

# 白城地区盐碱地土壤性质与地质雷达信息应用研究

徐白山, 田 钢, 曾昭发, 薛 建, 王者江

(吉林大学 地球探测与信息技术学院, 吉林 长春 130026)

**摘 要:** 传统的盐碱土壤分类及含量的划分方法是通过采样点土壤样品化验统计值来确定。因工作量大和费用高, 通常不能对研究对象进行连续、系统的了解。提出了研究地质雷达信息与土壤含盐量、pH 值、有机质含量、含水量等参数的相关关系及探测与检测技术方法。理论研究表明, 土壤的物理和化学特性变化差异可以使探测的雷达波振幅及波形、频谱特性等波的几何学与动力学特点产生响应。研究结果显示这种方法是一种直观快速的可行方法, 可为今后生态环境治理因素评价和遥感资料的解译提供地面探测的雷达电磁波频谱与确定不同颜色土壤单元所对应的盐碱土壤含盐量、pH 值、有机质含量、含水量的依据。

**关键词:** 地质雷达; 盐碱地; 含盐量

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2002)02-009-04

中图分类号: S156.4

## Application of GPR Information to Salinized Soil Properties Study in Baicheng Area of Jilin Province

XU Bai-shan, TIAN Gang, ZENG Zhao-fa, XUE Jian, WANG Zhe-jiang

(College of Geo-exploration and Information Technology, Jilin University, Changchun 130026, Jilin Province, China)

**Abstract** The conventional identification of salinized soil is based on the laboratory results of soil specimen. It can not be applied continuously to the investigating area inch by inch due to high cost and heavy work of dense sampling rate. However, the correlation among Ground Penetration Radar(GPR) information and soil salinity, pH value, organism and water content enable us to formulate a method with which parameters above specified may be investigated. Theoretical study show that the existence of variations in soil chemical and physical properties results in correlated response in geometry and dynamics in GPR waveforms and their amplitude. The field experiment indicates that GPR method would be a feasible technique with fast speed for evaluation of environmental properties of soil salinization.

**Keywords** GPR; saline land; saline content

目前,我国一些地区的盐碱化与沙化范围扩大速度正在增快<sup>[1]</sup>,已引起各界人士的关注。在吉林省白城地区应用地质雷达解释盐碱沙化产生的机理和迅速、准确地掌握盐碱地土壤含盐量、pH 值、有机质含量、含水量及其动态规律等问题,是一种新的尝试。研究表明,地质雷达不仅对解决该地区盐碱土分布及状态的探测与监测可提供一个直观的快速可行方法,而且还可以寻找出地质雷达信息与土壤含盐量、pH 值、有机质含量、含水量等参数的相关关系。

### 1 区内盐渍土特征

以吉林西部白城市地区通榆县西学堂实验地区为例,浅层地下水都储存在第四纪松散沉积物中,因地处半封闭式的蓄水盆地,低平的地形地貌特点使地

下水流交替滞缓,使不同程度盐碱土呈斑状分布于测区。吉林西部主要为低平原区土壤盐分的水迁移类型主要是垂直排泄的积盐型。土体中盐分受淋溶作用自上而下运动,结果使表土脱盐形成脱盐层。在蒸气带至饱和带的一个单元体中,存在着毛细管蒸发面和潜水面 2 个不规则的曲面,曲面的变化与土体水分的补排量及其方式也决定了土壤层中的盐分聚集情况和迁移规律<sup>[2]</sup>。

### 2 地质雷达数据采集和数据处理<sup>[3]</sup>

对研究区内的碱泡边缘、耕地、草地、林地、沙地、土路等不同地表盐化区段进行了探测,辅之以化探分析采样点,并测试了不同地表土壤的有机质含量、含盐度、pH 值、含水量。为使电磁波能量有效穿透目的

收稿日期: 2002-01-08

资助项目: 吉林省科委项目资助(吉科合字 970542号)

作者简介: 徐白山(1961-),男(汉族),博士生,东煤地质局高级工程师,主要从事工程与环境地球物理勘探等研究。电话: 13074305043, E-mail: xbs0956-cr@sina.com

