

# 低湿地与土壤湿度的卫星遥感监测 与制图\*

戴 昌 达

(中国科学院遥感卫星地面站, 100086)

T. Vogt

(法国科研中心环境遥感制图研究室)

## 摘 要

本文介绍应用陆地卫星 TM 图象数据监测法国莱茵河谷地土壤湿度变化, 绘制 1:50,000 低湿地分布图的技术方法。对夏、秋两个时相的 TM 图象进行 K-L 变换等应用处理, 获得的第 3 主分量集中了土壤湿度差异的信息。把两个时相的第 3 主分量精确配准后, 以 Hyper-boxes 分类器进行湿度分类, 分出水体、恒湿地、夏秋季潮湿地、冬春季潮湿地、恒干地等 5 个湿度类别。经实地检验准确可信, 表明此方法适合于土壤湿度变化监测与低湿地调查制图。

**关键词** 监测, 土壤湿度, 卫星遥感

## 一、问题的提出

法国阿尔萨斯平原系莱茵河冲积平原。19 世纪前, 莱茵河及其支流经常季节性泛滥。那时的传统土地利用方式是: 平原高地种植小麦等农作物; 不适于耕作的砂砾质土生长森林; 低湿地为放牧场或刈草地。人类的农、牧、渔猎活动与自然环境之间的生态平衡延续多个世纪, 形成由农田、冲积平原森林, 及其多种种属的草地、沼泽、灌丛等组合而成的特殊景观。19 世纪末, 对莱茵河进行整治, 搞河网化消除季节性泛滥。莱茵—隆纳运河的挖通, 引走了西部伏奇山脉下来的地表水, 使之不进入东部平原。然而河网化工程并未改变上述土地利用格局。直至近 30 年来为了提高谷物产量, 大修田间灌排渠系, 开垦草地转种玉米, 加之工业化使污染不断加重, 候鸟栖息地几乎消失。低湿地自然肥力低下, 开垦后土壤侵蚀有所发展, 故玉米种植成本不断增高, 而农畜产品大量过剩, 销售困难。在这种情况下, 阿尔萨斯政府提出建议, 保护那些土壤肥力低而生态意义含量高的低湿地, 退耕退草, 恢复自然植被。可是规划部门没有现存图件可供使用。在这种平坦地区(高差不超过 5m), 用常规方法进行详查制图, 不仅需化大量经费、时间和人力, 而且还难于保证质量。因为当青草地几乎完全被灌溉玉米地所取代时, 去实地调查也很不容易识

\* 本文根据笔者应邀赴法学术交流与合作研究期间获得的资料整理。对法国科研中心与巴士德大学遥感环境制图研究室 T. Vogt 博士和法国环境部 M. Lenco 先生提供大量数据资料与真诚合作表示衷心感谢。

别低湿地,更难准确勾绘出它们的分布范围。而对此问题,法国环境部和国立巴士德大学决定联合开展卫星遥感应用试验,要求回答:在地表特征被作物掩盖的情况下,能否使用卫星遥感技术监测土壤湿度变化,绘制出 1:50,000 低湿地分布图。

## 二、试区基本情况

试验研究区选在阿尔萨斯平原南段。东西宽约 5—10 km,东至莱茵河,西至莱茵—罗纳运河;南北长约 50 km,北自斯托拉斯堡市南郊,南至新佩萨区。几乎全部已耕垦,仅砂砾质古河滩地仍生长着杨、柳等冲积平原森林。

### (一) 试区地质、地貌、土壤条件

阿尔萨斯冲积平原处于伏奇山脉和黑森林之间,系南莱茵河河谷平原的一部分。底部为早第三纪沉积层,上覆 100—200m 厚的更新冲积物。由于上更新世地层发生倾斜,宽阔的莱茵河乌姆阶地由南向北逐渐降低,北部为全新世冲积层所覆盖。地形稍高处分布着地带性土壤——棕壤;低洼处为水成土及发育程度很差的近代冲积土。质地一般为粉砂壤土,局部地段质地较重,为粉砂质粘土,后两者构成低湿地总称。

### (二) 水文概况

莱茵河平原实施河网化后,河系水位状况是控制地区湿度差异的主导因子。莱茵河自南向北流,试区南部宽广而深厚的更新世沉积层。地下水自东至西平均为 6—8 m 至 12—14 m。北部由于地层下沉,地下水接近土表。但不同季节随莱茵河水位状况而发生明显变化。夏季(5—7 月)因冰雪融化,河流水量最大,地下水位也最高(只是 6—8 月出现期稍许滞后)。秋季水位缓慢下降,冬季水量最小,地下水位最低期出现在冬末春初。

