汛抗旱的重任，按照法律规定，防汛抗旱、供水要优先予以保障。

4.2 泄放设施

4.2.1 本条列出了目前常用的水电站生态流量泄放设施。随着应用经验的积累及科学技术的进步，将会有更多可选类型。

1 水电站最低运行水位一般取水库死水位（设计低水位）。

3 例如对于拱坝等整体结构要求较高的坝体，开孔增设生态流量泄放设施将改变整个坝体的应力分布，在孔口处形成应力集中，增加坝体结构破坏的危险。

4 重点考虑有压进水口的最小淹没水深要求，对于圆形断面的有压管道，其进口管底淹没深度一般不小于 1.5 倍管径。

4.2.2 无压生态泄流孔（槽）和有压生态泄流孔（槽）是按流道是否承压来划分的。无压生态泄流孔（槽）采用表孔堰流的方式泄放生态流量，具有自由液面；有压生态泄流孔（槽）是采用中孔或底孔，以有压流的方式泄放生态流量。生态泄流孔（槽）无节制阀（闸），泄流能力取决于作用水头（水库水位），当水库水位变幅小时，泄流能力才能稳定。

4.2.4 生态泄流阀常用于水库水位变幅大的水电站。当水库水位变幅大时，若按最低水位设计过流能力，则高水位时泄放流量较大，会增加弃水和发电损失，此时采用生态泄流阀可以根据需要调节下泄流量。

4.2.6 生态泄流闸常用于河床式水电站拦河闸，以及引水式及混合式水电站引水渠渠首或压力前池侧向开口处。

4.2.8 对于拱坝等坝体不宜开孔的情况，生态虹吸管是一种可行的泄流设施。

4.2.10 初期投入较大，但可减少因下泄生态流量所带来的发电量损失。

4.3 运行调度

4.3.1 有调节能力的水电站，可通过水量的年内甚至年际调节，在枯水季节来水流量不足时，尽可能地提高下游河道生态流量保证率，调节能力越大，效果越明显。对于引水式或混合式水电站，还可通过提高发电水位，减少发电耗水量，以保障厂坝间河段的生态流量。没有调节能力的水电站，可转变运行方式或实行限制运行，增加坝（闸）下游下泄流量保障。

4.3.2、4.3.3 水电站运行调度包括单站（库）调度、梯级联合调度以及流域统一调度。同一流域的水电站参与联合调度的越多，流域内河道的生态流量越容易保障，同时还能取得较好的总体发电效益。

5 辅助工程设施

5.1 一般规定

5.1.1 调节能力较小的、承载着防汛抗旱重任等具有综合利用功能的、建设在河道底坡较陡的季节性河流上的水电站，其下游河道生态流量一般难以保障，修建辅助工程设施后才能维持一定的水面域和水生生境，达到缓解下游河道减脱水的目的。

5.2 生态跌坎

5.2.1 典型的生态跌坎如图 2 所示。一般取用卵石、漂石或块石等体型较大的石料堆筑而成，跌坎两侧高，中间低，具有顶部及全断面大孔隙过流特性，顶部过流面不规则。在汛到来流较多时，跌坎整体处于淹没状态，增加泄流能力；在枯期来流较少时，中间较低处形成过流主槽，保障上下游连通。

