

中国地质科学院研究报告0160002号

桂林——阳朔机载热红外扫描在岩溶地质 岩溶水文地质中的应用

岩 溶 地 质 研 究 所

一 九 八 四 年

关于“桂林—阳朔机载热红外扫描在岩溶地质岩溶水文地质中的应用”

评审意见书

〔中国地质科学院(85)地科技字第118号批准〕

“桂林—阳朔机载热红外扫描在岩溶地质岩溶水文地质中的应用”系岩溶地质研究所承担原地质部水文地质工程地质局下达的科研任务的成果报告。

一九八〇年九月。为了研究机载红外扫描在岩溶地质工作中的应用效果。在桂林—阳朔地区2100平方公里的范围内,进行了专门性的热红外遥感试验。这也是我国岩溶地区首次进行的较系统的机载红外扫描试验。

该项研究工作获取了较丰富的空中热红外和地面辐射温度测试资料,为热红外图象的解译提供了依据。在解译工作中进行了大量的野外调查和必要的验证,同时也收集和参考了较多的国内外有关资料。报告不仅对岩溶地区的岩性、构造和水文地质特征进行了不同程度的解译和论述,而且还对机载红外扫描方法、技术作了探讨。

报告较详细地论述了利用热红外影象区分本区出露的七组不同岩性,尤其对石灰岩与白云岩,作者从研究两种岩性的物性前提出发,通过专门的岩石标本热惯量测定和地面辐射温度的测量等工作为依据进行解译和论述,方法正确,结论可信。对其他地区的工作有借鉴意义。同时。对石灰岩分布区岩相研究作了有益的探讨,并提出了新的见解。

作者充分运用了热红外的信息,着重对区内地质构造进行了详细的解译,补充和修改了前人有关资料。如大圩—白竹枧断层与禄迪——白沙断裂的连接、2号断裂的发现等。此外对区内断裂构造格架和复盖区构造的研究也提出了见解。

报告还为岩溶水文地质工作提供了地质解译资料,对某些水文地质现象进行了解译。报告通过热红外探测提出了地下水溢出带。验证了三个富水区还圈定了古河道等。通过可见光及热红外资料对比和野外验证。否定了前人对冠岩附近江底泉存在的推断,同时对江底泉的热红外探测条件进行了探讨。

综上所述,评委会认为报告完成了设计书中所规定的三项任务,科研报告反映了当时国内较好的水平,同意验收通过。

此外,报告存在以下不足,例如水文地质解译中对已有的影象信息及资料综合研究分析不足,尚缺少一些必要的水文地质解译图件。

报告对热红外扫描的技术方法进行了探讨,但由于受某些条件的限制,这次试验对本区水文地质红外探测的最佳成像飞行条件尚未得出确切的结论。

评委会还认为,由于某些客观原因,本次热红外扫描区域过大,目标分散、扫描飞行条件选择欠恰当,从而影响了充分发挥热红外扫描技术的潜力,对水文地质的解译研究也带来了一定的困难。

评委会希望根据评审意见对报告进行修改后付印,尽快提供有关部门应用,以扩大应用范围发挥其社会经济效益。

报告评审委员会 一九八四年四月二十七日

评审委员会成员签名:

陈荫祥 地质部地质遥感中心;戴广秀 地矿部水文地质工程地质司; 陈复均 地质部水文技术方法研究队;周彦儒 地质部地质遥感中心;高洪兴 天津地质局;
李晋明 武汉地质学院;费美高 成都地质学院;刘占声 长春地质学院

目 录

前 言	(1)
一、试验区地质概况	(2)
二、红外扫描飞行实施情况	(3)
三、地层岩性、岩相解译	(4)
四、地质构造解译	(22)
五、岩溶水文地质解译	(33)
(一)岩溶峰丛洼地中热红外影象特征	(33)
(二)岩溶地下水浅埋富水区的解译	(41)
(三)古河道的解译	(42)
(四)工业热污染的遥测	(42)
(五)午后热红外影象中漓江江底起伏形态的显示	(42)
(六)地表水体中地下水注入点探测的前题	(47)
(七)岩溶地下河通道遥测的基础及可能性	(48)
六、热红外扫描应用的方法讨论	(49)
(一)扫描季节、时间的选择	(49)
(二)地面测温以及黑体参考源温度范围的选择	(50)
(三)飞行目标及航高的选择	(54)
(四)热红外影象的地面多功能处理	(55)
七、结 论	(61)
参考文献	(62)

