

泥石流的类型和等级及工程防治

荆 绍 华

(兰州铁路局工务处)

兰州铁路局管辖的陇海、兰新、兰青、青藏、包兰等干线及铁山、平汝、宁大等支线，自建路以来，泥石流灾害时有发生。它造成桥涵堵塞，击毁和埋没线路、车站，机车车辆颠覆；造成铁路运输中断及人身伤亡，损失很重。仅1979—1983年资料统计，5年来共发生自然灾害203次，中断运输1,115小时31分钟，其中泥石流灾害91次，中断行车748小时40分钟，占67%。为了更好地了解这些铁路附近的泥石流活动、分布规律、现有设备状态和抗灾能力，做到心中有数，防患于未然，并为工程防治、科学研究，促进管理科学化提供可靠依据，在1979年成立了泥石流联合调查组，于1980、1982、1983年对兰局管内的重点泥石流沟进行了较全面的调查和技术建档工作，并结合重点沟的整治选定了兰青K8+792、K79+550，青藏K211+799、K254+409等四处试验观测工点。本文对调查建档和工程防治等问题，谈一点不成熟的经验。

一、泥石流分类

泥石流是近期发展起来的年轻的边缘学科。在我国目前尚处在以调查、分析形成条件，分布规律，防治措施等为主的基础研究阶段。泥石流的调查建档，是一项十分艰苦、细致而又重要的工作；它为泥石流分类提供了基础。兰州铁路局在铁道部科学院西南研究所及有关单位的支持帮助下，克服了线长点多、气候地理条件差的困难，翻山越岭走遍了甘、宁、青三省属的铁路泥石流沟谷，历时三年之久，共调查了242条沟，建立190条泥石流沟的技术档案；拍摄了大量的黑白和彩色照片，重点沟录了相；初步掌握了管区内泥石流沟形成的地形、地貌、地质构造、气候条件以及现状和发展趋势，为科学研究、工程防治和管理科学化等奠定了基础。

由于我国地域辽阔，地质构造复杂，地形、地貌、自然地理、水文气候环境和植被等条件差异大，因此，泥石流的形成、分布、类型、判别标准、灾害周期和危害程度均有不同。特别是严重灾害等级的划分，很难统一。通过几年的实际调查、资料分析和技术建档工作的实践，谈谈我们的方法：

(一) 泥石流沟的判别：

1、泥石流是山区的一种自然灾害现象。它含有大量的泥沙、石块，暴发突然，历时短，来势凶猛，破坏严重，其体积含量一般均超过15%，容量1.3吨/立方米左右；粘稠的泥石流体积含量高达80—90%，容重为2.3吨/立方米左右，而且运动中往往产生多次层流现象。

2、地形地貌。泥石流沟源头外表形态呈扇状或漏斗状，即形成区；中游狭小而直，为流通区；下游为扩散的扇形，叫做堆积区。但个别的小型泥石流沟形成区和流通区很难区分，需要全

面分析而定；有的出山口紧接主河道，没有明显的堆积扇，这是由于主河道的冲刷携带能力很强，泥石流的松散物质被主河带走所致。因此，在现场调查判别时必须具体条件具体分析。

3、固体物质的储备量。这是泥石流形成的三大条件之一，但目前国际国内尚无定量的标准。我们认为，只要有3,000—5,000立方米以上的松散固体物质的储备量，其它条件具备，即可判为泥石流沟。如局管区内的陇海K1511+202处1—2.3米的混凝土板桥，泥石流沟汇水面积不到1平方公里，松散物质只有6,500立方米，纵坡较陡，1982年在调查此段时未列为泥石流沟。1983年8月23日该区段降暴雨，20分钟的降雨量为7毫米，暴发了泥石流，约800立方米的泥沙石块被带出沟口，桥孔堵死，有400余立方米漫道，造成1807次货物列车机车颠覆脱线，中断行车3小时38分，影响旅客列车6列，货物列车2列。因此对于汇水面积小、沟内物质储备量小的泥石流沟也不可忽视。

