

# 塔里木盆地柯坪隆起典型 沉积岩类的热红外光谱特征研究

傅碧宏 丑晓伟

(中国科学院兰州地质研究所 兰州 730000)

**提 要** 塔里木盆地西北缘柯坪隆起一些典型碎屑岩、碳酸盐岩及蒸发岩的热红外发射光谱曲线的分析表明:利用残余辐射谱带(又叫低发射率带)的中心波长位置可以确定沉积岩中的主要矿物成份,并可以利用残余辐射谱带的强度判断矿物成份含量的多少。这对于利用热红外多光谱遥感技术直接找矿具有重要意义。

**关键词** 沉积岩 热红外发射光谱 残余辐射谱带

**第一作者简介** 傅碧宏 男 28岁 助理研究员 遥感地质学

虽然岩石热红外光谱特征的研究很早就受到了地质学家们的重视(Lyon, 1965; Vincent et al., 1975),但进展一直很缓慢。80年代初以来,热红外多光谱遥感技术在地学中的应用日益受到科学家们的亲睐(Kahle et al., 1983; Watson et al., 1990; Gillespie et al., 1984, 1986; Abrams et al., 1991),岩石热红外光谱特征的研究业已成为遥感地质学中炙手可热的研究领域之一,但对沉积岩类的热红外光谱特征的研究较少,国外只见个别报道(Hunt et al., 1975; Salisbury et al., 1992),国内目前尚未见公开报道。

本研究旨在通过塔里木盆地柯坪隆起一些典型沉积岩类室内测热红外发射光谱曲线的分析研究,系统论述沉积岩类的热红外发射光谱特征,并探讨热红外多光谱遥感技术的找矿潜力。

## 1 研究区地质概况

柯坪隆起位于塔里木盆地西北缘,发育一套巨厚的古生代沉积地层,白垩系和第三系在部分地区出露。该区气候干旱,植被稀疏,岩石裸露,是开展遥感地质研究的理想地区。研究区的主要地层层序及岩性特征见表1。

## 2 沉积岩类的热红外光谱特征

沉积岩类主要由硅酸盐、碳酸盐等矿物组成,组成沉积岩的矿物在热红外谱域(7~13 $\mu\text{m}$ )具有选择性发射的特性,矿物的选择性发射在岩石发射光谱曲线上表现为矿物的残余辐射谱带(Restrahlen Band),又称低发射率带(Low Emissivity Band)。根据残余辐射谱带

