

风化及其它类荒漠漆表面层 对高光谱分辨率遥感的影响(一)*

R. J. P. 莱昂 (Lyon)

(斯坦福大学地质与环境科学系 美国加州, 斯坦福 94305-2115)

摘要 由地表风化产生的表面覆被层的矿物质,其质地或与它的基岩矿物相似,或十分不同,虽然这类表面层的厚度仅有几微米到几毫米,但它们却完全控制了地面的反射光谱。与此相似,有些由风吹送的尘埃、胶结物或其它附着物在表面形成的外层也是影响遥感反射光谱的重要因素。这种由胶结物形成的表层往往是深色(甚至黑色)的,因为它们通常出现在干旱区,故常称为“荒漠漆”(“desert varnish”)。尽管这些暗色对我们的眼睛并无特别之处,但这类表面层(通常为粘土)在短波红外区(SWIR)具有低反射率的吸收特征,并能据此推断它们的矿物成分。因此,为了要在遥感图象和地面的实际“地质状况”之间建立联系,必须对裸露岩石表面特征具有良好的了解。由于不可能在野外总能找到“新鲜”的岩石表面,因此,人们必需能将“岩石内部”物质的光谱和它“上、下表面”的光谱区分开。

本部分以美国加利福尼亚东部 White-Inyo 山区高海拔地区早古生代白云质碳酸盐的风化表面为例,研究其岩石表面风化特征与海拔高度的关系。

关键词 风化,新鲜面,荒漠漆,光谱反射,吸收

1 概述

地质学家往往只对“新鲜”岩石感兴趣,而忽略了风化表面在遥感中的重要性。然而,在遥感中,一个样品的表面层(表层几十微米)却包含了该岩石的许多基本遥感信息。

Elliott-Fisk 将风化定义为^[1]“岩石物质的化学和机械的分解”。这两种过程在 White-Inyo 地区均十分明显,并且随小气候条件而变化。化学风化与温度以及液态水的丰缺程度有关,而机械风化通常需要有温度和湿度的显著变动^[2]。在怀特山(White Mountains)地区,由于其干旱状态,化学风化相当缓慢^[3]。Marchand 计算了^[4] Sage Hen Flat 地区机械侵蚀的速度约为 1.7—2.1 cm/1000a。在海拔较高的地方,由于降水增加及冻融、冰川运动和重力剥蚀的共同作用,其风化速度就比较快。

* 本文由斯坦福大学 R. 莱昂教授 1994 年供稿,项月琴,张良培译,童庆禧校。

收稿日期:1995年10月4日

2 遥感数据集

为了研究 Reed 组白云岩在不同海拔高度上的特征, 本文对两条航线, 约 500km² 上的 Geoscan 航空多光谱扫描图象进行了研究, 并同时大约 200 个样品进行了红外反射光谱的测量。以往的许多工作^[5,6], 即使采用了多光谱卫星图象, 在绘制 Reed 组地层图时仍然遇到困难。本研究的目的在于进一步确定 Reed 组岩石的详细光谱特征, 以便有助于对 White-Inyo 等地区的白云岩进行遥感地质制图。研究中采用了 X 线衍射法、扫描电子显微镜 (SEM) 法和薄片分析法以帮助对多光谱图象进行解释^[7]。

2.1 较低海拔高度的各点

在海拔较低 (2200m 以下) 的各研究点未经变质的上、下 Reed 组岩石均有很好的出露。其风化以化学过程为主, 在岩石露头表面形成了一层棕黄色的表面层。下 Reed 组岩石的新鲜面表现出明显的“压抑”型光谱特征 (低反差)。经波段差值处理的多光谱扫描图象 (特别在 2.220—2.308 μm 的短波红外区) 显示出各岩性段之间的明显界线, 并能将灰岩和白云岩很好地加以区分。

2.2 海拔高度较高的各点

在高海拔地区 (2200 m—3350m), 由于深层花岗岩的侵入, Reed 组白云岩广泛变质, 发生重结晶呈全白色, 含有散布状的钙硅质矿物。在它们的露头中, 上、下岩性段难于区分。在这些岩石表面没有出现风化外层, 其自然表面和新鲜表面的光谱都表现出很强的白云岩的吸收特征。从多光谱扫描影象上虽然有些地区 Reed 组岩石与白云岩十分相似, 但实际上并不一致。在这些高度上, 露头的岩石十分破碎, 由于冻裂作用表面覆盖了一层碎屑, 并混以一些大约是风成的富粘土无碳酸盐的土壤。因而有效地“冲淡”了在扫描图象上所能见到的碳酸盐特征。

3 表面的类型

在 White-Inyo 中部地区, 岩石表面的变化十分丰富。本研究所采集的样品充分表现了 Reed 组岩石的变化: 如具有棕黄表面覆层的暗色下 Reed 组样品; 下表面有一钙质外层的样品; 有少量地衣覆盖的多角状风化样品; 无表面风化层样品等。一般而言, 在较低海拔高度上, 如沃柯比湾、士兵峡谷、莫雷吉布森矿和大理石峡谷呈现出一细粒状的棕黄色薄层, 然而, 取自帕特里奇小树林和巴克洛夫门附近地方的样品, 没有明显的风化层存在。在干旱和半干旱环境下, 最普通的风化物之一是粘土和富含锰的荒漠漆^[8-11]。Adams 发现^[9] 荒漠漆与它所形成的基质之间并没有化学或矿物学上的必然联系, 它们是断断续续积累起来的, 并且需要几千年的时间。如果 Marchand 所发现的岩石剥蚀速度对较高高度上的 Reed 组各点是正确的话^[4], 那么, 与这种表面蚀变相比风化速度就要快得多。

