

学校的理想装备

电子图书·学校专集

校园网上的最佳资源

晋西黄土高原地区遥感应用研究



序

黄土高原地区具有发展农、林、牧业的有利条件，矿产资源丰富，煤炭、铝土等都居全国重要地位，能源资源尤为丰富，为本区开发提供了良好的物质基础。另一方面，这里又是生态环境十分脆弱的地区，特别是晋、陕、蒙黄河峡谷两侧（约8万平方公里的重点治理区），地形破碎，沟壑纵横，水土流失严重，为经济建设带来了困难。

长期以来，为了研究和改善黄土高原地区的生态环境，我国老一辈科学家，风餐露宿，跋山涉水，对黄土高原的形成和水土流失规律以及泥沙对黄河下游的影响等问题，进行了大量的科学考察与综合治理研究试验工作，为今天深入研究和治理黄土高原积累了丰富的科学资料。为了进一步查明黄土高原资源与环境现状，研究环境恶化的症结，为区域开发和宏观决策提供科学依据，国家计委决定，“七五”期间采用航天、航空遥感技术与地面调查结合的方法，在黄土高原重点治理区，进行全面的资源与环境遥感调查。通过近五年的工作，编制了8万多平方公里的土地利用、土壤侵蚀、土地资源、森林及草场类型等1:5万、1:10万比例尺的系列图件，取得了全面系统的资源数据，为各级政府规划与开发提供了科学依据。

“黄土高原重点治理区资源与环境系列研究”是在完成上述任务的基础上所进行的技术方法与区域开发研究的总结。这次研究在以下几个方面做了有益的探索：

1. 在地形破碎的黄土丘陵区，应用遥感技术进行大面积资源与环境遥感调查和系列制图，使我国遥感技术进一步系统化、实用化了。
2. 在查清资源的基础上，对区域开发中存在的问题，通过典型分析，提出了一些符合实际的评价意见。
3. 在遥感侵蚀制图方面，通过遥感影象分析，将侵蚀类型与侵蚀强度组合形式反映在图上，采用多种自然因子综合分析研究，取得了一些新进展。
4. 通过多时相遥感图象对比与毛乌素沙地东南缘的动态分析，提出了治理风沙的具体设想。

黄土高原遥感调查与制图研究成果是在国家计委、国家科委支持下，由中国科学院主持，国家教委、林业部、国家测绘总局、农牧渔业部参加主持完成的。它不仅是各部门大协作的成果，也是近百名科技人员，历时五年辛勤劳动的结晶。

经济建设必须依靠科学技术，科学技术一定要面向经济建设。我国幅员辽阔，关系国计民生的资源环境问题众多，这正是地球科学工作者的用武之地，相信会有更多的优秀成果涌现出来，为国民经济建设做出更大贡献。

一九九一年六月

内容简介

本论文集为国家“七五”科技攻关项目“遥感技术开发”的子课题“黄土高原遥感调查”中的山西西部遥感调查研究结果。内容包括卫星遥感信息的适用性评价、信息提取、土地利用、草场、森林、土地类型、土地资源评价、土壤侵蚀等系列图件编制方法,以及晋西黄土高原环境资源的地学分析和区域开发问题探讨等。本文集可供遥感应用、农业、林业、土地、水土保持、地学等方面的科学研究工作者及有关高校师生参考。

(京)新登字 160 号

晋西黄土高原地区遥感应用研究

主编:赵济 高起江

副主编:刘慧平 杨运恒

*

北京师范大学出版社出版发行

全国新华书店经销

北京燕南印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:11.5 字数:280 千

1992 年 9 月第 1 版 1992 年 9 月第 1 次印刷

印数:1—800

ISBN7—303—02130—2/G·1358

晋西黄土高原遥感调查研究

赵 济

(北京师范大学地理系)

黄土高原是我国水土流失最严重的地区。水土流失及其所带来的一系列问题,严重地影响了当地的经济发展和生态环境,同时也影响了黄河下游地区的建设。几十年来,我国有关部门曾多次对该地区进行大型综合调查研究,并取得许多重大成果。但是,由于黄土高原的问题复杂,又受到技术条件的限制,对该区的环境资源问题尚需作进一步的调查研究。为此,国家在“七五”期间,列有多项重大科技攻关项目。本项研究即为国家“七五”科技攻关项目《黄土高原重点治理区遥感调查与系列制图》中的一部分。

晋陕之间黄河峡谷及其两侧支流是黄河的主要产沙地区,特别是粗泥沙的主要源地,是黄土高原中水土流失最严重的地区。据研究,该地区每年汇入黄河的泥沙共约 10 亿吨,沉积于下游的粗泥沙的 76% 来自该地区。另一方面,该地区拥有丰富的资源,是国家正在兴建的以煤炭为中心的能源重化工基地。因此,对该地区进行资源环境的遥感调查是非常必要的。

“黄土高原重点治理区遥感调查与系列制图”是黄土高原遥感应用工程的主要组成部分。经过课题论证,选定在晋西、陕北和内蒙古准格尔旗等区黄河峡谷两岸严重水土流失区(共 8 万平方公里)进行资源环境遥感调查与系列制图。应用航天、航空等遥感手段,配合地面调查,查清调查区域的自然资源和水土流失现状,提交有关的图件、资源清单和报告。整个专题由中国科学院、国家计委自然资源综合考察委员会和中国科学院遥感应用研究所负责。根据分工,北京师范大学地理系承担黄土高原重点治理区中山西西部 12 个县的遥感调查与制图任务。参加单位有山西省农业遥感应用研究所、烟台师范学院地理系。晋西 12 县包括兴县、临县、方山、离石、柳林、石楼、中阳、永和、大宁、吉县、乡宁、河津。面积共约 2 万平方公里。

根据专题总体设计,本项研究之具体任务为编制晋西 12 县的 1:100,000 土地利用图、草场类型图、森林分布图、土壤侵蚀图、土地类型图及土地资源评价图,提供相应的资源数据清单和文字报告。

工作任务已于 1990 年全部完成。与陕北、晋西北、内蒙各片的成果汇总以“黄土高原重点治理区遥感调查与系列制图”(75—73—04—02)专题为单位,通过上级部门主持的验收与鉴定。本文集汇集本项研究的部分成果。

一、研究区域环境特征

晋西黄土高原西临黄河,东达吕梁山。吕梁山高度为海拔 1500—2000 米,关帝山海拔 2830 米、呈穹形构造隆起,是吕梁山的最高山段。吕梁山南段,降到 1000—1500 米。吕梁山以西为晋西黄土高原,自东向西倾斜,海拔 1400—800 米,黄河沿岸海拔 800—600 米。晋西黄土高原普遍覆盖厚层黄土,地面缺少植被覆盖,大部黄土裸露,经流水切割,沟壑纵横,地表破碎。南部各县有残塬分布,为晋西粮食主要产区。但塬面高沟谷深,水蚀严重,塬面不断受到沟壑溯源侵蚀而日渐缩小。北部各县以梁峁丘陵为主,地表起伏崎岖,以坡耕地为主。

晋西黄土高原堆积厚层黄土层,大部分地区黄土层厚度超过 50 米,一些

沉积盆地厚度可达 200 米，成为我国黄土发育典型地区之一。晚新生代以来各种地层发育完好，包括三趾马红土、午城黄土、离石黄土、马兰黄土等都分布甚广。其中以离石黄土厚度最大，马兰黄土分布最广。红土层裸露面积一般占流域面积的 9—12%。晋西黄土发育历来引起地学界重视，“保德红土”、“午城黄土”、“离石黄土”的命名均以晋西的保德、午城、离石等地的典型剖面而得名。

晋西黄土高原上还散布着低山，如黑茶山、紫金山、棋盘山、四十里山、人祖山等，耸立于“黄土海洋”之中。这些石质山地的分布，使黄土高原分隔成许多小的流域盆地。晋西黄土高原流入黄河的河流很多。它们都发源于东部吕梁山脉，主要河流有朱家川河、岚漪河、蔚汾河、湫水河、三川河、屈产河、芝河、昕水河、清水河、鄂河等。这些河流大多源短流急，河道比降甚大（表 1），加剧水土流失。

表 1 晋西黄河支流概况表

河 名	河长(km)	流域面积(km ²)	落差(m)	比降(‰)
朱家川	158.6	2922	1006.0	6.34
岚漪河	119.2	2167	1386.0	11.63
湫水河	121.9	1989	1286.7	10.56
三川河	176.4	4161	1326.6	7.52
昕水河	138.0	4326	1118.7	8.11

这些河流的河口段多为深切峡谷，谷底基岩裸露，一般均可看到多级裂点。一些河段深切入基岩中，多曲流，交通不便。岚漪河、湫水河、三川河、昕水河等的河口峡谷段长度多在 20—30 公里左右，谷底的多级裂点，累计高差在 50—70 米之间。越过最高位置的裂点，溯源方向为宽坦河谷，谷底平坦，河漫滩与阶地发育，形成当地主要农业用地。晋西许多大城镇均位于河流宽谷段，兴县、临县、方山、离石、中阳、柳林、大宁、吉县、乡宁等无一例外。河流上游地段大多为深切的峡谷，溯源侵蚀强烈，特别是在紫荆山、四十里山、小东山等新构造运动活动强烈区，河流切割形态更为明显。宽谷是古老河谷的遗留形态，峡谷段是后期切蚀塑造的较新河谷形态。表明黄土高原仍会出现长期的强烈侵蚀破坏过程。

晋西黄土高原属暖温带半干旱气候，年平均气温 7—10℃，10℃ 积温 3100—3800℃，1 月平均气温为 -7—-10℃，极端低温为 -26.3℃（兴县），7 月平均气温为 22—25℃，极端高温为 38.7℃（大宁，1980 年 5 月 29 日）。根据温度条件，大部分地区作物可两年三作，可以种冬小麦，也可种棉花。但由于气温年际变化大，10℃ 的积温各年相差达 400—600℃，春迟冬早，对棉花生长不利。坡耕地水源不足，基本为一年一作。

由于吕梁山的阻隔，本区降水偏少。年降水量一般为 450—500 毫米左右，降水集中且年际变化大，多雨年往往为少雨年的 3—4 倍，不能保证作物的正常需要。如临县的年平均降水量为 589.5 毫米，1961 年降水 867.1 毫米，而 1965 年降水仅 204.2 毫米。形成严重干旱。大宁年平均降水是 536.9 毫米，1958 年降水 725.4 毫米，1965 年降水仅 328.5 毫米。晋西降水集中，且多暴雨。日降水量可达 100 毫米以上，临县 1990 年 8 月 9 日降水 162.5 毫米，为年降水量的 27.5%。暴雨很少为土壤吸收，绝大部分形成径流，冲刷力很强，

造成大量水土流失。

重力侵蚀包括崩塌、滑坡、泻溜等。根据离石王家沟试验研究，丰水年泻溜、崩塌、滑坡的比例分别为 0.16、0.28、0.56；枯水年三者的比例依次为 0.60、0.31、0.09。这种现象的发生，一方面表明年降水量与崩塌的关系不大，而与泻溜、滑坡的形成关系明显；另一方面与黄土土层组成关系密切，崩塌、滑塌侵蚀主要发生在离石黄土（ Q_{2-3} ），而泻溜主要发生在三趾马红土层。

晋西黄土高原由于自然因素及人为原因，水土流失十分严重，区内大部分耕地是坡地，跑水跑土跑肥现象普遍，熟化的表土不断遭受侵蚀，使土壤肥力逐渐降低。盛行轮荒制和广种薄收粗放经营的习惯，粮食产量低而不稳。除临县、柳林、乡宁等县外，一些县缺乏煤炭资源，燃料、饲料，肥料短缺现象普遍。不少地方靠挖掘灌丛草根作燃料，加剧了水土流失。解放以后在底子薄、肥料缺、土壤贫瘠、缺林少牧的情况下，继续单一经营，生产发展十分缓慢，许多地区仍处在贫困状态，财政自给率低。

晋西黄土高原具有很大的生产潜力。热量资源尚未充分利用，林地占土地总面积的 25.7%。林地面积不算少，但森林分布很不平衡，主要集中在黑茶山、关帝山、吕梁山等几个林区，大部分黄土丘陵区林地很少。本区煤炭、铝土资源较为丰富，黄河的水力资源有待开发。今后针对水土流失问题实行沟、坡、梁、峁兼治，控制水、土、肥流失，大力植树种草，营造防护林体系，逐步扩大林牧业比重，种好基本农田，扬长避短，发展各地优势产品，加速环境治理与资源开发。

二、遥感系列制图方法研究

利用遥感图象编制资源环境系列图件，是获取土地资源、土壤侵蚀、森林、草场资源数据及分布特征的各种信息，是本项研究的主要技术途径。1983 年曾由山西农业遥感应用研究所、北京大学、北京师范大学、华东师范大学、东北师范大学、南京大学等单位合作，采用陆地卫星 MSS 数据，编制山西省 1:50 万农业自然条件图件。“六五”期间曾编制过三川河流域 1:10 万图件，已取得良好成绩。但由于 MSS 数据精度受到限制，制图精度尚待提高。本次调查为了提高精度，采用 TM 影象为主要信息源，结合黄土高原特殊的地理条件，建立适合黄土高原的遥感制图方法，顺利地完成了遥感系列制图任务。

1. 遥感信息源的评价

本次遥感调查，采用新一代陆地卫星 TM 影象为主要信息源（表 2）

表 2 晋西黄土高原遥感调查陆地卫星 TM 资料

图幅名	图幅号	接收时间	光学合成	比例尺
保德幅	126 - 33	1986.6.8	TM3.4.5 合成	1/10 万
绥德幅	126 - 34	1986.6.8		
延长幅	126 - 35	1986.6.24		

上述资料经纠正增强处理后，分 9 幅输出负片（1/50 万），再由山西省农业遥感应用研究所进行光学合成，放大洗印成 1:10 万图象。除少数地区

有薄云覆盖外，绝大部分地区影象清晰，符合使用要求。由于 TM 影象的空间分辨率、光谱分辨率均比 MSS 提高，提高了对沟谷、沟旱地、植被、土壤、水体等地类识别的精度。需要说明，黄土高原地形破碎，对于宽度小于 10 米的切沟，宽度小于 5 米的梯田以及面积小于 0.3 公顷的人工草地、林地，都低于 TM 影象的地面分辨率。

工作区北部的兴县，于 1987 年 8 月 17 日进行彩红外航空摄影。航高 11457 米，焦距 152.77 毫米，象片比例尺 1:6 万，为兴县的遥感系列成图、信息复合、以及 TM 图象解译的检验提供了有利条件。

此外，山西省农业遥感应用研究所曾于 1981 年 9 月在三川河流域进行彩红外航空摄影，比例尺为 1:20000，航片质量很高，为建立 TM 图象解译标志，并进行土地利用动态变化监测提供了条件。

晋西黄土高原工作区还有多时相的陆地卫星 MSS1/50 万、1/10 万图象，可作为补充信息源。

通过对多种信息源的对比分析，采用彩红外航片进行遥感制图，可以满足制图分类要求，如以我国土地利用现状三级分类系统为标准，可以区分出 90% 以上的三级地类，但大面积的彩红外航空摄影的价格昂贵。陆地卫星 TM 图象可以满足土地利用二级分类调查的要求，部分地类可以达到三级分类的要求，TM 图象价格相对较低。因此，对整个地区采用 1:10 万 TM 资料，在局部地区采用彩红外航片进行典型分析。

2. 针对黄土高原沟谷密集，再生资源分布的特点，进行图象增强、信息提取处理，以提高影象解译精度

研究组进行了陆地卫星 TM 多波段多种组合方案的试验研究，进行灰度拉伸、边缘增强、比值处理的多种方法试验。重点对常规合成方案中难以辨别的信息（如枣林、天然林等）进行信息提取，采用 TM 数字图象的均衡化处理、高斯变换、KL 变换、TM (4/3 + 3/2 + 2/1)、TM 与彩红外航片信息复合等方法，取得了增强枣林信息和林地层次增强的较好效果，其中枣林信息的提取，对确定黄河峡谷段枣林分布有重要意义。

3. 系列制图方法研究

在山西农业资源遥感系列制图及陕西省安塞县试点系列制图的基础上进一步完善了黄土高原治理区遥感制图分类系统，提高了系列图件的科学性。

为了便于统一协调，组织全体工作人员到野外进行路线考察，在现场共同研讨、确定图象解译标志，使全体参加工作的人员对黄土高原的主要景观标志、主要土地类型、土壤侵蚀类型有共同的认识。特别是对黄土区的重要类型界线——沟缘线、坡脚线、分水线、流水线在 TM 影象上的标志需要取得一致认识，这对于协调各种专业图件，交流各专业的知识很有必要。

统一信息源、统一工作底图。根据 1:10 万地形图编绘统一的工作底图，保证制图的精度。

在制图过程中，采用先分解后组合的作业制图方法。以土地利用图为基础，协调森林图、草场图。土地类型图与土地资源图的图斑基本一致，容易协调，再以土地类型图与土壤侵蚀图协调。由于沟边线、坡脚线、分水线已取得一致认识，因此，上述图件的协调非常顺利，保证了系列制图的精度，而且大大节省了工作量。

本项研究与中国科学院遥感应用研究所负责完成的陕北黄土高原遥感

调查、中国科学院南京土壤研究所负责完成的晋西北（河曲、保德、偏关）黄土遥感调查进行协调，由于采用共同的系列成图方法，在工作过程中经常研讨，统一认识，因而在最后成果汇总时，8 万平方公里的六种图件都顺利拼接完好。

根据上述工作进程编制的晋西黄土高原遥感系列图，经过本项目总体组组织的野外验证，认为地类制图精度在 85% 以上，符合任务设计 1：10 万制图要求；地物判对率为 82%，主要地类的定性、定位精度达到要求，图斑精细，较好地反映黄土高原主要地物分布规律。但由于 TM 影象空间分辨率所限，个别面积较小的地类判对率偏低，需要利用彩红外航片或其他资料进行校核。

三、资源与环境调查结果分析

通过连续三年的调查分析，完成了 1：100 000 万比例尺的土地利用、森林、草场、土壤侵蚀、土地类型和土地评价六种专业图件以及各类土地面积数据量测，比较全面地反映了研究地区的土地资源与环境特征、水土流失程度。

1. 土壤侵蚀

通过遥感调查，查清土壤侵蚀现状、侵蚀类型、侵蚀强度及发展趋势，为综合治理提供依据。调查结果为：

微弱侵蚀（侵蚀模数 < 1000 吨/ km^2 ）占全区的 24%

轻度侵蚀（侵蚀模数 1000—2500 吨/ km^2 ）占全区的 3.0%

中度侵蚀（侵蚀模数 2500—5000 吨/ km^2 ）占全区的 7.5%

强度侵蚀（侵蚀模数 5000—8000 吨/ km^2 ）占全区的 13.6%

高强度侵蚀（侵蚀模数 8000—15000 吨/ km^2 ）占全区的 30.9%

强烈侵蚀（侵蚀模数 15000—25000 吨/ km^2 ）占全区的 21.0%

研究地区除河津县侵蚀模型较小外，大部地区均 > 5000 吨/ km^2 ，黄土丘陵区大部属高强度侵蚀与强烈侵蚀。图件上明确反映水土流失严重地区，为水土保持规划提供了依据。

2. 土地类型划分与土地资源评价

以土地类型为基础的土地调查，将土地分为土地类（河川地、黄土丘陵、土石山地、洪积冲积平原）、土地分类（16 类）和土地单元（5 类）进行制图。在此基础上进行各类土地面积的量算（表 3），计算沟间地、沟谷地比例（表 4），并进行土地类型结构的划分，为土地资源评价奠定基础。

表 3 晋西地区土地类型数量结构

土地类型	占全区比例%
河川地	1.22
黄土塬	1.57
黄土丘陵	63.09
其中沟间地	27.72
沟谷地	1.03
沟坝地	34.37
山地	31.79
其中中山地	9.44
低山地	15.54
沟谷地	6.84

表 4 晋西各县沟间地与沟谷地比例

县 名	乡宁	吉县	大宁	永和	石楼	中阳	离石	方山	柳林	临县	兴县
沟间地%	40.4	43.4	43.1	46.8	46.2	46.0	47.4	47.4	45.1	46.2	41.9
沟谷地%	59.6	56.6	56.9	53.2	53.8	54.0	52.6	52.6	54.9	53.6	58.1

土地资源评价系统是根据我国具体情况并参照美国农业部的潜力评价系统，按土地对农、林、牧利用适宜性及水土保持安排，根据质量优劣顺序将土地分为 8 等。土地评价因素主要根据土壤侵蚀、坡度、灌溉条件、土层厚度、土壤质地、盐渍化程度、土壤养分、土壤水分、温度和洪水威胁等 10 项。根据 1 10 万土地资源评价图量算结果，1—8 等地所占比例为 1.49%，3.72%，3.23%，27.04%，46.65%，11.17%，4.48%，1.62%。

从上述统计结果表明，晋西黄土高原 4、5 等地面积占总土地面积的 73.69%，说明土地质量较差。主要限制因素为土壤侵蚀、坡度和水分条件。宜农基本农田比例很小，不稳定的中低产田居优势。根据黄土高原特点，势必调整农、林、牧用地结构。

3. 土地用地结构

晋西黄土高原严重的水土流失，一方面与当地的自然条件有关，另一方面也与土地利用结构不合理密切相关。本区耕地占地面积为 38.5%，其中水浇地仅占 7.7%，而且集中分布在少数川地，广大地区为旱耕地，缺乏农田基本建设。林地面积达到 25.7%。在黄土高原地区中比例很高，表明近年来植树造林取得可喜成绩，但林地中以灌木林为主，乔木林仅占 47%，而且乔木林主要集中在东部吕梁山区，黄土丘陵区的林地面积仍然很低。牧草地面积占 24.7%，多分布在黄土丘陵的坡度较大的地区，草场的质量不高。此外，未利用地占 7.2%。

同时，对各县黄土所占面积进行量算，对各县用地结构及土地利用中存在的问题进行了分析研究。

4. 为了提高资源环境遥感调查的质量,研究组的成员进行了许多典型试验研究,主要有:

建立晋西黄土高原遥感地学分析模型。根据景观光学模型—真实地面模型—遥感地图模型三者反馈原理,通过由影象—实地—地图—实地—影象的信息提取与反馈过程,建立地学分析模型,如谷缘线—坡脚线遥感地学分析模型、地物色差分带遥感地学分析模型、高度分带遥感地学分析模型、多目标规划模型等。模型的建立对晋西地区遥感图象的模式识别,揭示地学—生物规律有重要意义。

在不同地貌类型区,选择6个小流域,采用1:5万地形图编制坡度图,量算结果表明, $>25^{\circ}$ 坡度占6个区流域面积的50%以上。

在晋西黄土高原区的北部、南部各选取一幅1:5万地形图,分析其聚落分布特点。分析结果表明,居民点的分布在南部80%在谷缘线以上,北部70%在谷缘线以下,结合耕地分布的特点,可进一步研究土地利用结构调整与土地承载力的合理分布。

进行小流域土地信息系统的研究,以柳林县杨家峪沟小流域、石楼县南割毡流域典型黄土丘陵沟壑区,进行小流域坡度分析、土地利用、土地类型、土壤侵蚀研究,进行小流域水土保持规划,通过微机信息系统的运算,机助制图,完成了坡度分级图、高程立体图、土地资源及水土保持规划的各种专题图件及各种数据表格。

5. 利用陆地卫星图象和彩红外航片,对晋西黄土高原的滑坡湾塌地进行调查研究。

完成了1:40万比例尺的滑坡类型图和滑坡危险性区域评价图,研制了区域滑坡分析系统软件,提供了全区滑坡类型和湾塌地数据清单。研究表明,受区域构造的影响,在兴县、临县、乡宁发育三条大滑坡带。这一发现,对区域滑坡灾害防治有重要指导意义。

6. 资源环境遥感调查的目的是为区域治理、资源开发提供科学依据。研究组在这方面进行了两方面的工作。

选择方山县进行自然资源的调查、评价、规划系列研究。在方山县农业区划办公室的协助下,完成了用于贫困山区的以土地资源为中心的资源环境协调发展规划模型。进而从方法上完成了晋西黄土高原遥感应用工程系统,将课题研究的资源环境调查评价的结果转化为具有可操作性的区域治理开发方案。

根据晋西黄土高原的资源组合存在着“东西分异、南北更替”的特点,提出了区域治理与资源开发的宏观格局。依据东西展布的三个经济带和南北对崎的两大拳头产业区,划分出东部土石山区林牧业经济带、中部黄土丘陵农牧业水保林经济带和西部沿黄河的畜牧、干鲜果品经济带、北部煤炭基地拳头产业区和南部的水、电、铝冶炼业及集约化农业果品拳头产业区。

四、结束语

本研究是在中国科学院资环局、国家教委科技司指导下,并在专题承担单位中国科学院自然资源综合考察委员会与遥感应用研究所直接组织下完成的。在晋西考察期间得到山西省农业区划委员会、晋西12县的领导、农业区划办公室的热情指导和帮助,对以上各单位的支持和协助表示衷心感谢。

晋西自然条件和社会经济概况

高起江

(山西省农业遥感应用科学研究所)

黄土高原重点治理区遥感调查与系列制图研究晋西部分,包括河曲、保德、偏关、兴县、临县、方山、离石、柳林、石楼、中阳、永和、大宁、吉县、乡宁、河津十五县,位于吕梁山西侧,黄河干流以东,属我国黄土高原的东部。地理坐标东经 $110^{\circ}30'—111^{\circ}30'$,北纬 $35^{\circ}28'—39^{\circ}40'$ 之间。总面积 23955 平方公里。这里拥有光热、生物、能源及矿产等丰富资源,具有悠久的开发历史,但区域生态环境十分脆弱。长期以来,由于人类和自然环境的关系处理不当,造成环境质量日趋下降,自然灾害日益严重。据史料记载,远在旧石器时代,就有人类在这里生息、繁衍,人类农事活动有几千年历史。近千余年来,历代封建王朝在本区垦荒从未间断,尤其近百年来,人口的增长和垦耕指数的剧增,加速了环境的恶化和水土流失的日趋严重。黄河在河口镇至龙门段输沙量为 16 亿吨,而晋西地区每年输入黄河的泥沙就达 2.9 亿吨。在社会主义现代化建设中,晋西地区是山西省能源重化工基地和沿黄工业带的重要组成部分,也是控制晋陕峡谷水土流失,保障黄河下游安全的重要地段。到本世纪末下世纪初,全国经济建设的重点逐步向西南、西北转移,这一地区位于这种战略转移的过渡地带,具有“承东启西”的重要地位。由此可见,晋西是一个急待整治和急待开发建设的地区。

一、地质地貌条件

晋西地区地质发展特点是与山西省整体地质历史紧密相联的。山西在大地上构造上属于中朝准地台上的一块隆起区,习惯上称为山西台背斜。

山西台背斜在漫长的地质历史发展过程中,经历了三个主要阶段,即地槽发展阶段、准地台发展阶段和地台活化阶段。

地槽发展阶段结束在早元古界末期,并以吕梁山区早元古界黑茶山群与中元古界汉高山群之间的不整合所代表的吕梁运动为主要褶皱带而结束了地槽发展阶段的历史。在这次大规模地壳运动的影响下,使古老的地层发生了强烈的变质、褶皱。

吕梁运动之后山西地壳朝着稳定的方向发展,并以大规模的平稳的上升和沉降为其主要发展特点。在加里东运动的影响下,使山西自晚奥陶纪,经志留纪、泥盆纪到早石炭纪没有留下沉积,缺失这几个时代的地层。在这个地质历史发展过程中,海陆变迁频繁,因而大面积沉积了下古生界的碳酸盐岩和上古生界的煤系地层。地台活化发生在晚三叠纪之后,其间又经历了两次比较大的地壳运动,一次发生在侏罗纪末到白垩纪末的燕山运动和新生代以来的喜马拉雅运动。燕山运动奠定了山西大地的基本构造轮廓,并发生了一系列大的断裂和平缓的开阔褶皱构造,伴随而来的是岩浆岩广泛的侵入。临县的紫金山碱性岩就是在这个过程中形成的。喜马拉雅运动使山西大地进一步分化,山地上升,盆地下降,奠定了今日的自然面貌。

本区地表岩性复杂,主要有太古界、元古界变质岩、混合岩、花岗岩;

古生界寒武、奥陶系碳酸盐岩，石炭系砂岩、页岩，二叠系砂岩、页岩；中生界三叠系砂页岩；新生界第三系红土、第四系午城黄土、离石黄土及马兰黄土。黄土分布广泛，其中又以离石黄土占优势，厚度一般为 50—100 米，最厚可达 150—200 米。黄土的垂直分布在三川河东部最高可达 1700 米，向南降低为 800—1500 米。

区域内地貌类型复杂，包括有中山、低山、丘陵、台地及河谷川地等多种类型，其中又以黄土丘陵为主。区域东部是以吕梁山脉为主体的基岩山地，中部临县紫金山、吉县的人祖山构成的基岩山地，孤立地耸立于黄土丘陵之中。

整个区域在三趾马红土沉积以前古地貌为起伏平缓的丘陵、盆地与宽谷洼地，黄土地貌承袭了这一形态，经过几度堆积、侵蚀过程，发育了现在的塬、梁、峁地貌景观。从北而南形成有规律的分布：北部为沙黄土梁峁丘陵，往南为绵黄土梁峁丘陵、黄土梁状丘陵，地表切割破碎，主要沟道多切割至三趾马红土和基岩，沟壑密度为 4.4—5.8 公里/平方公里，切割深度为 150—170 米。石楼以南地区分布有零星小片黄土残塬面，塬面高程 1000—1300 米，由东向西渐低，塬面平坦，坡度小于 5°，塬地边缘被冲沟深切，相对切割深度 150—200 米，沟壑密度 3.4—5.3 公里/平方公里；西部黄河沿岸地区，出现上黄土下基岩的蚀余黄土丘陵，顶部高程 800—1200 米，切割最为破碎，沟壑密度 5.7 公里/平方公里，相对切割深度在 230 米以上。梁多为斜梁，峁以黄土梁贯穿的连续峁为主。黄河及支流深切至基岩，呈现出石质丘陵戴“黄土帽”的地貌景观。

二、气候条件

晋西地区属暖温带大陆性季风气候，主要特征是季风气候明显，冬季多北风和西北风，夏季多东南风；冬季降雨量少，夏季降水量集中；冬夏两季气温相差悬殊，昼夜温差较大；雨热同期，夏季多雨，气温也高，对于农、林、牧业生产甚为有利。

本地区受纬度影响，气温具有从南向北降低的特点。南部年平均气温 10—12℃，北部 6—8℃；此外，受海拔高度影响，东部吕梁山地年平均气温 4—6℃，黄河沿岸 8—10℃。气温年较差大，一般在 29—36℃之间，由南往北逐渐增大。气温日较差分布特点是北部大于南部，河谷大于山地，阳坡大于阴坡。年平均日较差界于 9—16℃。在其它条件适宜时，日较差大，有利于植物干物质和糖分的积累。

本区多年平均降水量南部为 500—550 毫米，北部为 400—450 毫米；东部山地高达 600—700 毫米，黄河沿岸中部为 450—500 毫米，北部在 450 毫米以下。各季降水量分配不均，汛期降水高度集中，大宁、吉县、乡宁一带汛期雨量占年雨量的 60—62%。越往北部夏季降水量所占比例越大。北起偏关南至石楼一带所占比例最大，均值为 63.3%。且多暴雨。降低了水的有效利用率，同时加剧了侵蚀作用。

三、河流水文状况

河川径流受着降水和流域下垫面特性的支配和制约。晋西地区的径流深

和径流系数的地理分布趋势是山地林区大，丘陵河谷区小。如关帝山的最大径流深为 200 毫米以上，河津县汾河谷地仅 5 毫米，两者相差 40 倍。山地林区年径流系数约为 25%，一般山区为 20%，黄土丘陵区为 10%，河谷区为 5%。北部河曲、保德、偏关一带年径流深和径流系数均偏低，径流深仅为 5—10 毫米，径流系数 2—5%。

晋西地区有 8 条较大河流直接流入黄河，各河流流量特征见表 1。

表 1 主要河流多年平均流量表

河 名	站 名	地 名	集水面积 (km ²)	流量(m ³ s)	
				实 测	天 然
偏关河	偏 关	偏关县城关沈家村	1915	1.65	1.68
朱家川	后 会	保德县杨家湾	2901	1.31	1.41
岚漪河	裴家川	兴县裴家川乡任家湾	2159	3.23	3.33
蔚汾河	碧 村	兴县高家村	1476	2.47	2.68
湫水河	林家坪	临县林家坪乡	1873	3.30	3.46
三川河	后大成	柳林县薛村乡	4102	9.19	9.51
屈产河	裴 沟	石楼县裴沟乡	1023	1.40	1.40
昕水河	大 宁	大宁城关镇葛口村	3992	5.78	5.90
清水河	吉 县	吉县城关镇	436	0.74	0.74

河川径流在年内分配中，最大径流发生在汛期 7—8 月份，尤以 8 月份较多。约占年径流的 20—40%，通常汛期径流量占全年总径流量的 60% 以上。

林区和泉水补给较多的河流，径流的年变化较小。

晋西众多的直接入黄的沟川，由于干流短、比降大，在大雨或暴雨情况下，都具有汇流历时短，洪峰高，含沙量大的特征。

区域内各河流输沙量高度集中在汛期，多年平均汛期输沙量占全年输沙量的 92%，最大月输沙量约为全年输沙量的 15—60%。

四、植被分布特征

晋西地区在植被分区中，属暖温带落叶阔叶林和半干旱草原区。山地、丘陵原始植被已遭破坏。吕梁山及黄土丘陵区的岛状山地生长的森林植被，多属重新恢复起来的天然次生林及人工营造的中、幼林。

区域北部包括兴县、保德、河曲、偏关各县，属温带灌草丛和半干旱草原分布区，以长芒草、艾蒿、兴安胡枝子居多、沙棘、虎榛子、黄刺玫等只有零星分布。果树除海红果和杏分布较普遍外，局部小气候环境较好的地方有苹果、核桃、梨等。

临县以南至乡宁各县是以针叶林及中生的落叶灌丛为主，夏绿阔叶林为次的分布区。山地中上部为落叶针叶林、常绿针叶林和落叶阔叶混交林，主要树种有云杉、华北落叶松、白桦、山杨等，生长茂密，覆盖度高，并有厚层枯枝落叶层和腐殖质层，具有良好的森林生态环境；中下部多为暖温带落叶灌丛和针叶林。乔木树种有油松、侧柏、白皮松、辽东栎等。次生灌丛以土庄绣线菊、胡枝子、榛、沙棘、虎榛子、黄刺玫等为主，长芒草等草本植物次之。山地顶部有由嵩草、苔草等组成的亚高山草甸。果树以枣、梨、核

桃居多，葡萄、海红果、桃和杏等亦较常见。

大面积黄土覆盖的丘陵区，生态环境恶劣，植被生长较差，多属低覆被和裸露地区。近年来，通过植树种草，营造水土保持林，植被覆盖度明显增加。

五、社会经济概况

本区共有 252 个乡镇，4552 个行政村，总人口 2278183 人。其中农业人口 2059963 人，除河津县大部分外，均属水土流失严重，文化落后，人民生活贫困的贫困县。由于历史上沿袭的开荒扩种，广种薄收的陋习，导致植被缺乏，土地贫瘠，粮食产量低下。加之以粮为纲指导思想的束缚，形成以农耕为主，单一经营的生产格局。目前本区虽人均基本农田已达到 1.41 亩，但平均单产仅 143.5 公斤。坡耕地占耕地的比重较大，人均占有坡耕地 5.3 亩。人均生产粮食 348.2 公斤。多种经营乏路，人均收入仅 330.6 元。虽人均占有 15 亩之多的土地资源，但做为农耕地的后备资源已极为缺乏。沟间地已基本辟为农田，垦殖率达 36.2%。因此，扭转该区自然环境恶化和再生自然资源减少的局面，摆脱贫困面貌之关键在于搞好综合治理，优化开发，调整农业结构，加强林（果）草植被资源建设。这也是焕发黄土高原青春的重要对策。

晋西地表组成物质及地貌的发育特征

杨运恒

(烟台师范学院地理系)

地表组成物质是地貌及其它自然景观发育的物质基础,而地貌则为自然景观的发育和人类活动提供了空间条件。地表组成物质和地貌的空间分异,是控制自然景观、自然资源和人类活动的地域差异的重要因素。本文根据野外实地考察资料,结合遥感影像分析和前人的成果,对晋西地区的地表组成物质和地貌的类型、空间分界特征作简要分析。

一、地表组成物质和地貌类型

晋西黄土高原在构造上属鄂尔多斯台向斜的东延或吕梁背斜的西翼。黄土广布,黄土丘陵十分发育的景观特色,同陇东、陕北高原十分相似。晋西东部吕梁背斜组成的基岩山地是山西高原的组成部分,并与吕梁山以东地区基岩广泛出露、黄土分布面积较小的景观特色相一致。晋西地区处于山西黄土高原和陕北黄土高原的过渡地带,决定了本区的地表组成物质和地貌类型的多样性和复杂性。

根据岩性的年龄差异,晋西地区出露的地表组成物质可归纳成基岩、土状堆积物和砂砾石堆积物三大类共 11 种类型。其中基岩有太古界和元古界的混合岩和变质岩(包括震旦系的变质砂岩),下古生界寒武系和奥陶系灰岩,上古生界石炭系和二叠系砂页岩(夹煤层),中生界的砂岩和燕山期为主的花岗岩等。土状堆积物主要是新生界上新世(N_2)的三趾马红土,早更新世(Q_1)的午城黄土,中更新世(Q_2)的离石黄土和晚更新世(Q_3)的马兰黄土。砂砾石堆积物除局部新生界土状堆积物露头的砂砾石夹层外,绝大部分为全新世以来河(沟)谷的洪积、冲积物和坡麓地带发育的坡积物。

根据地貌的物质组成和形态,晋西地区的地貌可概括为基岩山地、黄土丘陵、土石丘陵和台地平原四大类。从形态上划分,主要有中山、低山、丘陵、河谷川地和台地平原等类型。

二、地表组成物质和地貌的区域分异特征

晋西地区的地表组成物质和地貌,在宏观上有东西分异、南北分异和垂直分异的特征。

1. 东西分异特征

总体上以吕梁山地西侧南北向的深大断裂为界,东部为吕梁背斜褶皱隆起山地,西部为以鄂尔多斯台向斜东延为构造背景形成的典型高原。受构造的控制,基岩类型的分布表现出明显的东西分异。太古界和元古界的混合岩和变质岩主要分布和出露于吕梁背斜山地的核部。古生界和中生界的地层则分布于背斜的西翼,并自老而新由东向西分布。其中寒武系和奥陶系灰岩主要出露于兴县、临县、离石、中阳的东部山地,有少部分被黄土覆盖而在沟谷底部出露。石炭系和二叠系的砂页岩除在乡宁县东南部山地有较大面积出露外,绝大部分分布于晋西中部和中西部,仅在黄土沟谷中出露。中生界砂

岩主要分布于晋西西部沿河一带。

黄土的发育与分布也表现明显的东西差异特征。东部以基岩山地为主，黄土分布面积较小并且基岩分布于高处，黄土分布于河谷及坡麓低洼处。中部和西部除个别基岩孤山外，绝大部分以黄土广布为特色。在黄土丘陵区，黄土分布于高处，而基岩仅在沟谷下部出露（图 1、图 2）。

黄土堆积的厚度具有东薄中厚西薄的东西分异特征。中部受古地形的控制，自北而南有三个黄土堆积厚度中心，一个在兴县南部，中心厚度达 135 米；第二个在柳林龙门塬附近，中心厚度达 140 米；第三个在大宁太德塬附近，中心厚度达 130 米（图 3）。

地质构造、基岩与黄土的组合分布类型的东西分异，导致晋西地貌和地势的东西显著分异。东部为基岩组成为主的中山和低山；中部为典型的黄土丘陵；西部沿黄地带为土石丘陵。东高西低的地势控制了晋西地区黄河东侧支流由东向西流的格局。以黄河为局部基准面。其东侧一级支流的沟谷形态和发育阶段的的东西差异明显，并明显划分三个带。黄河干流至其第一级支流第一级裂点带之间的沿黄地带，为深切沟谷带。该带的深切曲流发育，河谷形态表现为下“V”上“U”的复合型，地貌发育处于老年期的回春阶段。河床比降大，沟谷广泛出露基岩，黄土仅小面积薄层残存在梁峁顶部，呈现“黄土带帽”景观。一级支流的第一裂点带与第二裂点带之间为宽河谷地带。地貌发育处于老年期阶段。蔚汾河、湫水河、三川河、屈产河和昕水河的主干流和部分支流均发育典型的宽河谷，河谷川地、台地的水源补给条件好，成为晋西黄土丘陵区重要水浇农业基地。第二裂点带以东为河流上游和河源地带，沟谷多呈“V”型，沟床比降大，滑坡、崩塌等重力侵蚀严重，地貌发育主要处于壮年期阶段。由于河流沟谷地形和发育阶段的的东西分异，导致黄土区沟间地貌亦存在较明显的东西分异特征。以三川河流域为例，沿黄地带为土石丘陵，中部柳林为梁峁丘陵，东部离石、中阳和方山以梁状丘陵为主。

地表组成物质和地貌地势的东西分异特点，控制了晋西自然景观、自然资源和土地利用方向的的东西分异。可明显划分三个地带，东部基岩为主的山地，地势较高，为河流的发源地。降雨量一般在 600mm 以上。由于水分条件较好，森林植被长势好，盖度高，并发育森林土壤。土地开发方向发展以林业为主，兼农牧业。中部黄土丘陵区地形破碎，植被盖度低，水土流失严重，是水土保持的重点地区。土地利用以梁、峁、残塬旱作农业、宽河谷水浇地农业及沟坡荒草地牧业为主。西部沿黄地带黄土坡旱地面积较小，而以基岩沟坡上分布的荒草地数量占优势。同时该区地势较低，热量条件好，在黄河谷地十分有利于枣树等果林生产，因此沿黄地带的土地开发应以果、牧为主兼农业的方针。

2. 南北分异特征

由于晋西的构造运动具有北部抬升较强，南部抬升相对较弱的特征，其中河津县大部分处于汾渭地堑沉降带。这不但使地势有北高南低的特征，而且使山地基岩出露类型、山地形态和黄土地形的发育均有南北的差异。

吕梁背斜褶皱山地的北段关帝山一带，大面积出露太古界和元古界的混合岩和变质岩等古老岩层及燕山期花岗岩，以中山为主。中段主要是下古生

界的灰岩，南段主要是上古生界的砂页岩，很少有太古界、元古界地层出露，山地主要属低山和丘陵类型。

晋西中部黄土地形的类型组合和发育阶段的南北分异尤为明显。南部乡宁、吉县、大宁的黄土地形以残塬和宽平梁为主，斜梁为辅；中部的永和、石楼以梁状地形为主，残塬和宽平梁地形为辅；北部柳林、临县、兴县等以切割破碎的梁峁状地形为主。地貌类型组合的南北分异反映了区域地貌发育阶段的差异。南部乡宁、吉县和大宁的地貌发育以幼年期晚期为主；中部的永和和石楼以壮年期早期为主；北部各县以壮年期早、中期为主。

黄土的粒度构成亦存在南北分异，总体上黄土粗砂含量由北而南变少，粘粒含量则由少变多。北部兴县接近毛乌素沙地，黄土物源较近，粗砂含量较高，属沙黄土带；南部河津县的粘粒含量较高，接近粘黄土带边缘；中部为典型黄土带。

黄土地形破碎程度和黄土粒度组成的南北分异，对土地特别是沟间地的质量好坏有较明显的控制作用，总体上南部的土地质量高于北部。

3. 垂直分异特征

晋西地势最高点为东北部的关帝山，海拔 2 831 米，最低处为南部河津县黄河与汾河的汇合处，海拔高度在 500 米以下。晋西地势在东高西低和北高南低的基础上，总体上呈现东北高西南低的趋势。不同高度带内的地表组成物质和地貌的组合类型有明显的不同。500 米以下为台地平原，物质组成以次生黄土为主主要分布于河津县；500—1000 米主要是蚀余黄土丘陵，位于沿黄地带；1 000—1 500 米主要是黄土丘陵和少量的基岩低山和丘陵；1 500 米以上主要是基岩组成的中山，位于晋西东部（图 4）。

三、结 语

通过对晋西地区地表组成物质和地貌的类型、分异规律的分析，以地表组成物质组合类型的差异为基础，以宏观地貌形态为依据，首先把晋西地区的地貌划分成基岩山区、黄土丘陵区、土石丘陵区 and 台地平原区共四大区，然后再根据黄土丘陵的梁、峁组合差异，将黄土丘陵区进一步划分成 4 个亚区（图 5）。各地貌区的位置、地势高度、地表组成物质发育特点和地貌形态特征等描述归纳成附表。

附表 晋西地区各地貌分区地表组成物质和地貌发育状况

地貌类型区	位置	高度范围(米)	地表组成物质发育特点	地貌发育特点	自然景观特征	土地开发方向
基岩山地区	东部	> 1500	基岩类型为主	中山、低山和部分基岩丘陵	森林和森林土壤，水土流失轻	林业为主，辅以牧、农业
黄土丘陵区	中部	1000 — 1500	黄土广泛分布，沟谷出露土（岩）层组合多变	黄土梁、峁、残塬、沟谷地貌	植被盖度低，地形破碎，水土流失严重	旱作农业和牧业
土石丘陵区	西部	500 — 1000	基岩沟坡为主，黄土薄层小面积残存于梁峁顶部	深切曲流发育，上“U”下“V”复合型沟谷	黄河南北纵贯，“黄土带帽”、裸岩、草坡面积大	果、牧为主的农业
台地平原区	南部	< 500	次生黄土	台地平原和河谷川地	地面开阔，河流易摆动、泛滥	灌溉农业和果树业

参考文献

- [1]杨运恒，晋西三川河流域的地表组成物质及其与土壤侵蚀的关系，烟台师范学院学报（自然科学版），1988年，第4卷第2期。
- [2]刘东生，黄土与环境，科学出版社，1985年。

晋西资源与环境遥感系列制图问题探讨

王静爱

(北京师范大学地理系)

应用卫星遥感影象编制系列地图是晋西资源与环境遥感调查研究的技术核心之一。自本世纪 70 年代以来,国内外遥感系列制图发展十分迅速,系列地图由广而多向专而精的方向转变。我国“六五”及以前的系列地图多属前者,如山西省太原幅农业条件系列图^[1]、内蒙古草场资源系列图^[2]等,所用信息源多为 MSS 影象。晋西属黄土高原的一个部分,其系列地图设计以水土流失为核心,以新一代 TM 影象(1:100000)为主要信息源,以土地利用、土壤侵蚀和土地资源评价为系列。本文根据系列成图的实践,阐述本次系列制图的系统设计和路线,着重就有关问题,如制图综合、制图协调、表示方法以及制图精度等进行探讨。

一、系统设计与技术路线

晋西遥感系列制图系统设计的根据是“黄土高原水土流失重点区资源与环境遥感调查与系列制图”项目总规程,可概括为:以问题(水土流失)为核心设计内容——以 TM 为信息源实施遥感调查与系列制图——以解决问题为目的获取资源清单和决策意见。共完成三组六种图件,图 1 表明了它们的内容及相互关系。

晋西制图区域包括山西省西部的 12 个县,面积近 2 万平方公里, TM 影象覆盖全境。本次研究技术路线实施的程序如图 2,大致可分为三个阶段,即试验阶段、地学分析与系列制图阶段、成果分析与应用阶段。系列地图分别以县为单位和以研究区为整体选取图幅。

二、遥感系列制图的几个问题

随着遥感系列制图的发展,地图学的理论与实践得到极大的丰富,传统地图的理论以及技术方法发生了变革,特别是自动制图,为遥感系列制图展示了美好的前景。下面讨论的有关问题,试图从系列制图实践中提出可供借鉴的方法,同时对某些制图理论提出初浅的认识。

1. 遥感系列制图综合问题

遥感制图综合区别于常规制图综合的最显著特点是影象判读勾图综合,即由遥感影象转换成图斑的综合。在目视解译下,将影象转换成图斑之后,还需第二步综合,即地图综合,也就是传统的制图综合。若用计算机自动判读并成图,通常第二步综合被省去。

本次遥感系列制图以目视解译为主。影象判读制图综合由编图人员完成,制图综合则由制图人员完成,前者还可称之为编图综合。这二种综合是相互制约的,而且编图综合决定着制图综合。

编图人员进行遥感影象判读制图综合的基础是建立在对景观光学模型^[3]的认识上,即对影象色彩、色调、纹理、结构、形状、大小等特征的识别。

目视影像制图综合的途径可以从两个方面考虑：一是按专题分类规律进行综合，勾出图斑，也就是先建立遥感地学分析模型^[4]，然后识别光学模型；二是按景观光学模型的构象规律进行综合，即先识别光学模型，勾出图斑，然后根据地学分析模型按专题分类归并。前种途径易于把握专题现象的规律，但不易与计算机自动识别、成图接口。后种途径有可能与计算机自动识别和成图接口，而且人为主观性相对较小。采用何种途径进行综合取决于制图目的、区域特征、专题内容及专业人员素质和经费状况。我们认为晋西的系列地图中土地利用图和土地类型图可按第二种途径综合，土壤侵蚀图可以二种途径相结合，土地资源评价图可按第一种途径综合。

编图人员影像判读制图综合的技术关键是：景观光学模型上异谱或异质现象，且边界区分明显，综合时主要是对细部的夸大或舍弃；同谱异质或同质异谱现象，综合时主要是对已勾绘好的图斑进行合并或划分；无明显边界的现象，主要是应用地学规律进行逻辑推断，划出界线。目视影像判读制图综合还需同计算机自动判读相结合，才更具有客观性和科学性。

系列制图综合具有对各图件起控制作用的总的综合原则，诸如最小图斑原则，不同专题影像可解性最低限度原则和共用的基本地形线（谷缘线）综合原则，以及基本图斑（林地等）综合原则等。也有各专题图件自身的综合原则，还有不同区域的综合原则，如黄土丘陵地区，沟谷地与沟间地间断与连续、谷形特征显示等综合原则，山地区山体高度及坡面与影像色彩关系的综合原则，土石坡地区色块的综合原则等。

2. 遥感系列制图协调问题

协调问题是系列制图的重要环节，特别是多学科、大区域系列制图，其协调问题更为突出。有许多学者探讨这方面的问题^{[5][6][7]}，提出各自的协调理论和方法，其中有些为本项研究采用。遥感系列制图协调的基本点可以概括为三模型协调，即真实地面模型、影像光学模型和地图模型的协调。它们贯穿于野外调查、地学分析、判图成图及地图分析的全过程。晋西遥感系列制图协调着重进行了下述几个方面的工作：

纵横相结合的图斑协调。根据制图区域特征，以谷缘线作为一级控制，勾出沟谷地与沟间地，以此作为各专题图的图斑骨架；以土地利用图和土地类型图图斑为二级控制，前者控制林图和草图图斑，后者控制土地资源评价图图斑，进行纵向图斑协调。横向协调是各专业图之间的协调，也就是相关图斑的协调。图3给出了图斑协调的范例。

分阶段有侧重的协调。大体分三个阶段：第一阶段主要由专题负责人之间进行内容体系协调，建立相互联系的系列图分类体系；第二阶段主要是专业人员之间的协调，通过地学分析和解译成图进行影像识别和地图转换，是三模型协调的主要阶段；第三阶段由转绘人员完成，转绘人员应具有专业知识、地图素养和遥感基础，是成图最后阶段的协调核心人，主要是几何界线及规律等方面的协调。

专人转绘协调。以具有专业、地图、遥感三方面素质的专人为核心，边转绘边协调。协调的主要方面有：图面线划的风格，特别是黄土冲沟的谷形、沿黄河岸的裸岩；重要地理规律的图面显示，如草地与荒草地的分布，正地形从坡—顶分布，负地形由坡—谷底分布，旱耕地与草地相间规律等；图斑块概率协调，特别是人工林块和最小上图图斑的平衡。以往的协调偏重于专业人员之间的协调和区域接边协调。为了协调要召开几次会议，但落实

到最后的成图上仍有明显的不协调，图面整体感不强。专人转绘协调更容易快速解决问题，省人省力，而且系列地图的系统性、整体性均可达到令人满意的效果。

说明

- (1) 土地利用图 (13 旱耕地、31 乔木林地、32 灌林林地、41 天然草地、81 荒草地)
- (2) 土壤侵蚀图 (3 中度侵蚀, 4 强度侵蚀, 5 高强度侵蚀, 强烈侵蚀)
- (3) 土地类型图 (21 耕作沟间坡地, 22 有林间坡地, 23 草灌沟间坡地, 33 草灌沟谷地)
- (4) 林图 (112 油松林, 221 沙棘林)
- (5) 草场图 (24 白羊草杂类草)
- (6) 土地资源评价图 (4、5 等级, 坡度, e 侵蚀限制)

上述三方面协调的优点在于：可以通过图斑协调把握住地形分异规律的正确性和综合体最小单元的相互对应性；可以有效地控制协调中的纵横关系，避免繁锁和疏漏；可以省人、省力，使系列图件协调且有整体感。

3. 遥感系列制图表示方法问题

系列地图的表示方法视专题内容而定，而且在成图过程中各种表示方法存在着某些转换关系。晋西遥感系列专题地图表示方法转换如图 4。

系列地图基本表示方法是质底法。对遥感影象首要的是定性信息的提取，在此基础上随专题内容的增减或变化，表示方法随之变化。具体表现为三个方面：增加数量分级信息。如土壤侵蚀图，除了沟坡蚀与坡面蚀分类及土地类型外，增加侵蚀模数分级，将质底量化，称之为量底法^[8]。在土壤侵蚀图上量底法表示的侵蚀强度居地图第一层面，质底法表示的土地类型以注记形式居于第二层面。增加质量分等信息。如土地资源评价图，通过综合因素，如坡度、侵蚀、水份含量、土层厚度、灌溉条件、土壤质地、人类活动等，将类型图斑等级化，划分出八个质量等，称之为等级质底法。土地资源图上以等级质底法表示的土地质量等居地图第一层面，以质底法表示的土地类型居于第二层面。提取某一大类信息，将布满整个制图区域的专题现象变为局部分布的现象，即由质底法转变为范围法。森林图和草场图就是通过这种表示方法编制的。

各种表示方法的转化，揭示着遥感系列地图的内在关系，充分体现了同源信息综合分析的多角度性，以及由定性到定量，再到定性的认识过程。正确选用表示方法是提高地图表现力和系列制图系统性的重要方面。

用上述方法编制成的系列地图再与 TM 影象比较，视觉感受具有两种对应性：土地利用类型（林、耕、草、裸地等）与影象光谱差异相对应；土地类型与影象纹理结构相对应。地图的作用主要是突出了边界，便于量算和直观阅读。如果利用影象直接作土地利用和土地类型图，只需稍加注释，会收到良好效果。也可以利用影象直接进行综合自然区划，实现自下而上的综合区划。

三、遥感系列制图精度分析

遥感系列制图精度按成图阶段分为四种：资料精度，即信息源 TM 影像的精度，它可以用 TM 影像的几何分辨率、光谱分辨率和时相分辨率评价，还有图象比例尺精度等。关于 TM 影像用于编制黄土高原水土流失重点地区资源与环境系列地图的精度问题，已通过论证，结论是：用 1:10 万比例尺标准假彩色合成 (3, 4, 5) 影像 (6—8 月)，编制黄土高原资源与环境系列地图精度可以得到保证。编图精度，主要是遥感影像的解译定性精度和专题界线勾绘的定位、半定量 (决定面积大小) 精度。编图精度决定后面的制图精度。制图精度，主要指转绘精度和面积量算精度。数据精度。

根据项目要求，晋西资源与环境遥感系列制图的精度主要体现在遥感解译的定性精度、图件转绘的定位精度和面积量算的定量精度三个方面。

1. 解译精度

解译精度受信息源分辨率影响和专业人员知识制约。客观地说，TM 影像的解译精度，直接解译一般为 80% 左右，经过野外校核和地学分析，精度可以大大提高，一般可达到 90% 以上，但不及彩红外航空像片定性精度高。根据研究区的区域差异和定性精度要求高的专业内容，我们选择了八个典型区 (0.5—25 平方公里)，用 1:2 万彩红外航片对土地利用解译结果进行检验，结果是不同类型的解译精度有所差异，其中水浇地判对率为 85%，塬旱地为 99%，坡旱地为 86%，林地为 90%，草地为 90%，平均解译精度为 90% 左右。水浇地与坡旱地判对率相对低的原因：水浇地主要是地块小易被忽视或被夸大；坡旱地主要是撂荒地归类不当，或难与耕地区分。TM 影像对大类确定位置、一二级类型定性和控制大类面积比例等方面具有快速、准确的特点。

2. 转绘精度

转绘精度取决于影像的几何纠正精度和转绘套合方法。本次所用 TM 影像均为精处理象片，与地形图套合最大误差在一幅图上为 2 毫米左右。用透绘转绘方法局部消除误差，最大转绘误差可以控制在 1 毫米左右。

3. 面积精度

面积量算精度比较复杂，主要取决于量算方法和有关比例系数的扣除。本次面积量算采用称重法，误差为 3% 左右。比例系数扣除是根据实地测量和统计资料进行的。在系列图件中没有采用复合图例，但实际上所划出的图斑在 1:10 万比例尺下大都是多种类型复合而成。因此所量算出的数据与其它来源的数据相差较大，特别是耕地数据。我们认为，遥感面积可以作为宏观控制的毛面积，或某一时段内的控制面积，可作为面积动态变化对比的基本参数。大区域遥感面积量算具有快速、省钱、宏观可控等优点。由毛面积变为精面积，参考地方最小统计单元 (乡或自然村) 数据调整数据也是必不可少的。

根据上述精度分析结果，本项研究的系列图件精度可以满足县一级决策之用，资源数据精度可以满足整个研究区分析、决策使用。进行黄土高原重点治理区水土流失动态监测，遥感制图精度能够满足要求。

晋西遥感系列地图成果揭示了研究区许多的地理规律，诸如：东、中、西地带分异成为研究区的一级分异，即东部山地、中部黄土丘陵、西部土石坡圪三个南北延伸东西更替的地带。土地类型结构规律，例如：随高度变化规律、随地面物质变化规律、重要地形线规律，以及区域组合规律。特殊现象地理规律：枣林分布的规律及北界和西界，沟头治理的区域分异，旱

地的地块组合规律，裸地分布规律等。系列地图为进一步实施水土流失动态监测奠定了必要的基础。

参考文献

- [1]高校遥感联合中心 陆地卫星象片太原幅农业自然条件目视解译系列图，科学出版社，1981。
- [2]内蒙古草场资源遥感考察队编著，内蒙古草场资源遥感应用研究 1、3，内蒙古大学出版社，1987。
- [3]〔苏〕H0·C·杜尔切尼科夫著，明世乾等译，景观光学特征，科学出版社，1988。
- [4]陈述彭、赵英时，遥感地学分析，测绘出版社，1990。
- [5]赵淑梅等，遥感系列图的现代趋向，北京师范大学学报，1988 增刊。
- [6]褚广荣，关于遥感系列成图中几个问题探讨，黄土高原遥感调查试验研究，科学出版社，1988。
- [7]雷震鸣，关于遥感专题系列制图技术方法的研究，同[6]。
- [8]廖克等，地图概论，科学出版社，1985。

遥感图像处理的地学应用

刘军萍

(北京师范大学地理系)

遥感图像所显示的是某一区域特定地理环境的统一体。它是地球表层的大气圈、岩石圈、水圈、生物圈以及社会生态环境的综合反映。其综合信息不仅体现在遥感信息本身具空间分辨率、波谱分辨率、时间分辨率,也表现在地理环境是各地理要素因时因地而异的综合体,涉及彼此关联的自然及社会现象。作为一个错综复杂的大系统,遥感数据及其对应的地理实体是不同表现形式的同一种事物。

