

烃类微渗漏的光谱遥感信息*

刘子贵 李钦雄 王 璠

(中国科学院兰州地质研究所)

1990年8月29日收稿

摘 要

烃类微渗漏的间接证据,包括一系列地球物理、地球化学、岩石矿物和地貌异常以及以后认识到的在土壤化学与植物生理方面引起的变异。所有这些现象均与烃类微渗漏密切相关。根据这种地表“蚀变体”的波谱特征,可利用遥感技术在特定波段内将其信息直接提取出来。

关键词 烃类微渗漏 烃类“蚀变体” 光谱特征

目前,由于国内外大多数油气遥感工作仍局限于与油气聚集有关的各种线性构造的判读上,因而往往出现多解性和不确定性。近几年在利用遥感技术直接提取油气信息方面已取得有意义的成果。我们在世界遥感找油技术新成果的启发下,对烃类微渗漏的有关信息作了大量的光谱测试和研究,为遥感找油技术的发展作了有益的尝试。

一、烃类微渗漏及其“蚀变体”

烃类微渗漏在油气勘探中的应用已很久了。其间接证据包括一系列与之密切相关的地貌、地球化学和矿物异常,还包括与磁力、放射性能谱相关的地球物理异常以及后来认识到的土壤化学和植物生理变异。这些异常的任何一种或综合体均可用遥感技术进行探测。

虽然由烃类微渗漏所引起的地表蚀变是复杂的,但往往归咎于一个主导方面的原因,渗漏的烃类和有关的液体如氢硫化物造成还原环境,从而导致成岩作用中 Eh/PH 在烃类聚集岩石和土壤的微蚀变作用,这些蚀变又引起烃类储集层上方地表和近地表地貌或物理方面的变化。

构成烃类微渗漏蚀变中心带的是“蚀变柱”(Alteration chimney),在许多情况下“蚀变柱”被地球化学异常的“晕”所环绕,也就是“晕”的成因与渗漏有关(Duchscherer, 1982)。图1表示油储与上置地层形成的地球化学晕模式。由于断层和圈闭类型的几何轮廓以及上覆地层岩石化学特征的不同,地化蚀变晕的几何形态可能是复杂的。

据统计,世界上至少有80%的已知油气田存在烃类的微渗漏,油和气藏总是处在不同的地质环境中,浓度、温度、压力和构造差异必然导致渗漏的发生。由于化探技术的发

* 本研究曾得到中国科学院上海技术物理研究所、安徽光学精密机械研究所和贵阳地球化学研究所及新疆石油管理局有关同志的大力协助和支持,在此一并致谢。

展,超微量(10^{-9} — 10^{-12})的微渗漏也可被探测出来。

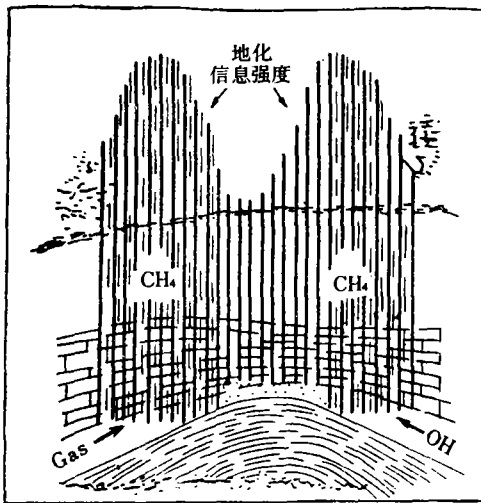


图 1 烃类渗漏地球化学晕圈的成因示意图
(据 Duchscherer, 1982)

Fig. 1 Schematic diagram of a Geochemical aureole (from Duchscherer, 1982)

所谓烃类“蚀变体”是指烃类物质在不同的浓度、温度和压力的地质环境中运移、扩散以及渗漏,从而与地表物质相互作用的产物。它与一般地球化学异常晕不完全相同,它既包含了地球化学异常,又包括其它相关的物理、植物、地貌等异常。这种烃类“蚀变体”的探测已被地球化学和地球物理方法广为应用,目前能被遥感方法提取的烃类“蚀变体”已达近 10 类之多。

