

基于遥感的土壤电阻率估算研究

李博伦^{1,2} 沈润平^{1,2} 严婧¹ 刘磊¹ 黄晓龙¹

摘要

以我国长江中下游的南京及其周边15个市(县)为例,采用野外测定、室内分析与遥感反演相结合的方法,开展了土壤电阻率估算研究.选用影响土壤电阻率的土壤水分、土壤温度、土壤可溶盐总量与土壤阳离子交换量等4个主要因子,遥感反演土壤水分和温度空间分布,以获取估算土壤电阻率所需要的主要参数;采用偏最小二乘二次多项式(PLSQM)模型对不同地表覆盖类型下的土壤电阻率进行估算,PLSQM估算模型的估算值与实测值的相关系数达到0.85,平均相对误差(MRE)为19.02%,均方根误差(RMSE)为7.79.结果表明,草地、农田、林地3种不同地表覆盖类型下土壤电阻率有明显差异,PLSQM模型实现了较高估算精度,具有较好的应用潜力.

关键词

土壤电阻率;地表覆盖类型;温度植被干旱指数;偏最小二乘回归

中图分类号 TP7;S2

文献标志码 A

收稿日期 2012-05-13

资助项目 国家公益性行业科研专项(GYH-Y200806014-6);国家重点基础研究发展(973)计划(2005CB121108-6)

作者简介

李博伦,男,硕士生,主要从事遥感建模与分析研究. t_magic@hotmail.com

沈润平(通信作者),男,教授,研究方向为遥感建模及其应用. rpshe@nuist.edu.cn

1 南京信息工程大学 气象灾害省部共建教育部重点实验室,南京,210044

2 南京信息工程大学 遥感学院,南京,210044

0 引言

雷电灾害严重影响日常的生产和生活,威胁社会公共安全和人类生命财产安全.土壤电阻率是雷电起电机制和现代防雷接地工程研究的重要参数,了解和掌握土壤电阻率的主要相关性质及其测量方法,将对接地装置乃至防雷工程的正确设计起决定性作用^[1].另一方面,土壤电阻率也是土壤科学中的重要研究内容之一.表征土壤导电性能的土壤电阻率是土壤重要的电学性质之一,土壤中水分、盐分、阳离子、有机质含量及其温度、质地结构等诸多理化因子不同程度地影响着土壤电阻率^[2].但土壤本身是一个不均匀的多相体,空间结构上具有明显的变异性,这种变异性又与监测面积及时间、尺度效应有关,此外,土壤电阻率的影响因素在不同的土地利用方式间也存在着差异^[3-5].土壤的定性和定量信息在不同空间和时间尺度间的转换已经成为土壤科学中的重要问题.在日益注重效率与效益的今天,土壤资源利用领域迫切需要引进实用、具有较高精度的高新技术以快速获取土壤属性信息.

国内外对于土壤属性时空变异的研究主要集中在农田土壤肥力及与作物生长密切相关的土壤理化性质^[6],对于应用和服务于雷电研究的土壤电阻率模拟或估算研究却相对较少.由于土壤影响因子难以定量获取并且多变,严重制约大范围土壤电阻率的实时估测,本文试图采用遥感获取易变因子地表温度和土壤水分,开展偏最小二乘二次多项式方法(PLSQM)的模拟研究,以期为探讨土壤电阻率估算提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 土壤样品采集及理化性质测定方法

研究选择位于我国江苏省长江下游地区的南京、六合、镇江、扬中、扬州、江都、仪征、常州等16个市(县)区进行,采样按草地、农田和林地3种地表覆盖类型,在研究区设采样点40个(图1),并在仪征地区进行加密采样,采取网格法采样,共设30个采样点,每种类型的采样点间距约为8 km.70个采样点中,草地覆盖下为24个、林地覆盖下为22个、农田覆盖下为24个,采样时间为2010年6月18日—7月1日.每个采样点均采用GPS全球定位系统进行定位,分别按南、北2个方向,实地测定4个剖面的土壤电阻率、温度,最后计算平均值.在

每个采样点采集 1~2 kg 的 0~20 cm 土层土壤样品,土壤水分、土壤可溶性盐总量和土壤阳离子交换量分别使用烘干法、质量法和乙酸钠-氯化钠交换法进行测定^[7]. 使用美国产 2265FS 便携式土壤电导仪测量表层 0~20 cm 深度的土壤电导率,然后进行倒数变换,计算土壤电阻率^[8],单位为 $\Omega \cdot m$.