一、遥感图像的特性

由于成像时工作平台(航天、航空)、工作波段(可见光、近红外、红外、微波)、成像方式及时相的不同,生成了具有不同特征的空间数据。遥感数据和图象是信息的载体,不同的遥感图象其载荷能力差异很大。

TM 传感器接收的是地面 30 米 × 30 米范围内各种地段的平均亮度值,包含的内容很多。即使是地面单纯某一类型的 30 米 × 30 米的地段由于所处的位置不同,其高程、植被长势、水分含量等多种因素的变化造成亮度值的波动,自然界随机特征也是造成这种波动现象的根本原因。TM 的分辨率只有 30 米(第六波段除外),理论上能反映的最小地物为 1.35 亩,处理并经拷贝后,分辨力有一定下降。特别是黄土高原地区,田块多被河流、山谷割裂,破碎分散的小地块常常占有相当的比重,且大多小于卫片所能反映的最小单元。这些零散分布的小田块和背景混杂在一起形成“杂象”,从而造成识别上的困难。当然,遥感获取信息,是把地面的无限信息源有限化,即离散化,在图像上表示出来,这样就限制了遥感空间信息的载负量。地面目标是多维模型,遥感信息则仅是二维的平面记录,显然会丢失一些地物的特征信息,这也表现出 TM 等遥感数据的局限性与不完整性。

彩红外航片是地面中心投影,航摄高度较低,可获得较大比例尺的、高分辨率的影像。彩红外航片既有可见光信息,又包含有近红外信息,同时它不受大气对蓝紫光散射的影响,所以较之普通彩色像片,颜色鲜艳,色差大。此外,航空像片在时间上比地图具有更多的优势;其立体观测性比航天遥感数据更能反映地物全面特征。因此彩红外航片对县级土地详查是很有效的信息源。但是,因为飞行姿态倾斜,地形起伏等因素都会造成较大的像点位移,也给影像定位、面积量算带来一定的麻烦。

从航片过渡到卫片是一种地面影像的成象综合。卫片上一种影像色调,在航片上往往是两种或多种影像的组合;卫片上天然界线的曲折度也有一定的综合概括。总的看来,航片的分类要高于卫片。按卫片的不同影像,选取航片进行典型地段的详细判读和深入剖析,以补卫片之不足,提高卫片的判读效果,同时也有利于卫片的外推法。很明显,仅仅对信息源的几何特性和波谱特性作评价是不全面的,同一信息,应用于不同方面或应用方法不同,所产生的效益是不一样的。因而从应用角度进行综合评价。通过专家模糊判别调查研究表明:在黄土高原地区,由于地形破碎,应用单一时相的 TM 图像(经增强和几何校正处理后)来完成 1:10 万资源调查存在一定的困难。而

同比比例尺的彩红外所载荷的信息量是 TM 的 80 ~ 100 倍, 且具有潜在应用价值。然而 1 : 5 万航空彩红外象片的费用是 TM 图像的 9 ~ 10 倍, 并且彩红外的拼接镶嵌给实际工作带来了诸多不便。所以两种信息源各有优势。但倘若在较大范围内单纯使用航片, 工作量大, 费用昂贵。相反卫片成象范围大, 资料新, 能反映动态变化, 成本低廉。因此, 在较大范围内进行调查, 是以卫片为主, 航片为辅进行。

二、遥感图像的数字处理与信息复合

信息复合是指同一区域内遥感信息间或与非遥感信息间的匹配复合。其根本目的在于实现多种信息源的相互补充与相互验证。

(一) 遥感图像数字处理

本研究所使用的遥感信息源主要是: TM 的计算机兼容磁带 (CCTs)。其国际参考坐标为 PATH126—ROW33, 是由中国遥感卫星地面站 1986 年 6 月 8 日接收的。此外有 1986 年 9 月 22 日航摄的彩红外航片。使用的非遥感信息源则主要是地形图。

1. 试验区情况

兴县地处黄土高原, 由于长期流水侵蚀切割, 地形破碎, 梁峁起伏, 沟谷纵横, 构成中山、低山、丘陵、河谷等多种地貌形态。其西部表层被第四纪黄土覆盖, 切割深度在 100—200 米左右, 沟谷呈“V”型, 发育着典型的黄土地貌景观; 而其东部属土石山区, 林草覆盖度高, 水土流失轻微。

在利用 TM2, 3, 4 影像进行兴县土地利用调查时发现, 在兴县的沿黄河地带红枣的栽培很有规律。在 TM 影像上, 红枣树呈致密的麻点状, 色调赭红, 在彩红外影像中红枣树的树冠清晰可辨; 另外, 红枣从分布特征上表现为集中连片, 且呈带状分布于大河道两侧。尽管如此, 若要把红枣树的准确分布范围划出界线来不是一件容易的事情。

兴县的林地集中分布在东部山区, 这里是吕梁山地的西翼, 属温带针阔混交林。针叶林生长在阴坡, 呈条块状, 色调为暗紫红色。常见的树种是油松、落叶松和侧柏。海拔 1300 米以上较多见混交林, 主要是指油松与栎类或杨桦类混生。在具体目视解译时, 由于 TM 的时相为夏季, 对于林的层次、林相林种的区分不利, 特别是针阔叶林的界线较难划分。而且由于东部地势高, 山体大, 山体阴影使得林地变得模糊难辨。此外, 由于洗印的缘故引起不同底片的像片色彩有偏移, 也给判读带来了一定的麻烦。

2. 选择试验窗

为集中解决以上所论及的问题, 借助图像处理手段, 开辟两个 512×512 像元的窗口。

NO.1 裴家川口 位于兴县西北部黄河沿岸温暖干旱区, 主要地物为红枣树。这里有黄河、岚漪河作控制骨架, 对于进行图像的几何校正与配准是十分有利的。

NO.2 奥家湾—恶虎滩 位于兴县中部蔚汾河河谷内, 距县城关镇以东约 25 里处。这里是东部土石山区与中西部黄土丘陵沟壑区的交错地带。开设此窗口的根本目的是为了识别林相、消除山体阴影、提取梯田旱地等信息。

3. 图像处理准备阶段

包括图像数据的输入、图像的几何失真校正、不同信息源数据的配准镶

嵌。

从遥感图像的形成过程中，如卫星的姿态、高度、速度，地球的自转、曲率、高程等因素的影响引起图像的几何失真，要首先对图像进行几何校正。而且卫星图像是以 SOM（即 Space Oblique Mercator 空间斜麦卡托投影）、UTM（Universal Transverse Mercator 通用横轴麦卡托投影）形式给出。彩红外采用的是多中心投影，我国地形图习惯用高斯—克吕格投影。所以也需要进行几何上的变换，使它们处在统一的空间坐标系统中，以达到能相互配准的目的。

4. 图像的增强处理

由于图像在成像、扫描、传输和显示过程中产生了降质，借助增强技术力量减弱或丢掉那些不相干的特征，同时突出那些感兴趣的特征或模式，或者通过利用适合于人类视觉系统特性的图象显示来完成。

图象的直方图形状反映了有关该图的对比度特性。因而直方图的均衡化、归一化处理是有效的增强手段，它具有使图象的累积直方图呈现线性变化（参见彩图 11）。

此外，在给定的适应强度下，人的视觉系统仅能鉴别 20 至 30 种灰度色调的差别，但却能识别数目多得多的彩色色彩，而且彩色的不同组合也将给予判译信息以帮助。所以彩色显示对于信息的显示也是很重要的。

5. 波段组合变换处理

影像的合成关键在于选取合成所需的波段组合。彩色图像的产生，原则上只要三个单波段图像，而陆地卫星 TM 数据有七个波段，从中选择三个波段或波段组合分别赋予蓝、绿、红三色便可合成一幅图像。

为了进行波段的优化组合，对兴县第一窗口的 TM 资料各波段的信息量作的比较分析表明：TM 的波段数据存在着较大的冗余。TM1、TM3 及 TM5、TM7 的相关性较高，TM4 和 TM6（热红外波段）是两个具较大独立性的波段。因此 TM3—TM4—TM5 的组合方案对黄土区的判释效果较好。而且这三个波段分别代表了反映地物明暗的可见光、对植物敏感的近红外及对水分吸收敏感的短波红外三个光谱区间，有效灰度区间宽，信息内含量很高，因而目视效果较好，其图像色彩类似于实际地物彩色。

TM4—TM3—TM2 组合，是 TM 标准假彩色组合方案，但在黄土高原遥感调查中这种合成方案不够理想，植被呈鲜红色，但林相的层次表现不确切，使林、灌的区分有难度。

TM7—TM5—TM4 组合，是对标准假彩色合成方案的重要补充，被称为似自然色的彩色合成方案。该组合包含了 TM5、TM7 两个对水分敏感的短波红外波段。通过在第二窗口的试验，在黄土丘陵区，梁峁坡地土壤水分较少，相当干燥，因而呈黄白色，而林区则表现为蓝色。由于植被的水分含量不同，体现在针阔叶树一方面是自身的水分含量不同，另一方面是需水性要求不同，因此两者呈现出不同的颜色。阔叶林呈蓝绿色调，针叶林则为蓝色，灌木林为黄红色。云层本身为白色，云影则表现为团状黑红色。

TM2—TM3—TM5 组合，是指先对 2、3、5 波段分别作对数变换后再经线性拉伸，然后作假彩色合成的合成方案。合成影象表明，针、阔叶林的表现很突出，前者呈粉红色，后者呈鲜红色；灌木林是以黄（带红）色表现，蓝色则是黄土地物类型的表现。

以上两个组合方案较好地提取了林相的层次信息以及阴阳坡的植被特

征。在 TM2—TM3—TM5 组合图像上，红色调阳坡部位上分布的主要是阔叶林，粉色则代表了阴坡的针叶林。

6. 比值图像处理

对地形起伏较大的深山区，由于成像日期（季节）和纬度的影响，山谷内普遍存在着严重的阴影区，给植被判读带来一定的困难。比值图像可以抑制由于地形起伏、坡度和坡向引起的辐射变化，尤其对山体阴影的去除很重要。经随机抽样试验，选择出优化指标因子，并进行了比值变换处理，发现 TM4/3、TM3/2、TM2/1 构成的新通道，配以相应的红（R）、绿（G）、蓝（B）合成，对消除阴影提取植被信息，取得了良好的效果（参见彩图 10）。在比值图像上，受沟谷阴影影响和与阴影难以区分的植被被赋予红色显示出来，较易识别。

7. 图像的 KL 变换

KL（主成分）变换提供了将多波段图像压缩为尽量少且又尽量保持原有信息量的有效方法。KL 变换前后总方差不变，只是将原来的多维图像方差，不等量地重新分配到新的图像成分中去。第一主成分取得总方差的绝大部分，包含了单个波段或单个合成波段所能代表的最大信息量。依此类推，从而达到减少维数又保持信息量最大的目的。

根据第二窗口 TM 七个波段数据的统计分析（表 1），TM5、TM7 的方差最大，数据分布的

表 1 TM 各波段统计数据特征

波段 项目	1	2	3	4	5	6	7
最小向量	62.00	22.00	18.00	15.00	14.00	5.00	5.00
最大向量	255.00	255.00	255.00	255.00	255.00	255.00	220.00
均值向量	96.37	48.10	55.89	77.85	111.58	58.57	58.98
标准方差	24.01	17.20	24.56	16.93	33.74	25.94	25.95

动态范围最广，代表了丰富的信息。七个主成分对应的特征值和相应构成的特征向量见表 2。由此可见，前三个主成分的累计方差达 92.3%，代表了绝大部分地面覆盖信息。因而利用前三个主成分配以绿（G）、红（R）、蓝（B）合成的影像，能较好地反映地面覆盖类型。乔木林呈现鲜红色，阴坡植被冠以品红色，黄红色反映了高密的灌木林，暗绿色表示的为草地，大片的黄色色调是耕地。

表 2 第二窗口 TM K—L 变换结果

	方差百分比	TM ₁	TM ₂	TM ₃	TM ₄	TM ₅	TM ₆	TM ₇
第一主成分	0.743	-0.387	-0.180	-0.425	-0.176	-0.582	-0.445	-0.264
第二主成分	0.120	0.129	0.059	0.072	0.286	0.167	-0.016	-0.930
第三主成分	0.060	0.401	0.754	0.165	-0.216	-0.400	-0.188	-0.025
第四主成分	0.044	0.070	0.142	-0.184	0.848	-0.025	-0.397	0.254
第五主成分	0.028	0.651	-0.612	0.273	-0.001	-0.294	-0.203	0.016
第六主成分	0.005	0.416	0.020	-0.633	-0.301	0.497	-0.298	0.002
第七主成分	0.001	0.267	-0.001	-0.528	0.178	-0.374	0.692	-0.004

(二) 遥感及非遥感信息复合

多种遥感及非遥感信息的复合是将其中有用的数据维重构为新的特征空间，这样使同一区域内遥感信息间或非遥感信息间达到匹配复合，既扩大了多种信息的应用范围，也突出了有用的专题信息，大大提高了目视解译的精度。它是遥感图像处理的新方法、新内容，可满足多层次多方面的需要。

1. 信息复合机理 实施信息复合的手段可分为光学处理法、光—机混合处理法和计算机数字处理法等。

(1) 光学处理方法的复合机理 利用光学原理，通过暗房处理技术，将不同的遥感数据进行叠加复合，从而产生一组新的图象形式与信息，其最终结果是二维图形。主要通过四个环节来实现。 建立统一的空间坐标系，使之成为信息采集、复合的共同基础； 准确选取控制点，确定周边十字丝，使复合的图像相互纠正与配准（可采取局部配准法）； 试作样条，根据用户需要设定的方案，分层曝光，经过彩显做出样条； 样条成功后即做出大片图像。

(2) 光—机混合处理方法的复合机理 这是一种集光学处理与计算机处理优点于一体的处理方法。一般采用计算机进行各影像间的几何纠正与配准，经过适当的彩色增强与交换输入光学处理系统中进一步完成合成影像的光学放大与镶嵌。影像的色彩还原取决于暗室洗印技术。这种处理方法速度快，精度高，成本也较低廉，适合制作大比例尺影像图。

(3) 计算机处理的复合机理 计算机复合处理方法比较灵活，适应性强，它可以进行任何形式的图像间的复合。包括对使用亮度级（灰度）表示的图像、以线划或文字符号注释的二值图像（图形）、表示某种相关关系的编码图像以及不同波段、不同时相的图像组合处理。其复合流程如图 1 所示：

计算机复合处理方法是建立在图像处理软件支持下的复合系统。其处理方式简便，多样，速度快，精度高，处理后的图像信息有新的集合，图象结构和形状更为明显，可更高效地利用数据信息。同时由于操作方便，计算机容量较大，可以随时根据需要调整处理结果，以寻求多种信息源数据的最大复合容量与最佳复合方案。

2. 信息复合 根据现有的信息源，进行了下面试验。

(1) TM 图像与彩红外图象的复合 为了使复合图像既保留 TM 丰富的光谱信息，又提高其空间分辨率，来增强图像的清晰度和信息的载荷量。首先在图像处理系统完成 TM 图像与彩红外的合并图，然后与 TM 图像再作一次减

法运算，得到一幅差值图像，结果表明，第一窗口中枣树林被赋予较暗的品色，黄河水系呈米黄色，其余地物均被淡化，成为绿色背景，着重突出了枣林这一专题信息。

此外，通过对 TM 图像的彩值变换处理，使之获得了彩红外的几何分辨率，效果较好（原理、方法详见《红枣林的遥感模式识别》一文）。

（2）TM 图像与地形图的复合 由于自然现象的复杂性和社会条件等因素的迭加作用，仅依靠单一的遥感光谱数据进行分析与地学研究的实际需要仍有一定的距离，譬如，遥感图像虽能反映一些人为活动的水平空间规模，但却不能表现出行政区界、地名等信息，因而也不利于生产部门的使用。为此，按照配置的加法原理，将地形图上的行政区界线、水系进行地理数据的影像化，实现了二者的套合，完成了地形图部分地理要素与遥感图像的配置。形成一幅影像地图，既具有一定的数学基础，又有丰富的影象信息和一定的地理要素。

三、图像处理的地学应用——区域综合分析

遥感信息之间的复杂相关性及其给遥感解译专题信息提取带来的困难。遥感信息解决专题问题单纯靠数学、物理处理其结果具有不确定性或多解性，因而地学知识的介入和支持是提高解译结果正确性与可靠性的保证，也是建立一个遥感分析的专家系统的知识基础。

通过多种遥感与非遥感的数据源，根据多种地学数字模式，并借助于地理信息系统的支持，进行遥感地学分析，也就是对遥感信息的地学处理过程（Geo-processing）。其主要特点是遥感图像处理与信息复合方法和地学分析的有机结合。其主要用途主要体现在两方面，一是改善遥感分析、处理的方法与精度，二是扩大地学研究本身的视域，提高对区域的认识水平。譬如通过开设的两个窗口地区的不同处理，我们分别了解了红枣林在晋西的分布规律与分布范围，为科学划定红枣经济林带提供了依据；也掌握了地物类型尤其是森林类型在影象窗口所表现的特征，提高了识别能力，从而对兴县乃至黄土高原地区森林资源的类型、分布都有了初步的认识。

因此，遥感图像处理与信息复合并非是对信息的单纯处理与简单叠加，可获得原来信息或原单品种信息所不能提供的新信息。这些处理与复合方式十分有助于地学分析，提取特定的信息。地学分析使处理结果带有实用性，从而更利于阐明自然环境各要素的相互关系、赋存与演变规律，而且信度很高，能满足多方面的需要。实践表明，把地学的相关分析和遥感影像分析结合起来，进行所谓的遥感地学分析或称遥感区域综合分析，是非常重要的并且是十分有效的。

参考文献

- [1]兴县人民政府办公室、兴县计划委员会，山西省兴县国土资源资料，1984.12
- [2]中科院国家计委综考会、中科院遥感所、高校联合遥感中心等，黄土高原遥感调查试验研究，科学出版社，1988.12
- [3]陈述彭、赵英时，遥感地学分析，测绘出版社，1990.5

- [4]马鸿良、顾恒岳等编著，国土资源遥感技术，四川科学技术出版社，1989.成都
- [5]刘军萍，山西省兴县土地利用遥感调查与图像处理试验研究（铅印稿），1990.5
- [6]北京农大全国农业遥感应用与培训中心、中科院综考会、北师大地理系，黄土高原遥感专题研究论文集，北京大学出版社，1990.12

TM 图像在黄土地区土壤侵蚀调查与制图中的应用研究

高起江 魏信 乔玉良

(山西省农业遥感应用科学研究所)

黄土地区进行各种资源调查与制图,其中土壤侵蚀调查与制图占有重要的地位,无论从生产实际需要,还是从调查涉及因素的复杂性,从定性到定量的反映等,均具有一定难度。本次研究项目,从现有条件出发,运用陆地卫星 TM 图象,通过信息处理选择最佳合成方案,参考彩红外航片(样区)及非遥感资料,通过地学相关分析、逻辑推理等解译方法,进行目视解译的技术路线。结果证明,基本上达到了预期目标,取得了较理想的效果。

一、信息源最佳合成方案的选择

TM 七个波段各自具有不同特性,其反映的地面情况也有所差异。本次研究项目的主要目的是土壤侵蚀调查与制图。要求调查的要素复杂,因而,被选择波段的信息应尽可能多,使得不同要素在图象上各有明显的反映,以利于目视解译。在选择合成图象的波段组合时,主要考虑了以下几个方面:1.所选波段间相关性要小,不同波段均要有较多的独特信息;2.被选的波段内,数据的离散度要大,信息量应尽可能地丰富;3.数据受其它因子干扰较少,能真实地反映地面实况。根据以上要求及有关资料分析。TM1、TM6 数据受大气影响较大和 TM6 的低分辨率等因素,我们经过不同的波段合成方案试验,最后选定 TM3、4、5 三个波段,赋以蓝、绿、红滤色镜进行彩色合成,该合成的图象做为侵蚀类型解译的底图,同时参考其它合成方案及 MSS 假彩色合成片。结果证明, TM3、4、5 合成的图象信息丰富,类别众多,立体感强,界线清楚,为获得最佳的解译效果打下基础。

二、技术流程

目视解译土壤侵蚀类型与强度调查与制图,除严格遵循遥感解译的基本程序即资料收集及准备阶段、调查访问、踏勘建标、转绘、清绘成图、面积量算、总结等步骤外。我们首先进行了地貌类型解译,主要包括详细解译黄土及现代沉积物、岩类等地表组成物质,并勾绘出各种地貌类型界线(包括坡度分级),然后解译森林植被的分布及覆盖度,分别获得地貌类型和植被覆盖度图,以地貌图为基础,叠加植被覆盖度图。经综合分析,确定不同侵蚀类型界线并根据其产沙特征,确定强度等级,最终进行侵蚀量的拟合计算检验。具体程序见流程图。

三、解译效果分析

TM 夏态(6月)图象,在晋西地区正是植被旺盛生长季节。此时,正是冬小麦已收割完毕,农田影象与天然植被呈强烈反差,植被中又因不同树种的反射光谱差异及群体覆盖程度和质

量的不同,呈现不同色调。特别是人工刺槐林,在黄土背景下呈现鲜红色调,

基岩组成通过植被的间接信息及本身固有的光谱色调及图形，也很容易判读。故此在 TM3、4、5 假彩色图象上，各要素反映明显。对于坡度要素，则需要借助地形图一同解译。

经野外实地抽样检查及彩红外航片样区检查、校核其结果：地表物质准确率达到 95%；植被覆盖度准确率达到 89%以上。侵蚀强度拟合计算结果见表。

侵蚀模数拟合计算表

来源 项目 县名	水土保持规划		遥感调查		侵蚀模数差值 (%)
	侵蚀总量 (万吨)	侵蚀模数 (T/km ²)	侵蚀总量 (万吨)	侵蚀模数 (T/km ²)	
兴县	2687.1	8490	2565.4	8016	-4.5
临县	3780.7	12695	3715.8	12477	-1.7
方山	588.1	4101	577.7	4028	-1.7
离石	1034.4	7816	1011.8	7620	-2.5
中阳	1013.3	7065	1021.9	7121	+0.8
柳林	1412.5	11011	1430.4	11151	+1.3
石楼	2175.8	12500	2193.4	12601	+0.8
永和	1673.4	13720	1680.9	13781	+0.4
大宁	1004.3	10384	1007.1	10413	+0.3
吉县	1351.4	7604	1347.7	7583	-0.3
乡宁	1667.0	8218	1264.8	6234	-24.2
河津	202.2	3410	188.0	3170	-7.031

从表中可以看出，多数县调查结果计算出来的平均侵蚀模数值与水土保持规划所采用的侵蚀模数值均比较接近，误差较小。其中只有乡宁县偏小，24.2%，误差产生的原因我们认为：首先，该县没有水文测站，所采用数值是经分析移值计算产生的，其准确程度值得考虑。其次，通过与相邻吉县比较（吉县清水河有水文测站），在卫星影象上，乡宁植被覆盖质量和数量均较吉县高；覆被较好的石质山地和土石山地均较吉县所占比重大，因此乡宁的侵蚀模数应较吉县低。第三，多数县采用遥感手段所得结果与水土保持规划相符。根据以上分析，我们认为乡宁县水土保持规划所采用的侵蚀模数的可靠程度值得考虑。

四、结论与问题

- （一）TM 影象用于黄土地区 1：10 万比例尺土壤侵蚀调查与制图，对侵蚀沟谷形态、地表组成物质，特别是植被覆盖程度与质量反映信息清晰、层次丰富，从实效出发，是任何常规手段所不能比拟的。
- （二）选择夏态影象，采用 TM3、4、5 假彩色合成放大方案，对影响土壤侵蚀的多因子调查是适宜的。
- （三）在多因子遥感调查基础上，进行侵蚀类型划分和侵蚀强度定量评判结果，经与各县水土保持规划采用数据比较，精度是可靠的。

（四）在坡度等级划分上，受成图比例尺所允许的最小上图面积的限制，对于地形破碎，千沟万壑的黄土丘陵来讲过于细致的刻划实有困难。因此相邻坡度级之间，难免互相内含，如较陡坡（ 15° — 25° ）中，所反映的是坡面自然坡度，而不是实际坡度，局部变化的复形坡，坡面中的梯田，以及梁脊窄条缓坡，均难以反映出来。

（五）受制图比例尺限制，水土保持治理程度如较小的坝地、梯田等影象上不能分辨，但对人工林能清晰地显示。因此，我们认为 TM 影象用 1/10 万侵蚀调查与制图，在黄土高原，特别是黄土丘陵地区，适用于地区一级及中型流域，而县一级应用较为困难。

晋西资源与环境遥感地学分析模型研究

王静爱

(北京师范大学地理系)

遥感地学分析是应用遥感信息进行地学分析的新技术手段,是遥感与地学各学科(遥感应用对象)之间的接口。遥感地学分析模型是在遥感地学分析基础上建立的遥感图象的景观光学模型与实际的地面模型之间的相互关系模型。本文选择黄土高原水土流失重点区之一,晋西(山西省西部12个县,近2万平方公里)地区资源与环境为研究对象,建立真实地面模型;以1:100000 TM 遥感影象为基础,建立影象的光学模型;运用遥感和区域综合分析方法,建立遥感地学分析模型;通过系列成图技术,把遥感地学分析模型转化为地图模型。

一、遥感地学分析方法

遥感地学分析是在信息提取与信息反馈的双向流过程中进行的。也就是专业人员在遥感影象上提取有用信息的同时,不断地将知识、经验和已知资料反馈给遥感信息系统,通过相互印证,深化知识,建立地学分析模型,从而认识地学及其规律,特别是对未知地学现象及规律的认识大大加强(图1)。晋西地区资源与环境遥感地学分析主要采用了下述方法。

1. 遥感区域综合分析法

区域综合分析法是传统地学分析的基本方法之一,它包括区划方法、相关分析法、主导因素法及过程分析法等。遥感区域综合法并非是这些地学方法的重复,它具有独特的一面,但也引用了一些常规方法。遥感区域综合分析法有三个基本方面:提取遥感图象宏观信息,即地带性、区域性的特征显示。从区域分异入手,认识地学规律,建立区域分析模型。反馈遥感图象宏观信息,即地带性、区域性特征的客观印证,根据区域分异,用地学规律认识未知的区域问题。分析遥感景观光学特征对地理综合体的显示,即研究遥感影象几何构象、光谱构象规律及特征显示与地理环境各要素相互组合的关系。在遥感影象直接解译标志的基础上,寻找出与其相关性最强的间接标志。我们特别注意到地貌与其它地理要素的相关性。注意区域综合性问题的显示,如水土流失,其类别差异在于地貌和地表物质组成,其程度差异主要在于自然与人类共同构成的侵蚀床面特征。遥感影象客观地显示了侵蚀床面,即坡度、物质、沟道、植被、土地利用等多因子的综合特征。再如土地资源评价,即对综合体质量问题进行诊断和评价。

2. 景观结构目视分层解译法

目视解译是遥感影象解译的最简便和最基本的方法,它以人眼的视觉感受特征和影象显示特征的对应性为基础。景观结构在遥感影象上有不同空间规模和特征,而且它受影象空间分辨率和比例尺制约。资源与环境遥感地学分析与系列制图,景观结构的分析至关重要。我们的主要作法是:遥感影象的视觉层面与景观结构的等级、专题分类系统结构等级相对应。从宏观至微观,或从微观至宏观地分层解译。概括不同空间结构的影象纹理与结构,从而抽象出景观光学空间结构模型。分层提取各专业信息的结构特征,使

之图形化。

3. 疑难问题的处理方法

对于肉眼能够识别的遥感信息和可以逻辑判断出的地学规律，上述方法是很实用的，但有些专题现象在遥感影象上是模糊难定的，特别是同质异谱或同谱异质现象区分、重要地形线增强、特殊地理现象显示等方面，需要其它方法才能完成。这些方法包括：开窗口进行图象处理，增强某些信息，如枣林提取、山地乔木、灌木及林种区分。重要地形线的地形图套叠，主要是等高线与谷缘线、坡脚线的套叠以及等高线组合与坡度评价的套叠。实践证明，直接用地形图上的等高线特征划出谷缘线，往往有夸大的趋势，但形状比较接近影象上的谷缘线。在遥感 TM 假彩色合成影象上，谷缘线在阳坡经常出现断开。可以利用阴坡立体阴影的宽度控制对面坡面的垂直投影宽度，用地形图的沟谷形状控制断开的沟谷谷缘线形状。也可以对阳坡增加阴影处理，从而突出谷缘线。休闲耕地、草地及荒草地的区分，是建立在 TM 影象与大比例尺彩红外航片对应关系基础之上。土壤侵蚀等级、土地质量等级划分，均采用了比色计法，即同一性质的制图单元（如土地类型单元）选择出不同等级的影象特征样块，对比每一类图斑，从而将具有相似色度和纹理结构特征的图斑归为一个等级。

上述各种方法大多为遥感地学分析的一般性方法，少部分是针对特殊区域问题采用的具体方法。这些分析方法与建立遥感地学分析模型有直接的关系。遥感区域综合分析方法，对选择怎样的区域，反映怎样的区域分异规律有重要影响。景观结构目视分层解译法，对系列地图模型建立、地面相互关系模型建立和遥感影象光学模型建立都直接相关。疑难问题的处理方法，一方面对性质判定和归类产生作用，另一方面对遥感地学模型的主导地学规律的特征线段显示有增强、直观化的重要意义。

本研究主要是目视解译建立遥感地学模型，因此，所建立的模型人为性不可避免。另一方面，由于采用的基本信息源是 1:10 万 TM 假彩色合成影象，因而所建立的模型是该遥感信息地学分析模型，有一定的局限性。尽管如此，所建立的遥感地学分析模型还是有适用价值的。

二、遥感地学分析模型建立的基本观点

1. 遥感地学分析模型应具有三模型共解性

遥感地学分析模型与真实地面模型、影象光学模型、地图模型之间的关系如图 2。以遥感地学分析模型为核心，形成地面模型—光学模型—地图模型的三模型反馈机制。地面模型是对地面近感信息的地学概括，光学模型是对地面遥感信息的地学概括。由于地面或称地理系统中的各种地学现象都表现出一系列物质系统和能量过程，而遥感信息是对地理系统物质与能量时空差异的客观记录，因此，遥感信息的图像规律与地学现象具有对应性，可以用遥感信息的光学模型反应真实地面模型。地图模型是抽象化的地学概括，是遥感信息与近感信息的综合信息的特征显示，并与遥感信息的图像规律及地学现象相对应。

遥感地学分析模型是用地学规律将地面模型、光学模型和地图模型联系起来的分析模型，因此，它具有三模型共解性，即地学规律的地面解释、光学解释和地图解释。

2. 遥感地学分析模型具有区域性

由于地学现象具有区域性，因此，不可能有一种模型是通用于各个区域的。我们认为，分区建立遥感地学分析模型的基础是对区域的选择和认识。对于以 TM 影象为主要信息源的遥感地学分析模型，通常以大、中地貌单元分区分别建立。就晋西地区来说，其资源与环境的分异主要导因于大、中地貌的区域差异，由西向东形成沿黄河土石坡区、中部黄土丘陵区 and 东部山地区。不同区域所遵循的地学规律不同，相应的三模型关系模型即遥感地学分析模型也不一样，具有区域性。据此，我们建立了研究区三个基本的遥感地学分析模型。

关于建立模型的区域如何划分，可以采用综合自然区划的区域，也可以直接用影象显示的综合光谱特征差异划分区域。

3. 遥感地学分析模型具有直观性

直观性通常体现在对遥感光学模型的第一印象上。遥感影象的第一视觉印象是指肉眼看遥感影象第一眼时的印象。这一印象正是景观光学模型的第一层面，是地面现象最宏观、综合的特征显示。对于晋西地区来说，遥感影象第一视觉印象便是纹理结构突出的黄土丘陵沟谷系统、色彩最艳的山地系统和色差极大的沿河地带。我们就是从这些影象显示特征出发，寻找其构象规律和地学规律，建立了研究区谷缘线——坡脚线遥感地学分析模型、高度分带遥感地学分析模型和物质色差分带遥感地学分析模型。

4. 遥感地学分析模型应具有可操作性

对遥感信息的识别是以人为主导进行的，但可以通过两种途径实现，一是目视识别，另一是计算机自动识别。建立遥感地学分析模型时应注意其人、机均能操作的可能性。在以往的大区域遥感应用研究中，大都采用按预先拟好的分类系统进行影象识别，所建立的遥感地学分析模型适合于目视解译，存在着人的主观性。也有先按影象特征进行影象识别，再根据分类系统进行归并，由这一种途径建立的遥感地学分析模型不仅适合于目视解译，而且也能用与计算机自动识别接口，并减少人的主观性。遥感地学分析模型建立应该以光学模型的色与形的可增强性为基础，由单一的目视解译转为人机结合的解译体系。

晋西资源与环境遥感地学分析模型就是在上述观点下建立的。

三、遥感地学分析模型

晋西资源与环境遥感调查与系列制图所设计的专业内容有：水土流失，着重反映生态环境恶化的现状，找出其分布规律及质量和数量特征，为动态监测提供基础。土地利用，着重显示人地关系的现状，即物质文化特征，以此作为土地资源利用的本底，提出清单，并分析其与水土流失的关系。

土地类型与土地资源，以查清土地资源的质量特征及评价其质量特征为重点，为进一步控制水土流失和合理利用、规划土地打下基础。森林和草场，主要是以调查森林、草场资源为前提，表示它们的类型、面积及分布，从而对以生物措施治理水土流失的可能性及植被盖度和生态效益提出依据。晋西

地区的遥感地学分析模型着重体现了土壤侵蚀、土地利用、土地类型及土地资源评价等专题现象共同遵循的地学规律。分三个区建立了三个基本遥感地学分析模型。

1. 谷缘线—坡脚线遥感地学分析模型

表 1 给出了适用于黄土丘陵地区的遥感地学分析模型，它以景观光学模型的纹理特征与地面模型的地貌类型相对应；以沟谷地与沟间地交替组合结构为基础；以谷缘线和坡脚线为连接各种模型的特征线。这一模型的应用十分方便，是各专题现象定位、定性的控制模型，它也可以实用于其它黄土丘陵地区。这一模型对谷中谷现象的分析有一定的局限性。

表 1 谷缘线—坡脚线遥感地学分析模型（黄土丘陵区用）

遥感地学分析模型(地学规律)	地面模型	遥感光学模型(TM)	地图模型(图例系统号数字详见本书各有关章节)			
			土地利用图	土地类型图	土壤侵蚀图	土地资源评价图
谷缘线以上	正地形，坡缓，多为耕地，土质黄土，且层厚，水土流失较严重。	谷缘线清晰。块状结构、浅色调。	旱耕地(13)为主	沟间地(21、22、23)	轻度(2)、中度(3)、强度(4)或高强度(5),坡面侵蚀为主	等级：2—4，限制因素：侵蚀(e)、坡度(p)
谷缘线以下，坡脚线以上	负地形为主，坡陡，水蚀严重，侧蚀、溯源侵蚀形态，典型，阳坡多为荒草地，阴坡为草地，裸土随处可见	纹理清晰、阴影明显，有较强立体感。	草地(41)荒草地(81)或裸地(85、86)	沟谷坡地(31、32、33、34、35、36)	4、5、强烈(6)、崩塌(8),剧列(7)、坡侵蚀。	等级：5—7，限制因素：p、e，土壤水分(m)
坡脚线以下	负地形，较平缓，宽谷多为水浇地，其它利用也有。流水沟蚀为主，土层薄，且洪流作用明显。	线状或带状结构，红或淡色调，个别黑色调。	水浇地(12)或其它(71、81、85、86)	沟底地(41、42、43、44、45)	微弱(1)、2、3、4、5为主，沟蚀。	等级：1—5，限制因素：土层(d)质地(t)、灌溉(i)

2. 物质色差分带遥感地学分析模型

晋陕峡谷区的沿黄河两岸，遥感影象上反映出了最明显的色差组合，根据典型地段实地调查和大比例尺航片（彩红外）分析，找出产生光谱色差分异的主导因素是地表物质的分异，即黄土物质、沙物质和基岩物质在地表的分异。据此，建立了物质色差分带遥感地学分析模型（表 2）。这一模型在应用过程中常与谷缘线—坡脚线遥感地学分析模型配合。应用这个模型，各种专题图件都对沿黄地区给出了独特的显示，从而为沿黄地区的划区提供科

学依据，也丰富了人们对研究区区域分异规律的认识，这是常规地学分析方法难以达到的。该模型比较复杂，使用时有较大的灵活性，其中深浅相间的土质石质地带是四个色差物质带中较难把握的地带，在实践中，其下界以黄土浅色斑消失处为界，上界以成片耕地的下限为界。

表 2 物质色差分带遥感地学分析模型(沿黄河地区用)

遥感地学分析模型(地学规律)	地面模型	遥感光学模型(TM)	地图模型(图例系统号)			
			土地利用图	土地类型图	土壤侵蚀图	土地资源评价图
浅色——黄土质	正地形,且位于顶部或坡面上部,旱耕地为主,土层相当厚,坡度较缓,遭受水蚀和风蚀。	边界为花瓣状,色浅、纹理不清。	13 为主	21, 22, 23	2, 3, 4 或 5 坡面蚀为主	等级 2 — 4 限制因素 e、p
深、浅相间——土石质	坡面中部,黄土物质与石质相互过渡和交错,土层较薄,且坡度较陡,荒草地为主,水蚀、重力侵蚀均较严重。	暗色与浅色相间,阴影清晰。	81, 41	33, 34, 36	5, 6 和 7	等级 2 — 4 限制因素 d、p、e
深色——石质	坡面中下部,基岩出露,坡陡,土层极薄,荒地、裸地遍布,水蚀冲刷,且侵蚀量减少。	暗色纹理清晰	86、81	36, 34	5, 6	等级 6 — 8 限制因素 d、p。
白、红相间——沙砾质	黄河谷地,平坦,河流冲积物、边坡堆积物及河床沙均有分布。水浇地、枣林及裸、荒地交错。	白色或红色相间,成斑状,与蓝色条带(黄河)相邻。	12, 86, 31(乔木河滩地 01)	微弱侵蚀 1	等级 2, 5, 8, 限制因素 d, t 和 h(洪水)	

3. 高度分带遥感地学分析模型

研究区东部为吕梁山地区,海拔大多为 1500 米以上。山地垂直带规律在

TM 影象上呈现出颜色（色调）与纹理结构有规律地递变。由于山地区以林地利用为主（约为 50%以上），影象的基本色调为红色，因此，色调的变化规律与垂直带规律相对应。表 3 给出了适用于山地区的遥感地学分析模型，即高度分带遥感地学分析模型。该模型建立过程中与地形图的高程进行了许多对比，确立了 2000 米、1800 米和 1500 米三个高程与地面、影象之间的相互关系。由于阴阳坡地学垂直规律的不同步性，因而分析具体地段时，将高度分带模型灵活运用。

高度分带地学分析模型可以根据地表不同自然地带的山地垂直带谱扩充出许多种。该模型能够适应于整个黄土高原中低山地区，也对整个半干旱地带的中低山地有借鉴意义。这一模型的高度界线是一个平均高度值，在卫星影象上无明显线条反映，而是模糊、过渡的一个高度带。因此，在解译制图时要具体分析，通常这个高度带的界线是犬牙交错的。

表 3 高度分带遥感地学分析模型

遥感地学分析模型(地学规律)	地面模型	遥感光学模型(TM)	地图模型(图例系统号)			
			土地利用图	土地类型图	土壤侵蚀图	土地资源评价图
高度大于2000米	山顶或山脊,草甸植被,牧业利用且不充分	棕红色,无纹理,外界清晰。	41(草地)为主。	72(中山地)	< 1 有一定的冻融作用	等级 7-8 级,受C(温度)、d等限制。
1800-2000米	山地上部,坡度较陡> 25°,土层薄,天然林地为主。	深红色,纹理清晰。	31(乔木林)为主,还有32(灌木林)、41。	61, 65, 71(不同岩性的中山坡地)	微弱侵蚀或无侵蚀	5-7等,受d、P、c限制。
1500-1800	山地中部(或上部)阴坡生长多为乔木林,阳坡多为灌木林,土层亦有差异。	深浅红色斑相间,其形态与坡面一致,纹理清楚,立体感强。	31和32为主,有41	61, 62, 65, 66, 71, 72(不同岩性的中低山地)	微弱或< 2	5-6等,受d、P、c及e限制
小于1500米(坡)	山地下部(或中部)阴坡多为灌草地,阳坡多为草地,与耕地相互交错,且植被盖度低。利用复杂,土地退化较明显。	深浅色调相间(红黄等)纹理清楚,立体感强。灌木、草地62, 63, 64, 66, 67, 68, 72, 73, 74(不同岩性的低山地)。	62, 63, 64, 66, 67, 68, 72, 73, 74(不同岩性的低山地)	中度侵蚀	5-6等,受d、P、c、及e限制	
宽谷底	宽200米以上,较平坦,利用农业。	浅色、无纹理,带状延伸。	13为主。	63、73(不同岩性谷低地)	2或3	2-4等,受d、t(质地)h(洪水)限制。

上述三个遥感地学分析模型是一种区域性的,反映宏观规律的基本模型,它控制着目视解译、图象处理和地图表示的许多方面,亦是认识区域分异规律的基础。

参考文献

[1]陈述彭、赵英时，遥感地学分析，科学出版社，1990。

[2]史培军、王静爱，地学概论，内蒙古大学出版社，1990。

[3]赵济、王静爱、刘慧萍、刘军萍，黄土高原晋西水土流失区遥感调查与制图研究，全国高等学校遥感联合中心会议论文集，万国学术出版社，1991。

红枣林的遥感模式识别

刘军萍

(北京师范大学地理系)

红枣属鼠李科，是一种食用兼药用的栽培果实作物，经济价值和药用价值很高，广泛生长在暖温带半湿润地区。

一、红枣林在晋西的地理分布

晋西地区地处黄河中游约 2 万 KM^2 的黄土高原地区，西临黄河。境内黄土梁峁起伏，沟谷纵横，地形破碎。黄河沿岸区，沟坡底部已切割到基岩，坡陡，石厚而土薄，黄土仅残存于梁峁顶部，年降雨量 440mm，在整个黄土高原环境中属半干旱的局部地区。这里光照充足，热量资源高于其他地区，气温较高，年均气温在 10℃ 左右，10℃ 活动积温为 3900℃。无霜期在 170 天以上，十分适宜红枣树的生长。在西部黄河沿岸的河川滩地普遍生长着红枣经济林，面积达 244.6 KM^2 ，包括黄河沿岸产枣乡村，呈带状分布。这里的红枣产量高，品质好，发展红枣基地既有基础又具潜力。

二、红枣林的遥感调查

为了发挥遥感技术在红枣资源调查中的作用，探寻红枣林的分布特征规律，在进行利用 TM 影像编制晋西北兴县土地利用现状图时，着意对红枣林的遥感解译提取及其分布规律作了一些研究，并希望以点推面，找出空间分布规律。

本研究采用的主要信息来自 1986 年 6 月 8 日的 TM 计算机兼容磁带 (CCT) 和 1986 年秋季航摄的彩色红外影像。选择了兴县西北部的裴家川口作样区，做了如下分析研究工作：

1. TM 波段的优化组合

TM 传感器较之 MSS 空间分辨率提高到 30 米，光谱通道增加到七个，光谱信息量大大增加。因此，首先要对植物的波谱曲线特征和样区内表现出的 TM 各波段的相关关系进行分析，然后再提出适于判读分析的三个波段。

植物的反射波谱特性可粗略地划分为三个波段区域：

(1) 可见光区，波长 0.4~0.7 μm ，依次对应着 TM 的 1、2、3 波段。TM1 (0.45~0.52 μm) 获取蓝光区，蓝光散射强烈，TM1 亮度级数大增；TM2 (0.52~0.60 μm) 获取绿光区，它不能本质地反映决定可见光区植物反射波谱特性的叶绿素情况；TM3 (0.63~0.69 μm) 不仅反映了植物叶绿素的信息，而且在秋季植物变色期，还反映出叶红素、叶黄素信息，在遥感影像上，能使不同类型的植被在色彩上出现差异，有利于植被类型的识别。据此分析在可见光区选择 TM3。

(2) 近红外区，波长 0.7~1.23 μm ，在此范围内只有 TM4 (0.7~0.9 μm) 一个通道，它是反映植被信息的重要波段，其光谱信息有较大的独立性。因而在近红外区选择 TM4。

(3) 中红外区，波长 1.3~2.6 μm，TM5、TM7 在此范围内。由于 TM5 提供的光谱信息量在七个波段中最丰富，表现在植被、水体、土壤三大类地物在此波段上反差都十分明显，极易识别。TM7 与 TM5 所包含的光谱信息很相似。故而在中红外区选择 TM5。

从对样区进行的各波段的相关性分析(表 1)可以看出:TM5 与 TM7 的相关性很高，为 0.977，显示出此二波段的信息有相当的重复;TM1 与 TM2、TM1 与 TM3、TM2 与 TM3 的相关系数分别是 0.901、0.907、0.811，彼此间的相关度也是相当高的;很明显，TM4 和 TM6 是两个较独立的波段。而 TM6 是热红外波段，主要用于温度、水体的识别，对植物的区分意义不大。这样，根据各波段间相关系数的高低，可将 TM 的六个波段(TM6 除外)划分为三组:TM1，2，3;TM4;TM5，7。若考虑采用三个波段进行组合合成，据以上分析，一般选择 TM3—TM4—TM5 三个波段合成。

表 1 裴家川口样区 TM 图像各波段相关性

波 级	TM ₁	TM ₂	TM ₃	TM ₄	TM ₅	TM ₆	TM ₇
TM ₁	1.000						
TM ₂	0.901	1.000					
TM ₃	0.907	0.811	1.000				
TM ₄	0.368	0.084	0.406	1.000			
TM ₅	0.724	0.095	0.808	0.509	1.000		
TM ₆	0.361	0.124	0.425	0.312	0.580	1.000	
TM ₇	0.763	0.101	0.867	0.486	0.977	0.578	1.000

在 VAX11/750 及 Model75 系统上实现了 TM3、TM4、TM5 的合成。结果发现其图像色彩类似于实际地物彩色，梁峁沟谷等地貌类型界线清晰，水系呈蓝色，林地呈绿色，红枣林为草绿色，刺槐林呈较暗的绿色，种植在川水浇地的红枣林因其中水分含量和其他作物的影响而表现出亮绿色。

这三个波段分别代表了反映地物明暗的可见光，对植物敏感的近红外及对水分吸收敏感的中红外三个光谱区间，有效灰度区间宽，信息内含量很高，因而目视效果较好。

2. 实现红枣林信息的模式识别

(1) 所需基础设备设置如下：

- VAX11/750 小型计算机，具有接收遥感信息的能力和图象处理功能；
- M ' 75 专用图象处理机；
- 彩色图象显示器；
- 图象处理键控台：带跟踪球和小键盘
- 输入与输出设备

(2) 选择试验窗口——裴家川口

裴家川口位于兴县西北部黄河沿岸温暖干旱区，该窗口主要的地物信息是红枣树，在黄河岸边及其一级支流岚漪河的河川滩地，生长着集中连片的红枣树林，而沟坡上基本没有植被生长，只有零星刺槐分布。

(3) 实现手段

包括数据的输入、数据的处理和处理结果的显示等。首先利用磁带机读入 TM 该窗口的数据，将彩红外航片扫描输入，然后在 I²s600 系统软件中，

利用二次多项式进行图象间的位置校正，完成不同信息源的影像间的镶嵌配准。

通过对 TM 各波段的优化组合对比，合成了 TM3—TM4—TM5 影像，并对之作了如下后继处理：直方图的均衡化 (Histogram equalization)

伪彩色显示 (Pseudo-color showing)

高斯变换 (Gauss transformation)

彩值变换 (RGB—IHS)

复合图像 (TM+彩红外)

结果表明：直方图的均衡化处理，伪彩色显示及 TM 与彩红外的复合图像对枣林信息具有明显的表现力。现分述如下：

直方图的均衡化处理 经过均衡化处理的 TM3、4、5 合成影像上，枣树林呈现出草绿色，人工刺槐林为浅绿色甚至被削弱，裸岩则呈棕红色，河道水系表现为深蓝色，灌木林反映出的色调为棕黄色 (彩图 11)。

伪彩色显示 利用色调、饱和度和亮度空间来定义颜色。通过 Hue (表示的是从 0 ~ 360° 变化的完整的色谱，0° 对应红色，120° 对应绿色，240° 对应蓝色)、loops (规定了螺旋线绕色谱旋转的次数)、Steps (是对给定的每一步规定所具有的离散色谱) 选择不同的参数，作了不同的伪彩色图像显示。如彩图 9 上，主要地物的影像特征表现为，黄河等水体呈蓝色，裸岩呈深蓝色，浅蓝色的是红枣林，黄色是耕地的色调反映，沟道中的粉色是荒草地。显然，这里枣林的识别是相当容易的。

TM 图像与彩红外图像的复合 在利用 TM 图像制图的过程中，为了寻求既能保留 TM 丰富的光谱信息，又能表现出彩红外航片的分辨率的图像，经过对 TM 图像与彩红外航片的相互复合，从而达到了增强图像的清晰度和信息的载荷量。具体作法是：

第一步准备阶段： 数字图像的输入。在 VAX11/750 图像处理机系统，分别采用磁带机读入和摄像机扫描分别输入 TM 和彩红外同一区域窗口的图象；不同信息图像的配准，是进行信息复合的关键环节。卫星图像以 UTM (Universal Transverse Mercator 通用横轴麦卡托投影) 投影形式给出，而航空像片为多中心投影。因而需要对两种图像进行几何上的变换，方能达到相互配准的目的。首先确定两者控制点对集，然后确定图象间的数学模拟变换关系。

为提高几何纠正的精度，本研究因选取了 42 个控制点对，利用二次多项式变换。最后根据相对配准 (直接配准) 原理，将两幅图像相匹配，效果好。(本研究以彩红外像片利用其有效影像部位来变换 TM 图像)。

第二步复合阶段： 即利用已匹配套合的 TM 校正图像和彩红外像片作叠合，以实现两幅不同机理的图像所提供信息的复合。这里，进行了两种复合方案：用 TM 影像和彩红外图像作出合并图 (Merge) 后，与 TM 影像做差值运算。结果黄河呈米黄色，其余地物被淡化，成为绿色背景，而枣林呈现出与绿色反差较大的品红色，并呈现沿水体东西延伸南北分布的条状分布规律，因而这样的差值图像着重突出了枣林这一专题信息。对多波段的 TM 影像进行彩值变换，并以彩红外像片替代其亮度成分。这种方案是在 TM 与彩红外达到几何配准的基础上，先对多波段的 TM 图像进行从 RGB 系统到 IHS 系统的彩色空间的正变换。I 表示图像的强度，而 H、S 表示的是图像的颜色。随着亮度 I 的变化，RGB 系统发生变化的比例和符号皆相同。因此图像的分

分辨率主要由 I 决定。于是,在保持 H、S 不变下去掉 I,并以彩红外替代,与 H、S 一起利用反变换公式变换到 RGB 系统。这样得到三个新波段,再经过彩色合成后,便得到具有原多波段图象的颜色又具有彩红外航片高分辨率的新图像。本试验中所使用的航片比例尺是 1:5 万,每幅航片长宽均为 22.75 厘米,每个象元对应地面的长度约为 22 米,就是说航片的几何分辨率为 22 米,而 TM 影像尽管其光谱信息丰富,但其分辨率为 30 米。因此说,该方案是提供提高 TM 的几何分辨率同时又保留其光谱分辨率的有效方法。作者对该方案的实施作了探索。

三、主要结论

研究表明,任何信息源的图象都不是尽善尽美的。比如 TM 多波段图象可以用彩色表示,光谱信息丰富,然而其空间分辨率则相对较低,对地物的表现力不够强;航空像片因其具有较高的空间分辨力,对地物的显示较清楚。如何提高陆地卫星 TM 单影像的空间分辨力,增强对地物的识别能力,是进行以上研究的基本点和出发点。实践证明,遥感图象处理及多种信息的复合技术具有广泛的实用意义,也成为遥感地学分析中重要的手段。

由于特殊的河谷地形与黄河水面蒸发等的共同作用,形成了适宜的小气候,使得广泛分布于暖温带半湿润地区的红枣树在晋西生长良好,在分布规律方面表现为晋陕峡谷沿黄地带河谷中南北分布,东西延展的特殊果木,具有明显的小气候指示意义。

尽管 TM 影像在光学合成和几何精度上具有专业通用性和较高的几何精确性,但毕竟受到卫星遥感平台的高度、象元的分辨率等条件限制,使得红枣林在常规图象上难以辨认其分布范围。同时与人工刺槐林的区分也存在着一定的难度。彩红外航片因其既有可见光信息,又有近红外信息,因而色彩丰富,各类地物的边界被增强,易于进行目视判读。然而彩红外航片有较大的像点位移,其边缘部分的影像变形很大,从而给影像定位、面积量算带来不利因素。本文所用方法对晋西北部兴县进行红枣林的提取。结果发现,使用处理后的图象解译,提取的红枣林与直接用 TM 影像解译出的枣林相比,块数增多,面积增加,延伸范围也在向东扩展,特别是在黄河的一级支流(东西向)的河川滩地也是集中连片地分布有红枣林,估计红枣林的分布东移约 50%。因此该项研究对揭示晋西地区黄河沿岸红枣基地东界的划定具有重要意义。同时也对确定西部谷地果木——枣树的经济开发区提供了科学依据。

笔者进行的关于红枣林提取的图像处理工作,以点代面地认识到了红枣信息的区域地理规律,从而为土地资源的开发利用提出了建设性的可行性意见。同时也实现了信息提取与信息反馈的遥感应用目的。

参考文献

- [1]兴县国土规划办公室,山西省兴县国土资源(送审稿),1989.12.
- [2]中科院国家计委综考会、中科院遥感所、高校联合遥感中心等,黄土高原遥感调查试验研究,科学出版社,1988.12.
- [3]刘军萍,山西省兴县土地利用的遥感调查与图像处理试验研究(铅印),1990.5.

