

ICS 13.060

CCS 编号

团 体 标 准

T/CAQI xxx-xxxx

引水式电站生态化改造技术导则

Technical guidelines for ecological reconstruction of Overflow Dam

Section of Diversion Power Station

(征求意见稿)

2022-xx-xx 发布

2022-xx-xx 实施

中国质量检验协会 发布

目 次

前 言	错误！未定义书签。
目 次	2
1 总 则	4
2 术 语	5
3 调查与评价	6
3.1 一般规定	6
3.2 调查评价应收集资料：	6
3.3 应根据调查评价资料，分析确定引水式电站生态胁迫效应，如河道减脱水范围、受到阻隔的相关洄游鱼类等。在生态影响分析基础上，进一步确定生态化改造目标与措施，生态化改造目标应与生态保护对象水平相适应。	6
4 引水式电站生态化改造目标与要求	7
4.1 生态化改造目标与要求	7
5 引水式电站溢流坝段鱼坡式生态化改造技术	8
5.1 生态化改造技术要点	8
5.2 溢流坝段鱼坡式生态化改造流程	8
5.3 鱼坡结构布置	8
6 水力计算	11
6.1 一般规定	11
6.2 生态化改造设施水力计算	11
7 生态化改造效果监测与设施维护	13
7.1 项目管理	13
7.2 生态化改造效果监测	13
7.3 生态化改造设施维护	13
附录 A 引水式电站生态化改造算例	14
附录 B 标准用词说明	16

前 言

本标准按 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》的规则起草。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国质量检验协会归口。

本标准起草单位：中国水利水电科学研究院、青岛中质脱盐质量检测有限公司。

本标准起草人：

本标准在执行过程中的意见或建议反馈至中国质量检验协会标准化办公室。

本标准为首次发布。

1 总 则

1.0.1 为克服河道拦河建筑物处鱼类洄游障碍、消除引水式电站生态影响，改善电站挡水建筑物上下游间河流连通性，制定本标准。

1.0.2 本技术导则主要适用于利用溢流坝段引水、溢流坝段上下游水头差较小的引水式电站生态化改造工程。

1.0.3 引水式电站生态化改造工程实施除应符合本导则的规定外，尚应符合现行国家有关标准的规定。

1.0.4 电站生态化改造技术实施方案应遵循下列原则：

- 1 符合国家及地方生态、环境建设的总体方针、政策。
- 2 与批复的流域综合规划、防洪规划、水能开发规划等相协调。
- 3 不影响原电站设计的安全等级。
- 4 因地制宜，设计可行，防治结合，经济节约。

1.0.5 本标准主要引用下列标准：

《小型水力发电站设计规范》 GB 50071

《河流流量测验规范》 GB 50179

《防洪标准》 GB 50201

《水文自动测报系统技术规范》 SL 61

《水环境监测规范》 SL 219

《溢洪道设计规范》 SL 253

《水工建筑物与堰槽测流规范》 SL 537

《水利水电工程鱼道设计导则》 SL 609

《水文监测数据通讯条约》 SL 651

《河湖生态修复与保护规划导则》 SL 709

《小型水电站下游河道减脱水防治技术导则》 SL/T 796

《河湖生态系统保护与修复工程技术导则》 SL/T 800

《水电工程生态流量计算规范》 NB/T 35091-2016

《水电工程过鱼设施设计规范》 NB/T 35054

2 术语

2.0.1 引水式电站 diversion type hydropower station

利用明渠、隧洞、管道、渡槽等引水建筑物集中水头的水电站。

2.0.2 生态化改造 ecological reconstruction

采取修复、改造等工程措施，促使受到水利工程影响的河湖恢复到较为自然的状态，以提高其生态完整性和可持续性。

2.0.3 生态胁迫 ecological stress

指来自人类对生态系统正常结构性和功能性干扰，这些干扰往往超出生态系统承受能力范围，导致生态系统发生不可逆的变化甚至退化或崩溃。

2.0.4 鱼坡 fish slope

鱼坡是为鱼类洄游专门设计的一种鱼道形式，是具有粗糙表面的缓坡，可以满足鱼类溯河和游泳需求。

2.0.5 溢流坝段 over flow dam

为满足生态流量泄放和鱼类洄游需求，将鱼坡结构整体嵌入堰坝中，构成的组合结构称为鱼坡式溢流坝段。

2.0.6 鱼类洄游 migration of fish

鱼类由于环境的变化或生理的需要进行的定期、定向往返规律性的游动。

3 调查与评价

3.1 一般规定

开展生态化改造工作前应通过资料收集、现场调研等方法分析项目区及周边影响区的水文水资源、水环境、水生态以及监测能力等方面的基础情况，探明目标电站现有生态环境保护措施类型及有效性。

