

宝天铁路滑坡的遥感调查与规律探讨

程玉章 李红苗 李海明

(铁道部专业设计院遥感应用研究所)

1990 年 3 月 6 日收稿

摘 要

本文介绍了利用遥感技术对宝天铁路滑坡和崩塌灾害的调查与动态分析。通过对 5 个时相不同比例尺的航空像片的分析判读,在宝天段线路两侧各 1 公里的地带内共发现滑坡 398 处、崩塌 206 处,其中涉及线路的滑坡 61 处、崩塌 94 处。其次,在综合分析地形、地质、水文和人文等病害因素的基础上,探讨了该区域工程病害的发生规律。分析结果表明,滑坡以发生在黄土者最多,其次为破碎的变质岩和风化的花岗岩,而砂砾岩中最少;崩塌以发生在花岗岩者居多,其次是变质岩系,再次为黄土,砂砾岩中最少。该成果不仅发现了比既有资料多得多的滑坡数量,而且初步摸到了滑坡的发生规律,从而为该段线路病害的防治提供了可靠的依据。

关键词 滑坡的遥感调查 滑坡分布的常规调查, 滑坡的区域分布

陇海铁路宝天段于 1939 年开始建修,1945 年 12 月完成铺轨。由于历史条件的限制,遗留下众多路基病害和隐患,每年只有几个月时间可以通车。为使线路畅通,解放以后,曾经进行过四次大规模的治理:第一次是 1949 年 8 月至 1954 年底的抢修和改建,第二次是 1955 年 1 月至 1958 年的再度改建,第三次是 1977 年至 1980 年的电气化技术改造,第四次是 1981 年至 1986 年的抢建修复。仅据 1981 年统计,病害治理投资即达 2.49 亿元,每公里平均已达 169.4 万元,加上这几年的抢建修复费用则将突破 200 万元。至于各类病害,尤其是滑坡与崩塌所造成的行车中断、人员伤亡、建筑毁坏、线路掩埋等,其损失和影响更是难以估量。

解放以后,贯彻了“预防为主,治理为辅,预防与整治相结合”的方针,采取了包括刷方减重、地面排水、地下排水、支挡建筑、隧洞结构和水土保持等工程措施,尤其是在滑坡和崩塌连续和成群分布的地段,果断地采取了改线绕避方案,虽然都收到了不同程度的效果,但由于对病害了解不够全面,对其发生规律缺乏认识,因而一直摆脱不了被动挨打的局面。为了快速、准确地掌握该地段的病害情况,做到心中有数,我们对宝天段的滑坡进行了遥感调查。

一、滑坡与崩塌的遥感调查

为了考察这一地区内滑坡与崩塌的自然分布规律,我们针对线路两侧各 1 公里范围内的斜坡变形进行了遥感图像解析。

调查工作分为两个阶段进行。第一阶段为滑坡分布状况普查,主要通过对 1985 年 8

月20日拍摄的1:1万全色黑白航空像片的判读完成。第二阶段为滑坡动态分析与对比,是利用5个不同时相、多种比例尺的全色黑白与彩色红外航空像片进行的。还利用美国陆地卫星多波段扫描图像解析了滑坡所产生的自然地理环境和地质背景。

一般来说,绝大多数滑坡和崩塌都有直接判读标志。少数地方因铁路施工和农事活动破坏了其原始状态,需借助间接判读标志进行推理判断。因此,只要遥感图像的比例尺与分辨率适宜,滑坡是否存在,是不难由下列判读标志中的一二个加以确定的。

