

江汉油田烃类微渗漏蚀变信息 及提取机理

王云鹏 丁暄 何在成*

(中国科学院地球化学研究所广州分部 510640)

1992年8月2日收稿

摘 要

本文围绕烃类微渗漏造成地表土壤蚀变的褪红、粘土矿化和碳酸盐化等3项标志,在江汉油田进行了相关的地球化学信息和光谱信息研究。在研究土壤成分特征的基础上,提出了反映3项蚀变标志的成分因子;在研究土壤光谱特征的基础上,提出了与蚀变成分因子相关的TM波段比值因子;在成分因子及TM波段比值因子的统计分析基础上,探索从室内土壤光谱数据中提取和烃类微渗漏蚀变相关的信息,并为图像特征信息提取奠定了基础。

关键词 烃类微渗漏蚀变 江汉油田 地球化学信息 光谱特征信息提取

引 言

近年来发展起来的油气资源遥感直接勘探方法的理论基础——烃类微渗漏理论及相关的遥感探测标志,被证明是正确和有效的。另外,国内外的研究和实践也表明:烃类微渗漏蚀变也和微渗漏现象一样普遍存在^[1,2,7],然而,这一理论目前尚处于定性研究阶段。在江汉盆地的油气遥感工作中开展了微渗漏烃类的遥感标志的地球化学工作及光谱工作,以期揭示烃类微渗漏蚀变的地球化学特征、形成机制和蚀变的光谱特征以及通过统计分析从土壤室内光谱数据中提取油气蚀变信息。

江汉盆地为中新生代含油气盆地,整个盆地为第四系覆盖,最厚处近万米,而含油层主要为第三系潜江组和新沟咀组,且地表河流纵横,湖泊、稻田密布。在这样的条件下利用航天遥感技术探测油气信息,必须从机理上做更深一步的认识。

一、土壤成分

我们选择土壤为主要研究对象,不仅因为第四纪土壤覆盖了整个盆地,而且土壤本身就是蚀变的对象和直接产物。蚀变标志中,我们选择了“褪红”、“粘土矿化”和“碳酸盐化”为揭示内容,是考虑到蚀变强度、普遍性、区域特征及光谱的敏感程度等因素。

土壤样品采自高扬、新沟咀、毛咀、陈沱口、京山和蒲圻等6个子区,几乎覆盖了整个

* 参加此项工作的还有蒋保林、魏东原、王贵明、唐建平、刘惠萍、胡巧等同志,在此表示衷心的感谢。

盆地。样品分地表和地下 1.5 米深两种,共 179 个。

土壤的矿物成分由 X 衍射结果计算而来;化学成份包括了常见的八项氧化物成分;室内光谱用 UV-340 分光光度计测得,波长覆盖可见—近红外波段 ($0.4\text{--}2.5\mu\text{m}$)。

1. 矿物成分

根据样品的分布,分典型油区和非油区进行统计,其结果表明:含油区土壤中石英含量相对降低,但富含粘土矿物如伊利石、蒙脱石、高岭石和绿泥石,碳酸盐矿物白云石含量也相对增加^[3]。

2. 化学成分

化学成分数据中,围绕上述三项蚀变标志,共选择了 8 个分析项目。从非含油区到油区,相对增加的有: FeO 、 CaO 、 MgO 、 Na_2O 和 Al_2O_3 , 相对降低的有 Fe_2O_3 、 K_2O 和 SiO_2 ^[3]。

二、土壤的光谱特征

图 1 是江汉盆地土壤光谱曲线。样品 1、2 采自典型油区,3、4 采自典型非油区。对应的 TM 波段也在图中标出。

从图中可以看出:(1)可见光波段,包含了铁 (Fe^{2+} 、 Fe^{3+}) 的主要吸收峰,其反射率的迅速降低和铁含量紧密相关;(2) 1.4μ 和 1.9μ 处的吸收峰和水分子及羟基的振动有关。样品的光谱测试是在烘干条件下进行的 ($>80^\circ\text{C}$,持续 5 小时),游离水含量小,所以主要是粘土矿物中羟基的振动造成的;(3)整个可见—近红外波段 ($0.4\text{--}2.5\mu$),含油区土壤反射率明显低于非含油区土壤;(4) 2.2μ 处的吸收峰是典型的粘土矿物的吸收特征, $2.3\text{--}2.35\mu$ 的吸收既包含了粘土矿物的吸收峰,也包含了碳酸盐矿物的吸收峰。