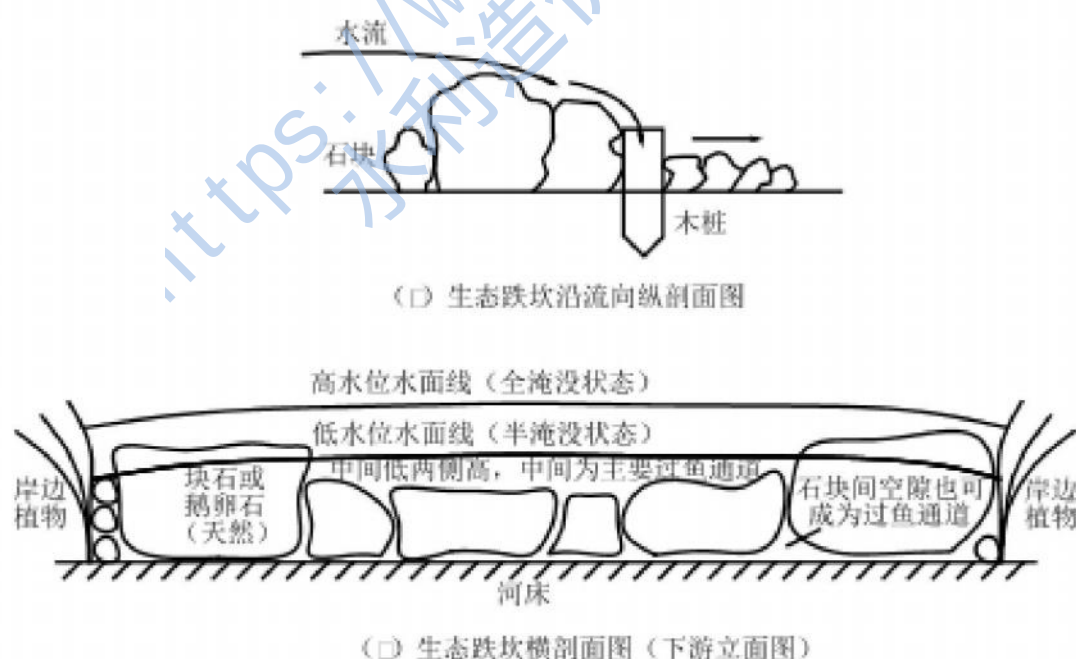


图 2 生态跌坎示意图

5.2.2 生态跌坎一般不设消能设施，从防冲要求考虑，一般选用粒径较大的；从河道连通性和水生生物洄游要求考虑，一般选用粒径较小的。

在中小河流中，按照最小水深不小于 0.2m 的控制要求，坎高一般为 0.3~0.6m，部分河道汛期流速较大的，坎高受卵石（60~200mm）、漂石（粒径为 200~800mm）或块石（粒径>150mm）的最大粒径及运输、施工条件限制，一般都在 2m 以内。

关于生态跌坎形成的跌水落差，主要考虑过鱼要求。SL 609—2013 第 6.1.1 条指出隔板式鱼道最大级差为 0.2m。NB/T 35054—2015 第 3.3.4 条指出，国外鱼道池室间水位差在 0.15~0.6m，多为 0.3~0.45m，主要过鲑鱼、鳟鱼、鲱鱼；国内鱼道池室间水位差在 0.02~0.3m，部分小于 0.05m，主要过青鱼、草鱼、鲢鱼、鳊鱼和鲤鱼、螃蟹等。综合考虑，跌水落差以不大于 0.3m 为宜。

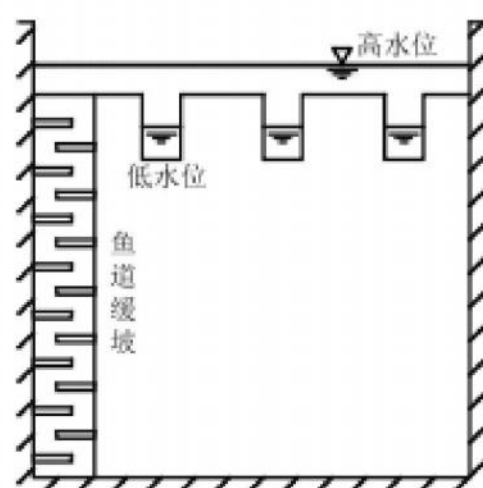
5.2.3 中小河流河道比降一般在 3‰左右，按照生态跌坎坎高 2m、远端控制断面最小水深 0.2m 估算，跌坎间距约为 600m。

5.3 生态堰坝

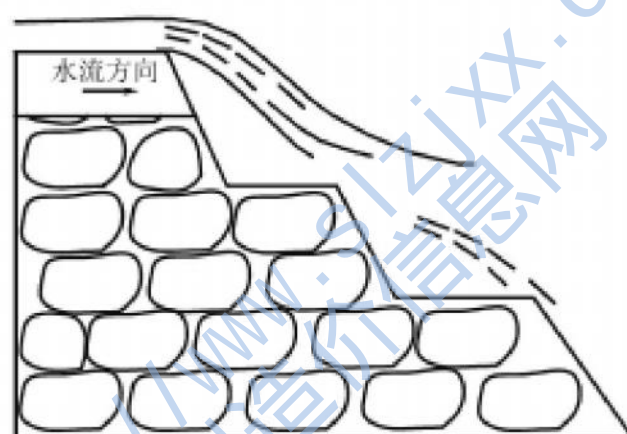
5.3.1 典型的生态堰坝如图 3 所示。生态堰坝多采用人工材料（混凝土），顶部过流或规则的孔口过流，下游水深一般较小，当顶部过流时，易形成跌水。