为了检验各影响因子与土壤电阻率分布数据的精确度,并且使观测时间尽可能与遥感数据同步,选取在研究区 2010 年 6 月 20 日采集的 10 个样本点数据作为独立的验证数据集,用于精度评价,以检验模型拟合的效果,余下的 60 个土壤剖面数据用于建模. 将这 10 个采样点上的实测值与反演数据值分别进行比较,计算其相关系数、相对误差(MRE)和均方根误差(RMSE).

1.2 MODIS 地温产品

研究选用 8 d 合成 MODIS 地表反射率产品 MOD09A1 和 MOD11A2 数据用以遥感反演,时间为 2010 年 6 月 20 日,与部分野外采样时间同步,范围覆盖整个江苏省. 其中,MOD09A1 数据由 MODIS1B 地表观测数据产品的 1~7 波段经过大气校正及去云处理获取,分辨率为 500 m. MOD11A2 是 8 d 合成空间分辨率为 1 km 的陆地表面温度产品,是使用分裂窗算法由 MODIS31、32 波段发射率的线性组合计算得到. 其中通道亮温值是根据辐射度与 0.1 K 步长亮温的查找表来确定,需要的发射率是根据 MODIS 土地覆盖产品确定的.

1.3 土壤水分遥感方法

植被指数与温度空间模型法是在植被覆盖下土壤水分遥感的主要方法之一,它是基于植被指数和地表温度构建出地表温度-植被指数特征空间建立

的用于表示相对干旱程度的指数^[9]. 温度植被干旱指数(Temperature Vegetation Dryness Index, TVDI)是其中较常用的方法. 其计算公式为

$$I_{\text{TVDI}} = \frac{T_s - T_{s,\min}}{T_{s,\max} - T_{s,\min}}, \quad (1)$$

其中, T_s 是遥感影像上任意像元的地表温度(LST), $T_{s,\min}$ 表示研究区域内归一化植被指数(NDVI)为该像元 NDVI 时的地表最低温度,相应的, $T_{s,\max}$ 为其地表最高温度. $T_{s,\min}$ 、 $T_{s,\max}$ 可以通过 T_s -NDVI 特征空间对应的“湿边”和“干边”经线性回归拟合得到,其方程分别为

$$T_{s,\min} = a_1 + b_1 \times I_{\text{NDV}}, \quad (2)$$

$$T_{s,\max} = a_2 + b_2 \times I_{\text{NDV}}, \quad (3)$$

其中, a_1 、 b_1 为湿边拟合方程的回归系数, a_2 、 b_2 为干边拟合方程的回归系数,在湿边上 $I_{\text{NDV}} = 0$,在干边上 $I_{\text{NDV}} = 1$. 即 TVDI 计算公式可转化为

$$I_{\text{TVDI}} = \frac{T_s - (a_1 + b_1 \times I_{\text{NDV}})}{(a_2 + b_2 \times I_{\text{NDV}}) - (a_1 + b_1 \times I_{\text{NDV}})}. \quad (4)$$

1.4 土壤电阻率建模方法

在前期研究中,项目对不同地表覆盖类型下测得的土壤水分、土壤温度、可溶性盐总量、容重、有机质含量、阳离子交换量、pH 值以及 Na^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 K^+ 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- 、 Cl^- 、全氮和全铁含量等 16 个土壤电阻率影响因子进行了综合分析,得出研究区表层土壤电阻率影响最大的 4 个主要影响因子为土壤水分、土壤温度、土壤可溶盐总量与土壤阳离子交换量^[10]. 由于遥感手段直接获取土壤分层温度尚有一定难度,而地表温度与表层土壤温度具有极高的相关性,因此本文使用近似的地表温度(LST)代替表层土壤温度.

