

堰塞湖抗冲刷泄流槽的施工方法

吉必江¹ 谢国兵² 吴健³

1 江苏桥曲建设工程有限公司, 江苏泰州, 215026;

2 泗洪县梅花水利站, 江苏宿迁, 223900;

3 江苏盐城水利建设有限公司, 江苏盐城, 224000;

摘要: 堰塞湖抗冲刷泄流槽的施工方法, 在泄流槽两侧边坡上铺边坡钢丝网, 在泄流槽底部铺设加筋型土工膜, 在两侧边坡坡底处均设置钢筋石笼, 在泄流槽中设置多排预制墩石, 单排预制墩石沿泄流槽宽度方向设置, 单个预制墩石通过第一锚杆固定在泄流槽底, 相邻的预制墩石之间通过第二锚杆连接, 靠近边坡的第二锚杆固连在两侧边坡上; 所述施工方法建造的泄流槽能有效降低水流的冲刷强度和流速, 增强泄流槽两侧边坡和槽底的抗冲刷能力, 减少对下游的破坏和损失。本施工方法施工时间较短, 能尽可能缩短应急准备时间, 能够在短时间内保证泄流槽的开挖和槽身加固工作, 且施工过程中采取的各类土工材料价格低廉。

关键词: 堰塞湖; 抗冲刷; 泄流槽; 施工方法

DOI: 10.69979/3060-8767.24.3.013

1 背景技术

为降低堰塞湖的水位和库容, 实现堰塞湖泄流时风险可控, 开挖泄流槽是堰塞湖主要的应急处置措施。但目前常用的泄流槽的堰塞体都是散粒体材料, 且一般堰塞体下游坡顺河向的长度较大且坡比较小, 在水流的不断冲刷下, 泄流槽断面形态无法保持, 随着下泄流量不断增大, 容易导致下游洪水漫溢出河道产生灾害。

2 技术方案

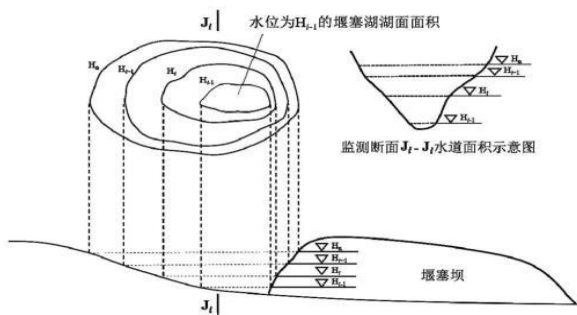


图 1 堰塞湖湖面面积与堰塞湖库容计算示意图

为实现上述目的, 采用的技术方案是:

一种堰塞湖抗冲刷泄流槽的施工方法, 所述泄流槽的断面结构为倒梯形, 施工方法包括:

步骤(1) 获取堰塞湖水文监测数据, 根据堰塞湖来流量的实时监测数据, 对堰塞湖水位变化情况进行预测;

步骤(2) 核算下游河道的过流能力, 确定泄流槽的断面形态和尺寸;

步骤(3) 预留堰塞体上游的部分堆积体;

步骤(4) 根据设计断面开挖泄流槽, 开挖泄流槽后先进行夯实处理; 在泄流槽两侧边坡上间隔固定若干个锚杆, 从坡顶沿边坡面向下铺边坡钢丝网至坡底, 边坡钢丝网延伸到堰体下游脚;

在泄流槽底部铺设加筋型土工膜, 在加筋型土工膜上贯穿若干个土工膜锚杆, 将加筋型土工膜固定在槽底, 土工膜锚杆呈梅花形布置, 加筋型土工膜延伸到堰体下游脚;

在两侧边坡坡底处沿泄流槽长度方向均设置钢筋石笼, 钢筋石笼通过自重压力固定在槽底, 边坡钢丝网的底端与钢筋石笼固连;

在泄流槽中设置多排预制墩石, 每排至少设置两个预制墩石, 单排预制墩石沿泄流槽宽度方向设置, 单个预制墩石通过第一锚杆固定在泄流槽底, 相邻的预制墩石之间通过第二锚杆连接, 靠近边坡的第二锚杆伸出预制墩石, 并固连在两侧边坡上;

单个预制墩石整体呈棱台状, 具有一个大端和一个小端, 其大端朝向来水方向, 小端朝向背水方向。

具体的, 步骤(1)中, 对实际堰塞体的上、下游进行地质调查, 在堰塞湖上游选取典型断面, 采用现有的监测仪器,

对堰塞湖湖泊断面进行测量。堰塞湖水道面积为堰塞湖上游监测断面的过水断面面积与死水位以下面积。根据堰塞湖水道断面测量资料,可采用梯形法计算不同水位下的水道面积,并统计不同监测断面特征值,如平均水深、最大水深、水面宽等,进而计算不同水位下堰塞湖湖泊库容。由监测数据计算不同水位时堰塞湖湖面面积。以堰塞湖水位为纵坐标,不同水位下堰塞湖库容、堰塞湖湖面面积为横坐标,点绘堰塞湖湖面面积-水位及堰塞湖库容-水位关系曲线。