3.2 调查评价应收集资料：

1 所在河流域规划、流域特性、行政区划、水资源分区、生态红线等相关规划和管控要求。

2 水生生物分布、河岸带或湖滨带生物分布、重要水生生物生存现状、重要水生生境状况等河流生物状况。

3 水文信息、泥沙测验和计算、水资源状况等水文水资源资料。

4 河流水系概况、河流地貌特征、地貌单元、河床底质等河流地貌资料。

5 关联水库的调节性能和运行调度方案。

6 已采取的生态化改造措施及运行状况。

7 其他相关资料。

3.3 应根据调查评价资料，分析确定引水式电站生态胁迫效应，如河道减脱水范围、受到阻隔的相关回游鱼类等。在生态影响分析基础上，进一步确定生态化改造目标与措施，生态化改造目标应与生态保护对象水平相适应。

4 引水式电站生态化改造目标与原则

4.1 生态化改造目标

- 1 应保障厂坝间河段居民用水和河道生态流量。
- 2 应保障鱼类能够上溯或降河运动。
- 3 应增设生态用水监测设施，实现下泄流量自动管理。

4.2 引水式电站生态化改造原则

1 协调发展原则：生态化改造工程应与水资源管理、水环境综合治理相协调，服从流域综合规划、水资源保护规划，并与其他规划衔接。

2 生态完整性原则：指河流生态系统结构与功能的完整性，包括水文情势、河湖地貌形态、水体物理化学特征和生物组成，各生态要素交互作用，形成了完整的结构并具备一定的生态功能。

3 自然化原则：通过生态化改造措施，恢复受水利工程影响河段水文情势、生物等生态要素的自然特征。

5 引水式电站溢流坝段鱼坡式生态化改造技术

5.1 生态化改造技术要点

5.1.1 引水式电站拦河闸坝进行生态化改造时，应保留拦河闸坝大部分，以继续发挥挡水和泄洪功能。只改造部分溢流坝段，用于下泄水流以保证生态流量，改造的溢流坝段按鱼坡结构设计。

5.1.2 进行挡水建筑物生态化改造时将鱼坡结构整体嵌入堰坝中，构成鱼坡式溢流坝段组合结构，满足生态流量的要求，同时解决鱼类洄游问题。

5.1.3 新建引水式电站，在设计时应考虑生态流量泄放和鱼类洄游问题，将鱼坡式溢流坝段结构作为初始设计选择。

5.2 溢流坝段鱼坡式生态化改造流程

5.2.1 基于生态保护目标核算生态流量。河道生态流量计算方法可参考 SL/T 796-2020 中相关规定。

5.2.2 生态化改造坝段布设应保留拦河闸坝大部分，继续发挥挡水和泄洪功能，坝顶高程和改造宽度应根据所在河道生态流量和鱼类游泳能力确定。

5.2.3 为防止溢流坝泄水和厂房尾水将鱼类诱离鱼坡，需在尾水区设导鱼栅等装置，并在鱼坡进口设诱鱼系统。

5.2.4 改建后的鱼坡式溢流坝体可设置必要的观测设施，以满足对流速、流量、水深、过鱼数量、种类、规格等观测记录的需要。

5.3 鱼坡结构布置

5.3.1 鱼坡应布置在流量较大的河岸一侧，占据原有堰坝的部分位置。鱼坡与原有堰坝间应布设起隔离作用的导墙，或在鱼坡与堰坝高差衔接处布置锥坡过渡，防止鱼道内出现旋涡，影响过鱼效果。

