

遥感图象解译在宝成铁路沿线 地质灾害调查中的应用

李景豪

(地矿部水文地质工程地质技术方法研究所)

提 要 本文应用不同时期航卫片,对宝成铁路(宝鸡—绵阳段)沿线约 5000Km² 范围的灾害地质现象和环境地质因素进行了解译分析,提出了铁路沿线地质灾害的防治对策与建议。

关键词 地质灾害 遥感图象解译 宝成铁路

一、遥感工作方法、程序

宝成铁路是连结我国西南地区的交通大动脉。自 1958 年正式交付运营以来,取得了巨大的经济效益和社会效益,但沿线的滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害甚为严重。据统计,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 4600 小时以上。1981 年雨季后,全线约有 713 处灾害工点,较严重的有 280 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。

为了开展全线(宝鸡—绵阳)环境工程地质调查,对铁路沿线 5—10km 范围内地质灾害的分布规律、环境因素与地质灾害的相互关系,进行了地质环境质量评价预测。遥感解译工作主要使用了不同期 1/2 万—1/5 万黑白航片共 4436 张,卫片 5 幅;制作相关掩模片 278 张,合成彩色像片 110 张;计算机图像处理选择 3 个子区、16 个方案。全部解译工作内容与流程如图 1 所示。

其中航片光学图像处理和多时相航片解译工作,按(1)制作相关掩模片,(2)模片组合叠掩,(3)影像解译、转描,(4)动态对比的步骤进行。

二、区域环境地质因素解译

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、气候和人类工程活动等,是评价各种地质灾害不可忽视的环境因素。现仅将应用航片对上述部分因素的解译效果简述如下。

(一) 地质构造解译

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比较醒目。综合起来,区域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上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交接相接的线状分界线,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。

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、阳平关—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 2)。

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%,该地段发育有滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害(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

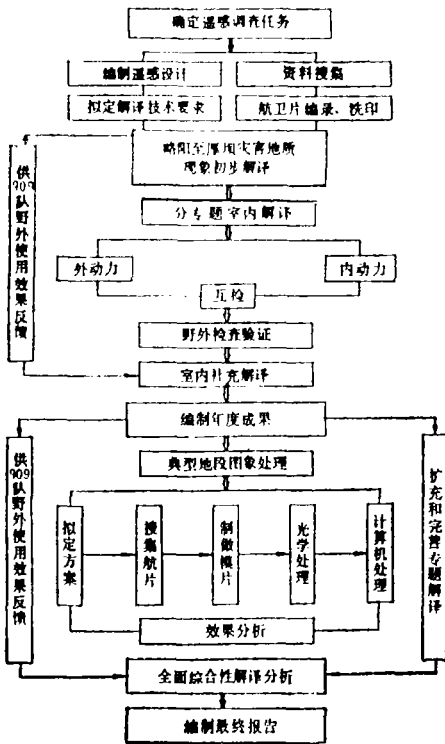


图 1. 宝成线遥感解译工作内容流程图

Fig.1. flow chart for interpretation of remote sensing image.

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。

(二) 岩、土体工程地质类型解译

根据遥感影像的可解性，参考本区以往资料，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软弱的千枚岩、片岩组和页岩、泥岩组。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。上述三组岩类是宝成线崩塌发育的主要地层。

2. 解译区内第四系土体，主要有冲、洪积砂、卵（砾）石，冲洪积及冰积、残坡积粘性、砂性土、砾质土，风积黄土及重力堆积土石。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，具有多个滑动面且活动性强的特点。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