根据获取的堰塞湖来流量等实时监测数据预测堰塞湖的水位变化情况,并根据堰塞湖水位上升速度和道路条件、现场施工条件、施工人员和设备及后勤保障情况,综合判断泄流槽开挖的可行性。当现场具备开挖泄流槽的实际条件,可进行后续步骤的工作。

具体的,步骤(2)中,下游河道的过流能力可以采用曼宁公式进行计算:

$$Q = \frac{1}{n_r} A_r R_r^{\frac{2}{3}} S_r^{\frac{1}{2}}$$

式中, Q 为河道的过流能力; n_r 为河床的糙率系数; A_r 为过流断面面积; R_r 为过流断面的水力半径; S_r 为河道坡降。

确定下游河道的过流能力后,反推泄流槽的断面形态和尺寸。为了便于施工和铺设抗冲刷泄流结构,泄流槽的断面形态设置为倒梯形断面,边坡坡比建议为 1:1.5(垂向/水平向)或根据堰塞体材料的临界坡角选择,可采用下式(2)的曼宁公式反推断面尺寸。

$$Q = \frac{1}{n_s} A_s R_s^{\frac{2}{3}} S_s^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{n_s} \left[\frac{1}{2} (b+B) \cdot h \right] \cdot \left[\frac{\frac{1}{2} (b+B) \cdot h}{b+2\sqrt{(h^2+2.25h^2)}} \right]^{\frac{2}{3}} \cdot S_s^{\frac{1}{2}}$$

式中, Q 为泄流槽的过流流量,计算时选择与下游河道的过流能力一致; n_s 为泄流槽的糙率系数,如果无法获取,可采用经验公式计算 $n_s = d_{50}^{1/6} / 12$, 其中 d_{50} 为堰塞体材料的平均粒径(可选取堰塞体泄流槽不同点位土样进行颗粒级配试验取 d_{50} 平均值); A_s 为泄流槽倒梯形断面的面积, $A_s = 1/2 \cdot (b+B) \cdot h$, 其中 b 为泄流槽断面底宽, B 为泄流槽内水面顶宽, h 为泄流槽内水深, 且 $B=b+3h$, 则 $A_s = 1/2 \cdot (2b+3h) \cdot h$; R_s 为泄流槽水力半径, 等于断面面积处于湿周, 湿周可表示为 $b+2(h^2+2.25h^2)^{1/2} = b+3.6h$, 则水力半径 $R_s = 1/2 \cdot (2b+3h) \cdot h / (b+3.6h)$; S_s 为泄流槽的坡降。

通过函数关系变换,泄流槽的过流流量公式中仅有 b 和 h

两个未知数,且两个未知数也存在函数关系,只要确定一个未知数即可获得另外一个未知数的解,可以根据现场地质条件和实际施工情况,以及需要下泄的库容确定参数。另外,确定泄流槽中水深 h 后,泄流槽的高度即可确定,保证其深度大于水深。

具体的,步骤(3)中,开挖泄流槽前可设计预留堰塞体上游的部分堆积体,修建简易防渗墙用来阻挡不断抬升的堰塞湖水位,防止出现边挖边泄,乃至冲毁泄流槽的情况。

具体的,步骤(4)中,结合实际堰塞体情况设计出的泄流槽断面开挖泄流槽,沿着设计泄流槽轴线,按照设计体型,采用推土机顺槽轴线向下游方向推碴,挖掘机翻碴或装自卸车运出碴,遇到无法挖运的大孤石采用爆破解小后挖运,快速形成泄流槽。

开挖泄流槽后要用压土机压实,在泄流槽两侧和底部铺设钢丝柔性材料,并延伸到堰体下游脚,以有效加固槽底和两侧边坡。

底部柔性材料主要为加筋型土工膜,具有很好的抗拉强度,加筋型土工膜的搭接处采用粘接或焊接,缝合和焊接的宽度一般为 0.1m 以上。在槽底开设锚孔,将土工膜锚杆插入锚孔并固定,将所述加筋型土工膜通过锚杆固连在槽底,锚孔呈梅花形布置。现有技术中泄流槽底部大多是河床原有的卵石或砾石,在泄流流量较大时,容易被水冲走,容易发生二次堵塞,本申请在槽底锚固加筋型土工膜,能增强泄流槽槽底的抗冲刷能力,这样的槽底不容易被下泄的水流冲坏,起到隔离与过滤的作用,同时也加强了破碎岩石边坡的稳定性。