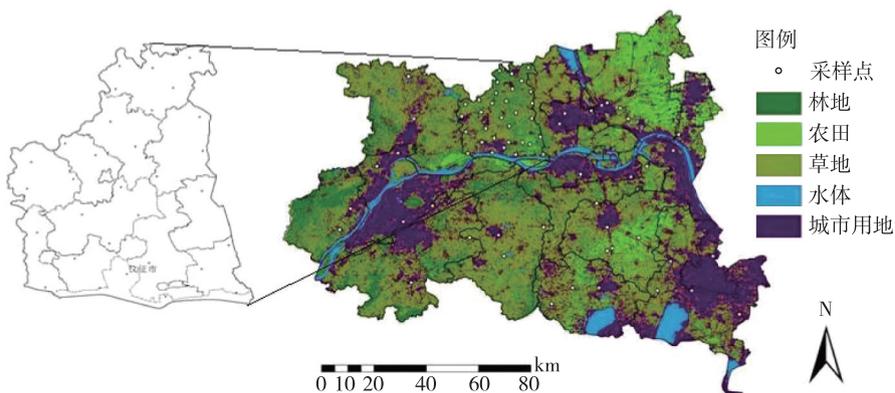


图 1 研究区采样点分布

Fig. 1 Distribution of sample sites in study area

PLSQM 模型是应用偏最小二乘(PLS)算法建立的二次多项式回归模型^[11]. PLSQM 模型是兼具多元线性回归分析、典型相关分析和主成分分析等功能的一种新型的多元统计数据分析方法,能克服普通线性回归模型中自变量之间的多重相关性及样本容量小于变量个数时无法进行回归建模等问题^[12]. 本文选用上述 4 个主要影响因子作为自变量,土壤电阻率作为因变量,在 DPS 软件中采用偏最小二乘二次多项式(PLSQM)回归模型对土壤电阻率进行建模估算,得到不同地表覆盖下土壤电阻率与其主要影响因子的定量关系,从而实现对土壤电阻率值的估算.

2 结果与分析

2.1 土壤水分遥感反演

在 ENVI 软件中,由 MODIS09A1 数据中的红光波段和近红外波段的反射率值,经过影像波段运算得到研究区 NDVI 空间分布. 将 MOD11A2 产品 LST 数据和得到的 NDVI 数据分别导入 ArcGIS 软件中进行栅格图层显示(图 2).

大量实验^[13]表明,当植被覆盖度由 20% 向 80% 增加时,其 NDVI 值随植物量的增加呈线性迅速增加,在此区间内,NDVI 对植被检测灵敏度最高. 因此,根据温度分布,分析温度随 NDVI 变化趋势,选取 NDVI 值在 0.2 ~ 0.8 之间最具有线性趋势区域进行拟合.

使用 IDL 编程提取研究区中相同 NDVI 值的所有像元对应的最高和最低地表温度值,从而构建出 6 月 20 日的 $T_{s,NDVI}$ 特征空间并进行简化处理,选取 NDVI 值在 0.2 ~ 0.8 范围内的像元进行干湿边的拟合,得到对应的线性方程:

$$T_{s,min} = 311.6 - 9.643 \times I_{NDV}, \quad (5)$$

$$T_{s,max} = 285.8 + 13.08 \times I_{NDV}, \quad (6)$$

$T_{s,min}$ 、 $T_{s,max}$ 拟合方程决定系数分别为 0.679 和 0.583,均达到显著水平($P < 0.05$). 由式(4)计算出 TVDI(图 3),TVDI 的值越接近于 0,表示土壤水分越高,相应的,TVDI 的值越接近于 1,表示土壤水分越低. 因此,TVDI 可以作为土壤水分监测的有效指标.

利用 60 个采样点实测土壤水分,与对应的 TVDI 值进行拟合,得到线性回归方程:

$$y = -22.5683 \times I_{TVD} + 38.2942. \quad (7)$$

根据方程由研究区 TVDI 值计算得到土壤水分(质量分数)分布(图 3),可以看出,TVDI 与土壤水分呈显著的反相关性,即 TVDI 值越小,土壤水分越大.

由检验点的各项精度评价指标(表 1)可以看出,地表温度反演值与实测值的相关系数为 0.57, MRE 和 RMSE 值分别为 15.66% 和 4.43,由各项精度评价指标可知,反演结果具有较高的精度. 土壤水分反演值与实测值的相关系数为 0.73, MRE 和 RMSE 值则分别为 19.66% 和 4.76,故其数据反演精度要略低于地表温度,总体看来,地表温度和水分反演的反演结果都具有较高的精度.