4 实验室光谱测量

实验室的红外反射率研究表明：在某些白云石样品中所测到少量铁 (Fe^{2+}) 的类型在新鲜表面和风化表层中不尽相同。Hunt 和 Salisbury 指出^[12] 由于二价铁离子的存在，在 $1.1\mu m$ 处有一宽的铁吸收带，他们发现即使含铁 (Fe) 只有重量的 0.03% 时，那么宽的二价铁吸收带也同样会出现。Gaffey 指出^[13] 当 Fe 的含量从 0.5% 增加到 3.3% 时，其宽吸收带最低值的深度将随 Fe 含量的增加而增加，但是非线性的。三价铁离子 (Fe^{3+}) 在较短波长处也有吸收，而且它们随铁的氧化矿物的性质而变化。针铁矿的吸收在 $0.896 - 0.932\mu m$ 之间。

对 29 对由风化层及新鲜面所组成的光谱曲线研究表明：(1) 约有 60% 的新鲜岩石在波长 $1.0 - 1.1\mu m$ 之间的宽吸收带，是由 Fe^{2+} 取代白云石结构中 Mg^{2+} 而形成的；(2) 与此相应的风化层的光谱最小值已不存在，或者飘移到 $0.9\mu m$ 附近，这是因为 Fe^{2+} 氧化成 Fe^{3+} 的结果；(3) 约有 14% 的样品， Fe^{2+} 吸收带的位置不变，或在 $1.0 - 1.1\mu m$ 处有所加强；(4) 20% 的样品在 $0.9\mu m$ 附近 (Fe^{3+}) 的吸收已经消失（由于铁被淋滤掉的结果）；(5) 83% 的样品，表层光谱反射率从 $0.9\mu m$ 开始很快上升，可认为这是由细小微粒的物质所造成的。在微粒状碳酸钙 ($CaCO_3$) 表面也发现有类似的光谱特征。

5 各研究点分析

为研究岩石的风化表面层对航空扫描数据的影响，我们对不同高度上每个样品的新鲜和自然表面进行了实验室光谱测量。下面将对每个测点的特征进行讨论。文中每张图均有两条光谱曲线，上面一条代表风化层，下面一条则是新鲜表面。Y 轴上的每一格代

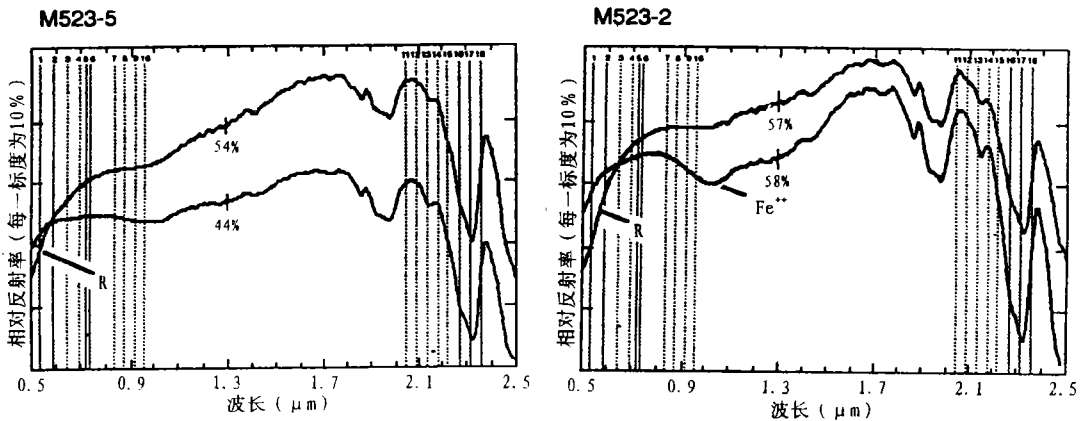


图1 大理石峡谷 (1号点) 风化表面和新鲜表面的光谱曲线

注: $1.3\mu m$ 处的反射率为参考值。上面曲线对应于风化表面，下面的曲线对应于新鲜岩石。R—光谱曲线蓝色区末端的“斜坡”段； Fe^{2+} 为二价铁的吸收，垂直的虚线是 Geoscan 扫描仪窄带滤光片的中心波长位置。

Fig.1 Spectra of weathered and fresh surfaces from Marble Canyon (site 1)

表 10% 的反射率, 而在 $1.3\mu\text{m}$ 处将相对反射率标出以作为参考值。Russel 尚未发表的硕士学位论文为本文提供了 200 条光谱曲线^[7]。

5.1 大理石峡谷 (Marble Canyon) (海拔 1590m, 1 号点)

大理石峡谷的样品表明 (图 1): 除风化表面的反射率稍有增加并具有更为细小的粒状表面之外, 新鲜表面和风化表面之间几乎没有差别。

5.2 士兵峡谷 (Soldier Canyon) (1950m, 2 号点)

