

应用热惯量编制土壤水分图及 土壤水分探测效果*

刘 兴 文

(中国科学院南京土壤研究所)

冯 勇 进

(中国科学院遥感应用研究所)

摘 要

利用可见—近红外多光谱扫描图象和热红外日、夜扫描图象可以生成土壤反照率图和土壤日夜温差图,再利用室内测定的少量土壤热惯量资料对室外同步测定的土壤反照率和日夜温差进行二元回归,可得二元回归方程。借助此回归方程和所生成的土壤反照率图和土壤温差图可以生成真实土壤热惯量图。再利用土壤热惯量对土壤水分的回归方程,可将真实土壤热惯量图变成土壤水分图。

这种土壤水分图反映出的土壤水分含量误差范围为 -4.18% 至 1.98% ,误差绝对值平均数为 1.84% 。

利用遥感技术来探测土壤水分的研究工作是本世纪70年代初才开始的。Abdel-Hady^[2](1971)曾企图研究粘土和沙土的温度最大变化与潜水深度的关系。1974年Pohn等人^[3]发表了利用地表热辐射传导模式来遥测土壤热惯量的文章。并指出,利用热红外图象和全色影像来探测地表热惯量是可能的。Schmer和Werner^[9](1974)通过野外试验建立了地表热辐射温度和土壤湿度的相关关系。Blanchard^[3](1974)也指出,根据每天测定的最高、最低土温可以推测10厘米土壤内的水分季节性变化。Kahle等人^[6](1978)曾将不同波段的航空遥感图像进行重迭后,引进了必要的气象资料,借助计算机进行地表热惯量模拟计算,并编制出土壤热惯量图。Pratt^[4](1979)不仅利用比较简单的方法编制出了土壤热惯量图,而且还研究了土壤热惯量与土壤水分含量之间的变化关系,对利用遥感技术来探测土壤水分获得了有意义的结果。在Pratt所采用的热惯量制图方法中,虽已摒弃了Kahle方法中所需的难以收集的一些气象资料和复杂的计算过程,但他仍采用了很费机时的查表法以获得热惯量值。在所发表的文章中,他没有提供反照率-温差-热惯量三维空间表的制作方法。为了研究平原地区大范围的土壤水分探测手段,我们进行了编制土壤水分图的试验,在本试验中我们着重探索了热惯量土壤水分图的简单

* 这项工作是在中国科学院遥感应用研究所副所长童庆禧同志支持下完成的。承担图象处理机务工作的有朱重光和高朋同志。此外,王敦领和杨超武同志参加了部份同步测定工作。在此一并表示感谢。

编制方法和土壤水分探测效果。

一、试验区地面状况及试验所用资料

试验区位于河南封丘县城东面的黄河冲积平原。面积约 35 平方公里。地形除北面有相对高差为 3—5 米的小沙丘外,其他均为平原,坡降在千分之一以下。土壤有风沙土、盐土、盐化潮土、碱化潮土和不同质地的典型潮土。航空遥感时,试验区的大部分地块为小麦地,少数为裸地。小麦已返青,大部分已灌水。由于灌水早晚及土壤肥力的不同,试验区内的土壤干湿程度及小麦生长状况都很不一样。

试验所用遥感资料为 1984 年 3 月 24 日获得的多光谱航空扫描日像及夜像(数字磁带)。各日像的波段范围分别为 0.43—0.49、0.50—0.57、0.55—0.68、0.63—0.78 和 8—12.5 μ ,夜像的波段范围为 8—12.5 μ 。地面分辨率为 9 米。扫描日像时的最高气温为 14 $^{\circ}$ C,扫描夜像时的最低气温为 4.2 $^{\circ}$ C。日平均风速为 3.7 米/秒。

该试验还应用了同步测定的日、夜地表温度、土壤水分含量(0—20cm)和准同步(包括航空扫描前一天和后一天)测定的土壤光谱反射率及采样后室内测定的土壤容重、机械组成、比热和导热率。

