文章编号：1006-6616（2017）01-0088-09

宝鸡黄土区滑坡遥感调查中遥感数据尺度问题探讨

徐　刚[1,2]

（1. 国土资源部新构造运动与地质灾害重点实验室，北京 100081；
2. 中国地质科学院地质力学研究所，北京 100081）

摘　要：遥感数据的尺度效应决定了可识别内容与识别精度，同一区域内的遥感数据尺度不同，同样的遥感处理模型或者方法将得到不同的处理结果。以宝鸡黄土区滑坡遥感调查为基础，对不同遥感数据源的滑坡体的最小可识别面积、图斑面积精度测算、最佳及最大成图比例尺、遥感地质灾害解译对比性分析、滑坡遥感解译精度评价等等与遥感尺度有密切关系的问题进行了探讨。研究结果表明，在宝鸡黄土区，调查大、中型以上滑坡的信息，可以采用 SPOT-5（2.5 m）融合图像数据，比例尺为 1∶25000 或 1∶50000；调查中型、小型滑坡及较大滑坡体内部结构定量信息，可以采用 QuickBird（0.61 m）融合图像数据，比例尺为 1∶5000。

关键词：黄土滑坡；遥感数据；遥感尺度；精度问题；对象识别

中图分类号：P627　P642.22　　**文献标识码：**A

0　引言

遥感技术具有宏观性强、时效性好、立体、可视、信息量丰富等特点，可以贯穿于滑坡灾害调查、监测、预警、评估的全过程，是滑坡调查中极其必要、不可缺少的手段之一[1~17]。

随着遥感技术的飞速发展，数据分辨率有了很大提高。空间分辨率已从原来的 90 m、60 m、30 m、10 m、5 m，提高到现在的 1 m、0.61 m、0.46 m（以 Ikonos、QuickBird、worldview-2 为代表），航空遥感数据可达到 0.1 m。遥感数据的空间分辨率已形成嵌套层次体系，且有分辨率愈来愈高的发展趋势。

遥感尺度问题一直是空间信息科学、地学等相关学科极为重视的研究热点[18~22]。“尺度”在不同的领域有着不同的涵义，遥感学的尺度指分辨率，测绘学的尺度指制图尺度（地图比例尺），地质学的尺度指地质图比例尺。遥感地质专家综合了这三个学科的尺度问题，使用“遥感尺度”的术语，与空间分辨率、地质、地形图相结合，图上地物特征的大小与对应地面地物特征大小的关系。在遥感地质中，遥感数据尺度选择就是使遥感数据为最优效果的尺度，也称适宜尺度，选择适宜空间分辨率与比例尺，既保持图面上地表地物细节的清晰度，又满足精度要求和经济合理性。

遥感数据的尺度效应决定了遥感技术可识别的内容与识别精度。在同一区域内，不同尺度的遥感数据，同样的遥感处理模型和方法会得到不同的结果。所以遥感尺度选择的研究是非常必要的。

遥感数据的尺度转换问题是一门跨越数学、模式识别、不确定性理论等多种学科领域的综合理论和方法，是依据一定的应用目的而存在[19]，这种应用目的往往与某一学科有关，具体到地质灾害领域的遥感尺度转换，则应结合环境地质学科内容进行。

1　宝鸡黄土区地质灾害特征

宝鸡市位于陕北黄土高原的西南边缘，西北部为陇山山地，中东部为渭河谷地和黄土塬区，南部

收稿日期：2016-09-18

作者简介：徐刚（1966-），男，研究员，从事遥感地质、构造地质等方面的研究。E-mail：xuganglxs@126.com

为秦岭北坡山地。地势南、西、北三面环山，中间低平，呈西高东低之势（见图 1）。本区新构造活动强烈，崩塌、滑坡地质灾害频繁发生。区内黄土塬梁峁及沟壑等地貌纵横分布广泛，黄土厚度大，地表水系发育。黄土滑坡灾害有小型、中型、大型、特大型、巨型等各种规模[23~26]。滑坡主要分布在黄土塬的塬边和黄土梁、峁的斜坡陡峭边坡的局部凹陷地段，滑坡体前缘造成河道偏移异常。