表 1 土壤水分和温度数据反演精度评价

Table 1 Accuracy assessment of retrieved soil moisture and temperature data

模型	R	MRE/%	RMSE
土壤水分	0.73*	19.66	4.76
地表温度	0.57*	15.66	4.43

*表示在 0.05 水平上显著相关.

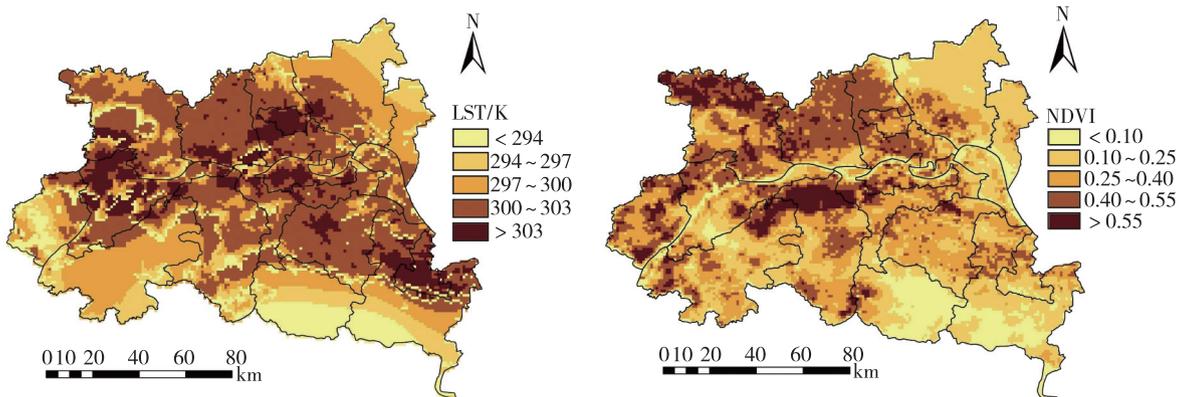


图 2 研究区地表温度与 NDVI 分布

Fig. 2 Spatial distribution of LST and TVDI in study area

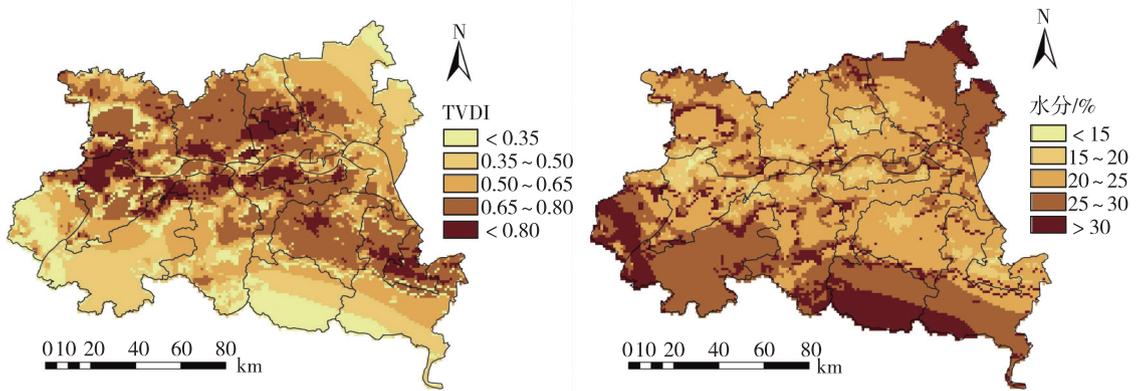


图3 研究区 TVDI 与土壤水分(质量分数)分布

Fig. 3 Spatial distribution of TVDI and topsoil moisture in study area

2.2 土壤可溶盐总量与土壤阳离子交换量空间模拟

在忽略土壤耕作、施肥等人为活动的影响,考虑土壤可溶性盐总量(TSS)和阳离子交换量(CEC)不变的条件下,利用GIS技术对70个实测样本进行空间模拟,作为该研究区估算土壤电阻率的2个常量.研究选择普通克里格法来对研究区TSS和CEC进行空间估值.根据精度评价指标,MS值越接近0,RMS值越小,RMSS值越接近1表示模型的拟合精度越高.选择土壤性质研究常用的圆形、球状、指数及高斯模型对2个数据集分别进行拟合对比得出,指数模型对TSS的模拟效果最好,MS、RMS和RMSS值分别为0.0866、0.1295和1.046,而高斯模型对CEC的模拟效果最好,MS、RMS和RMSS值分别为-0.0153、3.519和1.032.因此选择上述2种模型对TSS和CEC进行空间模拟,结果如图4所示.

