

北方土石山区抽水蓄能电站水土保持设计

——以九峰山抽水蓄能电站为例

王佳欣^{1,2}, 张帆^{1,2}, 解翼阳^{1,2}

[1. 黄河勘测规划设计研究院有限公司, 河南 郑州 450003;

2. 水利部黄河流域水治理与水安全重点实验室(筹), 河南 郑州 450003]

[关键词] 水土保持; 措施设计; 抽水蓄能电站; 北方土石山区

[摘要] 北方土石山区即北方山地丘陵区, 具有多低山丘陵、坡陡沟深、暴雨集中、植被稀少、土壤抗蚀性差等特点。抽水蓄能电站有上、下两个水库, 项目占地面积较大, 施工时扰动范围广, 极易造成大面积的水土流失。以河南辉县九峰山抽水蓄能电站为例, 基于项目区所处的地质地理条件及工程建设特点, 提出在工程水土保持设计中应注重表土资源保护、减少工程施工扰动范围、做好边坡防护工程和加强临时防护措施等水土流失防治思路, 并针对性设计了相应的防治措施, 以最大限度降低工程建设对周边环境的影响。

[中图分类号] S157 [文献标识码] A DOI:10.3969/j.issn.1000-0941.2024.09.014

[引用格式] 王佳欣, 张帆, 解翼阳. 北方土石山区抽水蓄能电站水土保持设计: 以九峰山抽水蓄能电站为例[J]. 中国水土保持, 2024(9): 39-41, 50.

北方土石山区即北方山地丘陵区, 主要分布在北京、河北、山东、辽宁、山西、河南、安徽等省市^[1], 具有多低山丘陵、坡陡沟深、暴雨集中、植被稀少、土壤抗蚀性差等特点。抽水蓄能电站, 又称蓄能式水电站, 在电网负荷低时能将多余电能转变为电网高峰时期的高价值电能, 是电力系统中最可靠、最经济、寿命周期长、容量大、技术最成熟的储能方式。与其他类别水力发电工程相比, 抽水蓄能电站因有上、下两个水库, 项目占地面积较大, 故施工扰动范围广, 极易造成大面积的水土流失。笔者以河南辉县九峰山抽水蓄能电站为例, 基于项目区所处的地质地理条件及工程建设特点, 针对性提出水土流失防治思路, 并设计了相应的防治措施, 以最大限度降低工程建设对周边环境的影响。

1 项目及项目区概况

九峰山抽水蓄能电站是目前河南省在建装机容量最大的抽水蓄能电站, 是落实国家“双碳”战略部署的重要基础设施, 已纳入《抽水蓄能中长期发展规划(2021—2035 年)》等多项国家级规划中。电站装机总容量为 2 100 MW, 额定发电水头 682 m, 工程等别为 I 等, 工程规模为大(1)型, 主要由上水库、下水库、输水发电系统、地下厂房系统、地面开关站及补水系统等组成。其中上、下水库大坝均采用沥青混凝土面板堆石坝, 全库盆采用沥青混凝土面板防渗; 输水发电系统布置于上、下水库之间的山体内部; 地下厂房采用尾部开发方式; 补水系统采用竖井式泵站, 用于工程初期蓄水及

运行期补水。项目于 2022 年 6 月 29 日由河南省发展和改革委员会批准建设, 于 2023 年 11 月 27 日开工建设, 工程总工期为 96 个月(含施工准备期)。

项目区位于河南省辉县市黄水乡、太行山东南麓、豫北平原的交接地带, 属北方土石山区, 上下游地势高差达 700 m。区内地势总体为西北高、东南低, 海拔 370~1 510 m, 相对高差达 1 000 余 m。区内山高谷深, 切割强烈, 多悬崖绝壁。属暖温带大陆性季风气候区, 年均气温 14.6℃, 年均降水量 607.5 mm, 年均蒸发量 1 550.5 mm, 年均相对湿度 67%; 冰冻期一般为 11 月下旬至翌年 3 月中旬, 最大冻土深约 20 cm。土壤类型复杂多样, 以棕壤土、褐土、潮土为主; 植被类型为暖温带落叶阔叶林带, 主要有黄辽平原栽培的落叶阔叶林和侧柏疏林人工植被。项目区属于太行山省级水土流失重点治理区, 以轻度水力侵蚀为主, 容许土壤流失量为 500 t/(km²·a)。