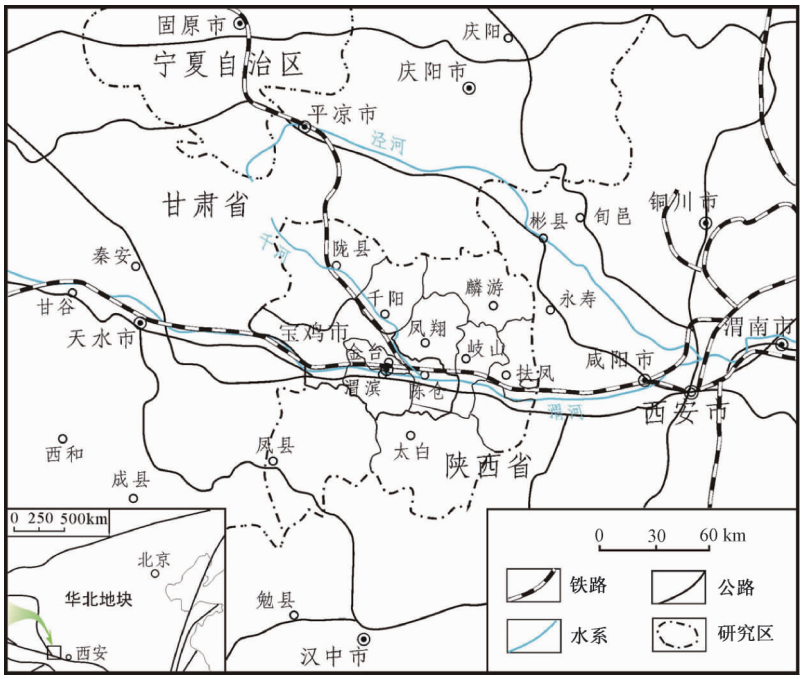

图 1　研究区交通位置图

Fig. 1　Traffic location map of the study region

在遥感影像上，滑坡体内部常形成相对独立封闭的汇水区和特殊的水网系统，或发育有与邻近区域不协调的网纹结构；沿滑坡体的边缘常由于含水性的增强而色调相对较暗，并沿滑坡的后缘分布一连串的洼地、水塘等，滑坡体两侧自然沟切割较深；滑坡体后缘发育有弧形异常影像，包括陡坎、地形变异线和色调异常线等；前缘边坡向谷地凸出，常有地形微突起及小型崩滑堆积影像；滑坡体往往导致现代水系变迁等地形变异现象，或发生对构造形迹的推移掩覆等改造现象；在遥感影像上，新滑坡体显示较均匀的灰白色，老滑坡体显示较均匀的深绿色调。

宝鸡市受黄土高原区地形、地貌的限制，城镇在渭河谷地呈带状展布，乡村多分布在黄土塬上和河谷的斜坡地带。滑坡平台常有学校、村庄、农田、宝鸡峡引水渠等分布，滑坡体前缘有工厂、铁路、居民等建筑物。滑坡及周边地区是人口分布相对密集、国民经济相对繁荣的地区。削坡耕作、建筑、修路及修引水渠以及矿产资源开发等活动常常是滑坡灾害的主要诱发因素。

宝鸡市滑坡发育情况表明，新近发生的滑坡保存相对完好，在遥感图像中有明显的后缘、前缘和滑动岩土体等特征地质现象，比较容易识别；而对于受到不同程度破坏和改造的滑坡，则需要进行详细解译，注意寻找历史滑坡的残留遗迹，包括前缘、后缘和滑动岩土体等特征地质现象及相关的地貌形态与水系变迁等地质环境因素，通过综合分析并结合野外重点查证进行识别判断。

2　遥感数据上滑坡体的最小可识别面积

黄土区滑坡遥感解译时，要注意黄土的地形地貌、滑坡体的边界、后缘、前缘、滑坡体内独立的特殊系统与邻近区域不协调的网纹结构、滑坡体的边缘深切谷、植被覆盖、使现代水系变迁等特征影像的综合分析。

遥感数据的分辨率、可解译性、对比度及 3D 可视化信息的获取能力是决定地质灾害遥感解译的关键要素。遥感数据对地质灾害的解译能力主要取决于遥感数据空间分辨率与被识别地质灾害体大小的相对关系。

遥感数据上滑坡体的最小可识别面积为在遥感图像上人眼所能识别的最小的与滑坡灾害体有关信息的面积[27~28]。滑坡体识别与专业解译人员的技术水平、滑坡体要素及背景反差等因素有关系。试验结果表明，一般能将5个像元（包括横、纵两个方向）从影像中分离出来（可识别的最小地物的面积是其单位像元（空间分辨率）面积的25倍），且能判别其属性。根据此关系可以计算出不同遥感数据源的最小可识别滑坡灾害图斑面积（见表1）。

表1 不同遥感数据源可识别的最小地物的面积统计

Table 1 minimum recognition area of ground object in different remote sensing data source

名称	遥感数据类型	遥感数据空间分辨率/m	最小可识别图斑面积/m^2
1	Worldview-2（Pan）	0.46	5.29
2	QuickBird（Pan）	0.61	9.30
3	Ikonos（Pan）	1	25.00
4	Worldview-2（Multi）	1.8	81.00
5	CBERS_2B（Pan）	2.35	138.06
6	QuickBird（Multi）	2.44	148.84
7	Spot-5（Pan）	2.5	156.25
8	Ikonos（Multi）	4	400.00
9	Spot-5（Pan）	5	625.00
10	Spot-4（Multi）	10	2500.00
11	ASTER/ETM^+（Pan）	15	5625.00
12	CBERS_1/2（Multi）	19.5	9506.25
13	ASTER/ETM^+/TM（Multi）	30	22500.00
14	MSS（Multi）	60	90000.00

3 遥感数据上滑坡图斑面积精度测算

在提取图斑之前，首先对遥感数据利用相应比例尺地形图和DEM进行几何纠正和正射校正。以1:10000 DTM为基准，对QuickBird和Spot-5两种融合图像进行正射校正，校正后中误差QuickBird融合图像为1.423856 m，Spot-5融合图像为7.852373 m。

滑坡体图斑面积测量精度评价是滑坡调查的重要指标。评价方法是选取若干滑坡体图斑，将图斑面积与实地测量面积相比较，算出精度。评价时，在Spot-5（2.5 m）融合图像和QuickBird（0.61 m）融合图像上分别提取若干对图斑，将两种图斑的面积与实测滑坡面积进行比较，计算出面积相差的百分率（见表2）。