两侧边坡的柔性材料主要为边坡钢丝网,首先大致清理边坡上大的孤石,根据边坡坡度布设锚孔,沿着泄流槽长度方向的纵向间距为 5.0 米,沿着泄流槽深度方向的横向间距为 2.5 米,边坡钢丝网的网孔为 200mm×200mm,与支撑绳形成 3.0m×3.0m 的挂网单元,每个挂网单元内配置 2.5m×2.5m 的钢丝绳网块一张。然后按垂直坡面方向将锚杆安装到锚孔内,最后将边坡钢丝网从坡顶沿边坡面缓缓铺下,尽可能使整卷钢丝直铺到坡底,用连接件将边坡钢丝网和钢筋石笼固连。完成挂网工作后,需要认真检查边坡钢丝网与锚杆连接的牢固性,确保边坡钢丝网与坡面形成稳固的整体,能有效抵抗水流冲击。现有技术中泄流槽两边的护坡材料大多是木桩或卵石或砾石,在泄流流量较大时,容易被水冲刷,容易发生二次堵塞。采用边坡钢丝网护坡可以实现边坡加固,拦截石块,从而避免灾害对泄流槽的破坏。

沿着水流方向将预制墩石布置在泄流槽底部, 单个预制墩石整体呈棱台状, 具有一个大端和一个小端, 其大端朝向来水方向, 小端朝向背水方向。单个预制墩石的大端和小端端面上均开设有水平锚孔, 在相邻两排的预制墩石的该端面水平锚孔中设置与水流方向平行的第二锚杆, 将相邻两排的预制墩石固连在一起; 大端顶部和底部侧壁上贯穿开设有与泄流槽底部垂直的垂直锚孔, 在该垂直锚孔中设置第一锚杆, 将单个预制墩石固定在泄流槽底部; 大端两侧侧壁上均还开设有水平锚孔, 在同排相邻的预制墩石的该水平锚孔中设置于水流方向垂直的第二锚杆, 将同排相邻的预制墩石固连在一起。

优选地, 当泄流流量为 $0 \sim 10000 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 其纵向可布置 3~5 排, 泄流流量为 $10000 \sim 20000 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 其纵向可布置 5~8 排, 当泄流流量大于 $20000 \text{ m}^3/\text{s}$ 时, 其布置排数大于 8 排。

在堰塞坝前段预留堰塞体拆除后, 由于水头较高, 会有较大水流冲击, 当其流量较大时, 会造成后段堰塞体泄流槽的冲刷, 预制墩石的大端朝向来水方向, 可阻挡一波水流冲击又能最大程度地让水通过, 下泄的水流首先冲击到预制墩石上, 预制墩石能降低水流的流速和冲刷强度, 起到对水流的消能作用, 减缓水流对泄流槽的冲刷强度, 而且预制墩石锚固于泄流槽底部, 对加筋型土工膜起到压重作用, 进一步加固泄流槽底部, 提高了泄流槽底部的抗冲刷能力。

现有技术中, 有在泄流槽前段设置由块石通过连接网连接形成的抗冲刷结构, 目的是为了降低水流峰值流量和流速, 块石没有固定在泄流槽底部, 也没有固定在边坡上, 对泄流槽底部的抗冲刷效果不明显, 而且泄流槽后段未加防护, 对于库容较大的堰塞湖, 其降低流量和流速的效果不明显, 抗冲刷效果不明显, 因此水流仍然会对下段堰塞体进行快速冲刷。本申请的预制墩石消能、抗冲刷, 对整个泄流槽槽身进行防护, 能够降低泄流槽泄流流量, 还能够防护泄流槽被冲刷, 可以一定程度上保护下游居民生命财产安全及生态环境。

具体的, 步骤(4)中, 在泄流槽两侧坡底处架设多层预制钢筋石笼, 每层至少包括两个钢筋石笼, 钢筋石笼之间采用绑扎连接, 连接时沿着两块石笼连接处水平缠绕 30cm 距离, 再在垂直的肋条处进行绑扎。相邻两层钢筋石笼之间错开设置, 且上一层钢筋石笼相对下一层钢筋石笼向边坡面伸出。

钢筋石笼制作完毕后, 用装载机配合人工安放就位, 从一端往另一端放置。相邻钢筋笼必须连接稳定后才能填充石块, 石块块径应大于网孔孔径, 施工时石料应有选择地分层

填筑, 每层靠近石笼边部的部分人工选择块径较大的石块堆砌, 内部回填较小石块, 必须保证填放密实。钢筋石笼内部块石可以就地取材, 采用从堰塞体挖取出的石料。

钢筋石笼的目的是加固泄流槽的两侧, 防止两岸被冲毁。钢筋石笼比起现有技术中直接采用堰塞体的卵石或砾石具有更好的防护效果, 尤其在下泄流量大、下泄流速快的泄流情况下, 卵石或砾石材料仍会导致泄流槽快速被冲刷。

