

# “两宝”泥石流的形成与工程地质勘测问题

孙全德

(铁道部第一勘测设计院)

为摸清宝成铁路北段、宝天铁路(简称“两宝”)沿线泥石流沟分布与形成条件,西安铁路局、铁道科学院西南研究所、中国科学院兰州冰川冻土研究所和铁道部第一勘测设计院共同组成调查组,先后进行了近8个月的外业调查,考察了76条泥石流沟,收集了基本资料,编写了调查报告,提供了部分工点的整治意见和设计参数。本文就“两宝”泥石流的形成和工程地质勘测问题提出一些看法。

## 一、“两宝”泥石流灾害

宝天铁路沿线泥石流灾害在国内是很早闻名的。据访问,前清同治七年(1868),冯家川与凤阁岭东(现k1337+856)连续下雨40多天,发生大规模泥石流,下游冯家川村被冲毁,死伤多人,仅逃生4户7人;k1337+856泥石流掩埋下游村庄几十户人家;同治六年,元龙堡子沟暴发泥石流,巨大石块掩埋了山口西侧王家庄北部。1928年7—8月元龙王家沟与堡子沟久雨不停,随之发生涌高达3—5米的泥石流,所挟巨石直径达1—3米,沿沟老树多被泥石流拔根而冲走,元龙镇人身伤亡、财产损失无法估计;1938年,凤阁岭西k1341+676处,泥石流冲埋沟口下游东侧通关村十多户房屋。

宝天铁路自四十年代交付运营以来,一直受到泥石流的袭击。比较严重的如1949年胡店沟暴发泥石流,掩埋了胡店车站;同年元龙附近几条沟同时暴发泥石流,掩埋了元龙车站;1950年元龙一带再次发生泥石流,路基被掩埋,线路被冲毁,中断行车一月之久。为此,1951年将线路连同元龙车站靠河移动,并将线路提高3米;据1959—1982年对元龙四条沟12次清淤量统计,总清淤量达14.1万立方米。1978年7月12日晚上9点左右,伯阳附近降大暴雨(102.2毫米/2小时),伯阳站西菜子沟和刘家湾同时暴发高容重的泥流,其规模之大,来势之猛,是宝成铁路上罕见的。菜子沟泥流流出量为18万立方米,其中沿车站漫溢长达100米,铁路上停积约8万立方米;刘家湾泥流冲毁沟口一孔10米的钢筋混凝土桥梁,拦腰切断东侧桥台,堆积在路基上的泥流沉积物厚5—8米,长150米,堆积量20多万立方米,泥流前峰越过铁路流入渭河,造成渭河短时间断流。伯阳泥流中断行车达299小时。1981年8月,秦岭地区普降暴雨,21日宝天东段多处暴发泥石流,中断行车达10处,一些多年未发生过泥石流的沟谷也造成了较严重的灾害。如k1290+646(颜家河西)泥石流冲毁路基,桥上淤积约2米;k1309+047(小桥沟)泥石流冲走一孔10米钢筋混凝土梁。近36年来,宝天线因严重泥石流灾害造成中断行车的有24处次。

宝成线北段，以往泥石流灾害较少，五十年代初期勘测时，仅认为前后龙王沟为泥石流沟。六十年代整治“两宝”病害时对阳平关、燕子砭、凤县附近个别工点按泥石流沟进行了勘测。1981年8月18—24日，宝成北段沿线几乎同时暴发泥石流，对铁路造成灾害的有60多处。其中泥石流掩埋车站的有红花铺、凤县、李家河等5处；巨石堵塞桥涵和淤埋线路有k15+540、k64+g12、k105+605、k158+021等50处；摧毁桥梁的有k107+921处1—4.5米钢筋混凝土桥，k122+794处1—3.4米钢筋混凝土桥，k222+847处1—6.7米钢筋混凝土桥和k225+489处1—4.5米钢筋混凝土桥等8处；泥石流漫道而灌进隧道的有51号、80号隧道等4处；泥石流冲毁附属工程的有k87+346上游2号坝等。由于坡面泥石流而造成的路基病害更是不胜枚举。

## 二、“两宝”泥石流的分布

据初步统计，宝天铁路沿线有泥石流沟104条，平均0.67条/公里；以拓石为界，其东78.5公里有36条，其西76.5公里有68条；即宝天西段泥石流沟密度比东段大一倍。宝天线16条危害严重的泥石流沟，有13条分布在西段。从我们调查的20条沟来看，东段9条中泥石流危害程度属轻微的有4条，中等的有5条；西段11条中轻微的仅有1条，中等的3条，严重的7条。可见宝天铁路泥石流沟严重程度，也是西段远远高于东段。

宝成北段跨越泥石流沟118条，平均0.33条/公里，分布密度仅为宝天线的一半；而且泥石流沟主要分布于秦岭南坡至徽县段（k51—k150有56条泥石流沟，即0.56条/公里）。泥石流沟在秦岭北坡与徽县以南分布零星。