2 水土流失防治思路

九峰山抽水蓄能电站上、下水库库盆均需采取开挖、规整、防渗等措施, 土石方开挖回填量较大, 临时堆存时间长, 调运频繁, 若不采取有效的水土保持措施, 则松散土体遭遇暴雨、洪水冲刷时, 极易大量流失, 对电站工程建设、周边生态环境、下游沟道及居民生产生活等造成不利影响。

2.1 注重表土资源保护

表土是植物生长的基础, 是十分珍贵、难以再生、

生态价值显著的基础性资源。项目扰动地表面积较大,且不可避免地占用了部分耕地和林草地,施工期间会对原地貌土壤和植被造成严重破坏,施工前若不采取表土保护措施,后期植被恢复则是纸上谈兵。因此,需对项目征占地范围内(包括上、下水库淹没区)的表土采取剥离、保存和综合利用等措施。

2.2 减少工程施工扰动范围

抽水蓄能电站项目施工扰动地表面积较大,主体工程设计时应优化施工方案,尽可能减少工程占地面积、土石方开挖回填量、施工扰动地表面积及损毁植被面积,最大程度降低工程建设对周边生态环境的影响。如在大坝永久管理范围内设置临时堆料场,以减少工程新增临时占地面积;工程开挖土石方可用于大坝回填、场区平整或坝后压戗平台,以减少工程取料和永久弃渣量,尽量做到无永久弃渣。

2.3 做好边坡防护

在上下水库、坝后压坡体、隧洞、道路及料场等建设过程中形成的裸露边坡是水土流失的重点部位,其下垫面条件差,坡度较陡,普通的植物措施成活率低^[2],因此治理难度大。合理区分不同边坡的施工扰动和水土流失特点,结合边坡类型、位置和面积,因地制宜、合理选择措施类型,是做好边坡水土流失防治的必然要求。

2.4 加强临时防护措施

工程建设土石方开挖量为 1 473.83 万 m³,回填量为 1 707.67 万 m³,借方 233.84 万 m³。总工期 8 a,土石方临时堆存时间较长,且调运频繁,因此施工期间应采取完善、有效的临时排水、拦挡及苫盖等防护措施,以防止松散土体遭遇大风和暴雨天气时产生严重的水土流失,对区域生态环境和工程建设造成严重的影响。

3 防治措施设计

区域水土流失治理应坚持综合治理、因地制宜的原则,以保护和建设山地森林草原植被、提高水源涵养能力为重点,以小流域为单元,合理配置坡改梯、沟头防护、径流排导、支挡固坡等工程措施,水土保持林、经果林、人工草地等林草措施,等高耕作、间作套种等耕作措施,形成综合治理体系。

3.1 表土保护

经现场调查,上下水库坝址及库区、补水泵站、临时堆料场、砂砾石料场及加工系统等施工占地范围内分布有耕地、园地、林地和草地等,尤其是上水库施工

占地范围内耕地面积较大,表土资源较丰富,因此项目区需采取表土剥离、保护和回覆等措施,以保护表土资源,为后期复耕及植被恢复创造条件。对各施工区开挖剖面进行分析,各施工区表土平均厚度见表 1。

考虑到部分山地表土剥离难度较大,最终确定项目区表土可剥离量为 28.76 万 m³。根据工程总布置及各施工区后期土地恢复利用类型,复耕区域表土回覆厚度拟采用 50 cm、绿化区域拟采用 15~30 cm,共需表土量 28.49 万 m³。为最大限度保护表土资源,对项目区内可剥离表土全部剥离,并将多余表土回填至枢纽工程坝后压坡区域。依据表土可利用量和需求量的分析,对项目区表土进行平衡调配,最终确定项目共保护利用表土量 28.76 万 m³。

表 1 各施工区土地利用类型及表土平均厚度

施工区	土地利用类型	表土平均厚度/m
上水库坝址及库区	耕地、园地、林地	0.50
下水库坝址及库区	耕地、林地	0.20
补水泵站区	耕地、林地	0.50
临时堆料场区	林地、草地	0.10
砂砾石料场及加工系统区	耕地、园地、林地	0.30

3.2 弃渣综合利用

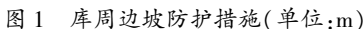
项目主体设计采取坝后压戗方式处理工程弃渣,即将弃渣处理与大坝基础处理相结合,在提高坝基稳定性的同时,又可充分利用开挖的土石方。水土保持设计时将压坡体作为微地形,打造新的景观元素,采用“坡顶乔灌木+坡面撒草”的绿化方式。其中,乔木选用青杨、侧柏、樱花、广玉兰等,株行距为 2 m×3 m;灌木选用月季、迎春、石楠等,株行距为 1 m×1 m;草种选用狗牙根、紫穗槐和羊茅草等,撒播密度为 80 kg/hm²。压坡体景观绿化措施在有效防止水土流失的同时,又能体现出“坚持节约优先、保护优先、自然恢复为主”的大政方针。

