

宝鸡—略阳铁路沿线泥石流成因初析

蔡祥兴

(中国科学院兰州冰川冻土研究所)

宝成铁路宝鸡—略阳段(以下简称宝略段),全长214公里,其中依山傍水线路约180公里,占全长的80%以上。该段铁路自1958年建成通车以后,泥石流的危害很少发生。但在1981年8月(以下简称81·8),宝略段铁路沿线各沟普遍暴发了泥石流,给铁路交通和铁路沿线人民的生命财产造成了损失。本文试对宝略段沿线泥石流的形成因素作一些初步分析。

一、固体物质

松散固体物质的存在,是泥石流暴发的重要条件之一。松散固体物质的多寡、组成和分布状况,不仅对泥石流的类型和特性有着重要影响,而且对泥石流的规模和暴发频率也有着重要影响。

宝略段沿线的地层,受燕山、海西构造运动和侵入岩活动的影响,具有构造复杂、断层发育、岩性多变、褶皱强烈等特点。断层破碎带和滑坡也比较多,这是泥石流松散固体物质形成和积累的客观有利条件。

宝略段沿线地震烈度较低(不超过7度),千枚岩、页岩和片岩等易风化破碎岩层分布范围小,多数基岩滑坡在铁路修建过程中进行了工程处理,植被覆盖度大都在50%以上。这些因素的存在又限制了岩石的风化和破碎,减缓了松散固体物质的形成和积累。在这些有利条件和不利因素的综合作用下,宝略段沿线各沟松散固体物质的储备量远不能与云南东川和甘肃武都的泥石流沟相比。

由于松散固体物质的供应不充分,限制了泥石流的形成和发展。宝略段沿线泥石流的暴发频率比东川和武都要小得多,不仅没有一年暴发泥石流数次甚至十多次的泥石流沟,而且连数年暴发一次泥石流的泥石流沟也不多见。泥石流的规模也比较小。根据103条泥石流沟的统计资料,一次泥石流的固体物质冲出量皆小于10万立方米,其中有84条泥石流沟的一次泥石流固体物质冲出量尚不足1万立方米。宝略段建成通车以来,很少发生过泥石流危害,松散固体物质量小、分散是重要原因之一。

“81·8”期间宝略段沿线有117条沟暴发了泥石流,而且90%以上是发生在1981年8月21日(以下简称81·8·21)。这种情况在云南东川和甘肃武都是没有见到过的。据调查统计,宝略段沿线81·8暴发泥石流的沟谷中,皆有新的不良地质现象产生,而且有82条沟的泥石流是由新产生的不良地质现象形成的松散固体物质直接演变而成,或以其为固体物质的主要来源。这

说明，宝略段沿线81·8普遍发生泥石流与81·8各沟普遍产生新的不良地质现象有着密切的关系。

81·8宝略段沿线新产生的不良地质现象，促成了泥石流的暴发。这些新产生的不良地质现象由于性质和所处位置的不同，其固体物质质量和对泥石流的补给方式有着很大差异，对泥石流的规模、类型和特性也有着很大影响。

(一) 中更新统黄土堆积 (Q_2^{eol+pr})。多以帽状、马鞍状形态或以残留的不规则小片，分布于山顶、山梁或山坡上，不整合覆盖在古老基岩面上，倾斜方向多与古地形一致，具垂直节理和孔管，砂和粉砂含量占80%左右，粘粒含量约占20%。81·8因受地表径流下渗或下部基岩裂隙水浸泡，底部土体被软化，抗剪强度减低，摩擦系数减小，与其下伏基岩的接触面在山坡或谷坡前沿多具临空面，因而在此种黄土堆积中新产生的不良地质现象多为整体位移的滑坡。滑坡的体积多为2—8万立方米。这类滑坡体若处于流域中、下游，多直接演变成容重大于1.7吨/立方米的高容重泥流；若处于流域的中、上游，多被水流稀释为1.5—1.7吨/立方米的泥流。据调查，在46条重点泥石流沟中发生的泥石流，此种成因的有6条，占13%。此种类型的泥流由于其规模较大，多造成冲毁、堵塞铁路桥涵的危害。

