土壤的多角度偏振反射光谱研究*

赵 虎[1] 晏 磊[1] 赵云升[2]
(1 北京大学遥感与地理信息系统研究所, 北京 100871)
(2 东北师范大学地理系, 长春 130024)

MULTI-ANGLE POLARIZED REFLECTANCE SPECTRUM OF SOIL

Zhao Hu[1] Yan Lei[1] Zhao Yunsheng[2]
(1 *Institute of Remote Sensing and GIS, Peking University, Beijing* 100871, *China*)
(2 *Dept. of Geography, Northeast Normal University, Changchun* 130024, *China*)

关键词　土壤; 多角度; 偏振; 反射光谱
中图分类号　S151.92　　文献标识码　A

在利用多波段、多时相、高光谱的遥感数据来提高遥感对地物的识别能力的同时[1], 人们注意到角度信息在遥感图像识别和分类中起到的影响和贡献[2], 即地物在 2π 空间上的三维光谱特征。在早期的遥感, 主要采取垂直收集对地观测数据。根据不同的地物具有不同的吸收、反射和发射电磁波的能力, 来分辨地球表层的地物分布。这里基于一个假定: 假定目标地物的反射光谱在 2π 空间内分布是一致的(朗伯体)。随着遥感的深入, 这种假定引发的结论与实际相差较大。而且在单一角度下常出现不同地物对应相同的光谱反射率, 上述方法存在误判。如果从多个角度来观测地物, 不同地物在多角度下具有相同光谱反射率的几率会大大缩小。其次不同地物的物质成分、颜色、结构、构造的不同, 其光谱的偏振态以及在 2π 空间的三维光谱特征都存在差异。通过这些差异, 对于精确识别地物, 提高遥感的实际应用具有重要意义。

本文选择地表最常见、最重要的地物——土壤作为对象, 研究它在 2π 空间内的多角度偏振反射光谱特征。

1 土壤样本的制作和测量

采用黑土、砖红壤、棕壤、河沙冲积土、泥炭土、黑钙土、黑垆土、暗棕壤 8 类土壤作为被测土壤样本。为了标准化和具有可比性, 把上述土壤样本装入样本盒, 用天平称重。然后放在干净的玻璃板上, 每次用滴定管向每堆土壤加水搅匀, 自然滋润 30 min, 然后在测量时将每一堆土壤样本全部收集到样本盒中, 称重并计算其含水量。每一堆土壤样本都如此处理, 经测定它们的含水量依次为 0%(放在烘干箱里烘干)、12%、18%、22%。用玻璃片成 45° 角把土壤样本刮平、压平后测量。

测量所用的偏振光谱测量仪是由中国科学院长春光学精密机械研究所研制。该仪器由光源系统、二向反射偏振光谱计系统和自动控制系统三部分组成。测量方法是将不同的样品放置在二向光度计中央的样品台上[3], 调整好水平位置和高度, 然后打开光源, 将光源前的偏振片旋转到所需的角度, 对每个样本都按 A(690~760 nm) 和 B(760~1 100 nm) 两个波段分别测量其无偏振片、0° 偏振、90° 偏振的 2π 空间的反射光谱值, 同时改变入射光的光源高度角, 测定不同高度角时的反射光谱值。这样以入射角、波段、偏振光、含水量、土壤类型等 5 个因子为自变量, 研究它们对土壤在 2π 空间反射光谱的影响规律。

* 国家自然科学基金项目(49771057) 资助
作者简介: 赵 虎(1974~), 男, 北京大学遥感与地理信息系统研究所在读博士生, 从事遥感与 GIS 研究。E-mail: Arthur@water.pku.edu.cn
收稿日期: 2003-04-16; 收到修改稿日期: 2003-06-25

2　土壤的偏振反射特性分析

2.1　土壤的偏振反射光谱在 2π 空间的一般特征

图 1 是含水量为 18% 的黑土在 B 波段、光线入射角为 50°(以天顶角为 0° 计算)、不加偏振片的情况下, 横坐标为方位角, 从 0° ~ 360° 变化, 探测角分别为 0°、20°、40°、60° 的反射光谱曲线(实测数据含 10°、30°、50° 的曲线, 为了简化图 1, 省略了这些曲线) 。图 2 是该反射波谱曲线在 2π 空间的立体图。

