

云南山区高速公路沟谷型弃渣场洪水影响评价方法研究

赵志成¹, 李浩², 吕飞¹

(1.云南省交通规划设计研究院股份有限公司, 云南 昆明 650041; 2.云南秀川水利水电勘察设计有限公司, 云南 昆明 671000)

摘要:以会泽—巧家高速公路腰店子沟弃渣场为例,研究云南山区高速公路的弃渣场洪水影响评价,对弃渣场的防洪标准、暴雨洪水特征、河道演变进行分析,通过河道特征值量算、洪水计算、过流能力计算、雍水计算、冲刷分析等研究得出洪评结论,为弃渣场的设计、施工、管理提供指导。同时可为同地区的其他弃渣场的规划建设提供参考与借鉴。

关键词:高速公路;弃渣场;洪水;平价方法

中图分类号: TV87

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2024)10-0162-05

0 引言

“十三五”期间,云南县域高速公路“能通全通”工程建设成效显著,新增高速公路5 000 km。根据《云南省“十四五”综合交通运输发展规划》,2025年云南全省高速公路建成通车总里程预计达到1.5万 km。云南地形极为复杂,海拔高差悬殊,山区分布,在高速公路建设过程中,路堑开挖、隧道开挖等产生的大量弃渣被堆放于公路沿线规划的弃渣场之中。弃渣场截排水能力不足易造成渣场浸水软化,形成溜坍滑坡,严重影响下游建(构)筑物安全^[1]。云南作为高速公路建设大省,必须重视公路建设过程中弃渣场的水土保持与防洪行洪问题。

云南地区的山洪沟,除滇西北一小部分地区有融雪水外,大部分地区的洪水均由降水形成,两者具有良好的对应关系。山区中小流域地面径流陡涨陡落,反映了山区河流落差大、水流急的特点。汛期雨日多,雨强不大,造成洪水多为复峰,往往前一个峰未退完,后一个峰又叠加其上。此外,洪水空间的分布也不平衡。

云南是我国重要的生态功能区,在水源涵养、水土保持等方面具有重要意义,弃渣场的规划、选址、

设计必须考虑各种制约因素^[2]。水利部《关于印发〈水利部水土保持设施验收技术评估工作要点〉的通知》(水保监便字[2016]第20号)中规定,如果弃渣场上游汇水面积超过1 km²、渣场下游1 km范围内存在居民点、公共设施、工业企业等敏感点的,建设单位、设计单位还要进行专项论证,确保不产生影响和危害。所以,对于上游汇水面积超过1 km²的弃渣场,必须开展洪水影响评价工作,报地方水行政主管部门进行评审,并取得批复。

弃渣场防洪评价的基本步骤包括弃渣场防洪标准确定、河道特征值的量算、断面洪水计算、过流能力分析、雍水分析、冲刷分析、河道演变分析等,具体工作流程如图1所示^[3-5]。其中,断面洪水计算是一个关键。目前,云南地区主要采用《云南省暴雨统计参数图集》查算法、推理公式法、水文比拟法三种。但是水文比拟法主要适用于与参证站位于同一条河流的工程,对于位于云南山区的沟谷型弃渣场并不适用,所以一般主要采用《云南省暴雨统计参数图集》查算法、推理公式法进行设计洪水计算。以会泽至巧家高速公路腰店子沟弃渣场为例,对云南山区高速公路沟谷型弃渣场洪水影响评价进行研究。

1 工程基本情况介绍

会泽至巧家高速路线起点(K0+000)位于会泽县城北侧黑土村附近,止于(K68+930.443)巧家县蒙姑镇附近,主线全长68.93 km。项目主线采用双向四车

收稿日期: 2023-09-28

基金项目: 云南省交通投资建设集团有限公司科研项目(YJSJ-KH-2022-05)