(1) 滑坡周界一般呈簸箕形或舌形、梨形、匙形等,在航空像片上显示得很清楚。

(2) 陡峭的滑坡壁及其所形成的围谷,在航空像片上表现为向上弯曲的弧形影像。

(3) 在图像上,滑坡体一般表现出较周围稳定斜坡要低的感觉,只有当其伸入平缓地段或河谷时,才有高出原地面的影像特征,新滑坡体的色调同周围也有明显差别。

(4) 滑坡体表面由于沉陷和隆起而形成的高低起伏、崎岖不平及鼓丘和滑坡逆掩体的存在,使其在图像上呈现出粗糙的影纹。

(5) 滑坡台阶、两个台阶之间形成的反坡以及因排水不利而形成的积水洼地,在航空像片上易于识别。

(6) 明显突出的滑坡舌;或由于遭受侵蚀而在滑坡前缘形成的陡坡,在图像上也很清晰。

(7) 在航空像片,尤其在彩色红外航空像片上,可清楚地看到滑坡体上“醉林”与“马刀树”的存在及树木枯死的现象。

(8) 地下水的溢出与滑坡体表面的浸润,在图像上形成暗色斑点或斑块。

(9) 河流对坡脚的冲刷和滑坡体挤压河流向外凸出现象的存在。

滑坡稳定程度的评价,可根据滑坡体保存与破坏情况、植物发育状况及人类活动的变化来进行。在航空像片上,它们表现为不同的色调、结构和图形。而新、老滑坡的特征则明显不同,可依以下特征加以对照分析。

(1) 老滑坡的后壁与侧壁已有植物生长,色调较深,新滑坡则无植被,色调较浅,有的几乎呈白色调。

(2) 老滑坡由于受人工改造和天然破坏,地貌细节已不明显,新滑坡则相反,在影像上有明显的色调差异,在彩色红外航空像片上则呈明显的蓝色调。

(3) 在航空像片上,老滑坡两侧冲沟的切割很深,可见双沟同源现象,新滑坡体地下水丰沛,滑坡面有湿的地块,因而形成斑块状影像。

(4) 在图像上可见到老滑坡舌部脱离水流冲刷,外侧已有滩地发育,新滑坡舌部则仍受水流冲刷,前缘尚有坍塌现象。

(5) 老滑坡前缘坡度较缓,长满植物,无坍塌现象,新滑坡前缘较陡,没有植物生长。

(6) 在彩色红外航空像片上,由于老滑坡体上有正常的树木生长,呈明显的红色调,新滑坡体则呈浅色调。

(7) 对老滑坡地域,即使是在大比例尺航空像片上也不能发现滑坡裂缝,在新滑坡地域则可见到滑坡裂缝,尤其是后缘裂缝。

从宝天段线路通过地带来看,黄土滑坡的判读特征最为典型。陡峭的滑坡壁和它们所形成的围谷尤其突出。由岩性特点所决定的直立状态,新鲜与陈旧表面所形成的强烈

反差以及影像色调和结构所反映的植被状况都为它的确认提供了可靠的依据。滑坡体、滑坡台阶和滑坡舌的存在也是不难确定的。农田和道路的破坏更是有力的佐证(图版 I 图 1)。

岩石滑坡的判读特征不如黄土滑坡明显,不过由于岩块较土体更能经受水流的冲击,所以此类滑坡体挤压以至堰塞河流的现象更具代表性(图版 I 图 2)。片岩系中的岩石滑坡则更具代表性,往往个体巨大,在地貌上也有突出表现,无论斜坡陡缓均可发生(图版 I 图 3)。

经过长期治理的滑坡由于刷方减重、加设平台、坡面防护、地表排水、建筑支挡等而使滑坡的原始面貌发生变化而变得模糊起来。然而,这些工程措施本身也暗示了斜坡变形的存在。因此,它们也就成为判读滑坡的间接标志(图版 II 图 4)。