层和满足分辨率的要求,选用了美国 GSSI公司的 SIR-2型地质雷达组合天线,观测系统为离散点测方式,记录长度 250 ns,32次垂直迭加。在不同的地表地段选择了剖面线 20条,点距 10m,地形图定点,钢尺丈量,罗盘定向。槽探工程 15 m<sup>3</sup>,化探标本采样深度 0.5m。采集的地质雷达数据基本代表了该区内地表上明显变化的盐碱土主要类型和土壤层。依据雷达记录图形和采集的数据进行数字处理和图像解释<sup>[4]</sup>。数字处理主要是对所记录的波形做提高信噪比、突出目的体,从而得到易识别的雷达图像。在雷达图像的基础上,可根据雷达波的振幅及波形、传播时间、频谱特性和相位特征等波的几何学与动力学特点对传播介质的特性进行分析解释。雷达波在土壤的物理特性(结构、密度、温度)和化学特性(有机质、盐类含量、含水量、pH值)的突变面上产生了不同特征的电磁波的反射<sup>[5]</sup>,从而形成了明显的雷达剖面图像。

### 3 综合分析解释

#### 3.1 地球化学分析采样点数据

地球化学分析的含盐量随深度变化(图 1)。表土层中的可溶性盐处于淋溶状态,导致表层含盐较少。由表层向下含盐陡升,矿化度大于 19/L,部分盐土中

Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>离子含量较高,Na<sup>+</sup>离子的浓集中心位于土壤表层以下(10~30 cm),盐浓集中心向下含盐量呈递减趋势,其中 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>离子含量、可溶性 Na<sup>+</sup>离子和代换性 Na<sup>+</sup>离子相对含量也有一定波动,pH值较高,与 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, Na<sup>+</sup>离子含量相一致。电子探针分析结果,层中粗砂呈无序排列,粉沙黏团充其孔隙,使土壤形成紧密的结构,透水性不好。因此两者趋势吻合,相互佐证了盐碱土层的结构变化<sup>[6]</sup>。为了解地层化学分析样品的含盐量随深度变化情况,各点的采样按 2层(0.20m和 0.4m)或 1层(0.3m)深度分别进行。具体化验结果值见表 1。通过统计我们发现在所采的有限样品中按各化验值可划分为这 3类,第 1类如耕地、黄褐土基本为壤土和黏土,有机质含量大于 1%,pH值小于 8.5,水溶盐总量小于 2‰,含水量小于 12%。第 2类为盐化程度较轻的土壤如草甸土、灰黑草甸土、褐碱土、灰褐草甸土、灰褐碱土、灰白砂碱土、黄褐沙土,有机质含量在 0.6%~1%,pH值在 8.5~10,水溶盐总量在 2‰~4‰,含水量大约在 12%~15%。第 3类为盐碱化较重的盐渍土如黄褐草甸土、灰白草甸土、灰黑碱土、灰白碱土、灰褐含沙碱土,有机质含量小于 0.6%,pH值大于 10,水溶盐总量大于 4‰,含水量大于 15%。采样值的统计分类见表 2。

表 1 地球化学分析样品化验结果

样品名称	土壤类型	有机质含量 %			pH值			水溶盐总量 ‰			含水量 %		
		20 cm	40 cm	30 cm	20 cm	40 cm	30 cm	20 cm	40 cm	30 cm	20 cm	40 cm	30 cm
B	耕地	1.43		1.43	7.64		7.64	1.12		1.12	10.40		10.40
C	耕地	1.55		1.55	7.93		7.93	0.83		0.83	15.90		15.9
D	耕地	1.24		1.24	8.04		8.04	0.65		0.65	12.44		12.44
E	草甸土	1.33	1.06	1.20	8.86	8.72	8.79	2.67	1.76	2.22	12.37	12.60	12.49
F	灰黑草甸土	0.93	0.63	0.78	10.31	9.86	10.09	4.66	9.46	7.06	12.55	15.99	14.27
G	黄褐草甸土	0.42	0.37	0.395	9.47	9.41	9.44	6.89	6.43	6.66	13.42	13.18	13.30
H	灰白草甸土	0.39	0.39	0.39	10.15	10.04	10.10	6.03	2.65	4.34	13.94	14.61	14.28
I	灰黑碱土	0.56	0.56	0.56	10.16	10.03	10.10	1.89	4.87	3.38	16.28	16.96	16.62
J	灰黑碱土	0.34	0.63	0.49	9.78	9.66	9.72	3.06	6.78	4.92	18.36	18.82	18.59
K	灰白碱土	0.43	0.20	0.32	9.78	9.71	9.75	5.25	5.31	5.28	17.70	17.80	17.75
L	灰褐碱土	0.66	0.65	0.66	9.56	9.48	9.52	3.21	5.52	4.37	18.36	18.82	18.59
M	灰褐含沙碱土	0.35	0.46	0.41	10.03	9.87	9.95	7.17	3.37	5.27	19.16	19.04	19.10
N	灰白砂碱土	0.66	0.57	0.62	8.98	8.92	8.95	4.67	2.76	3.72	20.24	19.37	19.81
O	灰白碱土	0.38	0.31	0.35	9.87	9.78	9.83	4.30	3.66	3.98	17.4	17.42	17.41
P	褐碱土	0.87	0.81	0.84	9.43	9.21	9.32	5.04	1.74	3.39	14.95	18.65	16.80
Q	灰褐草甸土	0.66		0.66	9.48		9.48	3.87	3.87	3.87	12.92		12.92
R	黄褐沙土	0.83		0.83	9.25		9.25	3.41	3.41	3.41	6.30		6.30
S	黄褐沙土	0.42		0.42	9.94		9.94	3.30	3.30	3.30	13.15		13.15
T	黄褐土	1.11		1.11	8.12		8.12	0.74		0.74	8.06		8.06