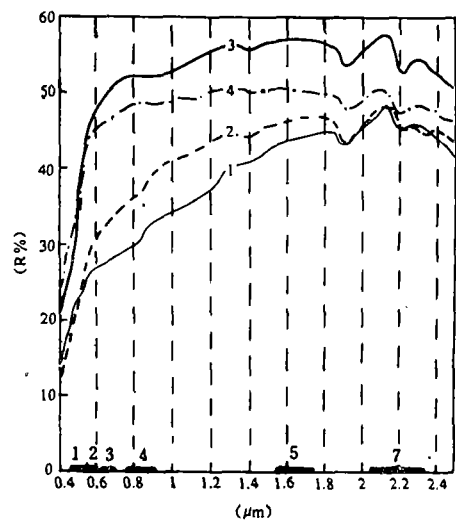


图 1 江汉盆地土壤光谱曲线

Fig. 1 Spectrum of Soils in Jianghan Basin

三、土壤成分因子的提取

和微渗漏蚀变相关的土壤成分因子的提

取,应考虑到两个因素:一是和烃类微渗漏蚀变紧密联系,即能较准确而灵敏地反映烃类微渗漏蚀变特征;二是在光谱曲线或光谱数据中具特征反映,这样,进行遥感图像处理及特征信息提取才不失盲目性。

油田上方土壤成分是研究蚀变成分特征最直接的标志,分析结果也显示出烃类微渗漏蚀变标志的地球化学特征,如 Fe^{2+} 的升高和 Fe^{3+} 的降低和土壤的“褪红”有关。粘土矿物的富集及 K_2O 、 Na_2O 和 Al_2O_3 的增加是土壤粘土矿化的直接标志。而 CaO 和 MgO 含量的增加和土壤中碳酸盐矿物的富集密切相关。但直接应用成分含量(矿物和地球化

学成分)也有其不足:一是土壤矿物的定量有待于更为精确的方法,二是单独利用化学成分数据,也不能准确地说明微渗漏蚀变特征,这也和微渗漏蚀变的复杂性及地球化学成分的多源性有关。提取成分因子也正是为了克服这些不足所做的尝试。

油气微渗漏造成了土壤的“褪红”现象,即油气藏微渗漏烃类造成的 Fe^{3+} 向 Fe^{2+} 的转化。 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ ($\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$) 是最直接的标志,因为除了成分意义外, $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 还代表着土壤的环境意义(如 pH 、 Eh),因此选择 $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 做为“褪红”的成分因子。

在选择和土壤的粘土矿化标志相关的成分因子时,首先是土壤粘土总量,即土壤中粘土矿物的总含量,对江汉油田来说,为蒙脱石、伊利石、高岭石和绿泥石总量。但这只是一个笼统概念,从矿物学角度讲,这四种矿物的结构可以分成两类,即 2:1 型的蒙脱石、伊利石和绿泥石及 1:1 型的高岭石,而且代表了两类不同的风化途径^[4]。风化的原岩性质也很关键,确定土壤母质常用的指标是铁化系数 ($\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$) 和铝化系数 ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3$)。江汉油田上述指标分别为: $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3 = 18.30$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Fe}_2\text{O}_3 = 3.55$, 显示出典型的酸性花岗质特点^[5], 即主要来自花岗基岩中长石的风化。从化学成分角度看,长石的风化为土壤提供了 K_2O 、 Na_2O 和 Al_2O_3 (分别对应于伊利石、蒙脱石和高岭石成分)。因此 ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3$) 也可做为粘土岩富集的程度因子。考虑到长石的风化常伴随着 SiO_2 的流失, ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3$)/ SiO_2 也是更为明显的成分因子。同时伴随选择的还有 ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$)/ Al_2O_3 , 即两种风化强度的对比(蒙脱石化、伊利石化和高岭石化), 和 $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ 即伊利石化和蒙脱石化强度的对比。