前 言

机载热红外扫描,是国外六十年代初期发展起来的一门遥感应用技术。早期,曾成功地应用在干旱、半干旱地区寻找地下水源。它与地面调查相比较,每平方英里的调查费用低,速度快,而且不受地形条件限制,所获得的讯息具有视野比较大等优点^[19]。因此,这种方法得到了迅速的发展,应用的范围也越来越广。如美国夏威夷、法国、意大利^[28]及南斯拉夫等地中海沿岸国家,也应用这一方法有效地寻找海底淡水泉,缓和了沿海地区淡水供应的紧张状况。以后,在地热^[84]、地表水污染^[83]、建筑物热量的散失^[87]等方面的调查中也得到了成功的应用。在岩溶地区则运用这种方法探测地下河的通道^[24]。最近,又有人根据热红外影像中水体表面的热结构,分析了解水底的起伏形态以及水体流动的类型^[23]。此外,热红外扫描在地质方面应用的例子也日益增多。利用黎明前的红外扫描可以准确地地区分砂岩和粉砂岩^[85]。灰岩和白云岩^[19],利用红外扫描几个波段的比值法,可以区分岩石中 SiO_2 的不同含量,将硅酸盐岩类分成四个大类^[1]。由于红外扫描具有宏观的特点,还可以从事区域岩相变化的研究^[19]。还有人应用机载热红外扫描从事区域构造制图,研究活动性断裂^[20,36],使在地面调查时无法发现的断裂得到了良好的显示。

七十年代以来,由于陆续地发射了四颗地球资源卫星,星载传感器已不断地接受到大量的地面讯息。特别是陆地卫星三号 and 四号,在多光谱扫描系统上已增加了近红外、热红外的几个通道,而且地面分辨率也越来越高。近来在文献中机载热红外扫描的一般应用性论文虽有所减少。然而,利用机载热红外扫描从事热惯量制图方面的应用实例,即使在七十年代晚期以来仍屡见不鲜^[29,30,31]。

国内开展机载热遥感,自1977年上海技术物理所首次试制成功了HS—3A机载红外扫描仪以来,已有七年的历史*。当时首先对云南腾冲、广西都安、桂林等地进行了试验飞行。地质部水文地质工程地质技术方法研究队与华北无线电研究所合作,于1978年试制成功了第二台国产机载红外扫描系统JHY—2型。几年来,在晋、湘、粤、辽、鲁等省飞行300小时以上,证明在地热普查,古河道、工业污染的遥测以及在深部构造裂隙水的研究中是很有成效的^[6]。地质部航测大队于1979年引进了美国戴达拉斯公司出产双道定量红外扫描仪DS—1230,亦正在全国各地广泛地开展工作,其中关于天津附近古河道的遥测^[6],新疆阿克苏地区在水文地质普查中的应用均已提交了研究成果。

桂林一带,是我国典型的热带岩溶发育地区,碳酸盐岩类地层广泛分布,岩溶地下水的排泄状况比较复杂,是机载热红外扫描试验的一个良好场所。如上所述,本区是最早的试验地区之一。1977年底,中国科学院地理所、北京大学地理系,地质部航测大队、广西水文地质工程地质队、岩溶地质研究所等单位采用了HS—3A机载红外扫描仪进行了一次试验飞行。飞行高度为3000—3200米,比例尺6万——7万分之一,对应地面的瞬时视场线度为18米—24米(试验结果已有专文论述^[3])。当时由于缺乏必要的导航设备,大部分系白天铺盖,仅在桂林市区及兴坪—福利谷地进行了少量的夜航,且测线间有漏失及重叠现象,分辨率较低,