2.3 土壤电阻率偏最小二乘二次多项式建模分析

研究采用土壤水分、地表温度、土壤可溶盐总量

与土壤阳离子交换量等4个主要影响因子对土壤电阻率进行偏最小二乘二次多项式(PLSQM)回归建模分析,建模驱动数据均为上文中选取的60个采样点的实测数据(草地18个、林地20个、农田22个),拟合参数如表2所示, X_1 、 X_2 、 X_3 和 X_4 分别对应土壤水分、地表温度、土壤可溶盐总量与土壤阳离子交换量4个自变量, R^2 为回归方程的决定系数,用来衡量所建模型对实测值的拟合程度, R^2 越接近1说明拟合效果越好, F 值为对方程的显著性检验,一般越大表示模型越显著, P 值为模型的显著性,由 F 值得到, P 值越小表示模型越显著.可以看出,草地、农田和林地3种地表覆盖类型的偏最小二乘二次多项式模型(PLSQM)的决定系数 R^2 分别为0.837、0.800和0.605,所建方程均达到极显著水平($P < 0.01$),表明PLSQM模型对土壤电阻率具有一定估算能力,但3种地表覆盖类型下模型拟合精度存在较显著差异,草地覆盖下,模型拟合精度相对为最高,农田覆盖下次之,林地覆盖下为最低.其原因可能是受到复

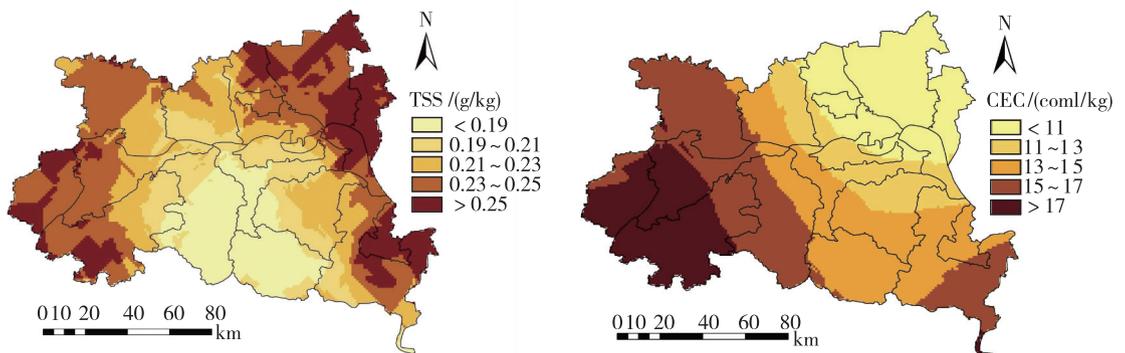


图4 研究区 TSS 与 CEC 空间模拟结果

Fig. 4 Spatial simulation of topsoil TSS and CEC in study area

表 2 土壤电阻率偏最小二乘二次多项式回归模型及参数

Table 2 Expressions and parameters of PLSQM regression models for soil resistivity

