

# 应用遥感图像进行宝成铁路 沿线地质灾害的分析

李景豪

(地矿部水文地质工程地质技术方法研究所)

## 摘 要

本文通过对 4400 多张不同时期航片和 5 幅卫片 (部份用计算机和光学图像处理等技术进行了信息增强提取) 的解译, 结合前人资料和地面调查验证, 对宝成铁路 (宝鸡—绵阳段) 沿线约 5000km<sup>2</sup> 范围的灾害地质现象和环境地质因素进行了分析, 论述了地质灾害的分布发育规律及与地质环境的相互关系, 提出了铁路沿线地质灾害的防治对策和建议。

宝成铁路是连结我国西南地区的交通干线。自 1958 年正式交付运营以来, 既取得了巨大的经济和社会效益, 也暴露出大量的地质环境问题, 其中以沿线的崩塌、滑坡、泥石流等地质灾害为甚。据有关部门统计, 至 1986 年, 仅宝鸡—上西坝区段, 由于沿线各类地质灾害而中断行车累计达 4600h 以上。1981 年雨季后, 全线约有 713 处灾害点, 比较严重的就有 280 余处, 造成 60 多天断道停车, 直接经济损失和修复费用以亿元计算。

区内各种地质灾害的形成和分布发育, 都受一定的地质和人为环境因素的制约。其中地质构造、地貌、谷坡形态、岩土类型、水文、植被、土壤、气候和人为工程活动等, 是不可忽视的环境因素。本文根据遥感影像提供的信息, 结合地面调查验证资料, 对上述部分因素的解译成果及与地质灾害的相互关系作一些分析, 供在该区进行工程环境治理时参考。

## 一、区域环境地质因素

### 1. 地质构造

宝成铁路沿线跨越了陇西帚状构造、秦岭纬向构造、龙门山华夏系构造和绵阳环状构造等四个区域地质构造带, 地质构造复杂, 形式多样。在 TM 和 MSS 图像上, 各种构造形迹的宏观影像, 尤其是断裂构造影像是比较醒目的。综合起来, 区内断裂构造有以下影像标志:

- 1) 直线状或弧线状延伸的基岩陡坎和黄土台坎所显示的线形影像;
- 2) 反映一系列直线状延伸的槽形凹地或负向地形的条带状影像;
- 3) 两种不同地貌单元或两种不同走向山系的截然相接的线状分界线, 界面两侧呈影纹图案截然不同的影像;
- 4) 不同级别水系或流向相反的两条河流沿同一直线展布, 图像上呈较连续的直线形河流影像;
- 5) 图像上显示的较大规模的直线状河流, 在狭窄范围内迂回前进或多条河流沿某一直线方向发生同步肘状弯曲;
- 6) 反映成排分布的断层崖和断层三角面的直线形影像;
- 7) 地质体沿走向突然中断, 直线状界面两侧影像具有明显“色”、“形”差异。