微渗漏蚀变中另一项标志为碳酸盐化。近几年的研究实践表明: ΔC 是最直接有效的标志,但在选择无机成分因子时却困难很大。选择 ($\text{CaO} + \text{MgO}$) 为碳酸盐化因子是由于 CaO 和 MgO 与土壤碳酸盐蚀变产物方解石 (CaCO_3) 和白云石 [$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$] 在成分上紧密联系,但考虑到无机碳酸盐化及其它硅酸盐矿物中 Ca 、 Mg 的含量少,这一标志也只能起到宏观反映的作用。这里以 ($\text{CaO} + \text{MgO}$) 做为碳酸盐化强度因子, CaO/MgO (方解石/白云石)做为二者的强度比较因子。表 1 是上述因子在油区和非油区的统计值。

表 1 油区和非油区土壤成分因子对比表

Table 1 Comparing of the content factors of soils in oil-gas and non-oil-gas areas

区 域	油 区	非 油 区
因 子		
$\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}(\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3)$	0.312496	0.182976
$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3$	18.17770	15.0420
$(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3)/\text{SiO}_2$	0.296954	0.21021
$(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3$	0.282825	0.21438
$\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$	2.02591	184.958
$\text{CaO} + \text{MgO}$	4.63923	1.8675
CaO/MgO	0.952856	0.682252

由表 1 可以得出如下结论:

(1) 江汉油田含油区土壤具有明显的和烃类微渗漏蚀变相关的成分特征;

(2) 所选取的成分因子基本能反映出烃类微渗漏蚀变的成分特征。其中 $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 反映出油区土壤“褪红”的强度大于非油区; $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3)$ 和 $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3)/\text{SiO}_2$ 反映出油区土壤粘土矿物的富集; 在粘土矿化中, 以高岭石化为主, 强度顺序为: 高岭石化 > 伊利石化 > 蒙脱石化 [$(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})/\text{Al}_2\text{O}_3 < 1, \text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} > 1$]; 油区土壤富集碳酸盐矿物 [$(\text{CaO} + \text{MgO})_{\text{油区}} > (\text{CaO} + \text{MgO})_{\text{非油区}}$], 且白云石化强度大于方解石化 [$(\text{CaO}/\text{MgO}) < 1$]。

四、TM 波段比值因子

土壤光谱特征的研究表明: 土壤 TM 波段比值处理是一种有效的特征信息提取方法^[6,7]。如 S. J. 弗雷泽 1991 年的研究表明: $\text{TM}3/\text{TM}1$ 和 $\text{TM}4/\text{TM}1$ 及其主成分分析能有效地识别氧化铁信息, 在 $\text{TM}3/\text{TM}1$ 和 $\text{TM}4/\text{TM}1$ 的二维散布图上, 针铁矿和赤铁矿沿正相关对角线分布, 这是由于氧化铁在 $\text{TM}1$ 到 $\text{TM}4$ 波段具有极高的正斜率, 另外, 目前已证实: $\text{TM}5/\text{TM}7$ 可有效地探测含羟基粘土矿物和碳酸盐矿物, 这是由于它们在 $\text{TM}7$ 波段的一系列吸收峰所致; 另一因子 $\text{TM}5/\text{TM}4$ 的选择有两个原因: 一是植被同粘土矿物一样具有高的 $\text{TM}5/\text{TM}7$ 比值, 而 $\text{TM}5/\text{TM}4$ 可以区分植被及粘土矿物等 (植被具有极低的 $\text{TM}5/\text{TM}4$ 比值); 二是 $\text{TM}5$ 与 $\text{TM}4$ 波段的斜率可以区分粘土矿物和碳酸盐矿物中的绿泥石、白云石和方解石、高岭石和蒙脱石, 即前者具有正斜率 ($\text{TM}5/\text{TM}4 > 1$), 后者具有平斜率 ($\text{TM}5/\text{TM}4$ 接近于 1)。