表1 柯坪隆起层层序表

Table 1 Stratigraphic sequence of the Kalpin Uplift

| 界      | 系               | 地层层序             |                   | 厚度(m)              | 岩性描述                  |
|--------|-----------------|------------------|-------------------|--------------------|-----------------------|
|        |                 | 组(群)             | 地层代号              |                    |                       |
| 新生界    | 第三系             | 西域组              | N <sub>2x</sub>   | 1795               | 砾岩、砂岩                 |
|        |                 | 阿图什组             | N <sub>2a</sub>   | 2700               | 棕色、灰绿色砂质泥岩、砂岩、粉砂岩     |
|        |                 | 帕尔布拉克组           | N <sub>1p</sub>   | 1300               | 灰绿、紫红色泥岩、砂质泥岩、粉砂岩     |
|        |                 | 安居安组             | N <sub>1a</sub>   | 668                | 灰绿、红色泥岩、粉砂岩、砂岩、石膏     |
|        |                 | 克孜洛依组            | N <sub>1k</sub>   | 400                | 紫红色砂岩、粉砂岩及石膏          |
|        |                 | 喀什群              | Eks               | 350                | 浅灰色、紫红色砂岩、粉砂岩、粘土岩及石膏层 |
| 古生界    | 二叠系             | 沙井子组             | P <sub>2s</sub>   | 675                | 杂色泥岩、粉砂岩、砂岩、砾岩        |
|        |                 | * 开派兹雷克组         | P <sub>1kp</sub>  | 1400               | 杂色砂岩、泥岩、粉砂岩、玄武岩、凝灰岩   |
|        |                 | 卡仑达尔组            | P <sub>1kl</sub>  | 800                | 黄色、黄红色砂岩、粉砂岩与灰绿色泥岩互层  |
|        |                 | * 库普库兹满组         | P <sub>1kk</sub>  | 800                | 下部为一套杂色碎屑岩,上部为黑色玄武岩   |
|        |                 | 巴立克立克组           | P <sub>1b</sub>   | 229                | 灰黑色灰岩夹黑色炭质泥岩          |
|        |                 | 康克林组             | P <sub>1k</sub>   | * 100<br>200       | 东部为砂岩、页岩和灰岩,西部为灰岩     |
|        | 石炭系             | 比京他乌组            | C <sub>2b</sub>   | 346                | 暗色灰岩、灰绿色砂岩、细砂岩、黑色页岩   |
|        |                 | 孔台艾肯沟组           | C <sub>1k</sub>   | 390                | 砾岩、砂岩、粉砂岩、灰岩          |
|        | 泥盆系             | 克兹尔塔格组           | D <sub>2-3k</sub> | 200~1200           | 砖红色砂岩、粉砂岩、砂质泥岩        |
|        |                 | 依木干他乌组           | D <sub>1y</sub>   | 500                | 紫红色砂岩、粉砂岩、硬砂岩         |
|        | 志留系             | 塔塔埃尔塔格组          | S <sub>2-st</sub> | 273                | 紫红色粉砂岩、粉砂质泥岩与砂岩互层     |
|        |                 | 柯坪塔格组            | S <sub>1kp</sub>  | 445                | 灰绿色砂岩、粉砂岩、泥岩          |
|        | 奥陶系             | 印干组              | O <sub>2y</sub>   | 84                 | 暗色泥岩、页岩、粉砂岩           |
|        |                 | 其浪组              | O <sub>2q</sub>   | 177                | 粉砂岩、泥岩、泥灰岩、灰岩         |
|        |                 | 坎岭组              | O <sub>2k</sub>   | 17                 | 紫红色、褐黄色灰岩、泥灰岩         |
|        |                 | 萨尔干组             | O <sub>2sr</sub>  | 14                 | 黑色页岩与灰岩               |
|        |                 | 丘里塔格群            | O <sub>1ql</sub>  | 800                | 灰色灰岩、白云岩具燧石条带         |
|        |                 | 寒武系              | 阿瓦塔格群             | ← <sub>2-2aw</sub> | 216                   |
|        | 沙依里克组           |                  | ← <sub>2s</sub>   | 93                 | 灰色灰岩、竹叶状灰岩、白云岩        |
|        | 吾松格尔组           |                  | ← <sub>1w</sub>   | 110                | 灰色白云岩、灰岩和粉砂岩          |
| 肖尔布拉克组 | ← <sub>1s</sub> |                  | 150               | 灰色灰岩、白云岩和页岩        |                       |
| 玉尔吐斯组  | ← <sub>1y</sub> |                  | 35                | 磷灰岩、砂岩、页岩、白云岩燧石    |                       |
| 前寒武系   | 震旦系             | 奇格布拉克组           | Z <sub>2q</sub>   | 350                | 灰色白云质灰岩、叠层石           |
|        | 苏盖提布拉克组         | Z <sub>2s</sub>  | 501               | 紫红色砂岩、泥岩和砾岩        |                       |
|        | 尤尔美那克组          | Z <sub>1y</sub>  | 50                | 浅紫红色灰岩、泥岩和砾岩       |                       |
|        | 巧恩布拉克组          | Z <sub>1q</sub>  | 1882              | 灰绿色砂岩与粉砂岩、砾岩互层     |                       |
|        | 阿克苏群组           | Pt <sub>1s</sub> | 2464              | 绿色、灰绿色绿泥石片岩、绿帘石英片岩 |                       |