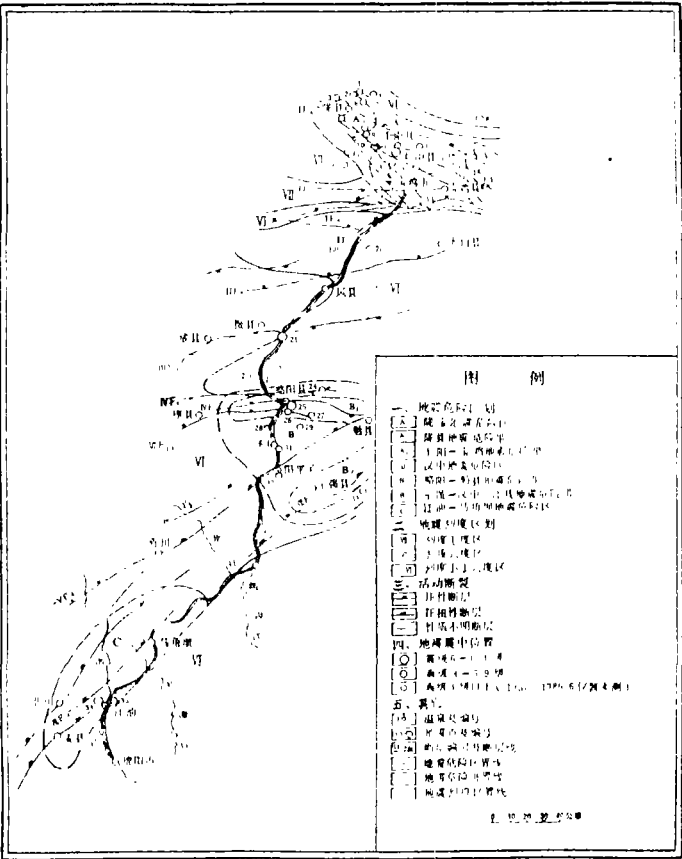


图 2. 宝成铁路（宝鸡—绵阳）沿线卫星像片
解译活动断裂及地震危险区划图
Fig.2. Map of active faults and seismic dangerous
zones taken from interpretation of satellite images
along Baoji-Mianyang Railway Line.

石流发育程度较高 (见表 1)。

表 1 泥石流发育与岩性关系统计表

Tab. 1. Statistic relation between the development of mud-rock flow and lithology.

岩 性	黄土、砾石、 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

注: 本表根据解释资料, 由 909 大队野外调查统计获得, 以下各表同。

(三) 地貌和谷坡类型解译

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, 铁路以陡坡通过时, 大于 40° 的顺向坡和反向坡, 崩塌、工程滑塌现象普遍。表 2 和表 3 列出了崩塌与地形坡度和地貌的关系。

表 2. 崩塌坡度统计表

Tab.2. Statistic list of collapse slope.

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

表 3. 崩塌发育地貌统计表

Tab.3. Statistic data of landform in developed collapses area.

河谷地貌 类 型	峡 谷 间 隘 谷	槽形宽谷	盆 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, 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 354 倍, 但泥石流发育低于宽谷段。

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型缓坡段 (一般 $15^{\circ}—35^{\circ}$ 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、葫芦形的地区, 在暴雨条件下在大于 35° 的斜坡上极易形成泥石流。

三、灾害地质现象解译

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, 崩塌与坍塌 407 处, 泥石流沟 155 条, 崖边冲刷等 100 多处, 并分别判定了它们的规模和活动性。

现以塔坝滑坡解译为例, 说明应用多时相航片解译的效果。

塔坝滑坡位于竹园坝车站北 (铁路里程 K411), 清江河东岸斜坡上。从影像解译可知, 该斜坡上部由砾岩构成陡崖, 三面临空。中下部由泥页岩及崩坡积物组成山前斜坡。斜坡呈中间略突起, 向西倾斜的马蹄形, 平均坡度 $20^{\circ}—30^{\circ}$ 。斜坡坡脚受清江水流冲刷, 岸坡较陡, 形成临空状态。上述地形条件促进了滑坡的形成和发育。