二、烃类“蚀变体”的遥感信息及其最佳探测通道

烃类“蚀变体”的遥感信息及其最佳探测通道的选择,有赖于对其波谱特性的了解。为此,我们就几种主要烃类“蚀变体”的地物波谱特性进行了测试和研究。

(一) 红层褪色化晕

由于烃类物质在扩散、渗漏至地表后被氧化,产生二氧化碳及硫化氢,它们又与上覆地层(红层)的高价铁,如褐铁矿、赤铁矿或针铁矿相结合,生成含低价铁的黄铁矿、菱铁矿或磁铁矿,最终使红层发生褪色化。这就产生了与背景色调(红层)截然不同的褪色化晕,这种褪色化晕在国外许多油田均有报道。

光谱测试结果表明,不同色调的地物(或色标)其光谱差异主要在可见光波段 (0.4—

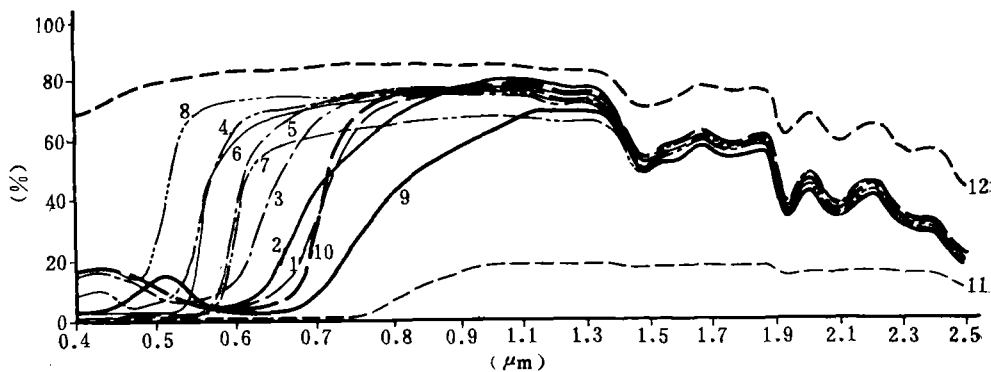


图 2 色标的反射光谱曲线

1.深棕; 2.浅棕; 3.青莲; 4.桔黄; 5.桃红; 6.红; 7.深红; 8.黄; 9.绿; 10.蓝; 11.黑; 12.白

Fig. 2 Spectral reflectance curves of color marks

0.76 μm), 当进入红外波段 (1.1—2.5 μm) 之后, 除白色标及黑色标之外, 其它色标曲线几乎都趋于一致(图 2)。鉴于对色标光谱特征的分析, 各种彩色地质体即可利用各种可见光波段的遥感图像并根据其灰度及色调识别出来, 同时亦可将与烃类微渗漏相关的其它“蚀变体”信息, 诸如具有色、形、影差异的线性构造、地貌、植被等在这个波段加以较好地区分。

(二) 粘土化晕

烃类微渗漏的液体或气体中, 含有一定量的氢硫化物和碳氢化合物, 它们渗漏至地表后会改变烃藏上覆岩石的氧化-还原环境, 导致酸化, 致使长石类矿物蚀变为粘土矿物, 形成与烃类活动密切相关的粘土富集异常。

众所周知, 粘土矿物(如高岭土、伊利石和蒙脱石)在近红外波段 (2—2.5 μm) 具有特征光谱带, 图 3 为硅酸盐、碳酸盐及粘土等代表性矿物的近红外波段的反射光谱曲线。其中, 粘土矿物(高岭土、蒙脱石)在 2.2 μm 处均有很强的羟基吸收带, 但高岭土与蒙脱石在 1.4 μm 与 1.9 μm 的水分子吸收强度不同, 前者在 1.4 μm 处有较强的吸收, 后者则在 1.9 μm 吸收强度大大增强, 造成这种谱带差异的主要原因是由于高岭土不含明显的束缚水, 因此在 1.9 μm 处光谱吸收很弱, 而蒙脱石有较多的束缚水, 故在 1.4 和 1.9 μm 分子水吸收带均很强。