士兵峡谷全部样品的外表面层显示出很强的白云石吸收 (图 2)。有些样品在 $1.4\mu\text{m}$

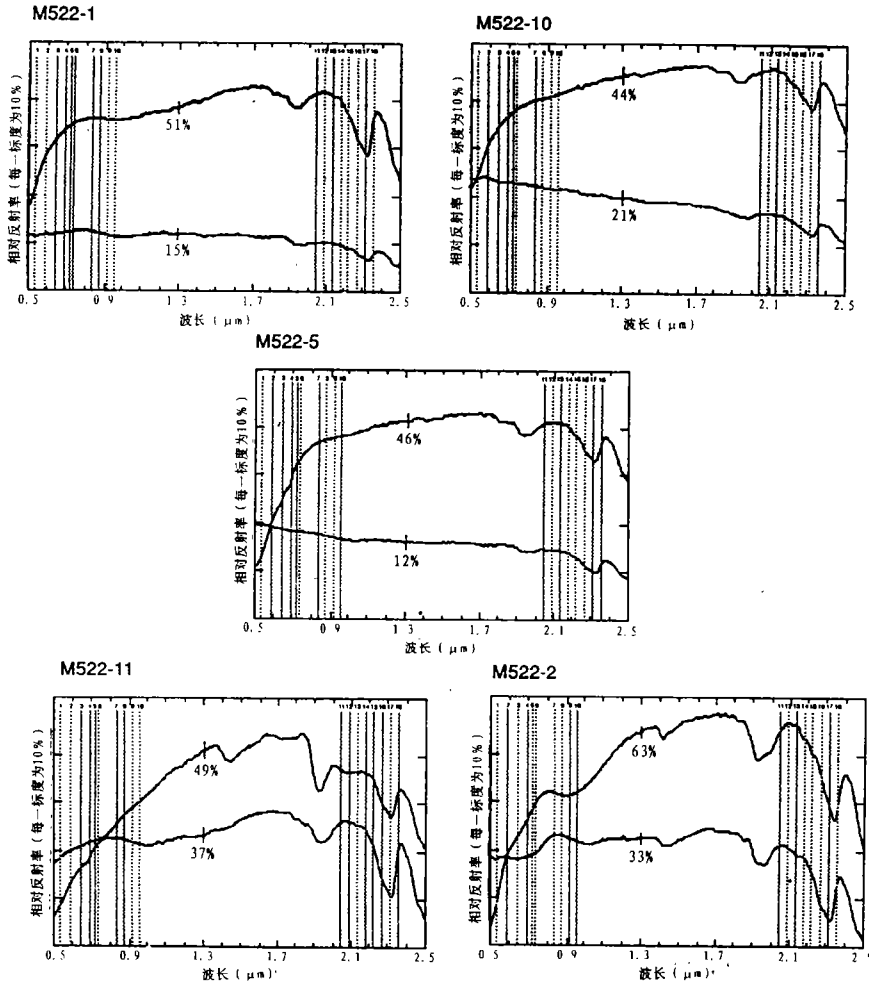


图 2 士兵峡谷 (2 号点) 的风化面和新鲜面的光谱

注: 在 $1.3\mu\text{m}$ 处的反射率为参考值。上面曲线对应于风化表面, 下面曲线对应于新鲜岩石。R—在光谱蓝光区末端的“斜坡”; Fe^{++} 为二价铁的吸收。

Fig.2 Spectra of weathered and fresh surfaces from Soldier Canyon (site 2).

和 1.9 μm 处有典型铝-粘土的羟基吸收特征，这可能是由风成的硅酸盐尘埃所形成的典型的沙漠漆面所致。

5.3 沃柯比湾 (Waucobi Embayment)(2200m, 3号点)

沃柯比湾及其南边的光谱(图3)在 2.320 μm 处有典型的白云石吸收，通常风蚀表面比新鲜面的反射率要高。新鲜表面的反射率为 61%，而风化面的为 44%。在这个地区大多样品风化面与新鲜表面的光谱极为相似。这些光谱反射率的“斜坡”(R 所指示)随波长的增加而稳定增加，这是典型的微粒状岩石样品的特征(即其粒度远小于 100 μm; 甚至微粒大小在 2 微米以下^[15])。根据 Hunt 和 Salisbury 的研究结果^[16]，样品 L412-23 应有很多碳酸盐的吸收波段，(在 0.5—2.5 μm 光谱区可能有 4 个)。样本 WM-625 在 1.9 μm 处有一个 O—H 的强吸收。WM-627 样品从大约 1.020 μm 处的二价铁特征移向较短波长处(0.929 μm) 表现为三价铁的吸收带。

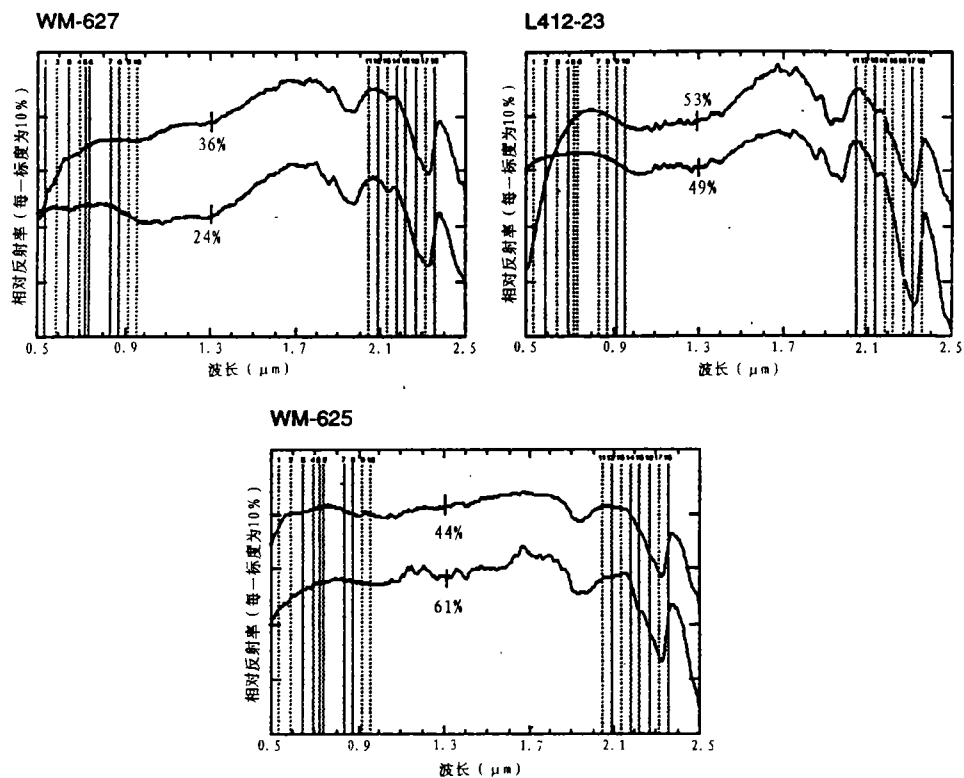


图 3 沃柯比湾风化表面和新鲜面的光谱(3号点)

