

水电站施工期的水土流失特点及防治措施

陈奇伯¹, 和浩², 齐红梅¹

(1. 西南林学院, 云南 昆明 650224; 2. 国电香格里拉发电有限公司, 云南 香格里拉 674400)

摘要: 由于水电开发在我国能源发展中的优势地位, 近年西南地区和云南省水电站建设步伐明显加快, 但水电开发对生态环境的影响也日益突出。针对水电站建设施工特点和人为水土流失特点, 指出“三通一平”阶段和大坝浇筑前是水土流失的重要时段, 弃渣场和施工道路是水土流失的关键部位。提出了弃渣场合理选址、基础处理、径流排导、弃渣拦挡、弃渣平台及边坡治理, 以及施工道路合理截排水, 稳定开挖边坡, 保护路基, 下边坡挡护, 适当绿化的具体防治方案。

关键词: 水电站; 水土流失; 弃渣场; 施工道路

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)03-0010-04

中图分类号: S157.1

Characteristics and Control Measures of Soil and Water Loss in Construction Period of Hydropower Station

CHEN Qi-bo¹, HE Hao², QI Hong-mei¹

(1. Southwest Forestry College, Kunming, Yunnan 650224, China;

2. National Power Shangri-La Power Company Limited, Shangri-La, Yunnan 674400, China)

Abstract: Hydropower station construction in Southwest China and Yunnan Province has accelerated noticeably recently owing to the dominant position of hydropower development in China's energy development. But it also has prominent impacts on the ecological environment. Considering the construction features and man-made soil and water loss, this article proposes that the “three(water, electricity, and gas) available and one flat(construction site flat)” stage and the time before dam pouring are the critical period of soil and water loss. Dumping piles and construction roads are the main sources of soil and water loss. Several control measures are also proposed, such as proper dumping pile location, foundation treatment, runoff exhaust, spoil block, spoil platform, and slope management, as well as reasonable water cut-off and drainage on construction roads, excavated slope stabilization, embankment protection, protection of lower slope, and appropriate vegetation.

Keywords: hydropower station; soil and water loss; dumping pile; construction road

随着我国经济快速发展, 对能源的需求持续增长, 电力供应紧张。由于我国水能资源开发利用不到 25%, 国家发展和改革委员会近年提出, 优先发展水电是我国能源发展的重要方针。云南省也正是利用了得天独厚的水电资源优势, 正在加紧实施“西电东送”和“云电外送”战略, 努力培育以水电为主的电力支柱产业^[1]。云南省多年平均水资源量 2.21×10^{12} m³, 水资源总量仅次于西藏和四川, 居全国第三位。据云南省水能资源普查资料, 云南水能资源蕴藏量 103 640 MW, 可开发水能理论蕴藏量 71 168 MW, 可开发水能资源占全国的 20%, 居全国第二位。云

南省计划在 10 a 内实现金沙江、澜沧江、怒江等“三江”干流水电建设的基本开工, 使“三江”干流水电在 2020 年前成为国家重要的电力基地。怒江中下游 4 座梯级水电站和澜沧江 14 座水电站的建设规划相继出台, 小湾、糯扎渡、景洪等一批百万千瓦级的大型、巨型水电站相继开工, 金沙江干流一批大型、巨型水电站金安桥水电站、溪洛渡水电站、向家坝水电站已开工建设, 装机容量 12 000 MW 的云南昭通白鹤滩巨型水电站的开工建设也指日可待。在国家相关产业政策的引导下, 大量民间资本也进入了云南中小水电站项目的建设。因此云南省水电开发的高潮已

收稿日期: 2008-07-25

修回日期: 2008-10-08

基金项目: 云南省应用基础研究计划面上项目(20070065M); 西南林学院重点科研基金项目(200509Z)

作者简介: 陈奇伯(1965-), 男(汉族), 甘肃省通渭县人, 博士, 教授。主要从事土壤侵蚀与生态恢复方向的教学与科研工作。E-mail: chengqb@swfc.edu.cn。

经到来,目前云南省建设完成、在建和拟建的各类巨型、大型和中小型水电站工程数百座。然而,资源开发与环境保护是我国社会经济发展到现阶段的一对突出矛盾,水电开发对生态环境的影响也日益明显。