\* 指柯坪隆起东部的地层层序。

的中心波长位置,可以提取岩石的矿物组成信息,从而判识岩石类型。同时,沉积岩类热红外发射光谱特征的研究也为航空和航天热红外多光谱传感器最佳波段选择提供了理论依据,对于遥感直接找矿具有重要意义。

在 1992 年和 1993 年的野外考察中,采集了大量岩石标本,在室内用美国 GER 公司的热红外智能光谱辐射仪(TIRIS)对其中 38 块进行了发射光谱测量。下面以一些典型沉积岩类的热红外发射光谱曲线为例,对沉积岩的热红外光谱特征进行研究。

## 2.1 碎屑岩

从碎屑岩类的热红外发射光谱曲线(图 1-a)来看,其光谱典型地以石英的残余辐射谱带特征为主,在 8~10 $\mu\text{m}$  之间出现石英中 Si-O 伸缩振动引起的不对称强二重谱带(中心波长位置位于 8.13 $\mu\text{m}$  和 9.17 $\mu\text{m}$  附近)。而且一些由钙质胶结的碎屑岩还在 11.3 $\mu\text{m}$  附近出现弱的  $\text{CO}_3^{2-}$  基团内部基谱振动引起的残余辐射谱带(样品 1501,1705,1315),岩石的化学分析结果证实了这些样品中确实存在有碳酸盐矿物(表 2)。

表 2 岩石样品的化学分析、X-射线衍射及薄片鉴定结果

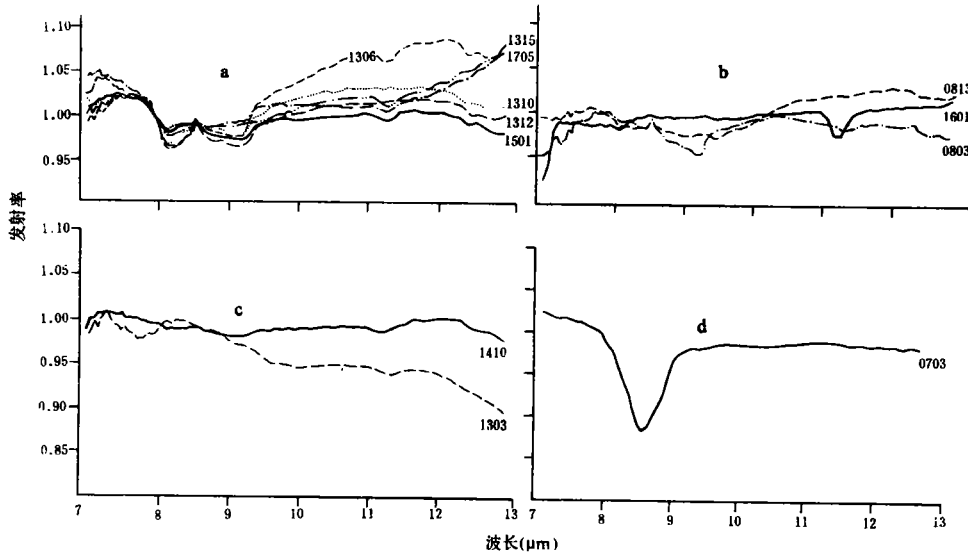
Table 2 Results of chemical X-ray analyses and thin section identification of rock samples