注: 1.3 μm 处的反射率为参考值。上面的曲线对应于外表面, 下面的曲线对应于新鲜岩石。

Fig.3 Spectra of weathered and fresh surfaces from Waucobi Embayment (site 3)

5.4 莫雷吉布森 (Mollie Gibson) 矿区 (2440m, 4号点)

莫雷吉布森矿区下 Reed 组的一个新鲜岩石样品 (M522-20) 表现出“压抑”状的

光谱特征 (图 4)。该样品最外层同时也显示出碳酸盐的弱吸收。该地区的另外两个样品在其新鲜表面有很强的白云石吸收, 而风化表面仅显示出在 $2.320\mu\text{m}$ 附近有弱的白云石的吸收和在 $1.9\mu\text{m}$ 附近有弱的羟基的吸收带。

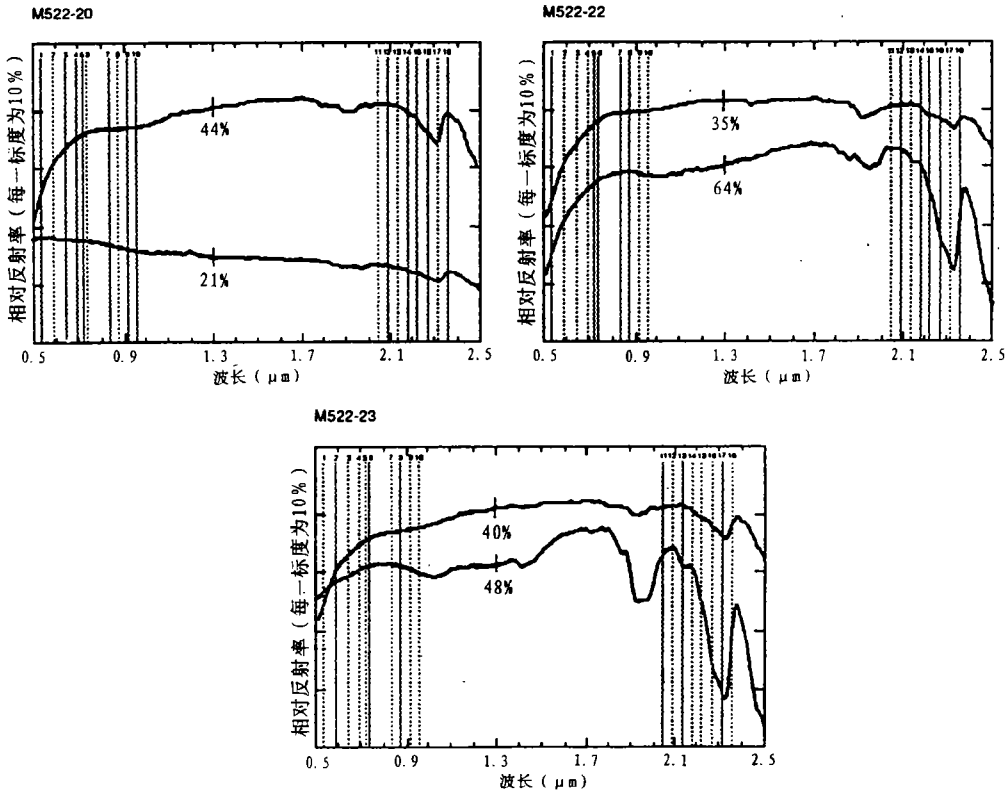


图 4 莫雷吉布森矿区风化层和新鲜表面的光谱曲线 (4号点)

注: 在 $1.3\mu\text{m}$ 处的反射率为参考值。上面的曲线对应于外表面值, 下面的曲线对应于新鲜表面的值。

Fig.4 Spectra of weathered and fresh surfaces from Mollie Gibson Mine area (site 4)

5.5 帕特里奇 (Patriarch) 小树林 (3350m, 5号点)

帕特里奇小树林较高高度上的取样表明, 这里没有明显的风化层 (图 5), 也很难区分风化的外表层和岩石的新鲜表面。风化表面和新鲜表面的反射率值很相似。白云石在 $1.4\mu\text{m}$ 处的明显吸收, 可能是由于变质的透闪石矿物, 一种在该地区分布广泛的钙质硅酸盐所致。

6 薄片鉴定及 X 射线衍射 (XRD) 测量

Reed 组白云石外表面钻孔得到的岩石粉末用 X 线衍射法得到的结果表明: 大部分表面为白云质, 也还有少量的方解石、石英和粘土。XRD 的结果证实来自所有地区岩石的外表面覆被层主要是白云石。在海拔高度较高地区上收集的一些样品中方解石的出