5.3.2 鱼坡上游端应设置调节闸门，控制汛期洪水下泄，避免冲毁鱼坡，也防止流量过大导致流速超过洄游极限流速。

5.3.3 鱼坡下游应尽量向河道下游延伸，使鱼类尽早探测到感应流速。

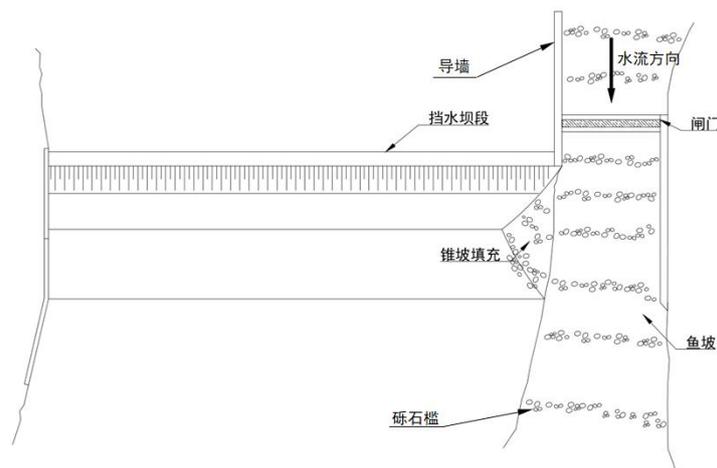


图 4.3.3 鱼坡式溢流坝段平面布置图

5.3.4 鱼坡斜面宜采用砾石等表面粗糙的自然材料铺设，于砾石上间隔布置大砾石或砾石槛，起消能和形成水池作用。

5.3.5 为防止冲刷侵蚀，鱼坡与河道衔接处宜铺设砾石，其高度应超过最高水位，在砾石护坡以上部位，可采用天然植物护岸、土工织物扁袋护岸等自然型岸坡防护结构。

5.3.6 为防止砾石滑动或者被冲刷，鱼坡下游与河床衔接处应布置消力池，长度由鱼坡流速和河床水深决定，一般取 3-7 m。

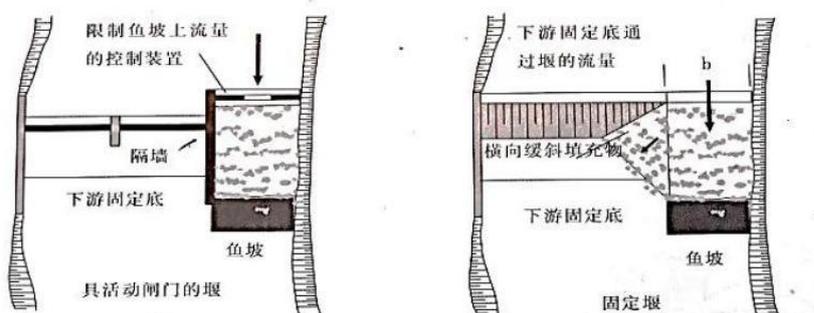


图 4.3.5 鱼坡坡面布置

5.3.7 鱼坡坡面结构应采用大砾石嵌入式缓坡、松散填石缓坡和嵌入式砾石槛缓坡三种类型。

1. 大砾石嵌入式缓坡。应用于纵坡降 1:8~1:10 的陡坡，大砾石尺寸 0.6-1.2 m，采用坐浆法单层铺设在鱼坡碎石垫层上，垫层下部铺设土工布。鱼坡用钢板桩、夯入式钢梁、钢轨等横向连续构建固定砾石。

2. 松散填石缓坡。多层砾石沿鱼坡铺设，最上层间隔布置大砾石，砾石顶部高出平均水位，全部鱼坡填石厚度为最大砾石尺寸的两倍以上。该布置形式可在河道枯水期时鱼坡内仍保持一定水深，同时铺设的大砾石可以在鱼坡流速过快时起到消能作用。

3. 嵌入式砾石槛缓坡。砾石和大砾石构筑的砾石槛组合铺设，砾石槛沿鱼坡间隔布置，形成阶梯式缓坡，考虑到过鱼效果，相邻砾石槛间应保证水位差小于 0.2 m，在平面上，砾石槛相互呈“人”字形紧密咬合，提高砾石槛稳定性的同时，增加过水前沿长度。在鱼坡尾