表2 滑坡图斑的面积测量精度评价

Table 2 Precision evaluation of landslide area measurement

滑坡编号	滑坡规模	QuickBird图斑面积/m^2	Spot-5图斑面积/m^2	实测滑坡面积/m^2	QuickBird面积相差/%	Spot-5面积相差/%
W85h	小型	14878.76543	14557.94588	14730.02208	1.01	-1.17
W86h	小型	7697.85468	7684.02001	7819.97130	-1.56	-1.74
W87h	小型	6213.63471	6125.50292	6296.48522	-1.32	-2.72
W88h	小型	10598.44376	10595.98615	10707.56306	-1.02	-1.04
W92h	中型	32767.1278	32889.21906	32798.87048	-0.09	0.28
W93h	中型	32033.3882	32055.4995	32098.20898	-0.20	-0.13
W94h	中型	72088.33562	72090.10256	72076.67921	0.02	0.02
W100h	小型	9407.02375	9397.01667	9509.76230	-1.08	-1.19
W101h	小型	15685.48206	15675.4913	15828.34280	-0.90	-0.97
W102h	中型	23898.67251	23977.35417	23845.79218	0.22	0.55
W103h	中型	23896.70854	23771.60617	23663.00792	0.99	0.46
W104h	中型	28684.0043	28446.60221	28591.10986	0.32	-0.51
W105h	中型	35570.23072	35408.18705	35379.72682	0.54	0.08
W106h	大型	104098.0521	104087.0398	104128.08740	-0.03	-0.04

从评价结果看，面积较大的滑坡体图斑与调查结果更为接近；在QuickBird（0.61 m）融合图像上进行小型滑坡图斑面积精度测算，其结果优于在Spot-5（2.5 m）融合图像上的测算。

导致滑坡图斑面积产生误差的因素有像元分辨率大小、像元畸变程度、地物阴影以及人为因素等。

4 遥感数据滑坡解译最佳及最大成图比例尺

在确保滑坡灾害体的地物信息和纹理特征清晰度的前提条件下，来确定一定空间分辨率的遥感数据的成图比例尺。如果空间分辨率太高，虽然该比例尺可以详细显示地物和纹理特征信息，

但存在信息和数据的冗余，经济浪费；若空间分辨率过低，地物和纹理特征信息模糊，不宜进行该比例尺的成图。

滑坡遥感解译除与数据分辨率有关外，还与数据波段、影像对比度、数据处理方式、3D 可视化等有密切关系。人眼对彩色的分辨率比对灰度的分辨能力高，因此在相同分辨率情况下，将全色数据与适合的多光谱图像数据融合，形成该分辨率的彩色图像，可增强滑坡识别效果。

人眼识别地物即将呈现模糊的临界状态，即为确定成图比例尺的选择原则。成图比例尺过大，图像会模糊不清，影响成图质量；比例尺过小，又会造成信息损失和浪费。

人眼视觉分辨率一般为 0.1 ~ 0.2 mm。制图过程中，0.1 ~ 0.2 mm 的实地水平距离即为该比例尺的精度[29 ~ 31]。

$$D = L/(1/M) \quad (1)$$

式中：D 为比例尺精度，$1/M$ 为比例尺，L 为人眼的视觉分辨率。

根据公式可得各种地图比例尺精度（见表 3）。

为了使遥感地质成图时能达到地图比例尺的精度，遥感影像的空间分辨率应小于地图比例尺的精度（因遥感地质图的要求精度小于测绘精度要求）。

表 3　比例尺精度（D）

Table 3　Precision of Mapping Scale (D)

比例尺	精度/m	
	$L1$ = 0.1 mm	$L2$ = 0.2 mm
1∶10 000	1	2
1∶50 000	5	10
1∶100 000	10	20
1∶250 000	25	50
1∶500 000	50	100
1∶1 000 000	100	200

即：

$$R \leqslant D \quad (2)$$

式中：R 为遥感影像的空间分辨率；D 为测绘制图比例尺的精度。

同样，可以通过上述方法，根据遥感影像的空间分辨率，确定遥感图像成像的最佳比例尺。

根据公式（1）和（2）可以推出：

$$1/M \leqslant L/R \quad (3)$$

分别取 $L1$ = 0.1 mm，$L2$ = 0.2 mm，带入公式（3）可以得出 M。

据此遥感数据空间分辨率的最低要求可以比照为相应比例尺地图的地面分辨率；同理，据此可估算出制作各比例尺专题图所需遥感数据的空间分辨率大小（见表 4）。

表 4　不同遥感数据源适于制图精度的比例尺对比表

Table 4　The adaptability analysis to the Remote Sensing Data Source and Mapping Scale