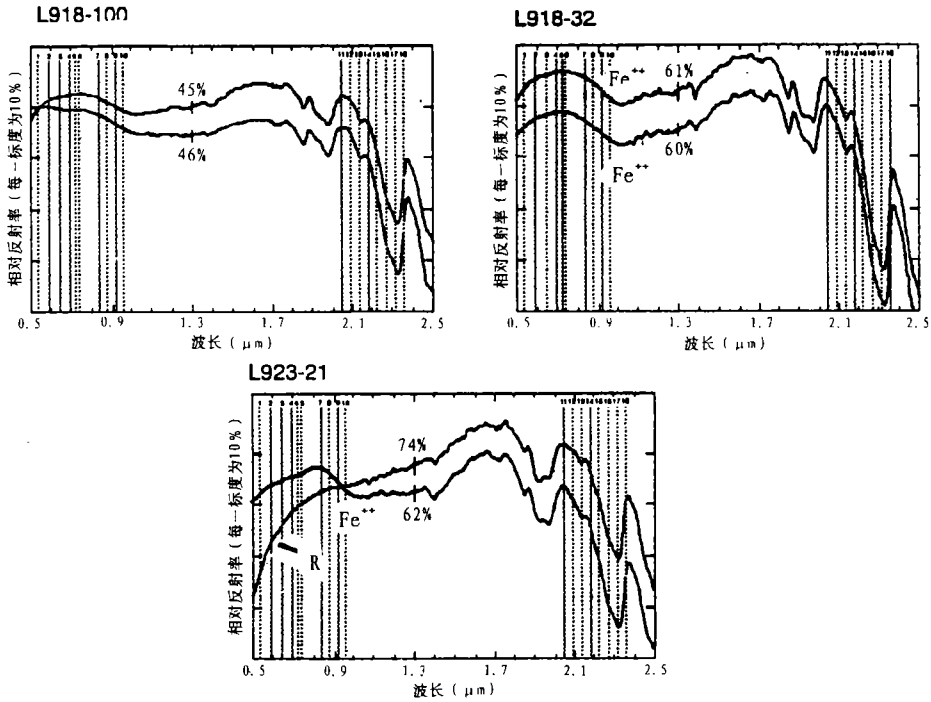


图 5 帕特里奇小树林的风化和新鲜岩石表面的光谱曲线 (5号点)

注: 在 1.3 μm 处的反射率值为参考值。上面的曲线为风化表面, 下面的为新鲜表面的值。

Fig.5 Spectra of weathered and fresh surfaces from Patriarch Grove (site 5)

现可能是从节理面上产生的钙质层的渗入所致。

7 扫描电子显微镜 (SEM) 的结果

用 SEM 对 3 个样品进行了分析, 为了便于比较, 其照片均是在大体相同的放大倍数 ($\times 400$) 下拍摄的。从士兵峡谷采集 M522-11 号的样品 (图 6) 其风化表面由片状物组成, 形成非连续表面, 它们虽然不像 Adams 等人所描述的干旱地区荒漠漆那样完整, 但在物理上 (不是化学上) 两者却有相似之处。帕特里奇小树林的样品 L918-100 (图 7), 没有任何明显的风化表皮层, 外表面也不像较低海拔高度上的样品那样具有片状和层状结构。

SEM 的分析表明: 那些具有明显风化层表面的样品是由薄的片状物组成, 它与岩石内的新鲜表面有明显的不同。实验室红外光谱的测量结果说明, 形成这些片状表面的颗粒大约由直径 $2\mu\text{m}$ 左右的微粒组成。

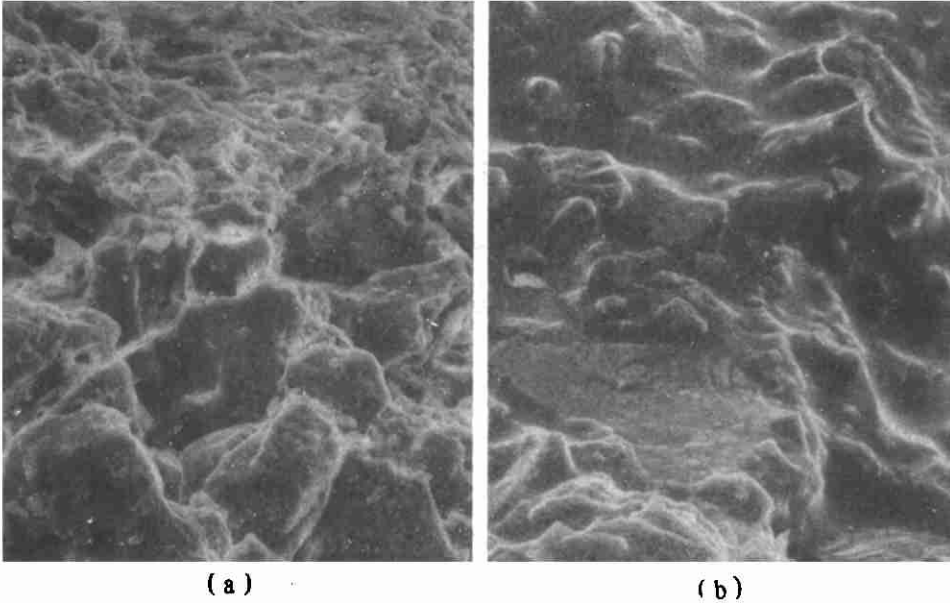


图6 士兵峡谷收集的上 Reed 组 (M522-11) 风化面 (a) 和新鲜面 (b) 的扫描电子显微镜 (SEM) 的照片

注: 图中标尺为 $100\mu\text{m}$, 照片 (a) 和 (b) 的放大倍数分别为 400 倍和 388 倍。

Fig.6 SEM photographs of weathered (a) and fresh (b) surfaces of upper Reed (M522-11) collected in Soldier Canvon