| 岩类   | 样品号  | 地质时代                | 岩石名称     |        | 岩石化学分析结果(%)      |       |       | X-射线衍射分析结果 |     |     |     |
|------|------|---------------------|----------|--------|------------------|-------|-------|------------|-----|-----|-----|
|      |      |                     | 野外定名     | 薄片鉴定结果 | SiO <sub>2</sub> | CaO   | MgO   | 石英         | 斜长石 | 方解石 | 白云石 |
| 碎屑岩  | 1306 | S <sub>1</sub> kp   | 灰绿色砂岩    | 细粒石英砂岩 | 78.86            | 1.06  | 1.56  | ●          | △   | △   |     |
|      | 1310 | S <sub>2</sub> -st  | 暗红色石英砂岩  |        | 89.92            | 1.62  | 0.53  |            |     |     |     |
|      | 1312 | D <sub>2</sub> -sk  | 砖红色砂岩    |        | 84.12            | 1.78  | 1.33  | ●          | ○   | +   | △   |
|      | 1501 | N <sub>2a</sub>     | 紫红色砂岩    | 细粒钙质砂岩 | 59.86            | 1.19  | 17.57 | ●          |     | ●   | △   |
|      | 1705 | P <sub>1</sub> kl   | 灰绿色砂岩    |        | 45.02            | 22.80 | 1.70  | ●          | △   | ●   | +   |
|      | 1315 | P <sub>1</sub> kl   | 黄灰色粉砂岩   | 细粒钙质砂岩 | 35.72            | 31.22 | 1.26  |            |     |     |     |
| 粘土质岩 | 0803 | O <sub>2</sub> sr   | 黑色页岩     |        |                  |       |       | △          |     | △   |     |
|      | 0813 | D <sub>1</sub> y    | 紫红色粉砂质泥岩 |        |                  |       | ●     | △          | ○   |     |     |
|      | 1601 | O <sub>2</sub> y    | 黑色灰质泥岩   | 灰质泥岩   | 39.86            | 18.63 | 4.23  |            |     |     |     |
| 碳酸盐岩 | 1303 | O <sub>2</sub> k    | 紫红色瘤状泥灰岩 | 泥晶灰岩   | 4.59             | 50.93 | 0.74  |            |     |     |     |
|      | 1410 | C <sub>2</sub> -zaw | 白色大理岩    | 结晶碳酸盐岩 |                  |       |       | △          | +   | ●   | ●   |
| 蒸发岩  | 0703 | Eks                 | 白色石膏     |        |                  |       |       |            |     | 石膏● |     |

注: ●:多量 ○:中量 △:少量 +:微量

## 2.2 粘土质岩

粘土质岩的热红外发射光谱(图 1-b)由于粒度变细而缺少光谱反差,同时由于石英含量的减少,其残余辐射谱带变得宽缓。与碎屑岩相比,其残余辐射谱带的中心波长位置,有向长波长方向移动的特点。含钙质的样品在 11.3 $\mu\text{m}$  附近出现弱的  $\text{CO}_3^{2-}$  残余辐射谱带(样品 1601);含有机质丰富的黑色页岩,在 9.2 $\mu\text{m}$  附近出现 SiO<sub>2</sub> 残余辐射谱带,在 11.3 $\mu\text{m}$  附近出现  $\text{CO}_3^{2-}$  残余辐射谱带(样品 0803)。X-射线衍射和岩石薄片鉴定结果等证实了光谱分析结果的正确性(表 2)。



a. 碎屑岩 b. 粘土质岩 c. 碳酸盐岩 d. 蒸发岩

图1 典型沉积岩类的热红外发射光谱曲线

a. clastic rocks; b. argillaceous rocks; c. carbonate rocks; d. evaporite

Fig. 1 Laboratory spectrum curves of thermal infrared emission of various typical sedimentary rocks

### 2.3 碳酸盐岩

碳酸盐岩的热红外发射光谱(图1-c)以11.3 $\mu\text{m}$ 附近出现强的 $\text{CO}_3^{2-}$ 基团内部基谱振动引起的残余辐射谱带为特征。而且随着碳酸盐岩 $\text{Mg}^{2+}$ 含量的增加(比如从石灰岩( $\text{CaCO}_3$ ) $\rightarrow$ 白云岩( $\text{MgCa}(\text{CO}_3)_2$ )),其残余辐射谱带的中心波长位置有向短波长方向移动的特点。当碳酸盐岩中含有 $\text{SiO}_2$ 时,常出现石英的残余辐射谱带。