遥感数据类型	分类	遥感数据空间分辨率/m	可制图比例尺/M		最佳成图比例尺/M（按国家标准分幅）
			$L1$ = 0.1 mm	$L2$ = 0.2 mm	
Worldview-2（Pan）	高分辨率	0.46	4600	2300	2500
QuickBird（Multi）		0.61	6100	3050	5000
Ikonos（Pan）		1	10000	5000	5000 或 10000
Worldview-2（Multi）	中高分辨率	1.8	18000	9000	10000
CBERS_2B（Pan）		2.35	23500	11750	25000
QuickBird（Multi）		2.44	24400	12200	25000
Spot（Pan）		2.5	25000	12500	25000
Ikonos（Multi）		4	40000	20000	25000
Spot-5（Pan）		5	50000	25000	25000 或 50000
Spot-4（Multi）	中分辨率	10	100000	50000	50000 或 10000
ASTER/ETM +（Pan）		15	150000	75000	10000
CBERS_1/2（Multi）		19.5	195000	97500	10000
ASTER/ETM$^+$/TM（Multi）		30	300000	150000	250000
MSS（Multi）		60	600000	300000	500000

图 2 显示了成图比例尺与遥感数据空间分辨率的需求关系，图中红色部分表示最佳的制图比例尺范围，灰色部分表示该空间分辨率太高，造成浪费；黄色部分表示空间分辨率太低，不适合进行该比例尺的制图。

按国家标准分幅，确定最佳成图比例尺；从图中可知高分辨率遥感图像最佳成图比例尺为 1∶2500、1∶5000、1∶10000；中高分辨率遥感图像最佳成图比例尺为 1∶10000、1∶25000、1∶50000；中分辨率遥感图像最佳成图比例尺为 1∶50000、1∶100000、1∶250000、1∶500000。

滑坡遥感调查正从单一遥感资料分析走向多

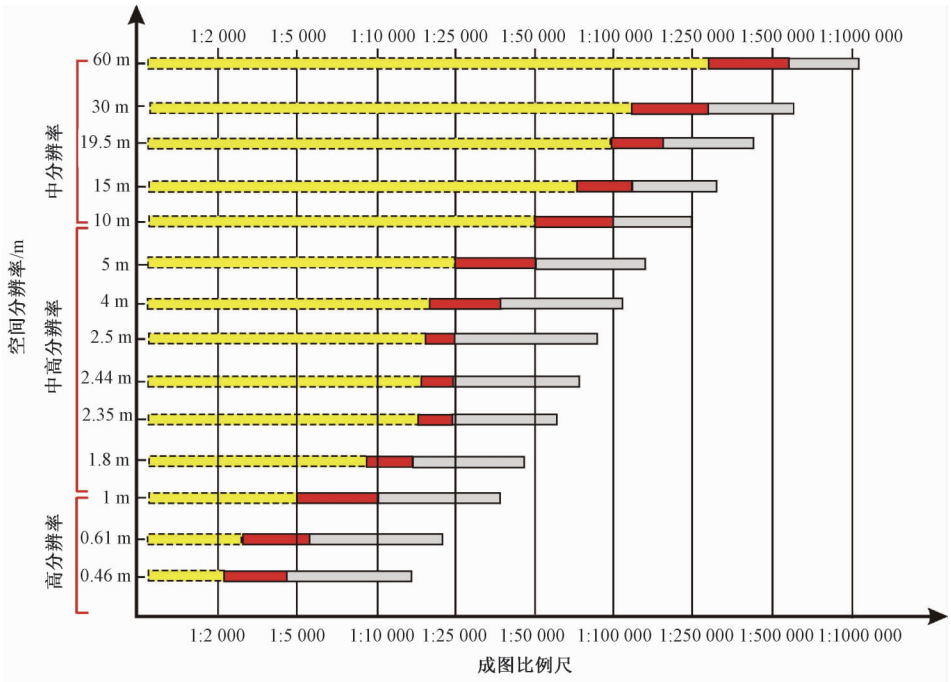

图 2 成图比例尺与遥感数据空间分辨率的需求关系图

Fig. 2 Requirement relation graph of the Remote Sensing Images Spatial Resolution and Mapping Scale

时相、多数据源信息复合，从对滑坡进行区域性描述向规律性分析、定量化分析过渡。多源遥感数据分析是滑坡遥感调查的重要发展方向之一，会涉及尺度转换问题。黄土区滑坡遥感解译时，包括区域分析、滑坡体识别、滑坡体定量等不同规模信息的识别。不同规模信息识别需要不同尺度遥感数据信息，从而需要不同空间分辨率的遥感数据源作为信息提取的基础。

经试验研究后确定，宝鸡黄土区滑坡遥感解译时，Spot-5 成图比例尺 1∶25000，主要用于大、中型黄土滑坡的识别；QuickBird 成图比例尺 1∶5000，主要用于中、小型黄土滑坡及较大滑坡体内部结构定量信息识别。

5 不同空间分辨率数据源滑坡遥感解译的对比性分析

滑坡体识别能力是由遥感数据滑坡信息量的多少所决定的，信息量主要取决于传感器的光谱分辨率及空间分辨率。人机交互滑坡遥感解译时，所选用的遥感数据主要从滑坡体边界的识别能力、滑坡体内部细节的反映能力两个方面考虑，这两种能力直接影响识别的滑坡体几何精度及遥感数据源的选取。总的来看，巨型、特大型、大型滑坡及滑坡体边界定性信息在中、中高空间分辨率数据上有很好的反映；而获取中型、小型滑坡及较大滑坡体内部结构定量信息，则要用高空间分辨率数据。