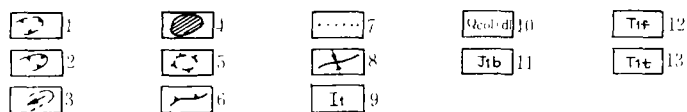
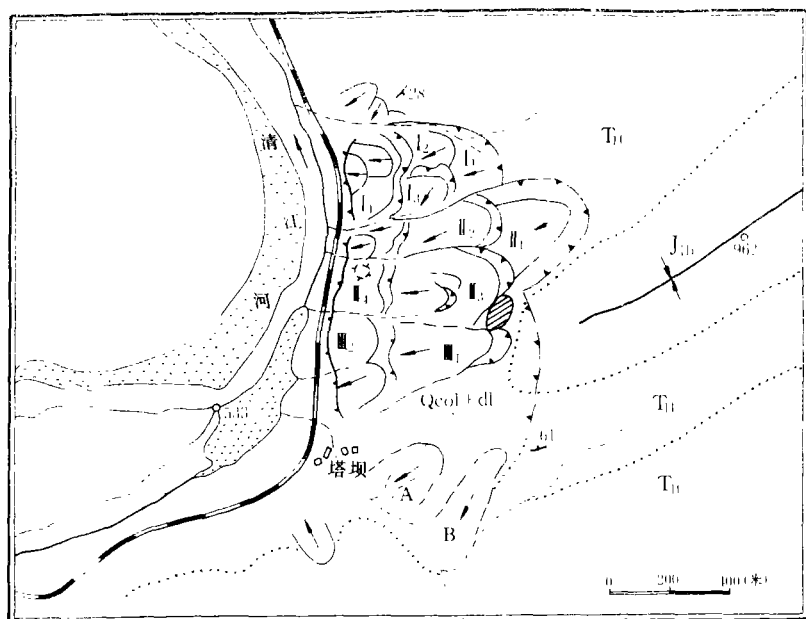
该滑坡地处龙门山北东向构造带南坪山小向斜的扬起端。该处应力集中, 基岩裂隙发育, 崩塌严重。影像可见大量崩坡积物堆积在斜坡表面, 加重了斜坡的下滑力。滑坡后壁呈向上弯曲的弧形影像。滑体岩性为第四系崩坡积层, 厚 6.1—24.2m, 结构松散, 透水性好。滑床岩性为三迭系泥岩、泥质砂岩, 其表层形成相对隔水层而构成软弱面。在降水或工程活动的诱发下, 第四系崩坡积层沿基岩表面产生大规模的滑坡群 (见图 3)。

从各个滑坡体后缘影像连续性分析来看, 塔坝滑坡群总体可分为与铁路平行的三段 (级)。上段 (II_1) 比较稳定; 中段 (I_1 、 I_2 、 I_3 、 II_2 、 II_3 和 III_1) 滑坡, 滑弧由南向北叠置, 活动性似有由北向南逐渐变强之势; 下段 (I_4 、 II_4 、 III_2) 后缘构成与铁路平行的较连续的陡坎。它们的活动性受中、上段活动的影响。总的来看, 塔坝滑坡经历多年来修筑排水沟、栏挡墙、导流堤以及改耕为林等整治工程, 南部滑体已基本得到控制, 趋于稳定。北部滑坡群仍有活动的可能, 需加强监测与防护。

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, 发灾率高。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 25 万 m^3/km , 平均发生率高达 6.4 个 / km, 为国外铁路史上罕见。

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, 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%。



1. 古崩滑边界
2. 滑坡后缘陡坎
3. 滑坡体及滑动方向
(虚线为不明显边界)
4. 崩滑基岩块体
5. 断层
6. 陡坡陡坎
7. 地质界线
8. 向斜轴
9. 滑坡及滑体编号
10. 第四系崩坡积层
11. 侏罗系白田坝组
12. 三迭系铜街子组
13. 三迭系飞仙关组

图 3. 塔坝滑坡解译图

Fig.3. Interpretea result of image for Taba Lanashide.

表 4. 滑坡分布状况表

Tab.4. Distribution of landslides.

地 区	铁路 长度 (km)	解译的滑坡数量(处)				线发 育率 (处 / km)	为全线 发育率 的倍数
		基岩	黄土	堆积物	合计		
宝鸡—阳平关	270	16	36	169	221	0.82	1.41
阳平关—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%。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。

四、铁路环境工程地质综合评价及防治对策建议

综合上述解译成果,以区域地壳稳定性为基础,以铁路沿线谷坡类型、稳定程度、岩组特性和地质灾害发育程度为依据,将解译区划分为二个大区,六个亚区和 11 个区段。

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,配合其他地面测试手段,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环境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、明洞等防护措施最适宜;对上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稻,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。

APPLICATION OF REMOTE SENSING IMAGE INTERPRETATION TO THE INVESTIGATION OF GEOLOGICAL HAZARDS 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 5000km² along the Baoji-Chengdu railway line (Baoji-Mianyang Section) by means of remote sensing image interpretation. The author expounds as concisely as possible the law of geological hazard distribution and development and its correlation with geological environment. Also, the author proposes some important suggestions and preventive measures in connection with the geological hazards which exist along this railway line.

Key words: geological hazard , remote sensing image interpretation, Baoji-Chengdu Railway.