

成昆铁路泥石流防治工程运行效果浅析*

谢銮光 王 韦

(铁道部科学研究院西南分院 成都 610031)

陈于茂

(成都铁路局西昌分局 西昌 6150031)

提 要 概述了成昆铁路沿线泥石流防治工程基本情况及此次调研工点简况,对调研工点所建工程的运行效果进行了较系统的分析,对各类工程的主要技术参数进行了讨论,并在此基础上提出了改善工程防灾效能的若干对策。这对今后泥石流防治有很现实的意义。

关键词 成昆铁路 泥石流 运行效果 防灾

成昆铁路是我国受泥石流危害最严重的干线之一。据西昌分局统计,通车以来的1972—1991年间泥石流灾害造成的断道时间达1 324h,平均每年约66h。最严重的灾害是1981年利子依达沟泥石流,颠覆442次客车,断道372h,伤亡约300人,仅抢险和善后处理费就达400万元¹⁾。

铁道部和成都铁路局对成昆铁路泥石流防御工作给予高度重视,20年间共投入了2亿多元资金对铁路沿线泥石流沟进行整治。迄今为止,已治理的泥石流沟达200多条,修建拦挡坝110座,排导沟110条,明洞渡槽17座,桥下建有防护墩的工点10个。这些工程的兴建极大的减轻了泥石流对铁路的危害,为保证铁路运输安全发挥了巨大作用。

为考察已建工程的运行效果与防灾能力,总结经验教训,选择了成昆铁路沿线40条泥石流沟的防治工程作为主要分析评估对象。选点原则是包括不同类型与严重程度的泥石流沟及各类防治工程,力图具有较好的代表性,以便做出全面合理的分析。在所选定的40条泥石流沟中,严重的泥石流沟14条,占35%;中等的22条,占55%;轻微的4条,占10%。防治工程中采用了明洞、渡槽的工点5个,占13%;建有排导沟的工点32个,占80%。设置了拦挡坝的工点17个,占43%;桥下建防护墩的工点3个,占8%。在孔跨式样上,桥孔过流的工点28个,占70%;以涵洞泄洪的工点4个,占10%;绕避等型式的工点8个,占20%。可见,拦、排工程是主要的工程型式。

1 排导工程的运行效果和改进要点

排导工程在成昆铁路泥石流防治工程中占有最重要的地位。对影响其运行效果的纵坡、断面型式、防磨措施及其与大河衔接方式等主要因素的研究有着很大的意义。

1.1 排导沟纵坡

* 本文是铁道部下达的《铁路沿线地质灾害综合防御技术的研究》课题成果之一。曾得到成都铁路局工务处常俊生、华明等同志、西昌分局施成效及铁道部科学研究院西南分院沈寿长研究员的关心指导,在此一并致谢!

1) 成都铁路局。成昆铁路北段泥石流的危害及其防治。1982。

本文收稿日期:1995-09-22,改回日期:1995-06-05。

影响排导工程运行效果的关键因素是其纵坡的选择,因为这是决定沟槽输移能力的首要因素. 调研工点中运行效果良好工点之纵坡设置情况(表1).

通过对排导沟纵坡(I)与沟谷流通区纵坡(I_L)的比值 I/I_L 计算后可知:对于人工铺砌沟床,此项比值与运行效果大致同铁道部科学研究院西南分院按室内试验提出的排导沟纵坡拟定方法相吻合^[1],即只要保证 $I/I_L \geq 0.8$ 就能保证排导沟正常运行而不发生淤积. 调研结果所显示的两者关系(图1,2). 有几个未达到比值要求的排导沟,只有在上游增建拦挡坝减小来砂浓度后方不产生淤积危害.