[4]郭德方编著，遥感图象的计算机处理和模式识别，电子工业出版社，
1987.3。

晋西土地资源数据库研究

刘慧平 饶英俊 刘钧

(北京师范大学地理系)

通过晋西黄土高原重点治理区土地资源遥感研究,以 1:10 万 TM 影象为工作信息源,编制了土地利用、森林分布、草场分布、土地类型、土地资源评价及土壤侵蚀六种专题图件,经精度验证和面积量算工作后,得到晋西黄土高原重点治理区 12 个县的土地资源数据。这些数据反映了晋西土地资源分布的空间特征,是深入研究的基础,为建立晋西土地资源数据库提供了保障。

建立晋西土地资源数据库主要完成以下几方面的任务:(1)完成土地资源数据的管理工作。即对现有的晋西土地资源数据进行查询、检索、修改、更新及制表输出等;(2)将已有数据应用于土地资源的保护、开发、利用等,为土地质量评价、水土保持规划等服务;(3)使本数据库作为区域地理信息系统的一部分,本数据库的土地资源数据与专题图信息等其它来源数据相结合,与 GIS 中的各子系统联接,为区域治理与开发的任务提供依据。

基于上述目的,晋西土地资源数据库既是一个自成体系的完整系统,可自行更新数据、管理数据、简单的分析运算和图形运算、完成报表输出和图形输出;也是一个模块,可作为地理信息系统的子系统,与 GIS 中其它各子系统相联接,进一步进行深入的研究工作。

一、结构和功能

晋西土地资源数据库采用模块层次结构,包括系统说明、系统维护、系统查询、系统应用和信息输入五部分,每一部分包括次一级的功能块,如图 1 所示。例如,系统应用模块包括图形分析、统计分析和系统输出三个子模块。这种结构使建立数据库时以模块的相互组合完成数据管理和应用的各项功能,从而减少了编程和系统管理的工作量,并使本数据库的功能具有灵活性和可扩充性。

数据库文件采用双结构体系,即每个数据库文件以代码结构和汉字结构并行。代码结构是文件管理和操作的主要结构,以字母和数字组成,以字母区分文件,如“LU”指土地利用数据库文件(Land Use),以数字区分数据库文件中的项。汉字结构是对代码结构的说明,为了方便用户的使用而设置。它与代码结构除字段名以汉字形式外,其余各项与代码结构完全一致,见表 1。这种数据库文件的双结构管理方式不仅有利于用户操作,而且能够节省内存空间,便于进行数据库文件之间的连接、运算,并提高运算速度。

表 1 双结构对立关系

代码结构					汉字结构				
序号	字段名	类型	宽度	小数位	序号	字段名	类型	宽度	小数位
1	LU1	N	9	2	1	旱地	N	9	22
2	LU2	N	9	2	2	水洼地	N	9	2
3	LU3	N	9	2	3	水田	N	9	24
4	LU4	N	10	2	4	耕地小计	N	10	2

系统查询和系统维护模块分别以整库、字段和县名方式进行数据库的查询和编辑。系统说明模块是对整个数据库系统以及各个模块和数据库文件进行的说明，使用户对数据库的管理和结构体系能够全面了解和掌握，便于对系统进行操作。信息输入模块是接受用户输入的新的信息库，并将其纳入系统管理操作的系统内。以提示引导方式，使用户将其信息以本数据库系统接受的规范方式输入，主要包括代码结构建立，汉字结构建立，以及汉字代码对照表建立三方面的引导。

系统应用模块是实现对数据库数据的统计分析、图形分析等运算分析，可以统计图，如饼状图或柱状图等，或表格的形式产生结果。图表的显示输出是对原数据进行直接运算产生，也可对统计分析后的结果进行图形显示和输出。

整个数据库系统功能如图 2 所示。

二、操作及问题

本系统以微型计算机（SUN 286）为操作机型，以 DOS3.0 为其操作系统，以 Foxbase 和 Turbo Pascal 为其系统实现语言。系统操作采用菜单式光标选择或数字进行选择。所有菜单提示全部采用中文形式。

系统的主控菜单为：

晋西土地资源数据库系统

1. 系统说明
2. 系统查询
3. 系统维护
4. 系统应用
5. 输入新库
6. 退出

本系统已建立本次晋西黄土高原重点治理区土地资源遥感调查的各项数据库，即：土地利用数据库、森林分布类型数据库、草场类型数据库、土地类型数据库、土地资源评价数据库和土壤侵蚀数据库。在系统进入次一级菜单中的系统查询、系统维护和系统应用时，将显示现存所有数据库的库名和代码，以及其它属性说明，使用户选择并对已有数据库进行操作。

次级子系统的操作，分别以整库、字段和县名进行，现以系统查询子系统的操作加以举例说明。

系统查询子系统菜单为：

1. 整库查询

2. 字段查询

3. 县名查询

整库查询：用户进入该项查询后，系统先给出一份详细的使用说明，并显示查询内容。可采用系统提供的特殊控制键移动窗口在整个库文件上移动选择进行，并以菜单方式操作。

字段查询：进入该项查询后，系统先列出所有可选字段及其代码表，用户输入代码后，系统自动显示该字段的所有记录，供用户查询。

县名查询：进入该项查询后，系统先列出所有可选县名及其代码表，用户输入代码后，系统自动显示该县所有数据内容，以供查询。

查询子系统的流程如图 3 所示：

在操作过程中，系统都设有终断询问和打印询问以及系统自动保护功能。终断询问是系统完成已有操作（如：查询、修改等），为方便用户转入其它操作或重复操作设置的。打印询问是为随时打印操作结果设置。另外，当用户在操作过程中有非法操作（如输入错误指令时），系统将自动显示错误信息并提示用户是否重新进行的询问，由用户选择（Y/N），系统将继续进行，或关闭当前文件，退至上级操作。

三、数据库中的应用模块

在系统应用子系统下，另有统计分析、图形分析、报表输出等应用模块。统计分析的主要功能是对数据库提供的数据进行求和和求比值运算操作。图形分析则是对统计分析的结果进行图形显示，以 Turbo Pascal 实现图形显示和与系统的联接。采用结构化程序设计，主要设计了十四个主要过程和函数（如表 2 所示）。由主控程序调用完成图形操作。

图形程序中有功能子程序和形式子程序二类子程序，分别调用过程和函数完成其功能，被主程序所调用。其中功能子程序直接完成各种图形，形式子程序完成图形的填充模式、产生颜

表 2 图形程序中过程和函数

过程、函数名	功 能
1.My Exit Proc	恢复原始退出程序
2.Initial ict	初始化图形
3.Int2str	把整数转化成向输出设备发送的子字符串
4.Randlolor	设置随机颜色
5.Defaultcolor	用调色板设备当前绘图颜色
6.Draw Border	在当前视见区画边界
7.Full Port	把全屏幕设置为当前视见区
8.Main Window	为显示图形设立窗口和视见区
9.Status Line	在屏幕下端显示基线
10.Wait To Go	用户选择是否继续程序
11.Adj Asp	调整图形显示器的分辨率纵横化
12.Pie Play	绘制饼图
13.Bar Play	绘制二维直方图
14.Bar3 DPlay	绘制三维立体直方图

色和选配字体。二者结合完成图形的生成、美化等工作。主程序的功能以读取数据库数据文件或统计分析结果数据为主，其流程如图 4 所示。

四、结论

晋西土地资源数据库以最新土地资源遥感调查结果为数据源，完成了系统说明、系统查询、系统维护、系统应用以及输入新库等功能的建立，以人机对话的菜单交互方式进行，具有数据丰富、方便、灵活等特点，为系统的进一步完善和实用化打下了基础。

系统的数据库设计采用模块层次结构，数据库文件采用双结构（即代码结构与汉字结构并行）体系，有利于系统功能的扩充及数据库规模的扩大。

图形系统使本系统在分析应用方面有较强的功能，图形系统的设计则有利于图形功能的进一步完善和加强。

参考文献

[1]刘慧平、赵济、彭望祿，1990 年，地理信息系统在小流域治理规划中应用初步研究，黄土高原三川河流域区域治理与开发信息系统研究，测绘出版社。

[2]G.J Hunter and I.P.Williamson：The Devolopment of a Historical Digital Database，International Journal ofGeographical Information Systems

微机滑坡信息系统的建立与应用

杨运恒

(烟台师范学院地理系)

随着“国际减灾十年”活动的展开,对滑坡进行调查与防治的工作已引起人们的高度重视。我国山地多,滑坡灾害活动频繁,危害严重。对滑坡实现计算机管理、分析与决策,是值得我们探讨的问题。1987年全国滑坡学术会议曾提出建立全国滑坡数据库的建议,但至今为止,建立区域滑坡信息系统的工作尚不多见。1986年以来,我们在利用遥感技术对黄土高原滑坡进行调查与制图的基础上,在微机上进行了建立滑坡信息系统的尝试,并初步建立了黄土高原重点治理区滑坡信息系统。

一、系统构思

该系统从结构上包括滑坡数据的提取、滑坡数据库的建立、滑坡数据统计分析、滑坡专题图生成及系统结果输出共五大部分。滑坡数据是基于区域滑坡遥感调查与制图,对图件实行网格化提取而得。滑坡数据库则在 DBASE 数据库管理系统支持下进行建立与管理。滑坡数据的统计分析主要包括各类滑坡的发育处数、面积、体积的计算及各类型滑坡之间的数量关系研究。滑坡专题图以网格图形式,按滑坡密度、面积和滑塌量三类图种生成。系统运行的数据和图形结果分别在电子打印机、屏幕和绘图仪上输出。本系统采用关系型数据库管理系统,编译 DBASE——Clipper 语言完成数据库的管理和信息查询,高级编译 BASICA 语言实现数据分析计算和滑坡专题图的生成。用部分 DOS 命令设计的批处理程序来操作各功能块之间的调用。该系统选用国产长城 286 微型机 (IBM PC/XT 和 AT 等兼容机均可) 作主机,配置 DMP—

二、系统的建立方法与过程

1. 滑坡数据的类别、来源与提取

滑坡数据库的原始数据主要有两大类:一是滑坡网格化数据;二是滑坡机助制图的基础底图数据。在野外实地考察的基础上,通过遥感影像目视判读而编绘的区域滑坡类型分布图是数据的主要来源。数据采用网格法在图上直接人工提取。滑坡网格化数据按网格单元分别提取网格坐标、网格内滑坡类型及其个数、面积(毫米方格法测量)等。底图数据主要提取区域边界、河流及主要居民点等坐标值。对图件实现网格化数据提取的关键是网格大小的确定,这主要考虑遥感成图比例尺、滑坡图斑大小及机助制图的成图精度等。

2. 滑坡数据库的建立

为从网络图中提取的滑坡网格化数据和底图数据进行分类编码。在 DBASE 数据库管理系统支持下,实现数据的输入与管理。将输入和修改后的数据存入 DBF 文件中,并通过系统命令,将 DBF 文件转化成 TXT 文件,与高级编译 BASICA 程序连接,实现数据的分析、处理和机助制图。

3. 滑坡数据的统计分析

对用户提供区域滑坡和有关数据,是该系统的主要功能之一。数据的分

析与计算主要包括两项：一是区域滑坡的总数和各类型滑坡的总数计算；二是各类型滑坡之间的数量关系分析，如某区域不同规模类型的滑坡中稳定与不稳定滑坡的数量比例等。滑坡数据包括滑坡发育的处数、面积和滑塌量等。因为滑坡数据来源于区域滑坡遥感制图，因此滑坡发育的处数实质是滑坡图斑的数量。滑坡的面积是根据滑坡图斑的测量（毫米方格法测量）数值进行统计计算而得。滑坡的体积则由滑坡的面积与对应滑坡规模的平均厚度的乘积进行估算。不同规模的滑坡平均厚度是根据滑坡抽样调查数据统计而得。我们在三川河流域和安塞县分别进行了滑坡抽样测量调查^[1,2]，分析结果表明：三川河流域和安塞县的大、中、小型滑坡的平均厚度分别是 31.2 米、25.7 米、15.8 米和 30.6 米、21.4 米、9.3 米。

4. 滑坡机助制图

实现区域滑坡微机机助制图，是本系统的又一主要功能。滑坡在地域上呈不连续的离散分布。通过对滑坡分布图的网格化处理并提取网格化滑坡数据，在系统中生成网格图，可对滑坡的不同数量特征进行空间展示，为滑坡的分布规律及其成因探讨，提供定位定量的依据。为了表示滑坡的发育密度、面积和体积这三种特征值的空间分布，设计了对应的三个图种，每个图种的成图单元（网格）的符号或颜色的不同，分别代表每平方公里发育的滑坡处数、面积和滑塌量的多少。该系统可对区域全部滑坡或某一类型的滑坡的密度等三个数量特征值进行空间展示。这样，系统输出的图件不仅可展示区域全部滑坡的地域分异的总体规律，而且使对不同类型的滑坡的地域分异差异进行探讨成为可能。

5. 系统运行结果输出

系统运行的数据和图形结果，首先分别存入程序设计的数据库和图形库中，然后通过结果输出功能块调配所需的数据或图形输出。数据可直接在打印机输出。图形可通过屏幕照相或在 AUTOCAD 软件支持下由 DMP—6 笔绘图仪输出。

三、系统的应用

在晋西三川河流域、陕西安塞县和陕晋黄河峡谷的滑坡遥感调查与制图的基础上，初步建立了黄土高原重点治理区滑坡信息系统。该系统按滑坡遥感调查的精度及覆盖区域的大小，划分为两个层次：一是覆盖 6.25 万 km² 以 1:10 万精度的晋陕黄河峡谷区子系统；二是以 1:5 万精度的三川河流域（4161km²）和安塞县（2951km²）两个窗口子系统。

晋陕黄河峡谷区子系统的数据来源于 1:10 万 TM 像片目视解译编成的 1:10 万滑坡分布图。滑坡遥感制图的最小规模是 100m × 200m。从图上提取数据的网格为 2km × 2km。根据滑坡遥感调查与制图的内容，该子系统可提供的滑坡数据主要包括湾塌地类型和湾塌地土地利用类型两方面的数据，并可按分省、分县两个层进行输出。该子系统提供全区滑坡的密度、面积和滑塌量分布三幅图件。图件对全区滑坡的宏观分布规律反映良好，特别对区域内发育的五条大型滑坡带有明显的显示。

安塞县子系统的数据来源于用 1:5 万彩红外航片目视解译编成的 1:5 万滑坡分布图^[2]。滑坡遥感调查的最小规模是 50m × 50m（1:10 万遥感成图表示的滑坡最小规模是 100m × 100m）。从图上提取数据的网格大小是 1km ×

1km。该子系统可提供全县滑坡各规模类型、各稳定类型和各湾塌地类型的发育处数、面积和体积，以及各类型滑坡之间的数量关系。该子系统共生成 27 幅滑坡专题图件，其中除了三幅反映该县全部滑坡的密度、面积和滑塌量分布外，有 24 幅图件分别对该县各种类型的滑坡密度等三个特征值进行空间展示。

三川河流域子系统的数据来自用 1:2 万彩色红外航片目视判读编成的 1:10 万滑坡分布图。调查滑坡的最小规模是 $20\text{m} \times 20\text{m}$ 。提取数据的网格是 $1\text{km} \times 1\text{km}$ 。由于 1:10 万三川河流域滑坡类型分布图是一种符号定位图，因而滑坡面积和体积值是通过滑坡抽样调查结果来估算的。该子系统可提供全流域各滑坡类型的滑坡发育处数、面积和体积及各类型滑坡之间的数量关系比例，提供滑坡专题图 11 幅。

由于 TM 像片的分辨率限制，对陕晋黄河峡谷区的滑坡调查，仅局限于 $100\text{m} \times 200\text{m}$ 以上的大型滑坡，较小规模的滑坡只能在彩红外航片上辨认，因此三川河流域和安塞县这两个窗口子系统所提供的结果可以弥补晋陕黄河峡谷区子系统的不足。它们分别作为晋西片和陕北片的两个窗口，对滑坡发育的规律进行更细致深入的研究提供依据。

四、总结

黄土高原重点治理区滑坡信息系统的建立及其运行的结果意义在于：

1. 实现滑坡遥感调查成果与信息系统的紧密结合，这不但可对遥感调查的成果实现计算机系统管理，而且使遥感调查成果的深化研究成为可能。
2. 滑坡信息系统的建立，实现区域滑坡的计算机管理与决策，为滑坡动态监测打下了基础。
3. 黄土高原重点治理区滑坡信息系统的建立，丰富了重点治理区遥感调查与应用的成果，对该区的滑坡灾害防治、水土保持及湾塌地的开发利用有重要意义，同时为建立其它地区的滑坡信息系统提供了可借鉴的经验。

参考文献

- [1] 杨运恒，1990 年，三川河流域滑坡地貌信息系统的初步研究，孙亚梅等主编《黄土高原三川河流域区域治理与开发信息系统研究》，测绘出版社。
- [2] 杨运恒，1988 年，安塞县滑坡机助制图，综考会等主编《黄土高原遥感调查试验研究》，科学出版社。

晋西黄土高原重点治理区土地利用遥感调查与制图

刘慧平 刘军萍 周德芳

(北京师范大学地理系)

晋西黄土高原重点治理区土地利用的遥感调查及制图工作经过三年多的努力,完成了影象处理、样片分析、室内判读、野外考察与校核、面积量算及精度分析、转绘和清绘、彩色样图制作等各项工作,编绘了全区 12 个县 1:10 万土地利用现状图。全部工作规程严谨,与相关图组协调一致。经精度检验,达到任务要求。

一、遥感调查与制图

在土地利用图的编制过程中,以多信息源、多层次、系列制图为原则,采用计算机图象处理、光学分析、地学—光学—数学模型分析、常规调查等多种方法相结合,使本研究通过“野外—室内—野外”的反馈调查解译工作和各专题图之间及影象与样片对比分析协调等工作,保证了制图精度。

1. 工作程序

本研究使用的工作信息源是 1986 年 6 月的 1:10 万 TM 影象,以 TM3,4,5 波段进行合成,经过几何纠正,影象清晰,定位准确。进行样片分析是采用 1981 年的 1:2 万彩色红外航片及 1986 年的 1:6 万彩红外航片。以 1:10 万的最新出版地形图编绘工作底图。多种时相的 1:50 万 MSS 标准合成片及 1:10 万标准合成片也作为本研究的辅助信息源。程序见图 1。

室内分析工作是对区域概况、影象特征的初步熟悉过程,通过对 TM 影象及彩红外、MSS 影象的对比分析和样片预判读分析,文献的查阅,初步了解影象特征并制定整个工作计划、方案和考察路线。

在野外调查中,通过路线调查、野外填图、样片与影象对比等工作,建立了晋西土地利用图解译的地学—光学模型,并确立了分类系统和解译标志体系。

按照解译标志,经过 MSS 影象的多时相分析及彩红外样片的辅助分析,解决解译中的难点,完善解译标志。在室内进行图斑解译勾绘,完成室内判读工作。

野外校核是对室内判读结果进行校核和补充调查。通过野外校核和室内判读的交互工作,完成全区土地利用图的解译和精度检查(包括判对率和位置精度)的检查工作。

转绘工作以蒙绘法进行。因所用 TM 影象已经几何纠正,与底图几何精度一致,转绘精度较高。面积量算采用称重法进行,以三级控制其精度,即一级以地形图图幅控制;二级以行政区控制,三级以称重区控制。分三级平差,确保量算精度。在总体精度分析后,以清绘上色编绘成作者原图,将数据汇总后产生资源清单。

2. 分类系统和解译标志

本研究按照课题土地利用图编制规程,采用二级分类。一级以全国农业

区划委员会制定的土地利用现状分类系统中的一级分类；二级是从黄土高原的实际出发，依据土地经营特点和利用方式进行。图例系统和解译标志见表1。

表 1 图例系统和解译标志

土地利用分类		解 译 标 志
耕 地	水浇地	分布于沟川、色调黄红到黄，偶有网格纹理
	旱 地	分布于谷缘线以上的梁峁坡上或沟底，色调黄白色
果 园	果 园	分布于黄河沿岸及川台地上的枣园，色调暗红，有颗粒状斑点
林 地	乔木林	色调从桔红到暗红色不等，在黄土沟壑区呈斑块状分布于黄土沟坡及部分顶坡，色调黄红到红；在土石山多分布于阴坡及沟底，红色；在石质山区呈大片分布，色调浓重有密集粒状纹理
	灌木林	分布于土石山地及石质山地边缘部分，少量分布于南部黄河沿岸，位于阳坡较低部位，呈桔红色或红色
	疏林地	呈黄红色，有稀疏粒状纹理，分布于黄土沟壑区及土石山区
牧草地		色调呈黄、黄绿、绿不等，分布于谷缘以下黄土丘陵区，山地边缘及少量山顶
居民地及 工矿用地	城 镇	呈蓝灰色，有斑状纹理，多分布于河川中
	独立工 矿用地	大型用地，呈灰色，有正规几何形状，在沟谷中的煤矿用地，使沟谷呈黑色调
交通用地		以地形图为准
水域	河 流	以地形图为准，双线河以影象为准
	水 库	面积以影象为准
	滩 涂	分布于河谷中，呈黄白色调
未利用地	荒草地	分布于河川两侧的黄土陡坡上，位于谷缘以下，呈黄白、黄红至黄绿不等
	沙 地	扇状，分布于河津县黄河边，呈黄白色
	裸 岩	分布于黄河沿岸及一级支流的部分沟坡，呈蓝绿色或褐色，呈枝状分布

在建立解译标志时，通过野外调查和样片、影象的对比分析，建立了反映土地利用分布规律的地学模型。

黄土区的土地利用方式与自然条件，特别是与地貌类型和部位相关性很大。因此在解译时主要依据影象—地貌类型及部位—土地利用类型的光学—地学模型进行。即依据影象特征和地貌类型和部位的判读来确定土地利用的类型。主要模型有：红黄色调及纹理——土石山地—次生灌木林，人工乔木林类；黄色色调——石质山地边缘黄土覆盖区——旱耕地类；黄白色调——黄土沟壑区谷缘线至坡脚线控制——耕地、牧草地、荒草类。这是黄土沟壑区进行解译依据的主要模型。即谷缘线以上的梁峁顶坡为坡旱地的主要分布区；谷缘线至坡脚线之间为草地和荒草地的主要分布区；坡脚线以下的滩地和沟谷台地为水浇地的主要分布区。地貌界线在 TM 影象上有较好的表现。在解译时，按照所建立的模型，根据不同的区域特点，补充和完善模型。通过影象特征和地貌的解译，间接解译土地利用中的大类型，经过影象与地貌部

位相互关系的分析，即模型分析，较好地解译出影象中不明显的类型。

3.精度分析

本区的精度研究主要包括两方面：判对率分析和面积精度分析。

根据全区土地利用特征的差异及地类的代表性，选择八个有代表性的典型区进行精度研究。八个样区的面积由 0.5 平方公里至 2.5 平方公里不等。以 1 2 万彩红外航片对解译的判对率和面积精度进行了检验，其结果如表 2 所示。

表 2 判读精度分析结果

类 型	水浇地	塬旱地	坡旱地	林 地	草 地
判对率%	85	99	86	90	90
面积精度%	84	98	85	85	90

结果表明，主要土地利用类型的判对率在 85%以上，面积精度也均达到 80%以上。经 1990 年野外穿线抽样精度检验表明，土地利用图的判读精度完全满足 1 10 万土地利用图制图精度要求。

二、土地利用特征

本区是黄土高原重点治理区的一部分，水土流失十分严重。严重的水土流失与土地利用结构的不合理性密切相关。本区土地利用特征的形成，是其自然条件与社会经济条件长期作用的结果，具有多样性及较强的区域分异规律。

1. 多样的土地利用类型

本研究区包括 12 个县近 2 万平方公里的范围。土地利用类型包括一级大类 8 类，23 个二级类型。本区耕地共有 11531480 亩，占总面积的 38.5%；林地 7697337 亩，占总面积的 25.7%；牧草地 7400199 亩，占 24.7%；未利用地 2160569 亩，占 7.2%。全区各县主要土地利用类型见表 3。

二级土地利用类型表现了土地利用的分异性。本区耕地中水浇地的比例较小，占耕地的 7.7%，主要集中分布于方山县、离石县和河津县的川地和台地上，占水浇地的 81.4%。其它各县则以旱耕地为主。林地中乔木林占 47.2%，灌木林占 48.4%，疏林占的比例很小。牧草地在全区各县均有分布，石楼县、大宁县和永和县的比例略偏大。未利用地主要含两类，即荒草地和裸岩。荒草地为本区未利用地的主体，占未利用地的 54.3%，裸岩占 20.7%。

这两类均分布于黄河沿岸各县，与河流溯源侵蚀及强烈的水土流失密切相关。水域占全区总面积的 1.45%，交通用地及居民工矿用地总和不足 2.3%。

总之，本区土地利用以农林牧用地为主体，且农业用地比重大。

2. 土地利用结构的空间分异性强

本区农林牧用地面积比例平均为 42.2 29 27.8，但其比例在全区具有较强的空间分布

表 3 晋西各县土地利用总表

		耕地				园地	林地				草地	合计
		合计	水浇地	旱地	梯田		合计	水浇地	旱地	梯田		
兴 县	百分比	39.0	4.0	96.0		0.3	25.8	66.6	31.7	1.7	24.0	7.5
	面 积	1851526	74061	1777465		14242	1224855	815753	388279	20823	1139400	358073
临 县	百分比	47.6	4.9	95.1	23.7*	0.2	13.6	68.9	30.8	0.3	25.3	8.0
	面 积	104192	2022172	479255	3934	607533	418590	187120	1823	1130189	359072	277323
方 山	百分比	27.1	14.6	85.4			46.2	49.1	50.9		16.1	8.1
	面 积	582961	85112	497889			993830	487471	505859		340335	174891
离 石	百分比	31.3	13.7	86.3			38.7	38.1	61.5	0.4	16.1	10.7
	面 积	623355	85400	537955			770729	293648	473998	3083	320639	212100
中 阳	百分比	27.0	1.1	98.9			44.5	50.5	49.0	0.5	22.2	4.2
	面 积	581211	6393	574818			957922	483751	469382	4789	477885	89490
柳 林	百分比	48.3	1.9	98.1		0.3	3.6	97.0	1.0	2.0	20.8	20.7
	面 积	927925	17631	9120294		5764	69162	67087	692	1383	399218	397874
石 楼	百分比	44.1	1.0	99.0			13.6	39.6	57.1	303	32.7	7.1
	面 积	1151406	11514	1139892			355082	140613	202752	11717	853764	185372
大 宁	百分比	40.0	1.3	98.7			17.7	30.1	64.9	5.9	35.7	4.0
	面 积	580320	7544	572776			256792	77294	164347	15151	517936	63634
永 和	百分比	39.0	0.9	99.1		0.2	15.8	32.7	64.8	2.5	38.7	3.3
	面 积	713505	6421	707084		3659	289061	94523	187312	7226	708016	60425
吉 县	百分比	34.5	1.3	98.7			35.5	35.0	61.3	3.2	23.8	4.1
	面 积	918932	11730	907202			945323	331370	584630	29325	635812	109495
乡 宁	百分比	32.0	0.7	99.3			38.3	23.5	73.2	3.3	24.0	3.87
	面 积	973920	6817	967103			1165660	273930	853263	38467	730110	117785
河 津	百分比	56.2	46.6	53.4		0.6	6.9	35.1	35.0	29.9	15.8	3.3
	面 积	499982	232993	266991		5338	61386	21547	21485	18354	140585	29359
合 计	百分比	38.53	7.7			0.13	25.73	47.18	48.4		24.73	7.22
	面 积	11531408				37937	7697337				7400199	2160569

注：占旱地面积的百分比
规律。全区各县农林牧比例如表 4 所示。

表 4 晋西各县土地利用结构

县 名	土地利用结构农：林：牧	县 名	土地利用结构农：林：牧
兴 县	44：29：27	石楼县	48.8：15：36.2
临 县	55：16：29	大宁县	428.8：19：38.2
方山县	30.3：51.7：18	永和县	41.7：16.9：41.4
离石县	36.3：45：18.7	吉 县	36.8：37.9：25.3
中阳县	28.8：47.5：23.7	乡 宁	34：40.6：25.4
柳林县	66.4：5：28.6	河 津	71.3：8.7：20
		总计(平均)	42.2：29：27.8

在黄河沿岸各县中，除河津县外，农业用地比例以柳林县为最高，以此为中心，向北向南各县农地比例逐渐降低。而林地比例则相反，以柳林县比例最低，向南向北各县逐渐增高，其变化趋势如图 2 所示：

本区大部分地区为黄土丘陵沟壑区，占总面积的 73.3%。各县黄土区所占比不同（见表 5），除吉县以外，黄河沿岸的黄土区面积比例的分布趋势与耕地比例分布趋势具有相似性，即

表 5 黄土区比例分配

县名	兴县	临县	方山	离石	中阳	柳林	石楼	大宁	永和	吉县	乡宁	河津	总计
黄土区占全县%	77	92	27	59	49	98	96	86	100	80	44	74	73.5

以柳林县和石楼县为最高，向南向北减低。因此农业用地的大小，与黄土覆盖面积的大小具有较强的相关性。在以黄土区为主的地区中，农用地的比例都大于 40%，以中部地区的柳林县和临县为最大，大于 50%。方山县、离石县和中阳县处于黄土丘陵区向基岩山地的过渡区域，与黄河沿岸各县不同，林地所占比较大，大于 45%。本区最南部的河津县，大部分地区为黄土台地，北部小部分地区为黄土沟壑区向黄土台地的过渡区，以农用地为主，且耕地中水浇地比重达 46.6%，林地面积很小，多为城镇的四旁树和少部分黄河沿岸防护林。

3. 植被分布不均

本区森林覆盖率（不含疏林地面积）为 24.2%，林地集中分布于东部的吕梁山地和中部的岛状土石山地。黄土丘陵沟壑区则散布着人工林地。在以黄土区为主的各县中（黄土区占全县面积比例大于 85%），林地比例不足 18%。例如，柳林、临县、石楼、大宁、永和各县其总面积占全区的 41%，但林地面积总和仅占全区林地的 20%。在黄土区，林地呈斑块状分布，成片的人工林多以刺槐林为主，在影象上表现明显。人工林多与居民用地或交通用地相伴分布，在空间上因交通便利程度或居民地的集散程度的差异，在黄土区各县中分布不同。

牧草地分布于黄土沟壑区的谷缘线以下、坡度较缓的沟坡及土石山地和石质山地的沟坡中。黄土区的草地质量较差，草被的产草量较低，一般为 250—360 斤/亩。土石山地和石质山区的草地质量较好，产草量可达到 500—700

斤/亩。

4. 耕地面积大，垦殖指数高

本区耕地占总面积的 38.5%。其中 10.9% 的耕地处于山地中，占全区总面积的 4.2%，89.1% 的耕地分布于黄土区，占全区总面积的 34.3%。黄土区的梁峁顶坡、沟坡和塬地中耕地的比例分别为 97%、0.08% 和 98.9%，占全区面积的 65.3%。可见，黄土坡地耕地的垦殖指数很高，黄土区的川台地已被充分利用为耕地，其垦殖指数也大于 98%。本区黄土分布区面积的 46.7% 已辟为耕地。

三、土地利用问题分析

1. 土地利用结构不合理

全区土地利用结构为 42.2 29 27.8。农业用地比例过大。特别是黄河沿岸各县，农业用地占农林牧用地的 49%，林业仅占 20.8%，牧业占 30.2%。农业用地比重过大，在本区半干旱的气候及疏松、易侵蚀的黄土母质条件下，造成严重的水土流失，土壤侵蚀模数大于 1 万吨，造成农业生产的低而不稳状况。如柳林、临县、石楼、大宁和永和各县，农业用地比例大于 40%，林业用地比例小于 20%，其粮食平均亩产仅在 100 斤/亩上下。

2. 耕地后备资源不足

黄土区的垦殖指数过高，坡地基本开发，未利用地多为坡度很陡、土层很薄的地区，在目前条件下，属于难利用地。后备耕地不足将会影响到农业的进一步发展。如继续现有耕地的利用方式，缺乏农田基本建设，广种薄收，维持低水平的农业生产，将导致农田肥力下降，土壤理化性质恶化，产量继续下跌并引起水土流失加剧，从而影响农田生态环境的调整和农业生产水平的提高。

3. 草场管理不善，过牧严重，牧业生产水平低

本区牧草地面积约占全区的 25%，但草地基本处于无管理状态。由于自然条件的影响，天然草地以白羊草类型面积最大，在山地和黄土丘陵沟壑区都有较大范围分布，产草量可达 350 公斤/亩左右。由于缺乏人工的管理措施和对草场资源利用开发不够，使本区牧业生产水平较低。如柳林县的草场用地比例为 28.7%，而 1985 年的牧业产值仅占农业总产值的 5.5%。另一方面，交通便利，邻近居民地的广大黄土沟壑区，草场过牧，发生覆盖率降低，质量下降等退化现象，从而载畜量下降，水保能力降低。而在山地或交通不便地区，草场又得不到开发利用，造成草场资源的浪费。

4. 造林成果显著，但空间发展不均衡

林地 in 黄土区为斑块状分布，表现出人工营造水保林取得了显著成就，但在本区中部地形破碎的柳林县和交通不便的石楼县人工造林的面积明显偏低。在黄土丘陵沟壑区，林地对水土保持和提高经济效益关系重大。黄土区的人工林的营造，应更加注意系统规划布局，把水土保持工作分区域、整体地统筹安排。

四、合理开发利用途径

晋西黄土高原重点治理区的开发利用，是以水土保持和发展生产为核心

的。针对土地利用方面存在着上述问题，现就土地资源的合理开发利用途径方向，提出以下几点建议：

1. 农林牧副多种经营，协调发展

本区现有土地利用结构存在着农用地过大，林地比例不足的不合理性，因而调整土地利用结构，减少农地比例，加大林牧用地比例，是进行土地资源开发利用的关键。

根据区域自然条件的分异性和现有利用条件的差异，可将本区分为4个区：（1）东部山地林牧开发区，包括兴县东部、方山县、离石东部和中阳大部地区。以林业生产为主，农耕地多分布于河川中土地等级较高的地区。粮食生产有这些川地中高质量耕地为保障。山地上的坡旱地生产水平很低，不适于耕种，应尽快退耕还牧，在山地的低山处，形成较好的牧场，以牧养农。（2）北部沟壑农副业开发区，包括石楼北部及以北各县的黄土沟壑区的主体部分和土石山区。目前以农业为主，地貌形态以梁峁地为主。农地中坡耕地比例很高，产量较低，林地多为水保林，草地和荒草比例较大，草场质量较低。土石山区多为林地和较好牧场的集中分布区。应加强坡地改良。首先加强土石山地的林地和草地的管理，合理利用草被，封育荒草地，发展养殖等副业生产，提高经济发展水平，为退耕还林还牧打下基础。同时加强农田基本建设，提高单产，退耕还林。（3）南部残塬农牧副开发区，包括石楼南部至河津各县的黄土区的主体部分及土石山区。目前以农业为主，地貌形态属于残塬区。坡旱地坡度较缓，有较好的塬旱地和沟川耕地为其基本耕地，粮食生产有一定保障。土石山地面积较大，草地比例高。坡地改造工作略少于北部，但基本农田建设仍很重要。应加强土石山地林区的建设和草场资源的开发，把农牧副结合发展，以牧副业促进农业，建成粮食及牧副业生产基地。（4）黄河沿岸副牧开发区，包括北起兴县、南至吉县的黄河沿岸狭长地区。黄土覆盖较薄，裸岩分布高度较大。黄河的滩地台地为枣园的集中分布区，是山西省红枣的重要产地。在土层较好的南部，有草灌分布，可作为山羊为主的牧业生产地。

2. 加强农田基本建设，改造全区土地利用结构

本区土地利用结构中农地比例很高，在黄土区耕地的垦殖指数很高。其原因与农业生产水平低、粮食单产低分不开。必须通过加强农田基本建设，如修筑梯田、坝地，改变现有农田坡度大，跑土跑肥的状况，才能提高粮食生产水平，使改变土地利用结构，退耕还林牧成为可能。

3. 加强管理，合理开发草场资源，提高牧业生产水平

本区草场占全区总面积的24.7%，应加强管理，把保护、利用和开发三者结合起来。在近居民地等交通方便的过牧地区进行修筑围栏、轮放；在近山地的地区，天然草场覆盖度大的地区进行利用；在现有草地质量略佳或交通不便的地区进行开发，进行工程建设和人工培育；把自然条件好，但草地质量欠佳的地区，建成人工牧场。在交通不便但有良好天然草场的地区辟为牧区。从而提高牧业生产水平，改变经济状况。

参考文献

- [1]陈德华等，安塞县土地利用现状遥感调查与制图，《黄土高原遥感调查试验研究》，1988年，科学出版社。

[2]许燮漠等，土地利用工程，农业出版社，1981 年。

晋西土地利用的空间结构和合理化程度探讨

刘慧平 周德芳

(北京师范大学地理系)

晋西黄土高原重点治理区的土地利用状况经 TM 影象的解译成图和遥感研究,反映出土地利用结构空间差异的分布特征。根据区域自然条件 and 生产发展水平研究现有土地利用结构的合理化程度是土地资源开发和经济发展的重要基础。

一、土地利用的影响因素

本区地处吕梁山以西,黄河以东的晋陕峡谷区,南北跨 12 个县,即兴县、临县、方山县、柳林县、离石县、中阳县、石楼县、永和县、吉县、乡宁县和河津县。地形东北高,西南低。东部为吕梁山,西部为黄土丘陵区。黄土覆盖厚度在 30—100 米,分布高度可达 1700 米。在本区狭长的区域范围内,黄河谷地和东部吕梁山体的影响,使区域自然特征具有南北纬度地带、经度地带及垂直地带性分异特征,对土地利用特征的形成具有直接和间接的影响。

1. 气候条件决定了土地利用基本特征

本区气候为暖温带半湿润半干旱气候。降水分布不均,南多北少,东多西少。全区年降水量在 500mm 左右,黄河沿岸的一些地区为 450mm 左右,东部山地可达 600mm 以上。热量条件呈南高北低、西高东低的变化趋势。西部黄土地区的无霜期普遍大于 180 天, 10 年积温在 3000 以上,南部河津县年积温可达 3800 ;东部山区无霜期为 160 天,年积温在 2600 左右。

气候条件对本区土地利用有以下影响:(1) 植被覆盖度呈南高北低,东高西低的趋势。南部植被覆盖度大体为 65%,北部为 44%,东部山区可达 85%;(2) 农耕地集中分布于热量条件较好的西部黄土地区;(3) 谷地成为重要的农业生产地。各大谷地现已成为基本农田等高产田的主要分布区。黄河谷地因热量条件好是本区重要的枣林的生产地;(4) 阴阳坡产生有明显差异,阴坡较阳坡水份条件好,林草地分布较多;(5) 农作物南北差异,南部为冬小麦种植区;北部只能发展春小麦,并因水份限制只能一年一作。

2. 地貌的空间分异产生土地利用结构差异

本区地貌类型包括两大部分:东部吕梁山区的石质山地类型和西部的黄土地貌类型。在黄土区内部又存在着南部的黄土残塬区,北部的黄土梁峁区及中部过渡类型的差异。另外还分布有一些岛状山地。在黄河沿岸因河流侵蚀,形成大面积基岩裸露和部分带状分布的堆积阶地。这些地貌差异和内部的分异性造成了本区土地利用结构的差异。

地貌因素对土地利用主要影响有:(1) 东部山区和岛状山地为林地的主要集中分布地;(2) 黄土地区的谷缘线和坡脚线控制着农耕地的分布,即在谷缘线以上为主要坡旱地的分布区;坡脚线以下为主要沟旱地及水浇地的分布区;谷缘线与坡脚线之间为草地和荒草地的主要分布区;(3) 坡度控制着土地利用类型的分布。如耕地的分布坡度一般在 25° 以内,大于 45° 的地区

多为裸岩和裸土的分布区；（4）黄土的覆盖厚度影响耕地分布的范围。如在黄河沿岸区域土层较薄，耕地呈零星分布；山区有黄土覆盖的地区多为农耕地分布区。

3. 人类活动深刻影响土地利用方式和程度

本区土地利用深受人类活动的影响，主要有：（1）人口密度的分布不均造成农耕地的分异性。除河津县以外，本区人口密度最大的县为柳林县和临县，其人口密度大于 150 人/Km²，其农耕地所占比例也为全区最大，大于 55%。（2）聚落分布和交通发达程度也直接影响土地利用方式和程度。本区聚落分布以南部密度为大，土地的开发利用也以南部较为充分，经营管理较为细致。交通情况全区略有差异，以中部石楼县交通条件最差，土地的开发程度较差，利用方式也单一。例如，其黄土区的人工造林比例全区最低。（3）经济发展水平影响土地利用方式的多样化。本区经济发展水平总的来说都很低，但在区域内部仍有差异。本区乡宁东南和柳林东南中阳北部至兴县中部各有一条焦煤矿带分布，使沿线各地有炼焦业发展。在工农业总产值中，农业所占比重也具有较大差异，如石楼、临县农业所占比重可达 65%以上，而离石、乡宁等县农业比重仅在 25%左右。在土地利用的用地比例上，农用地占有绝对的优势，但随着各区域的经济发展水平的差异，土地利用方式的多样性及土地的经营水平及投入有所不同。

二、土地利用结构的空间分布特征

本区土地利用在自然条件和人为利用改造下形成特有的规律性，具有多样性和较强的空间分异性。

土地利用结构的空间差异主要表现在三个方面：

1. 耕地—林、草（荒草）—裸岩的空间组合关系

耕地、林地、草地及荒草地和裸岩是本区土地利用的主要大类，其空间组合关系代表着土地利用空间分异的主要特征。全区主要包括四种代表性的组合关系（图 1）。图 1 中（a）、（b）为南北土地利用结构，属耕、林、草（荒草）的组合形式。二者比较，空间结构由南部的块状条状相间结构变化为北部的条状相间或条状斑状相间的结构。表现出由南至北，耕地由块状变为条状，即耕地块变小且分散；林地由条状变为斑状，即林地地块也变小且分散；草地及荒草地面积扩大，地块逐渐连片的规律。图 1 中（c）、（d）显示了本区土地利用结构的東西差异。从西到东，结构从斑状条状相间结构变化为块状结构。并且从以裸岩、荒草、草为主的组合特征变成林、耕为主的组合特征，即裸岩、荒草地分布渐小且消失，草地面积逐渐加大，并渐被林地所代替，耕地面积集中连片。

2. 沟谷地利用结构的空間差异

沟谷是本区重要的土地利用开发区域，是水浇地、经济林地等高产值利用类型的集中分布区。沟谷地开发的空間差异是土地利用结构变化的反映。

本区沟谷地可分为以下几种类型：（1）黄河阶地和谷地；（2）河流川地；（3）小型沟谷。这些谷地内部的开发利用各有其特点和分异规律。

黄河从北到南穿过本区，在河津县龙门口冲出晋陕峡谷，形成宽阔的河滩和河流阶地。形成较好的河流阶地和大型河滩地的河谷地形，产生滩地—防护林—水浇地的土地利用结构。在黄河峡谷区，黄河谷地的地貌格局和利

用状况亦有不同。南部因黄河河床下切较深，阶地以基岩阶地为主，河谷狭而陡，河谷的基本利用结构为以未利用土地的荒草地组成。北部堆积阶地和河滩地渐增，并有部分支流汇入形成的小型扇形地，其土地利用结构为滩地—旱地（水浇地）—园地—裸岩及荒草地依次分布。

本区黄河的主要支流有：岗漪河、蔚汾河、湫水河、三川河、屈产河、昕水河、汾河等。位于峡谷区的河流，南部河流因位流域下游，河床深切，比降大；北部河流比降亦大但流程长。因而区内河谷的总发育趋势是南部（如昕水河）河谷狭而陡；北部（如三川河、蔚汾河等）河谷宽而坦。因此在土地利用上，虽然无论南北，河谷内部都以水浇地和园地等占主要部分，但北部河谷的利用范围和规模为大，并且，土地利用的丰富性和集中性也以北部为强。

小型沟谷的发育形态在全区有较大差异，以西部近黄河沿岸沟谷切割最深，沟坡最陡，沟谷最狭，向东渐宽。沟谷的土地利用在西部以未利用地为主，并有少部分（北部地区）区域有枣园等园地分布。东部沟谷地有沟水浇地和旱耕地分布。南北小型沟谷地利用状况亦有差异。南部沟谷旱地以斑状为主，狭且分散；北部沟旱地呈条带状分布，宽且连续。但在中部的柳林县则出现沟谷密度加大，沟谷陡且狭的异常，沟谷旱地零星分布。

3. 聚落分布差异

聚落分布的研究主要是侧重分布密度及其空间分布特征的分析，是土地利用特征中人文要素变化的反映。本区聚落分布具有较强的空间分异性。如图2所示，表现了本区聚落分布的南北差异。图2（a）、（b）两图分别是南部吉县红山图幅和北部兴县图幅的聚落分布情况，比较可知，（a）较（b）聚落的密度大、南部区域较为密集，向北部密度渐小。南部聚落多分布于谷缘线以上的区域，北部则多分布于谷缘线以下的区域。

聚落分布的空间特征表现出土地资源开发重点的南北差异，即南部地区谷缘线以上的区域，土地资源具有较大的开发利用优势。这种开发优势随着北部地貌的变化及气候条件的变化而降低，并转移到谷缘线以下的区域。

三、土地利用合理化程度探讨

区域土地利用结构是土地资源开发方式和程度的表现，是自然资源和社会经济条件的综合反映。土地利用的合理化程度的研究是区域土地生产潜力开发利用的一个方面，其实质是研究现有土地资源的利用状况是否利于土地生产潜力的开发。

目前对于土地生产潜力的研究主要从两个方面进行：一是从生态学角度，研究光、温、水、肥对土地生产的制约，定性分析，研究可能的土地生产潜力；二是对土地生产潜力各因子定量研究。将土地生产潜力表述为：

$$Y=Y(c) \cdot F(s) \cdot Q(m) \cdot G(e)$$

其中Y为土地生产潜力，Yc为气候生产潜力，F(s)为土壤校正函数；Q(m)为管理校正函数；G(e)为环境质量校正函数。即：土地生产潜力是气候、土壤、环境和人为影响共同作用的结果。两种方法具有相似性，即从自然要素之间和自然要素与人文要素的相互关系研究土地生产潜力。

根据土地生产潜力的影响因素分析，影响本区土地生产潜力的因素是多方面的，如：气候、地貌类型、海拔高度、坡度、土壤侵蚀状况、植被状况、水源条件、土地利用状况、人口密度、区域开发程度等。归纳起来，主要为土地类型、土壤侵蚀、土地利用状况和人口及投入等方面。这几方面相互联系和相互制约，共同制约着土地生产潜力。

土地利用空间结构是土地类型、土壤侵蚀和人类活动相互作用的结果，也是影响土地生产潜力的重要方面。

本区土地利用结构的差异，主要表现在土地利用大类型的空间分布、谷地开发和聚落分布三个方面。

耕地、林地、草地及荒草地和裸岩空间分布的差异与沟谷地及聚落分布趋势是一致的，其南北差异与地貌等自然条件差异密切相关。耕地南部为相对集中连片的分布特征，北部为相对分散与地块渐小的特征，主要受南北地貌由黄土残塬区过渡为梁峁区，谷缘线以上缓坡地所占比例由南部大于 30% 北部的小于 25% 等因素所控制。沟谷地开发和聚落分布的空间分异性，都反映出土地资源的开发优势由南部谷缘线以上的区域发展成北部谷缘线以下的区域的趋势。黄河沿岸土地利用结构与吕梁山土地利用结构的差异，由地貌、气候、土层厚度等多种自然要素决定的，反映了黄土地貌、气候条件及土层厚度等与石质山区的差异性。总之，土地利用结构空间分异的总趋势是土地资源分异性的反映，代表了土地生产潜力利用和开发的总体规律。

土地利用的内部结构及组合特征具有不合理性。主要表现在几个方面：（1）农耕地比例过大。本区农耕地用地面积占全区土地利用总面积的 39%。全区农林牧用地比例为 42.2 29 27.8。黄土区谷缘线以上区域南部的 98%，北部的 97% 已被农耕地所占用。对耕地的坡度分析表明：南部耕地的 30% 左右为陡坡耕地（坡度大于 25° ），北部耕地的 40% 以上为陡坡耕地。在陡坡地上发展旱作农业，将由于植被盖度的降低、疏松土层等加剧土壤侵蚀，使土层变薄，肥力水平降低。其后果使土地生产潜力下降。因此不利于开发土地资源。（2）林牧面积过小且分散。林牧用地之和占全区总面积的 50% 左右，但在黄土区内部则差异较大。林地最低仅占 4%，高者也仅 15% 左右。草地的比例亦在 20%—25% 左右。林牧用地比例低与农耕地比例高相辅相乘，但林牧地对于黄土区的土地生产潜力的提高具有很重要的意义。林牧地的发展可有效地减少土壤侵蚀，从而改善土壤环境，提高土地生产潜力。同时，其防风持水等效应，对周围（如农地）的环境具有保护作用，从而使周围土地的生产力得以保障。因此，黄土区林牧面积的过小且分散是不利于土地生产潜力的利用和保护。（3）基本农田建设及土地资源改造工程等欠缺。

全区基本农田平均占耕地面积的 22%。但在空间上分布不均，以河津县最高，基本农田占耕地的 42.8%，以石楼县为最低，仅占 6.7%。由于人口分布的空间差异，各县人均基本农田略有不同，但总体水平较低，平均为 1.48 亩。除临县和柳林县人均基本农田大于 1.5 亩外，北部各县均在 1.5 亩以下。南部的大宁和吉县则在 2 亩以上。全区梯田建设较少，除柳林县梯田可占耕地总面积的 29% 以外，其它各县梯田在耕地中比例均在 10% 左右或低于 10%，并且有些县梯田比例在 5% 以下。基本农田和农田改造工程的实质是改变了坡度等土地环境条件和土壤侵蚀状况，从而提高土地生产潜力，因此是有利于土地生产潜力的。本区的基本农田和农田改造工程的欠缺，将使土地资源向着不利于土地生产潜力提高的方向发展，使土地资源的生产力水平下

降。

四、结论

通过分析晋西黄土高原区土地利用的空间结构及其合理化程度，得到以下结论：

1. 区域自然条件是土地利用的基础，社会经济条件深刻影响着土地利用特征的形成。本区的气候条件决定了植被覆盖度的南北分布趋势，即由南向北渐低；决定了东西土地利用大类的差异，即东林西耕的分布特征；决定了河谷地利用的特殊地位。地貌的空间差异，形成了土地利用大区。人类活动影响了土地资源的开发利用程度及组合特征。这三大要素的共同作用，形成了本区土地利用特征。

2. 土地利用结构的空间差异主要表现在：土地利用大类的空间组合关系、谷地开发结构及聚落分布特征。三者的空间差异表现出本区土地资源开发的总趋势，即土地资源开发优势由南部谷缘线以上区域向北转移为谷缘线以下区域，沟谷开发愈向北优势愈显著。

3. 本区土地利用结构总体上是合理的，符合自然和社会经济条件的变化规律，有利于土地生产潜力的开发利用和提高。但在内部组合结构上有其不合理性，主要表现在农与林牧比例和农田建设及工程改造利用欠缺等方面。

参考文献

- [1] 《佳县经济发展系统研究》项目组编著，陕西省佳县经济发展研究，1991 年，海洋出版社。
- [2] 陈德华等，安塞县土地利用现状遥感调查与制图，《黄土高原遥感调查试验研究》，1988 年，科学出版社。

三川河流域土地利用动态变化的遥感分析

杨运恒

(烟台师范学院地理系)

乔玉良

(山西省农业遥感应用科学研究所)

晋西三川河流域包括方山、离石、中阳和柳林四个县,总面积 5484 平方公里(约 822.6 万亩),是黄河中游水土保持重点治理区之一。该区水土流失严重的黄土丘陵沟壑区占 59%,土石山林区占 41%。我们利用已有的 1958 年 1:5 万黑白航片和 1981 年 1:2 万彩色红外航片,以航片整群成数抽样的方法,对该区两个时期的土地利用状况进行了动态遥感对比分析研究。

一、土地利用动态遥感分析方法与过程

1. 主要信息源

1958 年 1:5 万黑白航片

1981 年 1:2 万彩色红外航片

1983 年 8 月 27 日 MSS4、5、7 和 1982 年 2 月 13 日 MMS4、5、7, 1

10 万卫星影像合成片

2. 土壤侵蚀分区

为了对全区不同的县和不同的土壤侵蚀类型区的土地利用状况进行动态变化对比,对全区进行了土壤侵蚀类型区域划分。根据 1:10 万卫星像片作宏观控制,划分全区为土石山林区轻度侵蚀区和黄土丘陵极强度侵蚀区两大类区。然后通过航片影像分析,根据植被盖度和侵蚀地貌形态,进一步划分成 7 个小区。

3. 土地利用类型航片刺点判读

把黑白航片和彩色红外航片的像主点定位标在 1:5 万地形图上。以航片像主点为中心,每隔 0.5 厘米均匀布设 25 个点,对每个点的所属土地利用类型进行判读。土地利用类型分类系统采用山西省统一的分类方案。对每张航片逐一进行数据记录,其内容包括航片号、航带、像主点坐标、所属县、所属土壤侵蚀类型区、所属各土地利用类型的点数。

4. 数据处理与计算

(1) 数据库的建立

对每张航片的一条数据记录进行编码,然后在 DBASE 数据库管理系统支持下建立数据库。数据库的主要数据文件是 HBP.DBF 和 SCH.DBF,分别代表黑白航片和彩色红外航片刺点判读的数据文件。在系统支持下,把带 DBF 扩展项的文件生成 TXT 文件,实现与 BASIC 语言接口。

(2) 土地利用类型面积计算

各航高带的面积修正 由于本区地面起伏程度大,不同高程带的航片面积变形很大,所以统计面积前首先对不同高程带的面积进行修正。修正系数 V 采用:

$$V_i = \frac{H_0 - h_{\text{带}}}{H_0 - h_{\text{基}}}$$

式中: V_i ——某航高带 i 的修正系数

H_0 ——绝对航高

$h_{\text{带}}$ ——各高程带中值

$h_{\text{基}}$ ——摄影地面基准面平均海拔

计算某个县或土壤侵蚀类型区一个刺点代表的面积 采用公式：

$$P_j = \frac{S_j}{\sum_{k=1}^n \rho_{0k} \cdot V_k}$$

式中： P_j ——某县 j （或土壤侵蚀类型区）每刺点代表的面积；

S_j ——某县 j （或土壤侵蚀类型区）的总面积

ρ_0 ——某县（或土壤侵蚀类型区）某张航片的布点数

V_i ——某航片所在航高带的修正系数

n ——某县（或土壤侵蚀类型区）内覆盖 n 张航片

各县（土壤侵蚀类型区）各地类面积计算采用公式：

$$S_j = P \cdot \sum_{k=1}^n P_{iek} \cdot V_k$$

式中： S_j ——某区的某种土地利用典型 j 的面积总数

P ——某区每个判点代表的面积

P_{iek} ——某张航片的某种土地利用类型 j 的点数

V_i ——某张航片所属航高带 i 的修正系数

n ——某区内有 n 张航片

所有计算程序均用 BASICA 语言编写，在国产长城微机上运行。

二、三川河流域土地利用历史动态变化特征

1. 耕地面积减少，但耕地的质量大大提高

从 1958 年至 1981 年共 23 年间，全区耕地面积由 283.9 万亩减至 274.4 万亩，减少了 3.3%。减少的耕地主要是坡耕地，由 239.0 万亩减至 195.8 万亩，减少了 18.1%。减少的坡耕地中，有 32.4 万亩变成了梯田，其余大部分退耕还林还草，少部分变成居民、工矿、道路用地。

耕地的质量提高，主要表现在平耕地面积的增加。全区平耕地面积由 44.8 万亩增至 78.7 万亩，增加了 74.8%。增加的平耕地主要是梯田，其次是沟坝地和河川地。梯田由 4.5 万亩增至 36.9 万亩，增长了 7.2 倍。沟坝地由 2.1 万亩增至 3.4 万亩。沟川地增加了 0.8 万亩。

2. 裸沟坡地和荒草地的治理有所进展

从 1958 年至 1981 年，全区裸沟坡荒地由 123.2 万亩减至 113.9 万亩，减少了 7.5%，其中裸沟底地由 14.8 万亩减至 13.7 万亩，主要变成沟川地和沟坝地，少部分变成工矿、道路用地。大于 30° 的裸沟坡地由 47.0 万亩减至 44.0 万亩，荒草地由 61.5 万亩减至 56.1 万亩，分别减少 6.4% 和 8.8%，主要变成人工林和牧草地。

3. 人工造林成绩显著，森林盖率有所提高

从 1958 年至 1981 年共 23 年间，全区有林地从 392.4 万亩增至 409.5 万亩，增长 4.4%。其中人工林由 2.2 万亩增至 13.6 万亩，增长 5.6 倍。果

园由 0.1 万亩增至 1.6 万亩，增长 15 倍。枣林由 5.9 万亩增至 9.2 万亩。天然林由 113.9 万亩增至 116.7 万亩，增长 2.5%。疏林由 13.5 万亩增至 18.4 万亩，增长 36.3%。灌木林部分转变成疏林，因而面积减少了 7%。全区森林覆盖率由 14.2% 提高到 16.2%。

4. 矿、居民、道路增加，而水域面积减少

随着人口的增加，经济 and 交通的发展，全区工矿、居民的用地由 7.1 万亩增至 9.4 万亩，增长 32.4%。道路用地增长 5.6%。由于泥沙的淤积，水域面积由 12.4 万亩减至 11.6 万亩，主要变成沟坝地。

三、土石山林区与黄土丘陵沟壑区土地利用变化的差异

1. 土石山林区退耕的速度快于黄土丘陵沟壑区

从 1958 年至 1981 年共 23 年间，土石山林区的耕地由 43 万亩减至 40 万亩，减少了 6.7%。而黄土丘陵沟壑区的耕地由 240.9 万亩减至 234.4 万亩，仅减少 2.7%。

2. 土石山林区和黄土丘陵沟壑区两者退耕后耕地转变方向不同

土石山林区减少的耕地全是坡地，主要变成人工林和牧草，占 83.3%，少部分修成梯田，占 16.7%。黄土丘陵沟壑区减少的耕地中，有 86.4% 是坡耕地，13.6% 是河滩地。其中减少的坡耕地中 83.3% 修成人工梯田，16.7% 变成牧草、人工林或果园等。

3. 黄土丘陵沟壑区人工种植林、草的面积和增长速度大于土石山林区

土石山林区天然林增长 4.1%，疏林增长 41.5%，草地增长 15.8%，人工林增长了 1.5 倍。黄土丘陵沟壑区没有天然林，但人工林增长了 13.8 倍，枣林增长 6 倍，果园增长 53.7%。土石山林区有林地增长了 1.1%。

4. 黄土丘陵沟壑区的工矿、居民、道路用地变化较大

23 年间，黄土丘陵沟壑区的居民、工矿用地增长了 38.0%，道路用地面积增长了 7.5%。而土石山林的工矿、居民、道路用地面积几乎没变。

四、四个县的土地利用动态变化对比

1. 耕地变化的差异

四个县中，以方山县和离石县的耕地减少最少，分别减少 2.2% 和 2.3%。柳林和中阳县的耕地分别减少了 3.4% 和 5.4%。

2. 土地基本建设的差异

搞好土地基本建设，修建梯田和坝地，一方面可以保持水土，同时有利于粮食单产的提高。四个县中，以柳林县的土地整治最好，该县的梯田增加了 11.8 倍，沟坝地增加了 1.4 倍，沟川地增加了 14.8%。离石县梯田增加了 8 倍，沟坝地增加了 10%。中阳县梯田增加了 4.3 倍，沟坝地增加 66.7%。方山县梯田增加了 2.6 倍，沟川地增加了 8%。

3. 坡耕地的改良与还林草的差异

坡耕地是沟间地中水土流失最严重的地类。减少坡耕地，向梯田或林草转化，是体现一个县生态环境改良的重要方面。四个县中，以柳林县和离石县的坡耕地减少最大，分别减少了 23.3% 和 22.2%，中阳和方山县分别减少

了 18.2% 和 6%。

4. 林木变化的差异

方山县人工造林不多，主要是天然林的增长，增长了 6.2%（混杂有部分人工林）。离石县人工林增长了 11.8 倍，但天然林却减少了 12.2%。柳林县基本没有天然林，主要是人工林和枣林，两者分别增长了 8.9 倍和 54.7%。中阳县人工林增长了 5 倍，天然林增长不大，但果园却增长了 6 倍。

5. 居民、工矿用地变化的差异

离石城关是吕梁行署政府所在地，城市、工矿发展较快，因此占地也较严重。23 年间，离石县工矿、居民用地增长了 92.3%，方山县增长了 33.3%，中阳县和柳林县分别增长 27.8% 和

五、结语

通过 1958 年和 1981 年的土地利用结构动态对比分析，清楚地看到，尽管 23 年间土地结构变幅不大，但足以显示四县总的生态环境是在向好的方向转化。全区坡耕地和平耕地变幅较大，林草面积特别是人工林和枣林面积增长较快，尤以柳林县最为突出，这主要是七十年代后期大规模以农田基本建设为中心的水土保持综合治理的成绩。在这一历史时期，四县粮食亩产由 88 斤增至 201 斤。按省水保所提供的各地类土壤侵蚀模数估计，由于坡地改修梯田，裸沟坡变成有植被沟坡，每平方公里可减少土壤侵蚀量 721m^3 ，全流域可减少土壤侵蚀量 385 万 m^3 。

还应看到，该流域水土保持工作仍十分艰巨。绝大部分的坡地仍没有得到改良，裸沟坡的水土流失仍十分严重。方山县紧靠吕梁山，降水条件较好，但人工造林面积变化不大，离石县人工林增长了 11.8 倍，但天然林却减了 12.2%，这种一边造林一边毁林的现象应引起人们的重视。

兴县土地利用现状研究

刘军萍

(北京师范大学地理系)

兴县位于黄河中游的晋西黄土高原,吕梁山脉北部西侧。全县东西长 90 公里,南北宽 80 公里,区域轮廓近似于梯形,东与崎岚、岚县相连,南接临县、方山,西临黄河,与陕西神木县隔河相望,北和保德县相连,总面积 3165.3 平方公里(折合 474.8 万亩),是山西省土地面积最大的县。人均占有土地 21.2 亩,也是人均土地资源较多的县份之一。

一、兴县土地利用背景分析

土地能否利用和如何利用的问题受到许多因素所制约。农业生产用地结构作为一个多因素、多变量、多目标的大系统受制于自然因素、社会因素、经济因素和技术因素等很多方面的交织影响。

1. 自然资源及自然条件分析

兴县地处黄土高原,由于长期流水侵蚀切割,地形破碎,梁峁起伏,沟谷纵横,构成中山、低山、丘陵、河谷等多种地貌形态。这种复杂多样的地貌景观是在内、外地质作用下经过漫长的地质历史,使地形不断隆起和夷平而形成的。从地形上可划分为黄土丘陵沟壑区和土石山区两大区域,大致以木崖头、奥家湾、固贤一线为分界。东部土石山区裸露岩体主要是花岗岩、变质岩类,林草覆盖度高,水土流失轻微,生态环境良好。分界线以西,底部为三迭系砂页岩,表层被第四纪黄土覆盖,海拔高程在 725~1200 米之间,切割深度在 100~200 米左右,山顶呈圆峁状,山梁则波浪式起伏,沟谷呈“V”型,发育着一系列树枝状沟谷系统,地形被分割得支离破碎,构成了典型的黄土地貌景观。

兴县地势东高西低,东南部最高海拔 2203 米,西部最低海拔 725 米,相对高差达 1478 米,从而导致较大的地域差异。在气候上这种差异表现得比较突出,兴县属温带大陆性季风气候,日照充足,区内晴天日数多,空气较干燥,气温的水平分布呈由西向东递减的规律,年均气温东西方向的变幅为 6.5~10.6 之间,温差较大,而且沟壑比梁峁温差大,沿河带比丘陵温差大。无霜期的分布随地形的起伏而变化,一般是地势较高无霜期较短,自西向东无霜期由 190 天递减至 130 天左右,早霜沟谷受害,晚霜则山地受害,对农作物的布局乃至土地的利用方式有影响。降水量的多寡在黄土高原地区对于农业生产是一个重要限制因子。兴县的降水由东向西递减,东部山区为 550~600mm,而西部黄河沿岸仅有 450mm,降水的年内变化大,雨期集中于夏季,7、8、9 三个月的雨量占全年的 64%,多暴雨,从而引起严重的水土流失,沟谷切割程度日趋加重,兴县北部较之南部流失更严重。加之年均蒸发量 2090.8mm,是降水量的 4 倍。风大、气候干燥。综合以上各气候要素,兴县的主要气候特征可以归纳为“春季干旱多风,夏季酷热多雨,秋季雨量充沛凉爽,冬季严寒少雪,冬长夏短”。长时期的冬季寒冷干燥,底墒不足,春旱严重,风大,气温回升快,也加剧了蒸发,土壤的水分自然入不敷出,特

别是兴县大部分土地是坡梁地，耕作层薄，蓄水保墒能力差，因而兴县西部是一个典型的旱耕区。兴县的主要自然灾害是旱灾。

兴县河流流向多为自东向西，主要的河流有五条：岚漪河、蔚汾河、湫水河、南川河、交楼河（岚尾河）。水利设施包括建于岚漪河上游的天古崖水库、南川河上的阁冬湾水库、湫水河上的阳坡水库以及蔚汾河上游的东方红水库。这些河流均属黄河流域，与其他沟道组成树枝状水系网，是全省水资源相对丰富的县份之一。东部变质岩区地势高，降水多，产流多，径流深度大，中西部黄土丘陵区降水较少，径流深度小。宏观上讲，兴县山高沟深，微观分析则为坡地居多，大都是呈“V”型的侵蚀沟及坡度较陡的坍塌坡地面。坡度一般在 30° 以上，如此大的坡度，土壤质地疏松，抗蚀能力差，而且土地干旱瘠薄，植被稀少，雨量强度大且集中，水土流失的严重性可想而知。据兴县土地详查资料，全县未治理的水土流失总面积为 366 万亩，占全县总面积的 77%，其中坡度在 15° 以上的面积有 244 万亩，占 51.4%（见表 1）。