(二) 泥石流的类型。目前关于泥石流分类的方法很多，尚未形成大多数人所公认的、能全面反映泥石流特征的统一分类方法。常用的有：按形成泥石流固体物质和水源补给形式不同的分类；按泥石流的物质组成不同分类；按泥石流沟的形态不同分类；按泥石流结构流变类型进行分类，等等。这种分类繁而杂，不能全面地反映泥石流的特征，实用意义不大。从我们运营管理和工程治理的角度出发，以泥石流的物质组成成份进行分类比较合适，即泥石流、泥流和水石流三种。它们具有不同的物质组成和成因条件：

1、泥石流。这是泥石流中最典型的一类。它的流体主要是由粘土、亚粘土、粉沙、石块和巨大的漂砾石所组成，多发育在花岗岩、花岗片麻岩、页岩、千枚岩、板岩等岩石分布的地区；

2、泥流。它是西北黄土高原特有的泥石流类型，主要的固体物质为粘土和粉沙等细粒物质，仅含有少量的石块。它粘度大，稠泥的浆体在流动过程中常在岸壁上粘附有很厚、很光滑的“泥皮”痕迹，在下游流通段或堆积扇上有泥球，在兰州铁路局主要分布在定西工务段、陇西工务段管区内。

3、水石流。它主要由质地坚硬的大石块与水、或与浓度很稀的泥浆组成，堆积区巨石累累，石块间隙明显，很少有细粒物质填充。它主要分布在石灰岩、石英岩、大理岩、白云岩、玄武岩、砂岩等坚硬岩石分布的山区。在局管区内主要分布在青藏线湟源工务段，兰新线的铁山支线、平汝支线等。

(三) 泥石流等级的划分。泥石流调查建档的重点之一，就是严重等级的划分。目前国内尚无统一的标准。我们是根据在流域调查结束时，各专业组，即水文、地质组的技术人员和工务段的技术主管人员共同讨论，综合分析而定的。主要依据是流域面积大小、地质构造、不良地质现状、沟内可动的松散固体物质储备量大小、沟床纵坡、暴发的周期和历史灾害的严重情况等，划分为严重、中等，轻微三个等级，待内业结束后再进行适当调整。这是对泥石流沟本身严重等级的划分。

调查建档的重点之二，就是根据泥石流对铁路建筑物的灾害威胁程度，分为严重、中等，轻微和无威胁四种。这个工作对铁路泥石流研究和工程防治具有很重要意义。它不仅反映了泥石流对铁路的危害程度，铁路桥涵建筑物设备的抗灾能力，而且决定了泥石流防治工程的方案和结构的类型，同时也为运营管理部门雨季防汛期提供需要重点巡视、看守的可能暴发泥石流灾害，危及行车安全的区段或重点桥涵路基，防止二次灾害的发生。通过几年的调查建档和资料整理分析的实践，我们采用的主要判断的标准，是根据计算出的清水流量、泥石流流量与桥涵本身能安全通过的允许最大流量的比值而定，用公式：