### 2.4 蒸发岩

研究区的蒸发岩以石膏为代表,其热红外发射光谱(图1-d)以8.56 $\mu\text{m}$ 附近出现 $\text{SO}_4^{2-}$ 的强残余辐射谱带为特征。在12.44 $\mu\text{m}$ 、8.05 $\mu\text{m}$ 、12.01 $\mu\text{m}$ 等附近还出现一些很弱的低发射率带,其原因尚不清楚,有待深入研究。

## 3 讨论与结论

### 3.1 石英残余辐射谱带的应用

石英是沉积岩(特别是碎屑岩)中一种最常见的矿物成份。它在可见光、近红外及短波红外域不具有特征的吸收谱带,但在热红外域却具有特征的残余辐射谱带,这对于直接识别石英的矿物信息非常有用。同时,利用其残余辐射谱带的中心波长位置可以反映 $\text{SiO}_2$ 的含量,随着碎屑岩中 $\text{SiO}_2$ 含量的降低,残余辐射谱带的位置有向长波长波方向移动的特点,并且残

余辐射谱带的强度有逐渐变弱的趋势。根据这些特征,可以有效提取碎屑岩,粘土质岩的岩石、矿物信息,这是其它谱域的遥感技术很难直接实现的。

### 3.2 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 基团残余辐射谱带的应用

碳酸盐岩在 11.3 $\mu$ m 附近具有 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 基团内部基谱振动引起的特征残余辐射谱带,而且随着碳酸盐岩中 Mg<sup>2+</sup> 含量的增加,残余辐射谱带的中心波长有向短波长方向移动的特点。据此,可将碳酸盐岩中的石灰岩、白云岩、菱镁矿等有效地区分开。

### 3.3 富含有机质岩石的岩石、矿物信息提取

富含有机质的岩石,由于其中大量不透明物质的存在,在可见光、近红外和短波红外域,其岩石的反射光谱曲线低而平直,不具有典型的谱带特征,但在热红外域,此类岩石却具有典型的谱带特征。富含有机质的岩石,如黑色页岩,既是有利的烃源岩,又是多种贵金属(Au、Cu等)的载体。因此,利用热红外遥感技术对于遥感地质找矿具有很大潜力。

### 3.4 沉积岩热红外光谱特征研究中应注意的问题

一些氧化物和氢氧根离子,比如红色砂岩中的 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 在 10 $\mu$ m 附近具有残余辐射谱带,含铝的粘土质岩中的 H—O—Al 弯曲振动在 11 $\mu$ m 附近出现残余辐射谱带。这些矿物常出现于沉积岩中,在研究沉积岩类的热红外发射光谱特征时,应考虑它们的影响。

### 4.5 提取沉积岩类岩石、矿物信息的热红外多光谱遥感最佳波段选择

岩石的热红外发射光谱特征的研究,为航空和航天热红外多光谱传感器最佳地质应用波段选择提供理论依据。例如,富含 SiO<sub>2</sub> 的碎屑岩在 8.13 $\mu$ m 和 9.17 $\mu$ m 具有二重残余辐射谱带,富含 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 基团的碳酸盐岩在 11.3 $\mu$ m 附近具有残余辐射谱带,石膏在 8.56 $\mu$ m 附近具有 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 的残余辐射谱带。在热红外多光谱传感器波段选择时,一般应尽量使各波段的中心波长位置与这些残余辐射谱带的中心波长位置一致,而且波段宽度应尽量窄,这样才有利于利用热红外多光谱遥感技术进行直接找矿。

致谢:本研究是中日合作研究课题的一部分成果,研究工作得到魏俊超研究员的指导,日本地球科学综合研究所(JGI)提供了岩石室内测量的热红外发射光谱曲线,参加野外工作的还有郑建京、陈国俊、师铮等,在此一并表示感谢。