判读崩塌的主要根据是岩体脱落痕迹和坠落物质堆积。各种工程设施也同样可以用于推理判断。黄土崩塌可以依靠新鲜坡面无植被生长而形成的更浅色调来判断。变质岩

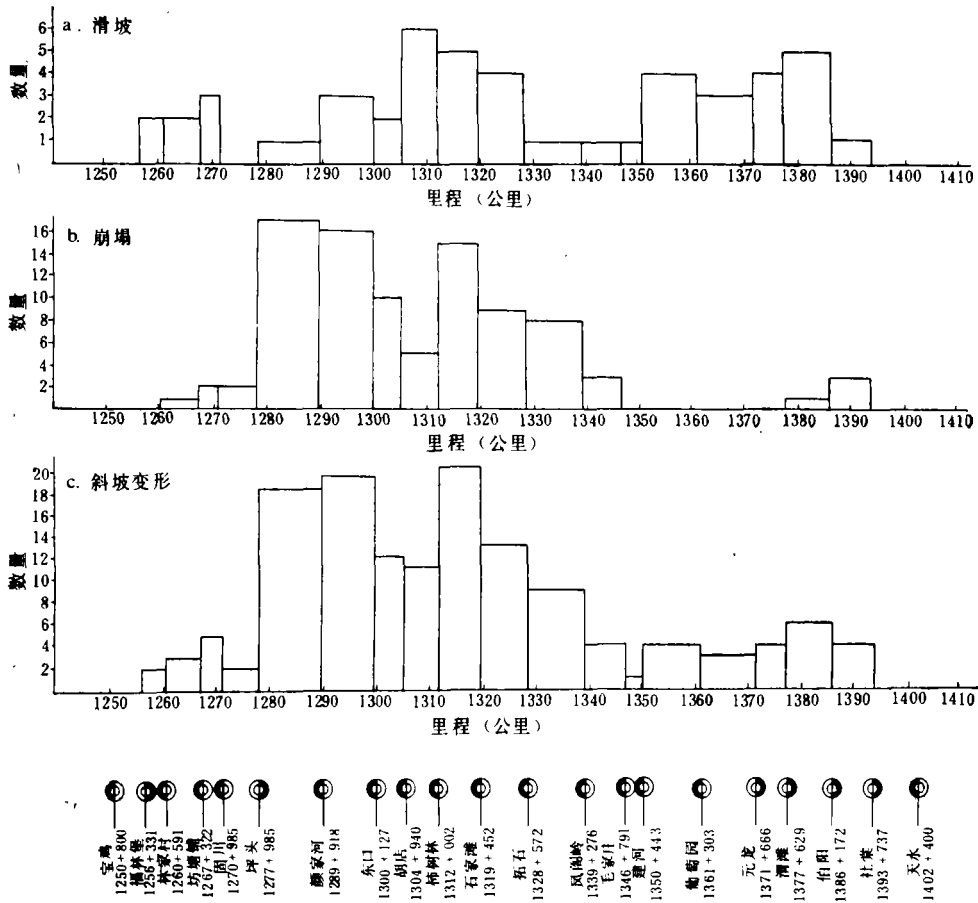


图 5 宝天段各区间滑坡、崩塌和斜坡变形的分布状况

Fig.5 Landslide, collapse and slope failure distribution on each section of Baoji-Tianshui railway

崩塌坡面与草皮生长地段反差不很强烈,但是可以利用崩塌物质的存在来推断。花岗岩崩塌的地段,繁茂植被的深色背景上现出裸露岩块的浅色斑块,反差极为明显。砂砾岩崩塌的突出特征是巨大岩块的存在。由于地表水冲蚀坡脚和地下水浸润基底而触发的崩塌,斜坡可能异常陡峭以至直立,即使处于阴影之中,亦不难做出判断。

但也有个别滑坡和崩塌缺乏典型特征,以至给判读造成困难,有些滑坡甚至在实地调查中也不易发现,在大型滑坡和老滑坡的现场勘察中尤其如此。这也是不容忽视的事实。

至于滑坡的稳定程度和相对年代也是可以根据图像解析来加以推断的。以黄土斜坡为例,就可以通过判读来了解下伏地层、切割深度以及潜水的蓄积与排泄。从这个地区的第四纪历史可以知道,古滑坡是在一二级阶地形成之前发生的,因而这些阶地自然没有扰动。对于二级阶地已经参与而一级阶地并未涉及的滑坡,即可据此判断其相对年代。现代滑坡则可能切入任何一级阶地。