在莱茵河河谷平原南部,河水对地下水的影响比北部小,地下水位相对较稳定,主要随地形起伏而变,局部洼地地下水位很高达 1 m。地形高程的差异,导致土壤湿度主要受制于地下水位的高低。那些土壤经常处于潮湿状况,虽然土地利用发生了重大改变,而其特有的性状仍基本保持不变的地段,即为低湿地的分布区。

## 三、试验研究方法

### (一) 卫星图象的选择

对地球表面进行遥感观测的传感器中,陆地卫星专题制图仪 TM,同时具有良好的空间分辨力与波谱分辨力,并有较宽的波谱域,两个中红外波段,即 TM5、7,特别适合于土壤湿度探测制图<sup>[1]</sup>,土壤水分含量越高,红外吸收也越强,这两个波段图象的亮度值就越低,所以 TM 图象最适合于本试验的低湿地调查制图。

如前所述,低湿地都分布在地下水位经常接近地表的地段。有些非低湿地在夏季地下水位最高时也很潮湿。但夏季过后,地表湿度会随着地下水位的降低而趋于正常。故可以指望通过地下水位最高与最低时的 TM 图象分析比较来确定那些在两个时相的图象上都很潮湿的低湿地分布范围。

试区常有云雾,严重限制了高质量卫星图象的获得。地面站接收处理出的合格图象

仅有 1984 年 7 月 30 日, 1984 年 10 月 18 日, 1989 年 3 月 6 日三景。从理论上讲, 7 月是个好时期, 但适逢多暴雨和农田的灌溉高峰期。目前我们尚难识辨临时降雨, 人工灌溉和高地下水水位导致的地表高湿度的区别, 故此景不能用。

10 月份地下水水位下降不太多, 仍处于较高水位期, 1984 年 10 月 18 日之前的气象记录是: 9 月 11 日—10 月 9 日连续阴雨, 降水量共 102mm, 10 月 10 日—10 月 18 日天气晴朗, 日平均最高温度 16.7℃, 蒸发消耗土层上部水分使一般地段地下水水位有所下降, 特别是排水性能良好的土壤上部趋于干燥, 这时那些地下水水位长期较高, 排水不良的低湿地就会显现出来。3 月份莱茵河水位最低。1989 年 3 月 6 日天气相当干燥, 1988 年 12 月降水 75 mm, 1989 年 2 月 18 日前共降水 42mm, 以后直至 3 月初都晴朗无雨。冬季气温低, 蒸发量下降。在这种情况下, 上部土壤湿度的差异主要取决于保存在粉砂粘质土壤中水分含量和地下水水位的高低。当地台站实测的不同层次土壤湿度数据也说明, 在该成象时期, 上部土层的含水量在地下水水位低处都不高, 仅局部粉砂及粘土剖面中因残留降水而致使表土具有较高湿度。故 1984 年 10 月 18 日和 1989 年 3 月 6 日这两条 TM 图象分别代表高、低地下水水位时的图象用于本试验研究。

## (二) 基本原理

在自然状态下, 植物群落与环境条件相适应时, 植被密度与叶绿素浓度能指示土壤湿度, 作为识别低湿地的主要标志, 而在耕垦地区, 此问题就复杂化了。如阿尔萨斯平原, 种植玉米导致灌溉的发展。这样, 植被盖度、叶绿素浓度和自然湿度分布之间就没有必然的相关性。大量裸土的存在更是个难点。然而日趋完善的卫星遥感技术, 把常规的实验室与野外工作转化为室内分析影响光谱反射率的各个要素, 并可把它们分离开来进行研究。而且常规方法只能搞些样点, 卫星遥感则可同步观测到很大的范围, 可进行严格的逐点比较, 又可进行宏观概括与综合分析(特别当遥感波段多时)。

业已查明, TM 的两个中红外波段对水分很敏感, 是探索地面湿度状况的重要波段。但假如仅利用 TM5、7 波段来研究土壤湿度, 勾绘低湿度范围, 那将是个严重的失误。因为它们仅提供卫星遥感所获得的有关地面湿度的部分信息<sup>[2]</sup>。湿度是一个影响整个波谱域特征的复杂要素。总的说, 随着土壤含水量的增高, 将导致可见光和红外反射率的普遍降低。据此我们认为湿地遥感的最佳途径是对 TM 图象进行基于多变量的因子分析法, 如主成份分析法(即 K-L 变换), 而舍弃简单的算术处理, 如波段比值等。