鉴于上述, 我们选择三个 TM 比值因子: 即 $\text{TM}3/\text{TM}1$ 用于识别“褪红”蚀变; $\text{TM}5/\text{TM}7$ 和 $\text{TM}5/\text{TM}4$ 用于识别“粘土矿化”和“碳酸盐化”蚀变。

五、土壤光谱特征信息提取

土壤光谱特征信息提取, 就是通过土壤室内光谱数据及其拟合的 TM 波段反射率因子与特征信息因子的统计分析, 探索二者定量联系, 达到利用 TM 波段因子反映特征信息。在江汉油田, 我们探索利用室内土壤光谱数据所拟合的 TM 波段比值因子来揭示和烃类微渗漏蚀变相关的成分因子, 达到提取信息的目的。分析过程如下:

首先由室内光谱数据计算出 TM 波段平均反射率及反射率比值因子^[3]; 其次根据样品分布进行统计。现对分析过程和结果讨论如下:

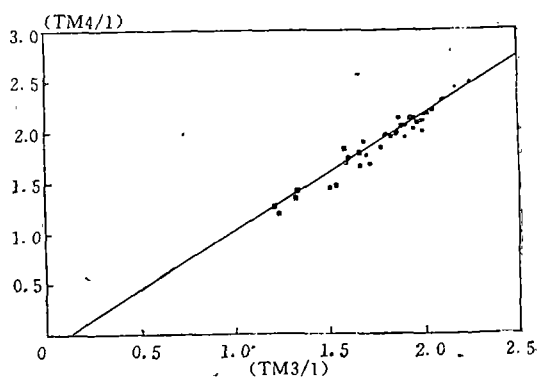


图 2 $\text{TM}3/\text{TM}1$ 和 $\text{TM}4/\text{TM}1$ 二维分布图

Fig. 2 2D Distribution of $\text{TM}3/\text{TM}1$ and $\text{TM}4/\text{TM}1$

1. TM3/TM1 和 TM4/TM1 的相关分析,图 2 是 TM3/TM1 和 TM4/TM1 二维散点图,显示出非常好的相关性(相关系数 $r = 0.94$)。这说明较之植被信息,土壤信息中铁的信息占绝对比重。

2. TM1/TM3 和“褪红”因子的相关分析,其目的是为了突出二价铁,分析结果表明, TM1/TM3 和 FeO 和 FeO/Fe₂O₃ 都显示出较好的相关性,而和 Fe₂O₃ 显示负相关,且相关程度也低。图 3、图 4 是油区土壤 TM1/TM3 和 FeO 及 FeO/Fe₂O₃ 的相关曲线,回归方程分别为:

$$TM1/TM3 = 7.66027(FeO) - 8.7916$$

和

$$TM1/TM3 = 5.10013(FeO/Fe_2O_3) - 1.0453$$

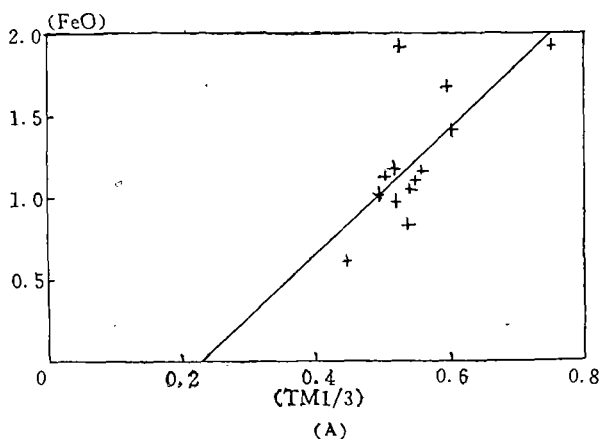


图 3 TM1/TM3 和 FeO 的回归直线

Fig. 3 The Regression line of TM1/TM3 and the Factor of FeO

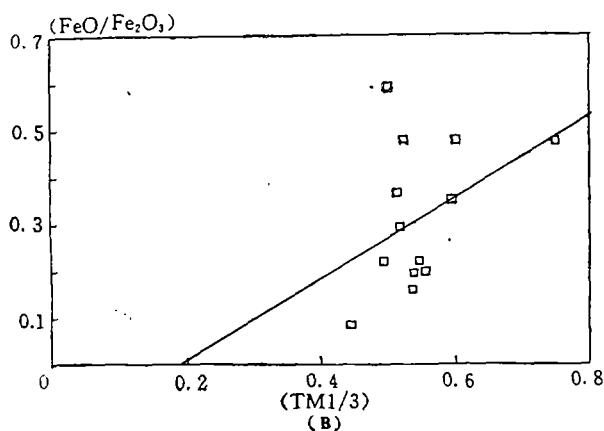


图 4 TM1/TM3 和 FeO/Fe₂O₃ 回归直线

Fig. 4 The Regression line of TM1/TM3 and the factor of FeO/Fe₂O₃

上述表明 TM1/TM3 能较好地反映二价铁 (FeO) 和“褪红”因子 (FeO/Fe₂O₃) 的变化, 由于 TM1/TM3 和 TM1/TM4 有较好的相关性, TM1/TM4 也能较好反映二价铁的含量, 分析结果也证实了这一点。其回归方程分别为:

$$\text{TM1/TM4} = 7.11973(\text{FeO}) - 8.16479 \quad \text{和} \quad \text{TM1/TM4} = 3.53054$$

(FeO/Fe₂O₃) - 0.587073。因此可以选择 TM1/TM3 或 TM1/TM4 来探测含油区二价铁含量及“褪红”强度因子。

3. TM5/TM7 与粘土矿化因子和碳酸盐化因子的相关分析, 图 5、图 6 是分析结果, 在油区显示出较好相关性, 说明 TM5/TM7 在反映粘土矿物相关化学成分变化方面是十分灵敏的。回归方程分别为:

$$\text{TM5/TM7} = 169.868(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3) - 3086.8$$

$$\text{TM5/TM7} = 3.83225[(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O} + \text{Al}_2\text{O}_3)/\text{SiO}_2] - 0.134676$$

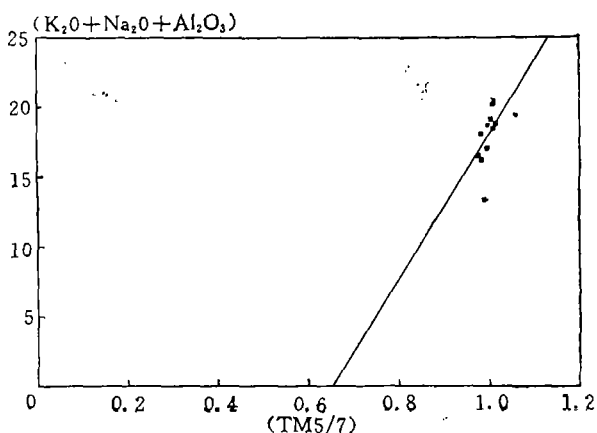


图 5 TM5/TM7 和 (K₂O + Na₂O + Al₂O₃) 回归直线

Fig. 5 Regression line of TM5/TM7 and (K₂O + Na₂O + Al₂O₃)