5.3.2 生态堰坝按照材料和施工工艺，一般有干砌石堰、浆砌块石堰、圪工硬壳堰、堆石堰几种类型。为了节省材料，还可以构造拱形堰、石墩闸板堰等轻型堰。

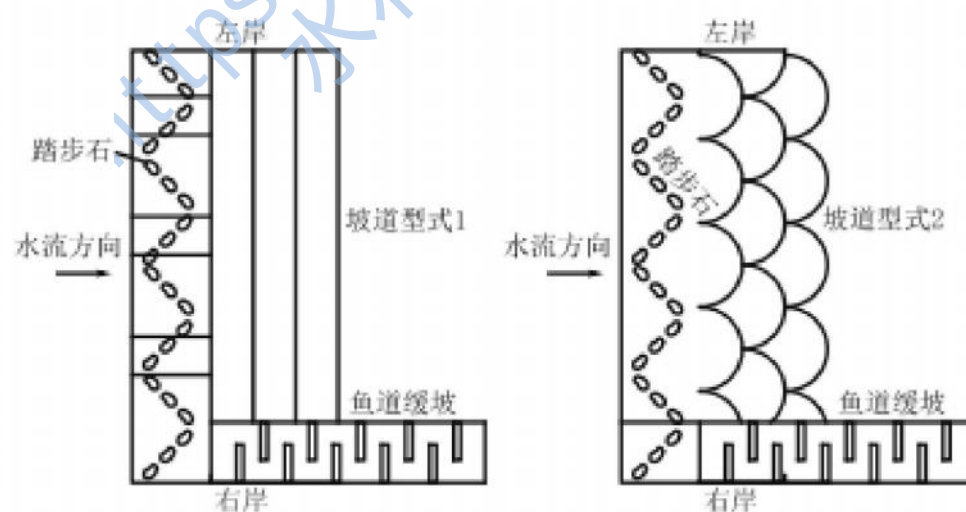
1 限制生态堰坝高度（河床以上部分）可在新增水面域的同时尽可能维护河流纵向连通性。如图 4 所示，从适宜建设鱼道的角度考虑，国内大多数鱼道设计水位差在不超过 5m，其中剔除 5m 以上的平均值为 2.4m，并分布在 3m 左右。表 1 的实际



(c) 横剖面图



(d) 纵剖面图



(e) 平面图

图 3 生态堰坝示意图

工程，其应用效果较好，应用河段现状河面宽为 20~100m，平均河面宽为 44.5m，河床以下基础深度为 2.5~8m，平均约为 5.9m，河床以上高度均为 1.5m，不超过 3m。