作者简介: 赵志成(1991—),男,硕士,工程师,从事高速公路防洪评价工作。

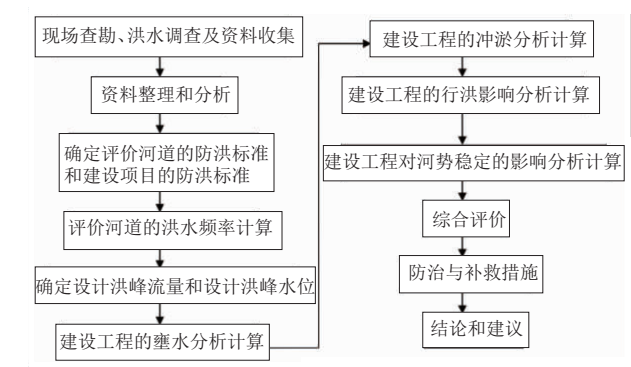


图 1 弃渣场洪水影响评价工作流程

道高速公路标准建设,设计速度 80 km/h,路基宽度 25.5 m,汽车荷载等级采用公路 - I 级。

腰店子沟弃渣场位于会泽县境内腰店子沟中,是沟谷型渣场。下游 3.2 km 左右为昆巧高速,下游 4.5 km 左右为金沙江,上游 400 m 左右为马鞍山村。渣场设计占地面积 20.6 hm²,设计计划弃方量 21.63 万 m³,弃土堆地表设计设置纵横向坡,坡度为 2%~4%,并应设置横向排水沟(Ⅲ型排水沟),排水沟为矩形尺寸 40 cm×40 cm;堆渣边界外侧设置为矩形 100 cm×100 cm 环形排水沟(Ⅱ型排水沟),在弃渣场的左侧设计梯形 250 cm×180 cm 改沟(Ⅰ型排水沟),皆采用 C20 混凝土。废方设计为分层压实,压实度不应低于 85%;设计弃土堆堆土坡比按 1:2 放坡堆放,共 1 级,每级高度 10 m,两台坡间平台宽度最低 4 m,渣场下游设计拦渣坝挡墙,最大墙高约 8 m。弃渣场底部设置 100 cm×100 cm 碎石盲沟。

2 水文气象、暴雨洪水特征分析

弃渣场区域属典型的温带高原季风气候,四季不明,夏无酷暑,冬季冷寒,干湿分明。受地形及大气环流的影响,流域内暴雨具有明显的季节性,以及时空分布不均、场次暴雨笼罩面积不大、单点暴雨多、历时短、连续性暴雨少等特点。

弃渣场所处流域的洪水均由暴雨产生,与暴雨相应,年最大洪水主要发生在 6—10 月,年洪峰出现最多频次在 8 月,次多频次出现在 7 月。由于河流短且比降很大,故河流洪水一般呈现出陡涨陡落的变化趋势,山洪暴发时流速较大,对河道及涉河建筑物的冲刷能力较强。洪水表现为山区河流的一般特性,起涨及消落较快,过程多呈尖瘦型。

3 弃渣场洪水影响评价分析

3.1 防洪标准及安全超高的确定

根据《水土保持工程设计规范》(GB 51018—

2014),该规范“适用于生产建设项目中的弃渣拦挡、土地整治、截排水等”设计。结合堆渣量、堆渣最大高度,以及失事后对主体工程及环境造成的危害程度对弃渣场进行分级,弃渣场涉及的农田、村庄较多,失事对农田及下游居民有一定的影响,防洪标准适当抬高。

所以,综合确定腰店子沟弃渣场等级为 3 级,工程防洪标准为 50 a 一遇设计。由于弃渣场设计洪水标准为 50 a 一遇,属于 1 级标准,安全超高取 0.3 m。

3.2 弃渣场拦渣坝断面河道特征值量算

弃渣场是沟谷型渣场,位于腰店子沟中,在下游 4.5 km 左右汇入金沙江。汇水区由两条小沟谷汇集而成,按沟谷分为 1 号汇水区、2 号汇水区。弃渣场示意图如图 2 所示。