表 1 成昆铁路泥石流排导沟纵坡设置范围

Table 1 The slope region of drainage ditches for debris flow			
流体特征	严重(‰)	中等(‰)	轻微(‰)
粘性	150—250	≥ 120	≥ 80
稀性	120—200	≥ 100	≥ 60

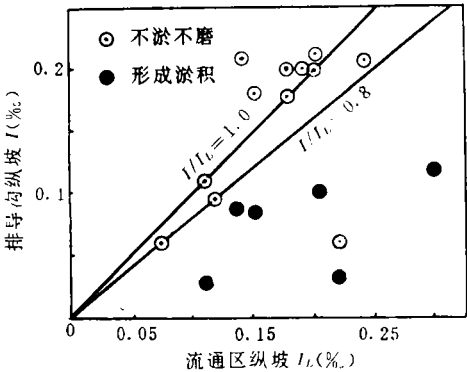


图1 平底梯形、矩形断面排导沟纵坡(I)与沟谷流通段纵坡(I_L)关系

Fig. 1 The relationship between the plane-bottom drainage ditch slope I and the gully slope I_L in transportation section

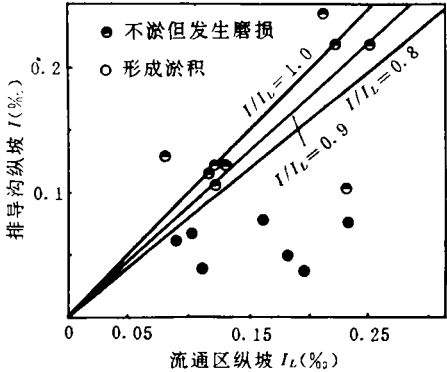


图2 尖底梯形、矩形断面排导沟纵坡(I)与沟谷流通段纵坡(I_L)关系

Fig. 2 The relationship between the V-shaped ditch slope I and the gully slope I_L in transportation section

1.2 横断面型式与尺寸

成昆铁路沿线已建排导沟宽深比多在0.7—4.0,窄深的居多. 对于宽深比 >5.0 的宽浅式沟槽多用尖底断面. 是因为大宽深比平底断面虽然有利于丰水年输砂,但在中常水域枯水年份,流量较小,流深变浅,平底断面不利于输砂而形成淤积,于是改成尖底断面.

近10年来的运行效果表明,在其它同等条件下尖底断面较平底断面具有更好的排导效果,能有效的排泄各种流量与不同浓度的泥石流. 但由于尖底断面上流体过份集中,尤其是在 $I/I_L > 0.9$ 的沟底磨损较为严重,有的工点在沟心设有构造缝时磨损就更严重. 如姆古足沟,常年有流量为 $0.5\text{m}^3/\text{s}$ 的水流,1989年竣工的尖底排导沟,现沟心已磨出宽30—40cm,深40—50cm的小槽,维修难度很大(照片1)¹⁾. 所以,从输砂与防磨两方面考虑,较合适的断面型式是沟底有横坡的窄底梯形或弧形断面.

至于排导沟横段面尺寸,除了考虑过流条件外,尚应同时考虑与铁路桥、涵的配合问题. 当桥涵尺寸合适或略有富裕,排导沟横断面不超过桥涵尺寸时,对防灾安全是有利

1) 本文照片见刊末图版 I.

的,大部分工点都属于这种情况。但也有少数工点如甘洛站区的斯前沟、联合乡3#沟等涵孔尺寸本来就不足,那么修建大于涵孔过流能力的排导沟就有加大致灾的可能,此时宜把两者同时改建,保证其过流能力的匹配协调。本着安全经济的原则,排导沟横断面尺寸不宜超过桥涵孔径。

1.3 沟床磨损

沟床磨损是成昆铁路泥石流排导沟中普遍存在的问题,特别在有常年流水的尖底排导沟心较为突出。磨损不只来自泥石流,也来自中常挟砂水流。尖底沟槽限制了流体不能象在平底上自由摆动,固定了磨蚀部位,这是尖底磨损突出的原因。目前常用的抗磨措施有钢纤维混凝土护面和尖底部位设置钢轨抗磨两种。如列古洛多沟明洞渡槽过流面采用钢纤维混凝土抗磨,年磨损量约2cm;1993年曾设置抗磨混凝土防磨,由于种种原因,效果仍不理想。又如瓦渣沟采用钢轨混凝土防磨,钢轨设置不久,一些沟段钢轨便被淘露出来,沟心已磨坏(照片2),其成本按内部维修价计也达900元/m²,费用较高。