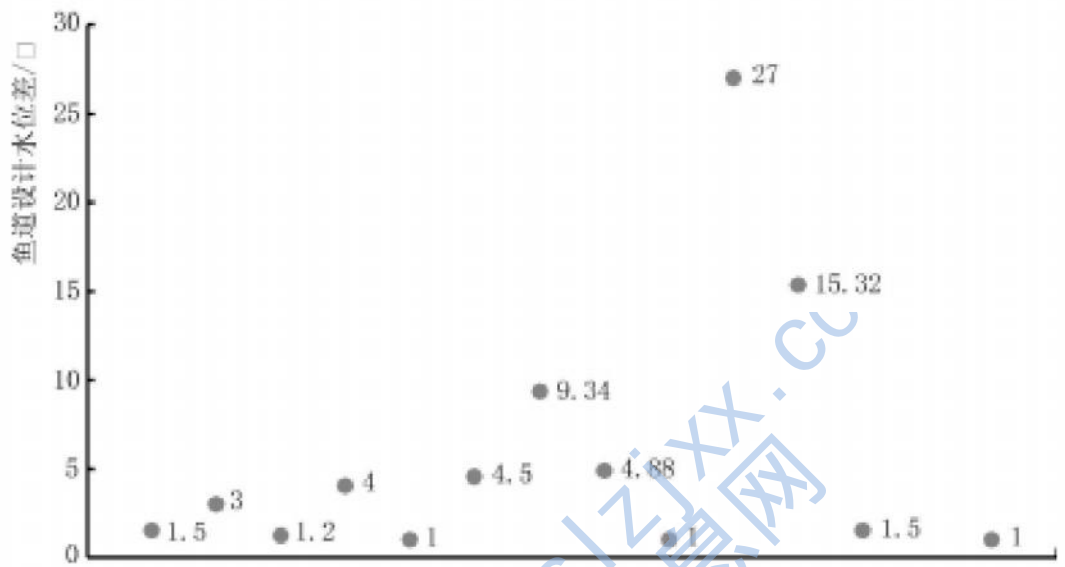


图 4 我国部分鱼道设计的水位差

表 1 兴山县河道修复工程基本参数统计表

序号	生态堰坝名称	堰坝型式	单个堰坝级数	堰坝高度 /m			断面宽度 /m		堰坝长度或河道断面宽度 /m	所在河流	河段底坡 /%
				总高 (含基础)	河床以上	河床以下	顶宽	底宽			
1	大花坪	S 型	3	6.2	1.5	4.7	3.5	30	100	南阳河	6
2	刘家湾	直线型	3	9.5	1.5	8	0.9	13.5	38	南阳河	6
3	白沙河	直线型	2	9.5	1.5	8	1	8.5	50	南阳河	6
4	昭君村	S 型	3	9.5	1.5	8	0.9	13.5	60	南阳河	6
5	落步河	直线型	4	7.5	1.5	6	1	27	44	南阳河	6
6	土地庙	直线型	1	4.5	1.5	3	1.5	6	28	南阳河	6
7	盐水河	直线型	3	9.5	1.5	8	0.9	13.5	30	南阳河	6
8	月亮湾	直线型	3	9.5	1.5	8	0.9	13.5	62	南阳河	6

表 1 (续)

序号	生态 堰坝 名称	堰坝 型式	单个 堰坝 级数	堰坝高度 /m			断面宽度 /m		堰坝长 度或河 道断面 宽度 /m	所在 河流	河段 底坡 /‰
				总高 (含基础)	河床 以上	河床 以下	顶宽	底宽			
9	一线天	直线型	2	9.5	1.5	8	1	35	45	南阳河	6
10	湘坪	直线型	3	9.5	1.5	8	0.9	13.5	40	南阳河	6
11	止漂点	弧型	6	5	1.5	3.5	1	18	60	高岚河	10
12	高岚河桥	直线型	4	5.2	1.5	3.7	0.9	11.5	20	高岚河	10
13	雾龙洞	直线型	3	4	1.5	2.5	0.5	14	23	高岚河	10
14	磷矿 检查站	弧型	4	4	1.5	2.5	1	15	23	高岚河	10
最小			1	4.0	1.5	2.5	0.5	6.0	20		6
最大			6	9.5	1.5	8.0	3.5	35.0	100		10
平均			3	5.4	1.5	5.9	1.1	16.6	44.5		7

2 SL 609—2013 第 6.2.3 条规定,仿生态式鱼道底坡根据主要过鱼种类特性具体确定,宜为 1:100~1:20 之间;第 6.3.3 条规定,槽式鱼道底坡宜为 1:5~1:10 之间。NB/T 35054—2015 第 3.1.2 条规定,鱼道坡度宜在 1:10~1:30 之间;第 4.3.3 条规定,过鱼通道应尽可能平缓,坡降不宜大于 1:20。如图 5 所示,国外鱼道坡度 1:25~1:7.5 之间,大多在 1:20 左右;国内鱼道坡度在 1:100~1:10 之间,大多在 1:60 左右。综上所述,结合小型水电站的特点,建议坡度宜在 1:60~1:10 之间,可结合保护对象确定。