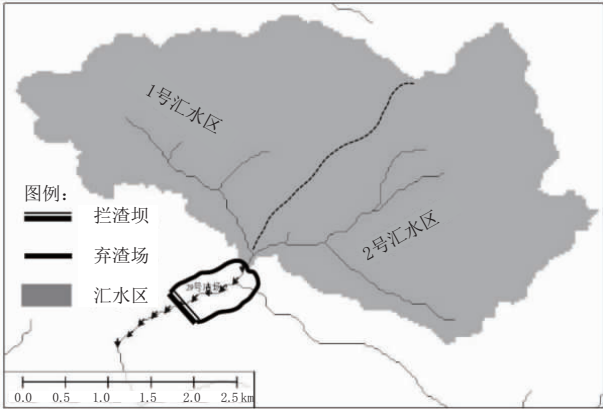


图 2 弃渣场汇水区分布

堆渣区域采用 1:50000 实测地形图,弃渣场上游汇水区域结合 15 m 水平精度的 DEM 数字高程图,通过 ArcGIS 软件进行水文分析计算得到,弃渣场挡墙断面控制的流域特征参数(径流面积 F 、河长 L 、比降 J)见表 1。

表 1 弃渣场断面流域特征参数

弃渣场	区域	断面流域特征参数		
		径流面积 F/km^2	河长 L/km	比降 J
腰店子沟	1 号汇水区	5.836	3.17	0.257
	2 号汇水区	7.570	4.296	0.316
	合计	13.406	—	—

3.3 拦渣坝断面洪水计算

3.3.1 拦渣坝断面的设计洪水计算

(1)《云南省暴雨洪水查算实用手册》查算法推求设计洪水

云南省水利厅编制的《云南省暴雨洪水查算实用手册》(1992 年 12 月),以云水规字[1992]第 92 号文通知使用。“本手册可作为面积在 1 000 km² 以下小河流规划、小型水利水电工程初步设计和中型

可行性研究在无实测流量资料情况下设计洪水计算与审查的依据”。云南省水文水资源局于 2007 年 9 月编制出版了《云南省暴雨参数图集》,由云南省水利厅审查通过,要求配合《云南省暴雨洪水查算实用手册》使用。该计算手册已经过相关主管部门审查认可,暴雨参数与周边地区相互协调,作为资料短缺地区,用此成果相对可靠。

a. 设计点暴雨量参数

通过《云南省暴雨统计参数图集》(2007 年),查出弃渣场挡墙断面所处区间面积的不同时段暴雨设计值,然后通过《云南省暴雨洪水查算实用手册》查得其对应的暴雨折减系数、产汇流参数等(见表 2),作为设计洪水计算的依据。

表 2 设计点暴雨统计参数

时段	统计参数		
	暴雨均值 /mm	C_v	C_s /C_v
最大 1 h	28.9	0.44	3.5
最大 6 h	43.6	0.43	3.5
最大 24 h	57.1	0.34	3.5

b. 产、汇流参数

查《云南省暴雨统计参数图集》,设计断面以上流域暴雨区划为 13-1 区;

产流参数分区为 1 区,即: $W_m=100\text{ mm}$, $W_i=85\text{ mm}$, $f_c=2.2\text{ mm/h}$, $\Delta R=1\text{ mm}$;

汇流参数分区为 1 区,即: $C_m=0.33$, $C_n=0.70$ 。

c. 设计断面流域特征参数

采用 1 : 50000 实测地形图,结合 30 m 水平精度的数字高程图,通过 ArcGIS 软件进行水文分析计算得到,弃渣场挡墙断面控制的流域特征参数(径流面积 F 、河长 L 、比降 J)见表 1。

d. 设计洪水计算

根据上述推求得到的各时段暴雨统计参数和暴雨分区,产、汇流参数及设计断面流域特征参数,按照《云南省暴雨洪水查算实用手册》所列的产汇流计算方法,求得设计断面的设计洪水,成果见表 3。

(2)推理公式法推求设计洪水

根据国家行业设计标准《水利水电工程设计洪水计算规范》(SL44—2006)及《水利水电工程设计洪水计算手册》等参考技术数据,并结合流域的下垫面条件情况选择不同参数,推算设计洪水。

根据中国水利水电科学研究院提出公式:

表 3 设计洪峰流量

弃渣场	区域	各频率设计洪峰流量 /($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)			
		5%	3.33%	2%	1%
腰店子沟	1 号汇水区	53.3	59.1	65.5	75.3
	2 号汇水区	61.7	68.5	76.2	87.8
	合计	115	128	142	163

$$\begin{cases} Q_{\text{mp}}=0.278\left(\frac{nS_p t_c^{1-n}}{\tau}\right)F \\ \tau=0.278\frac{L}{mI^{1/3}Q_m^{1/4}} \end{cases}$$

