

GIS 支持下的深层土壤含水量遥感调查方法^{*}

邓孺孺 陈晓翔 何执兼

(中山大学遥感中心, 广州 510275)

摘 要 分析土壤含水性与土壤反射光谱的函数关系以及遥感像元光谱中土壤光谱与植被光谱的组合关系; 根据处于平衡状态时地表层含水率与表层以下不同深度土壤含水率的函数; 提出在 GIS 支持下采用多波段卫星数据, 在剔除植被影响后定量计算表层土壤含水率, 进而推算潜水面深和包气带中不同深度土壤含水率的理论和方法。

关键词 遥感, 土壤含水量, 潜水面, GIS

分类号 P 641. 131

区域土壤含水率调查在农业、林业生产、环境保护和防洪抗涝等方面均有重要意义。近年来发展起来的遥感技术可以快速、高效地完成这项工作。美国等发达国家已把用遥感技术探测土壤含水量列入重点研究项目^[1]。80 年代我国这方面的研究也得到迅速发展, 探测波段已经从可见光—近红外波段发展到热红外和微波波段, 但对有关像元光谱信息构成机理研究不足, 含水量计算仍是以经验或统计性的算法为主, 遥感信息并未得到充分利用, 计算水平只能达到半定量水平, 且只能探测表层土壤含水量。所受的限制主要来自三个方面: ① 未找到土壤含水率与光谱数据的确切函数关系, ② 无法消除植被信息的影响, ③ 未找到表层土壤含水率与深层土壤含水率的函数关系。目前, 定量探测地表层土壤含水率以及推算深层土壤含水率是遥感应用研究的一项重要内容。本文从分析土壤含水率与土壤反射光谱的函数关系、遥感像元光谱中土壤光谱与植被光谱的组合关系以及地表层含水率与表层以下不同深度土壤含水率的函数出发, 提出在 GIS 支持下采用多波段卫星数据, 定量计算表层土壤含水率, 进而推算潜水面深和包气带中不同深度土壤含水率的理论和方法。

1 地表土壤含水量的定量遥感

1.1 土壤光谱反射率与其含水量的函数关系

土壤光谱反射率与其含水量线性相关, 但并非简单的一次线性相关。当含水量远小于土壤田间容水量时, 土壤光谱反射率与其含水率呈显著的一次线性相关, 反射率随含水量的增加而降低, 二者的关系可用 $y = -ax + b$ 表示, 故目前多数用遥感数据计算含水量的方法采用线性回归公式进行回归。但是, 当土壤含水量接近或超过田间容水量时, 土壤光谱反射率与其含水率的关系不明显, 当含水量超过田间容水量时, 甚至出现反射率随含水量

^{*} 收稿日期: 1996-05-14 邓孺孺, 男, 34 岁, 讲师

的增加而增加的现象^[2~4].这是造成多数遥感探测土壤水方法精度不高的重要原因之一.进一步的实验还表明,这种反常现象是土壤颗粒表面水膜所产生的镜面反射光造成的^[3,4].水份反射光与水份含量和波长有关,故波段数与水含量信息成正比.经归一化后的遥感数据中,土壤象元亮度为土壤颗粒的反射率贡献、水份的反射率贡献和水膜反射率贡献之和,据此可建立土壤像元光谱反射率公式

$$R_{sn} = R_{sdn} (1 - V_w) + (R_{wn} + X_n) V_w \quad (1)$$

式中, R 为反射率, V_w 为体积含水率, X 为土颗粒水膜镜面反射率, 下标 s 表示土壤, sd 为干土, w 为水, n 为波段号. 其中土壤像元综合反射率 R_{sn} 即为经大气校正和归一化后的 n 波段像元亮度值; 土颗粒水膜镜面反射有一重要特性, 即对至少可见光 - 近红外光谱范围内的各波段几乎均匀反射, 故反射率 X 与波段无关, 其影响可通过两波段数据相减予以消除.

1.2 植被影响的消除

对于卫星遥感数据来说, 象元亮度记录的是土壤反射光与植被反射光之和, 计算土壤含水量则必须消除植被的影响. 目前绝大部分方法都是采用两个波段数据 (如红波段与红外波段) 的相减、相除或另外一些简单运算来进行的^[5]. 这些主要来自经验的做法并未反映植被信息的内在组成关系, 只是在一定程度上减少了植被的影响.

植被对像元亮度的影响与植被种类和覆盖率有关, 对于区域性的计算要消除其影响是比较困难的, 必须在 GIS 的支持下才能达到.