* 根据周彦儒同志面告:我国第一台红外扫描仪(航厂—41)诞生于1968年,开展红外扫描试验始于1971年(广东),1975年正式应用于地质试验(山西太原)。

影响了解译效果。为此,1980年9月下旬又采用美国戴达拉斯公司出产的双道定量红外扫描仪DS—1230,对本区进行了一次热红外扫描试验。同年,地质部水文地质工程地质局将本次试验效果的研究作为正式科研项目下达我所。并将采用遥感手段进行岩溶地质研究,调查地下暗河的排泄地段及其它岩溶水文地质特征列入了“地质部遥感地质科技近期发展规划”。据此,我所第四研究室遥感组承担“桂林——阳朔机载热红外扫描在岩溶地质、岩溶水文地质中的应用”课题的研究,预期从下列三个方面着手进行研究。

1.岩性。本区石灰岩分布广泛,并有程度不等的同生及次生白云岩化。在地面调查中要区分白云岩和灰岩只有通过详细的剖面测量,而进行大面积的研究颇感困难。由于白云岩比灰岩有较高的热惯量,就有可能在红外影象中加以区分。

2.地质构造。各项破裂构造一般比周围地质体具有较高的水份,且有不同的植被复盖,因此,在红外影象中常表现为线性的异常,某些断裂可能比可见光航片显示得更为清楚。

3.水文地质。由于岩溶地下水的温度接近于当地的年平均温度,而地表水体具有年日和的变化。因此,我们可以根据中午和凌晨不同的热红外图象了解地下水和地表水之间的补给排泄关系。尤其是在湖泊,河流等地表水体中排出的泉水,只要具有一定的规模,在红外影象中就有可能加以识别。此外,在峰丛洼地下伏之地下河,常常通过天窗、裂隙等通道与地表产生热交换,因此,有可能推断地下河的通道。

一、试验区地质概况

机载红外扫描试验区选择在我国南方典型的岩溶发育地区的桂林、阳朔一带(图1)本区在地貌上属于越城岭与都庞岭之间的湘桂夹道及其南延部分。东部为海洋山及其山麓地带,山峰标高在1500米左右,为中泥盆统以及更老的碎屑岩所组成;中部漓江两岸是中、上泥盆统、下石炭统灰岩所组成的岩溶峰丛山地,山峰标高在海拔500—700米左右,在丛状的石山之间为封闭的洼地;西部为桂林、雁山一带的岩溶峰林平原,平原面标高在150米左右,石山标高在200—400米之间。测区大致为一个东部和南部高,西部和北部低的斜坡地带。

区内出露地层自下而上为:中泥盆统应堂组(D_2i),为一套暗红色的细砂岩,砂质页岩,厚739米;中泥盆统东岗岭组白云岩。白云质灰岩夹灰岩,厚817米;上泥盆统融县组灰岩,为灰白色厚层块状的纯灰岩,含少量的白云岩夹层或团块,这套灰岩在东部潮田,南部阳朔、白沙一带相变成扁豆状泥质灰岩及硅质页岩的榴江组,桂林老人山附近在融县组下部还可以分出桂林组灰岩,桂林组为灰黑色泥质生物灰岩,含较多的珊瑚、腕足类、层孔虫等化石;下石炭统的岩关阶以白云岩为主,下部具泥质灰岩与页岩,厚408米,大塘阶为中、薄层灰岩、泥质灰岩、硅质层,中部含一套煤系,厚1048米。下石炭统岩关阶在测区西北完全相变成碎屑岩,下部为页岩段,上部为砂岩段。上述地层在印支期经受了褶皱和断裂,形成了一个大致南北向延伸的复式向斜构造(图1)。由于飞行范围的限制,向斜西翼驾桥岭没有包括在内。燕山构造运动期北东向新华夏系扭动构造,使区内的构造复杂化。在燕山期局部的断陷盆地内,沉积了一套白垩纪陆相红色碎屑岩,如桂林机场及阳朔白沙附近。分布于岩溶洼地,峰林平原中的第四系为一套红粘土及泥砾,漓江两岸则主要为现代冲积层。