粘土矿物的上述光谱特征, 不仅可以在可见光的宽波段遥感图像 (MSS, TM) 上, 以其浅色调与其背景区分开, 而且还可在近红外宽波段遥感图像, 以其深色调及窄波段图像上特定的吸收带特征, 进一步得到区分, 并可成像、成谱、成图来判定由烃类渗漏引起的粘土富集晕。

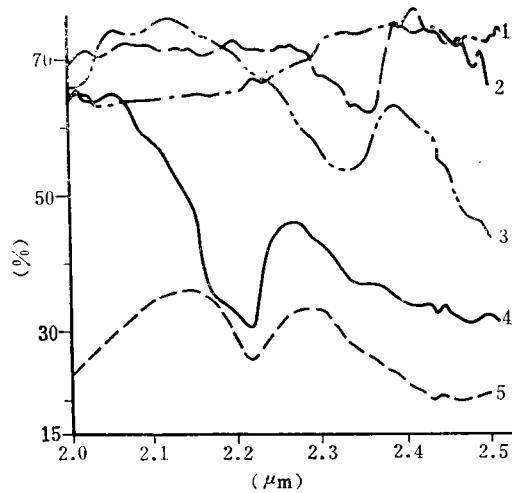


图 3 石英岩(1)、大理岩(2)、白云岩(3)、高岭土(4)和蒙脱石(5)的反射光谱曲线

Fig. 3 The spectral reflectance curves for quartz (1), marble(2), dolomite(3), kaolin(4) and montmorillonite(5)

(三) 碳酸盐岩富集晕

当烃类物质(如 CH_4) 运移至地表或近地表后, 由于氧化-还原环境的变化, 使 CH_4 被氧化形成二氧化碳, 并与水结合形成碳酸, 再与各种金属离子结合形成不同的碳酸盐岩, 从而也就形成了与烃类物质渗漏有关的碳酸盐岩富集晕。

根据碳酸盐岩代表性矿物(大理岩、白云岩)的光谱测试(图 3), 碳酸盐岩的特征光谱带主要出现于红外波段, 即约在 2.35 μm 及 2.5 μm 稍后出现大理岩的碳酸根 (CO_3^{2-}) 吸收带, 在 2.33 μm 及 2.5 μm 之后出现白云石的碳酸根吸收带, 所以 2.33—2.35 及 2.5