式中: τ 为汇流时间; L 为流域最远点的流程长度; m 为汇流参数; I 为沿最远流程的平均纵比降; S_p 为频率为 p 时的平均雨强。

a. 流域特征参数

弃渣场挡墙断面控制径流面积、河长、河道比降见表 1。

b. 设计点暴雨量参数 n 和 S_p 的确定

通过《云南省暴雨统计参数图集》(2007 年),查出弃渣场挡墙所处区间面积的不同时段暴雨设计值,并结合水文站实测时段暴雨资料进行比较,通过《云南省暴雨洪水查算实用手册》查得其对应的暴雨折减系数、产汇流参数等,作为设计洪水计算的依据。

再根据公式:

$$S_p = x_{24,p} \times 24^{n_2-1}$$

求相应 S_p 值。

c. 设计洪水计算

根据上述推求得到的各时段暴雨统计参数和暴雨分区、产流参数、汇流参数,以及设计断面流域特征参数,按照《云南省暴雨洪水查算实用手册》所列的产汇流计算方法,求得设计断面的设计洪水,成果见表 4。

表 4 设计洪峰流量

弃渣场	区域	各频率设计洪峰流量 /($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)			
		5%	3.33%	2%	1%
腰店子沟	1 号汇水区	58.8	65.5	73.7	84.0
	2 号汇水区	63.4	70.6	79.5	90.6
	合计	122	136	153	174

3.3.2 设计洪水合理性分析

由断面设计洪水计算结果可以看出,弃渣场的两种计算结果较为接近。由于渣场均位于沟谷小流域,根据《云南省暴雨洪水查算实用手册》查算的结

果更具有代表性,选取暴雨查算作为弃渣场的洪水成果,即表 3。

3.4 河道糙率确定

根据《水工设计手册》中河道糙率的确定条件,腰店子沟弃渣场所处沟箐区域两侧为山地,天然河道的糙率取 0.05;渣场修建沟渠采用 C20 混凝土砌筑,综合考虑河道糙率取 0.017。

3.5 过流能力分析

对弃渣场采取的防洪措施进行过流能力复核,复核是否满足行洪要求。弃渣场在弃渣完成后,将在弃渣场采取沿地面线建设改河排洪明渠、设置排水沟等措施进行泄洪。用曼宁公式计算设计水位下的相应流量。

腰店子沟弃渣场是沟谷型渣场,渣场设置环形排水沟,断面为梯形断面,底宽 2.5 m,深 1.8 m,边坡系数 0.25;排水沟设计平均比降为 0.32;糙率主要根据河道特征及河床组成等因素综合考虑取 0.017。渣场环形排水沟的断面如图 3 所示,水位流量关系曲线如图 4 所示。

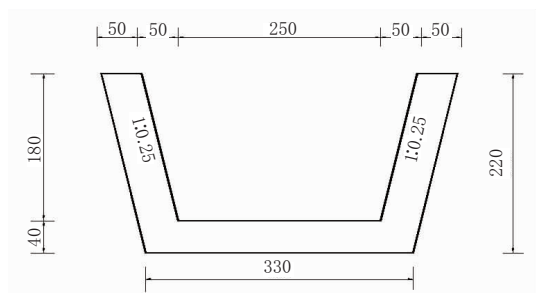


图 3 腰店子沟弃渣场单侧改沟断面(单位:cm)

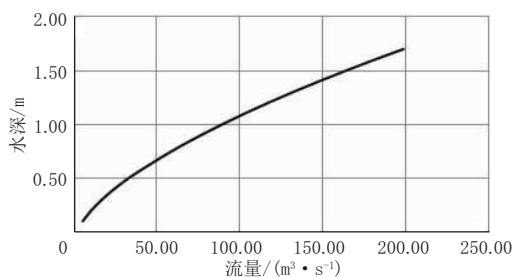


图 4 腰店子沟弃渣场单侧改沟断面水位-流量关系

由上述水位-流量关系图可知,在腰店子沟弃渣场 I 型环形排水明渠(3.5 m × 1.8 m 梯形, $i=0.32$)水深为 1.49 m 左右时,过流能力已满足项目 50 a 一遇洪水的洪峰流量 142 m³/s (1 号+2 号汇水区),尚存有 0.31 m 的安全高度,故弃渣场环形排水沟达到渣场洪水标准及安全超高的要求。