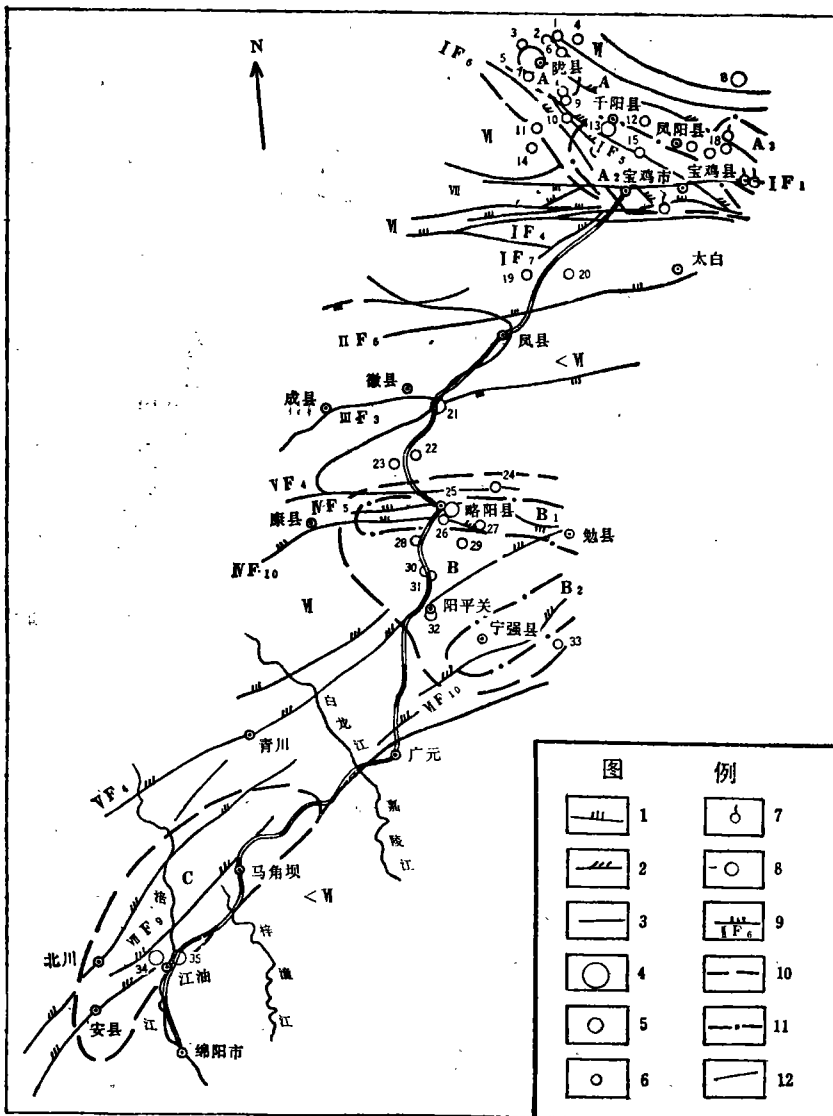


图 1 宝成铁路(宝鸡—绵阳)卫星像片活动断裂解译及地震危险区划图

A—陇宝地震危险区；A<sub>1</sub>—陇县地震危险区；A<sub>2</sub>—千阳—宝鸡地震危险区；B—汉中地震危险区；B<sub>1</sub>—略阳—勉县地震危险区；B<sub>2</sub>—宁强—汉中—洋县地震危险区；C—江油—马角坝地震危险区；Ⅶ—七度地震烈度区；

Ⅵ—六度地震烈度区；<Ⅵ—小于六度地震烈度区；

1—压性断层；2—压扭性断层；3—性质不明断层；4—6—6.9级地震震中；5—4—5.9级地震震中；6—小于4级地震震中；7—温泉及编号；8—地震震中点编号；9—断层线及编号；10—地震危险区界线；11—地震危险带界线；12—地震裂度区界线

根据上述解译标志，结合已有资料与地面调查验证，全区共解译出主要断裂112条，比以往地质图新增43条。根据区内断裂的展布方向、分布密度和发育状况，圈定了宝鸡—杨家湾、油房沟—凤县、聂家湾—谈家庄、徐家坪—略阳—王家沱、阴平关—燕子砭、朝天驿—冉家河、马鞍塘—二郎庙等7个断裂构造集中发育带，确定了9条规模较大的主要活动断层。结合历史和现今地震资料，划分了3个地震危险区，4个地震危险带(见图1)。

上述解译成果为区域环境工程地质评价提供了依据。7个断裂构造集中发育带是区内地壳相对较不稳定地段，也是地质灾害多发地段。据统计，铁路通过断裂发育带累计长度为152km，占全线(即宝鸡—略阳段552km)总长度的27.5%，该地发育有滑坡、崩塌、泥石

流等地质灾害（指铁路沿嘉陵江河谷一级分水岭范围内）295处，占全线滑坡、泥石流灾害点总数的45.1%，平均发育密度为1.94处/km，高于全线平均值1.65倍，高于非断裂集中带2.2倍。