从图 1 可以看出, 土壤的偏振反射光谱与方位角成对称分布, 并且在方位角 0° ~ 130° 和 230° ~ 360° 两个区间内不随方位角的变化而变化, 在这个区间, 土壤的光谱表现出朗伯体的特性, 而在 130° ~ 230° 区间上, 波谱曲线出现了波峰, 起伏程度随探测角的不同而变化。

当探测角为 0°、10° 时, 光谱曲线不随方位角的变化而变化(从理论上讲, 0° 波谱曲线是一条毫无波动的直线) 。当探测角为 20°、30° 时, 光谱曲线在 180° 附近出现弱小的峰值, 当探测角为 40°、50°、60° 时, 光谱曲线在 180° 附近出现强烈的峰值, 其中以 60° 的光谱曲线最为强烈。

其次从光谱数据上分析, 在没有出现波峰的区域中, 探测角从 0° 到 40° 获得的能量没有显著差异, 其中 0° 获得的能量最大, 其能量强度均值为 0.88 mA, 而对于探测角为 50°、60° 时, 其获得的能量显著减少, 只相当于前者的 1/2 左右。因此在图 2 中, 它们的能量曲面在这个区域中被探测角为 40° 的能量曲面遮盖, 而在出现波峰的区域中, 其能量曲面从遮盖中尖锐地伸出。

2.2　土壤的偏振反射光谱与光线入射角的关系

图 3 和图 4 为黑土在 A 波段, 入射角分别为 50°、60°, 同时加上 90° 偏振片的反射波谱曲线图。

从图 3 和图 4 可以看出, 它们与图 1 有相似的表现规律, 其峰值排列顺序都依次为 60°、50°、40°、30°、20°、10°。而且在图 3 中, 10° 和 20° 曲线几乎重合, 而在图 4 中, 10°、20°、30° 三条曲线也几乎重合在一起。

上述结果表明, 光源入射角对波谱曲线影响极大, 且在与光源入射角相等的反射角方向, 土壤发生了明显的镜面反射。这个作用产生一个以反射光的光轴为主轴的圆锥波谱曲线, 因此表现在不同的探测角都有一定的波峰起伏, 并且各探测角的光谱波峰值是按圆锥的主轴逐渐向四周减小的。所以随着入射角的增大, 其远离入射角的光谱曲线容易重合。

2.3　土壤的偏振反射光谱与波段的关系

我们还测定了在 A 波段的, 其它条件都相同的土壤光谱。结果表明在 A 波段, 波谱曲线同样发生了起峰(极化) 现象。这个现象表明, 土壤的反射光谱在光线大角度入射时随空间角度变化出现的起峰(极化) 现象是土壤(地物) 固有的空间光谱规律, 与入射光源的波长没有显著关系。它们最显著差别仅在于获得的能量不同。在 A 波段, 获得的能量强度最大为 1.7 mA, 一般为 0.2 mA 的能量级; 而在 B 波段, 获得的能量强度最大为 5.0 mA, 一般为 0.9 mA。这显示了在这两个波段的能量吸收、反射的差异。

2.4　土壤的偏振反射光谱与偏振光的关系

由于光波是横波, 因此光具有偏振性。当太阳光经过光滑的表面、平静的水面, 经反射后的光具有一定的偏振性。它的特性主要表现在: 垂直于反射光的那个平面, 光能量分布不均匀, 且大多呈椭圆分布; 仅当以布儒斯特角入射时, 反射光是线性偏振光[4]。这是一个需要深入分析的问题, 不同地物在相同光照条件下, 是否在偏振面上表现出差异? 作者测定了不加偏振片和加上偏振片, 且在相互垂直的两个角度(0° 和 90°) 的土壤的反射光谱特性。