本文利用不同数据源对宝鸡市黄土塬、梁、峁及沟壑的滑坡体进行可解译内容对比，分析了各类数据的优缺点及适合提取的滑坡信息（见表 5）；选用 Spot-5 卫星的 2.5 m 空间分辨率和 QuickBird 卫星的 0.61 m 空间分辨率的遥感影像，对宝鸡市进行滑坡遥感调查，按照实际需要制作了 1∶25000（见图 3）和 1∶5000（见图 4）的专题图进行对比。通过对比分析，可以看出：

①对解译中、小型滑坡及滑坡内部的结构所占面积比较小，且分布比较零散，因此在识别过程中难度比较大，这点在 0.61 m 空间分辨率的遥感影像上（黄色框处）的表现明显好于 2.5 m 的遥感影像。

②2.5 m 空间分辨率的遥感影像对解译大、中型滑坡，其滑坡表面积比较大，与背景的影像无论在形、纹、色、阴等直接标志反映都容易识别，就解译滑坡的全貌这一点比 0.61 m 空间分辨率的遥感影像上的表现要好。

③图中粉红框处的滑坡体上的水体洼地在 0.61 m 空间分辨率的影像上能明显表示出来，而在 2.5 m 的影像上则由于空间分辨率过低，水体洼

表 5　不同数据源遥感解译对比分析

Table 5　Contrasting Analysis of Different Data Sources Interpretation Results

数据源	可解译内容	优、缺点	适宜提取的信息
中等分辨率数据： MSS（Multi）_60 m； ASTER/ETM +/TM（Multi）_30 m； CBERS_1/2（Multi）_19.5 m； ASTER/ETM +（Pan）_15 m； Spot-4、5（Multi）_10 m；	可区分丘陵、盆地、基岩山区等不同的地貌单元，可分出较大黄土塬、梁、峁；可解译特大型、巨型滑坡灾害；识别居住区与农田及植被覆盖区	价格较低，幅度宽，覆盖面积广；波段数多、可以不同波段组合；进行 3D 可视性分析，可用 SRTM_90 m 和 1∶50000_25 m 的 DEM 与遥感数据进行很好的套合；但其分辨率低，只能识别较大的地物	区域地形、地貌特征，线、环构造解译，区域性岩石组合的识别等地质环境背景信息提取研究，可解译特大型、巨型滑坡的轮廓；适合小于 1∶50000 的区域滑坡地质灾害遥感调查
中高空间分辨率数据： GF-1（Multi）_8 m；GF-1（Pan）_2 m； GF-2（Multi）_4 m；Ikonos（Multi）_4 m； Spot-5（Pan）_5 m；Spot-5（Pan）_2.5 m； Spot-6、7（Pan）_1.5 m； QuickBird（Multi）_2.44 m； ZY-1_2C（Pan）_2.36 m； Worldview-2（Multi）_1.8 m；	可识别黄土塬、梁、峁；解译大、中型滑坡；可识别滑坡体内与邻近区域不协调的网纹结构；可对城镇房屋、道路等进行识别	性价比合适；覆盖幅度较大；是地质灾害遥感调查最适合的数据源；进行 3D 可视性分析，可用 1∶50000_25 m 和 1∶10000_5 m 的 DEM 与遥感数据进行套合，但套合精度有限；该类波段较少、分辨率适中	滑坡灾害定性解译分析，是滑坡遥感调查最适合的数据源；适合大、中型滑坡的轮廓信息识别。适合 1∶10000 到 1∶50000 的大、中型滑坡地质灾害遥感调查
高空间分辨率数据： GF-2（Pan）_1 m； Ikonos（Pan）_1 m； QuickBird（Multi）_0.61 m； Worldview-2（Pan）_0.46 m	解译中、小型滑坡；测量滑坡标志层的位移量；可识别滑坡体内部与邻近区域不协调的网纹结构，后缘弧形异常影像，包括陡坎、地形变异线和色调异常线等，滑坡体两侧自然沟切割较深，前缘向谷地凸起及小型崩滑堆积影像；识别大型车辆、乡村房屋	价格较高；覆盖幅度较小；可进行遥感定量分析；进行 3D 可视性分析，需要大于 1∶10000_5m 的 DEM 与遥感数据进行套合，但套合精度很难达到；该类波段少、分辨率较高	滑坡灾害定量解译分析，是滑坡体内部结构详细信息调查的数据源；但由于内部的纹理信息详细，而滑坡的轮廓信息不如上面数据源的效果好。适合大于 1∶10000 滑坡灾害遥感调查