区内规模较大且仍有活动的灾害地质体，如东坝、观音山危岩体；谈家庄、西坡、高家坪、横现河、塔坝、青岗林等滑坡，大都分布在节理裂隙发育的多组断裂交汇处或活动断裂带附近。从全区来看，大致以广元为界，以北为地壳相对较不稳定区，以南为稳定区。广元以北分布发育的地质灾害点占全线解译总数的85.5%，平均发育密度为1.63处/km；广元以南地质灾害发育密度为0.48处/km，且主要分布在马角坝以北地段。

## 2. 地貌和谷坡类型

宝成铁路自北往南横跨渭河盆地、秦岭山地，龙门山山地和四川盆地几个地貌单元。除两端为盆地地貌外，其余为中切割中山，峡谷地形占全线63.3%。按地貌成因形态共解译划分14个三级地貌类型。根据铁路两侧谷坡坡形、坡度、坡向与岩层产状关系，铁路沿线划分了26个谷坡类型区段。结合不良地质现象解译，地形地貌与地质灾害分布有如下关系：

- 1) 长期上升剧烈的分水岭地区，以崩塌、危岩、落石为多，滑坡一般少见。
- 2) 中至深切切割的“V”型峡谷区，铁路以堑坡通过时，大于40°的顺向坡和反向坡，崩塌、工程滑塌现象普遍；分布高程一般在路基以上90m处，此间正是铁路开挖边坡的主要地带，使斜坡变陡，加剧了斜坡的不稳定性。表1和表2列出了崩塌与地形坡度和地貌的关系。

表1 崩塌坡度统计表

坡度(度)	<10	10—20	20—30	30—40	40—50	50—60	60—70	70—80	>80
数量(处)	2	1	7	29	70	65	80	76	48
备注	根据解译资料，由909大队野外调查了378点进行统计								

表2 崩塌发育地貌统计表

河谷地貌类型	峡谷间隘谷	槽形宽谷	盆地地形宽谷	合计
数量(处)	304	69	5	378
所占比例(%)	80.4	18.3	1.3	100

3) 峡谷区的重力堆积坡，在人为和自然因素作用下，堆积物易产生新的活动，是不稳定斜坡。据统计，峡谷地段发育的崩塌、滑坡为宽谷地段的3.54倍，但泥石流发育频率，峡谷段低于宽谷段。这是由于峡谷段沟床纵坡较大，松散固体物质很难大量积聚储备，而产生泥石流。

4) 黄土滑坡一般发育在下陡上缓的凸形坡及直线型坡中；基岩滑坡多发育在直线型陡坡上；峡谷区局部凹型和折线形缓坡段（一般15°—35°斜坡），是堆积土滑坡的主要分布区。

5) 崩坡积物呈扇形、舌形、马蹄形分布，在中间高、外围低的正斜坡地段，常发育堆积土滑坡；单面山缓坡区常易形成各类坍滑。

6) 黄土台地地区的水系流域呈瓢形、卵叶形、葫芦形的地区, 在暴雨条件下极易形成泥石流, 坡面泥石流多发生在大于 $35^{\circ}$ 的斜坡上。

### 3. 岩、土体工程地质类型

岩、土体工程地质特性, 是评价区域工程地质条件和岩、土体稳定性的重要依据。根据本区以往工作程度, 结合遥感影像的可解性, 考虑到岩、土体的成因类型、主要岩性、岩体结构、力学特性等差异, 全区划分出13个工程地质岩石组合类型。其中岩体稳定性较差的为较软弱的千枚岩、片岩组和页岩、泥岩组。它们主要分布于马蹄湾—白雀寺和朝天驿—冉家河等区段。其影像主要标志是呈不均匀的灰白或暗灰色调, 不规则斑块状、麻点状图案, 地形较平缓, 冲沟水系发育, 表层多残坡积物。

区内不同岩石组合类型与地质灾害发育有如下关系:

1) 岩浆岩、碳酸盐岩岩石组合分布区, 一般崩塌规模大, 危害严重; 变质岩分布区崩塌密度大, 规模小。上述三组岩类出露面积占调整面积45%, 崩塌发育总量占全区的76.5%, 是宝成线崩塌发育的主要地层。