日、夜地表温度、土壤水分含量及土壤光谱反射率的同步和准同步测定过程如下:

在试验区内选择了 15 块面积大于 15 \times 15m² 的干湿度较均匀且水分含量各不相同的地块作为测试样地。土壤水分用烘干法测定。取样方法是:每一样地中采样 9 次,将每相邻近的 3 次样品混合成一测定样并测出其水分含量,再将 3 个测定样的水分含量值进行平均,平均数即为该样地的土壤水分含量。地表温度是用日立红外测温仪测定的。方法是:在每块样地的土壤水分取样点附近测出 4 时 30 分至 6 时和 12 时 30 分至 14 时的地表辐射温度,将前、后两时间所得结果分别进行平均,前者的平均值即为该样地的地表最低夜温,后者的平均值即为该样地的地表最高日温。土壤光谱反射率是用 W-101 型野外光谱仪测定的。方法是:在每块样地中测出 8—12 条土壤(或土壤加小麦)光谱曲线,按波长进行平均后则得出不同波长的平均反射率,此为该样地的土壤(或土壤加小麦)光谱反射率。

二、利用土壤热惯量编制土壤水分图的方法讨论

热惯量是物质热量平衡公式中的一常量,它随物质的不同而变化。土壤热惯量的数学表达式为:

$$P = \sqrt{D \cdot C \cdot \rho} \quad (1)$$

式中 P 为土壤热惯量, D 为土壤密度, C 和 ρ 分别为土壤的比热和导热率。

土壤的密度、比热和导热率的变化主要取决于土壤固、气、液三相组成的变化。一般来说,在较短时间内变化较大的是土壤液相和气相的比例,且这一变化主要由土壤水分消涨所引起。因此,土壤热惯量与土壤水分含量之间必然存在一定的相关性。实验结果证明,除盐土外,风沙土、盐化潮土、碱化潮土、砂壤质潮土、轻壤质潮土及重壤质潮土的热惯量与相对应的土壤水分含量混在一起进行相关分析,其相关系数已达到了极显著水准。从而可指望通过编制土壤热惯量图来编制土壤水分图,以达到探测土壤水分的目的。

虽然实用中不可能采用大量实测土壤密度、比热及导热率的方法来了解大范围内的土壤热惯量的变化,但多光谱及热红外遥感图像为我们解决此问题提供了有用的信息。

在可见—近红外及热红外波段范围内,遥感资料所获得的信息分别是地面的光谱反

射率和热红外辐射强度。由于地表土壤湿度受其下层水分含量的制约,因此,这些遥感资料也必然间接地提供了一定深度的土壤水分信息。试验证明,这些单波段的土壤光谱反射率及热红外图像的亮度值与土壤水分含量的相关系数均达到了显著和极显著水准,但其相关系数都不如土壤热惯量与土壤水分含量的相关系数高(表1)。因此,如果能将这些遥感资料转变成土壤热惯量图,则可以提高土壤水分探测精度。

表1 各种遥感资料与土壤水份的相关系数

Table 1 The coefficients of the correlation between the remote sensing data and the soil moisture

深度(cm) Depth	反 射 率 Reflectance				影 像 亮 度 值 Brightness of image		土壤热惯量 Soil inertia
	0.43—0.49 (μ)	0.50—0.57 (μ)	0.55—0.68 (μ)	0.63—0.78 (μ)	热红外日像 Thermal image of day	日、夜像差值 Thermal image of night	
0—2	-0.714*	-0.765*	-0.816**	-0.738*	-0.893**	-0.715*	0.971**
0—5	-0.805*	-0.735*	-0.827**	-0.751*	-0.875**	-0.697*	0.966**
0—10	-0.666*	-0.717*	-0.775*	-0.713*	-0.889**	-0.702*	0.990**
0—20	-0.610	-0.670*	-0.732*	-0.688*	-0.860**	-0.734*	0.889**