通过航空像片判读,在宝天段线路通过地带共发现滑坡398处(包括老滑坡20处),崩塌206处,两者合计604处。其中涉及线路的滑坡61处、崩塌94处。滑坡主要集中在胡店—凤阁岭和建河—伯阳两段。在葡萄园东西两侧相继改线之后,胡店—凤阁岭这4个区间显得更为突出(图5a)。崩塌主要集中在颜家河—凤阁岭这一区段(图5b)。综合来看,亦以线路中段比较突出。从坪头起进入高峰,延伸至伯阳以西(图5c)

概括地说,这些情况无疑反映了地形、地质、水文、人文等4个方面的因素。从地形因素来看,宝天铁路中段处于渭河峡谷之中,两山左右挟峙,线路依山傍河,被迫采取了高填深挖。这和当时的设计思想与施工措施密切相关,沿袭了工程因素的影响。渭河的强烈冲蚀是主要的水文因素,地下水的作用也相当重要。地质因素则突出表现为频繁的岩浆活动、强烈的构造变动、变质岩石的破碎和风化以及黄土的独特性质。

二、滑坡和崩塌发生的原因与分布规律

根据遥感普查,宝天沿线滑坡与崩塌集中发育的原因,概括地说,不外乎地形深刻切割、岩石风化破碎、构造变动强烈、渭河不断冲蚀、地下水浸润以及不断的人类活动等等。在工作过程中,我们也对其中的某些规律性进行了探索。

从区域分布特点来看,滑坡与崩塌的发生与岩性有着密切联系。据初步统计,滑坡以发生在黄土者最多,共271处,约占滑坡总数的71.7%;其次为破碎的变质岩和风化的花岗岩,分别为51处和54处,各占滑坡总数的13.5%和14.3%;砂砾岩中则很少发生滑坡,在判读过程中只发现两处,仅占滑坡总数的0.5%(表1)。

崩塌则以发生在花岗岩中者居多,计102处,约占崩塌总数的49.5%;其次为变质岩系,计有74处,约占崩塌总数的35.9%;发生在黄土中的崩塌远不及滑坡活跃,计有28处,仅占崩塌总数的13.6%;发生在砂砾岩中的崩塌也十分罕见,只有两处,约占崩塌总数的1.0%(表1)。

这里的统计结果虽然与传统观念不尽一致,但它的确反映了这一地区的实际情况,揭示了一定的客观规律。

涉及线路的滑坡和崩塌的岩性成分与区域性统计加以比较,也反映出这种情形。线

表 1 宝天段滑坡和崩塌的岩性分配状况

Table 1 Lithological distribution of Landslides and collapses on Baoji-Tianshui railway

分配状况(%)	岩性			
	黄土类岩石	砂砾岩	变质岩	花岗岩
滑坡	71.7	0.5	13.5	14.1
崩塌	13.6	1.0	35.9	49.5
滑坡和崩塌	51.2	0.7	21.4	26.7
涉及线路的滑坡	59.3	3.7	18.5	18.5
涉及线路的崩塌	7.4	2.1	37.3	53.2
涉及线路的滑坡和崩塌	26.7	1.4	30.8	41.1
线路两厢的滑坡	73.3	0.6	12.6	13.5
线路两厢的崩塌	17.9	0.9	34.7	46.7
线路两厢的滑坡和崩塌	59.3	0.5	18.3	21.9

路两厢的滑坡和崩塌的岩性分配状况与全域统计结果更为接近。这个事实说明,涉及线路的滑坡和崩塌的岩性分配中虽有人为因素的影响。但主要取决于地质岩性和地形等自然背景(表 1)。