2) 区内第四系土体, 大多数结构松散, 透水性强, 岩相变化大。致使区内堆积土滑坡发育数量多, 具有多个滑动面和活动性强的特点。全区解译的323处滑坡中, 堆积土滑坡占78%, 其中不稳定的滑坡占46.8%。

3) 松散土体与千枚岩、板岩或泥页岩接触面, 往往是地下水运移的场所, 由于降水入渗, 极易促使界面地层软化, 形成堆积土滑坡。据调查资料, 沿千枚岩、板岩和泥页岩层面滑动的堆积土滑坡, 分别占该类滑坡总数的31.2%和43.3%。

4) 易风化的岩浆岩、软弱的千枚岩、片岩、板岩以及黄土和残坡积物发育地段, 泥石流发育程度较高(见表3)。

表 3 泥石流发育与岩性关系统计表

岩 性	黄土、砾土、 碎石土等	岩 浆 岩	变砂砾岩、 碳酸盐岩与 千枚岩、片 岩、板 岩	千枚岩、 片岩、板 岩、片麻 岩	碳酸盐岩 与砂砾岩	砂 砾 岩 与泥质岩	火山熔岩
分布面积(%)	20.49	11.9	20.82	7.49	15.88	21.51	1.9
泥石流发育(%)	30.26	27.63	14.47	11.84	6.58	5.26	3.95

## 二、灾害地质现象

宝成铁路沿线地形陡峭, 斜坡结构松散, 断裂发育, 残坡积物分布广泛, 工程地质条件复杂, 人类工程活动频繁, 有发生各种山地灾害的地质条件和人为因素。加之本区南北气候差异显著, 在大雨带自南向北推进过程中, 受秦岭阻隔, 暖湿和干冷气团交汇、对峙, 极易形成暴雨天气。由此而诱发的各种水害和地质灾害, 给铁路正常运输带来很大的危害。

根据不同时期航片的可解性, 通过室内外建立的影像解译标志, 全区共定位解译各类地质灾害点1168处。其中滑坡323处, 工程滑塌177处, 崩塌与坍滑407处, 泥石流沟155条, 岸边冲刷等100多处, 并分别判定了它们的规模和活动性。区内地质灾害点的分布发育有以下特点:

**1. 各种地质灾害发育规模小, 分布密度大** 据953处灾害点统计, 其变形破坏总体积为1.38亿 $m^3$ , 平均线变形破坏量为250000 $m^3/km$ 。其中小于100000 $m^3$ 的占90%以上, 大于100万 $m^3$ 的灾害地质体只有16处。但按铁路沿线历年来斜坡变形破坏点的总和计算, 平均发生率高达6.4个/ $km$ , 这是国内外铁路史上罕见的。从本次解译的155条泥石流沟资料分析, 其汇水面积小于1 $km^2$ 的占解译总数的45.8%, 而且一半以上的汇水面积为0.1—0.5 $km^2$ ; 汇水面积超过10 $km^2$ 的仅占总数的11.6%。这一解译成果反映了本区泥石流沟的规模一般不大, 松散固体物质储量较少且分散, 但某些地段分布密度相对较大的特点(如黄牛铺至杨家坪段密度为1.23条/ $km$ )。

**2. 分布地域上北强南弱** 以滑坡解译为例(见表4), 在阳平关以北纬向构造带地段, 滑坡线发育率为0.82处/ $km$ , 是全线平均发育率的1.41倍; 而阳平关以南华夏构造带地段, 线发育率仅为0.36处/ $km$ , 仅是全线平均值的62%。从铁路通过地段斜坡的稳定性资料分析, 阳平关以北, 不稳定和极不稳定斜坡, 分别占该类斜坡总长度的73.8%和59.6%, 稳定和较稳定斜坡总长度仅占34.2%, 也反映了地质灾害分布具有北强南弱的特点。