3.6 过流能力及雍水分析

腰店子沟渣场汇水面积较大,渣场占用天然沟谷后在渣场一侧设计了改沟以达到防洪标准,对于

腰店子沟弃渣场进行计算河道水面线及雍水。以腰店子沟弃渣场所在河道最下游断面的水位-流量关系为下边界,采用 HEC-RAS 分析改河前后的河道水面线,结果见表 5。

表 5 腰店子沟弃渣场雍水计算成果 单位:m

沟道距离	改沟前水面线		改沟前水面线		改沟前后水位	
	深泓线	2%水面线	深泓线	2%水面线	2%水深	2%
260	1 203.86	1 207.05	1 213.4	1 219.22	5.79	2.60
220	1 193.86	1 196.91	1 211.9	1 217.69	5.79	2.74
180	1 179.87	1 181.99	1 210	1 215.77	5.77	3.65
140	1 175.87	1 178.64	1 200	1 205.78	5.78	3.01
100	1 159.87	1 165.65	1 190	1 195.78	5.78	0.00
60	1 157.87	1 161.25	1 180	1 185.77	5.77	2.39
0	1 154	1 155.94	1 160	1 165.77	5.77	3.83

腰店子沟弃渣场河道改沟前后的水面线对比见表 5,改沟前后的渣场水面线如图 5 所示。由此可知,改沟后的水面线有部分高于天然河道水面线,但是高差不大。这是弃渣场占用天然沟道,改沟在弃渣完毕后在渣场一侧设置,导致改沟大大抬高了天然河床及束窄了沟道断面所致。

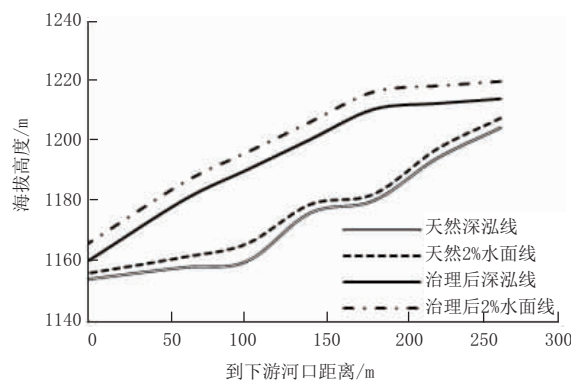


图 5 29 号渣场设计水面线示意图

3.7 冲刷分析

腰店子沟弃渣场均采用混凝土渠道,采用 C20 混凝土护面,允许抗冲流速为 8 m/s。用《河道整治设计规范》推荐的计算公式计算渣场冲刷深度。水流平行于岸坡产生的冲刷深度计算公式:

$$h_B = h_p \times \left[\left(\frac{V_{cp}}{V_{允}} \right)^n - 1 \right]$$

式中: h_B 为局部冲刷深度; h_p 为冲刷处的水深,以近似设计水位最大深度代替; V_{cp} 、 $V_{允}$ 分别为平均流速和河床面上允许不冲流速, m/s, 因河道植被有一定的防护作用,对允许流速有一定的提高,允许不冲流速根据河道情况定为 1 m/s,混凝土防护渠道允许不

冲流速定为 8 m/s ; n 为与防护岸坡在平面上的形状有关,一般 $n=0.25$ 。

根据计算结果(见表6),腰店子沟弃渣场改沟流速在设计洪水下,均高于允许不冲流速 8 m/s ,会发生渠道混凝土护面的冲刷,但是冲刷深度不大,对弃渣场、挡墙及河道的影响不大。且排水明渠坡降较大,底坡平整,洪水流速较快,基本不会产生长期的淤积现象。

表6 弃渣场所在河道 20 a 一遇最大冲刷深度计算成果

弃渣场	过水断面	最大流速 / ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	冲刷计算最大水深 /m	允许不冲流速 /m	局部冲刷深度 /m
腰店子沟渣场	$3.5 \text{ m} \times 1.8 \text{ m}$ 梯形	33.25	1.49	8	0.64