从实验结果看, 除了都表现出在方位角 180° 附近出现峰值的一般规律, 更重要的是在能量上出现了很大的差异, 在不加偏振片的波谱曲线, 其最大值为 1.8 mA, 而在 90° 偏振下能量强度为 1.2 mA, 在 0° 偏振的情况下, 能量强度仅仅只有 0.3 mA。这证实了经过土壤反射后的光确实具有偏振性, 但在垂直于反射光(波动方向) 的那个平面, 光的能量分布(椭圆) 还不能确定。在加有偏振片(0° 和 90°) 的曲线只能确定这些椭圆中的相对应的一对共轭直径。作者将在后续的文章中专门对此问题作详细的阐述。

2.5　土壤含水量对土壤偏振反射光谱的影响

土壤的含水量对土壤的反射光谱有巨大的影响。从图 5 可以看出, 干燥的土壤(0%) 和含水量为 12% 的土壤不存在偏振反射特性, 表现出朗伯体的部分特性, 但随着土壤含水量的增加, 土壤的偏振反射急剧增大。其次比较图 5 和图 6, 在不同的探测角, 土壤的偏振反射波谱也有明显的差异。

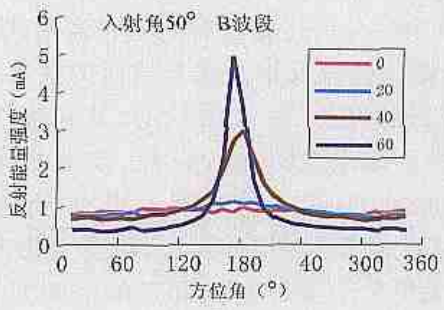

图 1 不加偏振片的黑土波谱曲线图

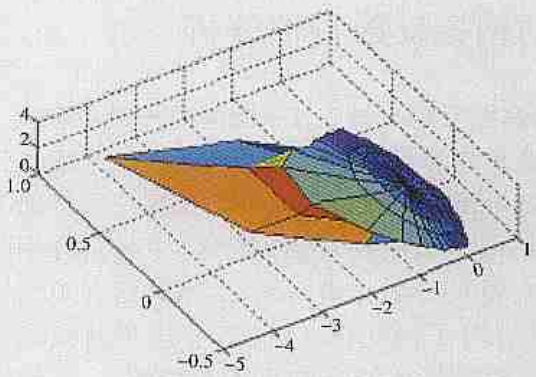

图 2 不加偏振片的黑土波谱曲线立体图

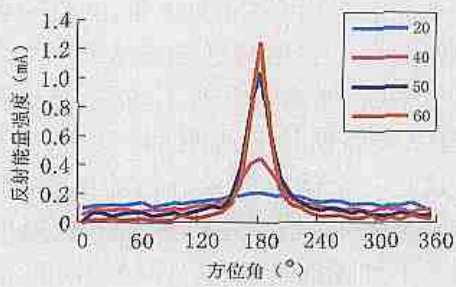

图 3 偏振片为 90° 的黑土波谱曲线图
（入射角为 50°，A 波段）

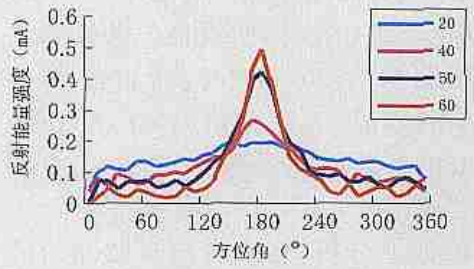

图 4 偏振片为 90° 的黑土波谱曲线图
（入射角为 60°，A 波段）

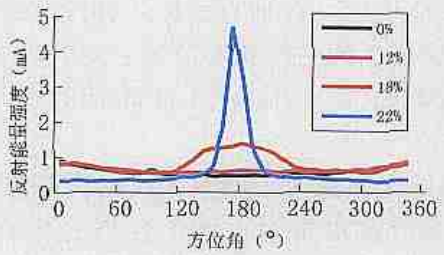

图 5 不同含水量的黑土波谱曲线图（入射角为 50°、B 波段、探测角为 60°、偏振片 90°）

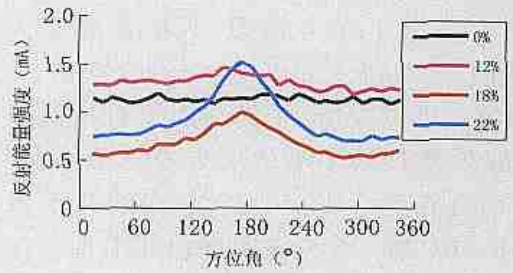

图 6 不同含水量的黑土波谱曲线图（入射角为 50°、B 波段、探测角为 30°、偏振片 90°）

由于土壤含水量对植被长势和生物量有重要影响, 判断土壤的含水量一直是遥感学领域中研究的热点问题。而土壤含水量对土壤的偏振反射光谱影响强烈, 作者将对此问题继续做深入研究。

2.6　土壤类型对土壤偏振反射光谱的影响

对黑钙土、砖红壤、泥炭土等其它土壤类型做同条件测试, 结果表明土壤尽管在成土母质、土壤成分等方面不同, 但它们的波谱曲线有很多共性: 都在方位角 140°~ 220°之间出现尖锐的峰值, 只是峰值的高低稍有不同。但是与非土壤物质(如白板, 其主要物质为MgO; 岩石等) 在相同条件下的波谱曲线有明显的差异。

3　结　论