表4 滑坡分布状况表

地 区	铁路长度 (km)	解译的滑坡数量(处)				线发育率 (处/ $km$ )	为全线平均发育率的 倍数
		基 岩	黄 土	堆 积 层	合 计		
宝鸡—阳平关	270	16	36	169	221	0.82	1.41
阴平关—绵阳	282	19	0	83	102	0.36	0.62
宝鸡—绵阳	552	35	36	252	323	0.58	

**3. 各种地质灾害的分布受人为因素影响突出** 据解译资料统计, 沿嘉陵江铁路一侧, 在谷坡范围(即第一级分水岭范围)内, 共分布主要地质灾害点499处, 占沿线谷坡总数的76.3%; 而另一侧仅占23.7%。明显反映出由于筑路开挖、刷坡等工程活动, 激发了各种地质灾害的活动。本区人为破坏谷坡林草或不适宜地开辟水田, 以及铁路路面标准设计偏低、桥涵偏小、隧洞偏短等, 都是引起地质灾害不可忽视的人为因素。

**4. 区内地质灾害的发育规模、强度、次数, 经历了高峰—平缓—再高峰的马鞍形变化过程** 即建路和运营初期, 由于大规模的工程施工活动, 破坏自然斜坡的稳定状态, 造成各种地质灾害激增。据调查, 当时斜坡变形破坏点总数累计达2000多处。60—70年代经过工程整治, 地质灾害趋于平缓。1981年特大暴雨后, 地质灾害又骤然增加。目前沿铁路通过的一侧谷坡, 仍分布有主要的不稳定地质灾害点228处, 占解译总数的45.7%。这一发展变化过程, 反映灾害性天气是导致目前斜坡变形破坏的主导因素。

### 三、防治对策与建议

针对区内存在的地质灾害和主要环境地质问题, 从遥感角度, 提出以下防治对策与建议:

1. 对灾害地质体的防治应从改善铁路沿线的生态环境着眼, 大力进行护坡护林, 开展小流域综合治理, 消除激化因素, 优化整体环境, 才能取得治本的效果。

2. 对自然斜坡稳定性较差、地质灾害多发地段(如秦岭—双石铺、略阳—阳平关、下寺—罗妙真等区段),开展航空遥感定期监测,配合其它地面测试手段,做到预防为主,治灾为辅。

3. 针对已查明的不稳定灾害地质体,按其形成发育机制,采取地质体自身加固与排除不良影响相结合的整治方针。对泥石流分布区,以绿化山坡、拦蓄导引、顺坡筑沟等疏导方案治理为好;对崩塌密集发育地段,以棚洞、明洞等硐护措施最适宜;对土体滑坡应以截渗排水,结合建设抗滑加固工程,严禁在滑体上种植水田,改耕地为林地等措施最有效。

4. 加强区域灾害性天气的预报和研究。围绕各类典型灾害体危险性评价(如西坡滑坡、罗妙真高位滑坡、东坝山体开裂、庙沟泥石流等),开展多学科的专题调查研究,确定科学的治理方案。逐步建立遥感解译模型和遥感信息系统,充分发挥遥感的预测预报优势。

#### 参考文献 (略)

## THE APPLICATION OF REMOTE SENSING IMAGES IN THE GEOLOGICAL HAZARD ANALYSES MADE IN THE AREA ALONG THE BAOJI-CHENGDU RAILWAY LINE

Li Jinghao

*(Institute of Technique and Methods of Hydro-engineering Geology, MGMR China)*

#### Abstract

This paper makes an analysis of geological hazard phenomena and the factors of environmental geology in an area about 5000 km<sup>2</sup> along Baoji-Chengdu railway line(Baoji-Mianyang section). The analysis was made on the basis of interpretation of more than 4400 airphotos of different periods and 5 satellite pictures, incorporated with the referencing of the predecessors' literatures and field investigation data, and also by means of computer technique and optical image processing. The author expounds as concisely as possible the law of geological hazard distribution and development, and its correlation with geological environment. Also, the author produces some important suggestions and preventive measures in connection with the geological hazards which exist along the railway line.