各波段干土反射率 R_{sdn} 和纯植被的反射率 R_{pn} 相同季节条件下一般变化不大, 二者的测定也比较容易, 可存入 GIS 数据库中. 在可见光 - 近红外波段范围, 某波段的象元亮度 R_n 可表示为

$$R_n = R_{sdn} (1 - S_p) + R_{pn} S_p \quad (2)$$

式中, R_n 为经过大气校正并经归一化后的象元亮度值, S_p 为象元对应面积内植被的覆盖率.

将 (1) 式代入得

$$R_n = [R_{sdn} (1 - V_w) + (R_{wn} + X_n) V_w] (1 - S_p) + R_{pn} S_p \quad (3)$$

如令三波段序号分别为 1 2 3, 可得

$$\begin{cases} R_1 - R_2 = [(R_{sd1} - R_{sd2})(1 - V_w) + (R_{w1} - R_{w2}) V_w] (1 - S_p) + (R_{p1} - R_{p2}) S_p \\ R_1 - R_3 = [(R_{sd1} - R_{sd3})(1 - V_w) + (R_{w1} - R_{w3}) V_w] (1 - S_p) + (R_{p1} - R_{p3}) S_p \end{cases}$$

该方程组中, R_n ($n=1, 2, 3$) 为三个波段的象元亮度, R_{sdn} , R_{wn} 和 R_{pn} 均为较稳定参量, 为 GIS 数据库中的区域基础数据, 未知数为 V_w 和 S_p , 故方程组有唯一解.

令 $Z_1 = R_1 - R_2$, $A_1 = R_{sd1} - R_{sd2}$, $B_1 = R_{w1} - R_{w2}$, $C_1 = R_{p1} - R_{p2}$, $Z_2 = R_1 - R_3$, $A_2 = R_{sd1} - R_{sd3}$,

$B_2 = R_{w1} - R_{w3}$, $C_2 = R_{p1} - R_{p3}$, 则上方程组的解为

$$V_w = [Z_2 (C_1 - A_1) - Z_1 (C_2 - A_2) - A_2 C_1 + A_1 C_2] / [(Z_2 - C_2)(B_1 - A_1) - (Z_1 - C_1)(B_2 - A_2)] \quad (4)$$

据该式可以计算出象元对应面积内表层土壤平均含水率, 并已剔除了植被的影响.

2 深层土壤含水性的推算

地表土壤含水率与地下土壤的含水情况在平衡状态下存在一定的关系, 这是用遥感方法推算深层含水性的基础. 通常地表以下都存在地下潜水, 部分潜水在毛细管力和分子吸附力作用下上升到上层土壤中, 不同层位的土壤其含水情况不同, 因而形成分带、分带情

况和各带中的含水率取决于土壤颗粒粒度、球度、孔隙率、田间含水量等性质。求出地表和各深度土壤含水率与这些土壤物理性质的函数关系是探测深层土壤含水率的关键。文献 [6]证明了有关的函数关系。其中,毛管带厚度 h_c 为

$$h_c = [6 (1 - e) \gamma_e K_e \cos \theta] / (\rho g e d) \tag{5}$$

其中 e 、 d 、 K_e 分别为土壤孔隙率、粒度和球度; γ_e 、 θ 分别为水张力系数和颗粒-水接触角; ρ 、 g 分别为水密度和重力加速度。根据地表含水率计算潜水埋深 H 的公式为:

$$\begin{cases} H = 2h_c \beta^3 (V_w^{-3} - \beta^{-3}) / 3 + h_c & (\text{当 } V_w < \beta) \\ H = h_c (\beta^2 / V_w^2) & (\text{当 } V_w \geq \beta) \end{cases} \tag{6}$$

$$H = h_c (\beta^2 / V_w^2) \tag{7}$$

式中, β 为土壤田间含水量, V_w 为地表含水率。

当 $H > h_c$ 时毛管带以上,任一深度 h 的土壤含水率为

$$V_c = V_w \beta [2h_c / (2h\beta^3 - 3hV_w^3)]^{1/3} \tag{8}$$

根据 (5) ~ (8) 式可以用由遥感数据算出的地表土壤含水率 V_w 推算深层土壤的水文分带情况及含水率。应用以上公式时,由于要用到全区各点的土壤参数,故要在 GIS 支持下才能实现。