表 1 不同坡压水力侵蚀状况

项目 侵蚀程度	坡度	面积(万亩)	占比重(%)	侵蚀模数 (吨/ km ²)	输沙量 (万吨)
微度侵蚀	< 3 °	34.8	7.3	1000	20.2
轻度侵蚀	3 ° — 7 °	74.0	15.6	2500	115.75
小 计		108.8	22.9		135.95
强度侵蚀	7 - 15 °	122	25.7	8000	653.6
极强度侵蚀	15 — 25 °	164	34.5	13000	1431.3
剧烈侵蚀	> 25 °	80	16.8	15000	800.5
小 计		366	77.0		2385.4
合 计		474.8	100		3021.35

全县年输沙量 3021.35 万吨，通过蔚汾河、岚漪河和大小沟壑输入黄河。耕地中，平均每年侵蚀掉 1cm 厚的活土层，每亩流失泥沙 8~9 吨，使土地肥力处于极贫瘠的状态。耕地质量处于整体劣势，致使全县农业生产水平低，粮食产量不高，是发展农业生产的一个主要的制约因素。

2. 社会经济条件

兴县的历史悠久，早在三千多年前，便在蔚汾河谷建立家园。据旧县志记载，县境西北的合河关、合河津等地，曾为秦晋孔道，边防要地。抗战时期，兴县成为陕甘宁边区的屏障，为当时政治、军事、经济和文化的中心。但因地处僻壤，农业生产水平低，交通困难，信息闭塞，工业基础薄弱，加之长期以来封闭型经济政策与经营手段的小农经济意识，农业发展始终徘徊在较低水平上，是我国的“山、老、贫”的农业县区。

兴县拥有 24 个乡镇，人口 224171 人（截止到 1988 年底），其中农业人口 206462 人，占总人口的 92.1%，平均人口密度为 71 人/ km²，城关镇人口密度高达 514 人/ km²，而最小的人口密度在贺家会乡，仅为 38 人/ km²。人口的分布，也是受地形、气候、经济发展、历史因素等多种条件影响的结果。兴县境内的城关镇、蔡家崖、魏家滩、康宁、高家村等乡镇分布在蔚汾河、岚漪河、南川河的宽河谷地带，地势平坦，气候温和，农业生产条件较好，因而人口稠密。地处黄河沿岸的西南地区，山高坡陡，石厚土薄，气候干燥，

灾害频繁，农业低产，生活贫困，人口密度稀疏。而东山地区气候寒冷，农田单产低，人口更少。反过来，人口的分布形式也对土地的利用方向及程度产生相当的影响。

兴县人均占有土地面积 21.2 亩，在省内属地广人稀的地区。因自然条件的限制，从历史上就为典型的农业县，其中种植业在大农业中占有绝对的统治地位。经济基础相当薄弱，而且在农业的内部结构上，农、林、牧结构尚需进行调整，以改善目前脆弱的农业生态体系。

二、兴县土地利用的现状与特点评价

兴县自然背景和社会背景条件对兴县的土地开发利用格局产生了深刻而久远的影响，形成了以农用旱地为主导的土地利用特点。

根据 1990 年航天卫星遥感像 TM 的调查 ,全县总土地面积为 4747502 亩，兴县的土地利用现状是：耕地 1851526 亩，占全县总面积的 39%，其中水浇地 74061.0 亩，旱地有 1777465.0 亩，分别占耕地面积的 4%、96%；农业人均耕地 8.96 亩；园地在兴县全部是果园，其面积是 14242.0 亩，占全县土地面积的 0.3%；林业用地 1224855.0 亩，占全县总土地面积的 25.8%，其中，有林地 815752.0 亩，森林覆盖率为 25.7%，人均有林地 3.64 亩；灌木林地 388279.0 亩，疏林 20823.0 亩；牧草地（绝大部分为天然草地）有 1139400.0 亩，占全县面积的 24.0%；居民点及工矿用地、交通道路占地 74729.0 亩，占全县面积的 1.6%；水域面积为 79614.0 亩，占全县面积的 1.7%；未利用土地的面积是 358073.0 亩，占全县面积的 7.5%（见表 2）。

表 2：兴县土地利用类型数量结构及分布特征表解

类型	数量结构		主要分布部位及特征	
	面积(亩)	比重(%)		
耕地	小 计	1851526.0	39	黄土覆盖的丘陵区，在兴县的中西部分布
	水浇地	74061.0	4	河滩、沟、川地
	旱 地	1777465.0	96	黄土丘陵区旱地以坡旱地为主
林地	小 计	1224855.0	25.8	集中分布东部土石山林区、零星分布在黄土区
	乔木林	815753.0	66.6	东部林区，阴坡，天然次生林为主，中、西部黄土区散布人工林
	灌木林	388279.0	31.7	在东部山林区的阳坡，中西部黄土区的阴坡广泛分布、沟头
	其 他	20823.0	1.7	<主要指疏林>
草地	小 计	1139400.0	24	东部吕梁山顶有山地草甸，其余均为温带灌草丛，广泛分布于山地下部及黄土沟坡中
	天然草地	1139400.0	100	同上
其他用地	小 计	168585.0	3.7	
	园 地	14242.0	8.4	兴县园地集中表现为红枣园林，黄河及其一级支流的河道两侧
	居民点、工矿、交通	74729.0	44.3	居民点及工矿用地集中在县城周围，居民地分散，交通用地少且质量差
	水 域	79614.0	47.3	主要指境内的四座水库及五条河流，河网水系稀少，径流量小，水库蓄水量小
未利用地	小 计	358073.0	7.5	
	荒草地	252204.0	70.4	与草地的分布有联系，在黄土沟坡中，草地分布靠近沟头、沟的上部、而其下部为荒草地
	裸 岩	105869.0	29.6	裸岩的分布主要与河谷的切割程度有关，集中分布在西部黄河沿岸区

从兴县的用地结构现状和分布形式可以看出以下特点与问题：

1. 兴县土地的利用类型多样，按二级分类，第一级类型有八大类，第二级类型（含独立的级类型）有 20 类。但就全县土地利用而言，农林牧用地是主体，总用地面积为 4215781.0 亩占全县总土地面积的 88.8%，农业人口人均 20.4 亩。据 1988 年兴县的统计资料，农业总产中，种植业占 74.9%，林业占 7.3%，牧业占 11.2%。这也反映了在兴县农林牧用地占主体之中是以种植业为主导的农业用地结构。

2. 兴县土地利用的地域性明显。受自然条件的深刻制约与影响，兴县的土地利用现状表现出与自然环境的相对一致性即地域性的特征。从水平分布上，兴县的东部地势较高，气候湿润，植被盖度高，长势好，宜林宜牧，属林牧区；中部黄土丘陵梁峁起伏，土层深厚，川道平坦，生产水平较高，为主要农牧区；西部的黄河沿岸适宜红枣树的生长，为红枣经济林带，也可用以放牧。在垂直分布上也存在着较大的分异。在中、低山区（海拔一般在 1200m 以上）土地的利用以林牧占地比重大，农耕地仅以条块状分布于窄短的山谷

中；在丘陵区域，海拔高程在 800—1200m 范围，表层基本上为第四纪黄土覆盖，为黄土高原主要的农垦区，土地主要用于耕地，当然也生长有为了保护这些耕地的农田防护林及为防止水土流失的防护林体系。

3. 兴县土地开发的历史较早，因而对土地的广度开发程度较高。目前已利用的土地面积达 4391439.0 亩，占全县土地总面积的 92.5%，而未利用的土地仅占全县土地总面积的 7.5%。但土地利用的质量水平还很低。根据对本县土地资源评价的研究，兴县没有一等地，主要是四、五等地、分别占全县土地面积的 30.45%、40.5%，共计面积有 3368352.0 亩。因此作为农业开发的后备资源数量极有限。而且按照现有土壤条件、肥力因素、干旱缺水、人工投入及管理水平等条件来看，兴县土地的生产潜力也是很有限的。所以兴县今后对耕地利用的重点应放在对现有用地的管理，提高利用水平即生产力水平。

4. 耕地的分布特征是很明显的。主要表现在受地形和黄土地貌、地表组成物质的制约方面，基本上与土地资源的类型分布相吻合。谷缘线是黄土丘陵区坡地农牧业的重要分界，谷缘线以上的梁、峁坡面多属缓坡的旱作地，人造梯田多开设在这里。谷缘线与坡脚线之间为陡坡地，一般用作牧业地，如阴坡为草灌丛地，阳坡为草地。但也有少量陡坡旱地的开垦，造成水土流失强烈，这些亟待退耕还林还牧，以维持生态系统的平衡。坡脚线至河谷沟道之间是主要的基本农田区，主要类型是河滩水浇地、川沟谷旱地、沟坝旱地等，这些类型的土地数量很少，总面积仅 412084 亩，占全部耕地的 20.2%，因此旱地中以坡旱地占多数。在中、西部的黄土丘陵区，沟坡地与沟间地之比为 1.3 : 1，这反映出在黄土丘陵区，沟间地变窄，水土流失的程度加剧。同时也说明了兴县粮食生产低而不稳，至今尚未摆脱贫困的原因。耕地的分布受地形坡度的控制。一般说来， $> 25^\circ$ 的坡耕地甚少， $7^\circ \sim 15^\circ$ 是梁峁坡地分布的集中所在， $< 3^\circ$ 的沟、川通常为水浇地、沟旱地，这里土地平整，水分条件也较好。

5. 兴县土地的利用类型的分布形式大致有如下规律：总的利用类型分布的空间结构是由东到西逐步由林业向林牧业、农业、农牧业过渡，在每一过渡地带，林牧农用地相互交错，林地主要是东部的天然次生林区，黄土区的耕地（旱作）为面状分布；黄土区的林地——人工林（刺槐、杨类林等）的分布是零星散布的斑点状，镶嵌于旱耕地之中；牧草地和未利用地中的荒草地常见于沟坡部位，因而其分布呈由条、块状组成的树枝状展布。土地利用类型的组合也遵循了一定的自然规律，其空间的组合形式是：顶部（防护林）或旱地——缓坡地（旱地）——陡坡（坡旱地或固坡防护林）——沟坡（草地、荒草地）——沟底（水浇地、沟坝旱地）。从土地利用类型的数量来看其在空间的分配特征是：耕地的分布中西部多，林地则东多西少，牧草地的区域分配比较均衡；居民点的离散性与土地利用的相关是很明显的。

6. 园地中红枣园林的分布则代表了一定的环境指示意义。由于局部黄河沿岸的小气候，使得生长在暖温带的红枣林在这里能够集中连片地分布。

三、兴县土地利用分区概述

根据土地资源和自然条件的相似性，利用方向的一致性，集中连片保持

行政界线完整性的原则进行土地利用分区。全县划分为三个一级区：

() 东部土石山林牧区

面积：888km²，人均耕地 9.5 亩，林地 13.2 亩（不含林场），牧地 8.5 亩（含荒草地）。区内海拔 1500m 以上，年均气温 2.6~6.8℃，年降水量 550mm，无霜期 130 天左右，是全县降水最多，气温最低，森林面积最大的一个区。这里土壤湿润、植被盖度高。拥有省直东会林场、交楼申林场、县营恶虎滩林场，生态环境较好。

() 中部黄土丘陵沟壑农牧区

₁ 北中部黄土丘陵沟壑川道农牧区面积 1097.7km²，人均耕地 6.2 亩，林地 1.3 亩，牧地 4.2 亩（含荒草地）。区内黄土发育，河道短小，地形破碎。降雨集中于夏季，且强度大。沟壑纵横，缺乏植被，水土流失严重。全县的三条较大川道均在本区，水浇地面积占到全县的 80%，劳力充足，交通便利，人口较多。今后应着重搞好小流域治理，控制水土流失，发展水浇地与林地，改善农业结构，调整人地关系，有计划地退陡、急坡耕地，提高土地生产率。

₂ 西南黄土丘陵沟壑牧农区面积 935km²，人均耕地 11.2 亩，林地 4.5 亩，牧地 8.8 亩（含荒草地）。本区的地形地貌同 ₁ 基本相似，但地形更加破碎，无较宽的川道。水资源缺乏，交通困难，信息闭塞。本区适于种草栽树，发展以牛、羊为主的畜牧业，并尽快使陡、急的坡耕地退还林牧业。

() 黄河沿岸丘陵沟壑红枣经济林区

面积 244.6km²，包括黄河沿岸产枣乡村，从瓦塘镇后北会村——圪塔上乡大峪口村，82 公里长，5—7 公里宽的带状分布。目前人均耕地 6.3 亩，红枣 0.9 亩，牧地 2.9 亩。本区紧靠黄河，沟坡底部均已切割至基岩，坡陡、石厚、土薄，黄土仅残存于其梁峁顶部，植被稀少，并有逐步向东扩展的趋势。本区气候干旱，年降雨量 440mm 左右，旱灾发生的机率高于其他区域。但这里光照充足，气温高，热量资源丰富，年均气温 10℃ 左右。沿黄河岸地，相对湿度大，无霜期 170 天以上。早（秋）霜，黄河沿岸在 10 月 13 日前后出现；晚（春）霜，则出现于 4 月 3 日前后，十分宜于红枣树的生长。红枣的分布主要集中于瓦塘、高家村、赵家坪、罗峪口等村乡，且产量高，品质好，发展红枣的基础好，潜力大。本区的土地利用方向应是实行枣粮间作、粮草间作，逐步建成商品性红枣基地，并积极开发红枣的深加工。因为红枣的栽植，减少了大量良好的水浇地、河滩地，人均农业用地少，也带来了粮畜业的困难。

四、土地的综合开发及利用对策

农业在现代概念中是一个跻身于自然、经济技术、社会政治诸多因素综合作用的复杂而庞大的工程系统，是社会活动中的一个重要产业。土地资源是人口生存和社会发展的物质基础。在一定土地资源和生产力水平下，土地承载人口的能力是有限的。然而由于土地资源不会增加，人口却在持续增长，人地系统就要实现对土地利用水平的提高与人口增长率间相互匹配关系的调控，及时通过对土地资源的调查与动态监测研究，不断寻求提高土地承载力的途径。

从兴县的用地分布来看，整个空间结构总体上因其与土地资源结构相配合是基本合理的，但也有其不合理的方面：黄土覆盖的丘陵坡旱地连片分布，却缺少坡旱地和沟坡地的防护林网，且林地集中分布于东部。另外，数量结构上也不尽合理，农 林 牧=39 25.8 24，农业用地偏大，林牧比重偏小，水域与园地的比重更少。即便在农业用地中，以旱耕地为主。因而应制定出土地利用的总体规划，根据供需平衡的原则，确定最佳土地利用方案，从宏观上控制土地开发利用方向和总体布局。

从兴县土地的开发治理角度考虑，要大力改善与改造现有耕地的生产水平，保护耕地资源，稳定粮食种植面积。耕地是粮食生产的基本保证和基础，其数量、质量、经营管理方式都与粮食的增减有着密切的关系。这对于解决贫困地区农民的温饱问题是十分有益的。也正由于贫困地区农业发展迟滞，区域系统功能脆弱，粮食生产经常出现与自然灾害频率相一致的周期性波动。更需要提高人工投入，加强科学管理，增强抵御自然灾害的能力，防止新的水土流失。其次，要因时因地制宜制定不同的发展方向。山区面积广，资源开发潜力较大，要实行立体开发，综合而合理开发，建立起不同层次的“绿色企业”结构体系。如东部土石山林区生态环境较好，作为林场应以保护培育为主要目的以利用为第二的经营目的为原则，增加林相的层次，实现乔、灌、草三个层次的结合，提高覆盖率，也可适当发展经济林，增加农民收入。另如黄河沿岸发展红枣树具有优势，因此要向商品性红枣生产基地发展，并开发配套产品，这也是解决土地承载力过重的途径之一。

兴县是革命老区，为“老、少、边、穷”地区之一，因而农民的吃饭穿衣与脱贫致富是进行贫困地区开发亟待解决的首要课题。这也决定了贫困地区的农业区域开发战略的立足点是自我开发、自我发展和自我积累的基础充实阶段。目前防护治理是重点，挖掘土地的现实生产潜力是方向。同时对资源优势的评价要因时因地不断变化，需要更新传统观念，也需要经过论证后，决定开发资源的对策，不失时机地搞“双向开发”农业，亦即顺向开发与逆向开发相结合。

参考文献

- [1]兴县国土规划办公室，《山西省兴县国土资源》（送审稿），1989.12
- [2]兴县国土规划领导小组办公室，《山西省兴县区域国土开发整治规则》，1989.12
- [3]中科院国家计委综考会、中科院遥感所、高校联合遥感中心等，《黄土高原遥感调查试验研究》，科学出版社，1988.12

晋西地区森林资源遥感分析

刘军萍 刘慧平

(北京师范大学地理系)

晋西地区森林资源遥感调查是根据国家“七·五”重点科技攻关项目《黄土高原重点治理区遥感调查与系列制图(75—73—04—02)》的要求进行的。这里晋西地区包括吕梁地区、临汾地区的兴县、临县、方山、柳林、离石、中阳、石楼、永和、大宁、吉县、乡宁、河津等十二个县,大致位于 $E110^{\circ}15'$ 至 $E110^{\circ}33'$, $N35^{\circ}29'$ 至 $N38^{\circ}44'$ 之间,北与山西保德县、奇岚县毗邻,南与山西万荣县接壤,东抵吕梁山脉,西则以黄河为界与陕西隔河相望,面积约2万平方公里,区域轮廓为一南北长而东西窄的不规则狭长地带。从地貌类型来看,可分为北、中部的黄土梁峁丘陵区 and 南部黄土残塬区。全区地面切割严重,地形支离破碎,土质疏松,水土流失严重,土壤侵蚀模数达10000吨/ km^2 ,不少河流切割至基岩,而且降雨量稀少,森林的立地条件较差。

本区的植被属于温带暖温带落叶阔叶林带,地带性植被由栎类和其他落叶阔叶林组成,还有温带针叶林——油松等。但本区的自然植被遭到破坏严重,天然林集中分布于山地林区,大部分为人工林,主要乔灌木树种有:油松、落叶松、辽东栎、杨类林、刺槐、侧柏、柠条、柽柳、虎榛子、山杏、绣线菊等,还有一些干鲜果经济林。

一、遥感分析的技术原则

采用新一代遥感信息1986年8月接收的陆地卫星TM图象(1:10万)作为主要信息源,同时辅以MSS影像(1:10万)、彩色航空红外片(1:5万)及多次野外踏勘调查来完成森林资源的遥感分析。具体遵循以下原则进行:

1. “三多”、“三结合”原则 采用多方信息源、多个层次控制、多种方法解译,应用国内外最新成果,并结合本区的具体条件;使用多种技术手段,并与传统方法相结合;采用遥感技术调查与常规非遥感技术调查相结合。既要考虑遥感图象显示的可能性(亦即可解译性),又要考虑生产上的需要性。

2. “三个为主”原则 在技术上突出三个为主原则,即以遥感分析为主,以目视解译为主、以地学生物学规律相关论证为主,达到实用性与科学性的融合。

3. “两个精度”原则 指遥感解译的定性(含定位)精度,面积量算的定量精度要同时比较考虑。根据选择试验区进行的部分主要地类的解译与精度分析,在TM影像上,乔木林一般可以分辨出针叶林和阔叶林。针叶林的相对判对率达82%,相对面积精度为80%;人工林地可以辨别出其树种,如杨类林、刺槐、油松林等,其中人工刺槐林的相对判对率达90%,相对面积精度达85%;其他林地如灌木林的两种精度均可达90%。总之林地类型的平均相对率是90%,平均面积精度是85%。因而TM影像用于专题森林图的制

作是可行的。

二、森林类型的遥感分析

1. 遥感判读基础

地表的自然地理景观在景像上表现出一种综合效应，构成对应的纹理、图型、色调及其组合。由于卫星影象分辨率的限制，植被个体都难以在影像上反映出来，但其群体形式特别是人工植被有一定的平面几何形状和大小对区别植被类型是十分有益的。

植被的分布规律是指它在三维地理空间——纬度、经度、高度——所表现出来的组成成分和组合形式变化的规律，水分和热量在这三维空间中的分配差异是造成植被纬度地带性、经向地带性和垂直地带性形成的主导因素；另一方面，植被又是自然地理环境中的一个要素，其它诸如岩石、土壤、地貌以及人类的生产生活行为等因素又不断地通过各种形式影响着它。这就决定了植被除地带性变化规律外还存在着区域性特征和人为改造的影响。自然植被的分布往往与海拔高度、地貌部位有关，在影像上也有一定的几何形状及其组合形状。如中高山顶部为亚高山草甸，其分布范围占据山峰顶部，因而在影像上表现为星形闭合图斑；而针叶林、阔叶林则循一定的高度沿山脉走向、山形分布，在影像上呈带状或条块状。

掌握以上认识，是解译的基础。

2. 主要类型影像特征分析

根据不同树种类型的生物学特征、树种与地类间的关系可以区别划分出有林地、无林地及非林地等地类。林地在 TM 标准假彩色合成影像上主要以不同程度的红色和特殊的群体边界区别于非林业用地。不同树种其冠形、大小、树叶颜色等林相特征不尽相同，因而构成了不同的影像结构。尤其是由于时相的关系，不同类型的树种也显示出不同的生物学特性。这些特征形成了区别于其它地类的有效的直接解译标志，即影像的形状、大小、色调、纹理等。不同树种的分布也是不同的，因而运用森林生物学、森林的空间分布规律等地理相关分析获取的关于地貌、地形、人为活动是极有帮助的间接标志。在只有单一时相的图象时更如此（表 1）。

表 1 主要森林类型在 TM 影像上的判读标志

项目		判 读 标 志			
森林类型		地形分布	图斑特征	影纹特征	色调特征
主要森林类型	人工油松林	阳坡、半阳坡缓坡地、坡麓	图斑规则，边缘整齐	表面粗糙均匀，颗粒状	紫红色
	侧柏	阳坡、半阳坡石灰岩山地上(低山丘陵区)	图斑不规则，边缘整齐	表面粗糙均匀，颗粒状	紫红色
	人工刺槐林	阴坡、半阴坡黄土丘陵区	图斑特征规则，面积不大	结构均匀	鲜红色
	疏林	分布没有规律，多距居民点很近	图斑不规则，边缘不整齐	颗粒明显分布不均匀	红色斑点状分布
	杂类乔木林	分布无规律，多见于山地	同上	表面虽粗糙但结构均匀	鲜红色
	杂类灌木林	分布无规律，多见于阴坡、半阴坡坡麓	同上	影纹均匀致密	红色、黄红色、桔红色

在调查区内，最常见的针叶林是人工油松林和侧柏。人工油松林主要分布于海拔 1000 米以上低中山地区，在山区主要展布在 20° ~ 35° 的阴向陡坡，土层 30 ~ 100cm 厚，而生长在向阳陡坡薄土层上的油松林较差。侧柏则适合于低山丘陵区石灰岩地层环境的阳坡、半阳坡生长。阔叶林的主要树种是杨类林和刺槐林，且多为人工林，成片的人工林多与居民地或交用地相伴分布，呈斑块状。人工刺槐林多生长于平川区和黄土丘陵梁峁区的缓坡地，分布相对集中，面积较大。

三、森林资源的特征和分布规律

《晋西地区森林资源类型分布图》的编绘及各类型的面积量算数据(10 万，称重法)反映了晋西黄土丘陵区的森林类型、组成、性质、分布规律、数量分配和区域结构，揭示了森林的性状和成因。同时也展示了调查区林业发展现状及存在问题。

1. 森林类型的数量结构

根据 1:10 万《晋西地区森林类型分布图》称重法量测面积的结果，全调查区有森林资源 768.48 万亩，其中有林地 349.37 万亩，灌木林 403.92 万亩，疏松林 15.19 万亩。全区总土地面积 29921504 亩，平均森林覆盖率 24.54%，见图 1。

2. 森林类型的配置结构

从森林类型的数量分配表(表 2)中分析，调查区的森林资源用地占全区总土地面积的

表 2 晋西地区森林类型数量分配表 单位：亩

森林类型	全区森林	侧柏	油松	山杨	刺槐	杨类	杂木林	混交林	经济林	灌木林	疏林
面 积	7684773	38230	193620	975	755741	23732	2381356	99605	37937	4039214	151855
占全区森林 总面积比例%	100	0.497	2.52	0.013	9.834	0.309	30.99	1.296	0.494	52.561	1.976
占全区土地 总面积比例%	25.683	0.128	0.647	0.003	2.526	0.0793	7.959	0.333	0.127	13.499	0.508

25.68%，有林地占全区森林面积的比例为 45.46%，灌木林和疏林共占到全区森林面积 54.54%。有林地中乔木树种的组成很简单，以杂木树为主，占有林地面积的 68.16%，占全区森林面积的 30.99%；刺槐次之，占有林地面积的 21.63%；但用材较好的油松林比重很小，占有林地面积的 5.54%；仅占全区森林面积的 2.52%；经营经济林的果园面积则数量更少，仅占全区森林面积的 0.5%弱。就全调查区来讲，乔木林的面积很小，数量偏少。

3. 森林类型的空间结构

调查区范围很大，其内部自然环境因子的空间差异明显，具体表现出热量和降水、地貌存在着显著的南北水平差异和东西垂直分布差异，森林的分布相应也带有很强的区域性（表 3）。

林地集中分布于东部的吕梁山地和中、南部的岛状石质山地（兴县、临县交界的紫金山、吉县的人祖山等）。西部黄土丘陵区则主要散布着人工林地，如人工刺槐、杨树和柠条。在黄土沟谷、黄河沿岸基岩坡地上零星散生有灌木和杂草。紫金山和人祖山等中部和南部石质山地以天然次生阔叶林和灌木林为主，局部地区有人工油松林与其形成针阔叶混交林，主要树种为松树、山杨及沙棘、鼠李等，植被生长繁茂，覆盖度较大，有较良好的森林生境特征。而东部的土石山区，吕梁山脉的关帝山中上部为茂密的落叶针叶林、常绿针叶林和落叶阔叶混交林，为天然次生林区，生长着云杉、华北落叶松、山杨、栎类林，覆盖极好，并有厚层枯枝落叶层和腐殖质层，这里的森林的生态环境很好，是晋西及整个黄土高原重要的林区。其下部是温带暖温带落叶针叶林和灌木林占优势，主要乔木林树种有油松、侧柏、辽东栎，主要灌木种类是沙棘、酸枣、怪柳、虎榛子、荆条、胡枝子等。在山地与黄土区的过渡地带及南部侵蚀轻微的黄土残塬区和山地中，主要是由疏林和灌木林组成的林相。在以黄土区为主的各县中，林业用地比例不足 18%。柳林、临县、石楼、大宁、永和诸县的面积占全区 41%，而林地面积仅占全区的 20%。

从森林覆盖率来看，最高的是方山县，达 46.2%，最低的仅 3.8%，是柳林县，两县相差 13 倍之多。森林的覆盖率呈现出规律性变化，最北部的兴县、临县为黄土丘陵梁峁沟壑区，森林覆盖差；往南偏东的方山、中阳、离石靠近吕梁山地林区，森林的覆盖率很高；再向南至调查区的中部地区柳林、石楼各县，由于该区地处黄土侵蚀切割严重区，植被的生长条件不好，故而这里的森林覆盖率减小；南部黄土残塬沟壑区的大宁、永和以及吕梁山脉南端的乡宁、吉县森林的数量及分布见多见广，森林覆盖率明显上升。以上情况说明，调查区的森林类型分布规律首先表现在水平地带性上，随着地貌的变化而产生南北方向上的分异，具体指：山地与黄土丘陵区森林分布的差异；黄土丘陵区内部因其微地貌条件变化，森林的类型分布也展示出一定

的规律性。如人工油松林、刺槐林多栽植在坡脚处，而灌木林多见于阴坡的沟坡中，在沟谷川地生长的多是农田防护林网和经济林；天然次生林主要分布于人烟稀少的河流上游大山脉主脊两侧的林区，西部林区从乡宁、吉县开始沿吕梁山脊蜿蜒北上。

其次，调查区的森林分布规律还表现在垂直地带的分界上。随着海拔高度的变化，由西往东，地带性植被发生变化。山地森林垂直带谱最明显的是吕梁山脉的关帝山峰，其下部 800 ~ 1400m 为疏林灌丛带，以侧柏为主；950 ~ 1700m 为低山针叶林带，以油松为主；1600 ~ 2100m 为阔叶林带，以山杨、杂木树为主；1850 ~ 2600m 为针叶林带，以华北落叶松为主；> 2500m 则为亚高山灌丛草甸带。而在 1600 ~ 2200 或 2500m 之间的针叶或针阔混交林冠下，分布有山地棕壤，土壤肥厚，表层有机质含量在 10% 以上，适于林木生长，是本区主要的森林地带。

综上所述，本调查区内，森林资源的数量少、类型简单、分布不均匀、质量优劣不等，树种杂，用材价值低。森林的分布集中于山地，且表现出明显的垂直分异。从森林的更新改造情况看，本区的森林多是天然次生林，又仅存于局部山地区，林相不整。而在黄土丘陵区占绝对优势的是人工林（包括刺槐林、杨类林等）。

四、森林资源的发展方向与开发建议

森林是以木本植物为主体的陆地生态系统，在黄土丘陵沟壑区，对于防治水土流失，改善

表 3 森林类型分县面积统计表

单位：亩

统计 单位	总面积	有林地											灌木	疏林	森林覆 盖率%
		合计	针叶林			阔叶林				混交林		经济林	杂类		
			侧柏	油松	云杉	山杨	刺槐	杨类	其它	针阔	阔叶	果园			
兴县	4747520	829994		16397			244236	4731	534644		15744	14242	388279	20823	25.7
临县	4467151	427524		24739	287321	837	95480		10213	8934	187120	1823	13.7		
方山	2151148	487971		34706	12479	975	31003	780	397239	10789			505859		46.2
离石	1991549	293648		881	529		23639	881	265751	1967			473998	3083	38.5
中阳	2152634	433942	24333	37394			6095		416120				469477	4503	44.3
柳林	1921170	72851		302			59446	517	1469	67.0	5286	5764	692	1383	3.8
石楼	2610899	140613		3740			40482		93466	2925			202752	11717	13.2
大宁	1450800	77294	2883	10025			11942		51617	827			164347	15151	16.7
永和	1829550	98182	1399				9103		84021			3659	187312	7226	15.6
吉县	2665951	331370		47055			26443		234776	23096			584630	29325	34.4
乡宁	3043500	273930	9615	18381			14409		206077	25448			853263	38467	37.0
河津	889650	26385					1622	15986	696		3243	5338	21485	18354	5.4
全区	29921504	3493704	38230	193620	13008	975	755741	23732	2381356	65119	34486	37937	4039214	151855	24.54

局部生态环境、局地小气候有着重要意义。在森林这一生态系统中，能源与物流的转化和输送、储存和还原过程中的功效性能是比较低的，属于低效的脆弱的生态系统，尚不能充分发挥其涵养水源、调节气候的作用，这也是这里生物失调、气候失调、自然灾害频繁的重要原因之一。本区森林资源少而不均，水土流失严重。不仅光能利用率低，使能量在生产者这一营养级上的流动受到了明显的影响，而且大量表土的流失，土壤和动物及微生物生息的环境遭到破坏，使之比例发生变化，土壤生态系统中的消费功能和分解功能显著减弱，造成了有机质含量降低。晋西大部分耕地的有机质含量在0.3~0.8%之间，土壤严重贫瘠，农业生态系统出现了恶性循环，同时也带来了当地人民贫困的生活。因此改良和扩大森林用地面积，提高森林覆盖率，不仅是发展农业生产的需要，更是整治黄土高原的关键措施。因地制宜，科学造林是十分有益和有效的改造措施，也是发挥森林效益的基本保证。

（一）存在问题分析

1. 土地利用结构不合理，农林牧用地比例不恰当，为 42.2 29 27.8，农业用地比例过大。片面强调粮食生产，搞广种薄收经营粗放的单一农业经济，毁林开荒现象严重。
2. 植被分布不均，造林的空间发展不均衡。黄土区的林地呈斑块状分布，而林地则主要集中于山地区。造林速度慢，质量差，造林存活率低，且缺乏系统地整体安排与规划布局。
3. 树种杂而不优，郁闭度小，蓄积量少，经济价值低。阔叶林中相当一部分为老幼不齐，疏密不均，树种劣杂，生长衰退的林分，需要改造利用。灌木林中只有方山的沙棘林的经济价值较高，值得推广栽植。
4. 对森林的经营管理不善，造成“只造不管，白干一场”，事倍功半。

（二）林业的发展方向与措施

晋西地区正处于黄河中游水土侵蚀的强烈区，这里森林经营的重点应在于培育而不是利用。因此今后要加强抚育间伐，改善森林生长条件，提高生长量；改造次残林份，并结合改造作业利用成熟林，一面提高森林质量，一面为国家提供一定数量的木材。总的发展方向应为防护林、用材林并重，积极发展经济林和新炭林。

在主要河流发源地和上游的土石山区，着重营造水源用材林，其中阳坡在 35° 以上，阴坡 40° 以上营造水源涵养林；小于 20° 的则营造用材林，而防护林尤其水土保持林主要布局在水土流失严重的黄土丘陵沟壑区。

要建立丘陵、山区综合防护林体系。在黄土丘陵区，水土流失是主要生态灾难，建立以水土保持林为中心与山地农田防护林、薪炭林、经济林、小片用材林相结合的水土保持林系统；在山区则建立以水源涵养林为主，包括用材林、特种经济林以及山地防护林、自然保护区等内容的水源涵养林系统。

具体措施有：

1. 人工造林更新是扩大森林资源的主要途径之一。封山育林也是一种

扩大森林资源的可靠的良法，尤其在林区有天然下种母树的荒山荒地上。要实行科学造林，即适地适树，坡度在 25° 以上的土地要尽快退耕还林还牧，为扩大造林植树面积提供条件。大量造林的同时，要并重考虑当前林相的改善，以人工更新为主，结合天然更新，将次生残林改造为以针叶林为主的优质成分，提高森林的质量。

2. 确立营建防护林的首要地位，调整树种结构，在配置方式上，根据“因地制宜、因害设防”的原则，按不同地区的条件与要求进行合理布局，以发挥其最大的防护效能。增大防护林比重并扩大其效益。防护林主要布局在水土流失严重的黄土丘陵沟壑区。梁峁区水蚀比较轻微，但地势较高，风害严重，土壤干旱贫瘠，尤其是迎风坡因其风速大，蒸发与蒸腾均较强烈，不但土壤干旱，也常造成生理干旱。因此水土保持防护林更须选择抗风耐旱性树种如刺槐、杨类、侧柏、辽东栎及胡枝子、荆条、紫穗槐等。按地域特点及流失程度可分为不同的水土保持类型。水源涵养林在干旱缺水的地区作用明显。研究表明，在华北石质山区，森林覆盖率每增加 1%，则流域内径流深就增加 $0.4 \sim 1.1\text{mm}$ ，所以意义深远。防护林建设应推行以小流域为单元的综合治理。即以造林为主，配合水保水利工程和种草等生物措施。按流域进行坚持综合治理、集中治理、连续治理。要发展山地（坡地）防护林，用以缓流固坡，阻止沟岸扩张，在缓坡丘陵，顺现有地埂或沿等高线营造防护林，选择树种时，挑选根系发达、固土作用明显的速生树种。同时要注意灌木的比例，尽量采用乔灌混交型或针阔乔灌混交型。但在侵蚀严重的陡坡，可先全部种植灌木或以灌木为主的乔灌混交林，待立地条件改善后再增加乔木及针叶树种。

3. 造林树种要针阔并举，乔灌结合，多种多样，分区指导，比例适当。在树种组成上，主要采用适应性强、繁殖容易、蓄水保土作用大的速生树种，并以构成乔灌混交的复层林，即适当保留一些杂木和灌木，大力营造混交林，要为主栽树种选好辅佐树和灌木，构成两个树冠以上的多层次混交林相，在垂直结构上形成更浓密深厚的树冠，提高森林郁闭度，同时增大防护作用。

4. 经济林要扩大面积，提高产量，改进品质。如在大河河谷的低丘和阶地上，发展红枣树，实行枣粮间作生产。在适宜发展经济灌木的地区如方山对沙棘的开发利用是颇有效益的，这样群众又能从造林中得到实惠，提高造林的积极性。

5. 重视薪炭林的发展。在晋西地区甚至在整个黄土高原地区燃料、肥料、饲料是十分难予解决的，适当发展薪炭林，是切实解决“三料”的开源良方。

6. 综合林业开发，形成多功能、多效益、多层次的林业生态系统，搞好林业区划，指导生产，促进农、林、牧、渔综合发展。晋西黄土丘陵沟壑水保区，从保持水土入手改变自然条件，结合营造阔叶树速生丰产林和小片经济林，尤其在黄河沿岸发展红枣，在方山发展沙棘。造林树种主要选择油松、刺槐、杨类、枣类等。而晋西南黄土残塬护源林区，主要在塬边沟坡营造防护林，固沟护塬，减少溯源侵蚀。此外，在向阳背风的低山黄土丘陵区适宜发展果树。而在山地林区，一方面要保护经营，另一方面要人工改造其劣质林相。用材林的造林除选用速生阔叶树外，还应选用经济价值较高的油松、华北落叶松等。扩大森林面积，改变森林现状，不仅靠生物措施，

还要结合必要的工程措施。林业生产，一靠政策，二靠科学。所以要提高各级人员的造林护林意识，因地制宜，发挥优势，丰富森林资源，提高森林覆盖率，造福人类，造福未来。

参考文献

- 〔1〕“七·五”国家重点科技项目《黄土高原重点治理区遥感调查与系列制图（75—73—04—02）》，系列研究报告（打印稿），1991.1
- 〔2〕山西省简明林业区划，山西省林业区划办公室，1982.9
- 〔3〕山西省能源基地综合规划林业课题论证会论文选编，山西省能源基地综合规划林业厅规划组，1983.1
- 〔4〕《安塞资源与环境系列图说明书——黄土高原遥感调查研究》，测绘出版社，1988.12
- 〔5〕《黄土高原遥感调查试验研究》，科学出版社，1988.12
- 〔6〕许燮漠、陈章琛主编，《土地利用工程》，农业出版社，1987.12

**晋西黄土高原重点治理区
草场资源研究
刘慧平 王卫 刘军萍
(北京师范大学地理系)**

晋西黄土高原重点治理区草场资源的研究工作,是以 TM 影象作为主要信息源,完成了影象的计算机几何纠正,光学处理,样区分析,样地调查,室内判读,野外校核,面积量算以及精度分析等遥感调查工作,并编绘了 1:10 万“晋西黄土高原重点治理区草场资源图”。通过研究分析,对晋西黄土区草物资源有了较全面的认识。

一、草场的遥感研究与制图

在本区草场类型图的编绘过程中,以多信息源,多层次,系列制图为原则,采用光学处理,地学—光学模型分析,常规调查等多种方法相结合,保证制图精度。

1. 工作程序及技术路线

本研究使用的信息源有:1986 年 1:10 万 TM3,4,5 波段合成影象作为主要信息源,经过几何精纠正,影象清楚,定位准确;1981 年的 1:2 万彩色红外航片和 1986 年 1:6 万彩色红外航片作为样区分析和建立解译标志的辅助信息源;多时期的 1:10 万 MSS 影象作为多时相植被分析的辅助信息源。

以 1:10 万的最近出版地形图编绘工作底图。工作流程如图 1 示。

在技术方法上本研究具有以下特点:(1)遥感技术与常规方法结合,建立各类型的地学—光学模型;(2)航片样片的微观分析与卫片的宏观分析相结合,解决难点,发现规律;(3)注意多时相分析和辅助信息分析,消除干扰,提高精度。

TM 影象提供了草场资源的空间分布规律和草场资源的地学环境信息,是草场类型图编绘的基础信息。草地的影象特征又因其立地条件不同而有差异。野外调查工作的任务是查清草场类型与立地的相互关系,从而建立草场的光谱特征(影象特征)—立地条件—草场类型分布规律的关系(地学—光学模型)。室内判读的基本依据是野外调查所建立的关系模型。运用所建立的模型并通过航片及多种信息的比较分析,对各类型图斑勾画。转绘成图采用蒙片法。面积量算以称重法进行,经三级控制即地形图幅、行政区及称重图幅控制,三级平差后,产生各草场类型面积清单,精度较高。

2. 分类系统和解译标志

晋西草场类型图的分类系统是依据《黄土高原重点治理区遥感调查草场类型图制图规程》,按三级,即类、组、型进行分类。类——反映以水热为中心的气候和植被特征,即地带性或大范围生境条件下的隐域性特征;组——反映在一致的中地形条件或基底条件下,植被因生境条件或经济价值差异而产生的生态生活型;型——是由草场植被的相同建群种或优势种组成。

晋西的草场类型的分布由其所在的地理位置及气候条件所决定。本区地

处暖温带半湿润半干旱气候，草场类型主要有丘陵草甸草原类、山地丘陵灌丛类及少量低湿地草甸和山地草甸类。其草场类型和解译标志如表 1 所示。根据分类系统，本区草场类型的一级分类按植被带和大地形进行划分。草甸草原与落叶阔叶林的分界大体在方山、离石、中阳的西部，至石楼北部。此界线以西以北为丘陵草甸草原，以东以南为山地丘陵灌丛草原。二级的划分按照中地貌进行，主要依据草场分布的地貌类型和地貌部位的差异进行。三级则主要按照影象的特征和立地条件进行判读。

二、草场资源的空间分布特点

本区草场资源丰富，种类多，面积大，具有发展畜牧业的条件。研究表明：本区有草场 7400199 亩，占土地总面积的 24.7%，其中可利用面积 6076349 亩。各草场类型在空间分布上

表 1 晋西草场类型及解译标志

草场类型			解译标志	地形、地貌部位及立地条件
分类	编号	类型		
丘陵 草甸 草原	10	铁杆蒿 杂类草	色调呈黄棕色，有枝状纹理	分布于北部近山地或近山地、丘陵阴坡处
	11	芨蒿 杂类草	色调呈黄褐色	分布于北部近山地、丘陵阳坡，范围较小
	12	白羊草 杂类草	色调由黄、黄绿到浅棕色	分布于石楼县以北，多在黄土沟坡坡度较缓地区
	13	针茅 杂类草	色调棕黄，有小羽状纹理	分布于北部石质及土石山地边缘及部分阳坡
	15	达乌里胡 枝子，杂 类草	色调呈棕绿到棕色，较暗	分布于石楼北部附近的黄土沟坡的阴坡
山地 丘陵 灌丛 草丛	16	沙棘 杂类草	色调呈浅红色、黄红、红棕	分布于北部山地沟坡上
	17	黄刺梅 杂类草	色调棕红至棕色不等	分布于北部及中部土石山地阴坡，少量分布于石质山地阴坡
	18	荆条、酸枣 杂类草	呈棕褐色	分布于山地阳坡土层较薄部位
山地 草甸 草原	19	胡枝子 杂类草	影象呈红棕色至棕色	分布于南部石质山地边缘及土石山区
	22	铁杆蒿 杂类草	影象呈棕绿色或浅棕色	分布于南部近山地或黄土沟坡阴坡
	23	针茅 杂类草	呈棕黄或棕绿色调	分布于南部近山坡边缘及部分阳坡
	24	白羊草 杂类草	呈黄绿，绿棕、浅棕、浅棕不等	广布于南部黄土沟坡
低湿 草甸	33	苔草 杂类草	呈红棕、黄红色调	分布于南部黄河滩地
	36	拂子草 杂类草	呈浅红或黄红色调	分布于北部沟川中
亚高山 草甸	40	苔草 杂类草	呈桔黄色	分布于北部土地，海拔大于 2000 米地带

具有以下特点：

1. 具有明显的地带性规律

本区草场资源受气候、地形、土壤等自然因素的影响和人类利用改造方式的不同，在空间上具有较强的地带性分布规律。

(1) 丘陵草甸草原类 本区有丘陵草甸草原草场 3118609 亩，占全区草场总面积的 42.1%，其中可利用草场面积 2650817 亩，占全区可利用草场的近 44%。

丘陵草甸草原草场分布在方山、离石、中阳的西部至石楼以北的地区。主要有灌木、半灌木组的铁杆蒿杂类草型、芨蒿杂类草型；禾草组的针茅杂类草型、白羊草杂类草型和胡枝子组的达乌里胡枝子杂类草型的草场。共 3 个组，5 个型。灌木、半灌木组的草场，分布于近山地丘陵的沟坡上，以阴坡分布较广。禾草组中以白羊草占优势的草场分布范围最广，在水分条件较差的地区亦有分布，占丘陵草甸草原的 88%，以黄土沟壑区分布最广。本类草场产草量在 250—650 斤/亩不等，可承担 399421 个羊单位的载畜量。

(2) 山地丘陵灌丛草丛类 分布于方山、离石、中阳的东部，石楼以南的地区。本区含 4 组，7 个型的草场类型。共 4270950 亩，占全区草场总面积的 57.7%。其中可利用面积 3416759 亩，占全区可利用草场的 56%。在本区内，本类草场的各类型分别以沙棘、黄刺梅、荆条、胡枝子、铁杆蒿、针茅、白羊草为优势种。

在黄土沟壑区，以白羊草杂类草草场为主，在近居民地等过牧地区，多铁杆蒿杂类草分布。近山地，针茅杂类草草场增多并分布有少量铁杆蒿为优势的草场。北部山地下部，多以白羊草为主，有小片铁杆蒿分布。山地上部，则多分布沙棘、黄刺梅等占优势的草场类型。南部山地，多分布以胡枝子、黄刺梅、荆条占优势的草场，以胡枝子杂类草分布范围较广。

该类草场的产草量因类型不同具有较大差异性。产草量在 100 公斤至 400 公斤不等，载畜量为 443754 个羊单位。

(3) 山地草甸类和低湿草甸类 本区有广大的吕梁山地分布，在海拔 2000 米以上的山地分布有少量的亚高山草甸，以苔草为优势种，共 6240 亩，占全区草场总面积的 0.08%，主要分布于方山县和离石县境，每亩产草量可达 500 公斤至 800 公斤。可承担 1767 个羊单位的载畜量。

低湿草甸草场主要分布于方山县和河津县的河谷中。北部以苔草杂类草草场为主，共有 2603 亩。南部以拂子草杂类草为代表，共 1797 亩。本类草场占全区草场的 0.06%，产草量 200 至 300 公斤/亩，可承担载畜量为 560 个羊单位。

2. 空间分布不均

全区总草被覆盖率为 24.7%，但空间分布不均（表 2）。以永和县草被覆盖率最高，达 38.7%。以河津县为最低，仅为 5.8%。草场面积和所占比例较大的县为石楼县、大宁县和永和

表 2 草场分布状况

县名	草被覆盖率(%)	草场亩/羊单位	县名	草被覆盖率(%)	草场亩/羊单位
兴县	24	2.03	石楼	32.7	3.05
临县	25.3	2.13	大宁	35.7	3.7
方山	16.1	1.8	永和	38.7	3.85
离石	16.1	1.7	吉县	23.8	2.2
中阳	22.2	2.45	乡宁	24	1.5
柳林	20.8	1.4	河津	5.8	0.4

县，其比例均在 30% 以上。除河津县以外，方山县和离石县草场面积也较小，比例低于 20%。其它各县草场所占比例则在 20% 左右。其原因与地貌类型分布差异和农耕地的开发程度有关。土石山地的分布，宽谷缓坡的地表形态以

及耕地的集中开发使草场比例加大。如石楼、大宁、永和三县有较大面积的土石山地分布。兴县和临县的沟谷宽坦，坡度较缓，因而草场面积相对偏大。柳林县和河津县因农耕地分布范围很广，柳林县地形破碎，沟深坡陡，河津县则大部分地区处于洪积冲积平原，耕地广布。因此二县草场比例偏低。方山县、离石县和中阳县因大部分地区为林区，草场比例亦较低。

本区各县每羊单位占有草场面积如表 2 所示。以农耕地为主的柳林县和河津县，畜牧业主要依靠作物秸杆和少量灌木和枝叶进行。草场比例较高的石楼、大宁和永和三县，草场承担了大部分牧畜业的发展。林地面积较大的方山、离石和中阳县，乔灌木的枝叶则承担主要的载畜量。

3. 分布广且分散

本区草场分布于各种地形地貌部位上，但集中连片的草场很少，多为小片分散分布。在土石山区和石质山地边缘，有较大面积的草场分布，但数量较小。广大范围的草场多分布于黄土丘陵沟壑区的坡度较缓的沟坡上。由于本区地形破碎，分布于黄土区的草场呈枝状分布，连片面积较小。黄土区的农地基本将梁峁顶坡等坡度较小的地区辟为耕地，加之人工林地的分割，使草场分布逾加分散，给草场的利用改造造成不利。

三、草场利用问题及途径

本区草场在空间分布上存在着规律性强，分布不均且分散等特点，在利用改造中存在以下两方面问题：

1. 牧业发展不平衡，总体超载严重

研究表明，全区草场的理论载畜量为 845,501 个羊单位，作物秸杆及乔灌木枝叶可载畜 1,948,069 个羊单位，总载畜量为 2,794,248 个羊单位。1988 年统计资料表明，本区有牲畜 8,005,514 个羊单位。本区现超载 211,266 个羊单位。各县情况如表 3 所示。

全区畜牧业发展总体上严重超载，但在空间分布上，超载轻重不均，牧业发展不平衡。本区方山县、离石县、中阳县和吉县目前还有较大的牧业发展潜力。在超载的各县中，以柳林县和河津县最为严重，共超载 370,541 个羊单位。本区各县中，黄土区所占比例大于 70% 的县，如兴县、临县、柳林、石楼、大宁、永和、吉县、河津，均有超载。由于严重的超载，造成草场的退化，加剧了水土流失，从而导致畜牧业生产陷入低水平的恶性循环。

表 3 晋西各县载畜量分析

县名	土地面积 (亩)	草场毛面积 (亩)	草场 占总 面积%	可利用面积 (亩)	草场理论载畜 量(羊单位)	桔杆及树枝 叶载畜量 (羊单位)	总载畜量 (羊单位)	超载量 (羊单位)
兴县	4747502	1139400	24.0	961678	98701	305377.8	404078.8	67482.2
临县	4467151	1130189	25.3	958798	173505	189226.5	362731.5	87009.5
方山	2151148	346335	16.1	286683	51596	233782.8	285378.8	-182037.8
离石	1991549	320639	16.1	259046	36307	187646	223953	-69465
中阳	2152634	477885	22.2	394274	54070	23009	284079	-123391
柳林	1921170	399218	20.8	339335	55302	42056	97358	143936
石楼	2610899	853764	32.7	690321	122820	89619	212433	14065
大宁	1450800	517936	35.7	414349	34418	68285	102703	9051
永和	1829550	708016	38.7	566413	47821	73682	121485	25508
吉县	2665951	635812	23.8	508649	87763	225229	312992	-83904
乡宁	3043500	730440	24.0	584351	63917	285984	349901	36328
河津	889650	140565	15.8	112452	19281	17753	37034	226605
合计	29921504	7400199	24.7	6076349	845501	1948069	2794248	211266

2. 草场管理水平低，草场资源开发利用不足

本区草场管理水平低主要表现在：黄土区草场过牧严重，草场退化；石质山区草场利用不足；牧业发展缺乏规划管理，资源开发缺乏工程和生物的管理措施。

由于本区人口以黄土区密度最大，石质山区人口密度相对减少。畜牧业的发展是发展生产，提高人民生活水平的有效途径。因此，草场利用在空间分布上存在着近居民地等交通便利的地区过牧，草场退化，产草量降低，优良草种退化。并且在人口密集的黄土区，还存在着农耕地开垦范围过大，侵占草场的现象。加之为提高生活水平，牲畜数量的增加，使黄土区牲畜负载量过重。在土石山地区，特别是在石质山区等交通不便、人口较少的地区，有较大面积的草场有待开发利用。但在利用上，也存在林地、耕地与草场争地的现象。草场分布于林地与耕地过渡的地区或撩荒耕地上，因开发不足，草场基本无退化现象。

针对本区草场开发利用中存在的问题，提出以下利用改造途径：

(1) 整体规划，合理开发利用草场资源

在全区进行区域开发利用的整体规划。在目前载畜过高的黄土丘陵沟壑地区，适当抑制牲畜头数的增长，有步骤地减少牲畜量。从而使已经退化的草场得以恢复，生态环境得以好转。开发土石山地，建立人工牧场，提高产草量，以保证畜牧业的发展。在黄土丘陵区坡度较缓，土层较厚，且沟坡稳定的地区，开辟人工草场，并兴建围栏，使之成为黄土区的基本草场。在其它黄土区，应以圈养为主，尽量减少对生态条件脆弱草场的啃食，使环境得以保护。在石质山区建立畜牧业生产基地，兴修高产草量的人工草场，充分利用草场资源，使牧业稳定发展。

在每个县内进行农林牧综合开发的整体规划。晋西农业生产的主要问题

是粮食问题，但单从扩大耕地解决粮食问题并非根本办法，林业、牧业的发展是对农业生产的促进和解决粮食问题的辅助手段。因此进行农林牧综合发展的合理规划，减少广种薄收，使一些坡度较陡的耕地退为牧场，是进行水土保持，提高农业生产水平的保障，也是使畜牧业生产走出低谷的途径。

(2) 保护与开发相结合

本区的牧业生产，主要是依靠天然草场和作物秸秆、乔灌枝叶等，人工草场很少。天然草场因自然条件的限制，产草量水平很低，载畜量较小。畜牧业生产是本区致富的有效途径之一。因此，提高草场的生产力，也是发展畜牧业生产的保障。在草场的利用同时，应注意把保护与开发相结合，把天然草场的改良与开发相结合，把人工种草和坡地改造、围栏建设等措施作为草场开发的一部分。使在开发不足，并具有较大生产潜力的山区进一步发展牧业生产，在已开发的黄土区进行草场保护和建设。调整不合理的利用方式，使畜牧业生产得到提高。

参考文献

- 〔1〕《山西省简明综合农业区划》编写组，山西省简明综合农业区划(初稿)，山西省农业区划办公室出版，1981年1月
- 〔2〕王长耀等，安塞县草场资源遥感调查，《黄土高原遥感调查试验研究》，科学出版社

晋西黄土区地貌演化与土地结构关系研究

王卫

(北京师范大学地理系)

晋西黄土区是黄土高原重点产沙区的重要组成部分。晋西黄土区土地类型内部分异的主导因素是地表形态,其中沟缘线和坡脚线是控制土地类型分异的两条主要地性线。这两条地性线将黄土区的土地分为沟间地、沟坡地、沟底地三大类型。占黄土区主体的沟间地和沟坡地二大类型内部分异的主导因素是地形坡度,据此可进一步分为缓坡地($<15^{\circ}$)、中坡地($15^{\circ}\sim 25^{\circ}$)和陡坡地($>25^{\circ}$)等类型。土地类型的不同又决定了土地质量的差异。由此可见,地表形态是黄土区土地结构的决定因素。地表形态是一个动态过程,今天晋西黄土区的地表形态是地貌演化过程中的一个时间断面。随着时间的推移,黄土区的地表形态将在地貌演化过程中发生变化,从而导致土地类型结构和土地质量状况的变化,并势必影响区内土地承载力的变化。可见,晋西黄土区地貌演化与土地结构关系的研究,对从自然因素方面预测区内土地资源状况的变化趋势有着重要意义。

一、黄土地貌演化特征

自从 W.M.Davis 创立“侵蚀循环学说”以来,经过许多地貌学家的补充、修改,使这一理论日趋完善,人们对地貌演化规律的认识日渐清晰。在同一流域内,由于沟谷发育的时间差异,使得上下游间沟谷侵蚀的历史长短不一,必然导致地貌演化阶段的差异;不同的流域在侵蚀历史相同的情况下,由于侵蚀强度的不同,或由于侵蚀前原始地形形态的不同,都会导致地貌演化阶段的差异。正是由于上述原因,自然界上在同一时间断面上,会同时存在着不同演化阶段的地表形态。这种现象为人们研究地貌演化过程提供了方便。

我国学者在对黄土高原的长期研究中认为在一些地区黄土地貌演化中存在着“塬 梁 峁”的基本演化序列。由于地形形态的不同,又可进一步划分为黄土高原沟壑区和黄土丘陵沟壑区两个演化序列,前者表现为“塬 残塬 平梁 连续峁 峁”,后者表现为“斜梁(梁) 连续峁 峁”。上述两个演化序列虽然在各阶段的地貌形态上存在着某些差异,但均可概括为“塬 梁 峁”的基本序列。晋西黄土区可分为两大地貌类型组合区,即南部黄土高原沟壑区(残塬区)和北部黄土丘陵沟壑区。北部黄土丘陵区地形为波状起伏的缓岗地形,而南部黄土残塬区地形为平坦塬面。另一方面,迄今为止北部黄土丘陵区的侵蚀强度($8000\text{—}15000\text{T/Km}^2\cdot\text{a}$)一直大于南部黄土残塬区($4000\text{—}8000\text{T/Km}^2\cdot\text{a}$),北部地貌演化速率大于南部。

1. 幼年期地貌与坡面演化

表征地貌演化阶段的主要指标是侵蚀积分值。A.N.Strahler 在对大量小流域计算研究基础上,提出了划分不同地貌演化阶段的数量指标,即侵蚀积分值小于 $35\sim 40\%$ 为幼年期, $35(40)\%\sim 60(65)\%$ 为壮年期,大于 $60(65)\%$ 为老年期^[1]。陆中臣等人通过在安塞的研究认为,侵蚀积分值小于 32% 为幼年期, $32\%\sim 66\%$ 为壮年期,大于 66% 为老年期^[2]。我们在对晋西

黄土区 1 10 万 TM 影象进行分析后,在大宁县境内的太德塬周围选取了 21 个小流域,在 1 5 万地形图上进行了侵蚀积分值量算(表 1)。

表 1 环太德塬小流域侵蚀积分值表(%)

流域标号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
侵蚀积分值	43.6	41.2	47.2	36.8	34.8	33.6	42.8	32.8	33.6	31.2	
流域标号	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
侵蚀积分值	32.4	32.8	38.0	28.0	37.2	43.2	47.2	41.0	35.6	40.0	46.0

这些小流域为黄河的二、三级支流,基本代表了黄土残塬区地貌演化阶段。根据量算结果,晋西黄土残塬区目前处在地貌演化的幼年期晚期阶段。

处在这一演化阶段的黄土地貌以残塬和宽平梁为主。

坡面形态是地貌演化的直接反映,一定的坡面形态与一定的地貌演化阶段相联系。目前晋西黄土残塬区沟谷多为“V”型谷,坡面多为直形坡。由此可以推论:晋西黄土区在地貌演化的幼年期,坡面发育模式为近平行后退式(图 1),其特点是坡面后退与坡面高度增加相并行。这种坡面发育模式是本区气候、岩性、地貌等诸因素综合作用的结果,其形成机制还有待于进一步研究。需要强调指出:现代构造运动对本区黄土坡面发育有着不可忽视的作用。关于现代构造运动的作用后文还要专门阐述。从整个幼年期内坡面形态保持直形坡不变这一点看,这一期间坡面发育以水力侵蚀和重力侵蚀为主。

2. 壮年期地貌与坡面演化

晋西地区北部的黄土丘陵区目前已进入了地貌演化的壮年期阶段。陆中臣等人在地处黄土丘陵沟壑区的陕北安塞县,选择了 26 个小流域进行了侵蚀积分值测算,结果是侵蚀积分值变化在 43.5%~62.2%之间,认为地貌演化进入了壮年期阶段。^[2]。晋西黄土丘陵区与包括安塞在内的陕北黄土丘陵区隔黄河相对,气候、地貌、地表组成物质有很大一致性。所以安塞的地貌演化结论可外推到晋西黄土丘陵区。与地貌演化的壮年期阶段相对应是坡面形态为凸形坡和凹凸形坡。我们对晋西黄土丘陵区坡面的测算和我国学者对其它地区黄土丘陵坡面的测算^[3]都说明了这一点。黄土丘陵区凸形坡广泛发育,主要分布在坡面上部沟间地以上部位,凹形坡在坡面上多缺失,只有在沟头掌地和有较大滑坡等重力地貌发育的坡面上较为发育。