我国每年平均搬运和运转的土石方量达到 3.82×10^{10} t,占全世界总搬运量的 28%。我国每年因人为活动新造成的水土流失面积达 $10\,000\text{ km}^2$ 以上,相当于每年新增治理面积的 30%^[2]。建设项目造成的人为水土流失是自然条件下的几十甚至几百倍。由于松散堆积物堆积不当,防治不力,曾造成过重大的滑坡、泥石流等灾害,不仅对开发项目本身的安全运行造成了严重威胁,还造成了重大的人员伤亡和财产损失。因此,分析水电站开发建设重要时段和关键部位的水土流失特点,设计完善水土保持措施体系,对预防和治理施工建设期的人为严重水土流失有重要意义。

1 水土流失特点

1.1 水土流失类型

水电开发项目存在施工区沿江河两岸展布,山高坡陡,开挖量大,雨季施工在所难免等特点。大量岩土剥离物堆放场地,由于其侵蚀的和搬运的物质已不是传统意义上的土壤和岩石风化物,而是包括土壤、母岩、基岩和一些固体废弃物所组成的混合物,所以构成了形态独特的岩土侵蚀类型,除了普遍发生的面蚀、沟蚀外,还出现了的沉陷、盲沟、泻溜、滑塌、滑坡、坡面泥石流等侵蚀形式。施工道路填方松散边坡由于径流排导不合理或自然径流汇集,最易造成冲沟侵蚀和滑塌。坡面型弃渣场由于基础和渗水处理不当,沟道型弃渣场由于径流排导不畅,造成滑坡、泥石流的突发性水土流失事件近年时有发生。

施工硬化道路、弃渣平台等施工部位,由于施工机械长期不断碾压,其组成物质容重增大,结构致密,水分入渗率低,径流损失大。根据金沙江中游河段装机 $2\,400\text{ MW}$,总工期 9 a 的金安桥水电站实际测定,弃渣平台的产流量是其原地貌荒草地的 2.3 倍。

1.2 水土流失重要时段

枢纽大坝、厂房、管理营地、部分道路是水电站主体工程的永久建筑物,导流工程、场内施工道路、弃渣场、料场、混凝土和砂石加工系统、仓储、施工营地、供水供电等辅助设施是为主体工程建设服务的建筑物,水电站建成发电后,这些设施将完成使命。

筹建期“三通一平”阶段首先启动道路系统、供水供电系统和管理营地的建设,与之配套的部分弃渣场也随之启用,部分临时设施开建。“三通一平”阶段以

道路掘进为主的建设内容是水电站建设施工中施工难度大,土石方开挖量大,弃渣最不易集中堆放,水土流失最严重的阶段。主要表现在,从施工时序上来说,先建设营地、设备运输道路和弃渣道路,再修建弃渣场,之前弃渣只能临时堆放,甚至不合理堆放或任意堆放,为大量松散堆积物的流失创造了物质基础;从施工条件来讲,沿高山峡谷区江河两岸施工,道路建设以开挖为主,随挖随运难度很大,堆积边坡线长度大;从水土保持方案的措施设计来讲,大都把道路边坡开挖土石方按挖填平衡处理,从土石方量计算结果看,数量并不大,但挖填不可能平衡,甚至无填方路段,理论上的填方都变成了弃渣,临时道路的防治措施也以临时措施为主,水土流失持续时间很长。

在大坝浇筑前的施工阶段,大坝施工上下游围堰、大坝基础、导流洞、弃渣场、料场、施工辅助设施都开工建设,最易形成高陡边坡,水土流失点多,面大。

从大坝浇筑开始,除围堰拆除和料场剥离还有一定的弃渣外,其它渣场基本停用,道路、辅助设施经过运转水土流失已基本控制,土石方量不多,水土流失点少,面小。水电站设备安装阶段,土建工程基本结束,水土流失较轻。

金安桥水电站总土石方开挖量为 $2.24 \times 10^7\text{ m}^3$,其中“三通一平”阶段 $3.89 \times 10^6\text{ m}^3$,至主体工程大坝浇筑前 $1.60 \times 10^7\text{ m}^3$,大坝浇筑及后期 $2.21 \times 10^6\text{ m}^3$,分别占土石方总量的 17.36%, 72.77% 和 9.87%。而“三通一平”和主体工程大坝浇筑前的工期共 3.5 a,占总工期的 38.9%,因此这个阶段是水土流失的重要时段。