μm 附近出现的吸收带,一般表明为碳酸盐岩的特征光谱,据此可将粘土矿物与碳酸盐矿物区分开,并利用遥感技术提取与烃类活动有关的碳酸盐岩富集晕。

(四) 低价铁富集晕

低价铁富集晕的形成与上述褪色化晕的形成同属一个原因、两种结果。烃类物质的

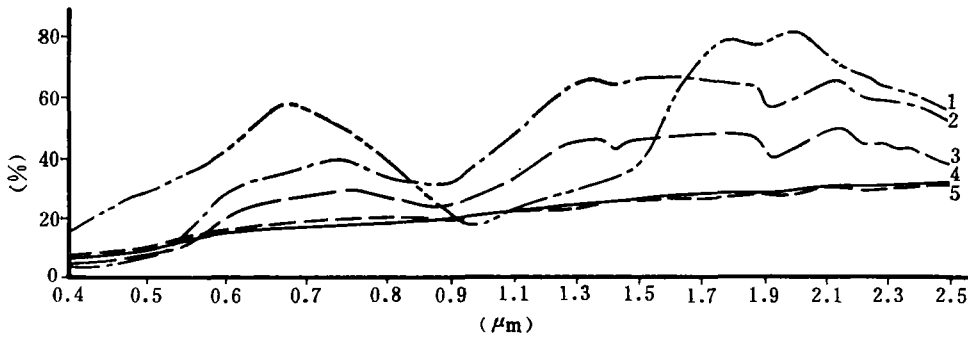


图 4 含铁(锰)矿物的反射光谱曲线

1.黄铁矿, 2.褐铁矿, 3.含褐铁矿砂体, 4.含锰长英岩, 5.含锰长英岩砂体

Fig. 4 The spectral reflectance curves for iron (manganese)-bearing minerals

渗漏,使上覆富含高价铁的矿物(如褐铁矿、赤铁矿及针铁矿等)组成的红色地层发生褪色化,同时这些矿物被还原后又形成低价铁的富集,如黄铁矿、菱铁矿以及磁铁矿的形成,而这些矿物的相对富集又可导致与烃类活动相关的磁异常晕。在我国利用航磁异常进行油气藏圈定者已不乏其例。目前,美国有些学者利用磁异常特征研究油气运移问题,道理也在于此。

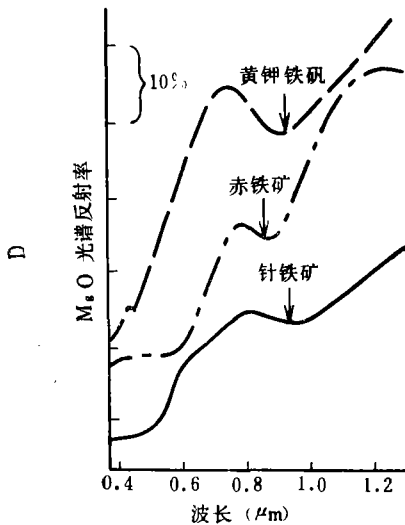


图 5 黄钾铁矾、赤铁矿、针铁矿实验室光谱反射率曲线(据 Hunt 和 Ashley, 1979)。

Fig. 5 The laboratory spectral reflectance curves for jarosite, hematite, and goethite (from Hunt and Ashley, 1979)

如何利用遥感技术提取这些 低价铁 富集异常?它的成像机制、波谱特征又是什么? 为了回答这些问题,我们对含铁矿物进行了光谱反射率测试,反射光谱表明(图 4),三价铁离子 (Fe^{+++}) 与二价铁离子 (Fe^{++}) 有着不同的光谱行为,其中,含有二价铁离子的矿物(如黄铁矿),主要在 $1\mu\text{m}$ 附近出现强的光谱吸收带,该吸收带有时可沿长波方向延至 $1.5\mu\text{m}$,形成 $1-1.5\mu\text{m}$ 宽的吸收谱带。另外,亦可在 $1.8-1.9\mu\text{m}$ 波段出现二价铁的弱吸收。然而,含有三价铁离子的矿物(如褐铁矿、黄钾铁矾、赤铁矿、针铁矿等)却在 $0.8-0.9\mu\text{m}$ 波段出现强的吸收峰,在 $0.45-0.50\mu\text{m}$ 出现明显的吸收特征(图 5)。总之,二价铁离子的光谱特征为利用遥感技术寻找与烃类微渗漏有关

的低价铁矿物富集晕(黄铁矿化晕、磁异常晕)提供了理论依据。同时,也可利用这些矿物的组合特征,用岩石矿物学的方法进行鉴别。

(五) 油气苗及含油砂体的光谱信息

世界绝大部分油气田都有油气显示,仅新疆地区油气显示点就达几百处之多。如何利用遥感技术直接提取这些信息,无疑对发现油气田是很有意义的。为此,我们对原油、沥青及油砂进行了光谱反射率的测试,其结果表明油(沥青)气苗和砂体具有如下光谱特征。

(1) 在可见光波段($0.4\text{--}0.76\mu\text{m}$)光谱反射率均很低,且无任何特征光谱(图 6)。导致低反射率的原因是,它们均含较丰富的有机质,使入射光大部分被吸收,相对地降低了