部，通过构筑体积更大的砾石槛与河床衔接。该布置形式要求河床坡度 $I < 1:15$ ，适用于挡水建筑物上下游水位差较小，或鱼坡铺设长度较长情况。

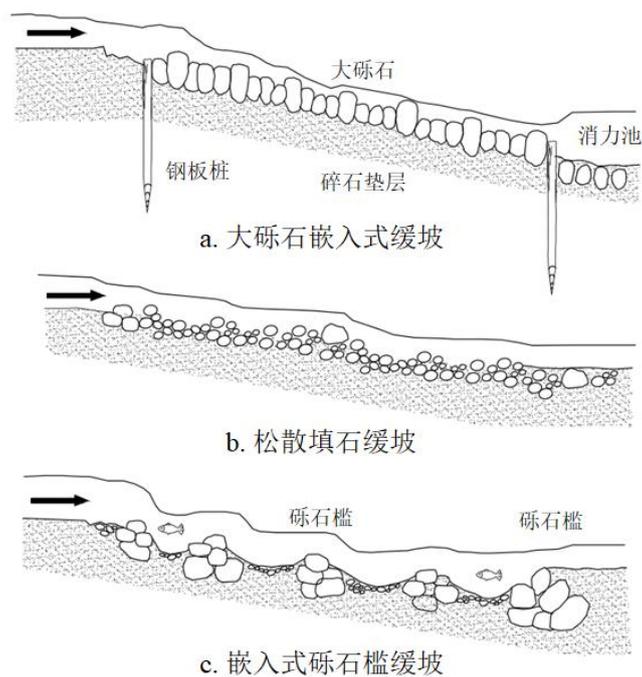


图 4.3.2 鱼坡式溢流坝段鱼坡纵剖面结构

6 水力计算

6.1 一般规定

进行水力计算时，应遵循水利水电工程过鱼设施设计规范（NB/T 35054-2015）和水利水电工程鱼道设计导则（SL 609-2013）中仿自然过鱼设施建造要求，生态化改造设施不宜修建在高山峡谷区和人口稠密区。为确保不同季节过鱼能力，鱼坡进口与出口水深不宜小于1 m，下游底坡坡度一般为1:100~1:20，流速、水深根据不同过鱼对象游泳速度、河流大小和规模确定，平均流速可取0.4~0.6 m/s，最大流速可取1.6~2.0 m/s，鱼坡内水深应不小于0.3 m。

6.2 生态化改造设施水力计算

水力计算包括流量计算、嵌入砾石渠道的阻力系数计算和蛮石槛水力计算三部分。

6.2.1 流量计算

鱼坡流速 v_m 采用明渠平均流速表示，计算公式如下：

$$v_m = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \sqrt{8gr_{hy}I} \quad (1)$$

$$r_{hy} = \frac{A}{L_u}$$

式中， A 是过水断面面积， m^2 ； L_u 是湿周， m ； I 是坡度； r_{hy} 是水力半径； λ 是阻力系数。

渠道凹凸不平，稳态均匀流的阻力系数 λ 按下式计算

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \frac{k_s / r_{hy}}{14.84} \quad (2)$$

(有效条件 $k_s < 0.45 < r_{hy}$)

式中， k_s 是粗糙度当量直径，可用砾石平均直径 d_s 表示；混合石材可用粒径 d_{90} 表示。

底部粗糙的渠道和砾石槛阶梯式缓坡上临界流阻力系数函数如下：

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -3.2 \log \left[(0.425 + 1.01I) \frac{k}{h_m} \right] \quad (3)$$

(有效条件 $I=1:8 \sim 1:15$ ，砾石平均直径 $d_s=0.6 \sim 1.2m$)

式中， k 是嵌入砾石粗糙度， $k=(1/3 \sim 1/2)d_s$ ， d_s 是砾石平均直径， m 。

鱼坡运行流量 Q 计算公式如下：

$$Q = v_m A \quad (4)$$

6.2.2 嵌入砾石渠道的阻力系数计算

无论是嵌入大砾石的旁路水道还是鱼坡，其总阻力系数 λ_{tot} 应包含两部分，即底部粗糙表面的阻力系数 λ_o 和嵌入大砾石阻力系数 λ_s 。总阻力系数 λ_{tot} 由下式计算：

$$\lambda_{tot} = \frac{\lambda_s + \lambda_o(1 - \varepsilon_o)}{(1 - \varepsilon_v)} \quad (5)$$