从滑坡和崩塌综合岩性分类来看,黄土类岩石亦占明显优势(51.2%),其次为花岗岩类(26.7%)和变质岩类(21.4%),砂砾岩系所占比例仍然很小(0.7%)。唯涉及线路的滑坡和崩塌与线路两厢的滑坡和崩塌的岩性分配状况差异显著。

当然,黄土类岩石和花岗岩类岩石中的斜坡变形的高额比率与这两类岩性的广泛分布有关。不过,在黄土分布地带,块体移动现象的密集也确是事实。至于变质岩系(尤其是片岩系)滑坡和崩塌发生的几率,更高于这类岩石在工作地区所占的比例。突然发生造成运输中断的滑坡和崩塌,经历年整治,耗资巨大,至今仍难确保行车安全的滑坡和崩塌,几乎都发生在变质岩系中。

这类病害的发生除了斜坡组成物质的内在因素而外,显然还与地表水的冲蚀、地下水的浸润、构造变动的破坏、风化作用的深入以及工程处置的是否得当有关。以涉及线路的滑坡为例,在 61 处滑坡中就有 29 处发生在斜坡坡脚遭受冲蚀的部位。长期治理而未能完全奏效的葡萄园西滑坡群及线路不断改移、隧道一再加长的“115”滑坡,都处于斜坡坡脚遭受渭河剧烈冲刷的地段。崩塌现象亦广泛存在于渭河主流冲击部位;在影响线路的 94 处崩塌中就有 71 处属于这种情况。

地下水的浸润以及动静压力的影响,几乎是宝天段所有滑坡,尤其是巨大崩塌性滑坡的促成因素。1963 年 9 月 27 日发生在 1358 + 150 - 350 里程的 40 万立方的崩塌性滑坡,1981 年 11 月 29 日发生在 1357 + 700 - 950 的 60 万立方的崩塌性滑坡和 1985 年 9 月 17 日零时 35 分发生于 1362 + 500 - 600 的 30 万立方的崩塌性滑坡都反映了这一特点。这类滑坡的发生与连续降水有着明显的联系。降水使黄土底部砂砾充水,下部垫层软化,从而导致了滑坡的发生。

频繁的构造变动,广泛的岩浆活动,强烈的变质作用使岩体的完整性遭到严重破坏。深大断裂的存在和持续活动更影响了区域稳定性。宝天段铁路走向与区域应力场主压应力方向大体垂直,对边坡稳定显然是一个不利因素。

仅从遥感图像来看,断裂构造对岩块的切割和粉碎所造成的影响也是很明显的。凤阁岭车站东侧滑坡群和葡萄园车站西侧滑坡群均处于构造应力集中地段。凤阁岭滑坡群处于略作东西走向的渭河主干断裂与近似南北的通关河张性断裂的交汇部位。此外,尚有北东、北东东、北西、北西西诸个方向断裂相互交织。岩块被切割成多边形碎块,这在宝天段沿线也是有代表性的(图版 II 图 6)。葡萄园西滑坡群发生在古老错落体上。而这个古老错落体的周围边界全为断层所切割,因而组成清楚的多边形。渭河主干断裂以近东西方向在其前缘通过,近南北向、北东向、北东东向、北北西向和北西西向次级断裂构成了它的东、北、西边界,在宝天段沿线也是突出的危害构造。(图版 II 图 7)。

宝天沿线的气候条件助长了风化作用,历次构造变动形成的规模不等、方向各异的断裂也有利于风化作用的深入进行。变质岩系中的片岩类岩石,许多已经转变为泥土,不少坚硬岩石(如花岗岩)裂隙既多、又深。从凤阁岭东滑坡群和葡萄园西滑坡群的发生和发展过程中可看出这种影响。在花岗岩类、砂砾岩系的崩塌中,气候因素也起了重要作用。