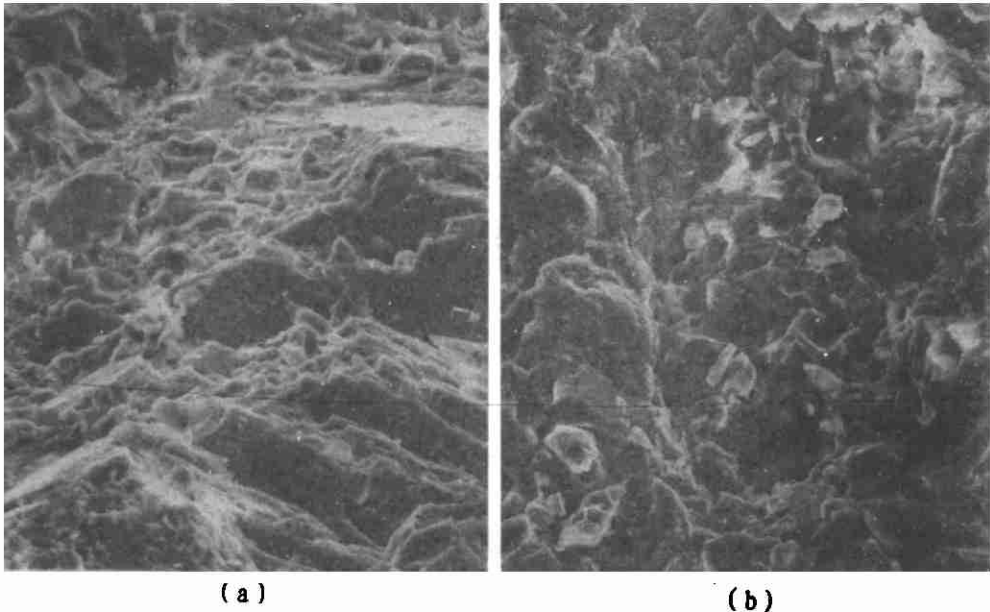


图7 帕特里奇小树林变质 Reed 组(L918-100)样品的风化表面(a)和新鲜面(b)的 SEM 照片

注: 图上的标尺为 $100\mu\text{m}$, 照片 (a) 和 (b) 的放大倍数分别为 472 倍和 400 倍。

Fig.7 SEM photographs of weathered (a) and fresh (b) surfaces of metamorphosed Reed (L918-100) collected at Patriarch Grove

8 影响光谱特征的其它因子

虽然本文的研究强调的是风化表面和新鲜表面间的关系,然而其它因子也对航空光谱特征有所影响。

8.1 土壤覆盖和露头的性质

在高、中、低海拔高度上所采集到的 Reed 组白云石露头的土壤样品表现了一定的弱碳酸盐吸收特性,还发现有很典型的粘土矿物的羟基吸收^[17,18]。土壤的光谱形状随高度没有任何明显的变化(图 8)。

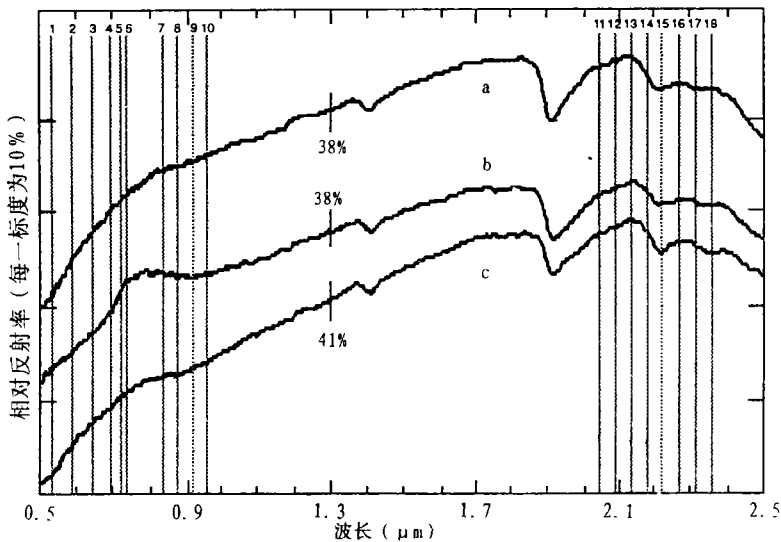


图 8 White-Inyo 地区直接从 Reed 白云石碎屑岩底下采集的土壤样品的光谱

注: (a) 巴克洛夫门附近帕特里奇小树林以北的羊圈 (3500 m, 7号点); (b) 大视野矿 (2500m, 6号点);
(c) 沃柯比湾 (2200m)。

Fig.8 Spectra of soils sampled directly underneath Reed Dolomite float fragments throughout the White-Inyo Range

Marchand (1970) 在研究了在 Sage Hen Flat 附近海拔高度在 3000—3600 米的 Reed 组白云石的石质土后发现该地区的土壤中至少有 30% 是由风刮来的流纹岩火山灰。

Powel 和 Klienforth 所提出的 white Inyo 地区的强风化类型与上述结论是一致的^[19]。

由于土壤和其下面基岩间的关系很差,在该地区凡是土壤覆盖度很低的各点,明显地能得到高质量的碳酸盐影象。在较平坦的地区,如帕特里奇小树林,土壤在地表的积累形成了一个薄层,从而使大部分露头被掩盖而变得模糊不清。在较陡的峡谷区,岩石裸露部分比较广泛,如士兵峡谷和大理石峡谷,具有很高的岩石土壤比,从而遥感在影象上很容易将白云岩区分出来。

8.2 痕量杂质和其它混杂物

碳酸盐岩石中掺有各种痕量杂质时, 会使其光谱发生很大改变。Crowley 发现极少量 ($<0.1\%$) 的细小的有机质会使碳酸盐样品的光谱总亮度降低并降低吸收光谱的反差^[15]。如果白云岩在 $2.325\mu\text{m}$ 处的主要吸收很强, 粘土和水中的 O—H 键则不能掩盖该处的吸收, 但 O—H 键在 $1.4\mu\text{m}$ 和 $1.9\mu\text{m}$ 处的吸收却能消除较弱的碳酸盐吸收的影响 (即图 2, 样品 M522-11, M522-2)。 $1.9\mu\text{m}$ 吸收带的存在表明在样品中存在分子水, 然而若无 $1.9\mu\text{m}$ 吸收, 而只有 $1.4\mu\text{m}$ 吸收带的话, 则表明仅仅存在 OH^- 。同样, 如在碳酸盐样品中夹杂着液态水的话, 则会造成 $1.6-2.0\mu\text{m}$ 间的吸收^[12,13,20], 但它通常不会掩盖住主要碳酸钙的吸收带。

9 总结和结论

9.1 较低海拔区: 1590—2440m (南部地区)