3 为了维护河流纵向连通性,除有防洪等特殊要求外,生态堰坝建筑材料少用混凝土。

5.3.4 如图 6 所示,采用相同坝高等距布置时,在坝高一定的情况下,生态堰坝间距主要取决于河道底坡。中小河流河道底坡

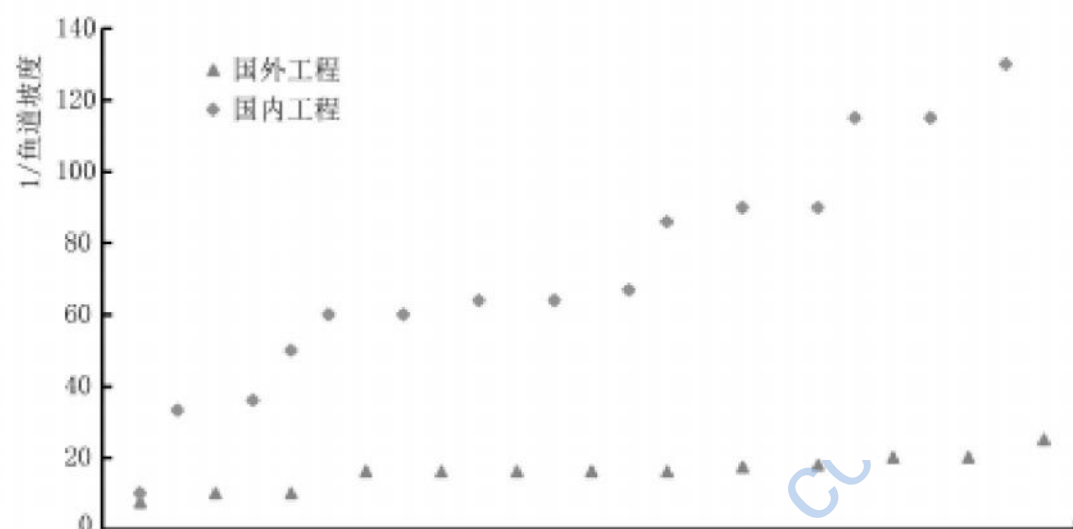


图 5 国内外部分鱼道坡度

一般在 3‰左右，按照生态堰坝坝高不超过 3m、控制断面最小水深不小于 0.2m 估算，则生态堰坝间距约为 1km。

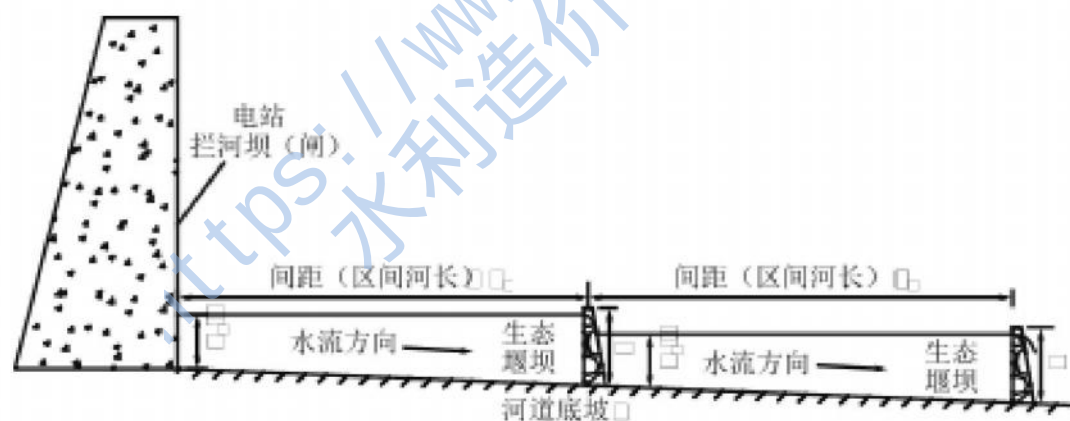


图 6 生态堰坝的高度及间距关系示意图

5.4 生态闸坝

5.4.2 如图 7 所示，生态闸坝常采用底部基础带生态泄流孔（槽）的水力自控翻板闸。

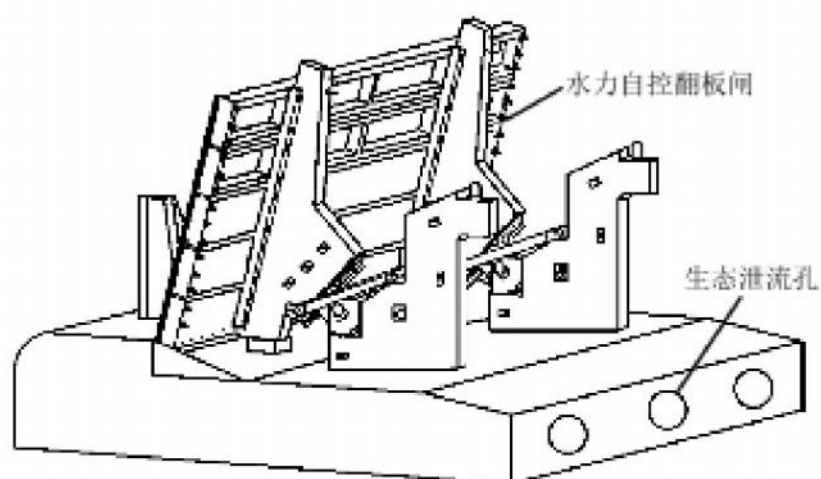
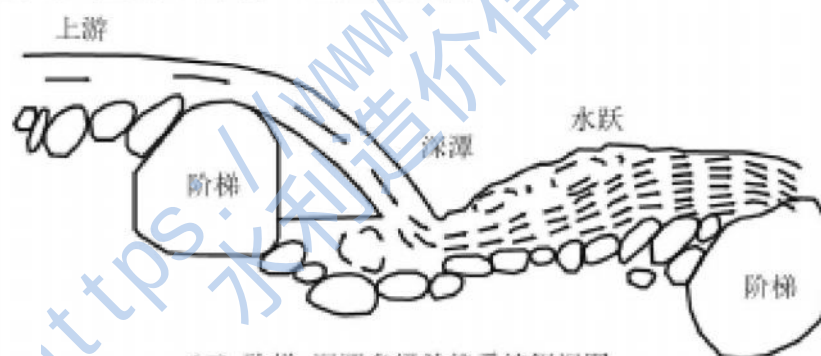