1.3 水土流失关键部位

“三通一平”阶段的施工道路建设压占和扰动地表面积大,土石方开挖量大,回填利用少,松散土石方沿途自然堆积多,是水土流失中最严重的部位之一,金安桥水电站道路施工产生土石方 $1.10 \times 10^6\text{ m}^3$,根据施工现场调查,几乎不能集中堆放。渣场松散堆积物集中堆放,对基础处理,径流截排,分台碾压堆积要求高,水土流失隐患大,危险高,是水土流失最敏感的部位之一。金安桥水电站弃渣量集中堆放,弃渣 $1.40 \times 10^7\text{ m}^3$,占工程总开挖量的 60%。料场开挖边坡高陡,剥离量大,施工期长,也是水土流失的重点部位,金安桥水电站料场剥离料 $7.00 \times 10^5\text{ m}^3$ 。

大坝枢纽、厂房、施工营地等部位,虽然也存在突发水土流失的隐患,但这些部位直接关系主体工程安全和施工管理人员生命安全,施工期较短,不是水土流失的重要部位。其它施工辅助工程一般选址容易,占地面积小,开挖量不大,也不是水土流失的重要部位。

1.4 水土流失危害

水电站施工开挖土石方量巨大,高陡边坡多,弃渣场选址困难,雨季施工诱发滑坡和泥石流的突然发生水土流失事件近年每年都发生多起。2007年7月19日凌晨,由于连日强降雨,云南省腾冲县施工中的槟榔江苏家河口水电站突发泥石流灾害,3间工棚被掩埋,造成27人死亡,2人失踪,5人重伤,5人轻伤的特大事故。2007年8月10日晚,因局部突降暴雨,3h内降雨量达到近80mm,导致四川省雅安市石棉县境内大发水电站3号支洞口附近发生泥石流,造成10名施工人员死亡,2人失踪,3人轻伤的特大事故。

水电站工程施工区,一般都位于江河河道及其两岸,施工过程中产生的水土流失极易造成下游主河道和水库的淤积,影响防洪、航运及发电效益的发挥。位于云南省香格里拉县境内的金沙江一级支流硕多岗河,在梯级水电开发中,由于水电站分布密集,下游水电站的有效库容几乎被上游水电站建设中冲刷下来的松散堆积填满,由于下游河段水电站和沿河两岸道路建设,造成硕多岗河虎跳峡镇过境段。每年投入大量资金进行河道防洪疏浚。

2 水电站施工期水土流失防治措施

2.1 防治措施体系

水电站工程的水土保持措施总体布局应按照系统工程原理,处理好局部与整体,单项与综合,眼前与长远的关系。针对工程特点,设计可操作性强的“点”、“线”、“面”结合的水土保持措施体系,以便有效控制重要水土流失时段和重点水土流失部位的水土流失。

在水电站工程施工区点、线、面部位合理布局截排结合的径流排导措施是减缓水土流失动力,减轻水土流失危害的关键防治措施。然后在弃渣场、料场等点状位置,前期以基础处理、拦渣工程、护坡工程等工程措施为主,后期以土地整治和植物措施为主;在施工公路等线状地带,以护坡工程措施为主,植物措施为辅;在施工辅助设施等面状区域,土地整治与植物措施,绿化与美化是主要的水土流失防治措施。大坝枢纽区、厂房等永久建筑物区,虽然高陡边坡的水土流失隐患突出,但它们是水电站运行巨大经济效益的收益区,建设方都愿意高投入,高标准防治。

从松散堆积物数量、可能土壤流失数量及防治难度来说,弃渣场和场内道路是水电站工程施工期水土流失防治的重中之重。

2.2 弃渣场防治措施

弃渣场是水电站施工中可能水土流失最严重的部位,在合理堆弃基础上,合理防护,对水电站施工区

的水土流失防治中具有全局决定意义。弃渣场的水土流失防治首先要重视渣场选址,不同类型的渣场其防治重点不同,主要体现在工程措施上,最终通过复垦或植被建设,提高土地利用率,恢复生态环境。根据云南省香格里拉县境内金沙江一级支流硕多岗河装机容量120MW的引水式电站吉沙水电站和金安桥蓄水式水电站工程不同类型弃渣场防治经验,提出以下防治措施。