根据历史资料分析,宝天段滑坡和崩塌的产生还有一个重要因素,就是降雨特点。滑坡和崩塌发生的频率高低,与连续降雨时间的长短有直接关系。统计表明:1951年、1963年、1981年是3个高峰。例如较大的 K1259 黄土滑坡,发生于1951年8月底,当年总的降雨量并不大,而连续降雨时间却长达 23 天;又如 K1358 + 150 - 1358 + 350 巨型黄土厚层滑坡,发生于1963年9月27日,在这之前的一个多月时间里,曾经连续降雨 27 天;再如 K1357 + 796 - 1357 + 970 的黄土厚层滑坡,发生于1981年11月29日,此时雨季虽已过去,但此前亦曾有过连续降雨的事实。均系降水不断渗入地下并逐渐聚集排泄而导致滑坡。至于滑坡的突然性,显然还与黄土本身的岩性有关。

人为因素的影响主要表现在开挖路堑、过量切坡、破坏山体自然平衡和掠剥植被、盲目垦殖所造成的水土流失,尤以工程影响为明显。老滑坡的复活也是如此。许多滑坡和崩塌的形成都导源于人为活动。

三、认识和讨论

宝天段的线路病害调查反复进行了几十年,许多单位都做过大量工作。这次调查突破了传统调查方法的某些局限性,通过遥感图像解析,从总体上掌握了宝天段线路病害的数量和规模,以广泛的背景研究总结出有关致发因素,并从区域上探讨了某些规律性。

以沿线滑坡为例,工务部门已登记在册的只有 15 处,这次发现 61 处;崩塌此次判读出 94 处,而运营系统立案(包括落石在内)的只有 54 处。从宝鸡分局了解的资料来看,这类病害只有 40 余处,而这次发现的比它多百余处。当然,做为运营部门,最关心的是直接影响行车安全的病害工点,很难掌握更多的情况。但从确保行车安全、加紧预防工作的角度考虑,不仅要了解已经发生的病害,而且还要揭露潜伏的危机。而从制定长远规划、统筹全局部署、减轻灾害影响、提高线路质量来说,这些基础资料则是必须掌握的。

为了掌握滑坡和崩塌的分布规律,我们在图像判读过程中,考察了沿线两侧各 1 公里的带状地域。在 300 平方公里的面积内,发现滑坡 398 处,崩塌 206 处,合计 604 处,涉及线路的滑坡 61 处,崩塌 94 处。自然滑坡占绝对优势,纯属工程滑坡者屈指可数,工程触

发的崩塌相对较多,但从总体来看,亦属少数。类似宝天段这样的铁路,当初若能开展如同今日的遥感工程地质勘测,则绝大多数病害都是可以避免的。这不仅印证了开展工程地质勘测的重要性,而且也证明了采用遥感技术的必要性。

LANDSLIDES REMOTE SENSING INVESTIGATION ON BAOJI -TIANSHUI RAILWAY AND INQUIRY INTO ITS LAWS

Cheng Yuzhang Li Hongmiao Li Haiming

(*Institute of Remote Sensing Application, Ministry of railway*)

Abstract

Baoji-Tianshui railway was built before sept. 1949. lot of diseases and hidden dangers were left at that time. After that time a large-scale of controls were carried out. The state investment has broken through two millions per kilometer. It is full enough to construct another Baoji-Tianshui railway. Direct loss and influence caused by landslides are even more immeasurable.

The policy that is taken in tackling these geological hazards by railway department is to rely mainly on putting prevention first while making treatment subsidiary, and to combine treatment with prevention. However, for prevention we should have a pretty clear idea of how things stand. And it is necessary for treatment in order of importance and urgency. Just for this goal we carried out landslide investigation and research on Baoji-Tianshui railway.

The investigation and research are divided into two stages: general survey of landslide distribution and dynamic analysis and comparison of landslides. The former was completed through interpretation of panchromatic black and white aerial photographs, imaged on August 20th, 1985, on the scale of 1:10000. To accomplish the latter were used panchromatic black and white, infrared color airphotos of difference time phases and on several scales. For inspecting physiographic environment and geological background were analysed MSS images of Landsat also.