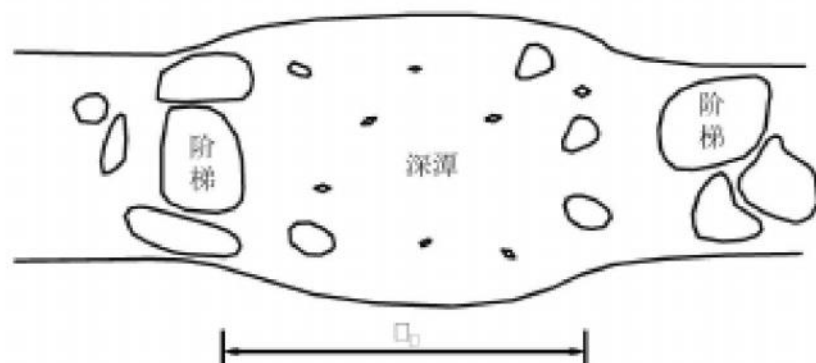
图7 底部基础带生态泄流孔的水力自控翻板闸结构示意图

5.5 阶梯-深潭系统

5.5.2 典型的阶梯-深潭如图8所示，采用卵石、漂石或块石构造，平面排布呈近似抛物线形（拱向上游侧），以提高阶梯的稳定性，并沿水流方向有一定的阶梯。



(a) 阶梯-深潭多级效能系统侧视图



(b) 阶梯-深潭多级效能系统俯视图

图8 阶梯-深潭示意图

5.5.3 如图 9 所示，阶梯-深潭中的阶梯高度与构成阶梯的最大粒径有直接的关系，而与河道底坡基本无关，其中卵石、漂石或块石的最大粒径是指构成阶梯的最大卵石、漂石或块石大小，树木堆积物最大粒径是指树木的最大直径。考虑到材料最大粒径以及水生生物特别是洄游性物种对河道纵向连通性的要求，阶梯-深潭系统阶梯高度一般不超过 2m。例如湖北兴山古夫河修复工程，5 级阶梯-深潭系统阶梯高度均不超过 2m。

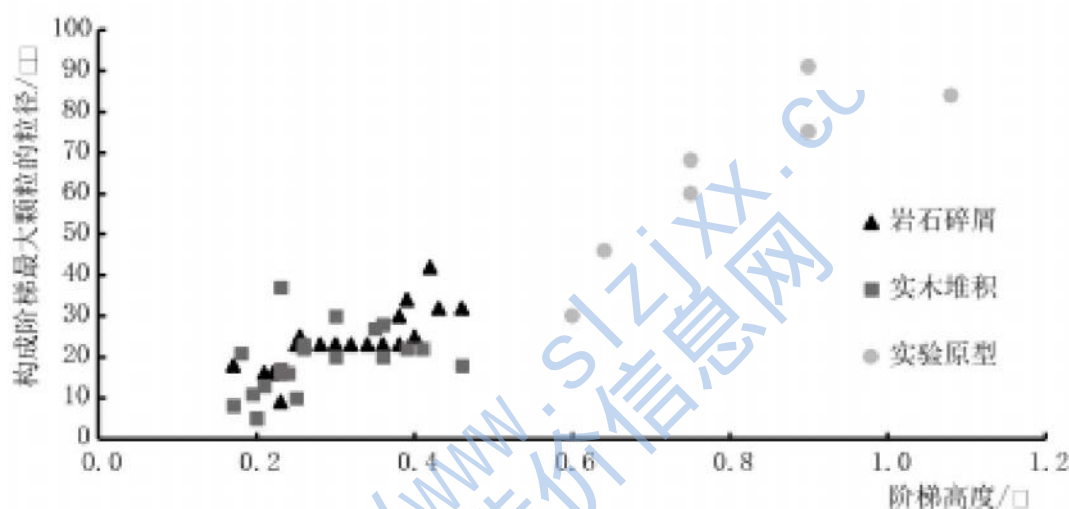


图 9 阶梯-深潭系统中的阶梯高度与构成阶梯的粒径间的关系

5.5.4 阶梯单元长度指相邻阶梯梯顶之间的距离，习惯简称阶梯间距。如图 10 所示，研究表明阶梯间距是随着坡度的增大而减小。计算系数 k 的取值主要根据阶梯-深潭系统的稳定性确定 ($i \leq (H/L) \leq 2i$)， k 可在 1~2 之间取值，一般取中间值。

