

# 黄河三角洲土壤水分遥感监测研究\*

郭 娇 石建省 石迎春 叶 浩 王 伟

(中国地质科学院水文地质环境地质研究所,石家庄 050803)

**摘 要** 黄河三角洲地区对我国经济、农业等方面有着至关重要的意义。以利用卫星遥感数据评价黄河三角洲地区土壤水分的分布作为主要研究目的,使用全波段 Landsat-5 TM 图像,用遥感—数学—模型融合的研究方法,在实地考察土壤水分和其他辅助资料的基础上,用分解像元法排除植被干扰来提取土壤水分光谱信息,采用土壤水分光谱法并借助回归分析建立土壤水分遥感的 TM 数据模型。利用土壤水分遥感的 TM 数据模型对研究区进行了实地验证。结果表明,研究结果符合实际,利用土壤水分遥感的 TM 数据模型监测并评价土壤水分分布是可行的。

**关键词** 黄河三角洲;遥感;土壤水分;模型

**中图分类号** TP79 **文献标识码** A

黄河三角洲对我国经济、农业等方面有着至关重要的意义,在该地区进行遥感的应用研究是非常必要的。土壤水是作物生长和发育的直接水分来源,在农作物的生长过程中起着关键作用<sup>[1,2]</sup>。为了提高土壤水的利用率,减少无效蒸发,节约农业用水,就需要对土壤水分进行监测。常规的土钻取土称重法或中子仪法,不仅费时、费力,而且测点少,代表性差,无法实现大面积土壤水分的实时动态监测。遥感技术的发展使大面积土壤水分实时或准实时动态监测成为可能。

因此,在该区域进行客观、动态、实时的遥感土壤水分监测,对于及时了解旱情程度和分布,采取积极有效的防、抗措施,科学指导农业生产具有重要意义<sup>[3]</sup>。

国外利用遥感方法进行土壤水分监测的可行性研究始于 20 世纪 60 年代末,进入 70 年代后,逐步开展了土壤水分遥感监测应用研究;80 年代后,遥感监测土壤水分的研究工作得到了迅速而全面的发展;1990 年以来,国外在土壤水分遥感监测方面又有了新的发展,此外,随着 GIS 和 RS 一体化技术的发展,用 GIS 支持干旱遥感监测受到重视。

国内开展土壤水分遥感监测试验研究较国外大约晚 10 年以上,大体上从 80 年代中期的“七五”期间才开始起步。国内早期的研究工作也与国外刚起步时相似,即先进行土壤参数的遥感测定研

究,所用方法也多为微波遥感,近、远红外遥感及热惯量法等。90 年代后,我国在土壤水分遥感监测理论方面的研究得到了深入发展,土壤含水量遥感模型及其应用研究也有了提高,利用 NOAA/AVHRR 资料进行土壤水分或干旱的宏观监测研究工作也有了很大进展,与国外同类研究相比,大大缩小了差距。目前,用 GIS 支持遥感土壤水分解译已普遍展开,并取得了大量成果,但将 GIS 和 RS 作为一个有机整体,真正实现二者一体化,并用来进行土壤水分或干旱遥感监测的成熟成果还不多见<sup>[4~6]</sup>。

## 1 研究方法

土壤水分遥感是一项难度较大的研究课题。国内外关于土壤水分遥感的方法可归纳为土壤水分光谱法、热惯量法、气象法、植物水分生理法。本研究采用土壤水分光谱法并借助回归分析建立土壤水分遥感的 TM 数据模型。对于植被影响土壤水分遥感的大小,引入了“光学植被盖度”估算模型<sup>[7]</sup>,用分解像元法排除植被干扰来提取土壤水分光谱信息,从 TM<sub>2</sub>、3、4 波段数据入手建立土壤水分遥感模型,用理论和实践相结合的方法,建立土壤水分遥感估测模型。这样更便于大面积土壤水分遥感估测。