* 显著, ** 极显著。n 均为 11。

从土壤热性质不难理解,在一定的气象条件下,土壤日夜温差变化应是土壤热惯量及它本身反照率的函数,即:

$$\Delta T = f(P, R) \quad (2)$$

式中 ΔT 为土壤日夜最大温差, P 为土壤热惯量, R 为土壤反照率。

显然,土壤热惯量 P 也必然是土壤反照率 R 和土壤日夜温差的 ΔT 反函数:

$$P = f'(\Delta T, R) \quad (3)$$

利用可见—近红外多波段扫描图像及热红外日、夜扫描图像,可以分别求出各个像元的反照率及日夜温差。再借助少数测试点的土壤热惯量、反照率和日夜温差实测数据,则可求出大范围内的土壤热惯量和编制出土壤热惯量图。我们称该法为“真实热惯量制图法”,称所得热惯量图为“真实土壤热惯量图”。然后根据土壤热惯量和土壤水分含量回归方程一个一个像元地算出土壤水分含量,并生成土壤水分图。我们将这样生成的土壤水分图称为“真实热惯量土壤水分图”。

为了简化土壤热惯量制图方法,1984年 Kahle 教授访问我国时曾推荐了 Dejac 采用过的表观热惯量制图方法^[7]。即用比值 $(1 - R)/\Delta T$ [符号含义同(2)式]来代替热惯量值绘制土壤热惯量图。对于一特定测试点来说,真实热惯量与表观热惯量之间的关系应为:

$$P = K \cdot \frac{(1 - R)}{\Delta T} \quad (4)$$

但实验证明,在相同气象条件下,由于决定土壤表观热惯量大小的土壤反照率及日夜温差与土壤水分、有机质含量等因素之间并非总成线性关系^[4,7],因此,真实热惯量与表观热惯量之间也不会总成线性关系。即(4)式中的 K 值不是一常数,而是一变量(表2)。这样,由于尚未找到适合的关系式,利用表观热惯量来生成土壤水分图必然会出现较大的误

差。我们将用比值 $(1 - R)/\Delta T$ 来制作热惯量图的方法称为“表观热惯量制图法”，将由表观热惯量图变换而来的土壤水分图称为“表观热惯量土壤水分图”。

表 2 不同土壤的真实热惯量与表观热惯量间的 K 值

Table 2 Value K between the thermal inertia of soils and its apparent thermal inertia

据 Pratt 的资料 ^[4] According to Pratt's data			据实测资料 According to the measured data		
热惯量 (卡·米 ⁻² ·度 ⁻¹ ·秒 ^{-1/2}) Ther.inertia (cal·m ⁻² ·°C ⁻¹ ·S ^{-1/2})	$(1 - R)/\Delta T$ (度 ⁻¹) $(1 - R)/\Delta T$ (°C ⁻¹)	K (卡·米 ⁻² · 秒 ^{-1/2}) K (cal·m ⁻² · S ^{-1/2})	热惯量 (卡·米 ⁻² ·度 ⁻¹ ·秒 ^{-1/2}) Ther.inertia (cal·m ⁻² ·°C ⁻¹ ·S ^{-1/2})	$(1 - R)/\Delta T$ (度 ⁻¹) $(1 - R)/\Delta T$ (°C ⁻¹)	K (卡·米 ⁻² · 秒 ^{-1/2}) K (cal·m ⁻² · S ^{-1/2})
74.6	0.01972	3785	114.0	0.0264	4310
134.4	0.02218	6056	117.0	0.0286	4090
164.5	0.02142	7664	134.0	0.0300	4462
194.1	0.01166	9705	201.0	0.0362	5550
298.6	0.02500	11945	372.0	0.0554	6720
447.9	0.03062	14626	—	—	—