水文地质方面,代表裸露型和复盖型岩溶的峰丛洼地和峰林平原具有不同的水文地质条件,两者常以断裂为界^[2]。峰丛洼地、地势较高,属于补给区和迳流区。地下水埋藏深,

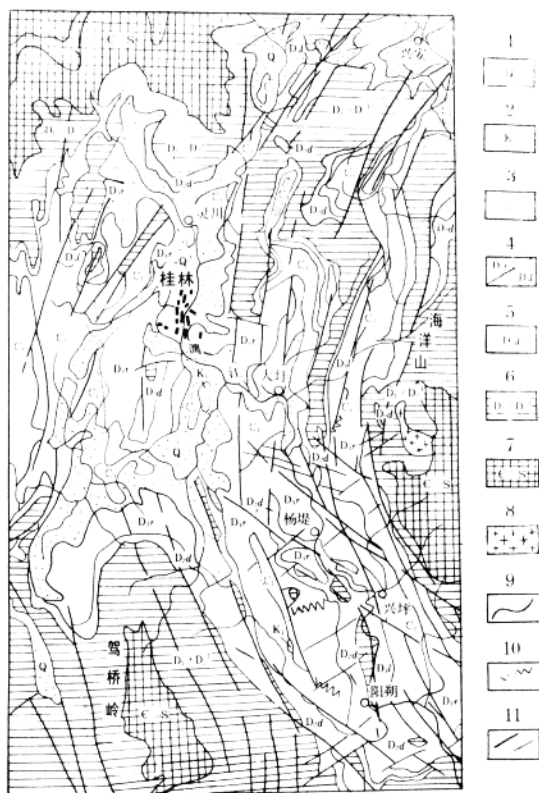
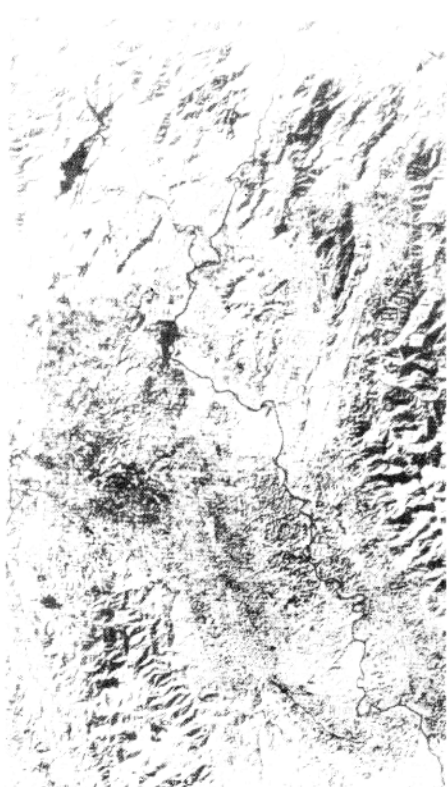
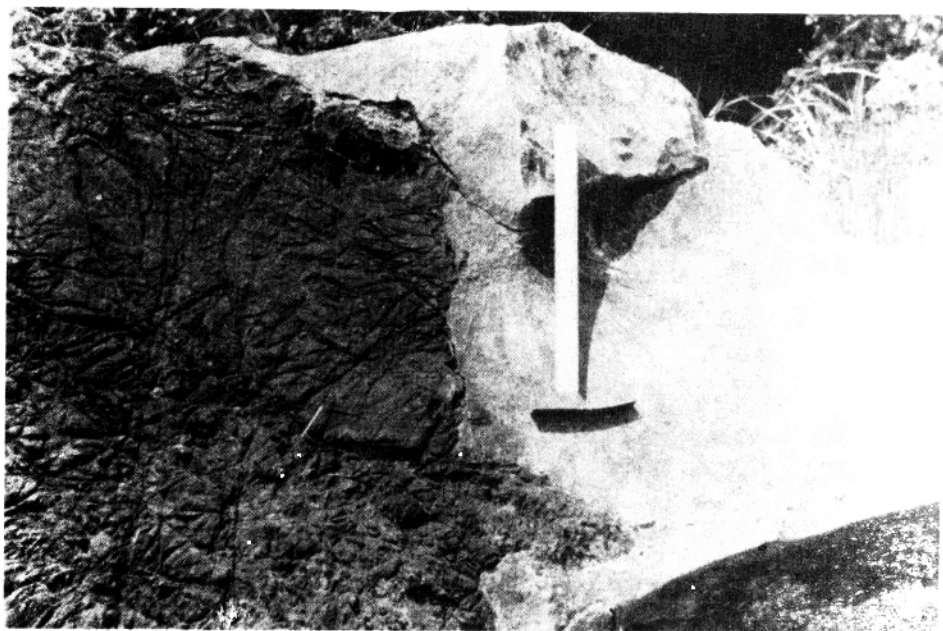