\*国家科技部公益项目(编号:2005DB3J068)资助

作者简介:郭 娇(1981~),女,山西省高平市人,硕士,研究方向为环境地质。E-mail:guojiao1220@sina.com

收稿日期:2006-12-18;收到修改稿日期:2007-05-14

## 2 研究区概况及实验样区的选取

黄河三角洲一般是指近代黄河三角洲(包括现代三角洲),其范围是以山东省垦利县宁海为顶点,北起套尔河口,南至淄脉沟口的扇形淤积地区<sup>[8]</sup>,地处 36°55' ~ 38°16' N 和 117°31' ~ 119°18' E 之间,面积约 6 010 km<sup>2</sup>。研究区及采样点位置如图 1 所示。



图 1 研究区及采样点位置图

Fig. 1 Location of samples and the study area

研究使用的遥感数据从中国陆地卫星地面接收站购得的 LANDSAT-5 卫星获取的 TM 图像。轨道号为 121/034,获取时间为 2004 年 10 月 28 日。该图像做过辐射校正与系统几何校正,图像云层覆盖面积较少,能满足研究要求。

由于遥感数据量特别大(通常一景 TM 图像 7 个波段的数据量高达 264 Mb),如果以一景数据作为基本单位来进行处理,则会受到计算机计算速度的限制而引起待机时间过长。此外,所采用的数据为多时相数据,同一地物在不同时相的光谱特征也不一样。在具体过程中,往往选取实验样区进行研究<sup>[9,10]</sup>。考虑到植被类型分布典型性和野外作业的可行性,将实验样区位置选取在地理坐标为 37°47' 27.00" ~ 38°06' 09.55" N 和 118°39' 41.83" ~ 119°02' 15.05" E 之间。切割试验区遥感影像(453 波段合成)如图 2 所示。

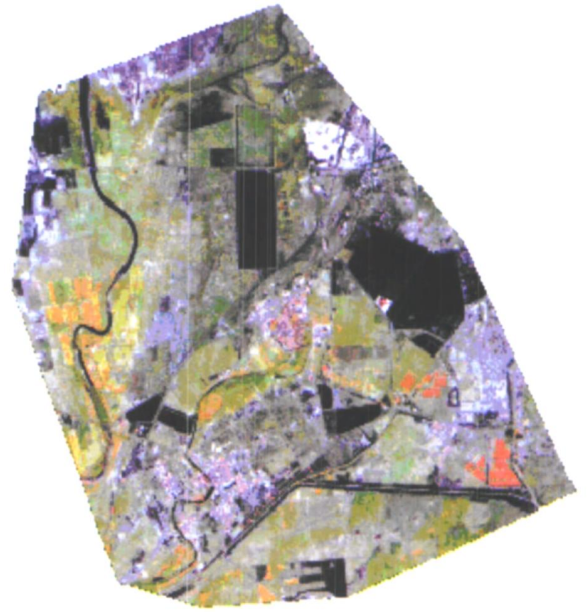


图 2 切割试验区影像图

Fig. 2 Abstracted images of the study area

## 3 土壤水分遥感的 TM 数据模型

### 3.1 光学植被盖度的 TM 数据模型

研究区植被覆盖率较高, TM 图像的反射率由植被和土壤两部分反射率组成,准确、高精度地估测土壤水分,必须以单纯土壤反射率作为根据,排除植被反射率值<sup>[11,12]</sup>。为此,本文考虑到排除植被对土壤水分遥感干扰,引入了“光学植被盖度”的估算模型。

对于陆地卫星 TM 数据一个像元的光学植被盖度可由 2、3、4 波段的光谱亮度来估算,其公式如下:

$$C_o = 0.00579B_4 - 0.003308B_2 - 0.002482B_3 - 0.08905 \quad (1)$$

该模型<sup>[13]</sup>不但对排除植被干扰有用,而且识别水体也十分有用。当  $C_o$  为负值时,该地物一般为水体。

### 3.2 排除植被干扰,恢复裸土壤光谱亮度的 TM 数据模型

在包含土壤和植被两种覆盖信息的一个像元中,其光谱亮度是两种地物的辐射亮度的复合<sup>[14]</sup>。以 4 波段为例,其土壤的光谱<sup>[13]</sup>:

$$B_{4\pm} = \frac{B_4 - C_o B_{4植}}{1 - C_o} \quad (2)$$

式中,  $C_o$  为像元的光学植被盖度;  $B_4$  为 4 波段的光谱亮度;  $B_{4植}$  为理想的全为植被光学信息时的 4 波

段的光谱亮度;  $B_{4\pm}$  为裸土壤的 4 波段的光谱亮度。

利用式(1)、式(2), 可以将带有植被光谱信息的

$$B_{4\pm} = \frac{0.6996B_2 + 0.5249B_3 - 0.2246B_4 + 18.83}{1.089 - 0.00579B_4 + 0.003308B_2 + 0.002482B_3} \quad (3)$$

### 3.3 将裸土壤光谱亮度转换成反射率的模型

对于陆地卫星 4 波段, 根据土壤反射率与辐射亮度的关系, 建立了下列模型(相关系数为 0.9692):

$$R_{4\pm} = \frac{0.6968B_2 + 0.5228B_3 - 0.2237B_4 + 18.76}{1.089 - 0.00579B_4 + 0.003308B_2 + 0.002482B_3} - 42.05 \quad (5)$$

上述公式可以用来由某像元的 2、3、4 波段辐射亮度数据估测该象元的裸土壤在 TM4 波段的平均光谱反射率。

### 3.4 土壤水分的 TM 数据模型

用不同土壤类型进行非线性回归分析, 旨在建立反射率和含水量的关系<sup>[16]</sup>。各种类型土壤回归分析结果, 常数有些差异。对各类土壤回归分析的

$$P_4 = 91.1 - 42.91 \lg \left( \frac{0.6968B_2 + 0.5228B_3 - 0.2237B_4 + 20.26}{1.089 - 0.00579B_4 + 0.003308B_2 + 0.002482B_3} - 18.0 \right) \quad (7)$$

式(7)可由 TM2、3、4 波段亮度数据快速估测研究区土壤水分状况, 测量深度 10 cm。

## 4 计算结果

Landsat-5 图像分辨率很高, 可以找到地面某一个点在图像上的位置, 并计算其土壤水分。表 1 是 15 个样点(采样点位置如图 1)实测土壤水分及该点理论土壤水分的监测值。

## 5 遥感图像的处理及土壤水分分布专题图的生成

所使用的遥感数据为 2004 年 10 月 28 日记录的 Landsat-5 TM 7 个波段的图像, 图幅范围 3 169 × 3 165 像元。由于实际研究的需要, 在对图像作了辐射校正和几何精校正之后, 从中确定并截取地理坐标为 37°47'27.00" ~ 38°06'09.55" N 和 118°39'41.83" ~ 119°02'15.05" E 之间的实验区, 然后进行了计算分类。

在图像上选择分布均匀的 61 个点, 根据每个像元 2、3、4 波段的光谱亮度值, 利用土壤水分 TM 数据模型计算其土壤水分, 然后按土壤水分的高低对图像进行分类, 制作土壤水分的分布图(图 3)。

土壤含水量图中的色调: 蓝色为水域, 黄色表示土壤含水量 15% ~ 20%, 橘黄色表示土壤含水量

复合像元的光谱亮度换算成裸土壤的象元光谱亮度<sup>[15]</sup>。合并上述两式, 得:

$$R_{4\pm} = 0.9960B_{4\pm} - 42.05 \quad (4)$$

式中,  $R_{4\pm}$  为土壤在 4 波段平均反射率。

由式(3)、式(4)可得:

相关系数在 0.92 ~ 0.98。为了实施快速宏观遥感监测土壤水分状况, 取该区几种类型土壤水分遥感模式的平均值:

$$P_4 = 91.70 - 42.91 \lg R_{4\pm} \quad (6)$$

$P_4$  表示用 TM4 波段求出的土壤含水百分率。

将式(5)代入式(6), 并用已知数据进行调试, 修正截距变为:

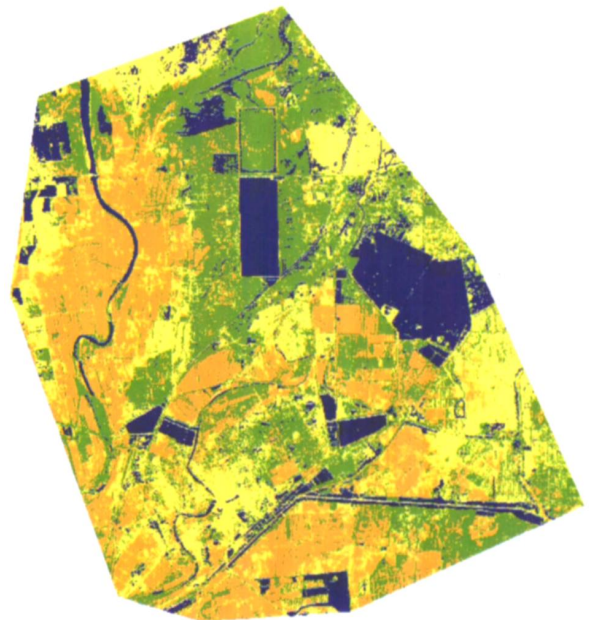


图 3 研究区土壤含水量分布图

Fig.3 Soil moisture distribution map of the study area

20% ~ 25%, 绿色表示土壤含水量 25% ~ 30%。根据 2004 年 11 月实测的 18 个土壤含水量资料, 其中 15 个点的土壤含水量数据正好落在相应的土壤含水量区域里, 基本吻合。实际上, 土壤含水量遥感信息模型是不完全依赖地面实测资料的, 其计算值以每一个像元为单位, 对于 Landsat TM 来说, 一个像元的大小为 900 m<sup>2</sup>。而实测的土壤含水量只能代表几十个 cm<sup>2</sup>, 应当在大约 900 m<sup>2</sup> 范围内实测几十个土

表 1 利用土壤水分 TM 数据模型求算的土壤水分

Table 1 Computed soil moisture using the TM data model

样号 Sample code	经纬度 Coordinates	2004 年 11 月实测 土壤水分 Measured soil moisture in Nov. of 2004(%)	2004 年 10 月图像 亮度值 Lightness value of image in Oct. of 2004			2004 年 10 月图像 土壤水分监测值 Monitored soil moisture in Oct. of 2004(%)	相对 误差 Relative error(%)
			B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>		
Y01	37°54' 50.8" N, 118°40' 47.3" E	18.2	36	55	47	21.8	19.6
Y02	37°57' 45.1" N, 118°39' 41.7" E	25.1	34	50	45	23.1	- 7.9
Y03	38°00' 23.5" N, 118°40' 09.9" E	29.4	38	54	37	22.0	- 25.2
Y04	38°03' 30.1" N, 118°40' 54.5" E	25.2	37	53	42	22.1	- 12.2
Y05	38°01' 20.3" N, 118°45' 01.9" E	17.9	32	45	42	19.0	- 14.7
Y07	38°01' 07.6" N, 118°51' 07.6" E	25.0	32	48	39	24.2	- 3.0
Y08	38°06' 07.1" N, 118°50' 39.3" E	17.8	32	45	38	23.9	- 0.3
Y11	37°55' 36.0" N, 118°57' 15.4" E	21.2	36	51	38	22.8	7.7
Y12	37°58' 33.5" N, 118°57' 57.8" E	18.2	38	55	40	21.7	19.2
Y13	37°50' 41.6" N, 119°02' 14.9" E	22.6	33	46	37	24.4	8.2
Y14	37°52' 35.9" N, 118°56' 05.0" E	19.1	36	54	45	22.0	15.3
Y15	37°47' 35.0" N, 118°52' 56.5" E	25.2	38	59	48	20.7	- 17.8
Y16	37°47' 24.6" N, 118°47' 08.2" E	24.5	33	47	45	23.9	- 2.3
Y17	37°48' 09.7" N, 118°43' 43.2" E	18.6	35	51	43	22.8	22.7
Y18	37°52' 38.5" N, 118°47' 32.7" E	27.1	33	46	48	24.0	- 11.6