$$A = Q_1 / Q_2$$

A——泥石流流量与桥涵允许通过的最大流量的比值；

Q_1 ——根据清水流量换算的泥石流流量；

Q_2 ——桥涵允许通过的最大流量。

1、泥石流对铁路建筑物威胁严重的。桥涵建筑原设计标准低，泥石流流量和清水流量都无法通过，A值大于2.0及其以上者；

2、泥石流对铁路建筑物威胁中等的。桥涵建筑物有一定的排泄能力，只能排泄清水流量，不能满足排泄泥石流流量的需要，A值大于1.0小于2.0者；

3、泥石流对铁路建筑物威胁轻微的。桥涵建筑物可以排泄清水流量和泥石流流量，但有些勉强，安全保证率低，A值在1.0以下者；

4、泥石流对铁路建筑物无威胁。桥涵建筑物有足够的排泄能力，在绝大多数的情况下不会构成威胁，如高净孔大跨或多跨度的桥，列为无威胁。

二、工程防治

泥石流是山地灾害之一。随着工农业建设的迅速发展和国民经济建设战略的逐渐转移，山区铁路建设发展的很快。兰州铁路局管辖的2,796公里运营线（未计入青藏线哈尔盖以西的里程），山区铁路约占46%，泥石流沟224条，平均5.8公里山区铁路就有一条泥石流沟。30多年来，曾多次发生过大规模的泥石流灾害。如1964年兰州地区东起东岗镇西至西固城，先后三次泥石流成灾，淤埋并冲毁陈官营车站，沿线不少工厂、学校、居民住宅被淤埋冲毁。1961年兰青线K122+602泥石流推走钢筋混凝土梁两片；1959年，青藏线扎麻隆峡谷段泥石流暴发，施工被迫中断并改变设计；1964年陇海线K1386+371暴发泥石流，天水机务段及职工住宅区受灾；1969年陇海线K1444+197暴发泥石流，将钢梁冲入渭河；1979年8月，青藏线K255+540泥石流灾害，造成机车和五节货车颠覆，K254+409小桥被泥石流淤埋，桥面上淤高达2米，钢筋混凝土梁被石块击坏，1981年8月铁山支线K74+630泥石流，淤埋客车两节。事实告诉我们，如何处理好山区铁路泥石流的防治工程是一项十分重要的工作。

目前国际上对泥石流灾害的防治，分硬防治和软防治两种；硬防治即工程防治，软防治是指灾害的预报报警。现阶段我国对泥石流的防治基本上都采用硬防治。灾害预报报警的软防治，目前尚处在试验研究阶段。

30余年来，兰州铁路局在一些泥石流沟上做了一些工程防治措施，在调查的224条泥石流沟中建拦挡坝240座，排导建筑物194处，明洞渡槽9座。这些防治措施，发挥了不同程度的工程效益，减少了灾害损失，控制了泥石流的规模。这当中有成功的经验，也有失败的教训。实践告诉我们，泥石流沟的性质和类型与工程整治的方案和结构形式，关系十分密切，处理不当，不但病害未除，反而会加重灾害的威胁。

（一）拦挡工程。拦挡工程即拦渣坝，是一种历史悠久的整治山洪和泥石流灾害的建筑物，是目前处理泥石流病害中最常用的一种形式。它适用于支沟发达，上游沟岸有崩坍、滑坡、溜坍处所多，下游纵坡平缓，没有一定的停淤场等排泄条件不良的泥石流沟。修建拦挡坝，可将泥石流的固体物质阻拦在坝前的河沟内，减少桥涵的排泄量，削减和控制泥石流的规模，降低泥石流的容重，改变输沙条件和减小输沙粒径，调节输沙量，促使泥沙输移向水沙输移转化，利用回游移谷移坡。同时拦挡坝结构简单，便于施工，投资少，可就地取材，能在短期内达到发挥工程效益的目的。在修建的240座拦挡坝中，除少数坝由于设计、施工等原因坝体破损失效外，其90%的

效果良好，正在发挥着作用。

拦挡坝的结构形式基本上分两种：一种是浆砌片石的实体重力坝，一种是钢质的格拦坝。根据调查和近几年做的试验工点表明，二者适用的范围有所不同。在粘性（包括泥流和泥石型）的泥石流沟，采用实体的重力坝较为合适，但坝体不宜过高，以低坝为宜，需留能通过一定流量的溢洪口，并注意坝基的埋深和坝端必须嵌入两侧山体的岩石，根据沟床纵坡选坝的高度和间距，稀性水石流型的泥石流沟则宜用钢质的格拦坝，它除了具有重力坝的优点外，还有以下的特点：