泥石流沟的分布状况主要与宝天、宝成北段的地质条件有关。

## 三、“两宝”泥石流的形成条件

1、地质。宝天线地处秦岭东西褶皱带的北部边缘，沿线所经地区的主要地质构造线方向以北西西为主，铁路线走向与其大致平行。对铁路影响较大的是上沟里—拓石—固川近东西向的主干断裂，及其南北两侧与之平行的次一级构造或与之斜交的“入”字型分支断裂。拓石以东，线路离主干断裂较远；而拓石以西，铁路与主干断裂或分支断裂接近，许多泥石流沟的发展就是以断层破碎所提供的大量碎屑物为物质基础的（如k1337+071石浪沟、k1363+918冯家川沟等）。宝天西段位于秦岭东西构造带与陇西系旋卷构造交接带，原生地层多被切割成许多大小不等的块体，固体物质来源丰富，故泥石流比较发育。

宝成北段横穿秦岭纬向构造带。凤县以北，铁路除横穿三条纬向大断裂外，北东向的杨家湾—黄牛铺断裂、红花铺—罗汉寺断裂和凤县断陷的部分断裂，则和铁路平行；凤县以南，铁路横穿四条纬向断裂。

“两宝”泥石流多发生于黄土、花岗岩以及片岩、页岩、千枚岩分布区。

宝成北段与宝天东段广泛分布燕山期侵入岩（以花岗岩为主），中、粗粒结构，块状构造，风化严重，节理发育，岩体较破碎，易产生崩塌、错落，沟谷内沉积物大小混杂，稀遇暴雨时可产生河槽泥石流作用（如宝成k66+086庙沟、宝天k1296+153）。

黄土在宝成线徽县以北与宝天线广泛分布。中、上更新统黄土粉粒为主，孔隙度大，透水性强，新生冲沟与陷穴发育，常有滑坡、错落堵塞沟谷，遇集中暴雨形成“泥流”。值得注意的是，特大暴雨（如78·7·12伯阳暴雨）在黄土区有时形成中—厚层崩塌性滑坡，沿沟直泻成为高容

重泥石流，破坏力极大；或者是大面积连续降雨可能产生广泛的浅层溜塌，由于面积大，来势猛，难以设防。

宝天线广泛分布中泥盆系（D<sub>2</sub>）片麻岩与片岩，并有少量白色大理岩呈条带状出现；宝成线凤县附近，广泛出露白垩系东河群砾岩，凤县以南多见古生界页岩、千枚岩、片岩。这些岩石节理发育，岩体组织和构造复杂，岩层破碎，易产生崩塌、错落和严重剥落等不良地质现象，在断裂破碎带尤其如此。

宝成与宝天铁路地震烈度为7度，但宝天西段天水地区地处北西向、东西向以及旋卷构造交接带，有明显构造体系复合现象，地震烈度较高，为8度。天水镇南罗家堡，于1654年7月21日发生8级地震。宝天西段地震烈度较高，岩层多次受到强烈构造运动作用而变得较为破碎，沟谷内不良地质现象比较普遍，黄土分布极为广泛，厚度较大，如下伏不透水的第三系粘土层或火山岩时，更易造成地下水溢出，稀遇暴雨时黄土发生崩塌性滑坡，并直接转换为泥石流。

2、地貌。宝成北段与宝天铁路多穿行于山高坡陡的峡谷和断续分布的阶地，沿线各支沟的地形和地貌发育过程对泥石流类型、流态以及固体物质来源均有重要影响。据统计，坡面水土流失和崩塌、错落等大多发生在坡度大于500%的坡面上，而山坡坡度在宝成北段多为300—1,000%，在宝天段为400—800%，即“两宝”山坡坡度有相当数量在易发生不良地质现象的范围之内。沟床坡度直接影响着泥石流的侵蚀、搬运和沉积过程。我们调查宝成北段的全部粘性泥石流或泥流，只有在大于360%纵坡的沟床中才能顺利下泄；若沟床纵坡小于360%，即发生停淤或呈蠕动状运动，使一些桥涵受淤埋（如k83+131、k108+893等）；而稀性泥石流或水石流所需排泄坡度为80—340%，当沟床纵坡小于80%时即会停止运动而淤积。宝天段元龙四大泥石流沟主沟平均纵坡为95—193%，中下游沟床宽达40—80米，因纵坡小，易于停积，顺沟显示出逐段搬运和沉积的特征。“两宝”有不少桥涵建筑物置于挖方地段，自然造成沟床纵坡由陡变缓，或者建筑物在沟床断面突然增宽处，都很容易发生淤积而危及线路（如宝成k107+921、k63+990，宝天k1296+436、k1341+676等沟）。