优选地, 在泄流槽最前方设置砾石堆积坑, 一般超挖 2.0~3.0m 深, 防止泄流时有大量砾石冲刷堵塞, 形成二次堰塞体。

具体的, 步骤(3)中开挖泄流槽前先预留堰塞体上游的部分堆积体, 不做开挖, 并在此基础上修建防渗墙。完成泄流槽施工后, 采用控制爆破的方式拆除堰塞体顶部防渗墙, 为了保证爆破后石块大小适中, 控制爆破采用密孔装药、全段连续耦合装药结构形式, 线装药密度控制在 2.86 kg/m 。起爆网络采用毫秒微差塑料导爆管复式起爆网络, 5 孔一段, 逐段起爆。如条件允许, 防渗墙一次性爆破后可用挖掘机配合作业, 部分墙体和大块体使用破碎锤破碎。

优选地, 靠近边坡的预制墩石与两侧边坡的具体连接结构为:

伸出预制墩石的第二锚杆一端套设有内套管, 且第二锚杆一端伸出内套管; 泄流槽的边坡上对应位置开设锚孔, 锚孔中固设外套管, 外套管内位于锚孔的底部设置有底座, 锚孔底部即锚孔位于边坡内的一端, 底座上焊接连接有刚性套筒, 刚性套筒的外径与内套管的外径相等, 刚性套筒内径与第二锚杆的外径相等, 刚性套筒的中心线与第二锚杆及锚孔的中心线重合; 刚性套筒外套设有填充套筒, 填充套筒外套设有锚固套筒, 外套管的外端固连外套管端板, 通过贯穿外套管端板的固定锚钉固定连接在边坡上, 将外套管端板固定在外套管外端, 外套管端板中心具有一个供填充套筒穿过的通孔, 通孔的直径与填充套筒外径相等, 填充套筒伸出外套管端板, 填充套筒的伸出端具有螺纹且套设有锚固螺帽, 通过防松螺栓穿过外套管端板旋入外套管中, 将锚固螺帽固定在外套管上; 第二锚杆穿过填充套筒伸入外套管内, 且伸出内套管的第二锚杆一端伸入刚性套筒内。

上述连接结构的优选施工方法为: 先将内套管与第二锚杆焊接固定在一起, 在泄流槽的边坡上对应位置开设锚孔, 将孔洞清理干净后在锚孔中固设外套管, 将刚性套筒焊接在底座上, 然后将底座和刚性套筒一起安装至外套管内, 紧接着在刚性套筒上套设填充套筒, 在填充套筒上套设锚固套筒,

填充套筒伸出外套管，然后将外套管端板穿过填充套筒，通过固定锚钉固定连接在外套管外端，接着在填充套筒伸出外套管端板的一端旋入锚固螺帽，先不要拧紧，然后将第二锚杆套入填充套筒内，并将伸出内套管的第二锚杆一端伸入刚性套筒内，再将锚固螺帽拧紧，并将防松螺栓旋入外套管端板及外套管中，将锚固螺帽固定在外套管上。

通过这样的连接方式，将预制墩石固定连接在两侧边坡和泄流槽底部，预制墩石加固两侧边坡和泄流槽底部，起到消能、提高两侧边坡和槽底抗冲刷能力。

3 有益效果

施工方法建造的泄流槽能有效降低水流的冲刷强度和流速，增强泄流槽两侧边坡和槽底的抗冲刷能力，减少对下游的破坏和损失。所述施工方法充分利用堰塞体坝体材料特性，

施工时间较短，能尽可能缩短应急准备时间，能够在短时间内保证泄流槽的开挖和槽身加固工作，且施工过程中采取的各类土工材料价格低廉，可以回收利用，对堰塞湖应急泄流的处置效果和安全性均较好。

参考文献

- [1] 钟启明, 陈生水, 单熠博, 等. 一种堰塞湖抗冲刷泄流槽的施工方法: 202010324894[P][2024-11-26].
- [2] 舒述安. 东拉大桥右岸古滑坡局部失稳机理及防治对策研究[D]. 西南交通大学, 2014.
- [3] 周云, 赵长军, 徐明辉, 等. 藕塘滑坡复活变形及其失稳危害研究[C]//三峡工程正常蓄水位 175 米试验性蓄水运行十年学术研讨咨询会. 中国工程院水利部中国长江三峡集团有限公司, 2018.