1、阻拦被洪水带到坝前的巨石，粒径小的砂石和流体可从坝的间隙通过，改变流体结构和流速分布，造成淤积环境，降低流体浓度和输砂粒径，迫使向洪水转化。

2、保持河道输砂平衡，是河床纵剖面的稳定条件，拦大排小延长泥库的使用寿命，也能充分地利用河床固有的排砂能力，防止下游河床发生有害的下切。

3、可充分利用铁路的废旧钢轨，工程数量小，投资少，见效快，施工简易便于普及。如兰青线K 8 + 792处10米小桥，该沟汇水面积6.25平方公里，主沟长5.45公里，主沟平均纵坡7.3%，沟内崩坍、滑坡、错落等不良地质现象十分发育，松散物质169万立方米，为一条严重的水石型泥石流沟。1975年交付运营以来，泥石流多次冲毁跌水和急流槽，大量泥石流堆积物停淤在桥下，桥孔被堵，有淤埋线路的危险，曾多次修复都被冲毁。1981年，兰州局与西南科研所合作，在沟内修建了三座间隙不同的格拦坝，改造桥前的急流槽，作为水石型泥石流沟整治的试验观测工点之一。1983年8月6日，当地下10分钟的暴雨，降雨量为6.9毫米，暴发了一场中等规模的泥石流。经调查，这次共拦了约0.8万立方米的固体物质；1984年8月11日，又发生了比1983年规模还要大的泥石流，三号坝被拦固体物质的高度已接近坝顶，二号坝和一号坝拦挡的固体物质的高度相应的降低。但桥位上游的急流槽完好，桥下尚无淤积物，保证了铁路的安全畅通，发挥了工程效益，基本达到了设计的目的。

（二）排导。泥石流的排导工程主要适用于上游没有建坝拦挡的条件，下游主河携带力很强，能及时地将上游冲下的泥石流固体物质带走，或有足够的停淤场的泥石流沟。常用的排导措施有明洞渡槽、改沟分流、桥涵扩孔、改涵为桥、抬高桥梁等工程措施。在已整治的132条泥石流沟中，属排导的55条，占41.7%，工程效益发挥较好。如兰新线K116—K142泥石流沟上的桥涵，原设计只考虑了排洪水的要求，而忽视了泥石流的排泄，在桥涵上游均设了阶梯式的缓流消能设备，桥下纵坡突然变为平坡或缓坡，造成排泄不畅，淤积严重。近几年来，工务段对此进行了改造，变缓流为急流和增设排导沟，解决了泥石流地区小桥涵的淤积堵塞。同时对17条泥石流沟的桥涵进行了扩孔或改涵为桥等工作，加大了孔径，改善了排泄条件，提高了设备的抗灾能力，收到了良好的效果。

明洞渡槽是铁路排泄、绕避泥石流最安全和最有效的措施之一。如若条件许可，采用明洞渡槽最为理想，一劳永逸。如陇海线K1443+082原为1—4.3米的混凝土小桥，1963年8月和1965年7月两次泥石流漫道，1974年7月泥石流3,500立方米固体物质堵死桥孔，淤埋线路，中断行车。后在沟内建了6座重力式坝，由于设计、施工等种种原因，到1980年部分坝已淤满、冲毁，失去拦挡作用，造成新的威胁。在天兰电气工程改造时改为明洞渡槽，解除了泥石流的灾害威胁。

（三）拦排结合。拦排结合是整治泥石流病害最常见、用得最多的一种工程措施。在已整治的132条泥石流沟中就有104条，占78%，基本达到了拦排的目的，使泥石流灾害和规模得到了控制。它适用于支沟发育，固体物质来源丰富、储量大，下游纵坡较平缓、排泄条件不充分，单一的拦和排都不能奏效者，采用拦排结合的办法，充分发挥各自的有利条件，起到大拦小排，整存零取，调节流量，控制灾害规模的作用。如陇海线的天水至陇西、（下转第8页）