覆盖类型	表达式	R^2	F	P
草地	$Y = 9.076 + 1.264X_1 + 1.301X_2 - 1.948X_3 + 64.710X_4 - 0.031X_1^2 - 0.003X_2^2 + 0.108X_3^2 + 25.762X_4^2 + 0.010X_1X_2 - 0.003X_1X_3 - 1.674X_1X_4 - 0.079X_2X_3 - 1.424X_2X_4 - 0.511X_3X_4$	0.837	25.741	< 0.01
农田	$Y = -86.736 + 2.989X_1 + 2.184X_2 + 8.304X_3 - 54.893X_4 - 0.001X_1^2 + 0.001X_2^2 + 0.003X_3^2 + 9.899X_4^2 + 0.018X_1X_2 - 0.248X_1X_3 - 0.321X_1X_4 - 0.172X_2X_3 + 0.137X_2X_4 + 3.315X_3X_4$	0.800	21.972	< 0.01
林地	$Y = -43.388 + 2.955X_1 + 2.280X_2 + 0.373X_3 + 77.928X_4 - 0.053X_1^2 + 0.003X_2^2 + 0.045X_3^2 - 36.038X_4^2 - 0.041X_1X_2 + 0.011X_1X_3 + 0.572X_1X_4 - 0.085X_2X_3 - 1.179X_2X_4 - 2.705X_3X_4$	0.605	9.236	< 0.01

杂地形、坡度、坡向以及农林业活动等影响,降低了模型对土壤电阻值估算的精度,但其具体的影响机制还有待进一步研究. 该现象亦说明探究不同覆盖类型下土壤电阻率与其影响因子的定量关系来进行土壤性质的建模研究是具有一定意义的,将可以进一步提高模型的预测能力.

2.4 土壤电阻率遥感估算

分别利用所建立的 3 个 PLSQM 回归模型,在 ArcGIS 软件中将所得土壤水分、地表温度、土壤可溶盐总量与土壤阳离子交换量等 4 个主要影响因子的分布数据进行栅格计算,实现对研究区土壤电阻率的数值模拟. 对 3 组(草地、林地、农田)土壤电阻率估算结果按照各自对应的植被覆盖类型分别裁切、合并,从而得到 2010 年 6 月 20 日研究区土壤电阻率 PLSQM 估算结果(图 5).

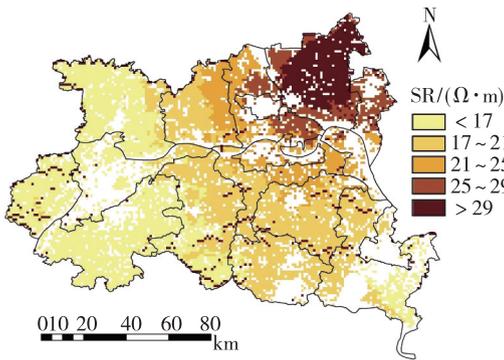


图 5 PLSQM 方法对研究区表层土壤电阻率的估算结果 (SR 为土壤电阻率)

Fig. 5 Estimation result of topsoil resistivity in study area based on PLSQM models (SR is soil resistivity)

的电阻率空间分布规律呈现东北部土壤电阻值高,西南部低的空间格局. 其中,高值区主要分布于扬州市东部、江都市以及泰州市市辖区一带. 另外,表层土壤电阻率的低值区主要出现在研究区西部及中南部的大部分区域,并且研究区西南部的估算值均要略低于其余低值区域. 这与土壤水分与土壤温度高低密切相关. 有研究表明,作为影响土壤电阻率 2 个最主要的因子,土壤水分低于 75% 时,土壤电阻率随土壤水分的增加而减小^[14]. 由于研究区所有采样点土壤水分均远小于 75%,并且采样期间高值地区天气情况均为晴天,故导致其土壤水分较低,而土壤温度较高;反之,低值区域大都为阴、多云天气,故其土壤水分较高,而土壤温度较低,所以,土壤电阻率呈现此分布格局.

2.5 土壤电阻率估算精度分析

提取之前选取的用于验证的 10 个采样点(草地 6 个、林地 2 个、农田 2 个)处的 PLSQM 模型估算结果,通过计算检验点估算值与实测值的相关系数、平均相对误差(MRE)和均方根误差(RMSE)等精度指标(表 3),对该方法的估算精度进行评价,根据方程估算得到的土壤电阻率值与实测值之间的比较如图 6 所示.