三、真实热惯量土壤水分图的制图步骤

(一) 纠正、重迭不同波段及不同时相的遥感图像 由于编制热惯量图像需要利用可见—近红外多波段图像和热红外日像及夜像，所以必须先将这些图像进行几何纠正才能使它们精确重迭。

(二) 生成土壤日夜温差图及反照率图 利用少量实地同步测定的土壤表层的日最高、夜最低温度和相应测试样地的热红外日、夜图像亮度值进行回归，分别建立他们之间的相关关系，求出回归方程。借助其方程和已重迭好的热红外日、夜图像，可算出各个像元的日夜温差，生成日夜温差图(图版 I, 图 1)。

利用少量实地同步测定的土壤光谱资料和相应测试样地的可见—近红外多波段图像亮度值，分波段建立土壤反射率和亮度值之间的相关关系，求出回归方程。借助其方程式和已重迭好的可见—近红外多波段图像，可算出各个像元的土壤反照率，生成土壤反照率图(图版 I, 图 2)。

表 3 所示是土壤表层最高、最低温度和热红外日、夜像亮度值之间的回归方程系数及土壤反射光谱和多波段图像亮度值间的回归方程系数。

(三) 建立土壤热惯量和土壤反照率及日夜温差相关关系，生成真实土壤热惯量图 根据实测的土壤容重、质地、比热和热导率，借助 Pratt 所用的计算方法，先算出已知反照率、日夜温差和含水量不同的各种土壤的热容量及导热率，再算出它们的热惯量(即表 5 第一列数值)。将算出的热惯量和相应的土壤反照率及日夜温差进行二元回归，得出二元三次回归方程式(表 4)。表 5 是用所得回归方程式算出的热惯量及误差。利用所得

表 3 生成土壤日夜温差图和土壤反照率图所用的回归方程

Table 3 The regression formulas for producing the image of the soil temperature difference and the image of soil albedo

图像种类 Images		波长范围 (μ) Range of spectrum	回归方程类型 Formulas	n	相关系数 Correlative coefficients	a	b
制作土壤 反照率图	日像	0.43—0.49	$y = a + bx$	12	0.943**	-11.86	0.7570
		0.50—0.57	$y = a + bx$	12	0.908**	-2.119	0.5691
	日像	0.55—0.68	$y = a + bx$	12	0.896**	0.6141	0.5551
		0.63—0.78	$y = a + bx$	12	0.852**	11.18	0.3124
制作土 壤温差图	日像	8—12.5	$y = a + bx$	11 ¹⁾	0.903**	7.747	0.3387
	夜像	8—12.5	$y = a + bx$	9 ¹⁾	0.889**	-4.572	0.1028

1) 由于图像上无法定点读取亮度值,故 n 不为 12。**: 极显著水准。

表 4 二元三次回归方程式的系数

Table 4 The coefficients of the dual cubic regression formula

系数代号 Coeff. signs	系数 Coefficients	系数代号 Coeffi. sign	系数 Coefficients
a_{00}	-1.46069	a_{02}	-0.65803
a_{10}	-3.31910	a_{30}	0.00183
a_{01}	6.06326	a_{21}	-0.01644
a_{20}	0.07505	a_{12}	0.01679
a_{21}	0.29189	a_{03}	0.00574
方程式	$Z = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{20}x^2 + a_{11}xy + a_{02}y^2 + a_{30}x^3 + a_{21}x^2y + a_{12}xy^2 + a_{03}y^3$		

表 5 利用所得二元三次回归方程式算出的热惯量及误差

Table 5 The errors of the thermal inertia obtained by the dual cubic regression formula