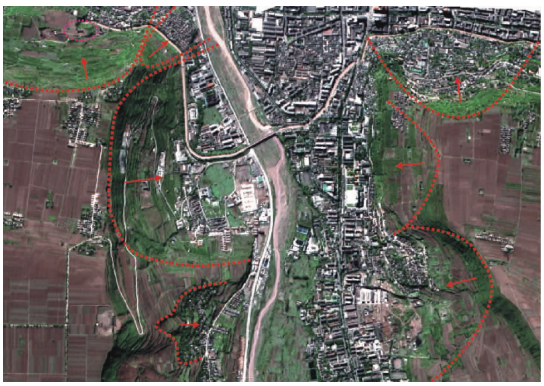

图 3　2.5 m 空间分辨率图像（Spot-5）

Fig. 3　Remote Sensing Image of 2.5 m spatial resolution（Spot-5）

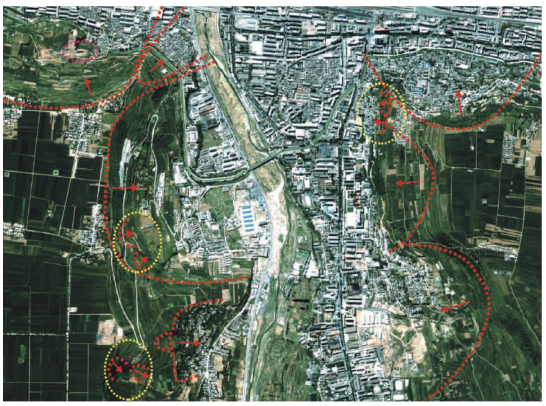

图 4　0.61 m 空间分辨率图像（QuickBird）

Fig. 4　Remote Sensing Image of 0.61m spatial resolution（QuickBird）

地边界较模糊，被背景信息淹没。

经过比较得出，空间分辨率为 0.61 m 的遥感影像能够更贴近实际地反映滑坡体内部的真实情况，而 2.5 m 中高空间分辨率遥感影像在滑坡体的边界信息识别方面表现更加突出。

6　滑坡遥感解译精度评价

不同空间分辨率数据源其滑坡灾害遥感调查的内容有差别，则其精度评价也不同。

实践经验表明，滑坡遥感解译精度主要取决于遥感数据源显示的滑坡信息精度和专业人员的遥感解译水平，可从解译的正确、误判和漏判三个方面给予客观评价，即：遥感解译精度 = 遥感数据显示滑坡信息的精度 × 专业人员遥感解译的精度。但这一数据只代表总体解译精度的一个度量，即区域上滑坡的解译精度，而不能作为单体滑坡体的解译精度。

以 SPOT-5（2.5 m）融合图像 265/281 的数据源（2003 年 10 月 20 日）为例，遥感滑坡调查比例尺为 1∶25000，主要获取大、中型以上滑坡的信

息，本数据源滑坡遥感解译精度评价见表6。评价结果表明，区内遥感数据显示的滑坡信息精度为85.10%；专业人员的遥感解译精度为86.87%，滑坡遥感解译总体精度为73.93%。

以QuickBird（0.61 m）融合图像034/055的数据源（2004年05月16日）为例，遥感滑坡调查比例尺为1∶5000，主要获取中型、小型滑坡及较大滑坡体内部结构定量信息，本数据源滑坡遥感解译精度评价如表6。评价结果表明，区内遥感数据显示的滑坡信息精度为78.35%；专业人员的遥感解译精度为85.64%，滑坡遥感解译总体精度为67.09%。

表6 宝鸡市Spot-5与QuickBird遥感解译滑坡点精度（单位：个）评价一览表

Table 6 The accuracy evaluation of Spot-5 and QuickBird on Landslide sites in the study region

	类型	野外调查滑坡点数	遥感数据滑坡信息显示数	遥感数据源显示滑坡信息的精度	专业人员遥感解译误判数	专业人员遥感解译漏判数	专业人员遥感解译正确数	专业人员遥感解译精度
Spot-5	遥感数据源评价	349	297	85.10%				
	专业人员遥感解译评价		297		8	31	258	86.87%
	遥感解译精度评价				73.93%			
QuickBird	遥感数据源评价	231	181	78.35%				
	专业人员遥感解译评价		181		4	22	155	85.64%
	遥感解译精度评价				67.09%			

单从这两种遥感数据源遥感解译的精度评价出发，滑坡的边界信息在SPOT-5（2.5 m）融合图像上的显示要好于QuickBird（0.61 m）融合图像；但在影像上滑坡内部信息显示正相反。

宝鸡黄土地区巨型、特大型、大型、中型、小型滑坡皆有分布，调查大、中型以上滑坡的信息，可以采用SPOT-5（2.5m）融合图像数据，比例尺为1∶25000或1∶50000；调查中型、小型滑坡及较大滑坡体内部结构定量信息，可以采用QuickBird（0.61 m）融合图像数据，比例尺为1∶5000。

7 结论

遥感数据对滑坡灾害的解译能力主要取决于遥感数据空间分辨率与将要识别滑坡灾害体大小的相对关系。

导致滑坡图斑面积产生误差的因素：像元分辨率大小、像元畸变程度、地物阴影、人为因素等。从评价结果来看，面积较大的滑坡体调查结果与实际情况更为接近。

黄土区滑坡遥感解译包括区域分析、滑坡体识别、滑坡体定量等不同规模信息的识别，需要获取不同尺度遥感数据信息，从而需要不同空间分辨率的遥感数据源作为信息提取的基础。

利用不同数据源对宝鸡市黄土塬、梁、峁及沟壑的滑坡体进行可解译内容对比分析，分析各类数据的优缺点及适合提取的滑坡信息进行综合研究。

滑坡遥感解译精度只代表总体解译精度的一个度量，即区域上滑坡的解译精度，而不能作为单体滑坡体的解译精度。但不同尺度遥感数据显示的信息有差别，则必然存在不同的精度。

致谢 对中国地质科学院地质力学研究所吴树仁研究员给予的指导和帮助表示感谢！

参 考 文 献

[1] Metternicht G, Hurni L and Gogu R. Remote sensing of landslides: An analysis of the potential contribution to geospatial systems for hazard assessment in mountainous environments. Remote Sensing of Environment, 2005, 98 (2/3): 284~303.