表 2 采样值统计分类

样点土类	有机质 %	样点土类	pH值	样点土类	含盐总量 ‰	样点土类	含水量 %
耕地	1.55	耕地	7.64	耕地	0.65	黄褐沙土	6.30
耕地	1.43	耕地	7.93	黄褐土	0.74	黄褐土	8.06
耕地	1.24	耕地	8.04	耕地	0.83	耕地	10.40
草甸土	1.20	黄褐土	8.12	耕地	1.12	耕地	12.44
黄褐土	1.11	草甸土	8.79	草甸土	2.22	草甸土	12.49
褐碱土	0.84	灰白砂碱土	8.95	黄褐砂土	3.3	灰褐草甸土	12.92
黄褐沙土	0.83	黄褐沙土	9.25	灰黑碱土	3.38	黄褐砂土	13.15
灰黑草甸土	0.78	褐碱土	9.32	褐碱土	3.39	黄褐草甸土	13.30
灰褐草甸土	0.66	黄褐草甸土	9.44	黄褐沙土	3.41	灰黑草甸土	14.27
灰褐碱土	0.66	灰褐草甸土	9.48	灰白砂碱土	3.72	灰白草甸土	14.28
灰白砂碱土	0.62	灰褐碱土	9.52	灰褐草甸土	3.87	耕地	15.90
灰黑碱土	0.56	灰黑碱土	9.72	灰白碱土	3.98	灰黑碱土	16.62
灰黑碱土	0.49	灰白碱土	9.75	灰白草甸土	4.34	褐碱土	16.80
黄褐砂土	0.42	灰白碱土	9.83	灰褐碱土	4.37	灰白碱土	17.41
灰褐含沙碱土	0.41	黄褐砂土	9.94	灰黑碱土	4.92	灰白碱土	17.75
黄褐草甸土	0.40	灰褐含沙碱土	9.95	灰褐含沙碱土	5.27	灰黑碱土	18.59
灰白草甸土	0.39	灰黑草甸土	10.09	灰白碱土	5.28	灰褐碱土	18.59
灰白碱土	0.35	灰白草甸土	10.10	黄褐草甸土	6.66	灰褐含沙碱土	19.10
灰白碱土	0.32	灰黑碱土	10.10	灰黑草甸土	7.06	灰白砂碱土	19.81

3.2 地质雷达资料与各参量的关系

选出 19 个耕地—草甸土—碱滩—草甸土—含沙碱土—沙土顺序化探采样点和地质雷达在采样点上的 FFT 变换数据图像(图 1) 上层反映有机质含量的变化,上中部阴影区为含盐程度和含水量的综合反映,中部可类比为 pH 值的相对变化的情况 在这里定义的一个层面为盐碱度达到一定浓度的电磁波反射面,相当于蒸发面 图像前部为耕地从中心向边缘方向移动,土壤层厚,有机质量含量高,盐积累程度低。图中部土壤含盐量逐点增加 在最后几个点由于土壤成分含沙,淋溶作用增强,含盐量相对减少, pH 值下降,有机质指标相对增加 总体为上中部阴影区逐渐加宽再逐渐变窄 通过分析该图像可定性的区分出盐碱地程度不同的地段分界面及定量计算各层位