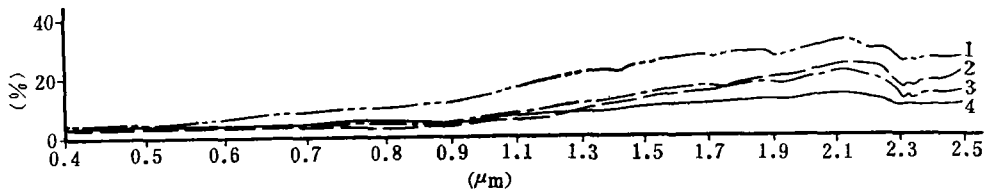


图 6 沥青及含油砂体的反射光谱曲线

1. 细粒油砂, 2. 沥青, 3. 中粒油砂, 4. 粗粒油砂

Fig.6 The spectral reflectance curves for natural bitumen and oil-bearing sandstone

反射光的能量。根据该特征,可见光波段的任何多光谱(MSS, TM)图像、全色图像以及各种假彩色合成图像,均可以其暗色调特征将其油气苗(沥青)、油砂体的信息提取出来。

(2) 在短波红外波段($1.1\text{--}2.5\mu\text{m}$),出现了较高的光谱反射率,且具有特征光谱段(图 6 和 7)。即在约 $2.3\mu\text{m}$ 之后光谱反射率明显上升,对此特征,我们还用不同仪器,分别于室内外进行了测试对比,其结果还是一样的。图 8 为利用中国科学院上海技术物理研究所研制的 6 通道红外细分光谱辐射计测试的结果。同样证明了上述特征光谱段的存在。沥青砂岩在 5 通道(中心波长 $2.28\mu\text{m}$) 后也出现了烃类物质的反射率高值。烃类物质的这一光谱特征目前国内外文献中均未见报道。由于仪器波段的限制, $2.5\mu\text{m}$ 后在何处出现吸收峰值尚不清楚,其形成机理也有待进一步研究。

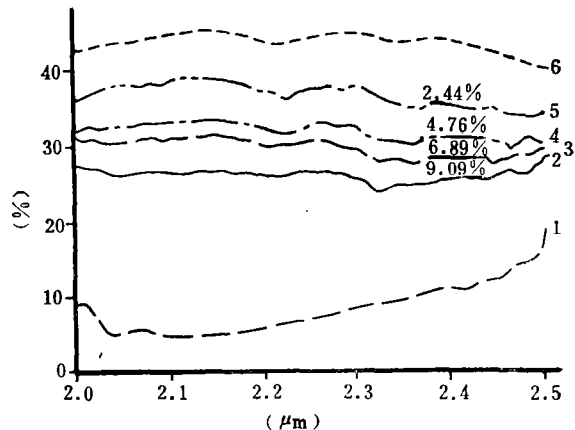


图 7 原油及油砂的反射光谱曲线

1. 原油, 2—5. 不同含量的油砂, 6. 非含油砂体

Fig. 7 The spectral reflectance curves for oil and oilsand

根据上述烃类物质的光谱特征,可在红外细分光谱扫描图像中根据比率图像作出识

别,也可利用红外细分光谱的波谱比率法加以识别。一般 5/6 (通道比)比值小于 1 者为烃类物质,大于 1 者为其它岩类。

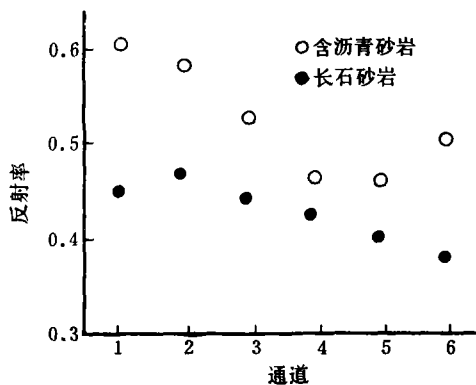


图 8 含沥青砂岩与长石砂岩反射光谱的对比
Fig.8 The comparison of spectral reflectance between asphaltic and feldspathic sandstones

(3) 烃类物质在 $2.3\mu\text{m}$ 之后出现的高反射率值随其含量的增加而增加,且几乎成线性关系(图 9)。这一关系表明,可利用 2.3 与 $2.5\mu\text{m}$ 波段的遥感比值图像的灰度值与砂体中含烃量建立定量关系。