(二) 上更新统黄土堆积 (Q_3)。此种黄土堆积可分为两种：

1、坡积黄土堆积 (Q_3^{d1})，多分布于山坡、谷坡、坡脚和 Q_2 黄土之上，厚度0.5—4米，局部夹有岩石碎屑或块石。由于其厚度较小，植物根系发育，腐殖质含量高，持水性强，易被整层浸润饱和而达塑限或流限。故在81·8多以浅层溜塌和表层滑塌的方式补给泥石流固体物质。这种不良地质现象形成的松散固体物质数量较小，一般只有数百至数千立方米，超过0.5万立方米的很少。由于其分布位置不同，有的被冲蚀稀释为稀性泥石流或泥流，有的则直接演变为高容重的泥石流或泥流。此种补给类型的泥石流与滑坡补给型的泥石流的主要区别，是固体物质冲出量较小，含有相当多的植物残体，原土体结构完全破坏。在浅层溜塌和表层滑塌两种不良地质现象中，表层滑塌最为普遍，几乎是山山存在，沟沟都有。在46条重点泥石流沟中，此种补给类型的泥石流沟有8条，占17.4%。

2、冲洪积黄土堆积 (Q_3^{al+pl})。这种黄土堆积多分布于河流两岸，组成第二级阶地。阶地宽度数十米至百米，高出河床20—50米，厚度为5—20米。宝略段沿线的支沟多横穿此堆积层，形成窄而深的V形沟槽。此堆积层结构较松，不具垂直节理，含有砂砾层或卵石层，易受冲刷或地下水浸渗而坍塌，形成稀性或粘性泥石流，以稀性泥石流为主。以此种补给类型为主的泥石流沟，占重点泥石流沟总数的13%。

(三) 全新统堆积层 (Q_4)。此种堆积层亦分为两种：

1、坡积堆积层，主要分布于坡脚和山坡缓凹处，组成物质多为黄土夹碎石，厚度数米至十多米。植被覆盖情况一般都比较好。

2、洪积堆积层，主要为亚砂土夹碎石或砂砾层，除沟床质、扇形地多属此种堆积外，多数支沟阶地和沟岸台地也属此类堆积层，厚度一般为1—5米，最厚达15米。

这两种堆积层具有大而分散的特点，对泥石流的补给方式主要是侧蚀和底蚀，多形成稀性泥石流。在46条重点泥石流沟中，以此种堆积层为固体物质主要来源者有11条，占23%。此种补给类型的泥石流对桥涵的危害一般不大。

(四) 基岩和基岩风化层的滑坡和崩塌

在46条重点泥石流沟中，以基岩和基岩风化层滑坡或崩塌为泥石流固体物质主要来源者共有5条沟，占11%。由于其滑、崩时间多迟于81·8·21洪峰出现时间，冲出沟口的数量不多，大部分滑

崩体尚停积于主沟或支沟沟床中，若不及时加以处理，将会为今后泥石流的暴发提供固体物质，对铁路桥涵的威胁是相当严重的。

（五）采矿采石弃碴

宝略段沿线有7条沟谷中有地方办的采石采矿场，其废碴多不采取任何防护措施而直接堆积在沟床中，成了泥石流的固体物质来源。在81·8期间，有两条沟的泥石流即以此为其固体物质来源，并对铁路桥涵造成了危害。目前仍在以原方式进行弃碴，堆积量越来越多，而且相当集中，对铁路桥涵的潜在威胁也是很大的。

二、水 源

宝略段沿线泥石流的水源主要是大气降雨和少量地下水，泥石流类型皆为暴雨型泥石流。

宝略段邻近地区的多年平均降水量为613.2—1,145.9毫米，有由南向北递减的趋势。降水年内分配不均匀，6—9月的降雨量占全年降水量的60%以上。日雨量大于50毫米和100毫米的暴雨日在各气象站的记录中均屡见不鲜。这表明，暴发泥石流的降水条件是充分具备的。但由于其它因素（如前面所述的固体物质条件和后面所述的植被因素）的限制，宝略段沿线的泥石流是比较弱、比较小的，大规模的粘性泥石流则更加少见。

81·8·21宝略段沿线各沟普遍暴发了泥石流，但是当日的降雨量并不算很大。据分析，当日的降雨量的发生机率只相当于4年一遇至20年一遇。各气象站均多次出现过大于81·8·21的降雨量记录，其它如10分钟、1小时的短历时降雨强度，不但不是多数气象站有记录以来的最大值，而且也不是1981年的最大值。但是，宝略段自1958年建成通车以来，泥石流的暴发很少，而81·8·21宝略段沿线各沟却普遍暴发了泥石流并造成很大危害。如凤县在1958年7月4日，降雨120.9毫米，未暴发泥石流，而81·8·21降水79.9毫米，附近有数十条沟暴发了泥石流，茨坝在1981年8月15日降雨98.1毫米，最大一小时雨强13.5毫米，未引起泥石流暴发，而81·9·21降雨82.2毫米，最大一小时雨强14.9毫米，茨坝附近各沟都发生了泥石流。由此说明，在宝略段沿线的特定条件下，在某一限量雨强内，短历时暴雨强度的大小不是泥石流暴发的唯一起作用因素。