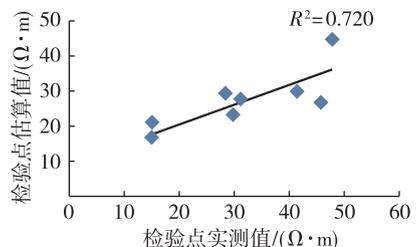


图 6 PLSQM 方法表层土壤电阻率估算值和实测值的比较
Fig. 6 Comparison between simulated and measured topsoil resistivity results based on PLSQM method

偏最小二乘二次多项式法(PLSQM)估算得到

表3 PLSQM模型土壤电阻率估算的精度分析

Table 3 Accuracy assessment of soil resistivity predicted by PLSQM model

模型	R	MRE/%	RMSE
PLSQM	0.85*	19.02	7.79

*表示达到0.01的极显著水平

由检验点估算值与实测值的相关散点图可知, PLSQM方法下检验点的分布基本集中于回归趋势线附近,表明估算值与实测值的相关性较高,估算效果较好。

表3结果表明, PLSQM模型的估算值与实测值的相关系数达到0.85,平均相对误差(MRE)为19.02%,均方根误差(RMSE)为7.79。总体来看, PLSQM模型由于结合了主要影响因子的变化,并考虑了不同地表覆盖类型下土壤电阻率的差异,估算结果较接近于实际情况,因此具有较强的土壤电阻率估算能力及应用潜力。

3 小结与讨论

3.1 小结

本文尝试引入偏回归建模方法对应用和服务于雷电研究的土壤电阻率值进行估算,结果表明,该方法非线性映射分析能力出色,是解决复杂系统非线性问题的有效手段,所建偏最小二乘二次多项式(PLSQM)模型精度较高,能较精确地反映各相关因子对土壤电阻率的影响,具有一定的应用价值。

由于土壤水分和土壤温度是土壤变化较快的因子,且难以获取,因此本实验采用遥感反演方法获得地表温度和土壤水分,并在建模中用地表温度代替土壤温度,获得了较高的土壤电阻率估算精度,为土壤电阻率的实时及准实时估测与制图提供了新的方法与途径。

3.2 讨论

实际应用时,由于遥感资料因受卫星运行周期和云的影响,难以获得更高时间序列资料,因而影响资料应用,要达到实时或准实时对土壤电阻率进行估算或模拟,需要更加先进高效的遥感手段,如采用同化方法,与陆面模式相结合,以获得具有更高时间分辨率的土壤温度和土壤水分等土壤电阻率影响参数数据。目前,该方法反演精度有待提高,需要更深入研究。另外,试验中遥感探测资料与实际观测时刻不同,导致在用实测数据进行验证时会产生误差,影响计算的结果,因此有待进一步研究。

致谢:吉曹翔、王维、吴猛、白鹤鸣、杨辰、陈璐、王平等同学参加了野外调查,在土壤样品采集工作中给予了很大帮助,特此致谢!

参考文献

References

- [1] 李志江,刘文奇,孙丽. 防雷设计中土壤电阻率及其测量[J]. 辽宁气象,2001(4):36-38
LI Zhijiang, LIU Wenqi, SUN Li. Soil resistivity and its measurement for lightning protection design[J]. Liaoning Meteorological Quarterly, 2001(4):36-38
- [2] 林义成,丁能飞,傅庆林,等. 土壤溶液电导率的测定及其相关因素的分析[J]. 浙江农业学报,2005,17(2):83-86
LIN Yicheng, DING Nengfei, FU Qinglin, et al. The measurement of electric conductivity in soil solution and analysis of its correlative Factors[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2005, 17(2):83-86
- [3] 段旭,王彦辉,徐丽宏,等. 六盘山香水河小流域典型坡面的土壤电阻率空间变异[J]. 土壤学报,2011,48(5):912-921
DUAN Xu, WANG Yanhui, XU Lihong, et al. Spatial variation of soil electric resistivity of a typical slope in the Xiangshuihe watershed of Liupan Mountains, Northwest China[J]. Acta Pedologica Sinica, 2011, 48(5):912-921
- [4] Samouëlian A, Cousin I, Tabbagh A, et al. Electrical resistivity survey in soil science: A review[J]. Soil & Tillage Research, 2005, 83(2):173-193
- [5] 于小军,刘松玉. 电阻率指标在膨胀土结构研究中的应用探讨[J]. 岩土工程学报,2004,26(3):238-243
YU Xiaojun, LIU Songyu. Researches on application of electrical resistivity indices to the microstructure of expansive soils[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2004, 26(3):238-243
- [6] 余东. 土石坝渗漏的电阻率成像诊断试验研究[D]. 重庆:重庆交通大学河海学院,2010
YU Dong. Experimental research on resistivity tomography diagnosis of earth-rock fill dam leakage[D]. Chongqing: School of River & Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong University, 2010
- [7] 刘光崧,蒋能慧,张连第,等. 土壤理化分析与剖面描述[M]. 北京:中国标准出版社,1996:76-90
LIU Guangsong, JIANG Nenghui, ZHANG Liandi, et al. Soil physical and chemical analysis & description of soil profiles[M]. Beijing: Standards Press of China, 1996:76-90
- [8] 国防科工委科技与质量司. 电磁学计量[M]. 北京:原子能出版社,2002:67-84
Department of Science, Technology and Quality, Commission of Science Technology and Industry For National Defense. Electromagnetic measurement[M]. Beijing: Atomic Energy Press, 2002:67-84
- [9] 魏国栓,沈润平,丁国香. 仪征地区农田深层土壤湿度遥感反演初探[J]. 遥感技术与应用,2008,23(1):36-41
WEI Guoshuan, SHEN Runping, DING Guoxiang. Primary