2.2.1 合理选址 在高山峡谷江河两岸施工,可能的弃渣场类型一般有5种,即坡地型渣场、台地型渣场、洼地型渣场、河堤型渣场和沟谷型渣场^[3,4]。

洼地型渣场是弃渣最理想的类型,弃渣安全,不需要设置挡渣工程措施,防治投资小,水土流失危害轻,对周边环境影响小。但水电站施工区这类渣场选址难度大,运距长,引水式电站施工范围大,较易选择,蓄水式电站选择局限性大。台地型渣场,汇水面积小,弃渣量大,防治相对容易,也是理想的渣场类型。坡地型渣场是水电站施工区最普遍的一种渣场,防治复杂,水土流失隐患较大。在山高坡陡、河道狭窄的高山峡谷区,河堤型渣场也较普遍,这类渣场沿江河岸边展布,挡渣墙同时充当河堤的作用,这类渣场挡墙设计标准要求高,避免对下游造成严重影响。沟谷型渣场虽然弃渣容量大,但最易受上游来水冲刷,泥石流隐患大,是水土流失潜在危险最大的渣场类型。吉沙水电站和金安桥水电站工程弃渣场类型见表1-2。

表1 吉沙引水式水电站渣场类型

渣场	位置	渣场类型	容量/ 10 ⁶ m ³
1 [#] 弃渣场	首部枢纽生活区旁	坡地型	0.30
2 [#] 存弃渣场	2 [#] 施工支洞口附近	台地型	0.10
3 [#] 存弃渣场	麻疯院东北向5km路旁	河堤型	0.10
4 [#] 弃渣场	一家人村附近	洼地型	0.25
5 [#] 弃渣场	厂区附近	坡地型	0.25
6 [#] 弃渣场	调压井北侧约1km处	洼地型	0.16
合计			1.16

注:1[#] 弃渣场弃渣2.00×10⁵m³时发生滑坡。

2.2.2 基础处理 弃渣场的水土流失防治必须贯穿于弃渣过程的始终。坡地型渣场,原地表松软土层与弃渣之间易形成塑软夹层,进而形成滑动面,在上方径流排导不畅或上层滞水出露等情况下,随着弃渣倾倒荷载的增加,容易导致滑坡的发生^[5]。因此在设计施工时,这类渣场,在水文地质调查基础上,首先要进行基础清理,并采用反滤工程以及水平孔或水平垂直

孔联合排渗工程建立基础排水系统。2005年雨季,香格里拉县吉沙水电站容量 $3.00 \times 10^5 \text{ m}^3$ 的最大坡地型弃渣场,就因为地下水较浅,在无任何基础处理措施的情况下弃渣,导致弃渣不到 $2.00 \times 10^5 \text{ m}^3$ 时发生滑坡,当时数万方弃渣涌入河道,给进一步防治带来了很大困难,治理投资成倍增加。

表2 金安桥蓄水式水电站渣场类型

渣场名称	渣场位置	渣场类型	容量/ 10^6 m^3
1# 弃渣场	五郎河下游侧	台地型	0.20
2# 存弃渣场	右岸下游	河堤型	3.10
3# 存弃渣场	左岸下游	坡地型	4.10
4# 弃渣场	右岸上游	坡地型	0.40
5# 弃渣场	石料场下游侧	坡地型	0.70
美河渣场	美河	沟谷型	15.00
合计			23.50

注:5# 弃渣场实际堆渣中扩容,美河渣场截排水方案多次变更。

2.2.3 径流排导 渣场外围截排水措施是渣场水土流失防治的第一道防线。迅速排泄渣场内部平台汇集径流,控制积水入渗,既能有效控制沟蚀,也是避免滑坡的主要技术措施,是渣场水土流失防治的第二道防线。场内径流的排道,要从最上部平台开始,自上而下,归整流路,修筑排水沟,形成纵横交错的完整排水系统。横向排水以平台内缘排水为主,平台整为微反坡,外侧修筑挡水墙,避免任何平台径流进入边坡形成冲刷。纵向主排水沟可结合运渣道路设置,在渣场边坡每隔30~50m修筑次级排水沟。