(六) 热异常晕

70 年代以来,美苏两国石油地质学家的研究发现,大多数油气田都存在地温正常,并确立了“地温找油法”,在严寒地带出现的所谓“暖窗”往往是油气聚集区或热气田。这种与烃类活动有关的“暖窗”大致有两种解释,一种认为是烃类物质渗漏至地表或近地表后氧化热所致,一般温度可增加 $1-3^{\circ}\text{C}$; 另一种认为是烃类渗漏过程中使渗透区导热率降低,热容量增加所致。总之,油气藏上置地层的热异常现象是普遍存在的。这种热异常晕可以用热红外 ($8-13\mu\text{m}$) 遥感扫描图像进行探测。

(七) “云雾状”晕

“云雾状”晕又称模糊异常,实际上是指遥感图像上浅而亮的、边界模糊不清的色调异常。关于“云雾状”晕国外报道较多。据资料称,美国安纳达科油田在陆地卫星图像上判读出的“云雾状”晕与已知油田符合率达 80% 以上。虽然关于“云雾状”晕的存在已毋庸置疑,但其形成机理各说不一。归纳起来有三种观点,其一,认为是烃类汽渗漏、扩散到地表的直接显示;其二,认为是烃类气中的二氧化硫与空气中的水蒸汽结合形成的“酸雾”;其三,认为它是烃类微渗漏引起的地表红层褪色化现象。总之,其形成机理尚需进一步研究。

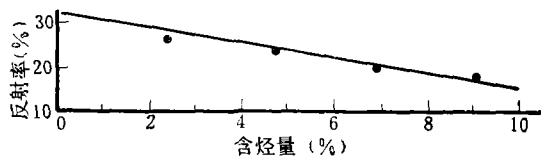


图 9 油砂中含烃量与光谱反射率关系
Fig. 9 Relationship between hydrocarbon content and its spectral reflectance in oil sand

(八) 地植物异常晕

地植物学在地质找矿中的应用已经很久了。关于烃类微渗漏引起地表植物的变异,近几年来有大量论文述及,试图建立“油气藏—烃类微渗漏—地植物异常—波谱变异—图像色调异常”模式并用以寻找油气藏,但因这是一个复杂的相关链而收效甚微。

尽管如此,烃类微渗漏引起的地表植被变异则是客观存在的。在干旱半干旱地区的沙生植物大致有如下几方面的异常现象:(1)植物生态的变化(如植物出现肥大现象或畸

形的器官等);(2)出现一些指示性植物及植物组合特征的变化;(3)一些植物发生“中毒”效应等。显然,要真正应用它并获得成效,则取决于地植物学、石油地质学、植物生理学、遥感技术及有关学科诸多专家学者的共同努力。虽然我国也曾发现地植物异常与深部油气藏有较好的吻合,但由于缺乏足够多的相关资料的佐证,因此,尚有待进一步研究。

上述烃类微渗漏环境的遥感信息,并非在任何油气田上覆地层中都存在,它取决于油气田的石油地质特征及自然地理环境等多种因素,缺乏对它们的全面了解,是难以捕捉到这些信息的。

三、典型样区试验

新疆克拉玛依油田分布在克一夏断阶带上,地表油苗、沥青脉及油砂体等广为分布,是利用遥感技术提取烃晕信息的理想场所。为了研究其成像机制,我们选了两条垂直断阶带的剖面,系统采集样品 61 个,并作了岩石矿物的鉴定和可见光至近红外波段 ($0.4\text{--}2.5\mu\text{m}$) 反射光谱的测试,结果表明了利用遥感手段提取烃晕信息的可能性。

图 10 为各种烃晕的反射光谱曲线,由这些曲线可见:

(1) 红层(非褪色地层)光谱反射率(图 10-1)的主要特征在可见光波段,即在 $0.55\mu\text{m}$ 和 $0.85\mu\text{m}$ 有两个较强的三价铁吸收峰,其间形成一高价铁离子的强反射峰值带,可视为探测褐铁矿、赤铁矿及针铁矿等氧化铁矿物的一个“窗口”。所以利用陆地卫星 5/4 波段比率图几乎可以把这些铁的氧化物矿作为一组与其它矿物区分开。从地表采样得知,这些样品距烃类微渗漏较强的黑油山与沥青山均较远,属非褪色化地层。

(2) 原油及油砂岩的光谱反射率曲线(图 10-2),与上述室内模拟样品测试结果几乎一样,其主要特征是可见光波段的低反射率与 $2.3\mu\text{m}$ 之后出现的强反射率值,这些特征与其它岩类光谱具有明显的差异,也易从波形特征上明显区分。另外,在硫酸盐矿物富集地段,其光谱于 $1.75\mu\text{m}$ 处出现了硫酸根吸收带;又由于一定量的赤铁矿的存在,因而在 0.55 和 $0.85\mu\text{m}$ 处也同样出现了高价铁的光谱吸收带(图 10-3)。

(3) 在褪色化地段,出现两种明显的粘土富集异常及碳酸盐岩富集异常,其矿物成分组合特征具有明显差异,高价铁矿物含量几乎等于零,而粘土矿物与碳酸盐岩矿物则明显增多,其中,碳酸盐岩矿物较多的样品,在其光谱反射率曲线的 $2.35\mu\text{m}$ 处出现了碳酸根的特征光谱吸收带(图 10-4,5),而粘土矿物富集样品则在 $1.4, 1.9$ 及 $2.2\mu\text{m}$ 处出现强的水分子及羟基 (OH^-) 吸收带(图 10-6,7)。同时还可以看出,凡褪色化地层,在可见光波段的反射率均较高,且一般没有特征光谱。

典型样区矿物组合鉴定及光谱特征的测试表明,非褪色地层和褪色化地层中的粘土富集晕、碳酸盐岩富集晕及油苗、油砂体等烃晕是存在的,而且根据不同的光谱特征,用遥感技术提取其信息也是可能的。