3 实施步骤

(1) 数据准备。包括收集 TM、MSS 或 NOAA 等多波段卫星资料;解译土壤、植被类型及其分布范围,测试各种土壤、植被和水的 光谱数据及土壤粒度、孔隙率、球度、田间含水量等参数,或收集相应资料,建立相应的 GIS 数据库。

(2) 进行遥感资料的预处理,包括大气校正、几何校正和归一化处理等。

(3) 计算地表土壤含水率。

(4) 计算各类型土壤毛管带厚度。

(5) 计算潜水面深度。

(6) 计算包气带中不同深度的土壤含水率及整个包气带的含水总量和容水量。

(7) 输出区域地表含水率、潜水面深、包气带含水和容水量的等值线图。数据处理流程如图 1。

通过以上理论与方法的探讨,可得出以下结论

(1) 深层土壤含水量遥感的基本途径是用遥感数据定量计算地表层含水量,进而根据表层含水率与深层含水率的关系计算深层含水量。

(2) 土壤反射光谱由土壤反射光和水分反射光之和构成,构成比例与土壤

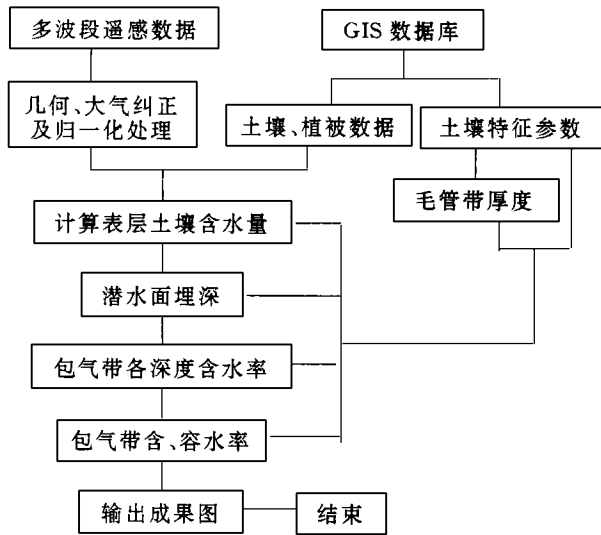


图 1 数据处理流程图

Fig. 1 Flow chart of data processing

含水率有关; 颗粒表面水膜产生镜面反射是造成反射率——湿度迹线异常变化的因素, 且镜面反射与波长关系不大, 其影响可通过波段相减予以消除.

(3) 一般象元的亮度取决于对应面积地面的土壤、水分和植被的反射光的组合, 四者存在一定的函数关系, 通过多波段遥感数据的运算可以剔除植被的影响, 定量计算出地表土壤含水率.

(4) 处于平衡状态时, 土壤表层含水率与深层含水率存在一定的函数关系, 可根据地表含水率计算深层含水率.

(5) 区域地表含水率的定量遥感和深层土壤含水率的推算须在 GIS的支持下才能完成.

参 考 文 献

- 1 赵学丽. 遥感技术在水文学中的应用与展望. 见: 2000年中国水文展望 (全国中青年学术讨论会论文集). 南京: 河海大学出版社, 1991
- 2 Peterson J B, Robison B F, Beck R H. Predictability of change in soil reflectance on wetting machine processing of remotely sensed data. Proc Purdue Univ West Lafayette Ind, 1979. 264~ 274
- 3 朱永豪, 邓仁达. 不同湿度条件下黄棕壤光谱反射率的变化特征及遥感意义. 土壤学报, 1984, 2 (2): 194~ 201
- 4 郑威, 陈述彭. 资源遥感纲要. 北京: 中国科学技术出版社, 1995. 332~ 349
- 5 舒守荣, 陈健, 邓仁达. 遥感反射光谱测试与应用研究. 北京: 科学出版社, 1988. 76~ 88
- 6 邓孺孺. 土壤水份垂向分布的平衡状态分析. 中山大学学报 (自然科学版), 1997, 36 (2): 100 ~ 104

A GIS Based Remote Sensing Method for Underground Soil Moisture Test

Deng Ruru^{} Chen Xiaoxiang He Zhijian*

Abstract By analysing the reflected spectrum composing of soil, water and vegetation in remote sensing data, and according to the functions between the soil moisture of surface layer and underground layer, the authors put forward the theory and method of calculating soil moisture under ground which using multispectral landsat data, having eliminated the effect of vegetation, quantitatively calculates moisture content of surface soil and then reckons the soil water content under ground.

Keywords remote sensing, soil water content, water table, GIS

^{*} Center for Remote Sensing, Zhongshan University, Guangzhou 510275