(1) 大多数南部 Reed 组岩石外层表面具有一种细粒表面的斜坡型光谱特征。其外层表面的反射率比内部的新鲜面高。

(2) 下 Reed 组的新鲜表面的光谱遭到强烈的抑制 (即具有低反射率, 反差很小或无反差), 这可能是由于少量有机杂质渗入所致。XRD 分析发现, 棕黄色外层主要是由白云岩组成, 它在可见光绿波段的光谱反射率迅速增加并明显地对暗灰色白云岩 (下 Reed 组) 在 $2.325\mu\text{m}$ 附近以碳酸盐为主的吸收起到了增强作用, 这对航空扫描仪对它的识别十分有利。

(3) 与新鲜岩石比较, 外层表面铁的氧化状态是不同的。大量的样品在新鲜岩石光谱中显示了 $1.0\mu\text{m}$ 附近二价铁的吸收, 但在风化表面则表现为向短波方向的漂移 ($-0.9\mu\text{m}$; 三价铁), 或没有铁吸收的迹象。这意味着在新鲜岩中发现的二价铁物质也许是由于当表面精细颗粒层形成时氧化成三价铁的 (或消除) 原因。

(4) 下 Reed 组最好的实验室光谱是在白云岩形成表面层的情况下得到的。南部研究地区较好的航空光谱数据, 是由于该地区几乎无土壤, 而峡谷内又有大量裸露岩石以及这些起增强作用的风化表面覆被层强烈发育的缘故。

(5) 方解石 (碳酸钙, CaCO_3) 经常以岩石碎块在下部的风化产物中出现, 由于它没有覆盖白云岩的上部表面, 因此也就无法被扫描仪所探测到。

9.2 高海拔区: 3350m 以上 (帕特里奇树林)

(1) 高海拔地区样品的最外层与新鲜表面几乎具有相同的光谱特征, 即具有高光谱反差以及典型的白云岩吸收。某些实验室光谱还可发现有钙硅质岩的存在。

(2) 高海拔地区的样品由于机械风化居于支配作用, 迅速的物理分解导致没有充足的时间通过化学作用来形成岩石的表面覆被层。在大多数风化和新鲜表面的一对光谱中, 二价铁的作用稳定地表现在 1.1 到 $1.2\mu\text{m}$ 光谱段。

(3) 在帕特里奇树林地区的 Reed 组白云岩已因巴克洛夫特 (Barcroft) 和棉木

(Cotton wood) 岩体的侵入而产生热变质。岩石中的各种杂质已被交代液体所消除。然而, 风扬土壤和冰碛物直接覆盖从而在航空扫描仪的图象上对分散的白云岩露头产生了模糊作用。

9.3 分析结果

(1) XRD 粉末分析显示大多数样品的上表面主要是白云石。某些样品在其外层中也包含有石英、方解石以及粘土。这些粘土可能是原始碳酸盐岩的溶解过程的一种化学残余, 也可能是沙漠漆的一种形式。

(2) SEM 分析表明: 在较低海拔处, 风化表面所具有的一种薄的、铜锈状的外层, 可能是由许多白云岩颗粒所构成。高海拔地区变质的 Reed 组岩石的风化表面很难从 SEM 照片中与新鲜表面区分开来 (由于透闪石存在的原故, 图 9)。

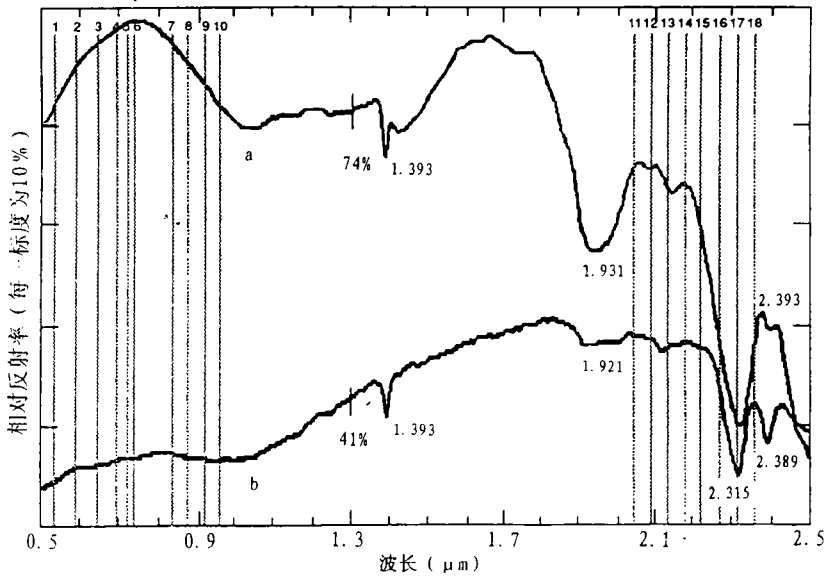


图 9 (a) 博奇 (Birch) 河地区变质 Reed 组白云岩 (8 号点) 光谱, (b) 相邻透闪石脉的光谱

注: 在 1.393、3.215 以及 2.39 微米附近的吸收是典型的透闪石特征。在 1.3 微米处的反射率为参考值。

Fig.9 Spectra of metamorphosed Reed Dolomite at high altitude region

(3) 土壤的作用

3 个不同海拔高度地区的 Reed 组白云岩上部土壤光谱非常类似。这个结果表明它们的土壤可能均来自同一源地而非当地生成。在那些岩石-土壤比很高的地区, 如大峡谷地区则可获得高质量的图象。

参 考 文 献

- [1] Elliott-Fish, D.. Geomorphology, in Natural History of the White-Inyo Range, Eastern California. University of California Press. 1991, 27—41.