式中， ε_v 是容积比（等于大砾石浸没体积 ΣV_s 与总体积 V_{tot} 之比，即 $\varepsilon_v = \Sigma V_s / V_{tot}$ ， $V_{tot} = A \times L$ ， A 为大砾石浸湿表面积， L 为水道段长度）； ε_o 为面积比（等于大砾石面积与底总面积之比，即 $\varepsilon_o = \Sigma A_{O.S} / A_{O.tot}$ ， $A_{O.S}$ 为大砾石表面积， $A_{O.tot}$ 为基底总面积， $A_{O.tot} = L_u \times L$ ， L_u 为水道横断面湿周长度， L 为水道段长度）。

$$\lambda_s = 4C_w \Sigma A_s / A_{O.tot} \quad (6)$$

式中， C_w 是形状阻尼系数， $C_w \approx 1.5$ ； A_s 是大砾石浸湿面积； $A_s = d_s \times h^*$ ， d_s 是砾石直径； h^* 是水仅环绕砾石流动时的平均水深 h_m ，或砾石完全浸没时的砾石高度 h_s （图 4）。

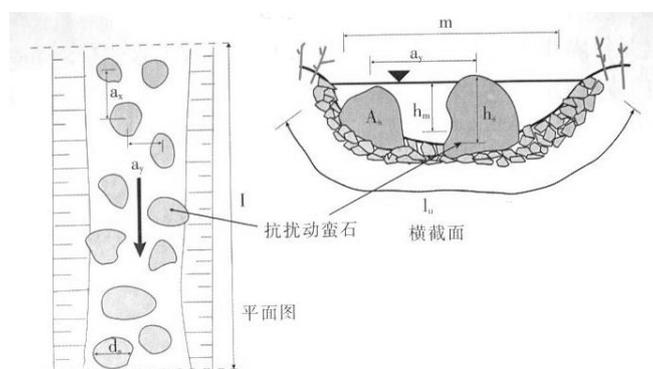


图 5.2.2 大砾石阻力系数计算

底部的阻力系数 λ_o 可由总横断面的水力半径 r_{hy} 大致确定。与大砾石的阻力系数相比，底部的阻力系数很小。

6.2.3 蛮石槛水力计算

生态化改造设施中蛮石槛的作用是形成鱼类休息池和降低流速，通常将大蛮石布置在水道中，水流从蛮石的间隙通过，通过水流流量 Q_m 计算公式为：

$$Q_m = \frac{2}{3} \mu \delta \Sigma b_s \sqrt{2gh}^{3/2} \quad (6)$$

式中： μ 为溢流系数； δ 为淹没流税减系数； Σb_s 为蛮石间隙净宽度之和； h 为蛮石槛上游水深。

7 生态化改造效果监测与设施维护

7.1 项目管理

引水式电站生态化改造建设期结束后，需要额外安排项目管理期，在此期间，实施生态管理，包括保育、养护、环保执法、监测和评估等。

7.2 生态化改造效果监测

生态化改造效果监测应包含生态流量监测设施、过鱼效果监测、传输系统、处理平台和发布系统。

7.2.1 生态流量监测系统应符合下列规定

- 1 检测点位于生态流量泄放设施出口位置，或下游附近符合测流要求的河道断面。
- 2 监测设施应包括生态流量测验设施、标志、场地、测船码头等设施。
- 3 生态流量测量方法应符合 GB 50179、SL 61、SL 537 的规定。

7.2.2 过鱼效果监测分为物理类监测和生物类监测，其中物理类监测参数包括鱼道进口、出口、隔板位置的水文信息及气象信息；生物类监测参数包括过鱼时间、数量、种类、个体尺寸、洄游鱼类行为、溯河洄游效率、洄游鱼种、鱼类资源量、洄游损伤率和死亡率和洄游路线。

7.2.3 传输系统应包括利用卫星、无线电和有限网络等，用于实现数据的传输，应符合 SL 651 的规定

7.2.4 处理平台用于储存、管理和分析收到的监测数据。

7.2.5 发布系统用于监测数据的分发和上报，为决策提供科学依据。

7.3 生态化改造设施维护

7.3.1 引水式电站应将生态化改造设施生态流量泄放、过鱼情况监测纳入日常管理工作中。

7.3.2 电站应如实记录生态流量和过鱼设施监测数据，并定期汇总发布。

7.3.3 应根据维护需要合理安排人员数量、维护时间，保证各类改造设施顺利运行。

附录 A 引水式电站生态化改造算例

一个拟用鱼坡结构改建引水式电站闸坝项目，要求鱼坡最低流量为 $Q=1.2 \text{ m}^3/\text{s}$ ，鱼坡纵坡降拟为 1:25 ($I=0.04$)，坡体拟用糙率 $k_s=0.12$ 凹凸不平粗石建造，拟用 $d_s=0.6 \text{ m}$ 的大砾石降低流速，按照平均轴距 $a_x=b_x=1.0 \text{ m}$ 铺设，对于长为 10 m 的鱼坡需要 28 块大砾石。鱼坡横断面为梯形，如图 A1.1 所示。