5.5.5 每对阶梯-深潭系统的间距取值，《农村河道生态治理方法研究及其应用》（樊进娟，大连理工大学，2015）建议按河宽的 5~7 倍距离交替布置，《农村水电增效扩容改造河流生态修复指导意见》（水电〔2016〕60 号）指出，按河宽的 3~10 倍距离交替布置。考虑到阶梯-深潭系统的适用条件，本标准按河宽的 3~10 倍距离交替布置。

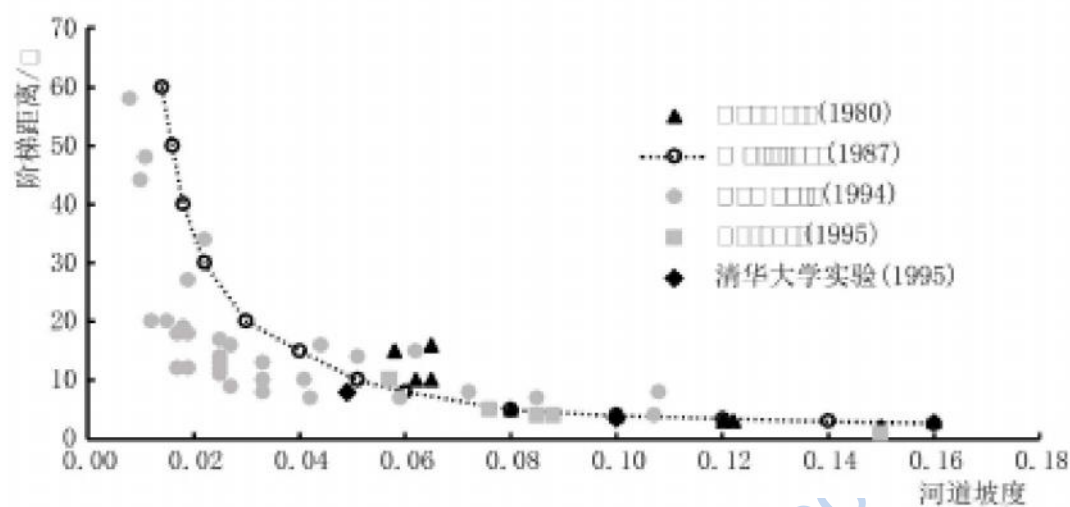


图 10 阶梯-深潭系统中的阶梯距离与构成阶梯的粒径间的关系

5.6 河道纵向深槽

5.6.2 典型的河道纵向深槽（亦称深泓）如图 11 所示。天然河道深槽多为单个，部分河道也可形成多个深槽。

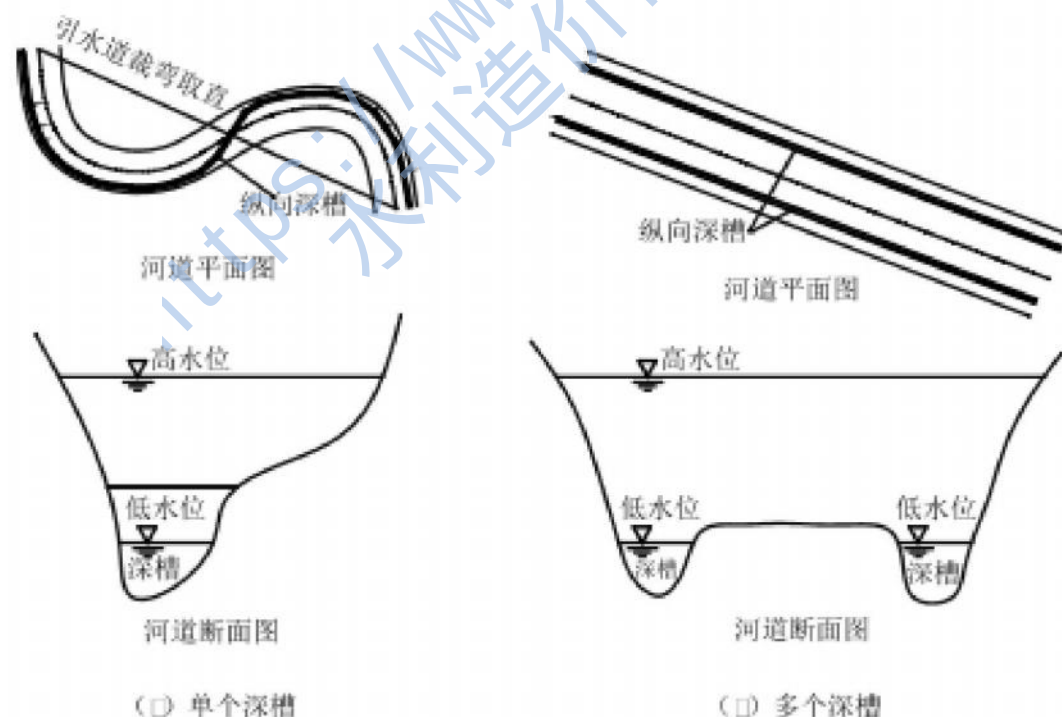


图 11 河道纵向深槽示意图

6 监测与维护

6.1 流量监测

6.1.1 生态流量监测系统可为生态流量泄放调度管理和主管部门监督提供技术支持，该系统若能与水电站计算机监控系统结合，实现无人值班或少人值守，则有利于电站的日常管理和维护，节省人工成本。

6.1.3 为如实反映水电站坝（闸）处瞬时下泄流量，根据实践经验，数据记录及传输时间间隔一般不超过15min，每小时的有效数据不少于1个。可通过有线、光缆、电话线、微波、无线或宽带网等与上级管理部门的计算机之间通信，实现远程监控，也可与局域网联网，实现资源共享。