壤含水量数据求平均,才能与遥感信息模型计算的土壤含水量相比较<sup>[17,18]</sup>。

## 6 小 结

本文通过引入光学植被盖度的概念,有效地排除植被对反射率的影响,将像元反射率转换成纯土壤反射率,这使土壤水分遥感模型的建立具备了前提条件<sup>[19]</sup>;采用遥感—数学—模型学融合的研究方法,提出了有效监测土壤水分的 Landsat-5 TM 遥感图像模型。从模型监测地土壤水分分布情况看,研究结果符合实际,在土壤水分监测深度不大于 20 cm 的自然带,利用土壤水分遥感 TM 数据模型监测土壤水分分布是可行的。

土壤水分遥感监测作为世界性的难题之一,除了理论上的一些局限外,在方法和应用上也存在一些有待深入的地方,有些问题是用单一遥感手段很难解决的<sup>[20]</sup>。随着研究的不断深入,特别是随着“3S”一体化技术的日益成熟,土壤水分遥感监测问题最终将会得到解决。

## 参 考 文 献

- [1] 张兴义,王其存,隋跃宇,等. 黑土坡耕地土壤湿度时空演变及其与大豆产量空间相关性分析. 土壤,2006,38(4):410~416. Zhang X Y, Wang Q C, Sui Y Y, et al. Spatial-temporal variation of soil moisture and its spatial correlations with soybean yield in black soil sloping farmland (In Chinese). Soils, 2006, 38(4):410~416
- [2] Gao Z Q, Yin J, Miao G Y, et al. Effects of tillage and mulch methods on soil moisture in wheat fields of Loess Plateau, China. Pedosphere, 1999, 9(2):161~168
- [3] 张红梅,沙晋明. 遥感监测土壤湿度的方法综述. 中国农学通报,2005,21(2):307~311. Zhang H M, Sha J M. The studying of the method of remote sensing monitoring the soil moisture (In Chinese). Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(2):307~311
- [4] 邓辉,周清波. 土壤水分遥感监测方法进展. 中国农业资源与区划,2004,25(3):46~49. Deng H, Zhou Q B. The progress in remote sensing method for monitoring soil moisture (In Chinese). Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning, 2004, 25(3):46~49
- [5] 陈怀亮,毛留喜,冯定原. 遥感监测土壤水分的理论、方法及研究进展. 遥感技术与应用,1999,14(2):55~65. Chen H L, Mao L X, Feng D Y. A review: Theories, methods and development on soil moisture monitoring by remote sensing (In Chinese). Remote Sensing Technology and Application, 1999, 14(2):55~65
- [6] 王让会. 土壤水分遥感研究进展. 遥感技术与应用,1994,9(4):61~65. Wang R H. A development on soil moisture by remote sensing (In Chinese). Remote Sensing Technology and Application, 1994, 9(4):61~65