综上所述, 可以看出土壤在 2π 空间的反射波谱非常复杂, 它受光线入射角、土壤水分含量的强烈影响, 同时还受波段、土壤种类等其它因子的影响。形成这种波谱曲线的机理可以看作是由两个方面的物理过程叠加形成的。首先可以看作一个标准的朗伯体波谱图形(半球形) 发生变形, 变形的原则是在相同的高度角有相同的光谱反射值, 不同的高度角有不同的光谱反射值, 对于完全干燥的土壤(0%) 就是一个底下口径小, 上面口径大的半球体。而对不同含水量的土壤, 由于在土壤中水的作用下, 发生了强烈的镜面反射, 产生一个以反射光的光轴为主轴的圆锥形波谱曲线, 这样与上面的下小上大的半球体叠加起来形成图 2 所示的空间波谱曲线。此时口径小的波谱曲面(50°, 60°) 在方位角为 180°的附近从 40°的曲面遮盖下地伸出, 而在其它方位角的区域中, 依然被遮盖。

总之, 土壤在 2π 空间中蕴含着丰富的潜在的角度信息, 且当光线以大角度入射时, 其空间角度信息的差异性比较明显。利用这种差异, 对提高遥感在土壤含水量、土壤种类的实际判别应用中有重要意义。

参 考 文 献

[1] 浦瑞良, 宫鹏. 高光谱遥感及其应用. 北京: 高等教育出版社, 2000

[2] 赵云升, 黄方, 金伦, 等. 植物单叶偏振反射特征研究. 遥感学报, 2000, 4(2): 131~ 135

[3] 中国科学院长春光学精密机械研究所. 专利权人: 金锡峰, 乔德林, 周素香. 专利号: 96239489.0. 专利授权公告日: 1998 年 3 月 4 日

[4] 张之洞. 光的偏振. 北京: 高等教育出版社, 1985

[5] Li X W, Strahler A H. Geometric optical modeling of a coniferous forest canopy. IEEE Trans. Geosco. Remote Sensing, 1985, 23: 207~ 221

[6] Yan L, Zhao H. Structure control for the huge system on resources, environment and ecology. Advances in Systems Science and Applications, 2000, 2: 145~ 148

[7] 夏卫生, 雷廷武, 刘贤赵, 等. 土壤水分特征曲线的推算. 土壤学报, 2003, 40(2): 311~ 315

[8] 卜兆宏, 唐万龙, 杨林章, 等. 水土流失定量遥感方法新进展及其在太湖流域的应用. 土壤学报, 2003, 40(1): 1~ 9

[9] Bicheron P, Leroy M, Hautecoeur O. Enhanced discrimination of boreal forest covers using directional signatures measured by the airborne POLDER instrument. Journal of Remote Sensing, 1997, 1 (Suppl): 106~ 110