- [2] Cloutis, E. A. Remote sensing of cold deserts: Spectral reflectance properties of weathered rock surfaces. Proceedings of the Seventh Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology, ERIM, Calgary, Alberta, Canada, 1989, 1, 487 — 500.
- [3] LaMarche, V. C. Rates of slope degradation as determined from botanical evidence, White Mountains, California. U. S. Geological Survey Professional Paper 325-I, 1968, 341 — 377.
- [4] Marchand, D. E. Rates and modes of denudation, White Mountains, eastern California. American Journal of Science 1971, 270: 109 — 135.
- [5] Nelson, C. A. Geologic map of the central White-Inyo Range, in Natural History of the White-Inyo Range, Eastern California. Ed. C. A. Hall, Berkeley: University of California Press, map insert, 1991.
- [6] Ernst, W. G., E. D., Paylor, II, Integrated structural, stratigraphic, and multispectral scanning study of the Reed Dolomite, central White-Inyo Range, easternmost California: Geol. Soc. amer. Abstracts with Programs. 1993, 25, (5), 35.
- [7] Russell, P. S. Multispectral Image Analysis and Spectral Characteristics of the Reed Dolomite at Various elevations, White-Inyo Range, Easternmost California unpub. M. S. dissertation, Stanford University. 1993, 184.
- [8] Springer, M. E. Desert pavement and vesicular layer of some desert soils in the desert of the Lahontan Basin, Nevada. Proc. Soil Sci. Soc. Am. 1958, 22, 63 — 66.
- [9] Adams, J. B. *et al.* Interpretation of weathered surfaces in arid regions using Landsat multispectral images. Proceedings International Symposium on Remote Sensing of Environment, ERIM., 1982, 2, 685 — 694.
- [10] Lyon, R. J. P. Effects of weathering, desert-varnish, etc., on spectral signatures of mafic, ultramafic and felsic rocks, Leonora, West Australia, with comments on their surface coatings. Proceedings of the Fifth Australasian Remote Sensing Conference, 1990.
- [11] Rivard, B. *et al.* Varnish, sediment, and rock controls on spectral reflectance of outcrops in arid regions. Geology 1992, 20, 295 — 298.
- [12] Hunt, G. R., J. W. Salisbury. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks. II. Carbonates. Modern Geology 1971, 2, 23 — 30.
- [13] Gaffey, S. J. Reflectance spectroscopy in the visible and near-infrared (0.35—2.55 μm): Applications in carbonate petrology. Geology 1985, 13, 270 — 273.
- [14] Windeler, D., R. J. P. Lyon, Discriminating dolomitization of marble in the Ludwig skarn near Yerington, Nevada using high-resolution airborne infrared imagery. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 1991, 87, (9), 1171 — 1177.
- [15] Crowley, J. K. Visible and near-infrared spectra of carbonate rocks: reflectance variations related to petrographic texture and impurities. Journal of Geophysical Research 1986 91B, 5, 5001 — 5012.
- [16] Hunt, G. R., J. W. Salisbury, C. J. Lenhoff. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: III. Oxides and Hydroxides. Modern Geology 1971, 2, 195 — 205.
- [17] Hunt, G. R., J. W. Salisbury, C. L. Lenhoff. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: VI. Additional silicates. Modern Geology 1973, 4, 85 — 106.
- [18] Crowley, J. K., N. Vergo. Visible and near-infrared (0.4—2.5 μm) reflectance spectra of selected mixed-layer clays and related minerals. Proceedings of the Sixth Thematic conference on Geologic Remote Sensing: Exploration.

Engineering, and Environment. ERIM, Houston, 1988. 597—606.

- [19] Powell, D. R., H. E. Klieforth. Weather and Climate in Natural History of the White-Inyo Range, Eastern California. University of California Press. 1991, 3—26.
- [20] Swayze, G. A. N. Vergo. High Spectral Resolution Reflectance Spectroscopy of Minerals. Journal of Geophysical Research. 1990, **95B**, 8, 12653—12680.

作 者 简 介

R. J. P. 莱昂 (Lyon), 男, 1928 年生, 毕业于西澳大学地质系, 教授。1954 年获美国伯克利加州大学矿产与构造地质学博士; 1963—1965 年在美国宇航局阿默斯研究中心从事博士后研究; 1965 年执教于美国斯坦福大学; 1972 年起任教授。曾任美应用地球科学接纳委员会和奖励委员会委员, 国际地质对比计划遥感光谱特征工作组委员, 现任国际“环境遥感”编委, 国际地质遥感专题会议执行委员会成员。

The Effects of Weathering and Other Varnish-like Coatings on High Spectral Resolution Airborne Imagery (Part one)

R. J. P. Lyon

(Dept. of Geological & Environmental Sciences Stanford University, Stanford, CA, 9405-2115, USA)

Abstract Surface weathering produces coatings of mineral materials which may be similar to, or quite different from, the minerals of the underlying parent rock. These coating are usually only microns to millimeters in thickness, but they completely control the reflectance spectra of the terrain. In a similar way coatings formed from adherence of wind-borne dusts, cemented or not, will also dominate the reflectance spectra as seen in remotely sensed imagery. Cemented coatings are often dark-colored (even black) and are usually termed “desert varnish” from their common occurrence in arid regions. Despite their featureless, dark color to our eyes, these coatings (often clays), show characteristic reflectance minima in the short-wave infrared (SWIR) regions, by which their mineralogical composition can be deduced. Thus to relate remotely sensed imagery to actual ground “geology” requires a good knowledge of the surficial character of the exposed rock outcrops. It is not always possible to find “fresh” surfaces in the field, and one must always differentiate “upper-surface” spectra (and also “lower-surface” spectra) from the spectra of the “inner rock” materials.

This paper describes one of the major surface coatings which is on the weathered dolomite carbonate from the early Paleozoic sequences of easternmost California USA.

Key words Weathering fresh surface, Desert varnish, reflectance spectra, absorption