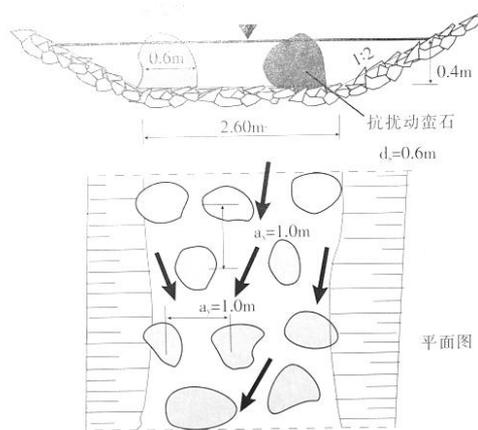


图 A1.1 引水式电站闸坝改建鱼坡算例

过水断面面积 A :

$$A = 2.6 \times 0.4 + 2 \times 0.4^2 = 1.36 \text{ m}^2$$

湿周 L_u :

$$L_u = 2.6 + 2 \times 0.4 \sqrt{1+2^2} = 4.39 \text{ m}$$

水力半径 r_{hy} :

$$r_{hy} = A / L_u = 0.31 \text{ m}$$

横断面水面宽度:

$$b_{sp} = 2.6 + 2 \times 2 \times 0.4 = 4.20 \text{ m}$$

各大砾石浸湿表面:

$$A_s \approx 0.6 \times 0.4 = 0.24 \text{ m}^2$$

长 $L=10 \text{ m}$ 的鱼坡，其容积比和表面积比分别为:

$$\varepsilon_v = \frac{28 \frac{\pi}{4} d_s^2 h}{LA} = \frac{28 \frac{\pi}{4} 0.6^2 \times 0.4}{10 \times 1.36} = 0.233$$

$$\varepsilon_o = \frac{28 \frac{\pi}{4} d_s^2}{LL_u} = \frac{28 \frac{\pi}{4} 0.6^2}{10 \times 4.36} = 0.18$$

根据 $\sum A_s = 28 \times 0.24 = 6.72 \text{m}^2$ 及 $A_{o,tot} = 10 \times 4.39 = 43.9 \text{m}^2$ ，大砾石阻力系数

$$\lambda_s = 4C_w \frac{\sum A_s}{A_{o,tot}} = 4 \times 1.5 \frac{6.72}{43.9} = 0.92$$

考虑底部粗糙阻力，阻力系数 λ_o 为：

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_o}} = -2 \log \frac{0.12/0.31}{14.84} = 3.16$$

$$\lambda_o = 0.10$$

总阻力系数 λ_{tot} 为：

$$\lambda_{tot} = \frac{\lambda_s + \lambda_o(1 - \varepsilon_o)}{1 - \varepsilon_v} = \frac{0.92 + 0.10 \times (1 - 0.18)}{1 - 0.233} = 1.31$$

平均流速 v_m ：

$$v_m = \frac{1}{\sqrt{\lambda_{tot}}} \sqrt{8gr_{hy}I} = \frac{1}{\sqrt{1.31}} \sqrt{8 \times 9.81 \times 0.31 \times 0.04} = 0.86 \text{m/s}$$

运行流量 Q ：

$$Q = v_m A = 0.86 \times 1.36 = 1.17 \text{m}^3/\text{s}$$

对照设计要求 $Q=1.2 \text{m}^3/\text{s}$ ，可基本满足。

最大流速 v_{max} 出现在 3 块大砾石成直线排列最狭窄间隙的横断面处，由

$v_{max} = v_m / (1 - \sum A_s / A_{tot})$ 得出 v_{max} 为 1.83 m/s。

$v_{max} < v_{perm} = 2.0 \text{m/s}$ ， v_{perm} 为最高允许流速，说明满足设计要求。

附录 B 标准用词说明

标准用词	在特殊情况下的等效表述	要求严格程度
应	有必要、要求、要、只有.....才允许	要求
不应	不允许、不许可、不要	
宜	推荐、建议	推荐
不宜	不推荐、不建议	
可	允许、许可、准许	允许
不必	不需要、不要求	