泥石流的发生与发展，与沟谷地貌的发育过程密切相关。新生沟谷流域面积小（大多小于0.4平方公里），沟浅坡陡流程短，呈条带状分布，沟谷坡度基本与山坡坡度一致（在宝天段为4.4—747%），无明显的流通区，沉积区呈锥形。这就是通称的山坡型泥石流（如宝成k104+108、k118+473，宝天k1305+436、k1306+157等沟）。沟谷进一步发展，流域面积较大，支沟与上游不良地质现象明显，有束放相间的沟形和卡口跌水，可以明显区分出泥石流形成、流通、沉积区；流通区较顺直稳定，沉积区呈扇形，扇面较缓，沉积物多呈次棱角状。这就是典型的沟谷型泥石流沟（如宝成k66+086庙沟、k69+269五里庙沟和宝天元龙四大泥石流沟等）。

3、降水。“两宝”地处夏季季风区，多年平均降水量“宝成”为613—1,146毫米，“宝天”为700—850毫米，均呈现由东南向西北递减的趋势。全年雨量分配极不均匀，7—9月雨量占全年降水量的55%以上，而且暴雨多集中在7—8月，泥石流亦多发生在7—8月。

宝天段地质条件复杂，岩性差异较大，泥石流发生的降雨条件亦因地而异。从这次调查资料分析，发现宝天段黄土地区，只要一小时降雨大于32毫米，就有可能发生黄土泥石流；坚硬岩（花岗岩、闪长岩）沟槽堆积物再搬运，形成泥石流的降雨条件是日雨量大于80毫米，并且前期（7天）连续累计雨量大于200毫米；风化变质岩（片岩、板岩）区松散沉积物往往粒径较小，以小于10厘米的颗粒为主，一般雨洪即可将它们搬运出沟，造成桥涵的大量淤积。

从1981年宝成线降雨资料分析结果：

（1）前期连续降雨日数在7天以上，而日平均降雨量大于30毫米时，可能暴发泥石流的日

降雨量为80毫米，如茨坝以北、略阳等；

(2) 前期连续降雨日数在4天以上，而日平均降雨量大于25毫米时，可能暴发泥石流的日降雨量为140毫米，如谈家庄。

**4、植被和人类活动影响。**宝成北段与宝天东段植被覆盖度多在50%以上。这种植被多属次生的幼龄林或草丛地，它对短历时暴雨条件下泥石流的形成和发育有着显著的抑制或减弱作用。因此，这些地区在一般情况下发生泥石流较少。植被对降雨的截蓄作用是有限的，它随降雨历时的增长和降雨强度的增大而减小，因而对泥石流的抑制也随之减小。在1981年8月长历时暴雨和陡坡（大于35°）地形条件下，覆盖层较薄的灌丛草坡地带也会发生普遍的溜塌，直接为泥石流提供大量的固体物质。

人类不合理的经济活动，主要表现在两个方面：一是人类大规模破坏森林植被、过度开垦而引起生态平衡失调，从而加速泥石流发展的进程。如宝天段元龙四大泥石流沟，据说是从清代同治六年（1867年）开始发展起来的。以前这一带山区均有森林，植被覆盖完好，后来人类过度砍伐森林，出现秃山，风化土石相继随洪流而下，逐渐发展形成泥石流；二是大量采石弃碴，直泻沟床形成人工泥石流，如宝成北段的北星沟和银河沟，宝天毛家庄采石场两端k1346+428和k1347+222，也是典型的人工泥石流沟。该采石场在宝天线修建时规模很大，以后陆续采石，至今每月采石弃碴平均5,000—6,000立方米，弃碴直接堆弃于沟床或谷坡。1977年8月暴雨，使西端k1347+222的2—15.8米桥几乎堵塞（原净高9米），桥下泥石流沉积达2万立方米。

## 四、“两宝”泥石流工程地质勘测的几点认识

如同对其他不良地质现象（如滑坡等）的认识过程一样，我们对泥石流的认识也是从实践中不断提高的。解放初期，在宝天线恢复通车和大改建时，对若干条泥石流沟进行调查与整治，当时对高容重泥流与河槽泥石流作用尚缺乏认识。宝成线勘测时，因泥石流周期长、频率低而大量被漏判。1964年兰州地区泥流、1978年伯阳泥流和1981年两宝泥石流，给了我们深刻的教训。通过调查，我们在泥石流沟谷的工程地质勘测方面有了一些新的认识：