为解决排导沟底磨损问题,一方面,寻求抗磨能力更强的耐磨材料,延长使用年限,降低成本;另一方面从改进排导沟纵横断面型式来控制磨耗强度,在满足输砂能力的前提下尽可能减小纵坡以限制流速,减弱流体磨损强度。对于 $I/I_L > 0.9$ 的工点,本身已不存在淤积危害,排导沟底防护目的是防磨损破坏,因而此类工点就无必要将沟床作整体铺砌,可改为坎式防护,由堆积物自相磨耗来消散能量。就横断面型式而言,应避免采用过份集中磨耗的尖底断面,以控制磨损速度。只有将这两方面结合才可望逐步缓解磨损问题。

1.4 排导沟末端与大河的衔接

修建在大渡河、牛日河峡谷段的排导沟多数地理位置较好,排导沟末端海拔较大河常年洪水位高,大河可顺利带走泥砂,如罗嗦沟,黑西洛等。在沟口海拔难以争取的情况下,应使排导沟末端倾向大河下游,如拉古子沟,牛日河逐步带泥沙,几次泥石流均未在沟口形成淤积(照片3)。调研工点中的少数排导沟由于过份强调纵坡而使末端海拔过低,造成了不同程度的淤积。如三滩沟1976年建的排导沟因争取纵坡使末端海拔比原洪积扇面低4.2m,造成大量回淤失效,不得不重新改建。可见,处理好排导沟末端与大河的衔接也是保证工程效果的重要一环,切忌为争取纵坡而把末端海拔降得过低。

此外,为保证全程输砂基本平衡,出口段应有足够的长度以保证与大河衔接,但又不宜伸入大河,如K413+343出口段伸得过长,造成尾端悬空而破坏。

综上所述,欲充分发挥排导工程的效益,设计时可从以下几点考虑。

1. 纵坡 I 按 $I/I_L \geq 0.8$ 取值,并参考表1。

2. 横断面 宜采用有横坡的窄底梯形或弧形断面,其宽深比一般取0.9—5.0。当 $I/I_L > 0.9$ 或宽深比 ≤ 5.0 时又不宜采用尖底断面,且纵坡越大,宽深比也越大。其尺寸的拟定应同时考虑与铁路泄洪建筑的配合问题。

3. 沟口海拔 应尽量不低于大河常年洪水位,并使出口流向倾向下游。

4. 保证全程输砂均衡 应尽量避免上游段过陡、下游段过缓,相邻沟段坡差过大的格局。

2 拦挡工程的经验和有待研究的问题

调研的40条沟中有17条建有拦挡坝,共计46座,其中实体坝24座;石笼坝1座,穿透坝21座.基本情况如下:

1. 实体坝 多为浆砌片石砌筑,粗细兼拦.坝高以5—10m居多,最高达30m.

2. 石笼坝 结构上采用钢轨骨架,中间填充块石,有利于排泄间隙水,减小水压力,如马厂沟,1985年建的3[#]坝.

3. 穿透坝 主要有钢轨格栅坝、平面竖直格栅坝、预留孔洞坝等.其功能是拦粗排细,既可避免巨石毁坏铁路建筑,又可延长工程使用年限,削减下游沟道砂石输移压力.

关于拦挡工程的布置与结构设计均存在一些问题,以下从这几个方面作一探讨.

2.1 拦挡坝的规划布置

现有的拦挡坝多建在铁路附近1 500m范围内,伸入形成区的甚少.一旦坝前淤满,减灾效益就自然降低,需加高坝或续建新坝来维持防灾功能,如祠堂沟,新寨子沟等.于是坝体布置应有一个长远规划.特别是那些以拦为主的工点,坝群布置以采用自下而上梯级修建,逐步伸入形成区,最终控制形成区发展为最佳方案.工程可分期实施,但设计与修建应考虑到前期工程失效后的继建工程方案,以防止早期工程的废弃,提高资金利用率.

2.2 坝体稳定性问题

目前尚未发生拦挡坝在泥石流荷载下失稳的事例,表明坝体设计安全可靠,也存在安全储备过大的可能.为对拦挡坝的经济合理性作出评价,就所调研的拦挡坝稳定性进行了检算.检算结果显示:

1. 坝体安全度较高,其控制安全系数大多 >2.0 ,最低也达1.5.