81·8·21前后，宝略段沿线及其邻近地区，皆连续降雨10天以上，连续降雨总量皆大于360毫米，日平均降雨量皆大于30毫米。各气象站历史上虽也出现过相当于81·8·21前后的连续降雨日数，但降雨总量与日平均降雨量则小得多；或日平均降雨量相当，而其连续降雨日数又少得多。总的来看，81·8·21前后的连续降雨情况，是各气象站建站以来绝无仅有的一次记录。很显然，这种长历时、大强度的连续降雨，对宝略段81·8·21普遍暴发泥石流是起重要作用的。

81·8·21前后宝略段虽也有泥石流暴发，但为数很少，95%以上的泥石流是发生在81·8·21。这种情况表明，81·8·21之前的连续降雨是泥石流暴发的孕育因素，81·8·21的降雨是泥石流暴发的激发因素，或者说是产生新的不良地质现象的激发因素，因为宝略段的新的不良地质现象绝大多数也是发生在8·21。

宝略段在8·21之前的连续降雨总量和连续降雨天数，除谈家庄外差别是不大的。8·21的降雨量除白水江、马蹄湾、徐家坪外，其余各站点的差别也不大。谈家庄8·21之前的降雨总量和连续降雨天数虽然比较少，但8·21的降雨量高达141.5毫米，为各站点之冠。8·21暴发泥石流沟的分布密度以宝鸡至谈家庄之间最高，略阳附近次之，白水江至徐家坪之间最少。

综上所述，可以初步得出宝略段暴发泥石流所需要的降雨条件如下：

1、连续降雨天数不少于8天，前7天的连续降雨总量不少于210毫米，日平均降雨量不小

于30毫米，最后一天的降雨总量不少于80毫米，即相当于前7天日平均降雨量的2倍以上；

2、连续降雨天数少于8天大于4天，前3天的连续降雨总量小于210毫米大于80毫米，日平均降雨量小于30毫米大于27毫米，最后一天的降雨量要大于140毫米，即相当于前3天日平均降雨量的5倍以上。

三、地形和地貌

地形和地貌也是产生泥石流的重要因素之一。它不仅对泥石流的形成、运动、流态和类型有直接影响，而且对泥石流的固体物质来源和补给方式也有着重要影响。

1、**山坡坡度**。宝略段沿线泥石流沟的山坡平均坡度为320—920%，多数大于500%。这对于泥石流固体物质的形成和积累是有利的。因为宝略段沿线各沟81·8产生的各种不良地质现象皆位于500%以上的坡面上。其中黄土滑坡为530—630%，基岩和基岩风化层滑塌为580—2,000%，浅层溜塌和表层滑塌为750—1,500%。

地貌形态对泥石流的形成有着重要影响。宝略段沿线各沟，在沟床与山坡坡脚之间分布着许多台地和阶地。由于这些台地和阶地的存在，使许多新产生的不良地质现象所形成的松散固体物质不能到达河床，从而减缓了泥石流的暴发和规模。没有这些台地和阶地的存在，81·8宝略段沿线泥石流的暴发和危害将更加普遍和严重。

2、**沟床坡度**。沟床坡度是泥石流运动的能量条件之一。据统计，宝略段沿线由各种不良地质现象直接演变成的高容重泥石流和泥流，流动时的沟床坡度为360—550%，间接形成和沟蚀形成的稀性泥石流，流动时的沟床坡度为65—350%，沟床坡度若小于上述坡度的下限数据，泥石流就停止运动，或仅能以很小的速度向前蠕动，沟蚀现象也随之消失。

3、**流域面积**。宝略段沿线各泥石流沟流域面积的大小和单位面积松散固体物质储备量，有成反比例趋势。按流域面积的大小，可把宝略段沿线泥石流沟分为三种类型：小于或等于0.7平方公里的为粘性泥石流沟，大于0.7平方公里小于1.2平方公里的粘性和稀性泥石流兼有；大于1.2平方公里的为稀性泥石流沟。