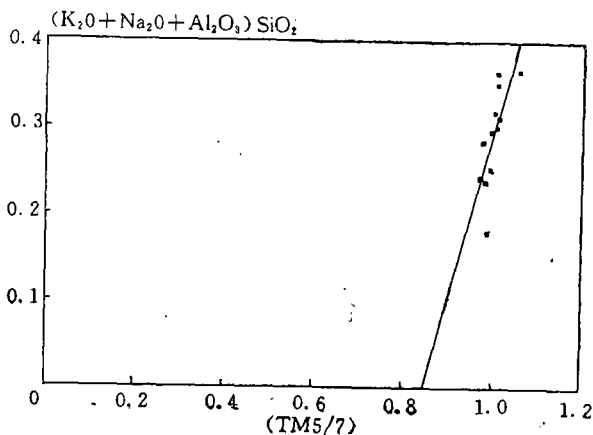


图 6 TM5/TM7 和 (K₂O + Na₂O + Al₂O₃)/SiO₂ 回归直线

Fig. 6 Regression line of TM5/TM7 and (K₂O + Na₂O + Al₂O₃)/SiO₂

TM5/TM7 和 (CaO + MgO) 呈负相关性,且相关程度也不高,这和碳酸盐化因子的选择,以及碳酸盐矿物两个波段均有吸收有关,也可能 TM5/TM7 在反映碳酸盐化方面不够灵敏,这还有待于更深一步工作。

结 论

(1) 根据江汉油田土壤成分特征,提出反映该区土壤烃类微渗漏蚀变特征的地球化学成分因子,并能较为准确地反映出蚀变的特征及强度;

(2) 根据江汉油田土壤光谱特征,提出反映该区烃类微渗漏蚀变成分特征的 TM 波段比值因子;

(3) 通过成分因子和 TM 波段比值因子的相关分析,探索从土壤光谱数据中提取烃类微渗漏蚀变信息,建立了 TM1/TM3、TM1/TM4 和二价铁含量及“褪红”因子以及 TM5/TM7 和粘土矿化因子的回归方程。

(4) 鉴于烃类微渗漏蚀变的复杂性,上述只是一种尝试,许多方面还有待进一步工作:如“碳酸盐化”因子的改进及其与 ΔC 的关系,还不很理想,比值因子的普遍性也受到区域性的限制,而其和成分因子的回归方程也有待于实践的进一步验证。

本文得到江汉石油勘探研究院和中科院地化所遥感室的关心和支持,谨致以衷心感谢。

参 考 文 献

- [1] 朱振海等,油气遥感试验研究,遥感信息(2),6—7,1990。
- [2] D. B. Segal, I. S. Merin, Successful Use of Landsat Thematic Mapper Data for Mapping Hydrocarbon microseepage Induced mineralogic alteration, Lisbon Valley Utah, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 55 (8), 1137—1145, 1989.
- [3] 王云鹏,江汉盆地烃类微渗漏蚀变特征及遥感成像机理,中国科协首届青年学术年会论文集,45—51,中国科学技术出版社,1992。
- [4] 徐风琳等,鄂湘两省土地土壤粘粒矿物的研究,土壤学报,29(1),48—55,1992。
- [5] 陈健反,闽东南不同母岩发育的赤红壤性状的研究,土壤通报,18(6),255—258,1987。
- [6] Jackson R. D., Spectral Indices in n-space Remote Sensing of Environment, 13, 409—421, 1983.
- [7] Ding Xuan, Key Problems on Application of Remote Sensing Technology in Oil-gas Resources Exploration, IGCP-264, 1991.

THE HYDROCARBON MICROSEEPAGE ALTERATION INFORMATION AND IT'S EXTRACTION MECHANISM

Wang Yunpeng Ding Xuan He Zaicheng

(Guangzhou Branch, Geochemical Institute, Chinese Academy of Sciences)

Abstract

This paper researches the geochemical and spectral information related to the "Red-fading", "Clay-mineralization" and "Carbonization" induced hydrocarbon microseepage in Jiangnan Basin.

Three content factors are extracted on the basis of researching the soil composition; three TM band reflectance ratio factors are extracted on the basis of researching the soil spectral characteristics, and the hydrocarbon microseepage alteration information are extracted successfully in laboratory from the soil spectral data.

Key words Hydrocarbon microseepage alteration Jiangnan oil-gas field
Geochemical information Spectral characteristic information extraction