5.5.3 如图 9 所示，阶梯-深潭中的阶梯高度与构成阶梯的最大粒径有直接的关系，而与河道底坡基本无关，其中卵石、漂石或块石的最大粒径是指构成阶梯的最大卵石、漂石或块石大小，树木堆积物最大粒径是指树木的最大直径。考虑到材料最大粒径以及水生生物特别是洄游性物种对河道纵向连通性的要求，阶梯-深潭系统阶梯高度一般不超过 2m。例如湖北兴山古夫河修复工程，5 级阶梯-深潭系统阶梯高度均不超过 2m。

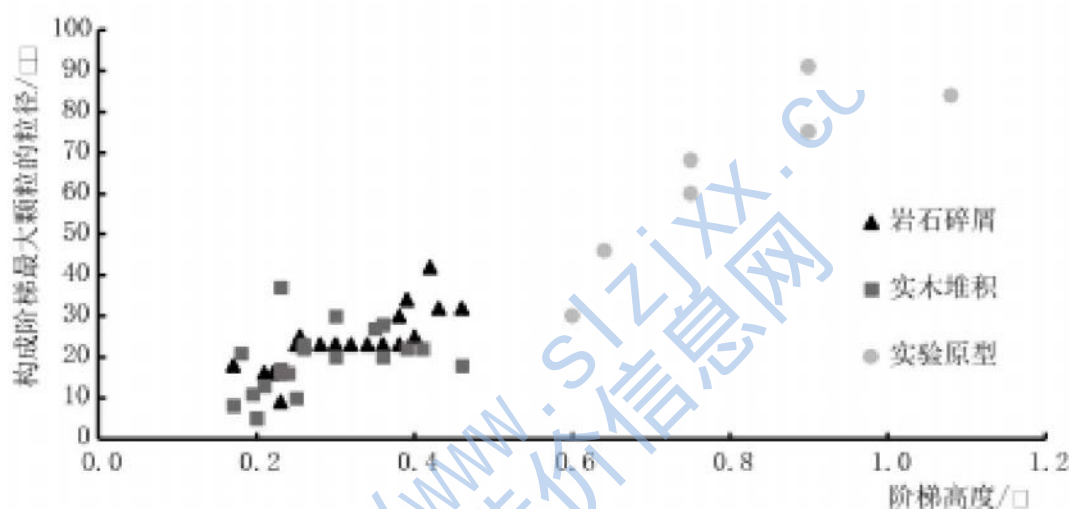


图 9 阶梯-深潭系统中的阶梯高度与构成阶梯的粒径间的关系

5.5.4 阶梯单元长度指相邻阶梯梯顶之间的距离，习惯简称阶梯间距。如图 10 所示，研究表明阶梯间距是随着坡度的增大而减小。计算系数 k 的取值主要根据阶梯-深潭系统的稳定性确定 ($i \leq (H/L) \leq 2i$)， k 可在 1~2 之间取值，一般取中间值。

5.5.5 每对阶梯-深潭系统的间距取值，《农村河道生态治理方法研究及其应用》（樊进娟，大连理工大学，2015）建议按河宽的 5~7 倍距离交替布置，《农村水电增效扩容改造河流生态修复指导意见》（水电〔2016〕60 号）指出，按河宽的 3~10 倍距离交替布置。考虑到阶梯-深潭系统的适用条件，本标准按河宽的 3~10 倍距离交替布置。