图1 桂林附近地势、地质图

1—第四系；2—下白垩统陆相红色碎屑岩；3—下石炭统东区为碳酸盐岩相，西区为碎屑岩及泥灰岩；4—上泥盆统互为相变的融县组灰岩和榴江组泥灰岩、硅质岩；5—泥盆系中统东岗岭组灰岩；6—泥盆系中统下组红色碎屑岩；7—下古生界浅变质岩；8—花岗岩；9—地层分界线；10—相变分界线；11—断裂



照片1 大埠公社长流水附近 C_1y 灰质白云岩、白云岩与灰岩所表现的不同溶蚀特征。表明反照率 (albedo) 的差异

包气带厚度大,大气降水通过落水洞、溶隙迅速地向下渗漏,在地下一定深部形成大小不等的管道流。峰林平原,为岩溶地下水的迳流区和排泄区,地下水埋藏浅,水力坡度小,由于岩溶地下水储水介质是一种裂隙和管道,它的赋存状态与碎屑含水层相比,具有不均一性^[14]。

二、红外扫描飞行实施情况

试验区选择在桂林至阳朔间,长70公里,宽30公里的一个呈北北西向(330°)延伸的长方形地带,面积约2100平方公里(图2)。区内包括两个比较完整的岩溶地貌单元——峰林平原及峰丛洼地,代表着两个岩溶水文地质类型。扫描选择小比例尺大面积飞行,其目的除了了解岩溶地下水的排泄点以外,还企图了解区内大片的石灰岩和白云岩的分布状况,以及在水平方向的岩相变化和控制岩溶发育的一些区域性构造。考虑到测线较长,地面高程不一致,因此,将测区分成南、北两区。北区以峰林平原为主,地形高差较小;南区以峰丛洼地为主,地形高差较大。凌晨的红外扫描将南、北两区全面复盖一次。午后的红外扫描,由于考虑到经济效益,只选择在北区进行。北区和南区飞行高度分别为2250米和2500米。此外,为了检查仪器性能,在执行任务期间,航测大队方法室又沿着漓江河谷布置了两个架次的低空飞行。由于漓江河道弯曲,飞行分成五段折线进行(T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 、 T_5)凌晨航高为

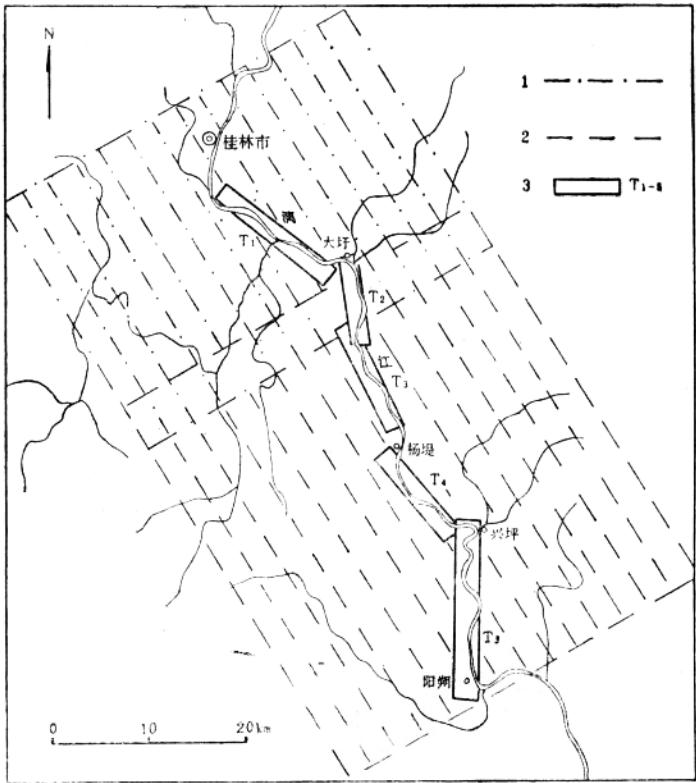


图2 桂林市—阳朔机载红外扫描飞行实施图(1980.9.)