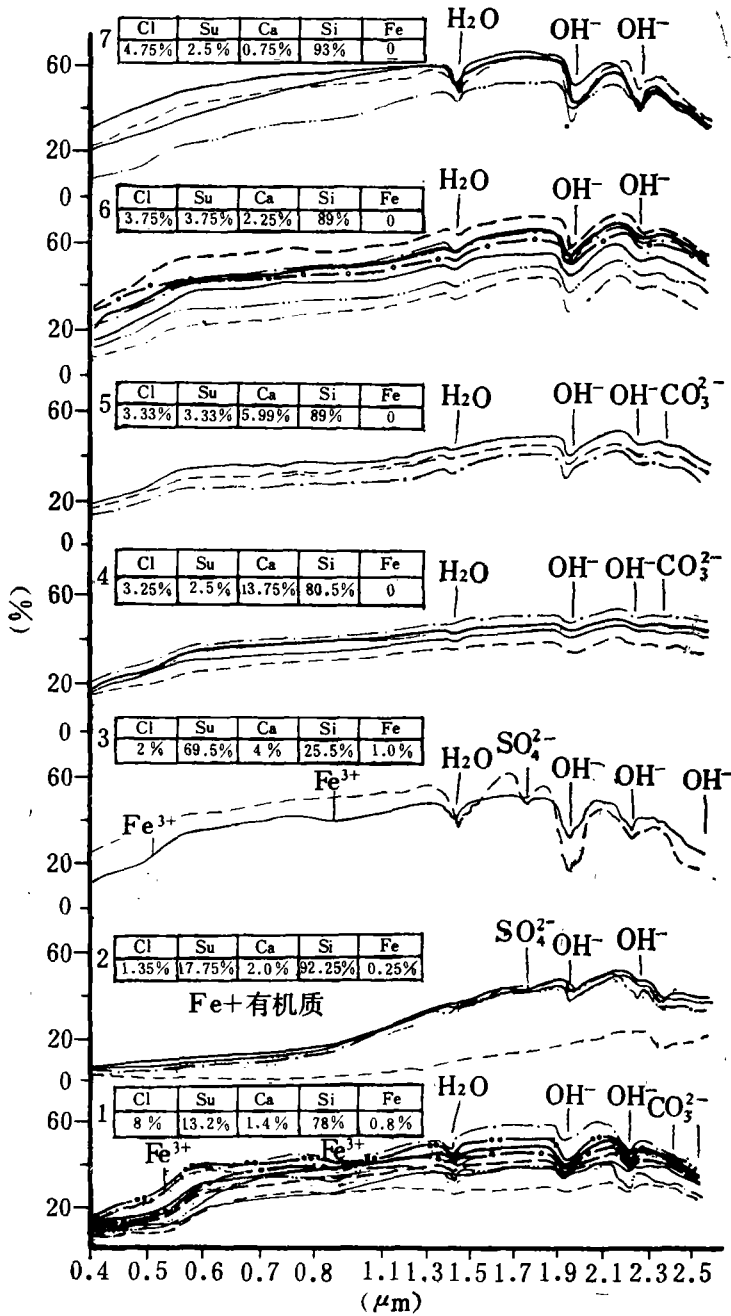


图 10 典型样区烃晕的矿物成分及光谱反射率曲线

Cl:粘土类矿物; Su:硫酸盐矿物; Ca:碳酸盐岩类矿物; Si:硅酸盐矿物; Fe:铁氧化物
 Fig. 10 Mineral composition and spectral reflectance curves for hydrocarbon halos in a typical region

四、结 论

通过以上工作,可以得出如下结论。

(1) 从油田地质资料得知,烃类微渗漏在许多油气田是普遍存在的,由烃类微渗漏造成的地表烃类“蚀变体”也为油气物、化探方法所证实。

(2) 烃类“蚀变体”经大量光谱测试表明具有明显的特征光谱,不同的烃类“蚀变体”在不同的光谱波段,具有不同的光谱行为,这就为利用遥感技术直接提取油气信息提供了理论基础和科学依据。

(3) 就具体油田而言,有何种烃类“蚀变体”,采用何种遥感探测手段,取决于油气田具体的石油地质、地理等条件,具体油气田,具体分析,具体对待。

(4) 尽管如此,我们认为利用遥感技术直接提取油气信息,决非一蹴可就,诸如对烃晕信息的地面分辨能力的问题,同物异谱、异物同谱的问题,烃类“蚀变体”与烃类活动的地球化学过程等问题,均是该研究领域需要不断解决的问题,而且实际上是一个相互关联的系统工程,需综合研究。

The Information of Spectral Remote Sensing on Hydrocarbon's Micro-Seepage

Liu Zigui Li Qinxiong Wang Zan

(Lanzhou Institute of Geology, Academia Sinica)

Abstract

It has been for years in applying hydrocarbon's micro-seepage to prospecting for oil and gas. There are a lot of indirect evidence which are pertinent to hydrocarbon's micro-seepage including anomalies of geomorphology, geochemistry and mineral, and recently known abnormalities of soil chemistry, and vegetation physiology. As a matter of fact, these alteration haloes can be divided into following classes: redbeds bleaching haloes, clay enrichment haloes, carbonatite enrichment haloes, radiation haloes, heat anomaly haloes, geobotanical anomaly haloes, magnetic anomaly haloes, and haze haloes.

All of these haloes might exist in overlain beds of reservoir in different scales and types. These phenomena can be used as direct and/or indirect indexes to detect oil and gas information with remote sensing means.

According to spectral survey on these alteration haloes, it is shown that every one has its own spectral features obviously in the visible, near-IR, and thermal-IR wavebands. So it is available to look for oil and gas with remote sensing means directly. Finally, our aim is to select the best wavebands for oil and gas.

Key words Hydrocarbon's micro-seepage Hydrocarbon's alteration haloes Spectral reflectance features typical sample area