[2] Nichol J E, Shaker A and Wong M S. Application of high-resolution stereo satellite images to detailed landslide hazard assessment. Geomorphology, 2006, 76 (1/2): 68~75.

[3] Weirich F and Blesius L. Comparison of satellite and air photo based landslide susceptibility maps. Geomorphology, 2007, 87 (4): 352~364.

[4] Wasowski J and Singhroy V. Special issue from the symposium on Remote Sensing and Monitoring of Landslides. Engineering Geology, 2003, 68 (1/2): 1~2.

[5] Mantovani F, Soeters R and Van Westen C Y, . Remote sensing techniques for landslide studies and hazard zonation in Europe. Geomorphology, 1996, 15 (3/4): 213~225.

[6] Hervas J, Barredo J I, Rosin P L, Pasuto A, Mantovani F, Silvano, S. Monitoring landslides from optical remotely sensed imagery: the case history of Tessina landslide, Italy. Geomorphology, 2003, 54 (1/2): 63~75.

[7] Fourniadis I G, Liu J G and Mason P J, Landslide hazard assessment in the Three Gorges area, China, using ASTER imagery: Wushan-Badong. Geomorphology, 2007, 73 (1/

2)：131～148.

[8] Cheng K S, Wei C and Chang S C. Locating landslides using multi-temporal satellite images. Advances in Space Research, 2004, 33 (3)：296～301.

[9] Chadwick J, Dorsch S, Glenn N, Thackray G and Shilling K. Application of multi-temporal high-resolution imagery and GPS in a study of the motion a canyon rim landslide. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2005, 59 (4)：212～221.

[10] Schwab M, Rieke-Zapp D, Schneider H, Liniger M and Schlunegger F. Landsliding and sediment flux in the Central Swiss Alps：A photogrammetric study of the Schimbrig landslide, Entlebuch. Geomorphology, In Press, Corrected Proof, 2007.

[11] Lee S and Lee M J. Detecting landslide location using KOMPSAT 1 and its application to landslide-susceptibility mapper at the Gangneung area, Korea. Advances in Space Research, 2006, 38 (10)：2261～2271.

[12] Barlow J, Franklin S, Martin Y. High spatial resolution satellite imagery DEM derivatives, and image segmentation for the detection of mass wasting processes [J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2006, 72 (6)：687～692.

[13] McDermid G, Franklin S. Remote Sensing and geomorphic discrimination of slope processes [J]. Zeitschrift fur Geomorphologie, 1995, 101：165～185.

[14] 王治华.. RS＋GCPs 获取滑坡基本信息 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 2004, 15 (1)：94～100.
WANG Zhi-hua. RS + GCPs Select Basic information of Landslide [J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 2004, 15 (1)：94～100.

[15] 王治华. 滑坡遥感调查、监测与评估. 国土资源遥感, 2007, 1：10～15.
WANG Zhi-hua. Landslide Remote Sensing Survey Monitoring and Evaluation [J]. Remote Sensing for land & Resource, 2007, 1：10～15.

[16] 王治华. 数字滑坡技术及其在天台乡滑坡调查中的应用 [J]. 岩土工程学报, 2006, 28：516～520.
WANG Zhi-hua. Digital Landslide Technology and Its Application in Investigation of Tiantai Town Landslide [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28：516～520.

[17] 李铁锋, 徐岳仁, 潘懋, 等. 基于多期 Spot-5 影像的降雨型浅层滑坡遥感解译研究 [J]. 北京大学学报 (自然科学版), 2007, 43 (2)：204～210.
LI Tie-feng, XU Yue-ren, PAN Mao, et al. Study on interpretation of Rain induced Group Shallow Landslides Based on Multi-period SPOT-5 Remote Sensing images [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2007, 43 (2)：204～210.

[18] Cao, C., and Lan, N. S. N. Understanding the scale and resolution effect s in remote sensing and GIS [A]. In：Scale in Remote sensing and GIS [A]. Lewis Publishers, 1997：57～72.

[19] 承继成, 郭华东, 史文中等. 2004. 遥感数据的不确定性 [M], 北京：科学出版社, 1～247.
CHENG Ji-cheng, GUO Hua-dong, SHI Wen, et al. The Uncertainty of Remote Sensing Data [M], Beijing：Science Press, 2004, 1～247.

[20] Silvestri S, Marani M, Settle J, et al. Salt Marsh Vegetation Radiometry：Data Analysis and Scaling [J]. Remote Sensing of Environment, 2002, 80 (3)：473～482.

[21] 彭晓鹃, 邓孺孺, 刘小平. 遥感尺度转换研究进展 [J]. 地理与地理信息科学, 2004, 20 (5)：6～14.
PENG Xiao-juan, DENG Ru-ru, LIU Xiao-ping. A Review of Scale Transformation in Remote Sensing [J]. Geography and Geo-information Science, 2004, 20 (5)：6～14.

[22] Hay G J, Niemman K O, Good enough D G1 Spatial thresholds, image objects and up scaling：a multi-scale evaluation [J]. Remote Sensing of Environment, 1997, 62：1～19.

[23] 刘东生. 黄土与环境 [M]. 北京：科学出版社. 1985, 1～481.
LIU Dong-sheng. Loess and Environment [M]. Beijing：Science Press, 1985, 1～481.