众所周知, 主成份分析是一种压缩数据, 减少信息冗余性的投影变换, 已广泛用于多光谱卫星图象的应用处理中。Jaju(1988)<sup>[3]</sup>还阐明: 通过主成份分析可以有效地消除数据差错, 进行数据订正, 特别适用于多时相图象数据的应用处理。主成份分析把整个多光谱数据信息转换成彼此独立, 互不相关, 分别反映各变量信息的主分量。对每个主分量结构的分析可以获得各主分量物理含义的某些解释。各主分量结构在不同地区不同季节会有所变化。但一般而言, 第一主分量反映了各波段辐射水准的总和, 被认为是亮度分量; 第二主分量在一般地区表征了植被盖度的高低和植物活性的强弱, 被看作为绿度分量; 第三主分量则被视为土壤湿度状况的指标, 可称作湿度分量, 它不依赖于植被及表土颜色、质地等特征, 而与土壤湿度高低呈负相关。即地表湿度越高, 此值越低, 从而提供了探测低湿地的依据。

### (三) 图象处理

图象处理工作在法国科研中心计算中心的 IBM3090 机上使用 CARTEL 软件<sup>[4]</sup>已完成。由于试区系高差不大的平原,地面站提供的 TM 图象与地形图能很好地套合,故不需进行几何纠正。

考虑到 3 月和 10 月的地面状况有很大区别,10 月份在多雨的夏季之后,草类及部分作物仍处于生长期,森林未掉叶,但已有大量收割和耕翻过的裸地;3 月份在干燥的冬季之后,只有稳定的草地仍处于活性状态,森林叶片尚未长出,裸露土壤所占比重更高。为了便于分析和排除干扰信息,确保通过 K-L 变换等处理能够获得可信的低湿地资料,除对两个时相的 TM 图象进行 K-L 变换外,还做了穗帽变换(也称 K-T 变换)<sup>[5]</sup>及归一化植被指数计算等处理。K-L 变换获得的两个时相 TM 图象的第 3 主分量数据,以  $3 \times 3$  模板进行平滑处理,并彼此几何配准,再输出灰度图象进行数值比较分析。由于 K-L 变换得的数值处于  $-1 \sim +1$  之间,需经算术乘、加等处理,调制成 0—255 与灰度等级对应,才便于回放图象和进行对比分析。

### (四) 地面湿度分级分类

根据两个时相 TM 图象 K-L 变换并调制成 0—255 的第 3 主分量值,进行地面湿度差异分析比较容易实现。因 128 相当于第 3 主分量轴的 0,  $>128$  就意味着地面湿度低和干燥(干燥度是随数值增高而增高);  $<128$  则意味着地面湿度高而潮湿,湿度是随着数值的降低而增高。

低湿地是指常年受高地下水位影响,地表经常处于潮湿状态的地段。要准确识别低湿地,必须确定合适的阈值来区分开放水面和不同湿度状态的土地。确定区分开放水面与陆地的阈值不是个难题,因为水体很容易识别定位。根据对当地实况的了解,或参考某些资料,可以很快在第 3 主分量图象上勾绘出主要的河道、干渠、湖泊、水坑等;然后根据这些水体的第 3 主分量值,并参考它的直方图,就不难找出区分水面与陆地的阈值为 30,凡 30 以下皆为水体。确定区分不同湿度的土地的阈值则较费事,需根据对当地实况的了解,综合分析各种资料,包括两个时相 TM 彩色合成增强图象, K-L、K-T 变换得到的各主分量图象及归一化植被指数图象等。初步确定分级阈值后,一般还需进行试分类,并从不同角度分析检验试分类结果的可靠性,如发现问题,需调整阈值,再行分类。就这样经几次调整,可得到较满意的区分潮湿(相当于饱和含水量)、一般(相当于田间持水量)、干燥(低于田间持水量)3 级的阈值(见表 1)。

确定上述阈值后,就可进行正式的分级分类。对两个时相的第 3 主分量分别单独进行分级,得到分别反映两个时期的地面湿度差异分布图。把经过配准的两个时相的第 3 主分量放在一起进行分类,就可得到最后的成果图。图上除反映那些稳定的水体与干燥度,还详细反映两个时相都很潮湿的地段的分布与数量,这就是本试验研究所要探测的低湿地。此外,成果图上还分出 3 月份干燥,10 月份潮湿;或反过来,3 月份潮湿,10 月份干燥的地段。前者表明仅夏季地下水位高,地表潮湿,冬末地下水位降至最低时,地表就趋干燥,大多系邻近莱茵河及其支流或砂砾质古河床生长耐湿性平原森林的条带状地。这些林木得益于夏季丰富的水分供应,生长良好;后者在地下水位较高的 10 月比较干燥,说明该处表土基本上脱离地下水影响,而 3 月较潮湿,系残留在土体中的冬季降水所致,表