从晋西黄土区地貌不同演化阶段对应着不同的斜坡坡形看,黄土地貌从幼年期向壮年期演化过程中,伴随着斜坡坡面从直形坡向曲形坡的转变。因此,在确定黄土地貌的演化阶段时,除侵蚀积分值作为基本指标外,坡面形态亦可作为重要的参考指标。在黄土地貌的演化过程中,确定坡面形态从直形坡向曲形坡变化的方式是一项十分有意义的工作。晋西黄土地貌坡面形态在从直形坡向曲形坡转变中,重力侵蚀占据十分重要的地位。

根据 A.W.Skempton 等人研究厚层土体稳定性时提出的临界高度与坡角的关系式^[4]:

$$H = \frac{4C}{r} \frac{\sin \theta \cos \varphi}{[\theta - \varphi]}$$

H —临界高度, C —土体粘聚力, γ —土体比重, α —坡角, φ —内摩擦角

在同一地区 c 、 γ 、 φ 都可看作常量, 临界高度随坡角变化。目前我们对晋西黄土地貌在整个幼年期阶段坡角的变化规律还缺乏认识。但从对黄土高原的研究得出的“黄土塬沟谷坡面上重力侵蚀十分显著”^[3]的结论看, 在整个幼年期坡面高度始终处在临界或超临界状态。但早期由于坡面高度小, 重力侵蚀多为小型。只有到了幼年期晚期, 坡面高度增大(晋西黄土残塬区坡面高度多在 60—100m), 加上整个区域沟壑密度的增大, 大大增加了土体的临空面, 为改变坡面形态的大中型重力地貌的发育提供了条件。目前这一地区的重力地貌就多为大中型。

另一方面, 在晋西地区的重力地貌调查中发现, 重力地貌分布与地貌类型或地貌演化有很强的相关性, 表现为在一定时期内随地貌演化的深入, 重力作用增强。由此可以推论, 在直形坡向曲形坡转变中, 重力侵蚀作用十分显著。

根据研究, 提出以下直形坡向曲形坡转变的模式:

a. 直形坡 浅层滑坡 水力侵蚀 凸形坡模式(图 2)

b. 直形坡 深层滑坡 水力侵蚀 凹凸形坡模式(图 3)

应当指出, 从直形坡向曲形坡的转变往往是经过数次“重力 水力”侵蚀过程完成的。

由于坡面形态的变化, 使得黄土区重要的地性线——沟缘线出现下移趋势(图 2. 图 3), 从直形坡的 A 点下移到曲形坡的 A' 点。沟缘线下移将导致土地类型数量结构的变化。

3. 地貌演化的多旋回性和坡面变化的复杂性

晋西黄土区地貌演化具有多旋回的特征。所谓多旋回是指地貌演化在一个侵蚀循环过程中, 发生多次基底间歇性抬升, 导致多次地貌回春现象的出现。陈永宗等认为^[3]是新构造运动间歇抬升区, 从晚第三纪三趾马红粘土目前的出露高度, 以及黄河干流晋陕段和各主要支流河床切入基岩深度看, 第四纪期间这一地区的抬升量多在 100—150m 以上, 抬升量最大的地区是北部长城沿线的白于山、准格尔、保德一线。我们通过 1:10 万 TM 影象解译发现, 晋西地区各主要河流普遍存在着 2—3 级裂点。这表明, 这一地区至少发生过 2—3 次大的间歇性上升运动。第四纪以来, 晋西地区地体的这种上升运动, 使得黄土地貌的演化趋于复杂化。

若将晋西地区各主要河流的一级裂点相连, 便划分出了西部沿黄河一带一个独特的黄土地貌类型区——蚀余黄土丘陵区。这里河流深深切入基岩, 河谷呈峡谷型, 成为东西交通的主要障碍。坡面上基岩广泛出露, 只有丘陵顶部存有黄土且土层较薄。蚀余黄土丘陵区是晋西黄土区最明显的回春地貌。

除了蚀余黄土丘陵外, 地貌回春现象在北部黄土丘陵区表现也比较明显。突出表现为坡面演化的复杂性和坡面微形态的多样性。目前北部黄土丘陵坡面上普遍有多级重力坡(陡崖)并存的现象。这种坡面形态主要是地体

间歇性抬升的影响，由于前一次地体上升造成的重力坡尚未消失之前，又发生了第二次、第三次地体抬升，导致多级重力坡并存。地体上升对坡面演化的上述影响会导致沟缘线下移（图4），沟缘线从地体上升前的A点移到上升后的A'点。

晋西黄土区地貌演化的多旋回性，在很大程度上延长了壮年期阶段的演化时间，从而加长了本区强度乃至剧烈土壤侵蚀的持续时间，增加了水土保持工作的艰巨性。

二、土地结构与地貌演化的关系

1. 在地貌演化的某一阶段沟间地比例呈扩大趋势

如前所述，沟缘线是黄土区一条独特的地性线，我国学者普遍认为^[3]，沟缘线的特点是普遍有陡崖，如果从分水岭至沟底有二级以上陡崖的话，应以最低一级陡崖作为沟缘线位置，因为它是现代沟谷侵蚀形成的陡崖。沟缘线是黄土坡面上坡度的突变线，沟缘线以上的沟间地坡度相对较小，沟缘线以下的沟坡地坡度相对较大。因此，沟缘线成为黄土区土地利用的重要分界线，耕地基本都分布在沟间地上。通过前面的论述可知，晋西黄土地貌在由残塬地向丘陵地演化过程中，随着坡形的变化，存在着多种导致沟缘线下移的因素。同时也存在谷坡扩展这一使沟间地比例随地貌演化而缩小的因素。通过土地类型的遥感调查表明，晋西地区在从黄土残塬地向丘陵地演化过程中，使沟间地比例扩大的因素作用强于使沟间地比例缩小的因素作用（图5、表2）。可以看出，从残塬地的吉县，经从残塬地向梁地过渡的大宁、永和，到梁地和峁梁

地的石楼、中阳、离石、方山、柳林、临县，沟间地比例呈上凹的曲线型，极小值区位于大宁、永和。这一宏观规律恰好证明了前面的微观分析。同时也说明，利用航天遥感手段能够提取以往常规地面调查所难以获得的宏观信息。

表2 晋西黄土沟间地与沟谷地比例表(%)

县名	吉县	大宁	永和	石楼	中阳	离石	方山	柳林	临县
沟间地类型	残塬地 宽平梁地	残塬地 残塬地	宽平梁地	梁地	梁地	梁地	梁地	峁梁地	峁梁地
沟间地比例	48.0	43.4	43.1	46.8	46.2	46.0	47.4	45.1	46.2
沟谷地比例	52.0	56.6	56.9	53.2	53.8	54.0	52.6	54.9	53.8

晋西黄土区的土地利用现状是长期以来人类不断利用的结果，土地利用的信息也能够反映土地质量和土地类型状况。目前晋西黄土区土地利用中耕地已呈饱和状态，即供开发的后备耕地资源已所剩无几。因此，黄土区坡地的垦殖率是一个间接反映沟间地比例的重要指标（表3）。黄土坡地垦殖率指标与沟间地比例的规律相一致。这进一步说明了晋西黄土区在地貌演化从幼年期向壮年期转化过程中，存在着沟间地比例增大趋势。

表 3 晋西黄土坡地垦殖率表(%)

县名	吉县	大宁	永和	石楼	中阳	离石	方山	柳林	临县
垦殖率	47.1	43.2	42.3	45.7	45.8	44.7	46.1	44.4	45.6

2.地貌从幼年期向壮年期演化过程中，土地质量普遍呈下降趋势

根据地貌演化理论，地貌在从幼年期向壮年期演化过程中，地表切割深度、地表起伏度均呈增大趋势。对黄土区来讲，地貌状况正是土地质量的主要决定因素。晋西黄土区也符合这一规律，具体表现为：从黄土残塬区到黄土丘陵区，再到蚀余黄土丘陵区，土地质量逐渐下降（表 4）。其中，蚀余黄土丘陵区土地质量下降幅度大，这是由于两个原因，一是地貌回春，增大了地表起伏度；二是较大面积上覆黄土被侵蚀殆尽，致使基岩裸露。

表 4 不同地貌演化类型区土地资源对比(%)

类 型 区	土地类型					土地质量(等)							
	残 塬 地	梁 地	土 质 沟 坡 地	裸 岩 沟 坡 地	沟 底 地	二 等 地	三 等 地	四 等 地	五 等 地	六 等 地	七 等 地	八 等 地	主要 限制 因素
黄土残塬区 (吉县中垛塬)	38	13	49	0	0	27	11	13	49	0	0	0	p、f
黄土丘陵区 (柳林庄上)	0	46	49	0	5	6	5	40	44	5	0	0	p、e
蚀余黄土丘陵区 (临县丛罗峪)	0	46	42	12	0	0	0	24	28	18	18	12	d、p

虽然在从黄土残塬地向黄土丘陵区演化过程中出现了沟间地比例有所增大的趋势,但在 1 5 万地形图量算中发现,沟间地的平均坡度也明显增大(表 5)，导致沟间地总体质量下降。从残塬区向丘陵区变化中，坡角的变化最明显，残塬区小于 15°的缓坡地占很大优势，而丘陵区则以 15°—25°的中坡地占优势。在丘陵区内部沟间地坡度又存在一定差异，最突出的是崂梁区的柳林、临县出现了一定比例的 10°—15°的缓坡地,表现出某种演化上的“老年化”特征。沟间地比例增大和平均坡度增大导致二、三、五等地比例减小，四等地比例扩大。四等地是临界宜农地，利用不当会出现严重水土流失，目前晋西黄土丘陵区恰恰出现了这种局面。由此可见，这一地区坡耕地的水土流失既是人为因素，也有自然基础。

表 5 典型区沟间地平均坡度表

地 点	大 宁	石 楼	柳 林	临 县
类型区	残塬区	梁 区	峁梁区	峁梁区
沟间地 类 型	残 宽平 斜 塬 梁地 梁 地 地	主 支 梁 梁	梁 峁 地 地	梁 峁 地 地
平均坡度	3-7 ° 9-15 ° 15-25 °	15-20 ° 20-25 °	10-25 ° 20-25 °	10-25 ° 20-25 °

晋西黄土区土地质量随地貌演化而下降趋势是今后相当长时期内的普遍规律，它表明这一地区土地资源开发利用前景不容乐观。

综上所述，晋西黄土区地貌演化与土地结构关系存在下述特征：

地貌从幼年期向壮年期演化过程中，伴随着坡面形态由直形坡向曲形坡的变化。重力侵蚀在上述坡形转换中起重要作用；

地貌演化的多旋回性是晋西黄土地貌的重要特征，间歇性上升运动是地貌演化多旋回性的基础，这种多旋回性导致了本区地貌演化的复杂性和土壤侵蚀加剧的趋势。蚀余黄土丘陵是区内最明显的回春地貌类型；

在今后相当长时期，本区土地资源质量存在着随地貌演化而下降的普遍规律，今后土地开发应遵循这一规律；

地貌从幼年期向壮年期演化过程中，沟缘线下移因素占主导地位，出现了沟间地比例和平均坡度同时增大的趋势，致使临界宜农的四等地比例增大，为人类不合理利用引起水土流失提供了自然基础。

参考文献

- [1]承继成等，《流水地貌数学模型》，科学出版社，1986。
- [2]陆中臣等，《安塞县的侵蚀及地貌演化趋势预测》，《黄土高原遥感调查试验研究》，科学出版社，1988
- [3]陈永宗等，《黄土高原现代侵蚀与治理》，科学出版社，1988[4]M.A.卡森等，《坡面形态与形成过程》，窦葆璋译，科学出版社，1984

晋西黄土高原土地资源研究

王卫 王静爱

(北京师范大学地理系)

杨运恒 周德芳

(烟台师范大学地理系) (北京师范大学地理系)

在国家“七五”科技攻关课题“黄土高原(重点治理区)资源与环境遥感调查”(1986—1990年)中,我们对晋西毗邻黄河的十二个县(兴县、临县、方山、柳林、离石、中阳、石楼、永和、大宁、吉县、乡宁、河津)的土地资源状况进行了系统调查和分析。整个研究区几何形态呈南北长、东西窄的狭长形,区域内部差异明显的水热条件叠加在千沟万壑的地表形态之上,形成了土地资源类型和质量的多样性和复杂性。如此大范围的土地资源系统调查和较大比例尺(1:10万)土地资源制图在这一地区尚属首次。本研究成果为这一地区以水土保持为中心的区域开发和治理提供了科学依据。

一、土地资源研究的基本方法

利用航天遥感信息作为基本信息源,采用航天遥感信息与航空遥感信息、地面调查测试相结合的方法,进行土地资源调查、判图和分析,是一项复杂的系统工程。其中,确定严密科学的工作程序和制定合理的土地资源分类系统,采用有效的土地资源评价方法是研究工作成败的关键。

1. 工作程序及关键点

土地资源调查与分析工作是研究区资源与环境遥感调查的一个子系统,其工作程序受整个资源与环境调查系统的制约,与其它子系统之间存在着密切联系。同时又具有相对独立性,有自己独特的工作程序(图1)。

在晋西黄土高原土地资源遥感调查的实践过程中着重抓住以下环节:

(1) 航天遥感信息、航空遥感信息、地面信息复合是土地资源遥感调查成功的第一步。作为基本信息源的航天遥感影象(TM),由于空间分辨率的限制,在地表破碎的黄土地区不少地物信息凭单一信息源很难提取,而上述三方面的信息则从三个空间层次上(航天、航空、地面)反映了地物不同等级的信息。通过选择训练区进行三方面信息的复合,可以达到进一步开发TM影象信息量的目的,满足1:10万土地资源制图的精度要求。

(2) 建立土地资源遥感地学分析模型是整个工作的核心和关键。遥感地学分析模型是景观光学模型与地面模型、地图模型三者之间相互关系模型。土地作为由多种自然因素和人类活动相互作用形成的低级自然综合体,对其解译最重要的是确定土地分异的主导因素,并且这种主导因素还必须具有可解译性。为此,我们以主要地性线(如沟缘线、坡脚线、分水线、汇水线、黄土与非黄土界线等)为主要框架,建立了三个基本土地资源遥感地学分析模型(表1)。这些模

表1 晋西地区土地资源遥感地学分析模型

区域	模型名称		土地资源等	地面模型			影象特征(TM)
				土地利用	土地类型	地面状况	
黄土丘陵区	谷缘线-坡脚线模型	谷缘线以上	2-4	耕地为多	沟间地	e.p 限制	谷缘线清晰,线以上浅色调块状结构、纹理不清
		谷缘线与坡脚线之间	5-7	草地、荒草地或裸地	沟坡地	p.e 限制	纹理清晰、阴暗明显、有立体感
		坡脚线以下	1-5	水浇地或其它用地	沟底地	受 e、i、t 限制	红色或淡色调,线关或带状结构
沿黄河区	物质色差分布模型	浅色土质	2-4	耕地	沟间地	受 e.P 限制	深浅色相间,纹理不明显
		深浅相间土石质	5-7	荒草地	河谷坡地	受 d、e、p 限制	深浅色相间,阴影明显
		深色石质	7-8	难利用地	河谷坡地	受 d、p 限制	暗色,纹理清晰
		白红相间	1-8	枣林、裸地、或水浇地	河谷地	受 d.h.t.i. 限制	白色或红色,片状结构
山区	高度分布模型	>2000m	7-8	草地	山顶	d、c 限制	深红色,无纹理
		1800-2000m	5-7	天然乔木林	山地上部	受 d、p、c 限制	深红色,有纹理
		1600-1800m	5-6	天然林,阴乔林、阳灌麻	山地中部	受 d、p、e、c 限制	深浅红色相间、阴影立体感强,纹理清晰
		<1600m	4-6	草地或灌草地	山地下部	受 d、p、e, 限制	深、浅色调相间,纹理清楚,立体感强
		谷底	2-4	耕地或草地	谷底	受 p、d、e 限制	浅色、无纹理、带状延伸

型客观地反映了研究区土地资源特征及其基本分异规律,实现了遥感目视解译过程的模式识别,在理论上进一步完成了遥感目视解译的方法体系。

(3)建立土地资源分类与评价系统 建立土地资源遥感地学分析模型 完善土地资源分类与评价系统的循环是土地资源遥感调查与分析的重要步骤。建立土地资源分类与评价系统是土地资源调查的第一步,最初它是依据土地资源学的理论方法和已掌握的研究区土地资源状况制定的,在建立了研究区土地资源遥感地学分析模型后,系统的不足和缺陷便显露出来,这时返回来进行修改、补充,使土地资源分类与评价系统更加完善,符合研究区实际。为土地资源图的解译、编制和评价打下了基础,避免了后续工作的重复。

2. 土地资源分类与评价系统

土地资源制图与分析是通过土地资源分类系统和土地资源评价系统实现的。

(1) 土地资源分类系统

土地评价与制图是以土地类型为基本单元和上图图斑,因此,土地资源评价的第一步工作是建立土地类型分类系统。系统的制定除遵循土地类型划分的一般原则外,还特别遵循了下述三个原则,即为研究区以水土保持为中心的区域治理与开发服务的原则,遥感影象的可解译性与制图的可行性相结合的原则和反映区内土地利用处于过饱和状态的区域性原则。为此,土地类型分类系统采用三级分类(表2)。

表2 晋西地区土地类型分类系统

土地类/土地亚类/土地单元及编码
河川地/河滩地/河滩地 01/川地/川地 02/台地/台地 03 土丘陵地(含残塬地)/残塬地/耕作残塬地 11//有林残塬地 12//草灌残塬地 13/梁地/耕作梁地 21//有林梁地 22//草灌梁地 23/沟坡地/耕作沟坡地 31//有林沟坡地 32//草灌沟坡地 33//裸土沟坡地 34//塌地 35//裸岩 36/沟底地/沟坝(条)地 41//沟台地 42//有林沟底地 43//草灌沟底地 44//裸土沟底地 45 土石山地/花岗岩山地(含变质岩)/有林花岗岩中山地 71'//草灌花岗岩中山地 72'//耕作花岗岩中山地 73'//有林花岗岩低山地 71//草灌花岗岩低山地 72//耕作花岗岩低山地 73//有林花岗岩沟谷地 71, //草灌花岗岩沟谷地 72, //耕作花岗岩沟谷地 73, //裸岩 74 土地类/土地亚类/土地单元及编码
土石山地/砂石岩山地/有林砂石岩中山地 61'//草灌砂石岩中山地 62'//耕作砂石岩中山地 63'//有林砂石岩低山地 61//草灌砂石岩低山地 62//耕作砂石岩低山地 63//有林砂石岩沟谷地 61, //草灌砂石岩沟谷地 62, //耕作砂石岩沟谷地 63, //裸岩 64/石灰岩山地/有林石灰岩中山地 65'//草灌石灰岩中山地 66'//耕作石灰岩中山地 67'//有林石灰岩低山地 65//草灌石灰岩低山地 66//耕作石灰岩低山地 67//有林石灰岩沟谷地 65, //草灌石灰岩沟谷地 66, //耕作石灰岩沟谷地 67, //裸岩 68 冲积洪积平原/河滩地/河滩地 101/冲积低平地/冲积低平地 102/洪积、冲台地/台地 103//台沟地 104

第一级:土地类。土地类主要按照大中地貌的不同划分。

第二级:土地亚类。在土地类的基础上,依据地貌部位和地表组成物质的不同进行续分。

第三级:土地单元。在土地亚类的基础上主要依据土地利用状况的不同续分。

(2) 土地资源评价系统

土地资源评价系统是参照美国农业部的潜力评价系统,本着为黄土高原综合治理服务和方法简单实用的原则制定的。土地资源评价系统的结构是:零级为土地适应类、按农林牧适宜范围和不适宜归类;一级为土地等,按质量优劣顺序将土地分成8等;二级为土地亚等,在土地等后表示出主要限制因子;三级为土地单元,在土地亚等后标出土地类型单元(表3)。

表3 晋西地区土地资源评价系统

适宜类/土地等/土地亚等/土地单元
宜农林牧主要适于种植业土地/1/dh/2i—03
/2/2d/2i—11
/32i/2i—12
//25/
宜林牧的土地/4//

/5//

//6//

不宜农林牧的土地/7//

/8//

土地等是土地资源评价系统的核心，其含义如下：

- 1等地：适于一般种植业，没有限制或仅有轻微限制，可以保证稳产高产（单因素限制 2）。
- 2等地：适于一般种植业，但有轻到中度限制，可获稳产中产（单因素限制 3）。
- 3等地：对一般种植业有中度限制，产量中等但不稳定（单因素限制 4，受多因素限制）。
- 4等地：对种植业有严重限制，产量低而不稳，仅适于某些特定作物，并要特定措施。普遍适于林牧业。
- 5等地：不适于种植业仅适于林牧业，对林牧业有中等限制（多因素限制 4）。

6等地：对林业有严重限制，对牧业有中等限制。

7等地：暂不适于农林牧业，只能用于生态环境保护的土地。

8等地：不适于农业牧业，指各种难利用地。

根据晋西地区土地资源的实际状况，土地评价因素主要采用：土壤侵蚀（e）、坡度（p）、灌溉条件（i）、土层厚度（d）、表土质地（t）、土壤养分（f）、土壤水分（m）、温度（c）、洪水威胁（h）等9个因子。通常评价单元土地等级的主要限制因子取1—2个。

土地质量评价的关键是确定合理的土地评价系统与土地类型单元之间的转换关系。以确定的土地资源遥感地学分析模型为指导，通过地面典型样地调查的方法，确定了研究区二者的基本转换关系（表4）。

晋西地区南北水热组合差异较大，为了反映这种差异，在评价时按照基本转换关系表在南北相同的土地类型间有 ± 1 的等级变化。

评价系统中，各评价因子的分级指标都是相对的，但它是否能反映研究区土地潜力的实际呢？为此，我们在方山县对评价结果从气候生产潜力和经济评价两方面进行了检验（表5）结果表明，评价方法是合理的，并且简便实用，适合较大区域的土地资源评价。

表4 晋西地区土地评价与土地类型转换关系表

评价单元		土地等级 限制因素
地类代号	利用与限制	
01	耕地	2dh
	砂砾质	8
	其它	5dt
02	中下游	1
	上游	2d
03	水浇	1
	其它	2i
11	水浇	1
	其它	2i
12		2i
13		3f
21	缓坡	3ef
	中坡	4ep
	陡坡	5ep
22		4p
23		5p
31		5pe
32		5p
33	高盖度>40%	5pe
	薄层低盖底	6ed
	阳坡低盖度	em
34		7ep
35	完整	3pe
	切割	4ep
37		8
41		2f
42		2ei
43		5d
44		5de
45		7d
61	阳坡薄层土(<30cm)	6md
	其它	5pd
61'	阳坡薄层土(<30cm)	6pd
	陡坡薄层土疏林	7pd
	其它	5cp
61,	5d	
62	高盖度>40%	5pd
	中低盖度(<40%)	6pd
62,	5d	
63	缓坡	4cd
	其它	5cd

(续表 4)

评价单元		土地等级
地类代号	利用与限制	限制因素
63 '	5ce	
63 ,	宽度 > 200 米	3e i
	宽度 < 200	4cd
64		8
65	阳坡薄土层(< 30cm)	6md
	其它	5pd
65 '	陡坡薄土层(< 30cm)	6pd
	陡坡薄土层疏林	7pd
	其它	5
65 ,		5cp
66	阳坡薄土层(< 30cm)	5dp
	其它	6dp
66 ,		5d
67	缓坡	4cd
	其它	5cd
67 '	5cd	
67 '	宽度大于 200 米	3e i
	宽度小于 200 米	4cd
68		8
71	阳坡薄土层(< 3cm)	6md
	其它	5pd
71 '	阳坡薄土层(< 3cm)	6pd
	陡坡薄土层疏林	7pd
	其它	5cp
71 ,		5d
72	阳坡薄土层((< 3cm)	6md
	其它	5pd
72 '	高盖度 > 40%	5pd
	中低盖度(< 4cm)	6pd
72 ,		5d
73	缓坡	4cd
	其它	5ce
73 '		5ce
73 '	宽度 > 200 米	3e i
	宽度 < 100 米	4cd
74		8
101		2dh
102		1
103	水浇	1
	其它	2i
104		5pe

表 5 方山县土地质量(部分)状况表

土地等	土地亚类	现实生产力占气候生产 潜力百分比(%)	产出投入比*
1 等地	1	62	3.33
2 等地	2f	31	1.98
3 等地	3ef	15	1.08
4 等地	4ef	7	0.80(1.25**)
5 等地	5ep — 21	<7	<0.80

*按粮食作物计算

**按经济作物计算

二、晋西地区土地资源分析

1. 土地资源的基本特征

土地资源的基本特征由土地资源的类型结构、数量结构和土地质量及主要限制因子的数量结构等方面所表现。晋西地区土地资源的基本特征是：

(1) 多样的土地资源类型。全区包括了 4 个土地类，15 个土地亚类，49 个土地单元。土地类为洪积冲积平原、河川地、黄土丘陵地、土石山地。加上全区地处暖温带的热量条件和分属半湿润（南部）、半干旱（北部）两大干湿带上的水分条件，形成了本区种类齐全、复杂多样的土地类型(表 6)，为区内农林牧各业的全面发展提供了基础。

表 6 晋西地区土地类型特征表

土地类	土地亚类	主要土地特征
河川地	河川地特征	指宽度大于 500 米的河谷地，一般有常年流水
	河滩地	分布于河流两侧河漫滩上，土壤为沼泽土、草甸土和粗骨土，土层较薄，易受洪水威胁
	川地	位于河谷低阶地上，地势平坦，耕层深厚，土壤为草甸土，近水源，基本无侵蚀，是黄土工最好的农业用地
	台地	位于河谷高阶地上，地势平坦，土壤为潮土，较近水源，侵蚀微弱，是黄土区最好的农用地之一
黄土丘陵地(含残塬地)	残塬地	保存了塬面特征，平均宽度大于 500 米，地势平坦，平均坡度 $< 7^{\circ}$ 。可分为耕作残塬地和有林残塬地两个土地单元，以耕作残塬地为主，土壤为褐土、黄绵土，土层深厚，保墒性好，侵蚀轻微，是本区的基本农田
	梁地	据几何形态差异可分为宽平梁地、梁地、峁梁地、梁峁地四种类型。据利用方式不同可分为耕作梁地，有林梁地、草灌梁地三个土地单元，其中以耕作梁地为主，土壤多为黄绵土，耕层较薄，土壤侵蚀形式多为面蚀和细沟、浅沟侵蚀，是区内面积最大的耕作类型，耕作制为一年一熟
	沟坡地	位于沟缘线到坡脚线之间的土地。可进一步分为耕作沟坡、有林沟坡地、草灌沟坡、裸土沟坡地、塌地、裸岩沟坡地六个土地单元。各土地单元特征如下：耕作沟坡地：坡度一般 25° 左右，土壤为轻绵土、耕层很薄，为强烈或剧烈土壤侵蚀，亟待退耕；林地沟坡地：多为人工林，由于郁闭度差异，土壤侵蚀从轻到中度；草灌沟坡地：坡度陡、土层薄、土壤侵蚀为强度；裸土沟坡地：生长稀疏杂草、坡度很陡 ($> 25^{\circ}$)、土层极薄、多为粗骨土、土壤侵蚀从强度到剧烈；塌地：坡度一般 $< 15^{\circ}$ ，多处于沟坡下部，水热条件较好，据切割程度分为完整塌地和切割塌地，前者为较好的农业用地；裸岩沟坡地：生长稀疏杂草，发育斑点状粗骨土，50%以上为裸岩
	沟底地	位于二条坡脚线之间、宽度 < 500 米。可进一步分为耕作沟底地、有林沟底地、草灌沟底地三个土地单元，以耕作沟底地为主，地形平缓，水分养分条件较好，土壤为潮土和草甸土，耕层中等，轻度侵蚀，易受洪水威胁，是当地基本农田
土石山地	土石山地特征	相对高度 $0 > 200$ 米、由各种基岩构成，部分上覆薄层黄土
	中山地	绝对高度 > 1600 米、相对高度 > 400 米，坡度一般 $> 25^{\circ}$ 。据岩性和利用的不同可进一步分为有林砂页岩中山地、草灌砂页岩中山地、耕作砂页岩中山地、有林石灰岩中山地、草灌石灰岩中山地、耕作石灰岩中山地、有林花岗岩中山地、草灌花岗岩中山地、耕作花岗岩中山地、裸露中山地等十二个土地单元。土壤为棕壤和灰棕壤，林地生长各种乔木和高密灌丛，土层较薄、有机质含量高，土壤侵蚀微弱；草灌地土壤侵蚀轻到中度；耕地土层中等，水分条件较好、但热量不足，土壤侵蚀轻到中度
	低山地	绝对高度 < 1600 米，相对高度 $200 - 400$ 米。据岩性和利用的不同可进一步分为十二个土地单元。土壤为褐土和灰褐土，林地土层中等，土壤侵蚀微弱，草灌地土壤侵蚀轻到中度；耕地土层中等，水分条件较好，土壤侵蚀中到强度
	沟谷地	为山地的负地形、坡所一般小于 15° ，土层较厚，据岩性和利用的不同可进一步分为九个土地单元，土壤为草甸土。林地土壤侵蚀微弱，草灌地土壤侵蚀轻到中度；耕地耕层较厚、易受洪水威胁和热量不足限制，是山区的基本农田

(2) 以黄土丘陵地为主的数量结构，晋西土地类型数量结构（表 7）的突出特点是：以黄土丘陵地面积最大，占全区面积的 64.66%，构成了晋西黄土高原的主体，形成了千沟万壑的地表形态。黄土丘陵地的利用在本区至关重要。在黄土丘陵地中，从沟间地和沟坡地比例最大分别占全区土地面积的 29.29%和 34.34%，前一指标可作为黄土丘陵区旱坡地开垦的极限值。

山地面积广大，占全区的三分之一。其中低山较多，占山地面积的 47.6%，中山次之，占山地面积的 30.5%。山地数量指标可作为全区用材林和水源林面积的控制数。河川地和平原地比例，分别占全区土地面积的 1.21%和 2.0%。前者分布在黄土丘陵区，控制着丘陵区水浇地的发展。全区中陡坡地多，平地 and 缓坡地少，前者占全区土地面积的近 90%，这就决定了这一地区地面的不稳定性，易产生水土流失。

表 7 晋西地区土地类型数量结构表

土地类型			面积(亩)	占全区面积(%)
河川地			362297	1.22
黄土丘陵	残塬地		469339	1.57
	梁地		8196041	27.72
	沟坡地		10275738	34.34
	沟谷地		307284	1.03
山地	低山地	砂页岩低山地	1747857	6.51
		石灰岩低山地	1975782	6.60
		花岗岩低山地	725190	2.43
	中山地	砂页岩低山地	368566	1.24
		石灰岩中山地	1083475	3.53
		花岗岩中山地	1396589	4.67
	沟谷地	砂页岩沟谷地	406786	1.35
		石灰岩沟谷地	925461	3.10
		花岗岩沟谷地	711980	2.39
洪积岩沟谷地			669639	2.24

(3) 以宜林牧地为主的土地资源质量。晋西地区土地质量数量结构（表 8）表明，土地资源质量有以下特点：土地等级不高，4—8 等地占全区土地总面积的 91.5%，尤以 4、5、6 等地为

表 8 晋西地区土地质量状况表

		土 地 等								
		1	2	3	4	5	6	7	8	合计
限制因子	ep			0.27	24.90	23.80	0	3.80		52.77
	ed							4.61		4.61
	ei			0.30						0.30
	p				0.14	0.87				1.01
	pd				1.05	15.19	3.19	0.68		20.11
	pc					4.57				4.57
	d		0.46			1.23				1.69
	dh		0.01							0.01
	dt			0.04						0.04
	dc				1.55	0.98				2.53
	dm						0.61			0.61
	em						2.77			2.77
	f		0.52	0						0.52
	fe			2.62						2.62
	i		2.73							2.73
	合 亩	445979	1113816	965062	8269238	13960086	3341340	1341934	484043	29921504
	计 %	1.49	3.72	3.23	27.64	46.65	11.17	4.48	1.62	100

为多、分别占全区土地面积的 27.64%、46.65%和 11.17%。可以说全区土地质量中等偏下。宜林牧土地,即 5-6 等地占优势,占全区土地面积的 57.82%。宜农地占 36.08%,前一指标决定了全区林牧业用地的基本比例,后一指标决定了全区农业用地的比例。宜农土地中稳产高产和稳产中产田的比例很少,仅占全区土地面积的 5.21%(1、2 等地)。普遍适宜种植业的土地仅占全区土地面积的 8.44%(1、2、3 等地),这一指标可作为全区宜农地面积的最低控制数。临界宜农地(4 等地)占绝对优势,占全区面积的 27.64%,宜农地面积的 76.78%。这一比例可作为农业用地和林牧业用地相互转换的控制指标。土地质量偏低的重要限制因素最突出的是侵蚀和坡度,受到侵蚀和坡度限制的土地占总土地面积的 86.14%;其次是土层厚度和土壤养分,占总土地面积的 8.02%。其它限制因素影响的范围是局部的,比例很小。在上述主要限制因素中,侵蚀和坡度是基本因素,土层厚度和土壤养分是派生因素。坡度主要由自然因素决定,人类对它的改造只能是局部的(修梯田、坡地等)。侵蚀是由自然侵蚀和人类加速侵蚀两方面构成。虽然人类加速侵蚀只占侵蚀速率的一部分(20%左右)^[1],但在对土地利用的限制中却起了主要作用。因此,今后晋西地区提高土地质量的重点应放在抑制人类加速侵蚀上。

2. 土地资源的地域分异规律

晋西地区土地资源的地域分异表现出多级性和复杂性的特点。土地资源

的分异以土地类型及其组合的空间差异为基础，同时反映出土地质量和利用方面及改造措施的明显不同。晋西土地资源在较大尺度上存在着“东西分异、南北更替”的规律。在深入研究的基础上，将晋西地区划分为四个一级土地资源类型组合区（图2），它们是：西部蚀余黄土丘陵区、中北部黄土丘陵区、中南部黄土残塬区、东部土石山区。西部蚀余黄土丘陵区与相邻黄土区分异的主要因素是地表组成物质的差异；中北部黄土丘陵区与中南部黄土丘陵区分异的主导因素是沟间地土地类型组合的差异，再叠加上水热组合的差异；东部土石山区与相邻黄土区分异的主导因素是地貌类型的差异。四个区的土地资源状况现分述如下：

（1）西部蚀余黄土丘陵区。分布在区内黄河沿岸的狭长地带，呈北宽南窄的几何形态。北部湫水河、三川河下游宽度可超过20公里，南部乡宁、河津境内宽度不足5公里。东邻中北部黄土丘陵区和中南部黄土残塬区。是四个区中面积最小的区。由于本区离区内侵蚀基准面（黄河干流）最近，所以侵蚀历史即流水地貌演化历史最长。上覆的黄土大部分已被侵蚀殆尽。其东界基本与区内黄河一级支流的一级侵蚀裂点连线相吻合。区内次一级土地分异的主导因素是地表物质组成，由坡脚到坡顶分为四条土地带。主要土地类型有：薄层黄土梁地、薄层土沟坡地、基岩沟坡地、川台地等（图3）。数量结构的特点是：薄层黄土梁地，基岩沟坡地和薄层土沟坡地及其它坡地类型各为三分之一。本区土地质量等级以4—8等为主，其中6—8等地的比例在各区中最高，整个晋西地区的8等地主要分布在本区，土地质量在本区为最差。影响土地质量的主要限制因素为土层厚度和坡度。

（2）中北部黄土丘陵区。本区与黄土残塬区的界线位于永和中部至^隰县北部一线。包括兴县、临县、方山、柳林、离石、中阳、石楼黄土区的全部和永和黄土区北部。面积占全区总面积的40%左右。区内次一级土地分异的主导因素是地貌部位。由坡脚线和沟缘线从下而上分为沟（川）、底地、沟坡地、沟间地三条土地带。主要土地类型有：黄土梁地、黄土沟坡地、沟底地、川台地等（图4）。本区土地类型的数量结构是：沟川地占5%，梁地占45%左右，沟坡地占50%左右。本区内部土地质量的分异与土地类型分异相一致。沟川地以1—2等地为主，沟坡地以5—7等地为主，沟间地多为3—4等地，其中4等地占绝对优势（>90%）。整个区域土地质量以4、5、6等地为主。影响区内土地质量的主要限制性因子是土壤侵蚀和坡度。

（3）中南部黄土残塬区。本区位于研究区中南部，包括大宁、吉县、乡宁黄土区全部，永和黄土区南部和^隰县、蒲县黄土区的全部。占全区总面积的20%左右，区内次一级土地分异的主导因素仍然是地貌部位，形成沟川、底地、沟坡地、沟间地三条土地带。主要土地类型是：黄土残塬地、黄土宽平梁地、黄土沟坡地、沟底地、川台地、土石山地等（图5）。土地类型的数量结构是：黄土残塬地占8%左右，宽平塬地占20%，梁地占8%左右，沟坡地占44%左右，土石山地占20%左右。本区土地质量的特点是：沟（川）地以1—2等地为主，沟坡地多为5—6等地，以5等地占优势。沟坡地质量普遍好于黄土丘陵区。基本原因是由于水分条件好，沟坡地多为2—4等地，其中2、3等地占沟间地面积的35%以上。土地质量普遍好于黄土丘陵区的沟间地。影响区内土地质量的主要限制因子是土壤侵蚀、坡度和土壤养分。

(4) 东部土石山区。本区位于研究区东部，与中部黄土区的分界为吕梁山地西麓，界线明显。区域几何形态呈南北延伸的狭长形，古全区总面积的三分之一左右。本区内部分一级土地分异的主导因素是海拔高度和地貌部位，形成了山谷地、低山地、中山地三大土地类型（图6）。

三者分别占土石山区面积的22%、48%、30%。从利用角度看，林地比例最大（70%）草地次之（15%）。本区土地质量的特点是：山谷地以2—5等地为主，低山地以4—6等地为主，中山地以5—7等地为主，整个土石山区以5等地为主。其次是6、7等地。6等地多分布在低山地，由于人类过度利用导致土层变薄。7等地多分布在中山地，由于坡度大导致土层薄。影响本区土地质量的主要限制性因素是坡度和土层厚度。

3. 土地资源的演替特征

土地演替是在一定时间内，土地由一种属性状况向另一种属性状况的变化过程。土地属性的变化是气候、地貌、地表组成物质、土壤植物和人类活动等要素相互作用的结果。土地演替就其动因而言，可分为自然演替和人为演替两个方面。这两个方面在晋西地区，无论是土地要素的改变，还是变化速率都存在很大差异。

(1) 土地的自然演替特征：晋西地区土地的自然演替主要表现为土地形态的变化，其次表现为地表组成物质的变化。土地自然演替的速率很慢，在区域内部黄土区的演替速率远大于山地。晋西地区土地演替可分为黄土区和山地两大序列。在黄土区可进一步分为次一级演替序列：黄土残塬地 黄土宽平梁地 黄土窄斜梁地演替序列。这一类型代表了中南部黄土残塬区沟间地的演替过程。黄土梁地 黄土峁梁地 黄土梁峁地 黄土峁地演替序列，这一类型代表了中北部黄土丘陵区沟间地的演替过程。细沟 浅沟 切沟 冲沟 河川地演替序列，这一类型代表了黄土区沟谷地的演替过程。在整个黄土区还存在着一种更高一级土地类型的演替序列，即黄土残塬地 黄土丘陵地 蚀余黄土丘陵地的演替。山地的演化序列表现为：亚高山山地 中山地 低山地 丘陵地方向的演替。土地自然演替过程具有不可逆性。目前晋西地区的主要河流上，都存在着多级裂点现象，它说明了本区现代构造运动还十分活跃。综合分析本区影响土地自然演替的因素，土地自然演替过程中，地表组成物质的变化要快于地表形态的变化，即黄土区在进入夷平阶段之前很可能都要经过蚀余黄土丘陵 石质丘陵。这一点已被目前区内代表不同演替阶段的土地类型结构所证明。从目前土地类型组合区的质量状况看，黄土区土地自然演替将会使土地质量普遍下降，山地的自然演替将会使土地质量有所提高。

(2) 土地的人为演替：土地的人为演替主要表现为土壤和植被的变化。其演替速率远大于自然演替。据定点观测，本区土地由草灌类型向森林类型的演替一般需15年。土地人为演替的突出特点是具有可逆性，据此可将晋西地区土地人为演替分为进化型演替和退化型演替两大序列。黄土区人为演替序列主要有：褐土旱作残塬地↔黄绵土旱作残塬地。灰褐土旱作梁地↔黄绵土旱作梁地↔黄绵土草灌梁地。灰褐土有林沟坡地↔黄绵土草灌沟坡地↔黄绵土裸露沟坡地。草甸土旱作沟坝地↔草甸土旱作沟条地↔粗骨土草灌沟底地等。山区的土地人为演替序列主要是：棕壤（褐土）森林山地↔

棕壤（褐土）灌丛山地⇌棕壤（褐土）草灌山地⇌粗骨土草丛山地等。在进化型演替序列中，人类施加的影响是：农田基本建设、土壤培肥、种树种草、合理利用等。在退化型演替序列中人类施加的影响是：陡坡开荒、乱砍乱伐、过度利用等。目前晋西地区土地人为演替的两大序列中，以退化型演替占优势，其中黄土区比山区严重。这是晋西地区土地资源质量偏低的一个重要因素，同时也说明土地资源质量的提高还很有潜力。

4. 土地资源利用分析

（1）土地资源利用的主要特征：对比晋西地区土地资源与土地利用现状（表 9），可以看出土地资源利用不合理是其基本特征，主要表现如下：

表 9 晋西地区土地质量与利用现状对比表(%)

土地质量	宜农地 (1、2、3、等地)	临界宜农地 (4 等地)	适林牧地 (5、6 等地)		暂不宜农林牧地 (7、8 等地)
百分比	8.44	27.64%	57.82		6.1
	共计 36.08%				
土地利用现状	耕地		林地	草地	未利用地
百分比	38.53		25.73	24.73	7.44
			共计 50.46		

耕地已超过宜农地极限：全区宜农地和临界宜农地之和为 36.08%，而目前耕地已为 38.53%。根据区内目前水土流失严重，生态环境恶化的实际，建议近期内耕地比例控制在 30%左右为宜。24%的不宜农耕地应迅速退耕。从长远看，应通过农田基本建设，扩大宜农地面积，并将临界宜农地的多数用于林牧业。

林牧用地缺乏深层开发：目前全区林牧用地占 50.46%，小于宜林牧地 57.82%的比例。可见，林牧业用地绝对数量的增加尚有很大潜力。主要来自一部分退耕地和开发一部分未荒草地。但目前林牧业用地最主要的问题是生产力低下，在林地中有较大经济意义的乔木林仅占 47.18%，疏林灌木占 52.72%，而在乔木林中又多为次生幼年林。草场严重退化，数量上占绝对优势的黄土丘陵和低山草场由于过牧过樵而退化严重，草场质量下降，现实生产力仅及同类型非退化草场的 50—70%。

（2）土地资源合理利用对策：土地资源的合理利用是一个涉及面很广的问题。从土地资源的质量和数量特征的角度，建议采取下列对策：

以农田基本建设为突破口，全面调整土地利用结构。晋西地区土地利用存在较严重的不合理，而人粮矛盾是区内土地利用结构不合理的核心。另一方面本区地表普遍覆盖的黄土，疏松深厚，有利于梯田、坝地建设。加强农田基本建设，加强林牧地深层开发和加强水土保持建设是本区实现土地利用与土地资源相协调的三个关键环节。

根据土地资源区域分异规律制定开发规划。建议全区建设四个不同土地利用方向的一级开发区。它们是：西部蚀余黄土丘陵牧副业开发区，这一地区虽然降水不多（450—550mm），但由于黄河水面蒸发作用，相对湿度增加，且热量较充足，是山西重要的红枣产区。广大丘陵地可发展以山羊为主的牧业；中北部黄土丘陵农牧开发区，本区临界宜农地比例大，应在水土保持

持林建设的同时，加强农牧业的深层开发，但本区水土保持任务大，一定要坚持治理基础上开发的原则；中南部黄土残塬农副业开发区，本区土地质量在全区最好，应建成晋西的农业和农副产品加工业基地；东部山地林牧业开发区，本区林牧业基础条件好，应建成全区水源地、用材林和畜牧业基地。

参考文献

- [1]陈永宗等，《黄土高原现代侵蚀与治理》，科学出版社，1988
- [2]陈光伟、赵济等，安塞县遥感试验区土地资源调查研究，《黄土高原遥感调查试验研究》，科学出版社，1988
- [3]秦其明，《晋西与晋西北土地演替研究》，自然资源，1989（3）

黄土丘陵区土地资源特征及其人口承载力
初步研究——以三川河流域为例
周德芳
(北京师范大学地理系)

一、人地关系与环境人口承载力

区域研究是以满足人类自身需要为出发点,研究环境的组成结构功能及其发生发展与空间分异规律,使人类能在自然改造与利用过程中,根据所处环境的特点与规律调整其活动方式与空间组织形式,从而以最小投入获得最好的效益,最大限度地满足人类文明发展的需要。人类生存和发展需要环境中的空间、物质、能量。人与环境的关系也就是在一定的空间中通过物质流能量流而发生发展的。作为人类文明赖以发展的基础,在一定生产力水平下它们能不能持续满足人类不断增长的需要——环境人口承载力,就是一种刻划人地关系的尺度。一个区域到底能养活或承受多少人口,是以人地关系为核心的区域研究必须回答的问题,这也是在人口迅速增长的今天,土地承载力研究兴起的主要原因。自然地理的区域研究对象是自然综合体。自然区划与土地类型研究是最主要的内容。对于大尺度的自然综合体,通过自然区划来研究其组成结构功能及其发生发展与空间分布规律,并认识其生产潜力和改造利用方向。对于小尺度的自然综合体则通过土地类型的研究来分析其特征和生产性能,从而确定改造利用的措施。各级自然综合体都是由区域内通过物质能量联系起来的,在空间上互相镶嵌过渡的土地类型所构成的整体。土地类型是自然综合体的基本单元,是可以直接观察分析研究的对象。对它的研究是自下而上认识自然综合体的基本方法。作为农业活动不可替代的、最重要的生产资料,它是人类活动具体的直接作用对象。人们与土地资源的相互作用都要落实到具体的土地类型上并由它反映出来,因而在区域自然地理研究中人地关系就直接表现为人类与以一定形式紧密联系起来的各种土地类型之间的关系。人与土地资源的关系是通过土地产品而发生的,在一个地区各土地类型作为一个整体所能生产的土地产品能否满足一定数量的人口的需要——土地人口承载力,可以较好地刻划人与土地资源的关系。

农业活动是联系人与土地资源的基本过程,土地类型的研究成果要能直接或间接地用于指导人类农业活动以期取得最好的效果。因此自然地理的区域研究应主要是为农业服务的。在农业生产过程中能获得的土地产品的多少取决于在自然再生产与经济再生产过程双重作用下的土地资源的生产性能。土地资源生产性能的提高主要受限制因子控制。通过对土地肥力的诊断可区别出限制因素,这可为改善土地生产性能提高产量找到可行的办法和措施。

人类对土地资源的作用主要表现在土地利用上,土地利用现状是人类对土地资源改造利用的空间表现,也是人类对土地利用是否合理的反映。因而土地类型、土地资源、土地利用是区域自然地理研究三个互相关联的重要方面。

二、黄土丘陵区土地承载力研究

黄土丘陵区是目前我国落后的农业区之一，粮食向来匮乏。作为人类维持生命的第一性需要，在粮食不足的情况下，人类一切活动都是围绕粮食展开的。粮食只能来自面积有限的土地，黄土丘陵区“越穷越垦，越垦越穷”的恶性循环正是为生存向土地索取粮食无节制的耕垦所致。由它触发的严重的水土流失不仅成为这些区域经济发展的羁绊，也严重影响黄河下游两岸的安危。粮食问题是本区最重要的问题之一。土地人口承载力即代表了环境人口承载力的主要方面，也是左右人地关系发展的关键因素。不解决粮食问题，治理水土流失、恢复生态平衡的许多重要措施是很难施行的。

在区内广泛进行土地资源调查基础上进行了大量的土地人口承载力研究。由于土地资源估算承载力，其研究内容集中在三个方面：1) 土地资源调查；2) 土地生产潜力；3) 承载人口数的预测。由 1) 得到各级土地资源面积 S_i ，由 2) 得到各级土地资源的潜在产量 P_i 。若将来的粮食总产量为 G ，则：

$$G = \sum_{i=1}^4 S_i P_i \quad (i=1, 2, 3, 4, \text{代表土地等级})$$

将来的人口消费平均水平以人均占有粮食 R 代表，则土地人口承载力 T 为：

$$T = G/R$$

由土地资源来展望未来的土地粮食人口关系，可采用这一方法。但在实际研究中还存在下面一些问题：

1) 方法应用上的困难。这主要是由于计算中各数据项难以准确确定而产生的。由于各数据项只能达到一定的精度，土地承载力的研究只能达到定性或半定量的水平。

2) 土地资源评价在应用中的缺陷。土地生产力包括自然生产力与经济生产力（或称劳动生产力）。前者决定于土地的自然属性；后者决定于物质与劳动的投入。对土地物质与劳动的投入是人类在利用土地资源的过程中实现的。人类聚居于空间中的点——居民点，而各级土地资源则按一定格局分布于空间中的面。由点到面的作用过程，空间距离有不可忽视的影响。也就是说在黄土丘陵地区特殊的自然环境与生产条件下，区位因素对经济生产力有深刻影响，因而同级土地资源因其分布位置的不同而有不同的经济生产力。

当前将土地资源评价结果应用于承载力的计算时未加入此点。

3) 坡度是影响黄土丘陵区土地肥力与生产性能的重要因素。明确陡坡耕地的比例对承载力的估算与土地利用结构调整有重要意义。

本文即以三川河流域为例对土地承载力研究中存在的上述问题作初步研究。

三、三川河流域的土地资源

(一) 环境背景

研究区域包括方山、离石、柳林、中阳四县，总面积 5848 平方公里。该区位于吕梁山中段西麓，境内东部为吕梁山脉，海拔较高。主峰关帝山，海拔高度 2831 米。三川河入黄河处海拔仅 610 米。从吕梁山至黄河峡谷形成了

自东向西倾斜的大斜坡，在短距离内集中了很大的落差。本区新构造抬升运动较活跃，河道以下切占优势，深切的河流沟谷比降很大，这为侵蚀发展提供了动力保证。全流域除石质山地外，广泛堆积了深厚的黄土层，厚度都在百米上下，其中极易侵蚀的马兰、离石黄土都相当厚，而且覆盖广，分布海拔高度大。大量的黄土为侵蚀提供了充足的物质基础。本区位于暖温带向中温带过渡的半干旱区，自然植被已全被破坏，黄土区次生植被覆盖极差，除农业植被外，主要为草地和荒草坡。森林覆盖率在 8% 以下。在水力、重力、风力、人力的共同作用下，侵蚀非常强烈。年侵蚀模数一般为 10000—15000t/km²。这相当于每年侵蚀 1cm 厚的表土层。自然土壤为灰褐土。耕作土壤多为在侵蚀过程中不断退化而直接发育在黄土母质上的黄绵土。由于河流的输沙比约等于 1，被侵蚀掉的物质被全部搬运至黄河干流。全流域每年有 3910 万吨泥沙输入黄河。其中粒径大于 0.05mm 的粗沙占一半左右，为黄土高原主要的粗沙来源河流之一。这些粗沙在黄河下游河道沉积下来，淤淀于河床，严重影响下游河道行洪与河堤安全。

强烈的侵蚀形成了千沟万壑的地表形态。据 1：10 万 TM 卫片制图量算结果，沟谷密度为 3.5—4km/km²。耕地为众多沟谷所分割，破碎而分散，农业活动极为不便。同时地面坡度大，耕地中陡坡地占很大比例，坡地在强烈侵蚀中首先是养分集中的表土遭受侵蚀，每年都损失大量养分；肥料投入又不足，土壤养分长期处于亏损状态。耕地除川地、坝地外，肥力极为低下。据八十年代初土壤普查结果，离石耕作层土壤有机质含量仅为 0.5%，与生黄土有机质含量相近。全氮 0.05%，比生黄土还低。速效氮 46.7ppm，略高于生土。而全磷、速效磷都低于生

本区光热资源充足（表 1），太阳年辐射总量为 130—140Kj/cm²，年日照时数 2400—2700 小时。据山西农业区划所的估算，主要农作物谷子、玉米、小麦、高粱的光合潜力为 1000kg/1300kg/亩。10℃ 积温为 2800—3800 度，无霜期 140—180 天。热量条件基本可满足一年两熟的要求。降雨相对不足，年降雨量 500mm 且集中于夏季，只能基本满足耐旱作物一年一熟生长的要求。据杨勤业对主要农作物水分平衡研究，离石除谷子水分盈余 51mm 外，春播玉米亏缺 121mm，冬小麦亏缺 194mm。降雨年际波动很大，农业收成稳定性差。因此在本区发展旱作农业，要采取措施减少水分流失，提高其利用率。并在气候预报的基础上，随降雨的变化调整各种作物播种面积。假使自然降雨能得以充分利用，耐旱作物如谷子、高粱的自然降水潜力可达 400kg/亩。

表 1 三川河流域各站气象要素值

地点	年太阳 辐射总量	日照时数	10℃ 积温 ()	无霜期 (天)	一月均温 ()	七月均温 ()	年降水量 (mm)	5—10 月 降水占全年%
离石	131.7	2592	3118	156	—7.9	23.0	500	87
柳林	139.8	2476	3817	178	—6.1	24.3	449	85
方山	137.2	2706	2862	151	—9.5	21.2	488	89
中阳	137.5	2726	2933	142	—7.7	21.4	501	87

该区的亩产相当低，据三川河流域水土保持规划报告提供的资料，降水充足的 1985 年平均亩产低于 80kg，不到自然降水潜力的 1/5，坡地产量更低，

小于 50kg。产量较高的梯田约 125kg，坝地 180kg，川地 250kg。与山西水保所官道梁试验梯田旱作产量（表 2）相对照，梯田产量尚不及试验场特旱年产量，这说明土壤水分利用率很低，在目前的产量水平上，水分不是第一位的限制因素。表 3 为离石农业气象站梯田旱地谷子栽培记录。它表明谷子在有较多的有机肥和无机肥投入时能获得相当高的产量，比目前梯田产量高一倍左右。由此可见，只要有充足的肥力耕地的增产潜力是相当大的。土壤肥力是提高单产的第一位限制因素。将来培肥土壤需从两个方向努力：一是减少水土流失；二是施用充足的肥料。对于前者，要采取工程措施与水土保持耕作措施，改变微地形，增加地面糙度，其中最重要的是修梯田。对于后者，则需要有充足的肥源，其中的有机肥只能来源于畜牧业。因为作物收割后很快进入干冷的冬季，采用秸秆还田的方式秸秆不能分解转化为有机质，所以只能施用厩肥、圈肥。对于今后的旱作作物结构，要压缩高粱播种面积，扩大适合于这里的水分条件，同时秸秆又是良好饲料的谷子的播种面积，以稳定产量，增加饲料来源。

表 2 官道梁梯田旱作产量

年 份	1959 — 1979	1965 特旱年	1966 湿润年
降水(mm)	500.6	232	865.3
粮食产量(kg/mu)	267.1	186	495.8
玉 米	347.9	186	622
高 粱	320.9	185.6	482.6
谷 子	204.6	112	432.4

表 3 离石农业气象站谷子栽培记录

年 份		80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
生长期降水(mm)		265.3	343.2	339.8	294.9	296.0	559.5	228.4	340.8	501.2	354.3
施 肥 量	石炭铵(斤)					50	50	50	40	50	50
	有机肥量(担)	100	70	15	15	10	26	16	10	18	13
亩产量(kg)		220	220	232	250	329	296	305	242	330	372

(二) 土地资源特征

1. 数量特征

根据土地类型调查结果（表 4），三川河流域黄土区面积占总面积的 53%，其中耕地面积占黄土区的 52%，占全区的 27%。土石山区占总面积的 47%，其中耕地面积占土石山区的 7%，占总面积的 3%。这说明这里的耕作业对黄土的深刻依赖性。黄土由于自然肥力高、可耕性好已成为黄土区重要的农业资源，只要有黄土分布的地方，能开垦的都开垦了。但黄土疏松，抗蚀力弱，一旦被耕垦，就直接暴露在外营力的直接作用下，表层土壤在耕作中反复被扰动，侵蚀量就激剧增加。根据生物治理区与对照区水土流失量的实验结果，对照是强烈的。三川河流域人工造林区径流量为 16.2mm，产沙量

为 1011t/km²，而对照区年径流量为 23.4mm，产沙量为 10765t/km²。这就注定了黄土 耕作 泥沙之间的必然联系，耕作与产沙之间的相关程度也就成了黄土区研究的中心问题之一。由于耕地、侵蚀都集中在黄土区，下面对土地资源的分析即集中在黄土区。土石山区对侵蚀与承载力的总趋势影响不大。

土地资源数量结构见表 5。其中的三等地主要为梯田，一、二、三、四等地是不同程度宜农的，它们占土地总面积的 29%。宜农类土地中一等地、二等地合占 10%，三等地 15%，四等地 75%。耕地中以勉强宜农的耕地占绝对优势，土地质量低下。

表 4 三川河流域土地类型数量结构
黄土丘陵区土地类型数量结构(亩)

地貌单元	土地类型	面积
沟谷地	河滩地	52328
	川地	95292
	台地	20663
	沟坝地	61682
	合计	229965
沟间地	耕作塬地	17454
	耕作沟间地	1933841
	有林沟间地	21646
	草灌沟间地	17103
	合计	1972570
沟坡地	耕作沟坡地	2390
	有林沟坡地	179707
	草灌沟坡地	1304671
	裸土沟坡地	488484
	塌地沟坡地	64859
	裸岩	66088
	合计	2106199
总计		4326188

土石山区土地类型数量结构(亩)		
地貌单元	土地类型	面积
低山地	有林低山地	549242
	草灌低山地	314691
	耕作低山地	193411
	合 计	1057344
中山地	有林中山地	1871680
	草灌中山地	25185
	耕作中山地	9987
	合 计	1906852
沟谷地	有林沟谷地	656285
	草灌沟谷地	130438
	耕作沟谷地	139393
	合 计	926116
合计		3890312

表 5 三川河流域土地资源数量结构

土地等级	一	二	三	四	五	六	七	八	合计
数量(亩)	6709	217281	369000	1770633	4596747	670887	513180	78063	8216500

黄土区不同来源的土地资源调查结果有较大差异，尤其是耕地。在对卫片进行蒙绘解译时，一些重要地类是相互过渡的，很难从色调区分开来，只能采用较易确定的相关地形标志，其中最主要的就是谷缘线与坡脚线。谷缘线是从梁峁到沟坡的转折线，其上为未受现代沟谷切割、侵蚀相对轻微、坡度较小的梁峁坡面，它们几乎已全部开垦为耕地。沟坡到川台地之间的转折线为坡脚线，坡脚线到谷缘线之间为沟坡，坡度大，侵蚀剧烈，主要为退化的草地和荒草坡、裸岩。较小的冲沟横剖面为“V”字形，没有川台地分布，只有较大的沟谷两侧才有川台地。根据谷缘线、坡脚线与地形、土地类型、土地利用之间的相关关系，它们成了区分不同的土地类型之间的重要界线，它们所确定的沟间地、川台地之间的比例实际上就代表了宜农耕地的数量。但在 1:10 万 TM 卫片上，这两条界线也不是很明晰，蒙绘时还有一定的任意性。但它们在较大比例尺航片上能准确判读，因此卫片判读结果要以航片判读结果作进一步的验证与核定。从表 6 可见，TM 遥感调查结果与航片调查结果比较一致，沟间地比例都在 50% 附近，其中卫片调查结果较小，这与实际地形变化规律是一致的：1) 所选择的航片样区都是小支流，沟谷横剖面为“V”字形，谷缘线以下无宽缓河谷；卫片调查结果为全流域黄土区平均状况，谷缘线以下有较大面积的宽缓河谷，其比例在 5%，这样谷缘线以下部分所占的比例就偏大一些。2) 按侵蚀发展规律，侵蚀在空间上的扩展是从基准面开始由下游向上游，由主流向支流不断推进的。愈近下游，沟间地比例愈小，沟谷地比例愈大，航片判读结果充分说明了这个规律，从杨家峪到洪水沟到王家沟，沟谷地比例不断减小、沟间地比例不断增大（表 6）。因而在小支