的厚度 地下潜水面下饱和水带介质的  $X_c$  大于含盐过渡带<sup>[7]</sup>。含盐过渡带的含水量由下至上逐渐减少而含盐量逐渐增加 雷达电磁波在松散的土层中的响应为,频率较低,相位连续,能量强 在穿透盐积累带时能量被吸收较大,土壤颗粒和不均匀盐化含量使过渡带中图像出现一些不均匀电磁波绕射和散射。

在毛细管蒸发面上的盐分积累层  $e$  急剧增大,电磁场能量衰减大,吸收强,振幅减小,与上伏的脱盐土壤表层的突变面形成电磁波强反射面。极易划分出土壤受淋溶作用后的脱盐表层厚度。雷达图像反映了受淋溶作用后的表土脱盐底界面、毛细管蒸发面、潜水面和相间的表土层、盐分积累带、含盐过渡带、饱和水带所具有的各自特征<sup>[8]</sup>,在地下潜水面处形成强反射界面。

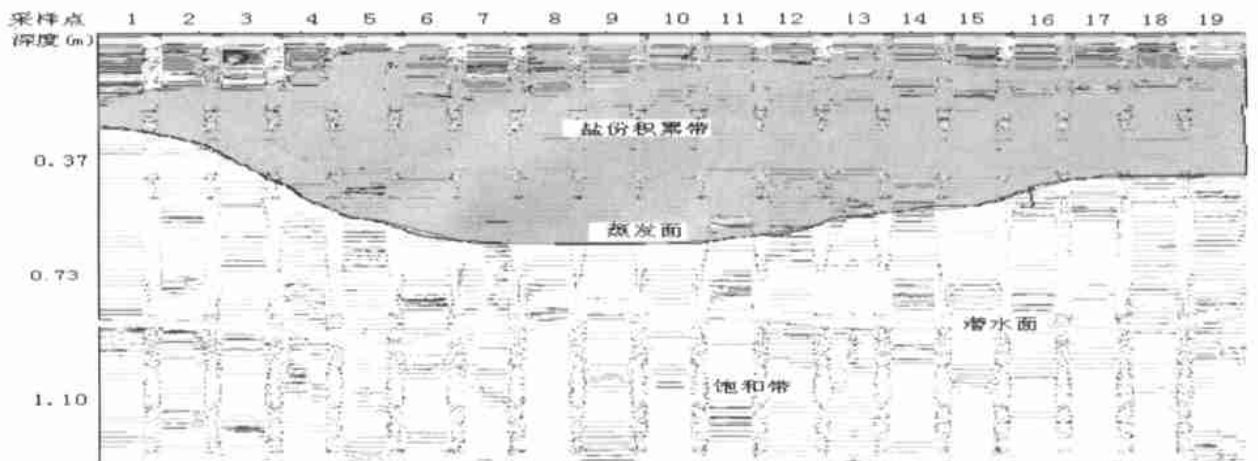
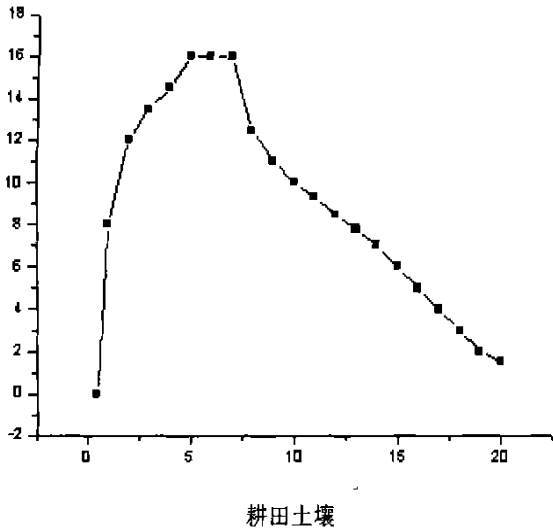
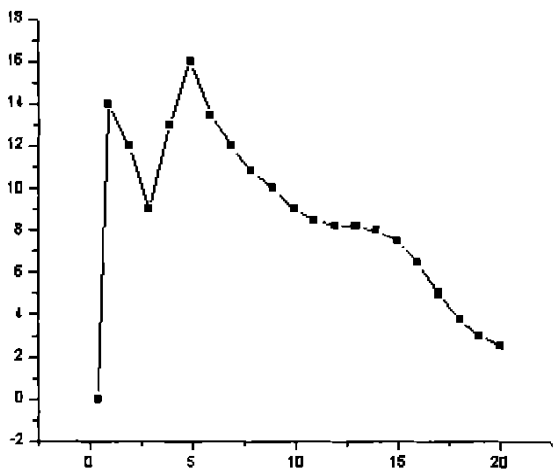