4 河道演变分析

弃渣场所在的沟箐周边植被茂密,两岸山体雄厚,山高坡陡,受两岸山脉的挤压,沟箐比较稳定。汛期存在一定的淤积,河枯期河道以冲刷为主,河道断面年内存在一定的冲淤变化,但断面年际变化不大。

5 与现有水利工程及设施影响分析

白鹤滩电站在腰店子沟弃渣场的下游约 72 km ,弃渣场的堆渣最低高程为 947 m ,白鹤滩电站的正常蓄水位为 825 m ,弃渣场位置远高于库区正常蓄水位,不会受到回水影响。根据实地调查,项目所在河段现状无水利水电工程、引水和排涝工程、重要道路桥涵工程、水文观测断面和观测设施工程、重点河道防洪工程等涉水项目。

6 洪水影响综合评价

(1)会泽至巧家高速公路的规划建设意义重大,建设是必要的。弃渣场是高速公路建设过程中不可避免的产物,弃渣场设置、渣场选址、堆置方案、防护措施设计等工作按照相关标准规范开展。弃渣场的防洪标准满足《防洪标准》(GB 50201—2014)要求。

(2)弃渣场的建设均占用了沟谷,改变了原沟谷地形。但弃渣场在渣场堆渣过程中设置临时排水管,堆渣完毕后在渣场一侧修建改沟;在发生设计洪水时能将洪水顺利排泄。在保证弃土场排水沟通畅的前提下,弃渣场所处沟谷能保持稳定,上下游河道的河势及稳定性均没有发生较大变化,不需要采取防

止补救措施。

(3)弃渣场坡面平台排水沟、坡顶平台排水明渠流能力均满足项目 50 a 一遇洪水的洪峰流量。故弃渣场环形排水沟、改沟达到渣场洪水标准及安全超高要求。且弃渣场所在沟道上下游农田及居民点稀少,弃渣场自身的防洪及弃渣场对河道的防洪影响均不大。

(4)弃渣场改沟流速在设计洪水下,均高于允许不冲流速 8 m/s ,会发生渠道混凝土护面的冲刷,但是冲刷深度不大,对弃渣场、挡墙及河道的影响不大。且排水明渠坡降较大,底坡平整,洪水流速较快,基本不会产生长期的淤积现象。

(5)弃渣场将会按照设计图纸严格完善分台削坡、挡墙、排水沟、盲沟、防护、排水、绿化等措施,不会对当地防汛抢险构成影响。并且本项目通车后对交通通行带来极大改善,对防汛抢险是有利的。

(6)根据工程现场踏勘情况,渣场评价范围河段内无水闸、码头、取水口等第三人合法水事权益问题,故不存在对第三人合法水事权益问题。

7 结 语

弃渣场一般不宜布设在流量较大的沟道,但是云南分布有大量的山区,这些地方往往山高谷深、地形陡峭,在公路建设过程中难以避免将弃渣场布设在汇水面积较大的沟道之中。通过对弃渣场进行系统性的洪水影响评价并提出评价结论,可以对沟谷型弃渣场的排水设施设计、施工、管理均起到指导作用。以腰店子弃渣场研究为例研究云南山区高速公路的沟谷型弃渣场洪水影响评价,可以为同地区的其他弃渣场的规划建设提供参考与借鉴。

参考文献:

- [1] 朱麟晨.沟道型弃渣场截排水设计方法[J].高速铁路技术,2022,13(2):43-46.
- [2] 叶咸,冯明明,税大洲,等.云南公路弃渣场分布特征及其影响因素分析[J].公路交通技术,2021,37(4):33-40.
- [3] 朱辉,石亮亮.水电站弃渣场防洪排水设计[J].东北水利水电,2016,34(11):5-7.
- [4] 徐永年,田卫宾.开发建设项目弃渣场设计及防洪问题[J].中国水土保持,2003(2):27-28,48.
- [5] 庄佳,赖冠文,张小峰,等.弃渣场与大桥工程对防洪影响的计算与分析[J].中国农村水利水电,2008(1):78-81.