- [ 7 ] 塔西甫拉提·特依拜,阿布都瓦斯提·吾拉木. 绿洲—荒漠交错带地下水位分布的遥感模型研究. 遥感学报,2002,6(4):299~307. Tashpolat T,Abduwasit G. Research on model of ground-water level distribution in the oasis and desert ecotone using remote sensing (In Chinese). Journal of Remote Sensing,2002,6(4):299~307
- [ 8 ] 张长春,王晓燕,崔亚莉,等. 黄河三角洲地表特征参数的遥感研究. 水文地质工程地质,2005,(2):71~75. Zhang C C, Wang X Y,Cui Y L, et al. A study of the ground surface parameters in the Yellow River Delta using remote sensing data (In Chinese). Hydrogeology and Engineering Geology,2005,(2):71~75
- [ 9 ] 党安荣,王小栋,陈晓峰,等. ERDAS IMAGINE 遥感图像处理方法. 北京:清华大学出版社,2003. Dang A R,Wang X D,Chen X F, et al. The ERDAS IMAGINE Method of Handling Remote Sensing Image (In Chinese). Beijing:Tsinghua University Press,2003
- [ 10 ] 赵英时,等. 遥感应用分析原理与方法. 北京:科学出版社,2003. Zhao Y S, et al. Principle and Method of Remote Sensing Applied Analysis (In Chinese). Beijing:Science Press,2003
- [ 11 ] Duguay C R. Estimating surface reference and albedo from Landsat-5 Thematic Mapper over rugged terrain. Petrology & Remote Sensing, 1992, 58:551~558
- [ 12 ] Wang J,Write K,Roberson GJ. Estimating surface net solar radiation by use of Landsat-5 TM and digital elevation models. International Journal of Remote Sensing,2000,21(1):31~43
- [ 13 ] 刘培君,张琳,常萍,等. 卫星遥感估测土壤水分的一种方法. 遥感学报,1997,1(2):135~138. Liu P J,Zhang L,Chang P, et al. A method for monitoring soil water contents using satellite remote sensing (In Chinese). Journal of Remote Sensing,1997,1(2):135~138
- [ 14 ] 郭凯,孙培新,刘卫国. 利用 ERDAS IMAGINE 从遥感影像中提取植被指数. 西部探矿工程,2005,(6):210~212. Guo K, Sun P X,Liu W G. Abstracting vegetation index from remote sensing image using ERDAS IMAGINE (In Chinese). West-China Exploration Engineering,2005,(6):210~212
- [ 15 ] Valiente J A ,Nunez M,Lopez Baeza E, et al. Narrowband to broadband conversion for Meteosat-visible channel and broadband albedo using both AVHRR-1 and 2 channels. Int.J. Remote Sensing,1995,16(6):1147~1166
- [ 16 ] 刘伟东,Baret F,张兵,等. 高光谱遥感土壤湿度信息提取研究. 土壤学报,2004,41(5):700~706. Liu W D, Baret F,Zhang B, et al. Extraction of soil moisture information by hyperspectral remote sensing (In Chinese). Acta Pedologica Sinica,2004,41(5):700~706
- [ 17 ] Bastiaanssen W G M. Regionalization of Surface Flux Densities and Moisture Indicators in Composite Terrain—A Remote Sensing Approach under Clear Skies in Mediterranean Climates. Wageningen, The Netherlands: Agricultural University,1995. 273
- [ 18 ] 马霏乃. 遥感信息模型. 北京:北京大学出版社,1997. Ma A N. Remote Sensing Information Model (In Chinese). Beijing:Peking University Press,1997
- [ 19 ] Nemani J C,Pierce V,Running M, et al. Developing satellite derived estimates of surface moisture status. Journal of Applied Meteorology, 1993,32:548~557
- [ 20 ] 李杏朝. 利用遥感资料进行旱情监测的研究. 卫星应用, 1996,4(4):39~43. Li X C. A research of monitoring drought by using remote sensing data (In Chinese). Satellite Application,1996,4(4):39~43

## REMOTE SENSING MONITORING OF SOIL MOISTURE IN THE YELLOW RIVER DELTA

Guo Jiao Shi Jiansheng Shi Yingchun Ye Hao Wang Wei

( Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, CAGS, Shijiazhuang 050803, China)

**Abstract** The Yellow River Delta is very important to our country in economy, agriculture and so on. To study how remote sensing data could be used to evaluate soil moisture distribution in the Yellow River Delta, a remote sensing TM data model for soil moisture was established based on all band Landsat-5 TM images, field investigation of soil moisture regimes and other related data with the aid of the research technique combining remote sensing, mathematics and modeling, the pixel decomposition method to extract soil moisture spectrum information by removing interference of vegetation, the soil moisture spectrum method and the regression analysis. The TM data model was further verified against the study area. Results indicate that the findings conform to the reality. The TM data model is thought to be applicable and workable to monitoring and evaluating of soil moisture distribution

**Key words** Yellow River Delta; Remote sensing; Soil moisture; Model