收修改稿日期:1994-02-10

## 参 考 文 献

- [1] Abrams, M. J., Abbott, E., and Kahle, A., 1991, Combined use of visible, reflected infrared and thermal infrared images for mapping Hawaiian lava flows, *J. Geophys. Res.* 96(B<sub>1</sub>): 475~484.
- [2] Gillespie, A. R., Kahle, A. B., and Palluconi, F. D., 1984, Mapping alluvial fans in Death Valley, California using multichannel thermal infrared images, *Geophys. Res. Lett.* 11(11): 1153~1156.
- [3] Gillespie, A. R., Kahle, A. B., and Walker, R. E., 1986, Color enhancement of highly correlated images. I. decorrelation and HSI contrast stretches, *Remote Sens. Environ.*, 20: 209~235.
- [4] Hunt, G. R., and Salisbury, J. W., 1975, Mid-infrared spectral behavior of sedimentary rocks, Air Force Cambridge Research Laboratories Technical Report TR-75-0356, 49pp.
- [5] Kahle, A. B., and Goetz, A. F. H., 1983, Mineralogic information from a new airborne thermal infrared multispectral scanner, *Science*, 22: 24~27.
- [6] Lyon R. J. P., 1965, Analysis of rocks by spectral infrared emission (8 to 25 microns), *Econ. Geol.* 60: 715~106.

- [7] Salisbury, J. W. and Daria, D. M., 1992, Emissivity of terrestrials materials in the 8 ~ 14 $\mu$ m atmospherlo window, Remote Sens. Environ. ,42:83~106.
- [8] Vincent, R. K., Rowan, L. C., Gillespie, R. E., and Knapp. C., 1975, Thermal—infrared speetra and chemical analyses of twenty—six igneous rock samples ,Remote Sens. Environ. , 4:199~209.
- [9] Watson, K., Kruse, F., and Hummer, S., 1990, Thermal infrared exploration in the Carlin Trend, Geophysics, 55(1): 70~79.

## Study of Thermal Infrared Spectra Features of Typical Sedimentary Rocks from Kalpin Uplift in Tarim Basin

Fu Bihong, Chou Xiaowei

(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy Sciences)

### Abstract

The research results of laboratory thermal infrared emissivity spectra of some typical clastic rocks, argillaceous rocks, carbonate rocks and evaporite collected from Kalpin Uplift in Tarim Basin, integrated with the results of chemical analysis, X—ray diffraction and thin section identification of rocks indcate that clastic rocks and argillaceous rocks with quartz have restrahlen band between 8 and 10 $\mu$ m, which results from interatomic stretching vibrations of silicon and oxygen bound in the crystal lattice. The band center has been shown to move to longer wavelengths and decrease in intensity with decreasing quartz content, Carbonate rocks exhibit low emissivity band at 11. 3 $\mu$ m due to C—O bending modes, the band center shown to move to shorter wavelengths with increasing Mg<sup>2+</sup> content, and gypsum has an intense low emissity band near 8. 56 $\mu$ m caused by fundamental stretching motions of sulfate ion . The rock type, mineralogical composition and content of sedimentary rocks can be determined according to these features.

The analyses of thermal infrared spectra features of sedimentary rocks provide a theoretical basis for thermal infrared multispectral remote sensing. According to the center wavelenghts of restrahlen band (or low emissivity band) of sedimentary rocks, the relevant bands can be selected for airborne and spaceborne thermal infrared multispectral scanners (TIMS) to extract and distinguish the lithologic and mineralogic information. For example, 8. 13 $\mu$ m, 9. 17 $\mu$ m, 11. 3 $\mu$ m and 8. 56 $\mu$ m, etc. are the best band center for TIMS scanner.

The TIMS will become a powerful new geologic remote sensing tool that can provide rich lithologic and mineralogic information in the future.