2. 一般均以抗滑稳定为控制条件,抗倾与抗滑安全系数之比平均为8倍,最小2倍.

3. 空坝或满坝状态起控制作用的约各占一半,因而两种状态均须注意检算.

因此,今后坝体设计可作以下改进:

a. 改进基底形状,提高抗滑力,可采用挖孔桩、锚定板及地层锚杆等结构来提高坝体稳定性.如疏砂槽沟已试用锚定板,目前运行状况良好(照片4).

b. 我国至今对这类工程未制定正式的设计规范.参照日本的有关手册,坝高 $<15\text{m}$ 的坝体安全系只要求1.2,坝高 $>15\text{m}$ 的高坝则取1.5^[2].而我国水工坝I级建筑物的抗滑安全系数也只取1.1^[3].所以,结合已建工程的运行情况,建议坝高 $<15\text{m}$ 的坝体安全系数控制值取1.1—1.2,坝高 $>15\text{m}$ 的坝体安全系数则控制在1.2—1.5,以节省工程费用.

2.3 穿透式拦挡坝的结构与排细机能

调研结果表明,既有穿透坝虽发挥了一定的拦粗排细作用,但其实际排细效果与预期要求仍有差距.主要原因有两点:

1. 穿透坝主要靠调整孔径控制粒径分界,但当泥石流体中的大块石停积在坝前后,后续细颗粒只有通过块石间隙下泄,其粒径就比穿透孔径小,于是在坝前形成一个类似滤层的排列结构,坝的穿透作用随之递减.

2. 有些坝穿透结构设计不当,如新寨子沟1[#]坝上部所设平面格栅只占坝长的1/4,大

部份迎水面都为实体结构,排细效应就有限(照片5),列古洛多沟1[#],2[#]坝仅靠坝体上预留的1—2个孔洞排砂,穿透面比例小,排细作用便较差。

为提高穿透坝的排泄机能,穿透结构的设计可作如下改进:

- a. 将穿透面从主流部分扩展到两翼滩面,增大穿透比例。
- b. 将穿透面向下游倾斜30°—45°,以扩大穿透面积,为更多的细颗粒下泄创造机会。
- c. 为克服坝前砂石的堵塞作用,建议在枯水期清除临近穿透面的大块石,这既可作石料资源加以利用,又可恢复堵塞部分的排泄功能。

3 明洞渡槽和平面绕避工程的运行效果

成昆线上的明洞渡槽创造了最可靠的防灾效果,如列古洛多、瓦洪沟等明洞,祠堂沟、万里村等渡槽都根除了灾害。但其投资较大,一般都>200万元,象列古洛多沟明洞就耗资700万元。因而只有在产砂量大,拦排工程难以消除灾害的工点才采用。

在结构上,明洞一般按偏压洞身设计,经过多年运行,均无异常现象,证明无特殊荷载作用。不少工点是在桥上加洞,有利排泄潜水,减小水压力,如窄板沟、瓦洪沟效果均不错。渡槽多按梁柱受力结构设计,梁部多用板式梁,较以往渡槽方案减小了荷载与自重,使得工程量减小。如1990年在祠堂沟开发建成的框架式槽形渡槽,较原方案少耗钢筋34%,节省投资125万元,是值得推广的一种新结构。

为保证明洞渡槽安全运行,尚有两个问题须引起重视:

1. 要确保渡槽过流不发生漫溢,如马厂沟浅埋隧道顶部的原沟槽断面尺寸偏小有漫溢的危险。
2. 槽底磨损较为突出,如瓦洪沟、列古洛多等工点槽底磨损较严重。设计时槽坡不宜过大,槽断面型式以平底梯形为佳。

平面绕避则是通过铁路改线或泥石流改道来避开泥石流与铁路交会的一类措施。大段落的改线绕避要耗费巨额资金,如利子依达沟废弃了原利子依达桥(长115.0m)和奶奶包隧道(长440m)及大渡河昆端4孔梁,新建1450m长的铁路隧道,改建大渡河大桥5孔23.8m,耗资1500余万元,才根除灾害。在地形条件允许时,也可实现花费不大的绕避工程,如蔡家沟采用泥石流改道,直接引入安宁河,避免与铁路交会,也根除了灾害。