**1、泥石流沟的判别问题。**首先，要有区域的概念。在我国，泥石流分布密集地带位于辽南山地。燕山、太行山、秦岭、黄土高原南部、龙门山、横断山直至西藏东南部波密—察隅山地，即地势上是我国台阶式地形转折最明显处，其地面相对高差较大；气候条件是湿热的东南季风和西南季风向西、北方向推进，遇到地形升高容易产生暴雨的地区；地质上是新构造运动差异幅度大、现代地震活动频繁的地区。就西北铁路而言，陇海线孟（塬）莲（花寺）段和宝兰段，兰青线和青藏线东段，宝成线以及勘测中的宝中、阳（平关）西（宁）、西安—安康线均在此范围内。此区域内凡沟谷内新构造运动强烈，地层破碎，地形相对高差大，植被破坏严重，不良地质现象发育，即可视为严重的泥石流沟。其次，对每一条沟都要进行全流域调查（尽可能先利用大比例尺的航空像片）。沟口洪积扇是泥石流发展过程的归宿，也是判别泥石流的重要标志。一些近期轮廓不定，新沉积普遍发育的扇形地往往令人注目，而一些已开辟农田或有定居的扇形地有时会误认为已趋于稳定，可是只要上游有丰富的固体物质来源，沟床纵坡较陡，一旦遇到暴雨或连续大量降雨，仍会发生泥石流，如宝成k51+949北沟，k69+269五星沟。有的沟谷沟口濒临渭河、嘉陵江，泥石流所挟带的固体物质直接被河水冲走，沟口扇形地并不明显，但上游形成区松散物很多，不良地质现象严重，如宝成k53+749、k158+021，宝天k1385+375等沟，仍为严重的泥石流沟。再者，泥石流沉积物与一般山间沟谷沉积物相比，其特点是分选差，从漂砾到

粉、细砂和粘土各种粒径混为一体，多呈棱角状。我们在宝成线银河沟（k67+697）下游沟床、中游老洪积物和上游形成区堆积物等三处实测，每处大颗粒物平均直径都为45厘米。这种大颗粒沉积纵向无分选性，正是泥石流沟的特征之一。我们往往可以从沉积地貌和沉积物特征方面，将泥石流沟与一般山间沟谷区别开来。

2、**要特别注意崩塌—滑坡型泥石流。**这类泥石流以突然崩塌、坠落开始，以高速度运动后骤然停积而告终。这样的泥石流速度大、容重大、爬坡高，冲击力强，摧毁性强，历时短暂，搬运力强，形成区和堆积区基本连通，对铁路造成破坏性灾害。如1978年伯阳泥流为沟源崩塌性黄土滑坡，顺较陡的沟谷直泻而成；1981年宝成北段k257+344和k318+118泥石流亦为上游崩塌、滑坡或错落直接补给。这种崩塌—滑坡型泥石流多发生于黄土、页岩、千枚岩以及片岩地层分布区。在勘测时尚未发现沟谷内有不良地质现象，而是在运营后遇特大暴雨或连续降雨时才发生错落、滑坡，并沿陡沟翻滚直下，转化为泥石流。这就要求在勘测阶段，按地质、地形、水文条件分析产生泥石流的可能性，并采取必要的预防措施。

3、**要充分估计河槽泥石流的作用。**有些沟谷植被较好，谷坡较稳定，仅有少量崩塌、表层剥落等山坡变形现象，但沿沟早期坡积、洪积物数量大，沟床中停积大量松散沉积，沟床纵坡较陡，常年状态下以推移形式输移固体物质。在流域内，不良地质与长期风化剥落所造成的固体松散物质在沟床中逐渐积聚，其表面往往被常年洪水分选而残留下来的大颗粒覆盖层保护起来，一旦遇到特大暴雨（如宝成北段和宝天东段1981年8月21日降雨量，普遍超过100毫米）或持续降雨（凤县附近1981年8月14—21日降水300毫米以上）获得足够的动能，当洪水流速超过此覆盖层临界速度时，河床则大幅度被下切，并旁蚀沟谷两侧阶地或坡积、洪积物，将发生大规模泥石流运动，即所谓的“河槽泥石流”作用。这些大多产生于侵入岩地区，如宝成北段k66+087庙沟、k63+990大桥沟、k64+813、k69+269五星庙沟，宝天k1296+153、k1305+832.6等沟泥石流，均属此类型。因此，对勘测时处于间歇期的泥石流沟谷，要提高对底蚀、侧蚀引起松散物再搬运的预见性，并在工程处理上充分考虑。



（上接封底）

6、直石河道， $b > 40$ 毫米以上的格拦坝坝体受力可不考虑水压力， $b < 40$ 毫米时则根据细砂和泥土含量决定；

7、格拦坝边墩和中墩应有足够的埋深及强度；

8、急流槽纵坡大于150%，在砾石层或一般土质均应有加强防滑移的措施。

## 结 束 语

经过3年的实践，格拦坝是泥石流地区一种较好的拦挡形式。过去，本段管区内多使用实体拦挡坝；1981年以来，先后在兰青线k59+191等工点上修建了多种形式不同间隙的格拦坝4座，均发挥了拦淤效益。