In process of general survey of landslides for inspecting natural distribution laws of landslides, our remote sensing image analysis was carried out over a more wide range that involves two sides of each kilometer of railway. In interpretation of airphotos 398 landslides and 206 collapses were found out. Landslides directly related to the railroad is 61 while collapses—94. The former is concentrated on the sections Hudian-Fenggeling and Jianhe-Boyang. The latter is concentrated on section Yanjiahe-fenggeling. They are concentrated in the middle part. They reach the peak from Pingtuo, and then stretch right to the west of Boyang.

Generally speaking, such conditions reflect the following factors: topography, geology, hydrology and human activity. Looking from the topography, the middle part of Baoji-Tianshui railway winds through the gorge of Weihe river. Qinling mountain and Lupan Mountain hold it under duress from left and right. The railway was situated at the foot of the Mountain and beside the river. The high filling and deep cutting were compelled to take. Undoubtedly, this is closely related with the design idea and engineering measures at that time. Therefore it also reflected the influences of man-made factors. Intense lateral erosion of Weihe river is the main hydrologic factor while the influence of ground water is also important. As for geologic factors, here they mean frequent magmatic intrusion, violent tectonic movement, crushing and weathering of meta morphic rocks as well as peculiar nature of loess.

The generation of landslides and collapses is closely associated with lithology. According to the preliminary statistics the landslides generated in loess are the most. They are totalled up to 271 and make up 71.7 percent of the sum total. The landslides generated in crushed metamorphic complex and weathered granite series are the second. The two are respectively 51 and 54, that make up 13.5 and 14.3 percent of the sum total. The landslides generated in sandstone-conglomerate series only make up 0.5 percent of the sum total.

Collapses generated in granite series are the most. They are totalled up to 102 and make up 49.5 percent of the sum total. The collapses generated in metamorphic complex are second. The total of them is 74 and make up 35.9 percent of the sum total. Collapses generated in loess are far less, only 28 and make up 13.6 percent of the sum total. As for collapses generated in sandstone-conglomerate series, they are seldom seen. They amount only to 2 and make up 1.0 percent of the sum total.

Looking from the general lithological distribution of landslides and collapses, the advantage is also laid with loess—61.2 percent. The granite series are seated as the second—26.7 percent. The metamorphic complex is situated in the next—21.4 percent. The ratio made up by the sandstone-conglomerate series is very small. It is only 0.7 percent. However, the lithological distribution of the landslides and collapses in both sides along the railway differs greatly from that of the landslides and collapses associated directly with the railway. The fact shows that in the lithological distribution there is, indeed, the influence of man-made factors. Nevertheless, the expression is not very projective, because the proportion that made up by the landslides and collapses associated directly with the railway is very limited.

Among the landslides associated directly with the railway close to a half of them is located in the places that lashed by the main stream of Weihe river, while among the collapses of that reached 75.5 percent. The sudden movements of many gigantic highspeed landslides are promoted by ground water.

In addition, in the process of space remote sensing image analysis the influence of the cutting and crashing of rock masses by fault fractures upon the slope failures left a deep impression on us.

In general survey of landslide distribution along Baoji-Tianshui railway we as far as possible brought the advantage of remote sensing into full play. We have had a overall grasp of the quantity and scale of diseases on Baoji-Tianshui railway as well as reflected the factors generating these diseases on a broad background. We also inquired some laws in their generation and development based on the whole region and thus broke through some limitations of traditional investigation methods. Through the remote sensing investigation we have not only found far more landslides than that in known informations but also established the landslide distribution analysis on the base of objective statistics removing the subjective imaging that is difficult to be avoided in the past. A lot of facts have proved that the remote sensing technology is, indeed, the best means for finding out of the regional distribution of landslides.

If the engineering geological surveys similar to the present were carried out originally most of the diseases on Baoji-Tianshui railway would be avoided. Drawing lessons from the defeats not only leads to know the importance of carrying out engineering geological surveys but also to prove the necessity of adopting the remote sensing techniques.