4 主体建筑及泥石流防治工程下的防护工程运行效果

4.1 桥墩防护工程

为防止泥石流毁坏铁路桥墩,须对沟中桥墩进行防护。早期采用的防护措施多为墩身套箍加固,如原利子依达大桥、耳足5[#]大桥等,这种方式有增大冲击面积和破坏机率之弊,利子依达大桥的失事主要不该在这样大规模的泥石流沟中设墩,但与防护方法上的缺陷也有较大关系,目前常采用墩前设防冲墩抗冲,此法的优点是防护在墩前,并与桥墩相距>1m,按锚固桩设计,单独承受冲击力。只要流向基本稳定,该法就优于加箍。如龙门沟、盐井沟都收到了良好效果(照片6)。

4.2 泥石流防治工程下的防冲措施

为防止坝或渡槽末端淘刷,曾采用护坦及副坝两种防冲措施。在粒径与落差不大的地方采用护坦(钢轨格栅垫或浆砌片石)防冲,曾收到良好效果,如马厂沟3#坝;但在粒径与落差较大的地方,如瓦洪沟明洞渡槽下方的钢轨格栅垫很快就被破坏掉,后来改用副坝防护后效果甚好。因而副坝回淤较护坦具有更好的防护能力。

参 考 文 献

- [1] 沈寿长. 泥石流排导工程设计方法. 见: 泥石流防治理论与实践. 成都: 西南交通大学出版社, 1991. 154.
- [2] 矢野义男, 钓谷 雉, 渡正亮等. 谭炳炎, 孟河清, 姚一江等译. 砂、泥石流、滑坡、崩塌防治工程手册. 重庆: 科学技术文献出版社重庆分社, 1989. 100.
- [3] 天津大学主编. 水工建筑物. 北京: 水利电力出版社, 1981. 24.

ANALYSES ON EFFICIENCIES OF DEBRIS FLOW PREVENTION WORKS ALONG CHENGDU—KUNMING RAILWAY

Xie Xianguang Wang Wei

(Southwest Research Branch, China Academy of Railway Sciences Chengdu 610031)

Chen Yumao

(Xichang Branch, Chengdu Railway Bureau Xichang 615031)

Abstract

Since 1972, a great amount of protective constructions against debris flow have been built along Chengdu—Kunming Railway, which spend over 200 million yuan (RMB). These engineerings include chiefly drainage ditch, check dam, bypassing structure and resisted pile. Through paying a systematic return visit and investigation for these engineerings, it was found that most of them have made the investment yield well so as to promote the safety of railway operation.

In this paper, the debris flow disasters and the protection constructions along Chengdu—Kunming Railway have been outlined. In order to understand the working situation, the engineerings in 40 debris flow gullies were surveyed and analysed emphatically in 1992. Among them, there are 5 debris flow gullies in which the aqueducts were built (taking the proportion of 13% in total), 32 debris flow gullies in which the drainage ditches were constructed (80%), 17 debris flow gullies in which the check dams were erected (43%) and 3 debris flow gullies in which the resisted piles were constructed (8%). Then, the efficiencies of these works, which were surveyed in the investigation, have been analysed and assessed in an all-round way, and the main technical factors for all kinds of works have been discussed in the meantime. Finally, several countermeasures to improve prevention engineering efficiencies are presented.

Key words Chengdu—Kunming Railway, debris flow, working efficiency, disaster prevention



照片 1 姆古足沟,1989 年建的尖底排导沟沟床磨损情况



照片 2 瓦磁沟沟床磨损速度很快



照片 3 拉古子沟,1989 年改建的窄深式排导沟,排导效果良好,成功地排泄了一次较大规模的泥石流



照片 4 峨边砂槽沟,1991 年建的钢轨格栅坝,基础为锚定板,运行状况良好



照片 5 新寨子沟 1#, 坝上部平面格栅只占坝长的 1/4, 排细效应有限



照片 6 龙门沟大桥下,1990 年建的防护墩已经受了 1991 年泥石流考验,效果较好