3.3 边坡防护

3.3.1 库周边坡和开关站边坡

上、下水库库盆均是利用天然库盆开挖规整后,再对库周开挖、扩库而成。施工后,对库周边坡和开关站边坡均采用全坡面喷混凝土、系统锚杆锚固的支护形式。在保证水土流失防治效果的基础上,兼顾景观要求,在库周边坡马道上布设种植槽进行边坡绿化,即在截排水沟与边坡坡面间设置种植槽,槽内回填 0.5 m 厚的种植土,内侧种植攀缘植物爬山虎、外侧种植垂枝植物连翘、中部种植小灌木红叶石楠,槽内撒播草籽,草种选择紫穗槐、狗牙根、羊茅草等。爬山虎与连翘的种植间距为 0.5 m,红叶石楠株间距为 1.0 m,草籽撒

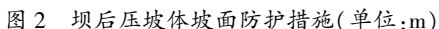
3.3.4 道路边坡



3.3.5 石料场边坡

开采的石料主要用于上水库坝体堆石填筑料源及混凝土骨料、垫层料的加工料源。石料场开采高程在 1 400~1 500 m 之间,每开采 10~15 m 设 1 级马道,共设 11 级,每级马道宽均为 3 m。石料开采后形成的边坡及平台均为裸露基岩,为降低石料场对周边环境的影响,在各级边坡及马道上布设种植槽,槽内客土种植攀缘植物和小灌木,对边坡进行绿化;在开采平台上覆土撒播灌草,进行绿化(见图 3)。种植槽挡坎采用块石浆砌,为矩形断面,坎高 0.70 m、顶宽 0.40 m,槽内填 0.65 m 厚种植土,在挡坎底部布设直径 5 cm 的排水孔,以排出槽内积水。

工程开挖无用料在施工结束后运至大坝坝后,填筑压坡。其中上水库坝后压坡体共设 2 级马道,马道宽 5 m,各级边坡坡比均为 1 : 2.5;下水库坝后压坡体共设 3 级马道,马道宽 5 m,各级边坡坡比均为 1 : 2.2。因压坡体为开挖的土石方填筑碾压而成,故压坡体坡面采用混凝土菱形网格植草护坡,网格尺寸为 2.0 m×2.0 m、骨架高 0.5 m。布设时需将菱形网格嵌入坡面以下 0.15 m,先在骨架内铺设一层土工布,以防止骨架内草皮流失;再混播紫穗槐、狗牙根、羊茅草等草籽,混播比例为 1 : 1 : 1。坝后压坡体坡面防护措施见图 2。



4 结束语

随着抽水蓄能电站建设规模的日益增大,工程建设过程中带来的水土流失问题也日益突出,为贯彻落实“生态优先,绿色发展”理念,结合抽水蓄能电站上、下水库建设扰动地表面积较大的特点,提出主体设计应从优化施工布置方案出发,提高工程土石方开挖量的综合利用率,将工程开挖无用料用于填筑坝后压戗平台,从而减少工程取料及弃渣工程量,最大限度降低施工扰动地表及损毁植被面积。水保设计应根据边坡类型、位置、设计标准等分别采取高次团粒喷播、框格植草、植生槽、撒播草籽等不同的边坡防护措施,充分考虑项目区景观绿化要求,以减轻工程建设对项目区生态环境的影响。施工期间应严格控制施工扰动范围,做好表土资源保护和临时防护措施,避免因工程施工导致项目区内水土流失加剧,进而(下转第 50 页)

40.95%;对于位于中南部低山丘陵区的柳河县,坡度 $>6^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 的耕地面积占比最高,为30.21%。结果表明,本研究提出的东北黑土区耕地坡度分级标准能够较好地反映不同类型区耕地坡度组成的特点,可为统筹实施黑土地保护和高标准农田建设提供科学依据。

3 结论

1)结合现有的坡耕地界定标准,基于东北黑土区坡耕地水土流失特征,以东北黑土区年平均土壤流失速率超过该区允许土壤流失量所对应的坡度—— 0.25° ,作为黑土区坡耕地发生土壤侵蚀的临界坡度,将东北黑土区坡耕地界定为坡度 $>0.25^{\circ}$ 、发生轻度及以上强度土壤侵蚀的耕地。