[24] 胡海涛, 项式均, 王肇芬, 等. 关中西部滑坡的结构、构造特征及稳定性分析 [J]. 地质学报, 1965, 45 (4)：435～458.
HU Hai-tao, XIANG Shi-jun, WANG Zhao-fen, et al. The Characteristic Constitution and Structure of Landslides in Western GuanZhong Region and Analysis of their Stability [J]. Acta Geologica Sinica, 1965, 45 (4)：435～458.

[25] 徐刚, 郑达兴, 李述靖, 等. 黄土高原西南部陇县—千阳一带崩塌、滑坡地质灾害遥感解译特征及其分布规律 [J]. 地质通报, 2008, 27 (11)：1837～1845.
XU Gang, ZHENG Da-xing, LI Shu-jing, et al. Remote Sensing Images and Distribution Characteristics of Avalanche and Landslide Geohazards in the Western part of the Weihei Plateau, Shaanxi Province, China [J]. Geological Bulletin of China, 2008, 27 (11)：1837～1845.

[26] 徐刚, 郑达兴, 乔子江, 于新兵. 基于高精度 DEM 和 RS 技术的滑坡环境指标参数快速提取方法研究——以宝鸡市金台区长乐塬特大型滑坡为例 [J]. 地质通报, 2009, 28 (8)：1047～1052.
XU Gang, ZHENG Da-xing, QIAO Zi-jiang, et al. Study on fast Extraction of Landslide Environmental Indicator Parameters Based on High-percision DEM and RS——A Case Study of Changleyuan Super Large-scale Landslide in Jintai District, Baoji City, Shaanxi Province, China [J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28 (8)：1047～1052.

[27] 王晓红, 聂洪峰, 杨清华, 等. 高分辨率卫星遥感数据在矿山开发状况及环境监测中的应用效果比较 [J]. 国土资源遥感, 2004, (1)：15～18.
WANG Xiao- hong, NIE Hong-feng, YANG Qing-hua et al. The Different Monitoring Effects of Quickbird and SPOT-5 Data in Mine Exploitation [J]. Remote Sensing for land &

Resource, 2004, (1): 15 ~ 18.

[28] 王晓红, 聂洪峰, 李成尊, 等. 不同遥感数据源在矿山开发状况及环境调查中的应用 [J]. 国土资源遥感, 2006, 68 (2): 69 ~ 71.
WANG Xiao- hong, NIE Hong-feng, LI Cheng-zun et al. The Application of Characteristics of Different Remote Sensing data Sources to the Investigation of the Mine Situation and Environment of Mines [J]. Remote Sensing for land & Resource, 2006, 68 (2): 69 ~ 71.

[29] 初艳锋, 李二森, 卢俊, 张魁珂. 卫星影像空间分辨率与成图比例尺的适应性分析 [J]. 海洋测绘, 2007, 27 (4): 47 ~ 50.
CHU Yan-feng, LI Er-sen, LU Jun, et al. The Adaptability Analysis to the Satellite Image Spatial Resolution and Mapping Scale [J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2007, 27 (4): 47 ~ 50.

[30] 龚明劼, 张鹰, 张芸. 卫星遥感制图最佳影像空间分辨率与地图比例尺关系探讨 [J]. 测绘科学, 2009, 34 (4): 232 ~ 233.
GONG Ming-jie, ZHANG Ying, ZHANG Yun. The Discussion of the Relation Between the Scale and the best Spatial Resolution in Making Cartographies with RS [J]. Science of Surveying and Mapping, 2009, 34 (4): 232 ~ 233.

[31] 郭仕德, 林旭东. 高空间分辨率遥感环境制图的几个关键技术研究 [J]. 北京大学学报·自然科学版, 2004, 40 (1): 116 ~ 120.
GUO Shi-de, LIN Xu-dong. Some Key Techniques Research in Environmental Mapping Using High Spatial Resolution Remote Sensed Data [J]. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2004, 40 (1): 116 ~ 120.

DISCUSSION ON THE SCALE PROBLEM IN REMOTE SENSING DATA FOR LOESS LANDSLIDE SURVEY IN BAOJI, SHAANXI PROVINCE, CHIAN

XU Gang

(*Key Laboratory of Neotectonic Movement & Geohazard, Ministry of Land and Resources/ Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijijng* 100081, *China*)

Abstract: The content and accuracy are determined by the scale of remote sensing (RS) data, the RS Processing molds or methods vary with Remote sensing data scale in the same region. Based on the landslide RS survey in Baoji loess area, we discuss the problems that have great relationship with RS scale, such as Mininum regional area of landslide mass in different RS data source, precision measurement of spot area, the best and maxinum mapping scale, comparative analysis of interpretation of RS geological hazards, accuracy evaluation of landslide RS interpretation and so on. The result reveals that when investgating large and medium-sized landslide in Baoji loess area, SPOT-5 (2.5 m) Fused image data can be used, and the scale is 1∶25000 or 1∶50000. Meanwhile, QuickBird (0. 61m) Fused image data is used for medium-small landslide and quantitative information calculation on the internal structure of larger landslide, and the scale is 1∶5000.

Key words: Loess Landslide; Remote Sensing Data; Scale in Remote Sensing; Precision Problem; Object Identity