Key words Remote Sensing investigation of Landslides General survey of Landslide Distribution regional Distrigution of Landylides



图1 宝鸡东侧的卧龙寺滑坡

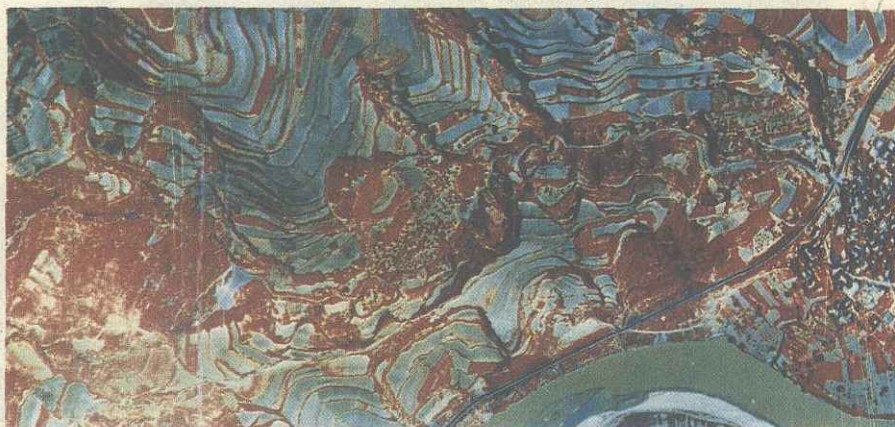


图2 元龙与渭滩间的白家庄滑坡



图3 凤阁岭车站滑坡形势

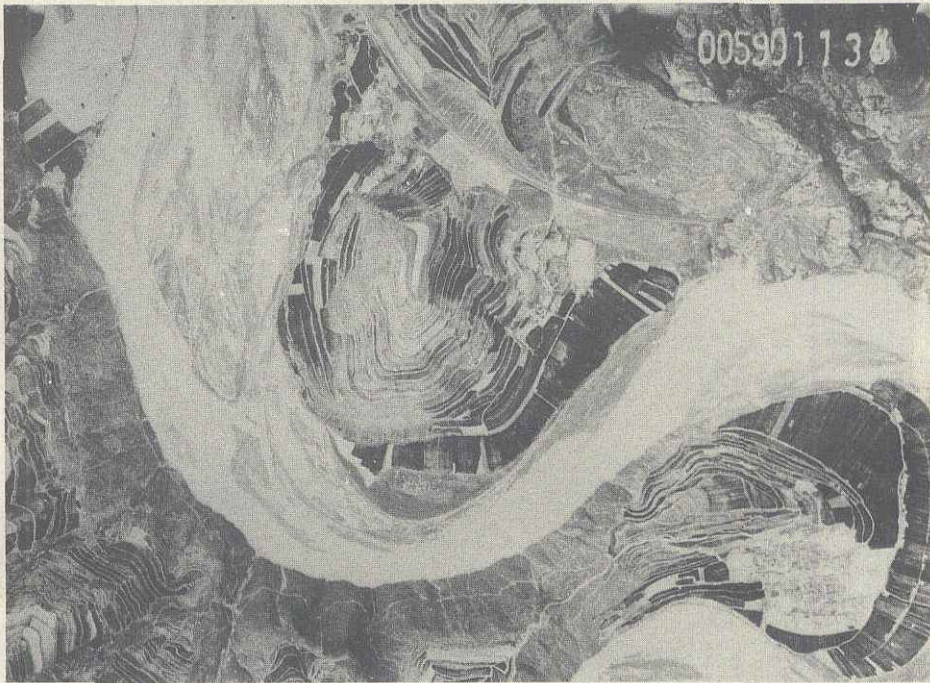


图4 K1269滑坡



图6 凤阁岭车站东滑坡群构造环境



图7 葡萄园车站西滑坡群构造环境