流上获得的结果与全流域的平均状况相比，沟间地比例稍大、沟谷地比例较小。根据上述比较，土地资源遥感调查结果是较可靠的。

表 6 卫片与航片调查结果比较(百分比)

信息片	TM 卫片	航 片		
地 区	全流域	王家沟	洪水沟	杨家峪
谷缘线以上	46	56.3	53.6	50.4
谷缘线以下	54	43.7	46.4	49.6

黄土区一等地、二等地主要由河谷中的土地类型和塬地构成；三等地、四等地主要由塬地以外的沟间地构成。沟谷地与塬地只占黄土区面积的 5.7%，耕地面积的 90%分布在梁峁坡上。这部分耕地面积大，主要为低产田，增产潜力大，水土流失严重。黄土区治理无论以增产粮食还是以水土保持为出发点，都要以这部分耕地作为治理的重点。

2. 重要的质量特征——坡度

梁峁坡上的耕地质量主要取决于坡度。随着坡度的增加，侵蚀模数和径流模数迅速增大（表 7）。沟间地坡度状况和构成对土地的生产性能和将来土地的合理利用有决定意义。

表 7 羊道沟流域土壤侵蚀垂直分布

微地貌名称	坡 度	土地利用方式	侵蚀方式	占流域总面积百分比(%)	年侵蚀模数(t/km × km)
梁峁顶部带	1—5	农	溅蚀	4—5	375
梁峁斜坡带	6—20	农	细沟侵蚀	20—25	2820
邻近沟边带	20—30	农	浅沟侵蚀	20—25	14700
沟谷荒坡地	30—60	荒	冲沟侵蚀	40—50	27900

为对这一地区的坡度有一个基本的认识，在等高距为 10 米，比例尺为 1 5 万的地形图上选择了一个小流域——中阳与离石之间的红眼川，较细致的作了坡度图。坡度分 < 3°、3°—7°、7°—15°、15°—25°、> 25° 五个等级。在编制坡度图的过程中，< 15° 的坡度级每个图斑量取 2—4 条等高线的间距，> 15° 的坡度量取 4—6 条等高线之间的间距。在等高线密集的区域，地图上经常省略了首曲线，等高线显得稀疏，在这种情况下就量取两根计曲线之间的距离。红眼川流域坡度图及其量算结果见图 1、图 2 和表 8，它表明黄土区 > 25° 坡度是明显的优势坡度，其比例在 60% 以上。这个结果所表明的坡度的基本构成趋势是较可靠的，因为黄土区坡度构成可以从两个方面作基本估计：1) 黄土区可划分三大地貌面：沟谷地、沟坡地、沟间地。沟坡地除了滑坡之外，坡度都在 25° 以上，其比例约为 50%。沟间地坡度较小，但也有相当一部分坡度大于 25°。据羊道沟、王家沟资料，其比例约为 10%，因此 > 25° 坡度所占比例应为 60% 左右。2) 小流域典型资料。表 8 为几个典型流域的坡度构成，它们所反应的一个共同趋势是 > 20° 陡坡的比例是相当大的。

表 8 典型流域坡度构成

王家沟	坡度级	0—5 °	5—10 °	10—15 °	15—20 °	20—25 °	> 25 °
	百分比	2.02	5.96	11.71	10.80	11.80	56.9
红眼川	坡度级	0—3	3—7	7—15	15—25	> 25	
	百分比	0.64	0.93	9.97	16.1	72.4	
羊道沟	坡度级	1—5	6—20	20—30	30—60		
	百分比	4—5	20—25	20—25	40—50		
杨家峪	坡度级	7—15	15—20	> 20			
	百分比	5.9	17.5	76.5			

由上述坡度资料进一步分析陡坡耕地占耕地面积的比例：

1) 沟坡地坡度 > 20 °，沟谷地坡度 < 20 °

2) > 20 ° 比例—沟坡地比例=沟间地 > 20 ° 比例 陡坡耕地占黄土区比例，由此得到表 9 的结果。由表 9 可见，> 20 ° 陡坡耕地至少占耕地面积的 35%。因为王家沟就其所处的位置而言，其陡坡比例比其下游区域陡坡地比例小，而沟间地比例要大。就全流域黄土区的平均状况而言，可以认为 > 20 ° 的坡耕地占耕地面积的 40% 左右。梁峁坡上 < 25 ° 的坡度中，又以 > 15 ° 的坡度占优势。

表 9 陡坡耕地比例

流 域	陡坡占流域百分比 (%)		沟坡地占流域百分比 (%)	沟间地陡坡占流域百分比 (%)		陡坡耕地占耕地百分比 (%)	
	>20 °	>25 °		>20 °	>25 °	>20 °	>25 °
王家沟	68	57	51	17	6	35	12
杨家峪	77		50	27		54	
红眼川		72	50		22		44
羊道沟	70	60	50	20	10	40	20

> 20 ° 的坡耕地修建梯田难度大、成本高，田坎高、田面窄、蒸发强烈、增产效益小，一般认为是修建梯田的上限坡度。同时 > 20 ° 的耕地侵蚀模数达 1.5 万吨/km，相当于每年侵蚀掉 1cm 以上的土层，它们不能作为种植业用地来经营，从远景的土地承载力来考虑是必须退耕的。

3. 空间特征

黄土区的耕地不仅陡坡比例大，从其分布来看也具有独特的空间特征。

1) 以沟谷系统为骨架，阶地、台地沿较宽的河谷延伸，两侧为沟坡地带，其高度在百米左右，地势起伏很大，其上为沟间地带。沟间地集中了 90% 的耕地，河谷中则集中了全部可用于灌溉的水源，这样水土为沟坡所分隔，地形破碎，田高水低，无从发展灌溉农业。

2) 只要地形条件许可，居民点都趋水源分布。因此裂点以上的宽谷区域，人口主要集中在沟谷中。从沟谷到沟间地，可通行的道路很少，两者之间的

联系极为不便，这就造成了人地分离的状况。一方面沟间地上的耕地得不到很好的经营；一方面沟坡下部的陡坡因较为近便而被开垦。这是沟坡上仍有大量耕地分布的主要原因。

3) 耕作半径大。耕作半径指从居民点到耕地的实际道路距离。下面的数据和估算虽不甚准确，但可以揭示一些有意义的问题。据 1:10 万 TM 卫片制图量算结果，在李家湾裂点以上的沟谷密度为 $3.3\text{km}/\text{km}^2$ ，在其下为 $3.7\text{km}/\text{km}^2$ 。这些沟谷的切割深度都在 50m 以上，长度在 0.5km 以上。而实际上能阻碍农业作业的沟谷密度还要大得多，现暂以 $4\text{km}/\text{km}^2$ 计，则在 1km^2 内的耕地为 4km 的沟谷所分割。根据 1:5 万地形图量算结果，中阳黄土区居民点密度为 0.6 个/ km^2 ，在谷缘线以上的居民点密度为 0.3 个/ km^2 。假设 1km 内的耕地是沿 4km 的沟谷连续分布的，居民点的分布是均匀的，则居民点之间的间距为 7—12km，耕作半径为 3.5 - 6km。沟间地上的耕地若离居民点在 2km 之外，其耕作是很粗放的。由此推论，沟间地上至少有 2/3 的耕地得不到很好的经营，其产量也相当低。

本区的农业动力依赖于人力与畜力，农用机械动力很少。据 1985 年统计数，全区共有 14.5 万户，大牲畜只有 2.97 万头，平均每户 0.2 头，平均每只大牲畜负担 91 亩地，当然能充当役畜的则更少。根据柳林农业区划调查资料，每只役畜要负担 200 亩耕地。因此农耕作业主要靠人力。在传统农业中对耕地的集约经营的劳动是相当艰苦繁重的，其中如人们对农作物的管理、有机肥的施用、作物的播种施肥等农事，都受耕地是否近便的制约。由此产生了传统农业明显的微域结构特点，即对耕地的集约经营程度随耕地离居民点距离的增加而很快减少所产生的土地利用方式、土地产品产值等的空间差异。《中国土壤》亦论及南方水稻种植区因集约经营程度的不同而产生的土壤微域分异，可见这种微域结构在传统农业中是普遍现象。人们常把这里的广种薄收归咎于传统习惯，但应看到川地台地的物质与劳动投入都相当高，粗放经营的只是离居民点较远的沟间地。应该承认传统习惯源于产生它的环境，是一种对环境的适应。

由于农业微域分异规律的存在，在土地资源评价中等级相同、质量相同的土地不能获得相同的产量。这与农业实验上的规律也是符合的。即在实验田上能获得的高产，在大面积质量相同的耕地上推广时不能实现同样高的产量。据实地调查访问，离村远的梯田比离村近的梯田产量低约 100 斤或更多。在考虑将来的土地生产力时，不考虑区位因素的影响就会出现一定的偏差。在平原地区，人口密集，耕作方便，这种偏差可能不明显，但在黄土区这种偏差就较大了。

四、关于土地承载力的讨论

在粮食匮乏、环境严重退化的区域，控制人口、改善环境都是很紧迫的问题。对人口总数及其群体结构的有效改变要经过几代人的努力才能实现。同样自然环境的改善也是一个渐进的恢复过程，因此对这些问题的解决要立足于远景的土地承载力状况作长远的打算。根据本区土地利用调查结果，黄土区林地比例只有 6%，而耕地比例近 60%。位于沟间地的耕地有 40% 坡度 $> 25^\circ$ ，这就不难想象大面积无林陡坡上的侵蚀的强烈程度。只要有大面积的无林陡坡、耕地陡坡存在，就无法改变侵蚀严重的局面。因此本区的治理

须先谋求有足够的治理面积。下面对本区土地承载力的估计主要着眼于下世纪中期前的状况，并以大面积坡面的改变为基本依据。

土地承载力是维持土地持续生产力的承载力。生产粮食的农业活动应能充分利用自然资源，并有利于生态环境的改善和提高。所以，从长远的观点看，大于 20° 的坡耕地要全部退耕，其余的要修成梯田。在 236 万亩耕地中，其中 40% 约 94.5 万亩 $> 20^{\circ}$ 。从 177 万亩四等地（坡地）退耕 94.5 万亩后，其余的 82.5 万亩全部修成梯田，加上原有的 36.9 万亩，届时梯田总数达 119.4 万亩，约占黄土区面积的 29%。王家沟经过三十多年的治理，投入了巨额资金，其有效治理面积已达 44%，其梯田面积占总面积的 18%。即使将来 100% 治理了，其梯田面积不会超过现在的两倍，即 36.6%。由于王家沟陡坡比例比黄土区小，沟间地比例比全流域黄土区大 10% 左右，因而可梯田化的面积比全流域黄土区的平均比例要大。故将来三川河流域梯田面积占该流域黄土区面积的 29%，与实际情况不会有较大的偏差。

前面提到由于各数据项的精度有限，对承载力的估计只在于说明将来的趋势，定性半定量地说明问题，因此对于其中所采用的数据本文主要从理论的、实践的、历史的方面作经验的估计。各数据项都有一定的变化幅度，为使估算的承载力有积极的结果和留有余地，计算过程中都取用有利于承载力偏大的值。单产、总产等历史序列资料，年际变动很大，本文对其作五年滑动平均以消除年际波动的影响并以此观察其大致趋势。

本区一等地、二等地共 22.4 万亩，净耕地系数取 10%，则净耕地面积为 2.24 万亩。它们都分布在居民点附近，水分条件好、投入高，肥力将不是主要的限制因素，它们是将来主要的高产田。作物自然降水潜力在 400kg/亩左右，一等地、二等地目前产量一般在 150—300kg 之间。根据单产历史资料，其五年滑动平均结果表明单产增加最快的时候，即 70 年代初至 80 年代初，十年增加了 50kg，按此速率一、二等地经过 40 年左右亦能达到 400kg/亩。

因此以 400kg/亩作为一、二等地将来的产量。

沟间上的耕地全部为梯田，共 119.4 万亩，比现在净增 82.5 万亩。根据乔玉良所作的三川河流域土地利用动态变化分析 1958—1981 年间共增加梯田 33 万亩，每十年增加 1.4 万亩，按此速率增加 82.5 万亩梯田需经过 60 年左右的努力。结合实地访问的结果，假设 2km 以外的梯田因距离太远，植物保护、农业耕作与施肥都较差，其产量比 2km 以内的梯田低 50kg，其面积为梯田总数的 $\frac{2}{3}$ ，约 79.6 万亩。

以离石农业气象站为代表，梯田在目前最好的投入与管理水平下的实验田产量十年平均为 270kg/亩。据三川河流域水土保持规划报告，目前梯田平均产量为 100—150kg/亩。以单产十年增加 50kg 计，经过 40 年左右亦能达到 300kg。取此值为梯田将来的产量。因梯田田坎、道路所占比例较大，其净耕地系数取 80%。则将来有 31.8 万亩梯田亩产量为 300kg，63.7 万亩梯田单产为 250kg。

根据上述结果，三川河流域在下世纪中期以前能达到的总产量为 3.35 亿公斤：

$$20.2 \text{ 万} \times 400\text{kg} + 31.8 \text{ 万} \times 300\text{kg} + 63.7 \text{ 万} \times 250\text{kg} = 3.35 \text{ 亿 kg.}$$

本区食物构成以小麦谷子玉米为主。由于动物性食品无论现在还是将来在食物构成中所占的比例都很少，而其数量又难以估计，这里以粮食消费量代表其消费水平。解放后，三川河流域人均粮食有所增加，但增加的幅度不

大。在 1949—1988 年间只有四年人均粮食在 600 斤左右，绝大部分年份在 400—550 斤之间，三川河流域每年还要调入较多的粮食。在这种形势下，消费水平不能确定得太高。一般认为人均 800 斤适合于我国本世纪末的消费水平，鉴于三川河流域消费水平尚低，其人均粮食增加最快的 70 年代为 50 斤/10 年，按此速率，由人均 600 斤增至 800 斤亦需 40 年才能达到。故取人均 800 斤粮食为该流域远景的消费水平。

根据上述结果，三川河流域土地人口承载力为 84 万人。这个人口数可视作为该区的警戒人口数，计划生育从长远的努力目标来看，要把它作为该区人口的上限值。

三川河流域人口自然增长率 1949—1988 年为 18‰，1988 年人口已达到 61.5 万。40 年人口增长了两倍多。解放后，本区人口的增长可分为三个阶段。1960 年以前为第一阶段，人口自然增长率低于 40 年来的平均水平，其中 1949—1957 年 16.8‰，1957—1960 年仅 6‰。70 年代为第二阶段，这是一个长达十年的人口生育高峰，自然增长率为 27.0‰。70 年代以来为第三阶段，1972—1976 年开始倡导计划生育，人口迅速增长的势头有所减缓，自然增长率为 19.3‰，1976—1981 年自然增长率降到 9.6‰，1981 年以后又有所回升，1981—1988 年达 15.9‰。总的说来，三川河流域的人口自然增长率一直是较快的，尤其是 80 年代后期，虽采取严格的控制措施，增长率还是居高不下。从现在到本世纪末我国人口控制目标是争取自然增长率在 12‰以内，从现实情况看在本区是难以实现的。

三川河流域农业人口占 90% 以上，农村的人口控制难度相当大。除了传统观念的影响外，在目前的形势下又出现了一些刺激人口增长的重要因素：

1) 人均土地、人均资源量相对不足的情况日趋严重，通过人与土地、人与资源之间而导致的人与人的矛盾变得激烈，这主要表现在农村中人们为争夺土地、水源或其他资源的占有与使用权而产生的民事纠纷大量增加。这不仅意味着人口的过快增长使社会变得不安定，而且在这种涉及到每个人切身利益的冲突中，人丁旺盛的家庭和家族总是占有明显的优势。在人口素质偏低，法制不完善的情况下，人多即意味着强权与利益。对它的渴望必然成为刺激人口增长的强有力因素。

2) 实行家庭联产承包责任制以后，人口多的家庭劳动力充足，能进行较大规模的承包经营，取得较好的收益，这是在经济上刺激人口增长的因素。

据 1980 年人口普查结果，本区人口年龄构成属年轻增长型，人口最多的年龄组为 10—14 岁：人口平均寿命为 63 岁。若今后农村夫妇只生两胎，杜绝多胎的话，以将来平均寿命 70 岁计，按移龄法作粗略推算，人口达到或逼近零增长需要约 50 年，峰值人口将达 90 万。在其前 30 年自然增长率仍相当高。90 年代已进入第三次人口生育高峰，若今后 30 年人口平均自然增长率为 10‰的话，则届时人口将达到 83 万。

综合上面的结果，人口远景的承载力按较低的生活水平计算为 84 万人，达到这个目标即使单产按解放后最快的速度增长需 40 年左右，而人口的增长在 30 年内将逼近此值。因此本区的土地、粮食、人口关系在长时期内都将是紧张的，是在较低的生活水平上维持平衡。

在远景的承载力中，川台地、坝地等河谷中的净耕地占将来净耕地的 14.5%，承载的人口占将来人口的 22%，即 18 万人。谷缘线以上的梯田承载的人口占承载力的 78%。这说明在不考虑土地利用形式大规模转变的情况

下，土地承载力的重心将支撑于梯田上。三川河流域在下世纪中期以前即被开发为大型的能源基地。在矿产资源开发过程中所带动的工业化与城市化过程都集中于三川河河谷中，这也正是川台地集中分布的区域。因此在质量最好的耕地上必然发生土地利用形式的大规模转变。大量的耕地被建设用地，居民用地所挤占，城郊农业兴起，粮食用地转变为菜地和园地。因此，随着经济建设的发展，河谷中的耕地在土地承载力的作用将进一步减小。一般说来，一亩梯田相当于四亩坡地，但减少的川地不能以坡地来弥补。因为坡地难以维持其肥力，提高产量相当困难，而梯田无论是增产潜力还是投入产出效益都是较理想的，而随着经济的发展有可能为梯田建设筹集到足够的资金。梯田是将来土地承载力的重要依托。

晋西侵蚀强度区域分异的原因分析

高起江 乔玉良

(山西省农业遥感应用科学研究所)

晋西黄土高原侵蚀强度的空间、时间变化,是自然因素和人为因素区域差异的综合反映。自然因素中主要包括影响侵蚀的地表组成物质、植被覆盖度、地形地貌及降雨等。人为因素主要是指人类活动影响侵蚀加速和水土保持的治理程度。人类活动对侵蚀的影响,是一个十分复杂的问题,将专门进行分析。本文只分析自然因素的差异对侵蚀强度区域分异的影响。

一、地表级成物质的影响

地表物质是被侵蚀的主要对象,其抗蚀力的大小与其本身的性质有很大关系。因此,它是影响一个区域侵蚀强弱的极重要的因素。构成晋西黄土高原地表物质,除吕梁山以古老的变质岩、灰岩、花岗岩等抗蚀力较强的基岩组成外,主要区域是由黄土、红色土、红粘土及砂页岩等组成。黄土质地相对说较均一,结构松散,富含钙质、遇水易崩解,表土有机质含量低,多在 1% 以下,抗蚀能力较低。沟谷出露的砂页岩易于风化剥落和受流水冲刷的破坏。故此构成了本区严重侵蚀的内在条件。

1. 黄土粒径水平地带分异的影响

黄土粒径的大小及比例的不同,直接影响着土壤抗蚀力及实际生产中利用价值和治理措施的实施。由于黄土是在干燥和半干燥环境下的风成产物,风的吹扬搬运和分选,造成各地黄土粒径和结构、矿物成分、化学成分都有着一定的区域差异。晋西地区通过对各地表层马兰黄土采样分析结果可以看出,黄土的颗粒组成的分布规律存在着由北向南逐渐变细的特点(表 1)。其中以粒径大于 0.05mm 和粒径小于 0.005mm 两个粒级变化最为明显。北部偏关县大于 0.05mm 粒级占总量的 40% 以上,南部吉县、乡宁仅占 8% 左右。粒径小于 0.005mm 粒级的变化特征则相反,北部为 11—12%,南部则为 20% 以上。准确地分析黄土粒径与侵蚀强度之间的定量关系是困难的。从对沙比系数($d > 0.05\text{mm}$ 颗粒所占全量的百分数与 $d < 0.05\text{mm}$ 颗粒占全量的百分数相比)与相应区域侵蚀量的关系来看,在晋西地区并不十分明显。沙比系数的中值区恰是晋西地区侵蚀强度最大的地区。这一结果与陈永宗、景可等学者对黄河以西地区研究所得沙比系数高的地区,侵蚀量大,二者之间较好的相关关系的结论,不十分吻合。从侵蚀产沙机理上分析,北部大于 0.05mm 粗沙含量高,粘粒含量小,土壤胶结力较差,抗蚀力弱,由于地形坡度较中部黄土梁状和梁峁状丘陵缓和,土壤透水性强,在相同降水条件下,下渗多,产流少,相对减弱了侵蚀力;南部大于 0.05mm 粗沙含量变小,粘粒含量相对增高,土壤胶结力增强,增大了抗蚀力。马兰黄土分布厚度的变化大致是由北而南,从 50m 左右减到 30m 左右,因此表层黄土的抗蚀力是由北向南逐渐增强。在前面所进行的仅代表沟间地表层马兰黄土的粒径分布规律分析中,经与侵蚀强度区域等级相对照,可以初步认为,沟间地马兰黄土大于

表 1 晋西黄土粒径分布统计表

采样地点	粒 度 mm			沙比系数	资料排序
	>0.05(%)	0.05 — 0.015(%)	<0.005(%)		
偏关 贾堡	65.5	25.2	9.3	7.043	
偏关 天峰坪	43.5	46.2	11.3	3.850	
河曲 红崖	49.0	38.3	12.7	3.858	由
河曲 范家梁	37.0	49.7	13.3	2.782	北
保德 大烟墩	35.5	52.0	12.5	2.840	向
兴县 大路梁	37.9	51.1	11.0	3.414	南
方山 赤坚岭	38.5	49.4	12.1	3.182	
柳林 李家垣	39.0	47.8	13.2	2.955	
方山 城南	31.5	55.2	13.3	2.368	
柳林 青龙城	24.1	59.7	16.2	1.488	
离石 王家沟	25.1	57.9	17.7	1.418	
离石 城北	23.8	59.3	16.9	1.408	
离石 大东川	20.0	65.6	14.4	1.389	
中阳 南川河	19.8	64.1	16.1	1.230	
吉县 城西	7.5	71.4	21.1	0.355	
乡宁 城北垣	8.1	63.7	28.2	0.287	

0.05mm 粗沙含量占一定比重（约 35% 以上），又与适宜的地形地貌相组合，其产沙量是最大的。

2. 黄土粒径垂直分异的影响

黄土地区沟间地多分布有马兰黄土（ Q_3 ），沟谷地中又不同程度地出露有离石黄土（ Q_2 ）、三趾马红土（ N_2 ）等地层，各种地层黄土在粒径分配上也存在一定差异（表 2）。

表 2 黄土地层粒径分析

采样地点	地层	>0.05mm	0.05 — 0.005mm	<0.005mm
方 山	Q_3	38.5	46.7	14.8
麻地会	Q_2	23.3	57.5	19.2
郝家沟	N_2	12.3	40.2	26.2
高家沟	Q_3	12.1	66.8	11.1
白草沟	Q_2	19.1	58.8	22.1
柳 林	Q_3	19.1	49.4	11.5
屈家沟	Q_2	17.5	64.4	18.1
屈家沟	N_2	17.0	57.8	25.2
陈家塬沟	Q_2^{-2}	24.9	51.9	23.2
陈家塬沟	Q_2^{-1}	26.3	53.6	20.1

从分析结果看出，黄土沟道中从上到下，马兰黄土大于 0.05mm 粗沙含量最高，离石黄土居中，三趾马红土最低。而小于 0.005mm 的粘粒含量则相反。

一般情况下，马兰黄土粘粒含量小，抗蚀能力低；离石黄土居中；三趾马红土粘粒含量最高，抗蚀力最强。据山西省水土保持研究所测定：三趾马红土荒坡比离石黄土荒坡一般径流量大 63%，土壤侵蚀量为离石黄土荒坡的 66.5%。但应指出的是，在低强度历时长降雨的情况下，各地层产沙将产生显著的变化。据山西省水土保持研究所综合径流场对 1965 年 5 月 23 日一次降雨过程观测，降雨量 62.3mm，降雨历时 20.50 小时，降雨强度为 3.04mm/s，前期影响雨量 20.6mm 的情况下，各地层产流、产沙情况（表 3）。

表 3 各地层一次降雨产流、产沙分析

测区名称	代表地层	浑水径流深(mm)	土壤侵蚀模数(T/km ²)	备 注
峁 顶	马兰黄土	1.1	28.7	冬 麦
半山坡	马兰黄土	1.0	48.3	坡耕地
全山坡	马兰黄土	0.5	187.0	
全沟坡	马兰黄土 离石黄土 三趾马红土	11.6	13319.0	
黄土沟坡	离石黄土	28.4	22200.0	
红土沟坡	三趾马红土	32.8	29203.1	

观测结果表明，在低强度、长历时降雨，并有较大的前期影响雨量的情况下，三趾马红土在充分吸水的情况下，容易发生土体滑落，加之易受“秋湿”、“冬冻”、“春融”的物理风化作用影响，土体风化剥落以泻溜形式为这次“夏冲”准备了丰富的物质，侵蚀量要较马兰黄土和离石黄土高得多。

3. 黄土各地层受侵蚀的临空面大小的影响

除黄土的水平和垂直分布差异影响外，不可忽视的是各地层受侵蚀的临空面积大小。遥感调查和卫星图象上所测定和观察到的面积只是各地层的投影面积，因而得出了马兰黄土面积最大，离石黄土次之，三趾马红土仅局部出露的结论。晋西地区除残塬丘陵陵区外，大部分梁状、梁峁状丘陵，特别是中部侵蚀剧烈发生区，沟间地与沟谷地比例接近于 1，沟谷切割深度在 50—100 米者居多，离石黄土的临空面与马兰黄土的临空面至少相当或更大。从侵蚀产沙形式上分析，沟间地马兰黄土是以层状面蚀、细沟及切沟产沙，沟谷坡的离石黄土（含上层马兰黄土）则以沟蚀和重力侵蚀形式产沙，产沙量要比前者大得多。

从上述黄土各层粒径分配区域分布特征及各层位产沙量与降雨特征的关系可以看出，黄土各层位结构区域特征是决定侵蚀强度的区域分异的主要影响因素之一。

二、降雨对侵蚀强度的影响

降雨是产生土壤侵蚀的主要外营力。晋西地区降雨量有由山地向丘陵、河谷（由东向西）逐渐减少和由北向南逐渐增加的特征（表 4）。汛期 7、8、9 三月雨量平均占全年雨量的 62.5%。地带性变化不十分显著。但从统计结果可以看出，在黄土覆盖地区，凡汛期雨量占全年雨量的比例高于全区均值的地区，均是侵蚀剧烈发生区，也是侵蚀模数高值区。如偏关的老营、河曲

的旧县、保德的义门、兴县城关、裴家川、临县的城关、车赶、曹峪坪、离石的城关、柳林的后大成、石楼的前岔沟、隰县的午城等，而且上述各测站中，年雨量越高的地区，一般侵蚀越强烈。

降雨对侵蚀强度的影响，还可以从下垫面的水文状况分析中得出其规律性（表 5）。从表中可以看出，晋西黄土覆盖的黄土丘陵地区降雨量和径流深均较东部山地低，但洪水模数值都较大；东部吕梁山地区，虽然降雨量和径流深都较大，但洪水模数值却较小，反映了森林植被改变降雨过程，涵养水源，削洪的水文效应；洪水模数与侵蚀强度的相关性是受地表覆盖制约的。由松散物质组成的丘陵、山地洪水模数愈大，则侵蚀强度越大，随着松散物质所占比重的减少，洪水模数虽然增加，但侵蚀强度却是下降的趋势。基岩裸露抗蚀力较强的山地，年径流深虽很大，但由于松散物质不发育，侵蚀强度也较小。从南北地带分异上看，受黄土粗粒径和粘粒含量的差异影响，中部湫水河和清凉寺沟洪水模数和径流深都较高，侵蚀模数也居首位，屈产河洪水

表 4 降雨的分布规律统计表

县名	站名	多年平均降雨量 (mm)	多年平均汛期雨量 (mm)	汛期雨量占全年 (%)	备注
偏关	老营	437.18	289.76	66.3	由
	楼沟	471.60	272.59	57.8	
	偏关	438.77	277.60	63.3	
	水泉	366.43	270.95	73.9	
河曲	沙泉	413.82	266.97	64.5	北
	单寨	430.11	263.28	61.2	
	旧县	367.83	250.35	68.0	
	河曲	391.15	245.48	62.8	
	曲峪	366.10	237.19	64.8	
保德	石佛河	409.74	254.00	62.0	向
	化树塔	447.90	248.63	55.5	
	桥头	383.05	241.00	62.9	
	义门	429.81	284.90	66.3	
兴县	界河口	474.69	304.34	64.1	南
	兴县	483.04	309.91	64.2	
	魏家滩	417.18	223.63	53.6	
	裴家川	424.26	277.74	65.5	
方山 临县	开府	501.05	309.69	61.8	
	圪垯	535.59	327.57	61.2	
	车赶	397.02	274.36	69.1	
	临县	497.63	335.47	67.4	
	窑头	427.06	250.81	58.7	
	曹峪坪	386.13	247.09	64.3	
离石 中阳 柳林	万年饱	524.97	327.27	62.3	
	离石	487.63	331.60	68.0	
	金家庄	472.90	289.90	61.3	
	后大成	463.47	289.53	62.5	
石楼 永和	前岔沟	507.15	323.58	63.8	
	柳树沟	450.92	280.30	62.2	
	义牒	480.64	283.18	58.9	
	裴沟	472.31	290.78	61.6	
大宁 吉县 隰县 乡宁	井儿上	628.18	259.59	41.3	
	桑峨	558.76	347.15	62.2	
	午城	488.48	311.77	63.8	
	大宁	504.20	304.20	60.3	

表 5 不同类型水文要素统计表

河流名	代表站	流域面积 (km ²)	降雨量 (mm)	实测最大洪峰 流量 m ³ /s	洪水模数 $Q_m/\sqrt{7}$	平均年径 流深(mm)	平均侵蚀 模数(T/km ²)
清凉寺沟	杨家坡	283	457.1	1670	99.4	57.9	15200
湫水河	林家坪	1873	478.8	3670	84.8	59.6	16800
屈产河	裴沟	1023	487.6	3380	105.6	12500	
昕水河	大宁	3391	525.0	2880	49.5	46.7	6640
清水河	吉县	436	556.0	1050	50.2	55.3	11835
南川河	万年饱	236	549.9	230	13.6	67.0	285

模数值最大，径流深最低，侵蚀模数居第三位，这是受丘陵至残塬过渡地貌的影响所致。南部昕水河、清水河受残塬地貌和粘粒含量增加的影响，降雨量虽高，径流深也与其它各站相差不多，但侵蚀模数却不及前述各站大。

三、地形地貌对侵蚀强度的影响

地形地貌是影响土壤侵蚀突出的因素。在黄土地貌中，地貌形态对侵蚀的影响是个比较复杂的问题。晋西地区的地貌形态南北方向上有显著的差异，由南向北依次是黄土残塬丘陵、黄土梁状丘陵、黄土梁峁丘陵。在不同类型的黄土丘陵中，沟缘线是一条在黄土地貌中具有十分重要意义的界线。由其划分出的沟间地、沟谷地两个地貌单元在土地利用、物质组成、侵蚀方式及坡度等方面存在显著差异，沟壑密度是形态因素与其他内外营力共同作用的结果，与侵蚀强度有较密切的关系，是反映形态对侵蚀影响的综合指标。现分别剖析如下。

（一）侵蚀强度垂直分布规律

沟间地是位于沟缘线以上，包括分水岭附近的梁峁顶部、梁峁坡和邻近沟缘线的梁峁陡坡。沟谷地系指沟缘线以下的侵蚀沟坡。此次遥感调查，将沟间地和沟谷地利用 1:10 万陆地卫星 TM 彩色合成影象进行了细致的划分，对深入研究晋西黄土地貌侵蚀问题，提供了宝贵资料。

沟间地多为农业用地，以坡耕地居多。沟谷地多为较陡荒坡和陡崖，间有少量零星耕地。南部黄土残塬丘陵区沟间地面积大于沟谷地；中部黄土梁状丘陵区两者面积基本相等；绵黄土梁峁丘陵沟间地面积小于沟谷地；北部沙黄土梁峁丘陵区除黄河沿岸沟间地面积小于沟谷地面积外，沟间地一般大于沟谷地。据山西省水土保持科学研究所对黄土梁状丘陵垂直分布的微地貌带测定表明（表 6），各地貌带的土壤侵蚀量相差极为悬殊。这种侵蚀强度的垂直分异特征说明，自分水岭向下，地形逐渐变陡，坡长也逐渐增加，径流量也随之增大，冲刷力增强而造成的。又据观测资料证明，在相同降雨条件下，接受沟间地坡面来水的沟谷坡其径流、泥沙分别为不受坡面来水沟谷坡的 2.4 倍和 4.5 倍。即当坡面治理后，坡面径流一旦受到控制，沟谷坡的径流、泥沙则可分别减少 58% 和 78%，说明了沟间地陡坡耕地退耕，造林种草，修筑梯田，控蓄径流，减缓沟壑发展的重要意义。

表 6 侵蚀强度垂直分布特征

地貌部位	占流域面积 (%)	坡度	侵蚀形式	侵蚀模数 (T/km ²)	比值	土地利用
塬原	4—5	1—5 °	面蚀	375	1	坡耕地
塬梁坡	20—25	6—20 °	细沟	2820	8	坡耕地
邻近沟缘线	20—25	20 - 30 °	浅沟、切沟为主，间有陷穴	14700	39	坡耕地
沟谷坡	40—50	> 30 °	水蚀加崩塌，滑塌，泻溜等重力侵蚀	27300	73	荒坡

(二) 沟壑密度与侵蚀强度的关系

沟壑密度如前所述，是气候、地形、地表物质、植被等因素，在长期的侵蚀过程中综合影响的结果，是区域地貌形态特征的最重要指标之一。我们在晋西地区 1 : 50000 比例尺地形图上选取 20Km² 为样区，进行了沟壑密度的计量统计（表 7）。

表 7 各县沟壑密度计量统计表

县 名	样点位置	沟壑密度
偏关	老营	5.33
	陈家营	5.83
	魏家峁	5.26
河曲	楼沟	4.83
	沙泉	5.04
	偏关	5.28
	巡镇	5.82
保德	石佛	4.69
	桥头	5.02
兴县	界河口	5.09
	兴县	5.45
	白家沟	5.78
	高家村	5.91
临县	城庄	6.66
	车赶	5.78
	三交	6.33
	曹峪坪	6.18
	免坂	6.11
离石	王家沟	5.51
柳林	成家庄	5.82
	柳林	5.68
	吴堡	5.65
中阳	金罗	4.82
石楼	龙交	5.42
	石楼	4.60
	和合	5.11
	小蒜	5.43
	西山	5.65
永和	永和	4.27
	桑壁	4.36
大宁	水堤	4.81
	大宁	4.74
吉县	吉县	3.70
	红山	3.47
	阁楼	4.42
乡宁	曹井	4.21
	乡宁	3.78
	西坡	4.47

注：样点位置系指 1:50000 地形图图幅名称，各县样点自东向西排序。

计量统计结果可以看出，沟壑密度全区的总趋势是由北向南逐渐减小，中部临县和兴县的部分地区受紫金山隆起的影响，出现全区沟壑密度的高值区，也是全区侵蚀最为剧烈的地区。除临县外，样点较多的县还可以看出有由东向西沟壑密度渐增的趋势。黄河沿岸的蚀余黄土丘陵沟壑密度最大，证明其地形破碎，侵蚀切割达到相当严重的程度。

为进一步分析沟壑密度与侵蚀强度的关系，我们对晋西地区主要河流的沟壑密度与多年平均年输沙模数、汛期多年平均输沙模数进行比较分析（表8）

表 8 各河流沟壑密度与输沙量关系表

河流名称	测站	流域面积 (km ²)	沟壑密度	多年平均年输沙 量模数(Tkm ²)	多年平均汛期 输沙模数(Tkm ²)	汛期占全年 百分比%
偏关河	偏关	1915	5.06	8698.2	8242.6	94.8
朱家川	后会村	2901	4.27	7357.0	6881.3	93.5
蔚汾河	碧村	1476	4.74	8490.2	7898.2	93.0
清凉寺沟	杨家坡	283	6.18	12820.3	121213.0	94.6
湫水河	林家坪	1873	6.26	12694.8	12219.8	96.3
三川河	后大成	4161	5.50	6569.7	6195.0	94.3
屈产河	裴沟	1023	5.04	11441.9	10615.5	92.8
昕水河	大宁	3992	4.50	5575.4	5170.2	92.7

注：资料统计截止到 1983 年。

各河流中，沟壑密度越大，平均输沙模数越大，汛期输沙量占年输沙量的比例越高，其中三川河流域沟壑密度与输沙模数的关系数值与其它各河流数值相比较，出现偏低的异常情况，沟壑密度虽较大，但年均输沙模数却偏低，这是因为森林植被覆盖尚好的难侵蚀基岩山地占该流域总面积的 41%，根据中西河岔口站和陈家湾水库观测资料，其多年平均输沙模数仅为 177T/Km² 和 378T/Km²。扣除基岩山地的输沙量，得出黄土丘陵区输沙模数为 10764.6T/Km²。基本上可以说明黄土丘陵区沟壑密度与输沙模数之间的上述结论。同时还可以得出沟壑密度的高值区相应的汛期输沙量占全年输量的比重也大的结论。

四、植被对侵蚀强度的影响

晋西黄土丘陵区的植被主要为人工种植的刺槐、杨树、柠条和人工牧草，零星分布于黄土沟谷之中。黄河沿岸的基岩沟谷坡生长有零星灌木和杂草，黄土沟谷坡多系旱生的蒿类和禾本科草类。覆盖度和覆盖质量均很差。丘陵中几座岛状基岩山地，如人祖山、紫金山等多以灌木覆盖为主，其间生长有山杨、桦木、辽东栎等，覆盖度 70—90%；东部基岩山地，上部为华北落叶松、云杉、白桦、山杨及茂密草灌组成的针叶纯林和针阔叶混交林，生长茂密，覆盖度高，具有良好的森林生态环境；下部多为灌丛和针叶林占优势，灌木种类有沙棘、酸枣、虎榛子、黄刺玫、胡枝子、荆条等，草本植被多见白羊草和豆科牧草。乔木树种有油松、侧柏、白皮松及辽东栎等，覆盖度 70

—90%。

森林植被防止土壤侵蚀，改变生态环境的功能已逐渐被人类认识和接受，并且给予了极大的重视。林冠对降雨首先起到截留作用。截留量的大小，取决于树种和覆盖类型。据黄龙水土保持试验站观测：油松、白桦林冠截留量占汛期总雨量的 22.4—23.0%；山杨、海棠占 13.1—15%；辽东栎占 8.2%。复层林冠大于单层林冠。这一作用相对降低了降雨强度，减弱了雨滴打击地表的功能。森林中的地被物（主要指枯枝落叶层）具有较强的吸水作用。山杨林地地被物吸水相当于自身重量的 3.16 倍，油松林地地被物为 2.2 倍。加之森林土壤结构良好，透水性能好。据不同植被类型的坡面径流场观测：灌木林地平均初渗量为 12.6mm，山杨林为 10.1mm，油松林地为 7mm，荒草坡为 3.17mm，农田为 2.5mm。灌木林地初渗量是荒草坡的 3.4 倍，是农田的 5 倍。又据山西省水土保持科学研究所测定，人工幼林郁闭度由 0.4 提高到 0.8 时，在类似暴雨条件下，径流减少 34.7%，土壤侵蚀量减少 81.9%；在 30° 坡地上营造刺槐林，从造林开始，10 年内林地比非林地径流平均减少 30.8%，土壤侵蚀量减少 88.8%。以上充分说明了森林植被在降低暴雨强度、延缓汇流历时、削减洪峰、抑制侵蚀的水土保持效应。

晋西地区东部吕梁山地和人祖山、四十里山、紫金山等天然植被生长较好，是本区侵蚀量最小的地区。黄土丘陵南部残塬丘陵区人工林发展较快，受降雨量大的影响，沟谷荒坡植被覆盖较中、北部好。北部地区降雨量较南部低，自然环境脆弱，植被稀疏，灌木林生长良好，且具有较好的防护效果。总之，晋西地区植被抑制土壤侵蚀的作用东部大于西部，南部大于北部。凡属植被覆盖差的地区侵蚀量就高，反之植被覆盖面积相对较大、质量较好的地区侵蚀量就低。说明了森林植被在防治侵蚀上具有重要的主导地位。

五、结语

1. 马兰黄土表层大于 0.05mm 粗沙含量由南向北逐渐增大，小于 0.005mm 粘粒含量逐渐减小；黄土沟道地层中大于 0.05mm 粗沙含量由上至下逐渐减少，小于 0.005mm。粘粒含量逐渐增大。粗沙含量占一定比重与切割破碎的地形地貌组合，侵蚀量是最大的；在高强度，短历时暴雨条件下，马兰黄土抗蚀力最低，离石黄土居中，三趾马红土抗蚀力最强；在低强度，长历时降雨且有较大前期影响雨量的条件下，三趾马红土侵蚀量要较马兰黄土和离石黄土高得多；离石黄土受侵蚀临空面在黄土丘陵区占相当比重，产沙量也是可观的。

2. 汛期雨量占全年雨量比例，高于全区均值的地区，是侵蚀高值区；径流深和洪水模数高值区，亦是侵蚀剧烈发生区。

3. 峁顶、峁梁坡、邻近沟缘线的陡坡、沟谷坡侵蚀产沙比例为 1 : 8 : 39 : 73。沟间地治理，坡面径流受到控制后，可以使沟谷坡径流减少 58%，泥沙减少 78%；沟壑密度总趋势由北向南渐减，中部出现高值；东西向出现由东向西渐增趋势。沟壑密度越高，侵蚀量越大，汛期河流输沙量占年输沙量比例越大。

4. 森林植被在防治侵蚀上具有重要的主导地位。晋西地区植被影响侵蚀的作用东部大于西部，南部大于北部。侵蚀量与植被覆盖度和覆盖类型有着密切的关系。

参考文献

- [1]陈永宗等，黄土高原现代侵蚀与治理，科学出版社，1988 年。
- [2]曾伯庆，晋西黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀与水土保持防护体系，中国水土保持，1983 年第 6 期。

人类活动对侵蚀影响的规律性分析

高起江 乔玉良

(山西省农业遥感应用科学研究所)

对黄土高原严重侵蚀发生、发展的历史和现状,追根溯源,究竟是自然侵蚀起主要作用,还是人为加速侵蚀起主导作用,人类活动对黄土高原侵蚀的影响应当如何评价?在侵蚀遥感调查的基础上,仅就晋西地区做初步分析。

一、自然侵蚀和人为加速侵蚀

侵蚀过程贯穿于人类出现以前和出现以来的地球环境发展历史的全过程。只要有降水发生地形有一定坡度,有松散物质存在,就有侵蚀现象的显露。人类出现以前,茂密的植被覆盖地表,在良好的自然生态环境条件下,仍有侵蚀的发生,只不过侵蚀非常微弱,并不能造成对环境有任何不良的影响,也就是通常所说的土壤形成速率大于侵蚀速率,称为自然侵蚀中的正常侵蚀。但自然状态下的森林植被覆盖也并非均衡一致,下垫面的抗蚀能力、古地貌形态等千差万别。在自然生态环境较差的区域发生的自然侵蚀中,往往超越正常侵蚀的界限,即侵蚀速率大于土壤形成速率,称之为加速侵蚀。应当指出的是此种环境条件下发生的加速侵蚀也是很缓和、微弱的。与目前人们所见到的侵蚀程度有着质的差别。自从人类出现以来,便以主导作用的地位参与并打破了自然界原有的平衡状态,以其积极的和消极的作用影响着这种平衡。其中最突出、最深刻的是对侵蚀的影响。两种作用中,又以消极作用主导的、广泛的、长期的发生着,使人为加速侵蚀在自然侵蚀的基础上,愈演愈烈,终于使土壤侵蚀成为当今危及人类生存环境的严重灾难之一。

晋西地区位于暖温带森林草原和草原地带。历史上有着广阔的草原和茂密的森林。山西境内也同样具有很好的生态环境,人口较多,文化发达,是我国汉民族文化发展的摇篮地区之一。据历史资料《山海经》中记载,早在尧、舜、禹时期(距今3000多年前),这里有林的山地占30%以上,绿野千里,山清水秀。到了战国后期,尤其是封建社会形成之后,土地兼并现象严重,人口显著增加,农业有很大发展,其结果:“(三晋)土狭而民众……民上无通名,下无田宅,……人之复阴阳泽水者地半。”这里“复阴阳”系指垦种坡地,毁林开荒,致使大面积森林和草地遭到破坏,土壤侵蚀日趋严重。近代以来,历经战乱和不合理的耕作制度的发展,森林植被面积日渐缩小,生态环境也每况愈下。人民群众在长期的生产实践中总结出了“山上开荒,山下遭殃”、“十年修,一年冲”、“开了和顺山,冲了榆社米粮川”等宝贵的经验教训,揭示了侵蚀发生的根源和规律。

不少前人、学者都曾对自然侵蚀和人为加速侵蚀做过深刻地研究,对两者的危害程度做过剖析和论证。均以雄辩的事例证明了自然侵蚀是人类加速侵蚀的基础,在具备侵蚀发生的环境条件下(坡度、松散物质),人类总是先从破坏植被入手,以不合理的掠夺式的利用土地而运转,以生态环境极度恶化为结果,招来大自然的无情报复。人为加速侵蚀对环境的影响,远较自然侵蚀激烈、迅猛得多。特别是黄土高原这样一个自然生态异常脆弱侵蚀潜在危险性极大的地区,人类对其施加的不良影响,已经到了该区环境自身难

以承受的程度，脆弱的自然生态平衡已被破坏，且极度恶化。黄河入海口以每年 1 公里的推进速度填海造陆，历代黄河多次改道、决口，高出地面十几米悬河的形成，均是黄土高原人类不合理经济活动导致侵蚀加剧，泥沙下泄因果关系的产物。说明了人为加速侵蚀的作用。又据调查，侵蚀严重的黄土沟道，只要封禁 35 年，排除人类活动的干扰，地表就可生成胶膜和草灌，侵蚀就会显著减弱。因此，可以说明自然侵蚀是缓和的、低速率的，而人为加速侵蚀才是激烈的、高速率的。晋西地区千沟万壑，侵蚀严重，人民贫困落后的现状说明了该区是自然侵蚀活跃的地区，又经几千年来人类活动的影响才发展到目前的严重程度。尽管已进行了四十余年的治理，但破坏容易，逆转艰难，更何况侵蚀的治理涉及到人口素质的提高，科学技术水平的发展，经济实力的增强，现行政策的合理性等社会政治、经济和文化问题，即使诸项皆宜，也需要有一个治理与恢复的过程，需要再经过几代人的努力方能奏效。

二、人口、耕地与侵蚀

人口、耕地是反映环境承载力的重要标志。在晋西长期沿袭下来的以农耕为主的地区，加上自然生态环境的脆弱性，单位面积上负载的人口越多，对自然资源的破坏也会越严重。从统计结果可以看出（表 1），北部河曲、保德、偏关沙黄土梁峁丘陵区三个县，保德县人口密度最

表 1 人口密度、垦耕指数与侵蚀关系统计表

县名	人口密度(人/平方公里)	垦耕指数(%)	侵蚀模数(T/km ²)	备 注
河曲	92	39.3	900	
保德	119	43.5	10000	
偏关	54	34.7	8000	
兴县	70	40.6	8160	
临县	156	51.8	12477	
方山	76	21.9	4028	黄土区占全县面积的 27 %
离石	121	30.5	7620	黄土区占全县面积的 59 %
柳林	73	26.0	7121	
中阳	73	26.0	7221	黄土区占全县面积的 49 %
石楼	46	35.0	12601	
永和	40	29.1	13781	
大宁	51	26.9	10413	
吉县	48	21.0	7583	
乡宁	82	30.6	6234	黄土区占全县面积的 44 %

大，垦耕指数最高，侵蚀最严重；河曲县人口密度，垦耕指数、侵蚀模数均居中；偏关三项指标均最低，规律性较好。绵黄土梁峁丘陵区的临县、兴县，以临县三项指标最高，人口密度达 156 人/平方公里，垦耕指数高达 51.8%，是晋西地区的最高值，已超出沟间地占地比例，土地后备资源已相当贫乏，

超载过度，侵蚀也最为严重；兴县三项指标次之，但在晋西地区也属偏高地区。黄土梁状丘陵区的方山、离石、中阳、柳林四县中，柳林三项指标处于最高值，方山、离石、中阳三县由于分布有石质山地，森林覆被较好，扣除这部分面积，则黄土丘陵区各县侵蚀模数的排序以离石最高，中阳居中，方山最低。也具有较好的规律性。这一现象向人们提示，该地区搞好计划生育，控制人口增长的现实意义。石楼以南各县人口密度和垦耕指数均是晋西的低值区，规律性不明显，其原因将在下面进行分析。

三、人均耕地、坡耕地与侵蚀

坡耕地是人类不合理利用土地的产物，是晋西侵蚀严重的重要因素。人经营土地的多寡，在目前生产力水平的条件下，标志着对土地经营的水平。我们将人均占有耕地、坡耕地占耕地和占总面积的百分比与侵蚀模数的关系进行了比较（表2）。人均耕地在人口密度大于70人/平方公里的北部地区，看不出明显的规律性，而在南部黄土残塬丘陵区及黄土残塬丘陵向黄

表2 耕地与侵蚀关系统计表

县名	人均耕地(亩)	坡耕地占耕地面积(%)	坡耕地占总面积(%)	侵蚀模数(T/km ²)
河曲	7.2	71.0	28	9000
保德	6.1	88.6	39	10000
偏关	11.0	76.9	27	8000
兴县	9.5	90.8	37	8106
临县	5.3	71.5	37	12477
方山	6.5	70.8	21	4028
离石	5.1	84.9	26	7620
柳林	4.3	93.4	43	11151
中阳	6.2	77.6	20	7121
石楼	12.6	93.1	33	12601
永和	12.2	82.9	20	13781
大宁	9.1	65.8	18	10413
吉县	7.7	47.7	10	7583

土梁状丘陵过渡区人均占有耕地数量却与侵蚀有着较好的规律性。特别是过渡区的石楼、永和两县，人均耕地达12亩多，如果按每个劳力占有耕地数量可达40亩左右，可见耕作之粗放程度。另外，这两个县坡耕地占耕地面积的百分比分别高达93.1%和82.9%，相对地反映了这两个县坡面治理较差，破坏严重的程度，故其侵蚀模数也是晋西的最高值。黄土残塬丘陵区的大宁、吉县、乡宁三县具有随人均耕地增加侵蚀模数增高的趋势。坡耕地占总面积的百分比与侵蚀的关系，晋西各县没有明显的变化规律，这是因为各县面积中石质山地面积所占比例不同所致，但坡耕地占耕地面积的百分比与侵蚀的关系却具有较好的规律性。无论在各侵蚀区中，还是从晋西地区全区分析，均可以得出坡耕地占耕地面积的比例越大，侵蚀模数也越高，坡耕地

占耕地比例的高值区，也是侵蚀模数的高值区的结论。永和、石楼以北坡耕地占耕地面积的比例均在 70%以上，最高者 90%以上，这充分地反映了这一地区长期以来，在生产能力不高的情况下，耕地面积越大，单位面积的投入就越少，产量也越低，收获也就越少，为了维持生活的支出，只好再度开荒扩种，耕地面积越扩大，自然植被资源和土地资源受破坏的程度越重，侵蚀也随之加重，进而流走了肥土，降低了地力，影响了粮食产量，就这样走上了“愈垦愈穷，愈穷愈垦”的恶性循环。这是晋西地区土壤侵蚀严重，人民贫穷落后的主要原因。在自然因素与侵蚀的关系分析中，使我们认识到坡与沟在侵蚀产流、产沙过程中的因果关系及控制坡面径流对减少沟谷产沙的作用，结合对人均占有耕地过量、坡耕地大面积、高比例的存在对侵蚀影响的分析，可以看出坡耕地的改造已是治理侵蚀的核心问题。陡坡地退耕还林还草增加绿色覆被和建设以解决温饱问题为尺度的稳产高产基本农田已成为紧迫问题急待解决。

四、畜牧业与侵蚀

晋西地区黄土丘陵中的沟谷地是该区畜牧业发展的主要场地。在自然因素与侵蚀关系的分析中，已得出结论，即沟谷坡是侵蚀最为活跃的区域。从本次遥感调查结果分析（表 3），黄土分布所占比例越高的县份，畜牧业用地占全县农业用地的比例越高，侵蚀也最为严重。如永和县黄土占全县总面积 100%，畜牧业占全县农业用地的总面积的比例最大，土壤侵蚀模数也是全区最高值。从分析结果还可以看出黄土覆盖面积较大的县，均不同程度的存在超载问题。与此相反，黄土覆盖面积相对较小的县，如方山、中阳、离石三县，畜牧业用地比例却相对较小，超载量也大幅度出现负值的反常现象。这说明了晋西地区畜牧的发展也是主要依赖于黄土地，在沟间地基本垦殖的情况下，沟谷地中主要是沟谷坡成为畜牧业的主要用地。在饲养牲畜的品种上，普遍又以个体较小，善于攀登跳跃的本地山羊为主。山羊的四只蹄子相当于四把小夯或锄，在有植被的沟坡践踏成坚实的“羊道”，影响土壤透水性；在缺少植被的沟坡放牧过后，经羊蹄的登踏使得大量表土顺坡泻溜，特别是经冬季放牧所引起的表土泻溜量也是可观的。超载和过度放牧的结果，破坏了沟谷坡植被，加剧了土壤侵蚀，同时造成可食性牧草退化，产草量下降，载畜量变低。为了维持牲畜的需草量，又不得不增加在同一块土地上的放牧次数，如此恶性循环，使植被恢复无喘息之机。

表 3 畜牧业与侵蚀关系分析表

县名	黄土区占全县比例(%)	畜牧业用地占全县比例(%)	超载量(羊单位)	侵蚀模数 T/km ²
兴县	77	27.0	67482	8106
临县	92	29.0	87009	12477
方山	27	18.0	-182037	4028
离石	59	18.7	-69465	7620
中阳	49	23.7	-123391	7121
柳林	98	28.6	143936	11151
石楼	96	36.2	14065	12601
永和	100	41.4	25508	13781
大宁	86	38.2	9051	10413
吉县	80	25.3	-83904	7583
乡宁	44	25.4	36328	6234
河津	74	20.0	226605	3170

上述结果反映了晋西地区畜牧业空间分布的不合理性。按正常规律应当是以畜就草，以畜就水，而这里却形成了以畜就人，哪里人口密度大，交通便利，哪里超载严重。在石质山区和土石山区，由于人口较少，交通不便，虽有较为丰富的草地资源，却开发利用不足。由此可见，改变晋西畜牧业空间分布的不合理性，变放养为舍饲，退出沟谷陡坡恢复植被，对控制侵蚀的发展有着十分重要的现实意义。

五、开发、建设与侵蚀

随着国民经济和生产建设的发展，在工矿、交通、住宅和基本农田建设等方面的经营活动对侵蚀的影响也日趋严重起来。特别是晋西地区煤、铝等矿产资源丰富，在山西省煤炭能源重化工基地建设中居有重要地位，区域开发的外界进入的影响及当地生产建设活动中的不注重水土保持的行为，均将对本区的侵蚀产生深刻的影响。

据水利部黄委会煤田开发环境影响调查组调查：晋、陕、蒙三省区煤田开发，初步估计，1985—2000年晋、陕黄河流域和伊盟煤田开发所排弃土、石、煤矸石累积量为50亿m³；井矿及井矿区修路、打窑洞排弃的土石累积量为5.9亿m³；煤矸石累积排弃量为5.4亿m³；坑口电站粉煤灰累积排弃量0.33亿m³；公路、铁路交通网建设排土、石累计量1.75亿m³；矿区生活垃圾累积量0.57亿m³等，固体物质排弃总量共计63.9亿m³。这就必将引起推移质泥沙量的增加，使产沙粒径越来越粗。调查组经推算得出，在上述固体排弃量中，可能有9.5亿m³为流失量，年均向黄河增加输沙量为1亿吨。

又据山西省水保局调查：河曲、临县两个火力发电厂，年弃渣2.3万吨；临县、中阳、河曲、保德四县的小化肥厂，年弃渣1.42万m³。中阳县电厂、化肥厂和铁厂的废渣都倾倒在县城附近南川河内，将45米宽的河道堵塞33米。1984年6月一次小洪水，废渣起阻流作用，将对岸20余亩滩地冲毁。方山、临县、中阳三个县的7条乡村沿沟公路，调查长度91.7公里，修路向

沟里弃土、石 247.2 万 m^3 ，平均每公里弃土、石方量 2.7 万 m^3 。随着城镇人口的增加和工业的发展，临县县城，解放初期不到 5000 人，现在为 1.5 万人，每年倒垃圾 1.24 万 m^3 ，垃圾倒在城外的湫水河内，已将大桥堵死三孔，占去河宽 50 余米；离石县赵家、王家村、上安村、刘家庄四村，两年时间打土窑 99 孔，连同劈窑面共动土方 4.57 万 m^3 ，向沟内弃土 1.27 万 m^3 。

上述调查结果仅仅是局部的典型的，但仅此就足以看出，近期的开发建设中所存在的新的侵蚀因素所造成的影响是十分惊人的。揭示了在开发建设中加强土壤及环境保护观念，杜绝一面治理，一面破坏愚蠢行为发生是何等重要！

五、治理与侵蚀

人类对侵蚀影响的积极作用主要是通过对侵蚀的治理来体现的。人类对侵蚀治理的认识程度，投入的多寡以及治理效果的好坏，受政治经济、社会文化和科学技术水平等多方面的影响，其中政治经济的影响最为重要。有史以来，晋西劳动人民在与土壤侵蚀斗争的过程中，积累了宝贵的经验和办法，如沟床种柳谷坊、打坝淤地、坡面修筑梯田、地埂等，汾西县康和乡至今仍保留有唐代修的淤地。但受当时历史背景的限制，劳动人民一家一户，生产力低下，不可能开展规模较大的治山治水活动。人类对侵蚀的影响最活跃、最广泛的是建国以来的四十年。在这期间影响治理与侵蚀关系的最重要因素是政策、法令、体制等制定的科学性和合理性。即是否符合自然规律和经济规律，能否兼顾并产生显著的经济效益、环境生态效益和社会效益。四十年中，前三十年基本上束缚在以解决温饱问题为主要目标的压力之下，治理措施上也存在重视工程措施拦泥打坝，轻视生物措施生态效益和为多种经营开辟财源的作用，一直延续以农为主，单一经营的道路徘徊。甚至在“左”的思想影响下，发生违反客观规律，不尊重科学的蛮干现象，如“削平圪崂造平原”在千沟万壑的丘陵地区大搞“沟梁连片”，盲目修建拦泥坝而又不注重工程质量，致使一场洪水漂入黄河，河曲县悬沟大坝的垮坝，偏关县老营水库三年淤满报废及若干淤地坝冲毁等，均以历史的教训证明了这一点。党的十一届三中全会以来的十多年，克服了“左”的思想影响，贯彻了实事求是的思想路线，放宽了政策，使群众得到休养生息。农民的自主权扩大了，农业联产承包责任制和户包小流域的治理，调动了群众的积极性，开放搞活的政策导向，明确了开发性治理发展商品生产的方向，一改单一粮食生产的旧观念，从而带来了农村产业结构的调整和治理措施投入比例的转变。使水土保持出现了新的生机。从表 4 统计结果可以看出，十年中梯田、坝地、滩地虽高于前三十年的增长速率，但与林、草相比相对降低了发展速度。人工林和草地有了长足的发展，特别是人工林的增长，后十年相当于前三十年的 3.25 倍。各县林、草发展速度也基本上趋于平衡。目前晋西地区人均基本农田达到 1.41 亩，农村粮食问题也开始得到缓解。以区域优势资源开发为主旋律的水土保持治理，以前所未有的规模和速度在发展。这说明了人类认识客观规律的程度和深度，是和当时的科学发展水平分不开的，按照客观规律办事又是与科学技术水平和经济实力相联系的。而其中正确的政策又是起着决定性的作用。