2)基于东北黑土区耕地坡度分级原则,聚焦坡耕地水土流失防治,采用临界坡度分级法确定了耕地坡度分级标准,通过计算东北黑土区各坡度段对应的土壤侵蚀模数,将东北黑土区耕地坡度分为 $\leq 0.25^{\circ}$ 、 $>0.25^{\circ}\sim 2^{\circ}$ 、 $>2^{\circ}\sim 6^{\circ}$ 、 $>6^{\circ}\sim 15^{\circ}$ 、 $>15^{\circ}$ 共5级,发现东北黑土区约1/3的耕地为平耕地,其余2/3为坡耕地。

[参考文献]

- [1] 刘宝元,阎百兴,沈波,等.东北黑土区农地水土流失现状与综合治理对策[J].中国水土保持科学,2008,6(1):1-8.
- [2] 张金慧,董林玥,张续军.踔厉奋发 勇毅前行 奋力推动新阶段水土保持高质量发展:访水利部水土保持司司长蒲朝勇[J].中国水利,2022(24):21-22.
- [3] ZHU T X,ZHU A X. Assessment of soil erosion and conservation on agricultural sloping lands using plot data in the semi-arid hilly loess region of China[J]. Journal of Hydrology: Regional Studies,2014,2:69-83.
- [4] QIAN F K,LAL R,WANG Q B. Land evaluation and site assessment for the basic farmland protection in Lingyuan county, northeast China[J]. Journal of Cleaner Production,2021,314:128097.

(上接第41页)造成严重危害。

[参考文献]

- [1] 孙天妙,曹建生,阳辉,等.北方土石山区水土流失治理现状与展望[J].防护林科技,2022(5):56-61.
- [2] 凌峰,石艳龙,罗冰.大型抽水蓄能电站水土保持生态护坡技术与实践:以河北丰宁抽水蓄能电站一二期工程为例

- [5] 水利部水土保持监测中心.2020年度水土流失动态监测技术指南[Z].北京:中国水利水电出版社,2020:13-19.
- [6] 中华人民共和国水利部.土壤侵蚀分类分级标准:SL 190—2007[S].北京:中国水利水电出版社,2008:8.
- [7] 谢俊奇.中国坡耕地[M].北京:中国大地出版社,2005:12.
- [8] 罗光杰,王世杰,李阳兵,等.岩溶地区坡耕地时空动态变化及其生态服务功能评估[J].农业工程学报,2014,30(11):233-243.
- [9] 陈正发,史东梅,金慧芳,等.基于土壤管理评估框架的云南坡耕地耕层土壤质量评价[J].农业工程学报,2019,35(3):256-267.
- [10] 中国国土勘测规划院,自然资源部自然资源调查监测司.第三次全国国土调查技术规程:TD/T 1055—2019[S].北京:中国标准出版社,2019:12.
- [11] 中华人民共和国农业部.全国耕地类型区、耕地地力等级划分:NY/T 309—1996[S].北京:中国标准出版社,1996:2-3.
- [12] 刘华征,贾燕锋,范昊明,等.东北松嫩典型黑土区长缓坡耕地土壤侵蚀沿坡长变化规律及其对土壤质量的影响[J].自然资源学报,2022,37(9):2292-2305.
- [13] 武诗琪,饶良懿.砒砂岩不同类型区坡谱特征与空间分异[J].农业工程学报,2021,37(8):125-132.
- [14] 赵牡丹,汤国安,陈正江,等.黄土丘陵沟壑区不同坡度分级系统及地面坡谱对比[J].水土保持通报,2002,22(4):33-36.
- [15] 汤国安,宋佳.基于DEM坡度图制图中坡度分级方法的比较研究[J].水土保持学报,2006,20(2):157-160,192.

收稿日期:2024-04-20

基金项目:“十四五”国家重点研发计划课题(2021YFD1500704)

第一作者:高燕(1972—),女,山东诸城人,正高级工程师,硕士,主要从事水土保持相关规划、科研和监测工作。

E-mail: 623363030@qq.com

(责任编辑 李杨杨)

[J].海河水利,2021(6):42-45.

收稿日期:2024-02-28

第一作者:王佳欣(1991—),女,河南武陟人,工程师,硕士,主要从事水土保持设计工作。

E-mail: 281454187@qq.com

(责任编辑 张绪兰)