2.2.4 弃渣拦挡 除洼地型渣场外,其它类型的渣场都需要设置挡渣墙(坝),它是防治弃渣流失的控制性关键措施。挡渣墙必须对抗滑、抗倾覆、地基承载力进行稳定性分析,安全系数一般分别大于1.3,1.5和1.2。河堤型渣场的拦渣堤同时兼有防洪和拦渣两种功能,设计要满足二者的要求。

2.2.5 弃渣平台及边坡治理 弃渣平台的防治方向主要有复垦或绿化。对洼地型渣场、台地型渣场和缓坡型渣场,距离居民点近,周边农地效益好,耕地紧缺,平台面积较大的,可复垦。即使复垦的渣场也只有顶部平台经土地整治后,覆土1.00mm左右,方可种植。下部为保持渣体稳定留出的堆渣平台,宽度窄、面积小,一般做绿化处理。

绿化渣场平台的覆土一般在0.30m左右,覆土后,分畦划格,局部求平,设置低矮埂墙蓄水,留出排水口,中小雨蓄存,大雨暴雨排泄至渣场内排水沟进入区域水文网系统。渣场平台覆土后,水肥条件得到

改善,可乔灌草混交绿化,也可兼顾经济效益,种植适生经济果木。

渣场边坡一般坡度较陡,在弃渣自然休止角边坡条件下,覆土会在下部形成堆积,越往上部土层越薄。根据云南省年降雨800mm以上地区渣场边坡的防治经验,剥离料或明挖弃渣边坡不必覆土,只要雨季灌草混合撒播,加之自然种子库的补充,两个雨季后,植被总郁闭度可达60%以上。而洞挖弃渣边坡,最好在放坡至自然休止角以下坡度后,覆土绿化,效果才比较理想,且以灌草为宜。

2.3 施工道路防治措施

施工道路是水电站建设期间水土流失最严重、潜在危险最大的部位,路基开挖,改变了原地貌的稳定性,形成裸露边坡,甚至临空边坡,雨季因雨水入渗加重负荷,底部因路堑失去支撑,极易导致滑塌。陡坡地形区段施工道路,下边坡往往成了线型自然“堆渣场”,开挖方沿途自然下卸,雨季冲刷严重,流弃比可达30%以上,加重沿线的水土流失。施工道路的综合防治要针对水土流失影响因素,作好截排水、边坡稳定、路基保护、下边坡挡护、适当绿化等环节的工作。根据金安桥水电站弃渣容量 $1.50 \times 10^7 \text{ m}^3$ 美河渣场4.76km运渣道路的水土流失防治经验,提出如下防治措施。

2.3.1 合理截排水 在路基坡脚布设边沟或排水沟,在开挖边坡立崖上方设置截水沟,经急流槽将径流引入排水沟,再导向天然沟(河)道。

2.3.2 稳定开挖边坡 开挖边坡高度超过20m时,设置边坡平台并设排水沟。为避免坡体失稳,在路基坡脚一般设挡土墙,高度视边坡岩性及坡度而定。陡峭基岩边坡,一般通过锚固、喷浆方法进行加固;坡比在1.0:1.5以上的边坡,根据基质情况,宜采用浆砌块石、混凝土等工程护坡方法;坡比小于1.0:1.5的土质边坡,宜采用植草护坡或网格植草护坡。

2.3.3 路基保护 侵蚀沟与道路交汇处,是路基防护的重点部位,主要防止沟道洪水冲刷沟边路基和边坡,措施包括输水暗涵、挡墙、边坡护脚、砌石护坡等工程措施^[6]。

2.3.4 下边坡挡护 在高山峡谷陡峭山坡区段开挖施工道路,下边坡很难形成填方路面,下边坡路基边缘需高出路面0.5m左右修浆砌石边墙,稳定边坡,对大量散落在下边坡的松散弃土弃石,采取拦挡措施,雨季撒播灌草籽进行绿化。