表 4 1979—1989 年水土保持主要治理项目对比表

县名	水平梯田			坝 地			滩 地			造 林			种 草		
	1979	1989	增加	1979	1989	增加	1979	1989	增加	1979	1989	增加	1979	1989	增加
河曲	6.89	11.77	4.88	1.01	1.31	0.30	0.11	0.08	-0.03	29.69	99.63	69.94	4.42	13.77	9.35
保德	3.34	6.54	3.20	0.48	0.56	0.08	0.08	0.10	0.02	17.59	45.95	28.00	5.02	5.19	0.17
偏关	5.43	9.77	4.34	0.89	0.95	0.06	0.56	0.56	0	34.64	109.9	75.26	2.09	4.78	2.69
兴县	13.65	20.31	6.66	1.03	1.50	0.47	1.29	2.16	0.87	23.51	93.78	70.27	4.17	5.22	1.05
临县	53.14	61.39	8.25	4.16	5.73	1.59	0.91	1.00	0.09	26.26	84.98	58.72	6.87	7.74	0.87
方山	6.37	9.95	3.58	0.33	0.36	0.03	1.84	2.33	0.49	5.41	40.81	35.40	0.86	3.00	2.14
离石	8.51	11.67	3.16	0.59	1.01	0.42	0.78	1.29	0.51	11.02	45.55	34.53	0.81	2.91	2.10
柳林	21.50	27.54	6.04	1.62	4.19	2.57	0.13	0.26	0.13	24.59	51.23	26.64	2.44	6.60	4.16
中阳	7.18	11.83	4.65	0.73	0.98	0.25	0.94	1.02	0.08	9.32	43.45	34.13	1.63	3.46	1.83
石楼	4.61	3.62	-0.99	1.13	1.49	0.36	0.37	0.15	-0.22	22.46	58.48	36.02	2.63	7.22	4.59
大宁	0.78	1.73	0.93	1.23	1.40	0.17		0.02	0.02	15.37	53.69	38.32	3.66	11.74	8.08
永和	1.39	1.99	0.60	1.71	1.79	0.08				12.70	48.93	36.23	3.16	12.08	8.92
吉县	0.99	3.15	2.16	0.68	1.46	0.78	0.26	0.37	0.11	26.58	72.07	45.49	4.88	1.95	-2.93
乡宁	15.54	13.50	-2.04	4.49	2.50	-1.99	2.45	1.87	-0.58	14.34	40.35	26.01	5.10	4.5	-0.60
合计	149.32	194.76	45.34	20.08	25.23	5.15	9.72	11.21	1.49	273.48	888.80	615.32	47.74	80.6	32.42

六、结语

（一）在自然生态环境脆弱的晋西黄土高原，人类活动对侵蚀的影响在自然侵蚀的基础上，从破坏植被开始，以不合理的土地利用经营方式促使加速侵蚀，长期的广泛的激烈地发生、发展着，是生态环境恶化的主要根源。

（二）人口密度大于 70 人/平方公里的中阳、柳林以北各县，随着人口密度增加，垦耕指数也相应增大，侵蚀也越严重的趋势。南部黄土残塬丘陵区这种规律性不明显。

（三）与上述结论相反，在黄土残塬丘陵区及黄土残塬丘陵向黄土梁状丘陵过渡区，人均耕地及坡耕地占耕地比重与侵蚀有较好的相关性，人均耕地越多、坡耕地比重越大，侵蚀越严重。

（四）侵蚀严重的沟谷坡是畜牧业的主要用地，黄土区普遍严重超载，石质山地草场潜力很大。超载和放牧过度加剧了沟谷侵蚀。

（五）随着经济的发展，工矿、交通、住宅等建设不重视土壤保持的行为，是新的人为侵蚀因素，必须引起高度关注。

（六）人类对侵蚀的治理受政治经济、社会文化和科学技术水平等多方面影响，其中政策、法令、体制的制定是否符合自然规律和经济规律起着决定性的作用。

参考文献

- [1]陈永宗等，黄土高原现代侵蚀与治理，科学出版社，1988
- [2]孙建轩等，水土保持工作急需解决一面治理一面破坏的问题，铅印本，1958.3

晋西土壤侵蚀分区及治理开发对策

高起江

(山西省农业遥感应用科学研究所)

严重的土壤侵蚀与贫穷落后,是晋西地区近代以来相互伴生、互为因果的孪生灾难。生态系统的持续恶化是加剧黄河水害,威胁黄淮海平原安全的症结。搞好黄土高原的水土保持和生态环境建设,是高原人民脱贫致富,下游安澜的根本。本文利用遥感与非遥感信息源,以生态经济观点为指导,在对晋西地区土壤侵蚀类型遥感调查与制图的基础上,进行侵蚀分区研究。并根据各区的侵蚀特征、生境条件、再生资源优势,提出了治理开发对策。

一、土壤侵蚀分区原则的确定

土壤侵蚀分区各区均有自身的主导指标或依据,区域内部有相对一致性,它们有一定的地域分布,表现内容上,它简于类型,详于区划,可能包含有相应的类型或类型组合,但又与类型的分类系统没有直接联系。因此,更便于生产部门在宏观决策中,做出更细致的分析研究。在分区中,我们遵循了如下原则:

1. 以生态经济思想为主导的原则

水土保持工作的目标在于改善恶劣的生态环境,改目前的恶性循环为良性循环;在自然条件得到改善的同时,提高贫困人民的生产和生活水平,最终达到自然生态优化,人民生活富足的目标。分区的目的就在于从生态农业入手,根据各区域生态环境、侵蚀特征及开发优势再生资源的相对一致性为主导的原则。以达到紧密结合生产实际,为水土保持的分区治理规划与措施的拟定提供科学依据,也为因地制宜、扬长避短,发挥优势展示可靠的论据。

2. 综合分析的原则

影响侵蚀的要素是多方面的,各要素之间,存在着密切联系和彼此制约的关系,每一种组成要素,无不打上侵蚀环境的烙印。因此在划区时,必须全面考虑自然和人为条件的各个方面的相似和差异,考虑区域内各部分的结构特征,对地带性因素和非地带性因素进行综合分析,寻找区域分异的特点与规律性,从而确定出具有明显联系的指标作为确定区域界线的依据。

3. 主导因素定性的原则

在复杂的区域侵蚀环境中,造成分异的矛盾互相交错,各要素在侵蚀中所起的作用又不尽等同,因此必须在全面综合分析的基础上,从中寻找出主导因素。如不同的地貌类型区是形成侵蚀分异的主要原因,而同一地貌类型区内,海拔高度又是植物种分布、降水分布、气温的变化及侵蚀分异的限制因素;地表组成物质分布的差异,也同样会造成同一地貌类型区中侵蚀的明显分异。故这些因素就可选定为主导因素来作为确定区界的主要依据。

二、分区的方法和步骤

(一)以1:10万遥感解译晋西地区土壤侵蚀类型与强度图为依据,参考陆地卫星TM彩色合成图象,对影响土侵蚀的地貌类型、地表组成物质及植被等要素逐级合并,制成各要素界线分区图。

(二)在等比例尺地形图上,按 800m 和 1200m 等高线走向,划出垂直分带分区图。这是因为 800m 和 1200m 的海拔高度,在晋西黄土高原具有特殊的意义。800m 左右沟谷多切入基岩,形成“黄土戴帽”的侵蚀景观,这一高程附近,又多系入黄支流第一侵蚀裂点分布范围。同时 800m 和 1200m 又形成了自黄河干流由西向东的气候、植被及人文条件的分异。在水土保持措施的摆布及生态环境建设上有着重要的作用。

(三)将以上两种要素图叠合并结合降雨、泥沙、人口密度、坡耕地比重、生产布局与结构等资料,综合取舍,制成最终的土壤侵蚀分区图。

三、分区特征

A. 冲积平原侵蚀堆积区

该区主要指河津县汾河一、二级阶地和河漫滩。面积仅 3.5Km^2 ,二级阶地为永久性农田,是农业的精华所在。一级阶地和河漫滩,在有护岸工程保护情况下,也将会成为高产基本农田。

B. 黄土台地侵蚀区

主要分布在调查区域南部的河津县,面积 368.6Km^2 。台面微倾斜,由于人口集中稠密,集约经营尚好,多已修成平整的台田,盛产棉麦及杂粮,土壤侵蚀轻微。

C. 黄土残塬丘陵沟壑侵蚀区

主要分布在调查区域的大宁、吉县、乡宁三县境内,面积 4026.1Km^2 ,人口密度 63 人/平方公里,人均土地 23.8 亩,坡耕地占总面积的 14.4—17.5%,占耕地面积的 58.2—70.0%,沟壑密度 $3.4—4.8\text{Km}/\text{Km}^2$ 。塬面较为平坦,向西微倾斜,坡度小于 5° ,系精耕细作的农田所在,侵蚀轻微。但塬面尚存面积较小,多数已被切割得支离破碎,呈窄条塬面或宽梁状,地面坡度也较完整塬面陡。残塬地区由于塬面与沟谷高差大,侵蚀基底深,塬边沟谷侵蚀强烈,溯源侵蚀剧烈,蚕食塬面,沟壑深陡,多切入红土层,沟坡泻溜和崩塌、陷穴均很活跃。侵蚀模数多在 $8300—12600\text{T}/\text{Km}^2$ 范围内。

D. 黄土梁状丘陵沟壑侵蚀区

主要分布在调查区域的中阳、离石、方山、石楼、永和等县。面积 3631.5Km^2 ,海拔高度 800—1200 米,人口密度 80—100 人/ Km^2 ,人均土地 17.43 亩,人均耕地 6.5 亩,垦耕指数 46.9%,坡耕地占耕地面积的 52.5%。破碎的地表形态,松散的黄土物质,加之历史延续的陡坡耕地,粗放耕作,广种薄收的陋习,导致了农林牧用地比例和产值结构严重失调,面蚀、沟蚀、重力侵蚀均很活跃,侵蚀模数高达 $15000—25000\text{T}/\text{Km}^2$ 。

E. 蚀余黄土丘陵沟壑侵蚀区

主要分布在黄河沿岸,北起河曲南至乡宁的窄长地带。面积 655.8Km^2 ,海拔高度 800 米以下,人口密度北部为 110 人/ Km^2 ,中部为 40 人/ Km^2 ,南部为 85 人/ Km^2 ,坡耕地占耕地面积的比例,北部为 77%,中部为 85—90%,南部为 82%。该区黄河及入黄支流均已深切基岩,呈现出石质丘陵戴着“黄土帽”的地貌景观,切割最为破碎,沟壑密度 $5.7\text{Km}/\text{Km}^2$,切割深度 200 米以上,重力侵蚀活跃,是黄河粗粒径泥沙的主要产地之一,侵蚀模数达 $3600—6900\text{T}/\text{Km}^2$ 。

F. 绵黄土梁峁丘陵沟壑侵蚀区

主要分布在临县和兴县大部分黄土丘陵沟壑地带。面积 5143.8Km^2 ，海拔高度 800—1200 米。人口密度 $100\text{—}110\text{人/Km}^2$ ，人均土地 13.3 亩，人均耕地 6.6 亩，垦耕指数 47%，坡耕地占耕地面积的 70—90%。地表形态是调查区域内切割最为破碎的地区，沟壑密度在 6Km/Km^2 以上，马兰黄土残留比例较梁状丘陵小，离石黄土出露比例相对增大，各种侵蚀活跃，侵蚀模数高达 $15000\text{—}25000\text{T/Km}^2$ 。

G. 沙黄土梁峁丘陵沟壑区

主要分布在河曲、保德、偏关三县。面积 3962.0Km^2 。该区大于 0.05mm 粗砂含量较高，含量约在 50% 以上。人口密度 63人/Km^2 ，人均土地 18.2 亩，人均耕地 7.8 亩，垦耕指数 38.4%，坡耕地占耕地面积 80% 以上。由于地理位置偏北降水量变少，约 400—450mm，加之沙黄土下渗性能强，侵蚀量较绵黄土地区小，但仍在 $8000\text{—}10000\text{T/Km}^2$ 。

H. 边山黄土丘陵沟壑侵蚀区

该区主要分布在黄土梁峁丘陵沟壑区和黄土梁状丘陵沟区的东部、偏关大部及永和、石楼的四十里山一带。面积 1292.0Km^2 ，海拔高度在 1200 米—1500 米的黄土丘陵地带。人口密度 50人/Km^2 左右，人均土地近 20 亩，人均耕地 6.5 亩，坡耕地占耕地面积 77%。该区是黄土梁状丘陵和黄土梁峁丘陵向石质山地的过渡地带。由于海拔增高，又靠近吕梁山脉，降水有所增加，约 500—550mm。沟壑密度 5.8Km/Km^2 。沟谷植被发育较西部地区好，但由于坡耕地大面积存在，侵蚀仍很严重，侵蚀模数约 $5000\text{—}10000\text{T/Km}^2$ 。

I. 石质山地侵蚀区

主要以吕梁山地为主体，包括西部黄土丘陵地区的岛状石质山地。面积 5230.4Km^2 ，人口密度较小，约 30人/Km^2 左右。大部分山地植被覆盖良好，多由草灌、疏林及茂密的森林组成。侵蚀轻微，侵蚀模数多在 1000T/Km^2 以下。

四、各区再生资源优势及治理开发对策

严重的土壤侵蚀是造成贫困的重要因素之一，贫困又是促使侵蚀加剧的重要原因。因此，繁荣晋西地区经济，加快脱贫致富步伐，已成为当前各级党政部门的主要指导思想。水土保持工作需要千百万农民长期不懈地努力才能奏效。只有以经济效益为核心，以发展生态农业为指导，把治穷致富的奋斗目标寓于群众性的水土保持治理活动中，才能吸引广大群众自觉地投入治理工作，改变“等、靠、要”的陋习，保质保量地加快治理速度，更好地发挥水土保持的生态效益和社会效益。还应当指出的是，脱贫致富只能从发展当地生产入手，各侵蚀区均有其侵蚀治理的特点和再生资源开发的优势。现将除冲积平原和黄土台地两个侵蚀区之外的其它各区论述如下：

1. 黄土残塬丘陵沟壑侵蚀区

该区纬度偏南，雨量充沛，光照充足，且雨热同季，无霜期长，土质较好，适宜棉、麦、杂粮及各种果树生长。在治理上重点是保塬固沟，塬面修建软埂（生物埂）台田，精耕细作，发展有机旱作农业，就地拦蓄降水；塬

边修筑防护工程，营造塬边防护林，固定沟头、塬边，防止集中股流下泄；沟道内除较为开阔的地段及适宜发展坝地的小流域沟道外，均应大面积造林，采取生物固沟措施。永和县园子沟，面积 1300 亩，1979 年开始治理，沟坡至沟底全面造林，目前刺槐、杨树林下，草被茂密，沟内清水常流，沟口修筑了池塘养鱼。1989 年间伐木材 15m³，收入 5000 元。每亩地现有成材树 60 株，树木高大，遮阴蔽日，取得了良好的生态经济效益；在地广人稀地区，开展县办、乡办、队办及企业、事业单位与村民联办林场。吉县红旗林场自六十年代办场，现有 10 万亩人工油松、刺槐林，林下生长了茂密的草本植物和灌木，人畜难入，是锦雉、山鸡、兔子等野生动物生存繁衍的场所，形成了良好的森林生态环境。这些典型事例，均是很好的启发，是治理中仿效的榜样。这一地区的另一大优势资源是发展果树生产。各县均以较大规模发展矮化苹果，它的主要特点是矮化、密植、高产、见效快，栽植三年就可结果。出现了集体、国家机关、企事业单位与农民合资等多种开发形式，从庭院经济、小流域治理到大面积果园生产基地建设均具有一定规模。吉县的中垛乡尖义村的杨拴宝，1984 年承包小流域 34 亩，种植各种经济林 1600 多株，沟内营造速生丰产林 16000 株。国家没有投资，靠自己育苗、嫁接，科学种植和管理，1987 年果树开始结果，收入 2000 元，1988 年果树收入 4000 元，1989 年产核桃 450 公斤，山楂 115 公斤，用不太长的时间，就取得了显著的经济效益。

2. 黄土梁状丘陵沟壑侵蚀区

该区是侵蚀最为活跃的地区，但气候温凉，光照好，日照时数 2600—2800 小时，无霜期 165—180 天，年均气温 10℃ 左右，温差大，年降水量 450—500mm。加之千沟万壑的地表形态，形成了适于多种再生资源生长的小气候条件，对各种果品的果形、色泽、糖分积累十分有利。柳林县培育的“柳林红”苹果新品种，经国内著名专家鉴定，认为超过美国蛇果、日本红富士。中阳县的小禾沟，过去是一条侵蚀严重的荒沟。七十年代开始治理，现在沟缘线以上为基本农田与核桃、苹果间作区 300 亩。沟缘线以下营造油松、侧柏、杨树，林木和草被生长茂密，控制了水土流失。沟内清水常流。现有用材林 40 万株，价值 1000 万元。1989 年产核桃 500 公斤。目前人均 3.5 亩林，1987 年人均收入 600 元，人均产粮 840 公斤，1989 年人均收入达 2000 元。因此，大力发展经济要，开发优势再生资源，已成为该区建设生态经济型农业的突破口。

该区基本农田建设已经达到人均 1.6 亩。但良莠不均，最高柳林县人均 2.3 亩，最低离石、石楼，分别为 1.2 亩和 1.3 亩。基本农田建设较好的地区，应当利用这一有利基础，开展植树、造林、种草、养畜，扩大肥源，增施有机肥料，培肥地力，开展有机旱作农业，提高单产，变低标准的基本农田为高产稳产田；基本农田建设较差的地区，应当首先在提高现有农田水平上下功夫，在培肥地力，提高单产的同时，结合生态经济型农业建设，经济树种的发展修筑梯田，稳扎稳打地发展，在保证温饱的前提下，腾出手来，抓好其它。切不可死死盯住基本农田数量追求上而不顾其它，这种顾此失彼的机械观念，已成历史的教训。

3. 蚀余黄土丘陵沟壑侵蚀区

该区地形破碎、土薄石厚，气候干旱，光照充足，沿河适宜红枣生长。农民历来就有栽培枣树的习惯。目前有红枣林 60 万亩，年产红枣 5280 万公

斤。河曲、保德一带的油枣，临县、柳林、石楼、永和等地的木枣，个大、皮薄、肉厚、核小、色鲜、含糖量高，用这种枣加工的蜜枣、乌枣、马牙枣、酥枣等远销日本、美国、英国、匈牙利等十多个国家。这里生产的金丝蜜枣，1985年获部优产品称号。枣树具有耐干旱脊薄、抗逆性强等优点。每遇旱灾，庄稼减产少收，红枣却能获得较高产量和较好品质，对农民救灾度荒、稳定收入十分有益，故被农民誉为铁杆庄家。农民通过对枣树精心管理，挖树坑、蓄雨水、枣粮间作，以耕代抚，既保持了水土，又取得了经济效益。目前，在该区各县的农民收入中，红枣收入已占总收入的20—25%以上，部分乡镇可达60—70%，出现了人均红枣收入超300元的乡、700元行政村和1000元以上的自然村。该区的红枣优势已被各级领导所重视，并确定为红枣商品生产基地。

该区农业生产条件较差，如何充分合理地利用仅存的黄土地，特别是柳林、临县、兴县、保德、河曲人口密度较大的县，已成为重要课题。柳林县李家垣村利用陡坡退耕种牧草，牧草养畜，畜粪肥田，新修梯田当年亩产200多公斤。这个村种牧草750亩，89年全村有94个养兔户，最多的户达千只兔，仅养兔收入就占全村总收入的50%。新修梯田由过去硬埂实埂改成软埂田，埂上种黄花菜，埂坡种苜蓿，埂基栽红枣，形成“三层楼”生物软埂。既有经济效益，又节省了每年硬埂坍塌的维修用工，充分合理地利用了土地。

4. 绵黄土梁峁丘陵沟壑侵蚀区

该区地形极为破碎，人口密度较大，目前已人均达到1.49亩基本农田，但产量不高，1987年平均亩产56.4公斤，人均产粮135公斤，农业人口粮食自给尚不能解决。土地垦耕指数高，坡耕地比重大，基本农田产量不高，是这一地区生态经济环境恶化的主要问题。但这一地区具有与梁状丘陵区相似的气候条件，适宜苹果、核桃、梨等干鲜水果生长的条件，加之人均占有13.3亩土地，6.6亩耕地，丰富的土地资源，是其有利的优势。在提高现有基本农田质量的同时，应下决心造林种草栽果养畜，增加经济收入和有机肥投入量，提高基本农田产量，进而促进陡坡退耕，还林还草；大力开展机修梯田，推广选用良种、配方施肥、深耕耙磨、标准化栽培、地膜覆盖等农业生产新技术。

此外，本区地下矿产资源丰富，探明贮量煤438.6亿吨，铅矾土5657万吨，伴随矿产资源开发，以工补农，促进综合治理和脱贫致富。

5. 沙黄土梁峁丘陵沟壑侵蚀区

该区属沙黄土区，土壤贫瘠，气候干旱温和，适宜苹果、梨，特别是本区乡土树种海红果（海棠）的生长。河曲县提出了“河曲要致富，林草迈大步，办学挖煤栽果树”的建设方针，对该区确立农林牧全面发展，建立干鲜水果为主的生物防护体系和以果粮间作为主的耕作体系，并利用矿产优势，发展以煤为主的工副业生产，实现战略性的以工补农之目的。在果树发展上，除建立高标准的梨园、苹果园，实行果粮间作外，大部分阳湾沟壑均栽植了海红果。治理上，河曲县已经人均占有2亩基本农田，而保德人均只有0.72亩，相差悬殊。该区是以户承包小流域综合治理最早的地区，目前已发展到由点到片，由片到面，户与户联合，村与村、乡与乡联办的综合治理局面。在基本农田建设较好，温饱问题基本解决的地区应大力加强林（果）草建设，同时推广秸秆还田，有机培肥土壤等旱作农业技术及其它农业生产技术，建立成型的生态经济型农业；在温饱问题尚未解决，基本农田建设较差的地区，

要大力开展机修梯田和土壤培肥工作，促进陡坡还林还草，向生态经济型农业启动。

6. 边山黄土丘陵沟壑侵蚀区

本区地广人稀，气候温凉，降水增加，无霜期变短，除局部小气候外，大部分地区不适宜苹果、梨、核桃等生长，而是沙棘、山桃、山杏的适生带。大面积发展这一优势资源，结合小流域治理进行集中连片的荒坡、荒沟造林绿化，是改变该区恶劣生态环境的重要措施；治理上在提高现有基本农田产量的基础上，大面积缓坡地修筑隔坡梯田，实行草粮轮作，退耕陡坡营造油松、侧柏林，大规模开展营造灌木林种草及养畜业。偏关县营造柠条林 26 万亩，养绒山羊 18.5 万只，固定了 120 个沙梁，建立了一个纤维板厂，一个皮革厂取得了很好的生态经济效益，要建立以草灌针叶树为主的生物防护体系和以草粮轮作为主的耕作体系。

7. 石质山地侵蚀区

该区气候寒温湿润，林草资源丰富，无霜期 100—120 天，是云杉、落叶松、山杨、白桦、白皮松及栎类树种的适生带。除管涔、吕梁两大林区分布有天然次生林外，尚有大量疏林、灌丛和草地。林区应提高抚育经营水平，禁止以“人工更新”为名的掠夺性采伐，充分开发利用林副产品，保护好现在仅有的森林生态环境；疏林地区要搞好人工抚育，封山育林与人工营造相结合，提高覆被质量。沙棘、山桃、山杏、榛子等也是该区的适生树种，其中沙棘在灌木林中占有很大比重，引起了各有关部门的重视。该区沙棘资源分布面积较大，产量较高、品质最佳，已成为一大资源优势。应保护利用现有资源，引进良种，大力开展人工种植，使其成为沙棘开发利用基地；该区的部分草场应采用人工更新、飞机播种等措施，提高载畜量，轮封轮牧，防止掠夺性超载放牧。

五、结论

（一）利用遥感技术，依据详细的遥感与非遥感资料，以生态经济观点为指导，以建立生态经济型农业为目标，结合晋西土壤侵蚀地带分异规律，将调查区域共划分为 9 个侵蚀区，分区依据可靠，内容详实，是在原有“山西省土壤侵蚀分区”基础上进一步分区研究的一次尝试。

（二）对各侵蚀区根据侵蚀特征，再生资源优势，从综合治理与脱贫致富角度，针对性地提出治理开发对策，以供领导部门决策参考。

参考文献

- [1] 山西省地图编纂委员会，山西省自然地图集，1984.12
- [2] 蒋耘，浅谈自然区划的特点及划区原则和方法（油印本），山西省自然地图编辑部，1983.8
- [3] 孙建轩等，水土保持与商品生产（铅印本），山西省水利厅水保局
- [4] 高起江等，生态农业是晋西水土保持工作的必由之路，山西省农业遥感应用研究所，1990.8
- [5] 离柳煤电能源区自然资源编委会，山西省离柳煤电能源区自然资源，山西人民出版社，1988 年 12 月
- [6] 山西省图书馆，山西历史地名，1977 年 10 月

[7]解永泉，平阳行，山西人民出版社，1987 年 5 月

[8]山西省贫困地区经济开发领导小组办公室，山西省贫困地区经济概况，
1989 年 9 月

滑坡遥感调查的方法与实践

杨运恒

(烟台师范学院地理系)

黄土高原是我国滑坡发育广泛的地域之一。如何寻找一种快速而又科学的方法,对滑坡进行调查研究,为区域滑坡综合防治提供科学依据,是值得探讨的问题。遥感技术的发展与完善,为区域滑坡调查提供了科学的途径。1986年以来,我们利用彩色红外航片,先后对晋西三川河流域和陕北安塞县的滑坡进行了调查研究^[1,2]。在此基础上,又利用 TM 影像对晋陕黄河峡谷区 6.25 万平方公里区域的滑坡进行调查与制图。根据这几年来工作实践,本文将对滑坡遥感调查与制图的技术与方法进行总结。

一、技术与方法

1. 滑坡遥感调查的目的与内容

明确滑坡遥感调查的目的与内容,是开展调查研究的基础。几年来我们的滑坡调查工作,是以服务于滑坡综合治理与开发利用为目的,对区域性的滑坡进行全面调查研究。调查的内容主要包括滑坡的类型与分布、滑坡的发育处数、面积和滑塌量,以及滑坡的成因等。编制区域滑坡类型分布图,并查清滑坡数据是滑坡遥感调查的主要目标。

2. 信息源的选择与评价

根据滑坡调查的目的、内容,调查区域的大小及时间、人力和物力等因素,合理选择滑坡调查的信息源,是实现滑坡区域调查的关键。信息源的类型、比例尺及分辨率的不同,有不同的作用。

(1) 主信息源

一般以航片(黑白航片、彩色红外航片)和卫片(MSS、TM、SPOT等)作为滑坡遥感调查的主要信息源。我们在黄土高原的滑坡调查中,主要采用彩色红外航片和 TM 影像。

航片的分辨率,一般达几米,可从微小地貌形态对地物加以识别。彩色红外航片优于黑白航片。前者不仅可以从色调的深浅,而且可以从颜色的不同去判别滑坡等地物。在三川河流域和安塞县的滑坡调查与制图中,分别采用 1:20,000 和 1:65,000 彩色红外航片,判读滑坡的最小规模分别 20m×20m 和 50m×50m,可满足中比例尺制图要求。TM 像片的分辨率是 30m,在晋陕黄河峡谷区的滑坡调查实践表明,100m×200m 以上的大型滑坡在影像中较易辨识,更小的滑坡一般难以从其周围的地物中加以分辨。TM 像片可实现黄土地区滑坡概查与中小比例尺滑坡遥感制图。

(2) 辅助信息源

辅助信息源一般有地形图、地质与构造图、水系图等图件与资料。滑坡产生后改变了原来的斜坡形态,并对水系、地下水等产生影响。地形图中的等高线、水系或道路等均有直接或间接的反映,特别在 1:5 万和 1:1 万地形图上反映更明显,1:10 万地形图对大型滑坡仍有指示作用。地质图可帮助了解区域地层、构造等分布状况,为滑坡的成因类型(如滑床类型)的差别提供可靠依据。

3. 滑坡类型的划分

滑坡类型的划分是进行滑坡遥感调查与制图的基础，同时滑坡类型又是遥感调查内容的一部分。根据区域滑坡发育的特点，滑坡调查的目的及采用的信息源不同，对黄土地区的滑坡进行多属性分类。

为了探讨滑坡的成因，特别是滑坡发育与地层、构造的关系，根据滑坡的滑床岩性不同，划分滑坡为黄土床、红土（三趾马红土）床、基岩床滑坡三大类。

为了探讨滑坡的活动特征或稳定性，依据滑坡的稳定程度不同，划分滑坡为稳定滑坡和不稳定滑坡（过渡类型难于在影像中识别，未作细分）。

为了对滑坡进行半定量研究，根据滑坡的规模，划分滑坡为大型、中型与小型滑坡。

把滑坡体作为一种土地单元（湾塌地），根据滑坡体的破碎程度，划分滑坡为完整塌地、较完整塌地与破碎塌地三类。

4. 滑坡的影像判读标志

建立滑坡的影像判读标志，是滑坡遥感调查技术方法的重要部分。判读标志的正确与否，直接影响滑坡判别与解译的准确性与精度。

对滑坡进行影像判读，主要解决两个问题：一是确定一个地貌部位是否有滑坡分布；二是根据滑坡的特征及其与周围地物之间的相关分析，确定滑坡所属类型。根据我们对滑坡的遥感调查实践，对滑坡在彩红外航片和 TM 像片上的判读标志归纳如下。

（1）滑坡存在与否的确定

滑坡一般分布于沟坡、沟头；

簸箕形、圆形、长圆形的滑坡围界，在航片和卫片上均有明显的反映；

陡峭的滑坡壁和它形成的围谷的阴影或亮斑，在航片上表现为弯曲的弧形影像；

滑坡体本身比周围斜坡要低，有坡的转折现象。滑坡体向前伸入平地或河谷地，滑坡体则高出周围地形；

滑坡的微地貌，如滑坡舌、反向坡及其形成的台阶等在航片上清晰明显。滑坡前缘和滑台阶后缘洼地的土壤水分一般较好，影像呈暗色调；

滑坡体（特别是大型滑坡）伸入河（沟）道，往往改变了河道的平直河型，并且使滑坡对岸发生掏蚀，形成陡壁。个别地方甚至出现滑坡堵塞沟道，形成聚淤、堰塞湖等现象；

滑坡周围斜坡上出现梯田的条带状不连续，或道路弧形改线现象，在航片上有明显反映；

在地形图上，有滑坡的地方的等高线明显变化，滑坡壁的等高线密集并弧形内凹，滑坡体的等高线相对稀疏并呈弧形向沟里凸出；

（2）滑坡的滑床类型判断

要识别滑坡的滑床岩性，首先要判断滑坡分布的沟坡上出露的地层组合类型。实践证明，在 TM 像片上可直接判别黄土地的黄土地及沟谷是否出露基岩等情况，更进一步的岩性判读可参考地质图。而黄土类型和基岩的类型在彩色红外航片上则较容易分辨。

马兰黄土主要分布于沟间地上，色调浅黄、黄白，常有梯田、坡耕地的条带状和农作物的浅红色调。离石黄土多出露于沟坡。沟坡上部马兰黄土形成的垂直陡坎可与坡度较缓的离石黄土分开。离石黄土沟坡发育密集细沟和悬沟在航片上可辨；

三趾马红土出露于离石黄土之下部，在彩红外航片上呈土黄、金黄色。红土沟坡较黄土坡平缓，坡面细沟、悬沟不甚发育；

在黄土地区，基岩出露于河（沟）床或谷坡的下部，在影像上呈深蓝、灰蓝色调。晋西黄土地区沟谷出露的基岩主要有灰岩和砂页岩两大类。砂页岩出露的沟谷一般有流水现象，沟床平坝地、沟川地的水份状况较好。灰岩出露的沟谷水分条件较差。

确定了沟谷出露的土（岩）层组合类型后，再根据沟谷出露地层的厚度和滑坡的规模，特别是滑坡切割深度来判断滑床类型。

（3）滑坡的稳定性判断

滑坡的不稳定性是指滑坡体是否有可能再次滑动（复活）或产生次生滑坡；滑坡后壁是否还在产生崩塌或继续出现滑坡；滑坡体是否容易被流水冲掏而消失等特征，在影像上主要表现为：

稳定滑坡体的坡度一般较为平缓，分布于地势较平的地貌部位。不稳定滑坡则相反；

稳定滑坡一般脱离现代河（沟）道流水的冲刷，而不稳定滑坡尚受现代河（沟）道径流的冲掏，滑坡体前缘较陡，甚至有崩塌发生，并随之可能复活；

稳定滑坡后壁一般有植被（草、灌等）覆盖，影像色调偏红或偏暗，而不稳定滑坡后壁往往由于有崩塌产生，壁面新鲜，色调偏白。

（4）滑坡的规模判断

滑坡的规模大小是由滑坡体的体积来决定的。体积的大小则与滑坡体的面积和厚度有关。滑坡体的面积由其平面几何轮廓的大小确定，其平均厚度则在综合分析滑坡体的起伏程度、滑坡后壁和前缘的高度的基础上，参考地形图的等高线高程差值而定。

（5）湾塌地的土地类型判断

湾塌地的类型是根据滑坡体的破碎程度来划分的。滑坡体的破碎程度与沟谷（切沟、细沟等）的切割程度和密度有关。滑坡体发育的沟谷在影像上有较好的反映。滑坡体被切沟、细沟等切割十分破碎，表面起伏不平的是破碎塌地。滑坡体表面较平整，一般无切沟或细沟发育的为完整塌地。处于两种类型之间的过渡类型为较完整塌地。

5. 滑坡抽样调查

滑坡抽样调查的目的和内容，一是通过影像解译和量测而得的滑坡处数、面积和厚度与实地进行对比，计算滑坡的判对率和面积精度，由此对滑坡调查工作进行科学评价；二是通过一定数量的滑坡抽样调查，得出不同规模的滑坡的平均面积、厚度和体积，为定量估算全区域的滑坡数量特征提供科学依据。利用航片解译与实地对比的方法，分别在三川河流域与安塞县进行了滑坡抽样调查，结果表明滑坡彩色红外航片解译的面积精度和判对率均在 90% 以上。三川河流域和安塞县的大、中、小型滑坡的平均厚度分别是 31.2 米、25.7 米、15.8 米和 30.6 米、21.4 米、9.3 米。

二、滑坡遥感调查实践

1. 三川河流域滑坡彩红外航片调查^[1]

三川河流域位于山西省西部，流域面积 5484 平方公里，其中黄土地区

2661 平方公里。对覆盖该流域黄土地区的 630 多张彩色红外航片 (1:20,000), 按航带、航号顺序逐张判读。把判读的滑坡用类型组合符号定位标在 1:100,000 流域水系图上, 最后编制了 1:100,000 三川河流域滑坡类型分布图。调查的滑坡类型包括滑床类型、稳定类型和规模类型。对面积在 20m × 20m 以上的滑坡均进行了图上标示。全流域共解译滑坡达 5500 多处, 滑坡总面积达 108.2 平方公里, 总体积约 29.2 亿多立方米。

2. 安塞县滑坡彩红外航片调查^[2]

安塞县位于陕西省中北部, 面积为 2951 平方公里。该县除南部有小片土石梢林地外, 大部分是裸露的黄土沟壑丘陵。利用覆盖全县的 70 多张彩色红外航片 (1:65,000), 对滑坡图斑进行解译, 对滑坡的稳定类型、规模类型和塌地类型进行判断, 然后将解译的滑坡图斑转绘在 1:50,000 地形图上, 由此缩小, 清绘编成三幅 1:100,000 滑坡专题图, 1:100,000 安塞县滑坡稳定类型分布图; 1:100,000 安塞县滑坡规模类型分布图和 1:100,000 安塞县湾塌地类型分布图。图上表示的最小图斑代表实际面积是 100m × 100m。利用 1:50,000 地形图上标示的滑坡图斑进行面积量算, 结果是全县共 1280 多处滑坡, 总面积达 126.1km², 总体积约 31.9 亿立方米。

3. 晋陕黄河峡谷区滑坡 TM 像片调查

晋陕黄河峡谷区相当于黄土高原重点治理区的东片 (晋西) 和西片 (陕北), 共由 27 个县 (包括安塞县) 组成, 面积约 6.25 万平方公里。由于区域太大, 我们采用了 1:100,000 TM 像片作为主要信息源。根据 1:100,000 地形图, 作出空白底图, 然后在卫片上直接解译, 最后缩编成 1:400,000 晋陕黄河峡谷区滑坡分布图。由于 TM 像片分辨的限制, 滑坡调查解译的最小规模是 100m × 200m。西片的滑坡调查参考了 1:100,000 土壤侵蚀类型图。滑坡的面积直接在 1:100,000 解译图上量算。全区共解译了滑坡 2250 多处, 滑坡总面积达 411.2 平方公里, 总体积约 106.6 多亿立方米。

三、结 语

利用遥感影像, 对区域滑坡进行综合调查与制图, 是一种快速、省力而又十分有效的手段。由于黄土丘陵沟壑区地形破碎, 小型滑坡数量比例大, 因此利用大比例尺航片作信息源最为合适。TM 像片对大型滑坡的影像有较好的反映, 基本上可满足大区域滑坡概查与中小比例尺制图的要求。

参考文献

[1] 杨运恒, 彩色红外遥感航片在滑坡调查中的应用, 水土保持通报, 1988 年, 第 8 卷第 5 期。

[2] 杨运恒, 安塞县滑坡机助制图试验, 中国科学院自然资源综合考察委员会等编, 黄土高原遥感调查试验研究, 科学出版社, 1988 年。

昕水河流域滑坡危险性分析
王 卫 杨运恒
(北京师范大学地理系)(烟台师院地理系)

昕水河位于晋西黄土高原南部，发源于吕梁山，干流自东向西流入黄河，是黄河的一级支流。主要流经隰县、蒲县和大宁，是晋西地区的重要河流，是晋西南部黄土残塬区的主要河流。流域内以水土保持为中心的自然灾害预测与防治是本区当前区域治理与开发的核心。本区土壤侵蚀模数为 5000—8000T/Km²·a，是北部黄土丘陵区的一半左右。弄清土壤侵蚀的发生规律是水土保持工作的基础。重力侵蚀是黄土地区土壤侵蚀的重要方式，它不但具有一般土壤侵蚀方式所具有的导致土壤养分和水分流失的危害，而且由于其突发性特征，常常给人民生命财产带来直接威胁。本文旨在探讨昕水河流域以滑坡为主的重力侵蚀的发生规律，为流域内滑坡灾害防治和水土保持规划服务。

一、问题的提出

滑坡是斜坡上的土体(或岩体)在重力作用下沿着一定软弱面整体下滑，且土体内部的相对位置不发生明显错乱的块体运动。黄土疏松多孔，垂直节理发育，因此黄土地区是我国滑坡高发区，也是土壤侵蚀的严重区。研究表明，滑坡的发生与地质构造、岩性、地表形态、降水、地下水活动、植被状况和人类活动都有着密切关系。

在进行国家“七五”科技攻关课题“黄土高原重点治理区资源与环境遥感调查(晋西片)”过程中，我们发现，滑坡的宏观分布与地表形态有很强的相关关系(表1)，表现为从梁峁区的兴县、临县、柳林，经梁区的方山、离石、中阳、石楼到残塬区的永和、大宁、吉县，滑坡密度由大变小。只有残塬区的乡宁例外，为滑坡密度高值区。经研究发现，乡宁县境内有一较大断裂构造线，滑坡主要分布在这条构造线上。这一宏观统计规律表明，由于黄土地貌存在着残塬地——梁地——梁峁地的基本演化序列，晋西黄土残塬区很可能是滑坡等重力地貌的潜在高发区。为了进一步弄清这一问题，需要从滑坡的形成机制上进行分析，为此我们选择了昕水河流域进行研究。

表1 晋西各县滑坡密度表

县 名	兴县	临县	柳林	方山	离石	中阳
个数 个/km ²	0.1198	0.1131	0.2129	0.1512	0.1034	0.1394
面积 km ² /km ²	0.0287	0.0205	0.0354	0.0165	0.0141	0.0224
县名	石楼	永和	大宁	吉县	乡宁	
个数 个/km ²	0.0533	0.0156	0.0433	0.0204	0.1792	
面积 km ² /km ²	0.0104	0.0019	0.0080	0.0038	0.0449	

*为 100m×200m 的滑坡

二、地形结构与滑坡分析

1. 坡面形态与滑坡

在影响晋西地区滑坡产生的诸因素中，岩性、降水、植被等在宏观上差异不大，地质构造和地下水活动的差异一般是局地性的，只有地表形态因素是影响晋西黄土区滑坡产生宏观区域差异的基本因素。从形成机制看，滑坡是斜坡上的地体在自身重力作用下，整体下滑产生的，坡面形态（即临空条件）是决定地体下滑应力大小的基本静态因素。晋西黄土残塬区与黄土丘陵区坡面形态存在明显差异，这种差异决定了今后滑坡发生机率的差异。

（1）根据抽样计算昕水河一、二级沟道小流域的侵蚀积分值发现，侵蚀积分值多在 30%~40% 之间。可见，昕水河流域黄土残塬区正处在地貌演化阶段的幼年期晚期阶段。沟谷形态多“V”形谷，坡面多为直形坡。而黄土丘陵区侵蚀积分值多在 43%~60% 之间^[1]，地貌演化处在壮年期阶段，沟谷形态多“宽浅型”，坡面多凹凸形坡（图 1）。蔡彬等^[2]在研究三峡地区滑坡发生规律时发现，坡形与滑坡有很强的相关关系，直形坡上的滑坡占 72%，凹形坡占 15%，凸形坡占 13%。虽然黄土区与三峡区的岩性差异大，但岩性差异并不干扰坡形与滑坡的这种相关关系。可见从坡形角度看，直形坡为主的黄土残塬区将是晋西黄土滑坡的潜在高发区。

（2）黄土滑坡主要发生在沟缘线以下的沟谷地上。由于坡面形态的差异，黄土残塬和黄土丘陵间侵蚀方式的垂直带结构也存在明显差异（图 1）。陈永宗等人^[3]认为，黄土塬区侵蚀垂直分带中最显著的特点之一是，沟谷带中重力侵蚀十分活跃，居沟谷地各种侵蚀方式的首位。而黄土丘陵区沟谷带中则以水蚀为主。从黄土区侵蚀方式的垂直分带结构看，晋西黄土残塬亦是滑坡的潜在高发区。

2. 滑坡潜在高发部位分析

在一个区域内，滑坡产生的可能性由于地形部位的不同，存在着较明显的差异。在潜在高发区分析的基础上，进一步进行潜在高发部位研究，对于滑坡预测与防治具有更重要的意义。从 1:10 万 TM 影像图上分析发现，昕水河流域内沟谷不对称现象分布普遍，这种不对称沟谷多为昕水河的一级支流（图 2）。不对称河谷多南北走向，与昕水河干流多呈直角相交，表现为受构造线和古地形控制的特征。在昕水河干流存在着三级裂点，说明本流域现代上升运动强烈，且呈间歇性。本流域的不对称沟谷是现代上升运动的差异性和古地形特征共同作用的结果。至于它们各自的贡献率尚需进一步研究。

抽样计算不对称沟地表形态的基本指标，结果是：沟谷两侧坡面的平均投影长度之比为 2:1~3:1；平均汇水面积之比为 4:1~9:1；长坡一侧坡面平均坡度为 15°~25°，短坡一侧坡面平均坡度为 25°~35°；长坡形态以凸形坡为主，短坡形态为直形坡；长坡一侧冲沟密度为 7.02km/km²，短坡一侧为 5.60km/km²，根据沟谷密度与侵蚀量关系的经验公

式^[1]： $W = 3334.27d^{0.945a}$ ， $a = \left(\frac{d}{3}\right)^{0.03}$ （W—侵蚀量，d—沟谷密度）。

估计两侧坡面的侵蚀量，结果发现长坡一侧侵蚀强度比短坡一侧大 26% 左

右。这说明，在短坡未发生变突（滑坡）的一定时期内，沟谷的不对称性将会继续发展。

根据地形对滑坡产生的影响和上述沟谷两侧基本地形指标的数量特征，我们认为，昕水河流域滑坡潜在高发部位是不对称沟谷的短坡一侧。目前，本流域已有的滑坡基本都分布在短坡一侧（图2），这是上述观点的一个有力证据。

三、滑坡危险性分析

从不对称沟谷的纵剖面看，以下游地段的沟谷深度最大，目前已存在的滑坡主要分布在这一地段。由此可见，目前这一地段已接近土体稳定性的临界高度。由于不对称沟谷的短坡坡面汇水面积较小，水力侵蚀相对较弱，今后一定时期内坡形和坡角都不会有大变化。由于主沟汇水量较大，一般为短坡的5—10倍。根据经验公式^[3]： $W=a+bQ$ ，（ $b>0$ ， W —侵蚀量， Q —单宽流量），侵蚀量与单宽流量呈正相关，将导致主沟与短坡坡面水力侵蚀的不协调发展。目前昕水河流域的不对称沟谷下游段均已接近或切入基岩，今后下切侵蚀将相对减弱，侧向侵蚀将相对加强。

在土体稳定性分析的方法中，有的较简单，有的较复杂，但它们的原理都是一致的。故这里选用将滑动面看做斜面的简单方法。在剪切强度与抗剪强度相平衡的条件下，有下述关系^[4]（图3）：

$$W \sin \alpha = \frac{Cx'}{\cos \alpha} + W \cos \alpha \tan \varphi$$

$$\frac{1}{2} H \cdot x' \cdot \gamma \sin \alpha = \frac{Cx'}{\cos \alpha} \cdot \frac{1}{2} H \cdot x' \cdot \gamma \cos \alpha \tan \varphi$$

$$H = \frac{x'}{x} \cdot \frac{2C}{\gamma} \cdot \frac{1}{\cos \alpha (\sin \alpha - \cos \alpha \tan \varphi)}$$

H ——临界高度
 C ——土体粘聚力
 γ ——土体比重
 α ——主滑动面坡角
 φ ——内摩擦角

在公式（1）中一般有 $x' > x$ 。在昕水河流域不对称沟谷中，随着主沟侧蚀的增加 x' 将随之缩短，从而导致临界高度的降低，使得土体高度超过临界高度而产生滑坡。另一方面，目前流域内不对称沟谷短坡一侧有少数冲沟已向塬面纵深发展（图4），这种上源冲沟由于上塬后汇水面积突然增大，其发展速度很快，如大宁太德塬面冲沟前进速度为3—15m/年。这种冲沟的出现，增加了土体的临空面，其作用也是使 x' 缩短，增加了土体的不稳定性。

昕水河流域目前已有滑坡多为大中型滑坡（ > 50 万 km^2 ），这一现象是流域内地层条件决定的（图5）。本区黄土的总厚度为50—100m，其中马兰黄土5—10m，离石黄土40—70m，午城黄土10—20m。流域内基岩出露比较广泛。由于各期黄土和基岩的性状的差异，在基岩未出露的地方，滑坡的滑

动面易在较粘重的午域黄土与离石黄土的界面上形成。在基岩出露的地方，基岩与黄土的界面亦形成滑动面。与北部的沙黄土带比较，本区黄

土的粘聚力和内摩擦角都较大，易形成深层的大中型滑坡。大中型深层滑坡较之中小型浅层滑坡，其对人畜的直接危害更大。

在上述分析的基础上，编制了昕水河流域滑坡潜在高发地段分布图。从而看出昕水河流域滑坡危险性地段分布广。今后滑坡的防治对本区至关重要。滑坡的防治主要从两方面入手，一为防，这些地段要禁止修造窑洞，其上部塬边要禁止盖房，以避免或减少滑坡对人畜的直接危害；二为治，主要是采取生物和工程措施、减小土壤侵蚀强度，迟滞滑坡的产生。特别是要防止塬边地表水的下渗，因为地下水活动是滑坡产生的主要突发因素，它会使界面的抗剪强度迅速下降而导致滑坡。因此，塬边防护林带建设十分必要。

参考文献

[1]陆中臣等，安塞县的侵蚀及地貌演化趋势预测，黄土高原遥感调查试验研究，科学出版社，1988。

[2]蔡彬等，三峡库区崩塌滑坡分布规律初探。水土保持通报，1988，第2期。

[3]陈永宗等，黄土高原现代侵蚀与治理，科学出版社，1988。

[4]M.A.卡森等，坡面形态与形成过程，窦葆璋译，科学出版社，1984。

[5]杨运恒，彩色红外遥感航片在滑坡调查中的应用，水土保持通报，1988，第5期。

[6]王卫，环太德塬沟道小流域地貌演化及向塬侵蚀趋势研究，干旱区资源与环境，1989，第3期。

（下接 148 页）

对晋西黄土高原治理与开发方向的浅见

高起江 乔玉良

(山西省农业遥感应用科学研究所)

黄土高原是中华民族的发祥地,黄河中游被称为中国文化的摇篮。但由于近代人类不合理的农业经营,导致植被的破坏,严重的水土流失成为黄河问题的症结所在。特别是晋(山西)、陕(陕西)、蒙(内蒙)黄河峡谷地带,是黄土高原的重点产沙区。这一带仅占黄土高原总面积的 16%,产沙量却占黄土高原总产沙量的 60%左右。同时它又是黄河下游河床淤积的粗沙(粒径 $>0.05\text{mm}$)的主要来源地。因此,是黄土高原水土保持的重点治理地区。

四十年来,党和政府对黄土高原治理给予高度重视,广大干部、科技人员以及千百万农民群众为之面貌的焕然而奉献、拼搏,走过了艰难、曲折的探索之路,取得了丰富的治理经验,创造了许多可喜的治理典型和成果。但纵观全局,水土流失和贫困两大灾难仍在束缚着人们的生产、生活。水土流失如何治理,黄土地区如何脱贫致富,是人们十分关心的问题。笔者仅就通过完成国家“七五”科技攻关课题“黄土高原遥感调查”,晋、陕峡谷区侵蚀调查与制图工作过程中,所掌握的资料,对晋西黄土高原的治理与开发,谈几点粗浅的意见。

一、小流域综合治理要注重生态经济效益

以小流域为单元,进行综合连续治理在水土保持工作中,已得到广泛的推广。但小流域治理是一项治理与开发相结合的系统工程,它包括工程、生物及耕作措施,内涵农、林、水、牧、加工各业。各业比重及先后排序,在保证吃饱肚子大基调上,应有机组合,注重生态经济效益,沟梁坡合理布局,以栽果树、造林、种草养畜为主攻方向,讲求治理实效。如中阳县小禾沟,过去是一条黄土裸露侵蚀严重的荒沟。七十年代开始治理,现在沟缘线以上为基本农田、核桃、苹果间作区 300 亩。沟缘线以下营造油松、侧柏、杨树林,林木及草生长茂密,控制了水土流失,沟内清水常流。现有用材林 40 万株,价值 1000 万元。1989 年产核桃 5000 公斤。现人均 3.5 亩林,1987 年人均收入 600 元,人均产粮 860 公斤,1989 年人均收入达 2000 元。永和县园子沟,面积 1300 亩。1979 年开始治理,沟梁坡全部营造刺槐、杨树林,1985 年以来林下草被茂密,沟内清水常流,沟口修筑了池塘养鱼。1989 年间伐木材 15 立方米,收入 5000 元。每亩地现有成材树 60 株,生态经济效益显著。偏关县婴儿沟流域面积 3.3 平方公里,1979 年至 1980 年用 20 个月的时间,采用综合措施,集中治理,梁峁顶营造防风固沙林 450 亩,缓坡修梯田 1290 亩,梯田埂栽杨柳,田林路配套;陡坡退耕种草 5292 亩,营造水保用材林 650 亩;沿沟缘线营造 10 米宽柠条防护林带;沟谷坡营造柠条林 1200 亩;沟底水肥条件较好地段营造速生丰产林。打骨干坝一座,淤地 49 亩。工程、生物合理配置,形成了良好的生态环境。粮油单产由 1978 年 44 公斤,1985 年提高到 205.8 公斤,1986 年大旱,亩产仍为 169.6 公斤,人均粮食产量 710 公斤;林牧业人均收入 252.2 元,总收入由治理前人均 124.9 元,1985 年达到 621 元。流域内林草覆被率达 63%,固沙、拦沙效益达到 99.7%,土

壤含水量增加 76%，蒸发量减少 43%，三大效益显著。这些范例说明了人们对综合治理涵义认识的深化，摆脱了单一经营的束缚。将小流域做为一个生态经济系统单元，有机协调地进行，使其生态、经济、社会三大效益得到良好的体现。

二、注重优势资源开发，搞好发展规划

晋西地区地貌类型复杂多样，千沟万壑的黄土地，有利于小气候的形成；南北气温差异显著，东西受海拔影响形成不同的垂直气候带，但都有光照充足，雨热同季的优越条件，适于多种果树的生产。从区域分布看，黄河沿岸海拔 800 米以下的蚀余黄土丘陵区沟、滩地带，范围约 600 多平方公里，是红枣的适生带。这一地区目前有红枣林 60 万亩，年产红枣 5280 万公斤。石楼县 1987 年有红枣林 9.1 万亩，1989 年增加到 17.26 万亩，人均 2.33 亩，有熏枣加工作坊 11 处，1989 年加工 100 万公斤。麦场堰村有 338 口人，有红枣林 2187 亩，人均 5.6 亩，现有挂果面积 1200 亩，1989 年产枣 35 万公斤，人均红枣收入 921 元。永和县打石腰乡河会里村，有 205 人，枣树林中实行枣粮间作，仅大枣收入人均 1100 元。海拔 800 米至 1200 米切割破碎的黄土丘陵地带是核桃、苹果的适生带，目前临汾西山掀起了发展“苹果热”，吕梁地区大面积发展核桃、苹果。北部地区的“海红热”及仁用杏生产等均构成了一定规模。临汾西山地区各县均以较大规模发展矮化苹果。它的主要特点是矮化、密植、高产、见效快，栽植三年就可挂果。出现了集体、国家机关、企事业单位与农民合资多种开发形式。从庭院经济到大面积果园的生产基地建设均具一定规模。吉县的中垛乡尖义村的杨拴宝，84 年承包庭院小流域，整地 34 亩，种植各种经济林 1600 多株，沟内营造速生丰产林 1.6 万株，价值 43000 余元。1987 年果树就开始挂果，收入 2000 元，1988 年果树收入 4000 元，1989 年 200 株核桃产 4500 公斤，150 株山植产 115 公斤。

千沟万壑造就的黄土沟坡，耕地中占很大比重的陡坡耕地，又是发展畜牧养殖场地。据柳林县李家垣村调查，陡坡耕地每亩产粮仅 20—25 公斤，种苜蓿养兔每亩可养 40—50 只，产肉 100 公斤，草护坡养畜，畜粪肥田，新修梯田当年培肥土壤，亩产 200—250 公斤。这个村种牧草 750 亩，1971—1987 年出售肉兔 8.3 万只，种兔 1 万只，仅养兔收入 27.4 万元，占总收入的 50%；1989 年全村有 92 个养兔户，最多的户达千只兔，村民们深有感触地说：“家有十只兔，不愁油盐醋，家有百只兔，不愁盖房娶媳妇”。充分利用每寸土地，梯田由过去硬埂夯实做法，改为软埂梯田，埂上种黄花，埂坡种苜蓿，埂基栽红枣，形成“三层楼”生物软埂。又有经济效益，节省了每年硬埂坍塌的修理用工，一举多得，取得了很好的效益。

海拔 1200 米以上的东部土石山地区，人口密度较小，无霜期变短，降雨量增加，是针、阔叶林及草灌的适生带。发展林业、畜牧业是这一地区的优势。海拔高的石质山区则是适于发展水源涵养林地区。

调查区域内，无论从南北地带性分区，还是东西向的垂直地带性分区，各区在资源开发上均具有各自的优势。但调查中发现，多数地区缺乏一个扎实可行，符合实际的近、中、长期治理开发规划，在某种程度上，仍带有行政指挥的盲目性。因此，要保护黄土地区群众在资源开发与治理上积极性。各地区均要在资源调查基础上，制定出科学、合理的治理开发规划，杜绝盲

目性，以避免失误及所造成的后遗症。

三、巩固重点治理区成果，重视非重点治理区

大流域治理是国民经济发展的需要，是黄土高原贫困山区脱贫致富的需要，是小流域治理发展的归宿。三川河流域于 1982 年列为全国水土流失八大重点治理地区之一，总面积 5484 平方公里。从 1983 年开始，平均每平方公里投资治理费 5.84 万元（其中国家补贴 3.18 万元/平方公里）在六年中坚持集中、连续、综合治理，完成治理面积 700 平方公里，占水土流失面积 25.3%，为前 30 年治理总量的 1.5 倍，已有 8 条重点小流域治理度达 70% 以上。有 17 个小流域治理度达 50% 以上。

六年来取得了显著的经济效益，打破了长期单一农业经济的格局，土地利用趋于合理，林牧业取得一定的发展。六年中，陡坡地退耕还林还草 3.5 万亩，农耕地占总土地资源的比重由 15.5% 下降到 14.5%，林牧业用地由 1982 年前的 41.1% 上升到 57.1%，林牧收入所占比重由 1982 年的 26.5% 提高到 33.8%，粮食产量由 1982 年总产 9194 万公斤，人均占有 259 公斤，到 1988 年总产 12146 万公斤，人均占有粮食 342 公斤；农民人均收入由 1982 年 69 元，到 1988 年达到 373 元，增长 4 倍多。

六年来生态环境有了明显的改善，入黄泥沙明显减少。据三川河后大成水文站 30 年实测资料分析，入黄泥沙较治理前每年减少 1719.4 万吨，减少率 58.8%。

三川河流域治理，在国家投资的援助下，取得了显著的成效。但与之相邻的石楼、永和两县属黄土梁状丘陵与黄土残塬状丘陵过渡带，梁大、沟深、坡陡。本次调查发现，治理速度缓慢，加之交通闭塞，主管部门重视和资助较差，生态环境仍日趋恶化。中度以上侵蚀面积分别占到全县总面积的 95.5% 和 97.7%，居晋西各县之首。无论从实地调查，还是从卫星图象上，均可见到植被稀少，黄土裸露的严重侵蚀现象。在完成国家资助的重点治理地区的同时，应当兼顾面上大面积侵蚀地区综合治理的技术指导及组织管理工作。