样地号 No. of test field	求回归方程用的热惯量 (卡·米 ⁻² ·度 ⁻¹ · 秒 ^{-1/2}) Ther. inertia for deducing the formula (cal·m ⁻² ·°C ⁻¹ ·S ^{-1/2})	用回归方程算出的热 惯量(卡·米 ⁻² ·度 ⁻¹ · 秒 ^{-1/2}) Ther. inertia obtained by calculation with the formula (cal·m ⁻² ·°C ⁻¹ ·S ^{-1/2})	绝对误差 (卡·米 ⁻² ·度 ⁻¹ · 秒 ^{-1/2}) Absolute error (cal·m ⁻² ·°C ⁻¹ ·S ^{-1/2})	相对误差 (%) Relative error
热-1	152.3	151.0	-1.3	-0.8
热-3	229.9	242.2	12.3	5.3
热-4	263.1	260.8	-2.3	-0.8
热-5	321.7	361.7	40.0	12.4
热-6	365.1	331.4	-33.7	-9.2
热-7	306.0	309.2	3.2	1.0
热-8	251.1	250.9	-0.2	-0.1
热-12	242.1	266.6	24.5	8.5
热-13	224.8	204.1	-20.7	-9.2
热-14	417.4	407.1	-9.9	-2.4
热-15	429.4	445.8	16.4	3.8
平均*	—	—	14.0	5.2

* 为绝对值平均数。

的回归方程式和已生成的土壤反照率图及日夜温差图,就可算出各个像元的热惯量,生成真实土壤热惯量图(图版 I, 图 3)。

为了研究不同类型土壤对利用同一模式编制土壤水份图的影响,我们比较了所算出的不同含水量的各种土壤的热容量、及热惯量(表 6、7、)。从 2 个表可以看出,在含水量相同的情况下,从风沙土到重壤质潮土的热容量、和热惯量之间虽有差别,但其差值远远小于不同含水量之间的土壤。而且不同土壤间的热容量和热惯量的差别随水分含量的增加而变小。例如在表 7 所列的 4 种不同土壤的热惯量中,差别最大的是含水量为零的风沙土和中壤质潮土,二者绝对相差为 12.3 卡/米²·度·秒^{1/2},相对相差为 6.8%。当含水量增加至 10% 时,其热惯量的绝对相差及相对相差分别为 10.1 卡/米²·度·秒^{1/2}和 4.7%。表 7 中热惯量随土壤含水量变化最小的是风沙土。当含水量从零增加至 10% 时,热惯量的绝对增值和相对增值分别为 31.6 卡/米²·度·秒^{1/2}和 16.9%;当含水量增至 20% 时,热惯量的绝对增值及相对增值分别为 60.0 卡/米²·度·秒^{1/2}及 32.1%。由于上述原因,我们利用了同一模式来生成真实土壤热惯量图。

(四) 真实热惯量土壤水分图的生成 利用同步测定的土壤水分结果(由于篇幅所

表 6 不同水分含量的各种土壤的热容量(卡/克)

Table 6 The thermal capacity of the different moisture soils (cal·g⁻¹)

水分 (%) Moisture	风沙土 Aeolian	粉砂潮土 Sandy chao soil	砂壤质潮土 Sandy loam chao soil	中壤质潮土 Loam chao soil	重壤质潮土 Clay loam chao soil
0	0.2993	0.2918	0.2685	0.2615	0.2619
2.5	0.3243	0.3168	0.2935	0.2865	0.2869
5.0	0.3493	0.3418	0.3185	0.3115	0.3118
10.0	0.3994	0.3918	0.3685	0.3615	0.3618
15.0	0.4493	0.4418	0.4184	0.4114	0.4118
20.0	0.4993	0.4918	0.4685	0.4614	0.4618
25.0	0.5493	0.5418	0.5184	0.5114	0.5118
30.0	—	0.5918	0.5684	0.5614	0.5618
35.0	—	0.6417	0.6184	0.6114	0.6118

表 7 不同水分含量的各种土壤的热惯量(卡·米⁻²·度⁻¹·秒^{-1/2})

Table 7 The thermal inertia of the different moisture soils (cal·m⁻²·°C⁻¹·S^{-1/2})