四、植被

宝略段沿线各泥石流沟内的植被情况是比较好的，植被覆盖度大都在50%以上，但多为次生林和幼林灌丛。据我们调查和实测，枯枝落叶层的厚度一般只有3—5厘米，超过10厘米的很少，植被根系发育的林下土层厚度一般只有0.3—0.5米，大于1.0米的不多。据西北林学院王国礼提供的资料，目前陕南林地的蓄水能力为120—150毫米，即使如此，这对减小暴雨径流系数、延长汇流时间、减弱坡面侵蚀等所起的水土保持作用也是很重要的。这已被许多试验和观测所证实。例如，成都地理研究所1976年9月15日在黑沙河泥石流沟幼龄松林地实测，在雨量为50.1毫米的降雨条件下，裸露地的径流系数为松林地的4.5倍，裸露地的泥砂损失量为松林地的784倍。宝略段沿线各沟，在无前期连续大雨的情况下，短历时暴雨很少引起泥石流暴发，除了其它因素外，植被较好不能不说是一个重要因素。

但是、植被对限制泥石流的暴发不是绝对有效的。由于林下土壤具有很大的蓄水能力和渗透速度，地表径流减小了，入渗径流增加了。这种入渗径流，一部分下渗至土层底部，遇到基岩或粘土层受阻而积聚，有利于滑坡和崩塌等不良地质现象的复活和产生；（下转第95页）

四、山地灾害的防治

随着国民经济建设发展，应十分重视加强山地灾害的防治工作。其防治的原则，应以防为主，防治结合。在广大山区人烟稀少的地方，宜以防为主；厂矿、城镇居民点，宜防治结合，以治为主。

1、认真做好山地灾害调查研究工作。组织科技人员对山坡结构、断层破碎带、裂隙状况和淌湾滑坡蠕动情况进行调查，找出滑坡与泥石流隐患的位置，划出危险区。尤其是对居民点、工厂、矿山建筑物有危害的地方，要加强预防和治理措施。今后在山区建设中必须加强规划工作，考虑山地灾害的影响。

2、利用降雨观测做好防灾预报工作。略阳境内，山区设有许多雨量观测站，应提高观测质量，把预报山地灾害列入业务工作计划。根据1981年降雨产生滑坡与泥石流资料分析，多处灾害的发生，决定于前期降雨和暴雨量。如前期连续降雨超过7天，且日平均降雨量 >30 毫米时，可能暴发滑坡、泥石流的日降雨量为80毫米；如前期连续降雨超过4天，而日平均降雨量大于25毫米时，可能暴发滑坡与泥石流的日降雨量为140毫米；如3日降雨量超过200毫米，1小时降雨量超过60毫米，10分钟降雨量超过5毫米时，就应动员群众防范滑坡和泥石流的产生。

3、组织群众对滑坡位移观测。滑坡发生和发展可分为三个阶段，即蠕动变形、急剧滑动和趋向稳定阶段。在蠕动变形阶段，斜坡上出现许多呈弧状裂缝，应对裂缝变化进行简易动态观测。在垂直裂缝方向打几排木桩，其中一个或几个要打在不动的土体上，定时观测，记录裂缝变化情况。雨季时，观测次数应该加多。如发现裂隙错位扩大，有连通等现象时，立即动员附近居民搬迁。

4、注意滑坡前兆。通常滑坡在滑动前都有前兆。有些滑坡在滑动前的1—2天，有山鸣谷啸的现象，或有鸡猪不进窝，牛不进棚，老鼠搬家等动物异常现象。这些异常现象是当斜坡上的土体开始滑动时，剪切力逐渐增大，有低频发声，许多动物具有对低频感受的能力，引起惊恐而产生异常反应。这些宏观征兆可做为预测滑坡的参考。

5、保护山坡，防止山地灾害。山地灾害的防治关键，是保护和合理利用山坡，严禁滥砍过伐，破坏森林植被；严禁陡坡开荒，乱垦乱种；提倡植树造林、种草及坡面合理耕种等措施，利用植物保护山坡。因植物能够增加地面覆被，涵养水源，保持水土，避免暴雨径流冲刷山坡，抗击坡面重力作用，且能促进农业生产。故利用植物防治山地灾害，是山区长期结合生产的一项主要任务。

（上接第89页）一部分下渗至林下土层，形成壤中流，使土体饱和，内聚力降低，抗剪强度减弱，土体容重增加，有利于浅层溜塌和表层滑塌的产生。据调查分析，宝略段81·8形成的大面积浅层溜塌和表层滑塌即为此因所造成。值得提出的是，这种现象在裸暴山坡和基岩山体上则很少发生。据此看来，在连续大雨的特殊情况下，植被对稳定坡面，防止泥石流的暴发也是无能为力的。还必须辅以工程措施才行。