明土壤渗透性差,水份未渗漏掉,是属质地较重的地带性土壤类型。整个试验研究过程可以如下框图(图1)表示。

表 1 K-L 变换第 3 主分量湿度分级阈值表

Table 1 The threshold of the PC3 values from K-L transformation for different wetness

第三主分量值 PC3 Value	0—30	31—90	91—125	126—255
湿度级别 Wetness Class	水体	潮湿	一般	干燥

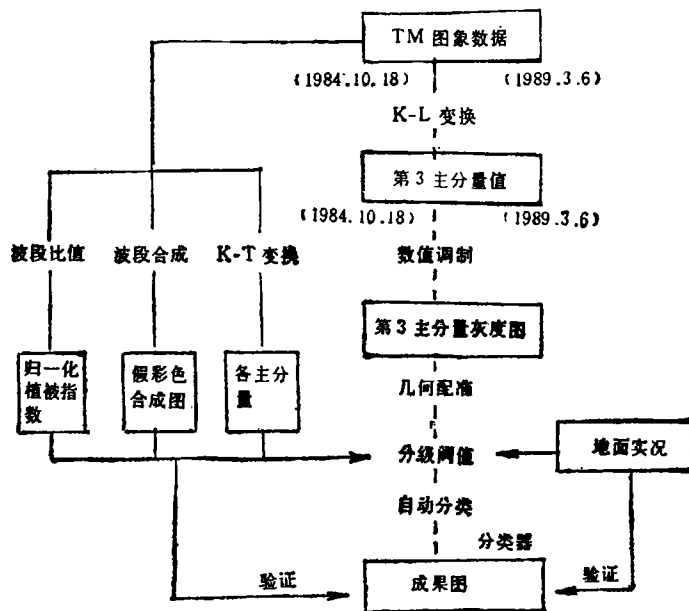


图 1 试验研究工作流程示意图

Fig. 1 The diagram of experimental flowchart

## 四、结 语

获得成果图后,与已有的专业图件如地貌图、水文地质图、森林分布图等做对比分析,没有发现相悖之处。去野外穿越几个断面进行实地验证,也都吻合。表明本试验发展起来的这套卫星图象应用处理方法,能够在地表特征遭受耕垦破坏的情况下,根据卫星遥感资料准确可靠地识别低湿地,比常规方法快、省、准地绘出 1:50000 低湿地分布图供有关部门使用,并可以对土壤墒情的年内变化与年际变化进行监测而无需布置大量的田间定点测量。

我国耕地和可垦后备土地资源很有限。中低产田和难开垦的土地中,大部分与水分不协调有关,不是过缺就是过湿。土壤水分状况成为农业发展的重要决定因素。在法国

阿尔萨斯平原为保护生态环境进行试验研究发展起来的这套技术方法,可以引用到我国许多地区,特别是北方旱作区土壤墒情监测中去。

### 参 考 文 献

1. 戴昌达等, 1989: TM 图象的光谱信息特征与最佳波段组合。环境遥感, 第4卷第4期, 282—292页。
2. Rimbart, S. and Vogt, 1991; Données satellitaires et paysages factoriels. in: *Spatial analysis and population* (J. Libbey-Eurotext, Paris): 321—332.
3. Jaju, L. 1988: Development of principal component analysis applied to multitemporal landsat TM data Intern. Journal of Remote Sensing 9: 1895—1907.
4. Hirsch, G. and Schneider, C. 1983: CARTEL Manuel d'utilisation du logiciel de traitement d'images et de cartographie de données de teledetection. Strasburg, LCT/UCP.
5. Crist, E. and Cicone, R. 1984: Application of the tasseled cap concept to simulated TM data. Photogramm. Engineering & Remote sensing, 50: 343—352.

## MONITORING AND MAPPING OF WETLANDS AND SOIL MOISTURE BY SATELLITE REMOTE SENSING

Dai Changda

(Remote Sensing satellite Ground Station Chinese Academy of Sciences, 100086)

T. Vogt

(Laboratory for Cartography, Environmen and Remote Sensing, CNRS, France)

### Summary

A method of soil moisture and wetland monitoring and mapping at 1:50,000 scale using the satellite remote sensing data is described. Two TM images acquired on Oct. 18, 1984 and Mar. 6, 1989 respectively were processed. The 3<sup>d</sup> principal components (PC3) resulted from K-L transformation of TM images of two dates were registered one to the other. Then a classification of land surface wetness was carried out by a hyperboxes classifier and five types of wetness were obtained: water body the land always wet, the land wet only in summer, the land wet only in winter, the land always dry. The results were checked against fields with a very good agreement. It meant that this method was suitable for mapping and monitoring of wetlands and soil moisture changes as well.

**Key words** Monitoring, Soil moisture, Satellite remote sensing