成为岩溶地区生态环境的主要污染源^[9]。岩溶地区特殊的地表地下二元水文结构使得其对地表污染相当敏感,各污染物通过土壤和水循环随地表水和地下通道内的水流迅速传递。时间上影响更加迅速和持久,空间上更加深远。

因此必须合理地配置农药和化肥的施用比例,严格地控制高毒农药的施用,大力推广农家有机肥使用和秸秆还田,对塑料薄膜做到有效回收,在既定目标下尽量减少对农业生态系统有害物质的投入。

(4) 合理规划及确立适宜的农业发展模式。近年来,岩溶山地生态建设和石漠化治理得到了高度重视,以技术推广、政策扶持、基建资本、环境保护、区域开发诸要素投入为主的生态整治研发模式研究在不同类型岩溶区陆续展开,已建立了多个生态治理示范区,取得了许多富有成效的经验。各岩溶地区应根据实际,引进或探索适宜当地的农业发展模式,同时建立健全促进社会经济水平提高同生态修复及保护相统一的农业可持续发展经济管理体系和有效的基层农业生产组织机制。

(上接第13页)

2.3.5 适当绿化 施工道路绿化以防尘、固土、美化环境为主,乔木一般仅适宜作为行道树,灌草适宜边坡绿化。乔木尽可能树形美观,常绿阔叶利于防尘吸污,但树冠不宜侵入路面;灌草宜耐瘠薄、耐旱、深根,适应性好,固土能力强。

3 结论

水电站建设过程中的水土流失防治措施类型多,历时长,难度大,应抓住重要时段、关键部位,工程措施与植物措施结合,永久措施与临时措施结合,治标与治本结合,形成完善的立体防护体系,严防突发性水土流失事件,防治不同施工阶段不同施工部位形式多样的水土流失,稳坡固土兼顾美化,与周边生态景观相协调,实现水电开发与环境保护的双赢。

[参 考 文 献]

- [1] 肖荣波,欧阳志云,王效科,等.中国西南地区石漠化敏感性评价及其空间分析[J].生态学杂志,2005,24(5):551-554.
- [2] 李阳兵,王世杰,魏朝富.岩溶生态系统脆弱性剖析[J].热带地理,2006,26(4):303-307.
- [3] 董明辉,魏晓.区域农业可持续发展度评价:以环洞庭湖区为例[J].经济地理,2008,28(3):479-482.
- [4] 刘颖,许为.都市农业可持续发展与农民增收互动机制的探讨[J].中国人口·资源与环境,2008,18(4):90-93.
- [5] 胡永宏,贺思辉.综合评价方法[M].北京:科学出版社,2000:42-44.
- [6] 张富刚,郝晋珉,李运生,等.基于因子分析法的县域土地利用程度时空变异分析:以河北省曲周县为例[J].地理科学进展,2005,24(3):58-68.
- [7] 李小明,肖笃宁,何兴元,等.中国内陆河流域绿洲发育度的综合评价[J].地理学报,2006,61(8):855-864.
- [8] 苏维词,朱文孝.贵州喀斯特山区生态环境脆弱性分析[J].山地学报,2000,18(5):429-434.
- [9] 郭芳,姜光辉,夏青,等.土地利用影响下的岩溶地下水化学变化特征[J].中国岩溶,2007,26(3):212-218.

[参 考 文 献]

- [1] 黎建强,陈奇伯,王克勤,等.水电站建设项目弃渣场岩土侵蚀研究[J].水土保持研究,2007,14(6):41-43.
- [2] 鄂竟平.努力开创水土保持预防监督工作的新局面[J].中国水土保持,2004(5):1-3.
- [3] 田育新,李正南,周刚,等.开发建设项目借土场、弃渣场的分类、选择及防治措施布局[J].水土保持研究,2005,12(2):149-153.
- [4] 宋晓强,张长印,刘洁.开发建设项目水土流失成因和特点分析[J].水土保持通报,2007,27(5):116-119.
- [5] 王治国,白中科,赵景逵,等.黄土区大型露天矿排土场岩土侵蚀及其控制技术研究[J].水土保持学报,1994,8(2):10-17.
- [6] 刘卫,朱文.水利水电工程施工道路建设水土流失特点及防治[J].海河水利,2007(4):50-51.