n年历次泥石流冲淤变化的总和)作为设计基准面,再按发生100年一遇的泥石流来确定线路高程。这个暂行办法与设计规范的设计洪水频率标准的概念不一致。

3.在铁路主体工程与流域内泥石流防治工程相结合的工点,某些单项工程可按频率较大的泥石流流量设计,而收铁路泥石流防治满足规范要求的效果。以护床固坡为主的拦挡坝坝体安全的控制情况是空库过流和大石块冲击的组合,满库过流时坝体偏于安全,且其安全度随库内堆积物日趋固结(即内摩擦角日趋增大)而增大,也随其上游固体物质及暴雨径流日益受到控制(即过坝泥石流流量减小)而增大。如果判定该泥石流沟在坝建成的短期内不致发生百年一遇的泥石流并带下巨大石块,则该拦挡坝可按满库过流和过库泥石流流量用较大频率设计。

在拦挡坝内淤满以后,沿沟设置的固坡挡墙的埋置深度增加,墙体更趋安全。因此,在设计固坡挡墙时,可考虑以回淤的沟床作为墙前冲刷计算的基准面,而不必考虑以原沟床为基准发生百年一遇的清水流来计算墙前冲刷深度。

据以上分析,最理想的综合治理施工程序是由上而下,铁路主体工程后建。这样铁路主体工程可按频率较低的泥石流流量设计,节约造价。然而,由于铁路通车急,综合治理,尤其是水土保持措施收效缓慢,甚至迟后若干年,铁路不得不按自然情况的百年一遇的泥石流流量并预加n年淤积总高设计,可以省的费用未能省下来,殊为可惜。比较可行的施工是:铁路建成时,紧要的稳床固坡工程已竣工,储淤工程已可使用,蓄水工程及生物措施加紧实施;稳床固坡工程赶在汛期开始可能发生小泥石流之前竣工,这样拦挡坝可按满库通过频率较大的泥石流设计;固坡挡墙可按回淤的沟床基准面计算墙前冲刷;铁路主体工程及排导工程可按固体物质被削弱后的百年一遇的泥石流流量设计;对没有急流槽的桥梁,其桥下净高只需考虑中期或近期的淤积总高度。铁路节省下来的费用可用于稳床固坡及储淤工程,以利这些工程及早施工,达到一份费用各方收益的效果。

五、结束语

铁路泥石流灾害因时因地因所处泥石流部位而异,与人为活动的不良后果及地方经济设施遭受泥石流灾害的情况息息相关。铁路通过泥石流地区必须从一个泥石流流域到整个泥石流地区,从泥石流的过去、现在到泥石流的发展趋势,从泥石流对铁路的危害到对地方经济设施的危害及两种危害的关系,即从整体上去把握泥石流动态,从整体上去规划防治对策,就事半功倍。

从长远看,积极作好国土治理,是铁路防治泥石流灾害的根本保证,在不断淤高的堆积扇上修建铁路尤其如此。因此,结合铁路泥石流防治考虑国土治理实属必要。

(上接第12页)兰新线的中堡至华藏寺、兰青线的河口至西宁,铁路都是沿着渭河,庄浪河和湟水自东而西的延伸。在这些区段内,河床都是逐年淤积抬升,沟底与河床的标高相差不大,沟内不良地质现象发育,因此多采用拦排结合方式。如兰新线K129+029,沟内山体风化破碎,松散物质的储备量达15万立方米,下游为农田,距庄浪河较远约500米,坡度平缓,排、拦的条件都不太好,是一条严重的泥石流沟。1958年在上游修了长大的排导沟750米,大小跌水、拦挡坝27座,采取即拦又排的工程措施,至今未发生过灾害性威胁。

总之,3年调查建档的实践和30余年运营铁路防治泥石流的正反经验,铁路对防治泥石流应积极主动,要力争在新线的勘测设计阶段想法解决;在运营线上的泥石流防治,应根据不同的性质类型,因地制宜地采用不同方式整治,同时要加强对调查研究,科学地有计划地进行防治工程的试验,积累资料,不断地分析总结,提高防治工程的科学现代化水平。