水分 (%) Moisture	风沙土 Aeolian soil	砂壤质潮土 Sandy loam chao soil	中壤质潮土 Loam chao soil	重壤质潮土 Clay loam chao soil
0	186.7	176.7	174.4	174.6
2.5	194.5	185.5	183.4	183.6
5.0	202.7	193.8	191.9	192.1
10.0	218.3	209.7	208.2	208.3
15.0	232.8	224.5	223.4	223.5
20.0	246.7	238.7	237.7	237.9
25.0	259.9	253.4	251.4	250.9
30.0	—	267.7	264.5	264.6
35.0	—	—	276.9	277.0

限, 本文未列入其结果)和已生成的真实热惯量图上的相应热惯量值(即表 5 中的第 2 列数字)进行线性回归, 求出回归方程式为:

$$y = 0.0462 \times x - 1.66 \quad (n = 11, r = 0.86)$$

利用所得方程将真实热惯量图上的值逐个像元地变成土壤水分含量, 从而将真实土壤热惯量图变换成真实热惯量土壤水分图(图版 I, 图 4)。将所得到的土壤水分图按不同水分含量分成 7 个等级用彩色图像输出后, 则可得到反映土壤水分含量不同的土壤水分等级图(彩色图像省略)。

为了对比不同方法制成的土壤水分图的效果, 我们又制作了表观热惯量土壤水分图。此外, 我们还将热红外日像直接变换成土壤水分图, 并称之为“热红外土壤水分图”。

四、利用遥感技术编制的土壤水分图探测土壤水分的效果

为了验证不同方法探测土壤水分的效果, 在进行地面同步测定了 18 块检验样地的土壤水分含量, 用来检验所制土壤水分图的精度。所得结果表明, 除盐土外, 其它土壤的水分含量在三种方法制成的土壤水分图上虽然都已达到了一定的精度, 但其误差大小不同。探测效果最好的是真实热惯量土壤水分图, 探测误差范围(未包括盐土, 下同)为 -4.18% 至 1.98% , 误差绝对值平均数为 1.84% 。其次是热红外水分图, 探测误差范围为 -6.29% 至 3.92% , 误差绝对值平均数为 2.08% 。探测效果最差的是表观热惯量土壤水分图, 探测误差范围为 -10.76% 至 2.98% , 误差绝对值平均数为 2.98% 。表观热惯量土壤水分图探测效果差的原因是土壤表观热惯量和水分之间的关系不是线性关系。如果能找到土壤表观热惯量和土壤水分之间拟合程度更好的函数关系, 通过制成表观热惯量土壤水分图来预报大面积土壤水分状况, 仍是一个简便易行的方法。

在 3 种土壤水分图上, 盐土的水分含量探测结果都很差, 仅为实际土壤水分含量的 $52.4-61.0\%$ 。产生这一现象的原因是: 尽管盐土含水量较高, 但由于它的表面覆盖有一层盐霜, 反照率很高, 使土壤热惯量与其反照率、日夜温差的函数关系和所采用的制图模式不一致, 所以得到了远远低于真实土壤水分含量的探测结果。

验证资料还表明, 除盐土外, 土壤水分探测误差绝对值小于 3.0% 的检验样地数, 在真实热惯量土壤水分图和热红外土壤水分图上都为 76.5% , 在表观热惯量土壤水分图上为 41.2% 。另外, 在 3 种土壤水分图上, 探测误差绝对值都有随土壤水分增加而增加的趋势。特别是当土壤水分超过 18% 时, 探测结果偏低而出现负误差, 这大概与土壤水分增加至一定数量后, 土壤的反照率及日夜温差变化不大有关。

检验样地既有裸地, 也有小麦地。验证结果表明, 在用真实热惯量土壤水分图探测土壤水分的结果中, 小麦返青期的覆盖度对土壤水分的探测没有严重影响。除盐土外, 在 17 块检验样地上, 并不因为有小麦覆盖和其覆盖度不同而出现大的探测误差。