- ry studies on estimating soil moisture in deep layer of farmland by remote sensing in Yizheng[J]. *Remote Sensing Technology and Application*, 2008, 23(1):36-41
- [10] 刘磊. 土壤电阻率估算及影响因素研究[D]. 南京:南京信息工程大学遥感学院, 2011
LIU Lei. Studies on the estimation and the influencing factors of soil resistivity[D]. Nanjing: School of Remote Sensing, Nanjing University of Information Science & Technology, 2011
- [11] 王惠文. 偏最小二乘回归方法及其应用[M]. 北京:国防工业出版社, 1999:12-25
WANG Huiwen. Partial least squares regression method and its application[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1999:12-25
- [12] 卓金武, 魏永生, 秦健, 等. Matlab 在数学建模中的应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2011: 111-118
- ZHUO Jinwu, WEI Yongsheng, QIN Jian, et al. Application of Matlab in mathematical modeling[M]. Beijing: Beihang University Press, 2011:111-118
- [13] Carlson T N, Gillies R R, Perry E M. A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurements to infer surface soil water content and fractional vegetation cover[J]. *Remote Sensing Reviews*, 1994, 9(1/2):161-173
- [14] 李良福, 郭在华, 覃彬全, 等. LQG-1 型土壤电阻率远程自动测量装置研制[J]. *气象科技*, 2009, 37(4): 434-438
LI Liangfu, GUO Zaihua, QIN Binquan, et al. Development of LQG-1 soil resistivity automatic measuring device[J]. *Meteorological Science and Technology*, 2009, 37(4):434-438

Studies on estimation of soil resistivity based on remote sensing

LI Bolun^{1,2} SHEN Runping^{1,2} YAN Jing¹ LIU Lei¹ HUANG Xiaolong¹

¹ Key Laboratory of Meteorological Disaster of Ministry of Education,

Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

² School of Remote Sensing, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract Soil resistivity of Nanjing and its surrounding 15 cities/counties in the middle and lower reaches of Yangtze River is estimated, using an integrated method of field survey, laboratory chemical analysis and remote sensing retrieval. Four main influencing factors of soil resistivity, including soil moisture, soil temperature, soil soluble salt content and cation exchange capacity (CEC), were chosen to be the main factors of the estimation model. Spatial distribution of soil moisture and soil temperature were retrieved from MODIS data. A partial least squares quadratic model (PLSQM) is established to estimate soil resistivity under different land cover types. The correlation coefficient between estimated and observed soil resistivity values is 0.85, with mean relative error (MRE) being 19.02% and root mean square error (RMSE) being 7.79. Soil resistivity, estimated by PLSQM method, differs obviously under land cover of grass, crop, or forest. The proposed PLSQM method can estimate soil resistivity with high accuracy, thus has a good application potential.

Key words soil resistivity; land cover types; temperature vegetation dryness index (TVDI); partial least squares regression