图 1 19个采样点雷达解释图像

我们对 B~T 各点的地质雷达数据进行“三瞬”和能谱、频谱分析处理,得到幅值和周期扫描的纵横直角坐标的连续曲线图(如图 2)。在不同土壤样品与雷达频谱图中我们可寻找出其对应关系。



耕田土壤



盐碱土壤

图 2 耕田土壤与盐碱土壤样品的雷达频谱示意图

当含盐碱量低、含水量低、有机质含量高的耕田土壤,以单峰曲线且较圆滑为主形态,既反映了有机质的含量是相对较高的,频率较集中。曲线图中的第一峰的尖锐程度和值的高低,反映着 pH 值的碱性强弱,尖或高为强,反之则为弱。第 2 个峰值与含盐量间有对应关系,从同一类盐碱土壤的不同含盐量可以得出,尖缓和高低与强弱对应。当含水量多时,幅值高,反之则低。当曲线后半部出现平缓台阶时可推断出土壤的含砂量增加程度。

我们将曲线离散成数据表形式,发现每个采样点的主峰值和次峰值及曲线形态对应关系,它们都存在着一些规律。第 1 类主峰值在 8.5~9.0 之间,以 6 号

抽样点为主。第 2 类主峰值在 9.0~10.5 之间,抽样点位置较分散,有次峰值出现。第 3 类主峰值在 9~17 之间,较集中以 5~7 号抽样点为主,次峰值明显。认为在盐碱化程度较大的采样点处,电磁波响应主频率较稳定。而第 2 类型的化学性质差异很大,反映的极值点位置变化也大。所以通过地质雷达资料这一些特征可以区分土壤的大类。

## 4 结论与建议

(1) 地质雷达方法与常规的土壤采样测量方法相比,具有连续、高效、成本低、分辨率高、非破坏性等优点。

(2) 我们的研究目前能做到定性和半定量工作,还需进一步通过大量同点化探采样,地质雷达探测结果统计出定量分析值来研究土壤的物理、化学特征与盐碱地土壤的分类相应关系,这样才能利用地质雷达解释成果直接划分盐碱土壤的类型。

(3) 使用卫星遥感资料监测、监控盐碱地和沙化的变化趋势时,地质雷达成果可以为遥感资料的解释提供地面探测的电磁波频谱等物性特征来确定不同颜色的土壤单元的依据,及盐碱和沙化的变化区的浅层地质特征。

(4) 目前我们对化探采样点盐碱地土壤的分类是以目测的形式进行定名的,可能存在偏误,建议今后进一步工作应按照土壤分类布设化探采样点来结合地质雷达探测结果。

### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 王遵亲.中国盐渍土[M].北京:科学出版社,1993.
- [2] 杨金忠,叶白桐,贾维钊,等.野外非饱和土壤中运移的试验研究[J].水科学进展,1993,4(4): 245-251.
- [3] 徐白山.白城地区盐碱地分层划界的地质雷达方法研究[J].长春科技大学学报,2001,4: 408-411.
- [4] HAGREY S A, MULLER. GPR study of pore water content and salinity in sand [J]. Geological Prospecting, 2000, (1): 63-85.
- [5] HANNINEN Pauli, HANNINEN Pekka, KOPPENEN Leevi. Ground penetrating radar. [M]. The Finnish Building Centre Ltd. Rakennustiete, 1992.
- [6] 毛任钊,田魁祥,松本聪,等.盐渍土盐份指标及其化学组成的关系[J].土壤,1997,4(6): 326-330.
- [7] James A, Doolittle Loris, Asmussen E. Ten years of applications of ground penetrating radar by the United States Department of Agriculture [J]. Geological Survey of Finland, Special Paper, 1992, 16: 139-147.
- [8] 李昌华,何万云.松嫩平原盐渍主要类型、性质及其形成过程[J].土壤学报,1963,11(2): 196-208.