五、结论与设想

可见一近红外及热红外波段的遥感图像都包含有丰富的土壤水分信息, 经必要处理

后可以用来粗略地对土壤水分进行定量探测。利用较简单的二元回归模式和这些遥感资料可以生成真实热惯量土壤水分图。借助这种土壤水分图来探测土壤水分含量比借助表观热惯量土壤水分图和热红外日像土壤水分图的效果好。

根据本试验所得的结果，可以作如下设想：只要在土壤信息库中有足够的土壤光谱反射率、各种土壤在不同气象条件下的日夜温差及土壤热惯量与土壤水分的回归方程等资料供调用，就可以利用热惯量卫星图像来快速地探测大范围内的土壤水分状况，预报旱、涝灾害。另外，在土壤信息库中，只要有足够的热红外图像亮度值和土壤水分含量的相关分析资料供调用，利用目前的陆地资源卫星的热红外图像也可以较粗略地进行大范围内的旱、涝灾害预报。

参 考 文 献

- [1] 朱永豪等，1984：不同湿度条件下黄棕壤光谱反射率的变化特征及其遥感意义。土壤学报，第21卷2期 194—202页。
- [2] Abdel-hady M 1971: Depth to ground-water table by remote sensing. *J. Irrigation Proc. Am. Soc. Civil Eng.*, 97(No. 1R3): 355—367.
- [3] Blanchard M. B., Greely R. and Goettelman R., 1974: Use of visible, near infrared and thermal infrared remote sensing to study soil moisture. *NASA Tech. Mem.*, x-62, 343.
- [4] Pratt, D. A., 1979: Remote sensing of environment. Vol. 8. No. 2. 151—168.
- [5] Dejace J. and Mégier, J., 1979: Proceeding of the 13th international symposium on remote sensing of environment. Vol. 2: Mapping thermal inertia, soil moisture and evaporation from aircraft day and night thermal data. 1015—1021.
- [6] Kahle A. B., Gillespie A. R., 1975: Proceeding of the 10th international symposium on remote sensing of environment, Vol. 2: Thermal inertia mapping, 985—994.
- [7] Philip H. Swain and Shirley M. Davis., 1978: Remote sensing: The quantitative approach, 244—245.
- [8] Pohn H. A., Offield T. W. and Watson K., 1974: Thermal inertia mapping from satellites-discrimination of geologic units in oman. *J. Res. U. S. Geol. Surv.* 2(2): 147—158.
- [9] Schmer F. A. and Werner H. D., 1974: Remote sensing techniques for evaluation of soil water conditions. *Trans. Amer. Sor. Agri. Eng.* 17(2): 310—314.

COMPILATION OF SOIL MOISTURE MAP BY MEANS OF SOIL THERMAL INERTIA IMAGE

Liu Xingwen

(Institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing)

Feng Yongjin

(Institute of Remote Sensing Application, Academia Sinica)

Summary

With the visible-infra-red multispectral scanned images and the scanned day and night thermal images, the soil albedo image and the day-night thermal image can be done. With a few soil thermal inertia data measured in laboratory, the corresponding soil albedo and day-night temperature difference were measured synchronously in fields, through dualistic regression, a dualistic cubic formula was obtained. Using this equation and the soil albedo image and the soil temperature difference image, a soil thermal inertia image was obtained. Then the soil thermal inertia image was transformed into a soil moisture map, with the aid of regressing the soil thermal inertia to the soil moisture.

The error of the soil moisture map ranged from -4.18% to 1.98% , the mean absolute value of the errors was 1.85% .



图 1 土壤日夜温差图
Fig. 1 The image of day night
soil temperature difference



图 2 土壤反射率图
Fig. 2 The soil albedo image



图 3 土壤热惯量图
Fig. 3 The real thermal inertia image
produced by the regression method



图 4 热惯量土壤水分图
Fig. 4 The soil moisture image transformed
from the real thermal inertia image