四、基本农田建设在综合治理、优化开发中的位置的商榷

四十年来，以梯、坝、滩为主的农田建设取得了可喜的成绩。晋西地区人均基本农田达到 1.41 亩，但目前仍有“紧紧抓住基本农田建设不放”，“以基本农田建设为中心的水土保持综合治理”等提法，在左右或指挥着晋西地区的治理与开发。对晋西地区在指导生产上是否必须强调，人均 2 亩基本农田才能解决粮食问题？我们认为，目前的 1.41 亩基本农田并不都是高产田，晋西土壤有机质含量低，有机肥料缺乏是人所皆知的，这也是粮食产量上不去，抵御自然灾害能力差的主要原因。提高基本农田质量，走有机培肥之路也是保证高产的重要途径。晋西地区植被缺乏，造林、种草、养畜、积粪肥以及种植绿肥改良土壤也是可取的道路。人均占有 1.41 亩甚至 1.5 亩高标准农田，粮食问题便会得到解决。在当前的以小流域为单元的综合治理及其它资源开发的形势下，应当注意到：当群众脱了贫，致了富，手中有了钱，他们首先要干的是什

炭资源，在村民收入不断增加的情况下，该村没有因为挖煤与务农悬殊的利益关系而放弃农业，相反，更加注重了农业生产条件的改善和矿区的水土保持。1985年到1989年的五年内，以工补农，先后投资112万元，购置推土机两台，新修梯田800多亩，发展水地20亩，打坝9座，淤地270亩，新建果园300亩，营造用材林10万多株，种草、营造灌木林1200亩，新建蓄水量为1500m³的小型水库两座。1989年全村粮食总产12.2万公斤，人均收入2145元。左云县提出挖出地下黑色宝库，建设地上绿色宝库的口号，80年代初他们从地方财政拿出钱买推土机100台造地，并每造一亩林地方财政补助5元钱。从黄土高原有名的贫困县跃而为全国的富裕县。这些事例说明，黄土高原的领导和群众脱贫致富之后，会更合理地、实际地安排各种措施和在综合治理中的排序和位置。因此，晋西地区对基本农田在综合治理中的比重提法，大可不必延续四十年的一贯口号，而应当在提高农田建设水平上，做好科技引导，把工作重心放在群众愿意而且已经在做的事情上来。即应利用千沟万壑的自然条件，发展林（果）草，增加财富贮备，为基本农田提供良好的生态环境和丰富的有机物质，走生态农业之路。

五、加强科技引导，做好全程服务，重视管理工作， 搞好配套设施是目前亟待解决的问题

以小流域为单元进行综合治理，充分利用绿色资源，搞好物质转化，并不是群众自发的就可以办好，必须加强科学普及和具体技术的指导。如果树栽培、病虫害的防治、修剪与管理、贮藏与加工、种草养畜技术等等，都需要提供及时的科技服务。

综合治理和区域开发，各种商品基地建设，必然对区域内外的物资交流的发展起促进作用。目前流通渠道不畅已成为晋西治理开发的障碍因子。养绒山羊不收购羊绒，羊肉价下跌，接之而来的还会出现红枣、苹果、核桃、家兔运输难、销售难等一系列问题。如不搞好商业体制改革，搞好流通领域，必然要挫伤群众的积极性。因此，谈到黄土高原治理与开发的同时，必须对这一问题在工作重点和投资方向上做超前考虑。

土石山区县级土地资源合理利用
模式研究——以方山县为例
王卫
(北京师范大学地理系)

以土石山为主的县在晋西十二县中占有较大比例，它们与以黄土丘陵为主的县相比，土地类型组合、土地资源质量和土地利用方式都存在很大差异。土石山区县均处在晋西各主要河流的上游，其土地资源利用是否合理，不但影响本县经济发展，还直接影响下游诸县，特别是河谷地区的农业生产。本文以方山县为例，从土地资源类型、质量和利用现状的分析入手，探讨土石山区县土地资源合理利用的可能途径。

一、自然条件与农业系统现状分析

方山县总面积为 1436.8km^2 ，折 2155167 亩，其中，县管面积为占 73%，省关帝山林管局管辖面积占 27%。

1. 自然条件分析

方山县宏观上属黄河中游黄土高原的一部分，但在高原内部又处于晋西黄土丘陵区向吕梁山地的过渡带上。境内地势东北高，西南低，垂直变化明显，最高点（海拔 2831m）与最低点（海拔 987m）高差 1844m。一级地貌类型为山地、黄土丘陵、河谷三大部分，三者的面积比为 6 3.5 0.5。可见，山地为本县的主要地貌类型，黄土丘陵次之。除一些陡峻山地外，大部分地表仍覆有薄厚不一的黄土。三大地貌类型的空间分布存在明显的地域差异，形成了西南部黄土丘陵区、中南部河谷区和东北部山地区三大地貌类型组合区。

境内气候属温带半干旱气候区。年平均有效辐射为 $73.3\text{千卡}/\text{cm}^2$ ，年均温 $4^\circ\text{—}9^\circ\text{C}$ ， 10°C 年活动积温 $2246^\circ\text{—}3088^\circ$ ，无霜期 110—150 天。多年平均降水量 562mm，年降水变率 $\pm 19\%$ ，6 - 8 月降水占全年 62%，年平均蒸发量为 1208mm。上述气候要素决定了境内绝大部分地区在农业利用上为一年一熟旱作农业区。由于内部地势变化大，使得主要气候要素存在着明显的地域分异，形成了西南部温和半干旱气候区和东北部温凉半湿润气候区。气候生产潜力是评价气候资源的重要方法，我们用农业经验法（基

本公式：
$$Y = 3137.5F \cdot E \cdot \sum_{i=1}^{12} Q_i \cdot K_{Ti} \cdot k_{Ri}$$
），对上述两大气候区分别计

算了方山县的光能生产潜力（2715 斤/亩）、光温生产潜力（西南区：1508 斤/亩，东北区：1225 斤/亩）、气候生产潜力（西南区：807 斤/亩，东北区：819 斤/亩）。从上述指标可以看出，西南区和东北区温度和降水对光能生产潜力的衰减比例分别 63%、37%和 79%、21%。这表明全县热量不足对生产潜力衰减影响最大。两区比较，西南区水分不足影响较大，东北区热量不足影响为主。

境内主要河流为北川河、一般河水流量为 $1.5\text{—}2\text{m}^3/\text{s}$ ，枯水期流量为 $1.05\text{m}^3/\text{s}$ ，最大洪峰流量达 $540\text{m}^3/\text{s}$ 。东部山地为北川河河水流量的主要源

泉。在光热降水条件控制下，方山县自然生态系统为森林草原景观，其下发育的自然土壤为山地棕壤、灰褐土和草甸土，自然土壤表层有机质含量在 1.23—8.65% 之间。

方山县的自然条件以天然降水在旱作需水量下限值附近摆动和地表黄土母质极易流失为标志，形成了生态脆弱性。

2. 农业系统现状分析

近年方山县农林牧业占农业总产值的比例分别是 51%、24%、20%，可见方山县仍是以种植业为主的农业经济系统。近年全县粮食人均占有量不足 500 斤，农业人口人均产值为 300 元左右，均低于山西省平均水平，属贫困县。方山县农业系统的功能表现出下述特点：

(1) 农业系统与自然环境的相互作用中表现出明显的水土流失。全县水土流失面积占总面积的 41% (县管面积内水土流失面积占 53%)。据山西省水保所实验数据，全县平均侵蚀模数为 $6300\text{T}/\text{km}^2 \cdot \text{a}$ ，年平均侵蚀表土 5mm。严重的土壤侵蚀导致土地持水能力降低，养分下降。全县耕作土壤表层有机质含量只有 0.5%—0.87%，仅及自然土壤的 10—40%。

(2) 农业系统存在着以粮食为主的物质流不平衡。1982—1987 年间从县内输入的粮食平均占全县粮食总产量的 13%，最高达 27%，最低为 4%。燃料从总体上看县内供需是平衡的，每个农业人口占有薪炭林 3 亩。但地域分布严重不均，西南部的河谷区和丘陵区薪炭林地少，目前县内缺乏统一调济，致使这两个区域燃料不足。系统内部肥料亦不平衡，许多耕地由于肥料不足而长期低产。

(3) 农业系统资金流不平衡。国家除了经常提供救济资金和行政补贴外，每年都要投入上百万元的水土流失治理资金，1982—1987 年国补治理资金的年平均额为 108 万元。

上述农业系统内部诸环节上的物质、资金、能量流的不平衡是相互影响的，从而形成了系统的整体功能 (图 1)。

根据图论理论，图中全部环流圈均为正反馈环，它将促使系统继续朝退化方向演替。目前由于外部物质、资金、技术流的输入，勉强维持着系统的平衡，但这种平衡是一种不稳定平衡，一旦外部输入不足，系统状态将在逆向演替中走向崩溃。可见，目前方山县农业系统为一退化型系统，导致这一过程的基本原因是以人粮矛盾为主的人地矛盾的日益加剧。

二、土地资源系统分析

土地资源及其利用系统是农业系统的低层子系统。对其研究将有助于进一步剖析方山县农业系统的特征，并为探讨今后土地资源合理利用模式提供依据。

1. 土地利用现状分析

方山县土地利用现状 (基本构成见表 1) 的特点是：

表 1 方山县土地利用构成农%

土地利用类型	耕地	园地	林地	草地	居民点及工矿用地	交通用地	水域	未利用地	合计
占全县面积百分比	28.64	0.12	50.68	9.30	1.63	0.32	0.97	8.34	100
占县管面积百分比	38.8	0.17	35.38	10.69	2.13	0.40	1.30	11.13	100

(1) 大农业用地占总面积的 89.71% (县管面积占 86.34%)，非农业用地占 1.95% (县管面积占 2.53%)。可见，农业用地在总面积中占绝对优势，其利用的合理与否决定着全县土地利用状况。

(2) 林地面积比例大，正是大片林地的存在，维持了北川河常年稳定的清水流量，对维护整个三川河流域的生态环境，特别是流域河谷农业区耕作业的稳产高产具有重要意义。但目前林地的经济和生态效益都较差，在县管面积中，两个效益都好的乔木林只占 16%，而经济效益差的灌木林占 46%，生态效益差的幼年林占 3.5%。

(3) 县管面积中耕地比例已居各类用地之首，而在耕地中，无灌溉的旱地占 94%，坡旱地占 71%。水浇地少对旱灾频繁的方山来讲，耕作业的稳产保证率必然大大降低；坡旱地多势必极大限制农作单产的提高，并导致水土流失加剧，土地质量下降。

(4) 县管面积中未利用比例较大，除少量难利用地外，大部分 (82%) 为过度利用退化成的荒草地，是境内水土流失的主要来源之一。

全县土地利用结构存在着明显的地域差异，形成了中南部河谷农业区、西南部黄土丘陵农业区和东北区山地林牧农区三大土地利用分区。

2. 土地质量分析

土地资源评价目的旨在为大农业土地利用服务，本评价系统以国家“七五”攻关课题“黄土高原重点水土流失区遥感系列制图”中的土地评价系统为主要依据。分为土地适宜类—土地质量等—土地质量亚等三级。土地适宜类按对农林牧的适宜范围分为三类。土地质量等的划分采用八等制。亚等只在宜农地中划分，反映主要限制因子的不同和现实生产力水平的差异。土地评价单元，根据方山县土地的利用已达饱和状态的实际，确定为以土地自然属性和利用现状共同决定的土地资源类型。评价因子选取如下：抗蚀能力 (e)、土壤水分 (m)、土壤养分 (f)、有效土层厚度 (d)、坡度 (p)、灌溉条件 (i)、热量状况 (t)、无限制 (o)。

全县土地质量评价结果见表 2：

表 2 方山县土地质量状况表

土地等	土地亚等	适宜性	土地资源类型	主要限制因子	现实生产力 (斤/亩)	全县面积 百分比(%)	具管面积 百分比(%)
一等地	10	宜农	川水浇地	无	600	3.0	4.2
	1f	宜农	川台旱地	土壤养分	400		
二等地	2f	中等宜农	沟旱地	土壤养分	300	5.5	
	2fm	中等宜农	梯田	土壤养分、水分	200—300	7.2	
三等地	3em	勉强宜农	丘陵缓坡地	土壤侵蚀、水分	150	7.7	10.3
	3et	勉强宜农	山地缓坡地	土壤侵蚀、热量	100		
四等地	4em 4et	临界宜农	丘陵中坡地 山地中坡地	土壤侵蚀、水分	60	9.2	12.5
		宜林牧		土壤侵蚀、水分	50		
		临界宜农 宜林牧		土壤侵蚀、热量			
五等地		中等宜林 牧	陡坡耕地 林、草地	坡度		63.0	50.6
六等地	勉强宜林 中等宜牧	荒草坡地	侵蚀、坡度		6.7	9.0	
八等地	暂不宜 农林牧	裸土 裸岩			1.69	2.1	

土地质量是影响土地生产力大小的决定因素，土地质量的好坏可从现实生产力对气候生产力的衰减反映出来。各等地对气候生产力的衰减是：一等地 38%、二等地 69%、三等地 85%、四等地 93%、五等地 >93%，可见土地质量差是方山作物生产潜力衰减的重要原因。影响土地质量的主要因素是土地养分和水分，我们计算了方山县近年各等耕地的养分平衡状况（表 3）发现，水土流失是养分不平衡、土地肥力下降的重要原因。

表 3 耕地养分平衡表 单位：斤/亩、担/亩

地类	施肥量 碳铵/农家肥	有效含氮量	作物生长 需氮量	养分流失量	盈亏状况	平均侵蚀模数 (T/km ²)
一等地	70/40	1.5	1.5	0	0	0
二等地	65/25	11.5	7.5	0.6	十 3.4	275
三等地	45/20	8.5	3.8	3.7	十 1	1800
四等地	25/12	4.9	1.7	9.2	一 6	9350
五等地	15/5	2.5	1.2	12.3	一 11	12450

将土地利用现状与土地质量比较可以看出，目前亟待解决的问题是：7 万多亩陡坡耕地和 14 万多亩荒草坡地是目前水土流失最剧烈、对生态系统退化起关键作用的因素；19 万多亩中坡耕地也是水土流失严重，导致系统退化的重要因素。

3. 土地经济效益分析

我们计算了方山县主要地类的投入产出状况（表 4）。其中林地采用“林

业理想产值”的指标，即指当年木材生长量的价格。

与全国农林牧用地的平均产投比比较，农业生产率大大低于全国平均水平（3.78）。从方山现有技术水平条件下的经济效益看，以林业为最好，故今后一定时期内应优先发展林业。在牧业中，目前以草食性的羊产投比最高（5.35）。

表 4 方山县主要地类投入产出表 单位：元/亩

地类	总产值	物质费用	净产值	产投比
一等粮地	125	37.5	87.5	3.33
二等粮地	63	31.8	31.2	1.98
三等粮地	31	28.8	2.2	1.08
四等粮地	13	16.2	- 3.2	0.80
用材林	120	14.6	105.4	8.20
水保林	45	14.6	34.0	3.10
经济林	48	14.0	9.0	3.50
人工草地	13	4.0	7.0	3.25
天然草地	7	0.0	7.0	

三、土地资源合理利用模式研究

从上述分析中可以看出，方山县农业系统与自然条件之间、土地利用与土地质量之间存在着不协调现象，土地利用结构的调整势在必行。

1. 土地结构调整的指导思想及目标

方山县自然和社会经济资源在今后一定时期内不会有突变，资源型经济还是其主要经济形式。因此，粮食生产还应走自给型道路，同时还不能以破坏生态平衡为代价。另一方面，作为农业系统的低层子系统，土地结构的调整要以扭转农业生态经济系统的退化为总目标。在上述指导思想下，土地结构调整的目标集是：

- 满足县内生活生产对粮食的需求；
- 实现生态环境逐步向良性方向发展；
- 获得最大的经济效益，满足人民生活水平提高的需要；
- 在一定的治理投资限制下，使系统的整体效益最优；
- 实现系统内部燃料、肥料需求与供给的平衡；
- 寻找种植业内部粮食与经济作物的合理种植比；
- 满足人民生活对肉类和食油的需求。

2. 土地结构调整模式的特点

根据方山县用地及农业系统内部矛盾众多的特点，选用了多目标规划方法作为土地规划的基本方法，其一般表达形式如下：

$$\text{Min } = \{g_1(x_0, \dots), g_2(x_0, \dots), \dots, g_x(x_0, \dots)\}$$
$$S.t. A(X) + x_0 - x_1 = b$$
$$X, x_0, x_1 \geq 0$$

根据目标要求，模型设置了 25 个决策变量，共构造了 14 组、43 个约束

方程。主要约束方程包括：粮食需求约束、耕地面积约束、农田基建投资约束、粮经比例约束、生态约束、林地面积约束、造林投资约束、燃料、肥料需求约束、畜牧发展及草地面积约束、净产值约束、土地总面积约束等。

本模型的规划期为 2000 年。本模型的特点，一是把土地结构调整与农业系统状态改变相结合，使土地规划的应用性更强；二是突出治理投资项的设置，因为对于方山这样的缺乏资金的贫困县，治理投资的启动资金主要靠国家投入，通过模型确定了治理投资额，将有助于这项资金的落实，增强了规划的可操作性。

根据多目标规划方法的优先级顺序调整和灵敏度分析，得到多个规划方案。从中选取了“粮—生—经”低投资方案。根据这一方案，全县 2000 年土地构成和土地结构调整情况分别见表 5、表 6。

表 5 方山县土地利用构成表%

土地利用类型	耕地	园地	林地	草地	居民点及工矿用地	交通用地	水域	未利用地	合计
占全县积百分比	25.00	0.34	57.17	10.95	1.92	0.32	0.97	3.32	100
占县管面积百分比	33.85	0.47	44.22	12.94	2.58	0.40	1.30	4.25	100

表 6 方山县(县管)土地利用平衡 单位：亩

土地利用类型	耕地	园地	林地	草地	居民点及 工矿用地	交通用地	水域	未利 用地	增(+)减 (-)情况	2000 年 规划
土地利用现状										
土地利用类型										
耕地	11893	-4729	-33838	-35867	-6342			+ 2700	-7807	533810
园地	+ 4729	2634							+4729	7353
林地	+ 33838		557562	+ 305				+ 10565	+ 139801	697363
草地	+ 35867		-305	168567					-35562	204138
居民点及工矿用地	6342			34425				+ 6342	40767	
交通用地						6196				6196
水域							20444			20444
未利用地	-2700		-105657					175458	-108357	67101

按本模型，规划期内年均治理投资额为 80 万元，为全县 1982 年—1987 年平均治理投资额的 64%。投资分配见表 7。

表 7 规划期年均治理投资分配表

项目	修造面积(亩)	造价(元/亩)	投资额(元)	投资百分比(%)	2000 年保存面积(亩)
水浇地	503	215	108145	11.5	7540
坝地	180	293	52740	6.5	2700
梯田	3980	120	468960	58.4	58613
林地	19260	9	173340	21.5	144467

按造林保存率 50%计

土地结构调整的空间配置是：农田基建单元配置遵循的原则一是适合当地人民的生活心理习惯，在自然条件允许的前提下，各乡镇尽量做到粮食自给；二是遵循最大经济效益的原则，在自然条件允许的情况下，将新增农田配置在生产管理水平较高的河谷农业区。配置的结果是：水浇地的全部、坝地的 35%、梯田的 70%配置在河谷农业区；坝地的 65%、梯田的 20%配置在黄土丘陵区；梯田的 10%配置在山地区。从地貌上看，主要分布在北川河干流及两侧缓坡地上，少部分在黄土丘陵地上。新增林地主要分布在黄土丘陵区。

3. 土地结构调整的效益及功能分析

规划实现后，方山县土地利用结构和农业系统状况明显好转，其表现如下：

（1）耕地质量提高，水浇地、旱平地（含梯田）、坡地的比例，由现状的 6.03%、23.83%、70.14%，变为 8.38%、35.85%、55.77%。系统内部人粮矛盾基本解决，届时人均粮食占有量达 800 斤。耕地中经济作物的种植比例应控制在 10%以内。

（2）生态系统退化得到明显扭转，林地比例进一步提高，重度水土流失面积由现状的 28.5%减少到 17.2%，其中县管面积中由现状的 38%减少到 23.13%。

（3）经济效益明显提高。规划期净产值年均增长速度为 7.3%，为 1949—1985 年农业产值平均增长速度的 1.92 倍。届时农业人口人均净产值近 450 元。将初步扭转农业发展中资金不足的局面，增强了自身“造血”的机能。

（4）农林牧业比例趋于合理，三者用地比例是 37.2 48.6 14.2，产值比例是 36 53 11。和现状相比，林业比例明显上升，农业比例明显下降。

（5）合理的土地利用空间结构初见端倪，形成了中南部河谷农业区、西南部黄土丘陵农（水保）林区和东北部山地林牧区三大土地利用分区。

（6）农业生态经济系统的整体功能开始向良性方向发展（图 2）。规划期生产的发展，以外延形扩大再生产为主，可叫作“温饱型”工程。2000 年以后，应该以内涵型扩大再生产为主，重点提高林、牧业的劳动生产率，向“小康型”发展。

4. 土地结构调整的实施

在完成土地规划目标的同时，完成农业系统的重建任务，应着重做好下述工作：

（1）严格控制人口增长。否则，难以解决人地矛盾，也就难以完成扭转系统退化的任务。

（2）保证治理资金的落实。这是土地结构调整的关键。初期阶段在以国家投资为主的前提下，集体和个人也要集资。全县可以发挥优势，搞一些“短平快”项目，如沙棘资源的综合利用、山场资源的开发，羊、兔等草食性家畜的饲养等，以积累资金。

（3）加强薪炭林建设和管理，提高草地生产力，防止毁坏幼林、林牧争地等现象，实现造林保存率 50%的指标。

（4）上级政府要充分认识象方山这样的土石山区县，其水源林建设的区际意义，在资金上给予倾斜政策。

参 考 文 献

- [1]袁嘉新等，系统论在区域规划中的应用，社会科学文献出版社，1987年
- [2]宋树森，土地工作手册，农村读物出版社，1987年
- [3]陈光伟、赵济等，安塞县遥感试验区土地资源调查研究，黄土高原遥感调查试验研究，科学出版社，1988年
- [4]J·P·Igniyio，闵仲求等译，单目标和多目标系统线性规划，同济大学出版社，1986年
- [5]R·Burnell I Held and Dirk W·Visser，Rural land use and planning，ELSEVIER，1984

黄土高原的湾塌地资源及其开发利用研究

杨运恒 王 卫

(烟台师范学院地理系)(北京师范大学地理系)

在黄土高原,滑坡体的土地类型含义称为湾塌地(或塌地)。以往人们对滑坡的研究,主要侧重于滑坡的地貌形态及成因、重力侵蚀及自然灾害的性质,而对滑坡体的土地属性注意不多。野外实地考察表明,滑坡体与滑前的斜坡相比,具有坡度较平缓,水热条件较好等特征。湾塌地是一种质量较高,开发利用价值较大的土地类型。探讨湾塌地的土地特征,以合理开发利用这一土地资源,是滑坡综合防治的重要内容。

一、湾塌地的土地特性

1. 湾塌地的土壤侵蚀性质

土壤侵蚀严重是黄土地区大部分地类的共性,但湾塌地的土壤侵蚀有其独特的性质。

湾塌地是滑坡重力侵蚀的结果。滑坡与崩塌等重力侵蚀相比,其产生的方式和形成的地貌形态均不同。崩塌的规模一般较小,土体崩落翻滚,使其结构遭到破坏。崩塌形成倒石(土)堆,坡度较陡,稳定性差,极易被流水侵蚀带去,成为沟谷产沙的重要物源。滑坡发生的规模一般较大,滑坡体一般沿弧形滑床面作整体下滑,基本保持原来斜坡的土体结构,并且坡度变缓,势能减少,因而湾塌地比原来的坡地较为稳定。一些滑坡滑至沟道,不但没有被沟道径流冲走,反而改变沟道径流主流线,造成对岸掏蚀,或堵塞沟道形成堰塞湖或瀑湫等现象。

同时还应看到,由于滑坡体后缘弧形滑坡壁的汇水作用,使湾塌地坡面径流得到加强,如果得不到及时保护,湾塌地的坡面侵蚀特别是沟蚀比原来斜坡更为严重。年代较新的滑坡,由于侵蚀的时间较短,滑坡体的沟蚀较轻,完整性较好,坡度较平缓,宜辟成农耕地。老滑坡体沟蚀严重,浅沟、切沟等沟谷布满滑坡体,使湾塌地破碎不平,给开发利用带来困难。

2. 湾塌地的水热条件

弧形滑坡壁的汇水和滑床的隔水作用,再加上滑坡体表面的微地形,如陡坎与反向坡之间的洼地容易积水,使得湾塌地的地下水和土壤水分都较原来斜坡好得多。湾塌地一般分布于沟坡下部,再加上弧形滑坡壁的屏障作用,使得湾塌地比原来斜坡的风力较小,蒸发力较弱,有利于土壤水分的保持。阳坡的湾塌地,光照充足,冬季又是背风坡,造成局部气温和地温都较高。湾塌地这种较好的小气候环境,特别是较优越的水热条件,十分有利于果树的种植与丰产。

二、晋陕黄河峡谷区的湾塌地资源与利用现状

利用 1:10 万 TM 像片,对 6.25 万平方公里的晋陕黄河峡谷区(相当于黄土高原重点治理区的东片与西片)面积在 100m×200m 以上的湾塌地进行

遥感调查与制图，所得的湾塌地资源数据见表 1，表 2，表 3。

表 1 晋陕黄河峡谷区湾塌地类型数据

类 型	发育处数	面积(km ²)	体积(万 m ³)
完整塌地	1827	323.4	844449.7
较完整塌地	191	29.9	78361.1
破碎塌地	283	57.9	142980.0
总 计	2256	411.2	1065790.8

表 2 晋陕黄河峡谷区湾塌地利用状况数据

类图	发育处数	面积(km ²)	体积(万 m ³)
农耕地	1255	182.8	4572919.9
林地	658	135.9	352592.9
荒、草地	343	92.5	142980.0
总计	2256	411.2	1065790.8

包括天然林、人工林和果林

表 3 各县湾塌地资源数据

县各	发育处数	面积(kn ²)	体积(万 m ³)
兴县	292	70.03	
临县	310	56.18	195281.4
方山	54	6.37	151774.4
离石	81	11.08	16222.4
中阳	98	15.68	28951.9
柳林	251	41.75	42170.9
石楼	89	17.36	110215.8
永和	19	2.38	47291.5
大宁	36	6.65	6116.5
米脂	8	0.60	17596.5
横山	11	0.70	1235.6
绥德	7	1.00	1438.4
子洲	9	0.90	2161.4
子长	171	25.50	1834.8
安塞	313	49.40	57686.6
延安	287	41.40	114515.0
延川	11	2.30	92613.4
吴堡	11	2.380	7706.0
宜川	5	13.40	41095.8
靖边	4	0.40	877.4
总计	2256	411.2	1065790.8

调查结果表明，晋陕黄河峡谷区 100m×200m 以上的湾塌地面积达 411.2

平方公里，占全区土地总面积的 0.66%。其中晋西片的湾塌地总面积达 272.95 平方公里，占晋西片总面积的 1.32%。陕北片的湾塌地总面积为 138.3 平方公里，占该片总面积的 0.33%。

湾塌地的完整性较好。全区完整、较完整、破碎三种塌地的发育处数分别占总数的 81.0%、8.5%、10.5%，面积分别占总数的 78.6%、7.3%、14.1%。

全区的湾塌地大部分已辟成农耕地，或种上林木（包括经济林、果林等）。农耕地、林地和荒草地这三种湾塌地利用类型的面积分别占总面积的 44.5%、33.0%和 22.5%。其中晋西片湾塌地三种利用类型的面积分别占该片总湾塌地面积的 37.7%、33.1%和 29.2%，陕北片是 57.9%、32.8%和 9.3%。由此可见，陕北片的湾塌地利用率高于晋西片，前者的湾塌地、荒草地利用面积仅 12.62 平方公里，不足该片总塌地面积的 10%，而后的荒草地面积达 79.73 平方公里，约占该片总塌地面积的 30%。

三、晋陕黄河峡谷区湾塌地的空间分异规律

1. 大型滑坡受构造和构造应力场的控制，成带状分布

晋陕黄河峡谷区有五条明显的大型滑坡聚集分布带，其中陕北片两条，晋西片三条。根据滑坡带的起始位置，对滑坡带分别进行命名（图 1）。各滑坡带的基本发育特征见表 4。

表 4 滑坡带的基本特征

滑坡带名称	滑坡带所经县	延伸方向	长度(km)	滑坡处数	备注
高一魏滑坡带	安塞、子长	N—S	88	410	
李—子滑坡带	延字、延川、子长	N—S	88	285	
康—魏滑坡带	兴县、保德	N—S	80	180	仅指兴县内的数据
成一歧滑坡带	临县、柳林	NNE—SSW	36	160	
潭—管滑坡带	乡宁	NE—SW	44	210	

通过对晋陕黄河峡谷区的地质构造分析，发现滑坡带分布的位置、延伸方向均受构造及构造应力场控制。

位于陕北的高一魏滑坡带和李—子滑坡带，总体上呈南北向延伸，其中高一魏滑坡带在局部上呈锯齿状弯曲。这两条滑坡带的分布特征与该区的隐伏褶皱及地层界线的方向吻合。李—子滑坡带位于三叠系与侏罗系的地层界线附近。高一魏滑坡带与侏罗系地层的分界线基本一致（图 2、图 3）。

晋西的三条滑坡带的延伸方向各不同。康—魏滑坡带从兴县的康宁，向北经兴县县城到魏家滩，近南北向延伸（向北可延伸到保德县）。该滑坡带正好位于一条南北向的断层破碎带内，并且与中生界、上古生界之间的地层界线大体吻合。成一歧滑坡带沿北北东—南南西走向的湫水河下游断层线附

近分布，滑坡集中出现于断层上升盘一侧。潭—管滑坡带呈 NE-SW 方向伸延，也与该处的断层破碎带走向吻合（图 4）。

滑坡带延伸的方向，还与构造应力场有关。据研究^[1]，与构造应力场主压应力垂直的地段，应力集中程度要比其它地区高得多。与主压应力垂直的脆弱构造带，应力容易集中释放，是滑坡易发地带。又据研究^[1]，晋陕黄河峡谷区的中北部的新构造应力场的主压力方向为 N100.5°，即接近东西方向。这与该区接近南北向延伸的滑坡基本垂直。本区东南部的新构造应力场主压应力方向为 ES—WN 方向，与潭—管滑坡带垂直。

2. 滑坡分布在南北和东向两个方向存在明显的分异

滑坡分布的东西分异，主要表现在黄河两侧支流从下游向上游和不同级别河（沟）道的滑坡发育差异。黄河主河道呈南北向穿过峡谷区，其两侧支流分别由东向西和由西向东汇入黄河。滑坡主要分布于两侧支流的中游和中上游地带。下游地带很少滑坡发育。根据米脂县^[2]和三川河^[3]的重力侵蚀红外航片调查，流域上游接近分水岭地段一般很少大型滑坡发育，大部分布小型滑坡和崩塌等重力崩滑类型。从滑坡在不同级别的沟道展布来看，黄河主河道及其一级支流主河道很少滑坡分布；二级至四级的河（沟）道则广泛分布大型滑坡；五级以上沟道的大型滑坡减少，而小型滑坡和崩塌等广为发育。滑坡的这种分布现象，主要与河流的不同地段或不同级别沟道，距离基准面远近的不同，导致河流动力过程及形成的地貌形态的差异有关。深切陡峻的黄河谷地和其一级支流下游的深切谷地，延伸至其宽谷相接的裂点，称为一级支流的第一裂点带。该带的河谷地貌处于老年期的回春阶段，沟深坡陡。黄土受长期的侵蚀，仅残留于梁、峁顶部，形成“石山土戴帽”景观。黄土层由于基岩谷肩的顶托，径流无法掏蚀，使黄土坡处于相对稳定状态，因而该带的滑坡很少发育。流域的中游和中上游的三、四级沟道，沟道形态多呈“U”型，侧蚀为主，径流掏蚀严重。同时沟道一般切入三趾马红土层甚至基岩层，使滑层面凌空，从而易发育大型滑坡。流域上游或高级别沟道，逐渐远离平衡状态，沟道多呈“V”型，下切侵蚀为主，沟坡主要由黄土构成，黄土垂直解理发育，多发生小型滑坡和崩塌等现象。

大体以晋西的石楼和陕北的延河为界，滑坡分布有明显的南北分异。晋西地区的滑坡主要分布于石楼以北各县，以南地区较少分布（乡宁县除外）。根据各县黄土地区发育的大型滑坡密度统计数据（表 5），石楼以北各县的滑坡密度约高出南部各县（乡宁除外）5 倍。陕北的滑坡主

表 5 晋西各县滑坡密度值

县 名	处/km ²	km ² /km ²
兴县	0.1198	0.0287
临县	0.1131	0.0205
方山	0.1512	0.0165
离石	0.1034	0.0141
中阳	0.01394	0.0223
柳林	0.2129	0.0354
石楼	0.0533	0.0104
永和	0.0156	0.0019
大宁	0.0433	0.0080
吉县	0.0204	0.0038
乡宁	0.1792	0.0449

要分布于中部的安塞、延安、子长和延川西部，以南地区较少分布，西北部的榆林、靖边、横山多以风沙分布为主，故较少滑坡发育。滑坡密度的南北地域分异，与区域地貌演化阶段或对应的地貌形态、沟谷密度有密切相关。晋西地区南部的乡宁、吉县、大宁的地貌发育以幼年期晚期为主；中部的永和、石楼以壮年期早期为主；北部各县以壮年期早、中期为主。区域地貌形态也对应发生变化。乡宁、吉县、大宁以残塬和宽平梁为主，斜梁地为辅；中部的永和、石楼以梁地为主，残塬为辅；北部的柳林、临县和兴县南部则以梁峁为主，梁为辅；在北部的中阳、离石、方山则以梁地为主辅，为峁梁地形。根据沟谷密度的航片、地形图抽样和河流裂点的遥感影像分析，晋西北部的沟谷密度和河流裂点密度均高于南部。北部有多条裂点带，反映河流地貌演化阶段的深入程度高于南部。陕北黄土地貌类型及地貌发育阶段也有类似的南北分异。据研究^[4]，陕北南部的洛川、黄陵的地貌以黄土塬为主；宜川、延长以梁状地形为主；中部的延安、安塞、子长南部以梁峁丘陵为主；北部的绥德、米脂以峁状地形为主，以梁峁辅。地貌形态的这种分异反映了陕北黄土地貌的演化由南部的幼年期到中部的壮年期早、中期，向北过渡到壮年期晚期或老年期早期阶段。通过分析，初步得出这样的结论：滑坡特别是大型滑坡，主要分布于壮年期的梁峁丘陵沟壑区；地貌发育的幼年期是滑坡发育的潜增阶段，到老年期的滑坡发育强度逐渐减弱。

四、黄土高原湾塌地的开发与治理

1. 把大型湾塌地密集分布地带建成林果带

黄土高原光照充足，日温差较大，具备发展苹果等暖温带水果的气候条件。湾塌地坡度较平缓，并有较优越的水热条件，十分适宜苹果等水果的种植。野外实地考察也证明了这一点。晋陕黄河峡谷区发育的五条大型湾塌地密集带，集中了全区大型湾塌地面积近 85%。把它们建成苹果林带或苹果生产基地，易于统一规划与集中经营管理，是黄土地区农民脱贫致富的一条新路子。目前该区大部分湾塌地辟成农耕地，发展粮食作物，并有较大面积的湾塌地仍是荒草地，这种土地利用结构应该改变。特别是比较破碎的塌地应

重点发展林果，这不但经济合算，而且可以保持水土，防止湾塌地沟蚀，对稳定滑坡也有一定作用。

2. 加强对湾塌地的土地属性研究

多年来，人们对滑坡的地貌学意义和灾害性质较感兴趣，而对湾塌地的土地属性研究比较薄弱。因此，加强对湾塌地的土地特性研究，提高人们对它的认识和重视，对进一步开发利用这种土地资源有重要意义。

参考文献

[1]徐建华、艾南山，侵蚀过程的营力机制，水土保持学报，1989年，第3卷第4期。

[2]王德甫等，米脂县黄土滑塌遥感分析与制图，黄土高原遥感专题研究论文集，北京大学出版社，1990年。

[3]杨运恒、赵济，1990年，三川河流域滑坡的发育与分布规律，水土保持学报，第3卷第3期。

[4]田泽生，陕北黄土高原地区地貌类型与分区，见：[佚名]黄土高原地理研究，陕西人民出版社，1987年。

晋西旅游资源及开发管见
高起江 乔玉良
(山西省农业遥感应用科学研究所)

晋西地区是一个历史悠久、古迹众多、风光旖旎,拥有多种独特资源的旅游区。该区的旅游资源具有新奇、独特和纯真的特点。在再生资源和矿产资源开发的同时,充分发掘、利用好旅游宝贵资源,无疑对振兴、繁荣这一地区的经济和文化有着十分重要的意义。

一、自然景观旅游资源

晋西黄土高原位于吕梁山脉的西侧,地处黄土高原东部。在晚近期地质时期的内外营力相互作用下,形成了独特的自然景观,构成本区风景与众不同的特有风格。受篇幅所限,仅简述如下。

(一)北武当山。又称真武山,位于方山县城东南 30 公里曹家沟北,占地面积约 100 平方公里。境内有 72 峰,36 崖,24 涧。主峰海拔 1985 米。山上植被茂密。海拔 1300 米以上主要为油松纯林和油松、辽东栎组成的混交林;海拔 1300 米以下主要为疏林灌丛。山体岩性为花岗片麻岩和角闪片麻岩。

北武当山是山西甲级自然风景区,有三晋第一名山之称。山势陡峭,雄伟壮观,挺立苍松千姿百态。游人沿着“五里黄土五里沙”的崎岖山路,登上千余级阶梯到达 1985 米的金顶,途中可以领略植被的垂直变化,国家一类保护珍禽褐马鸡时而出没,远眺西部黄土丘陵的独特景观。现已开辟的观赏景点有 30 多处,均是以山势、峡谷、岩石和苍松的形态命名,如舍身崖、真人谷、龟蛇斗、鸳鸯松、古猿望日等。每到秋季,层林尽染,绚丽多彩。

(二)庞泉沟自然保护区。地处北武当山以北 15 公里处,与北武当山同属吕梁山地,占地面积 104 平方公里。主峰孝文山海拔 2831 米。

保护区内植被茂密,种类繁多,山顶为亚高山草甸,中山带为寒温性的云杉林和华北落叶松等植物群系,中低山为温性落叶阔叶林和针阔叶混交林植物群系及灌丛草地。据初步调查,保护区共有植物资源 60 余科 300 余种。

庞泉沟自然保护区为我国八个鸟类保护区之一,重点保护对象为世界稀有珍禽褐马鸡(1800 余只),还有国家一类保护动物黑鹳、金钱豹和二类保护动物林麝、金雕及鸳鸯等。该区不仅是黄土高原上不可多得的自然风景游览胜地,有极高的观赏价值,也是进行科学研究和教学实习的理想基地。现已开辟游览景点十多处,其中八景:“云顶日出、孝文古碑、古树宝塔、天门环气、雄狮夕照、文源晚翠、龙泉飞瀑、笔架生辉”最为壮观。加上保护区一年四季的春花、夏云、秋红、冬雪四绝,益发把庞泉沟装点得五彩缤纷,灿烂夺目。

(三)柏洼山。位于中阳县城东 6 公里,“前山多茂柏,后洼复松林”,山上松柏茂密,尤以白皮松为奇,古松高大挺拔,颇具森林公园特色。

山上古迹众多,有昭济圣母庙、真武庙、傅山先生住室真迹碑刻等。

柏洼山还有以柏籽为食的“柏籽山羊”,肉味鲜美,兼有安神、养心、活血、开胃、去燥之功能,为本区的一大珍品。

(四)娘娘滩。位于河曲县城北 7 公里处的黄河中流。也是万里黄河晋

陕峡谷段上唯一住人的岛滩。娘娘滩面积 300 余亩，环岛四周白杨挺拔，绿柳婆娑，滩上田畴交错。

据传汉高祖刘邦驾崩后，吕雉将薄姬太后和太子刘恒（汉文帝）贬逐宫外，囚禁于黄河中游这块荒无人烟，与世隔绝的小岛上，娘娘滩由此得名。后来刘恒继位后曾来娘娘滩接母回宫，但薄姬太后留恋这里的乡土人情和幽静环境，执意不肯，汉文帝无耐，便放火烧掉岛上的宫庭建筑，薄姬太后只好随子回宫。这一无正史可考的故事，在晋西北却世代相传。但滩头时有尺余长，六寸宽窄的筒瓦出土，瓦头圆面上“万岁富贵”的汉隶字样仍清晰可辨。据考证，系北魏遗物。证明早在一千四百年前，岛上就有人居住了。

（五）黄河大同碛。位于临县西南 50 公里的碛口镇西南。河面宽约 200 米，激流段长约 500 米，落差 10 米的大同碛，水流湍急，浊浪滚滚，极为壮观。

（六）白马仙洞。位于离石县东南 25 公里的九凤山麓。为一石灰岩天然溶洞。洞口高 2 米余，宽约 1 米。洞内时宽时窄，曲折变化，沿途时见钟乳石，有一石柱高约 4 米。洞中白龙池石壁上有从北齐宣和辛丑年到清同治二年游客题词十则。洞内现有石碑四幢，其中元碑一方，记录了此洞的传奇历史。

（七）壶口瀑布。位于黄河北干流吉县境内，距县城 45 公里处，1987 年列为省级风景名胜区。其间有“壶口秋风、雷首雨穴、百丈龙槽、梳妆宝镜、孟门夜月、斗法龟牛、禹帽夕照、冰桥开会”八个自然景点和“旱地行船、明代码头、同治长城、寺庙声乐、四铭碑亭、龙门飞渡、桑沫飞渡、桥头集市”八个人文景点。

壶口瀑布，落差约 30 米，宽度最大时可达 1000 余米，最大瀑面 30000 平方米。滚滚洪流，到这里急速收敛，注入深潭，声似雷鸣，数公里外可闻；水波急溅，激起百丈水柱，形成腾腾雾气。

壶口瀑布不仅有“水中冒烟”奇景，更有“旱地行船”之说。上游船只到此，必须离水登陆，经人抬或车运畜拉绕过壶口方可入水续航。

由于四季气候和水量的差异，壶口景色时有变化。春天桃花盛开时，冰岸消融，水量适度平稳，主瀑、副瀑连成一片，河槽犹如龙腾虎跃，主瀑似烟波缭绕，十分壮观；夏季，水量减小，龙槽水位下降，落差加大，主瀑则大显神威，吼声更壮，水柱更高，临其境，脚下云烟，眼前浪花，耳旁水鸣，其趣无穷；秋天，雨季过后，诸多山溪聚汇，“壶口秋风”更使游客大饱眼福，难以忘怀；冬天，上游大块冰凌荟萃，相互交错，冲击突起，形成天然冰桥，俗称“壶口叉桥”。

壶口瀑布下游便是“三门”——孟门、石门、龙门。“三门”总航程 75 公里。

壶口以下首先是孟门，这里水面宽阔，水流平稳，上游船只经过“旱地行船”之后，将在这里入水续航。

孟门东侧是禹帽峰，相传大禹治水走到此地将帽子遗忘在这里，因此得名。

过了孟门便是万宝山，清代长城断断续续时隐时现。它北起壶口，下至龙虎滩，全长 20 多公里。据说是清兵抵御捻军而修筑的。顺流而下还可见到响水崖和清康熙十四年修建的飞架万丈深涧的“神仙桥”和老鹰崖、师家滩古渡口及同治年间修建的点将台。

船过万宝山，顺流南下 20 分钟就到河西宽仅 50 米的“石门”。过了石门就可看见西岸山腰间为逆水而上拉纤的船工辨明船道修建的“梢公庙”。

在石鼻村南，山头上建有烽火台一座。烽火台南是四座城堡，当地群众称其“翎子”。

河东岸悬崖峭壁上有“梯子崖”，登“梯子崖”转身南望，“龙门”便映入眼帘。两岸奇峰突兀，石壁峭立，奔腾咆哮的黄河汹涌而来，“黄河一线天”上来，两岸突兀屏风开。”

（八）芦芽山自然保护区。位于宁武、五寨、岢岚、静乐四县交界处，是山西最大的以保护褐马鸡等野生动植物资源为主的保护区之一。总面积 214.5 平方公里，核心区面积 55.7 平方公里，实验区面积 158.9 平方公里，境内森林面积 67.5 平方公里。

保护区内森林资源丰富，华北落叶松成林 32.7 平方公里，云杉林 13.7 平方公里，油松林 14.1 平方公里，其它林木 17 平方公里。整齐的林相，优美的森林环境以及种类繁多的野生动物更给保护区内增加了生机。这里已定名的鸟类有 15 目、36 科、148 种，新发现的鸟类有 34 种，兽类有 5 目、15 科、36 种。其中国家一类保护动物有褐马鸡、黑鹳等；二类保护动物有原麝、豹、鸳鸯、猓獾；三类保护动物有石貂、红隼、雀鹰等。

保护区内许多风景名胜以其特殊的风貌驰名三晋。芦芽山顶峰犬牙交错，乱石穿空，有如一丛丛拔地而起直刺苍穹的芦苇。山上的太子殿、云际寺、石佛寺等古迹犹存。与芦芽山毗邻的荷叶坪，状如荷叶，是古夷平面，上面生长着山地草甸植被，是山西西北部水草资源丰富的优良牧场。

二、文物古迹景点

晋西地区开发历史悠久，从旧石器时代开始，就有先民在这块土地上生息、繁衍，留下了众多的古文化遗迹。

（一）河曲文化。河曲县紧临黄河，地势险要，为历代边防重地。为防务之需，沿黄边口建设百里边墙连接长城，县境内高筑烽火台 20 余处。明正清十三年，武宗西巡时，曾来此督视防务。漫长的历史，留下了丰富的文物古迹。河曲境内，有古代大禹治水时铲削斧凿的痕迹。

（二）香岩寺。位于柳林城内，始建于唐，明永乐年间重修。寺院为一完整古建筑群。主要建筑有山门、钟楼、中殿、后殿、配殿、僧舍约 50 间，布局整齐。寺内各殿，保留明代琉璃瓦甚多，其中后代增补的酱釉和黑釉玻璃瓦件，为其它寺庙所罕见。

附近景点：柳林镇为明清时期建筑，古风犹存；柳林泉发源于寨东，由寨东至石西，约有 20 公里，水温 18℃，冬季在河面上可见蒸气缭绕，故名“四十里抖气河”；青龙城古城墙遗址，四周约 2 公里，砖面已被拆走，夯土层清晰可见；并有明代古迹玉虚宫，锄沟有唐代窑洞 10 多个，最深一孔有 10 米，保存完好。近处还有广济寺、弥陀庵等古迹。

（三）宝丰山。位于离石县城东 30 公里归化村。初建失考，明万历三十七年重建。宝丰山东西横跨 5 公里，南北 0.5 公里。按东西序列，建有应佛塔、玉皇通明殿、老爷庙、祖师殿、龙王庙、灵岁殿、万神庙等 11 座古建筑。

（四）安国寺。位于离石县城西 10 公里鸟俨山麓。创建于唐贞观十一年。寺院为一完整的古建筑群。主要建筑有佛殿、铜塔楼、于清端读书楼、于清

端公祠、于莱公祠、石碑场、观音楼、钟楼、鼓楼、关帝阁、十王殿、身佛阁、洞宾楼、莱公别墅、砖塔等 10 余座。

（五）天贞观。位于离石县城北云凤山麓。始建于元，后遭火毁，明景泰元年重建。天贞观分上下两院，主要建筑有黄篆宝坛玉皇楼（凌虚楼）、三清殿、三官殿、感应殿、读书楼、孙真人殿、关帝庙及主持住所 10 座，碑石数幢。

（六）金阁寺。位于离石县城西北 20 公里兰若山麓。初建于北魏，明清重修。此寺为离石最古老的寺院，现存观音殿、真武殿、老爷庙、华佗庙、龙王庙、三清殿、和尚庙、戏台等九处古建筑。

（七）千佛寺。位于离石县城西 40 公里青阳山脚。初建于明万历三十二年，清乾隆嘉庆年间重修。寺院原建筑规模较大。现存主要建筑有山门、千佛殿、东殿、西殿等。该寺凿山石而成，正殿壁画布满石洞三壁，面积约 120 平方米，迄今有 300 余年。洞深 20 米，宽 12 米，所塑彩色佛像千姿百态。

（八）金林寺。位于离石县城北 18 公里茂塌沟村。初建失考，重建于明成化八年。寺内建筑有正殿，殿内存明成化十二年铸铁佛三尊。

（九）大武木楼。位于方山县大武镇，于明景泰四年修建。整个建筑完全采用木结构。木楼总体重百余吨，底部由数根木柱支撑。

（十）北齐内长城和黄芦关遗址。位于离石县城东 53 公里黄芦岭下。现有内长城遗址 60 余米，东西走向，断续分布，露出地面仅 46 厘米，它是国内仅有的北齐长城遗址。黄芦关长约 80 余米，门洞高 3.75 米，宽 3.3 米，深 4.05 米。关东 7.5 公里处有双峰耸立的“向阳峡”。山顶至今存有练兵场、饮马池和石屋等古迹。

（十一）小西天。位于离石县城西 1 里许的凤凰山颠。原名千佛庵，创建于明崇祯七年（公元 1634 年），距今已有 340 多年的历史。

（十二）余太君墓。位于保德县城南 20 公里的折窝村。

（十三）林遮峪。位于保德县西南 35 公里。1971 年冬在此发掘了一座殷代墓葬，出土一批珍贵的青铜器，有铜鼎、铜甗、铜剑、铜斧，还有大量车马器。

三、革命遗址

晋西地区在抗日战争期间就是我国抗日根据地晋绥边区的重要组成部分，是屹立在黄河东岸，屏障陕甘宁边区，拱卫延安党中央的前卫阵地。对抗日战争和解放战争作出重大贡献。留下了众多伟人路居纪念馆和革命遗迹遗物，以及为革命立下功勋的古战场和革命遗址。

（一）蔡家崖。兴县城西，抗日战争和解放战争时期，晋绥边区领导机关和贺龙、李井泉等同志长期住在这里。1948 年 3 月 25 日毛泽东、周恩来、任弼时等同志来到这里，4 月 1 日毛泽东同志在此作了《在晋绥干部会议上的讲话》，2 日发表了《对晋绥日报编辑人员的谈话》。现有纪念馆。

（二）黑茶山。古名合查山，在兴县东南。1946 年 4 月 8 日，王若飞、秦邦宪、邓发、叶挺和老教育家黄齐生等人乘美机由重庆飞延安途中，因飞机迷失航向，于下午二时在兴县南 55 公里的黑茶山上失事遇难，称“四八烈士”。兴县城内修建了“晋绥革命烈士陵园”。

（三）毛主席东渡黄河登岸处

1.上退干。位于永和县西南，1936年毛泽东同志率领红军东征，在回师陕北途中，5月2日在此住了一天，设有纪念馆。

2.高家塔村。位于临县西南。毛泽东同志为了更好地指挥全国的解放战争，于1948年3月23日，亲率中央机关离开陕北，东渡黄河，由此登岸，进入晋绥解放区，实现了伟大的战略转移。

3.西卫村。石楼县内，1936年2月20日毛泽东同志率红十五军团，由辛关渡河来到石楼县。24日在西卫村召开了团以上干部会议，并做了重要讲话。

（四）党中央后委机关旧址。位于临县南25公里双塔村。1948年，由叶剑英主持工作的党中央后委机关，中央土改工作团就驻在这里。毛泽东、周恩来同志3月23日东渡黄河后，24日到达双塔村，25日在此做了有关搞好土改工作的指示。

（五）刘志丹将军殉难处。位于柳林县三交镇党家寨。1936年2月红军东渡黄河，4月15日晨红军军长刘志丹将军在党家寨前沿阵地鏖子疙瘩亲自指挥战斗时，被困守在大疙瘩的闫锡山军机枪击中，不幸壮烈牺牲。

四、旅游资源开发设想

晋西地区随着温饱问题的解决，经济面貌的改观，必然引起人们对文化生活、游憩娱乐的要求日趋强烈，在全国各地旅游事业的迅猛发展和相邻旅游区横向联系日益加强的情况下，晋西旅游资源的开发与建设已提上日程。这对推动第三产业的相应发展，振兴晋西经济，具有十分重要的现实意义。

（一）晋西旅游资源的优势与劣势

晋西地区开发历史悠久，据史志记载，凡出生或埋葬以及曾经活动于晋西地区的各族帝王将相和文化名人，为数甚多，他们或君临天下，或隐迹山村，或分疆割据，或高举义旗，或运筹帷幄，或爱民如子，在民间均有极深远的影响。他们的故里庐墓、遗迹传说都构成了很有特色的人文旅游资源，具有较强的吸引力。

抗日战争期间，作为我国抗日根据地晋绥边区的重要组成部分的吕梁山区是屹立在黄河东岸，屏障陕甘宁边区，拱卫延安党中央的前卫阵地。在八年抗战中，边区军民抗击了日寇惨无人性的反复扫荡，多次粉碎了敌顽窜犯陕甘宁边区的阴谋，从而留下了许多使日寇闻风丧胆的古战场；1936年初和1948年春，为推动全国抗日救亡运动和更好地指挥全国的解放战争，毛泽东同志两次率领红军和党中央东渡黄河转战晋西地区，留下了众多的路居纪念馆和革命遗迹遗物，这些为革命立下功勋的古战场和革命遗址，构成别开生面的旅游路线。

高原地貌和植被构成的自然景观，如壶口飞瀑、高峡急流、黄河险渡、天然溶洞、山顶湖泊、草甸风光以及森林茂密的珍禽自然保护区，都具有特色。

但长期以来，由于经济贫困，地形崎岖，交通闭塞，旅游资源的开发利用程度很低，致使一些很有价值的旅游点也鲜为人知。

（二）开发利用设想

1.保护好现存古迹，超前进行旅游景点的绿化、美化工作。

文物古迹是一种不可再生的历史文化遗存，是千金难买的精神文明和物

质文明财富，一旦受到破坏，就会造成不可挽回的损失。鉴于长期以来不断发生的数典忘祖、毁灭古迹的愚昧行为，一定要作为沉痛的教训永远记取，要教育群众爱护和保护晋西大地上的一切文物古迹，既不要以任何理由加以破坏，也不可单凭主观臆想而“更新改造”，因为后者同样是一种破坏文物的愚蠢行为。要积极抢救那些濒临危亡的重要古迹，使它们作为中华民族的物质精神财富而世代相传。

为适应旅游资源开发和旅游产业的发展，重要人文景观要超前着手绿化、美化工作。这是旅游景点建设的重要组成部分。树木的生长并形成一定规模需要一个较长的过程，需做好超前准备。

2. 配合经济开发，搞好旅游资源开发规划。

晋西地区在山西能源重化工基地建设中的重要地位。矿产资源的开发，人口的剧增，经济的振兴，交通条件的改善，将为旅游产业的发展提供有利的条件。近期的规划目标应该包括两个内容：一是重点建设若干有吸引力的风景区及旅游路线，迅速提高它们的知名度，扩大客源市场，延长游客滞留时间，使本区旅游业走上持续稳定发展的道路；二是北部能源区以河曲为中心，建设河、保、偏旅游区。与芦芽山自然保护区、管涔山风景区及兴县革命纪念地联成网络；中部离柳矿区以离石、柳林、中阳为中心，建设吕梁旅游区，与太原盆地各景点形成网络；南部以隰县、吉县、大宁为中心，建设以隰口瀑布、黄河“三门”游为重点的旅游区，与临汾、运城两大盆地众多景点形成网络。如果再加强与相邻省区旅游路线的沟通与协作，强化宣传，扩大知名度，招引客源，必将形成县有较大竞争力的晋西旅游区。

综合自动分类过程在黄土
丘陵地区的试验（摘要）
彭望琚
（北京师范大学地理系）

遥感影像的计算机自动识别过程始终是遥感图象处理中最基本的问题之一，从理论上讲已较为系统，但实践上受各种因素影响，有时分类结果不理想。地理信息系统的发展提出了将遥感数据应用于系统的任务，对数据快速更新、资源动态监测，遥感数据的计算机识别将更加重要。本实验讨论一种对 TM 卫星影像的自动识别过程：选择难度较大地区，将几种处理方法一起使用，建立综合处理流程。

选择的地区为三川河流域的局部地区，吕梁山脉西翼，包括柳林县的东北角和离石县西部的部分地区，面积约 228.56km^2 。采用方法主要为：用协方差矩阵法去掉程辐射率的影响；用比值方法去掉地形的影响及漫射光的作用；马尔可夫随机场邻域分类法。

本实验在 VAX11/750 计算机上进行，有 M75 图象处理机作辅助处理及显示结果。卫星数据采用北京卫星地面站接收的 1986 年 6 月 8 日 TM 波段 4, 3, 1 这三个与植被关系较密切的波段，其中尤以波段 4 与其它 2 个波段相关性小，波段 5 和波段 2 由于客观原因未能采用，实验区子图象像元点 253952 个。选用已作 1:5 万土地利用图的地区作检验区，分别量算和计算各类别的面积并作比较，分类结果相对精度可达 90.26%，整个处理过程均用 CPU 处理，因而图象大小不受限制，可作更大范围的分类计算。

实验过程提供了一些经验：去程辐射率的计算是必要的；马尔可夫邻域分类法使用对于大块类别区效果好，对小块类别区使用时必须掌握适度，对于类别地块分散几乎相当于 TM 影像地面分辨率的区域不宜使用这种邻域分类法；选择最优波段和最优比值进行。

地形描绘方法在黄土丘陵沟壑
地区的应用（摘要）
彭望琚
（北京师范大学地理系）

用数学分析的方法处理数字图象，对图象中的每个像元进行地形分类，称之为地形描述方法。这种方法是针对一般图像而言的，在分类中将类别仿照地形特征而冠以地理名词，如峰、盆、脊、坡等类别，还可进一步分出拐点、斜坡、凸坡、凹坡、鞍形坡面等子类。其分类结果对不同图像具有不同含义。可以推论，如果图像的灰度就是地形的高度面，那么这种分类将带有真实的地理意义。

这种方法是以图像密度函数的一阶和二阶方向导数为基础来估计的形特征的。为了找到一阶和二阶方向导数的值，必须对像元的离散密度值用某种函数拟合。如平、斜面函数、二维三次多项式、广义样条、离散余弦变换等方法。当然，由于实际图像和复杂性，拟合必须采用开窗全面逐点运算。在实际计算时，可利用三次多项式拟合或离散余弦变换结果，进一步求出梯度和导数，从而将各像元分类为山脊、沟谷、山峰和盆谷及其它，分别给每一像元一个标号。如设标号 1 为山脊，标号 2 为沟谷，标号 3 为鞍形山……。这样，实际的数字高度图像即被分类为标号图像。当显示标号 1 时可以得到区域的流域网，当显示标号 2 时可以得到河流、小溪及沟网等，从而使结果图像成为数字地形模型的一部分。

为了进一步研究对比这种地形分类理论，选取黄土区三川河流域局部地区为试验区域。本区域地形复杂、沟壑纵横，描述区域沟网及小流域具有一定典型意义。为便于分析，只取出类别中的沟类，采用对比方法来描述河流沟网，通过计算着重比较：（1）不同拟合方法对于结果的影响以探讨拟合方法与地形的关系；（2）拟合时窗口选择的影响，即以像元为中心所选小分面的大小影响；（3）数字高程模型形成图象时，分辨率（即像元大小）对结果精度的影响；（4）地形对结果的影响。通过分析达到选择最佳条件和探讨实用的可能性的目的。

经过多种比较计算，利用数字高程模型 DEM 描绘黄土丘陵地区河流沟网分布，用离散余弦变换进行小分面拟合，再利用导数分析作地形分类，是个可应用的方法。在计算时，要注意根据地形起伏条件，选择局部平均预处理，选择适当小的拟合分面和可能在条件下提高信息的分辨率。对地形分类的结果进一步作人机交互式的修正工作，可作为地学工作者的分析资料，也可作为 DEM 的附加叠合图件，从而成为地理信息系统的一部分——数字地形模型派生数据源。因此这个工作是有应用意义的。