1,北区飞行范围及测线; 2,南区飞行范围及测线; 3,沿江飞行范围及测区编号。

1200米, 午后 T_1 、 T_2 、 T_3 及 T_4 各测段段的航高分别为400米、450米、750米、850米, 第五测线 (T_5), 由于机上仪器故障, 没有飞行。飞行期间与解译有关的各项参数见表1。机载红外扫描仪为美国戴特拉斯公司出产的双道定量红外扫描仪 (DS-1230), 飞行时该仪器选用如下操作参数:

波长: A道8—10 μ m, B道10—12 μ m 瞬时视场角: 2.5毫弧
 扫描速度: 80行/秒 温度分辨率: 0.2 $^{\circ}$ C
 有效视场角: 77 $^{\circ}$ 20'

表1 机载热红外扫描参数表

飞 行		航 高 (米)	温 标		地面几何分辨率 (米)	航线方向	比 例 尺	备 注
日 期	时 间		BB ₁ ($^{\circ}$ C)	BB ₂ ($^{\circ}$ C)				
1980. 9. 20	12:00 } 15:10	2250	22	38.9	5.6	330 $^{\circ}$	1/3万	北区面积 扫描
1980. 9. 21	5:30 } 7:25	$\left. \begin{matrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \\ T_4 \\ T_5 \end{matrix} \right\} 1200$	18	24	3.0	310 $^{\circ}$ 350 $^{\circ}$ 335 $^{\circ}$ 320 $^{\circ}$ 360 $^{\circ}$	1/1.8万	沿 漓 江 扫 描
1980. 9. 26	12:00 } 13:22	$\left. \begin{matrix} T_1 410 \\ T_2 450 \\ T_3 750 \\ T_4 850 \end{matrix} \right\}$	22	28	1.0 1.1 1.9 2.1	310 $^{\circ}$ 350 $^{\circ}$ 335 $^{\circ}$ 320 $^{\circ}$	1/0.5万 1/0.6万 1/1.1万 1/1.8万	沿 漓 江 扫 描
1980. 9. 26	2:30 } 5:55	2550	15	21	6.4	330 $^{\circ}$	1/3.6万	南区面积 扫描
1980. 9. 27	8:30 } 6:21	2250	15	21	5.5	330 $^{\circ}$	1/3万	北区面积 扫描

三、地层岩性、岩相解译

热红外遥测的基础就是目标热特性的差异。为了了解测区内各岩类及周围地物的热辐射特性, 我们曾于1979年11月至1980年10月数度对区内有代表性的岩类, 地物进行野外露头面上的昼夜辐射温度测量, 同时还进行一定的飞行同步测量如图3。其中岩类包括: 中泥盆统应堂组红色砂岩; 中泥盆统东岗岭组白云岩、灰岩; 上泥盆统桂林组灰岩、融县组灰岩; 下石炭统的白云岩、灰岩; 下白垩统的红色砂岩及第四系的冲积砾石层等如图3中I—IX, XIV、XV、XIX、XX、XXIV、XXV。水体有漓江水、塘水、泉水、XIII、XVIII、XXII、XXIII。植被有阔叶树、针叶树、灌木、草皮XI—XIII, XVI、XVII、XIX、XX、XXI、XXVI等^[3]。这些野外露头面的实际测量资料, 对于合理地选择飞行时间, 确定扫描时仪器的温标, 以及影象的成果解译是十分重要的。有关野外测温情况将在方法部分重点讨论。

在黎明前的红外影象中最令人注目的现象是白云岩和灰岩之间强烈的热反差 (thermal contrast)。白云岩和灰岩的热反差是它们的反照率 (albedo) 和热惯量 (thermal inertial) 综合作用的结果^[10]。反照率主要和表面的溶蚀特征有关, 白云岩表面比较

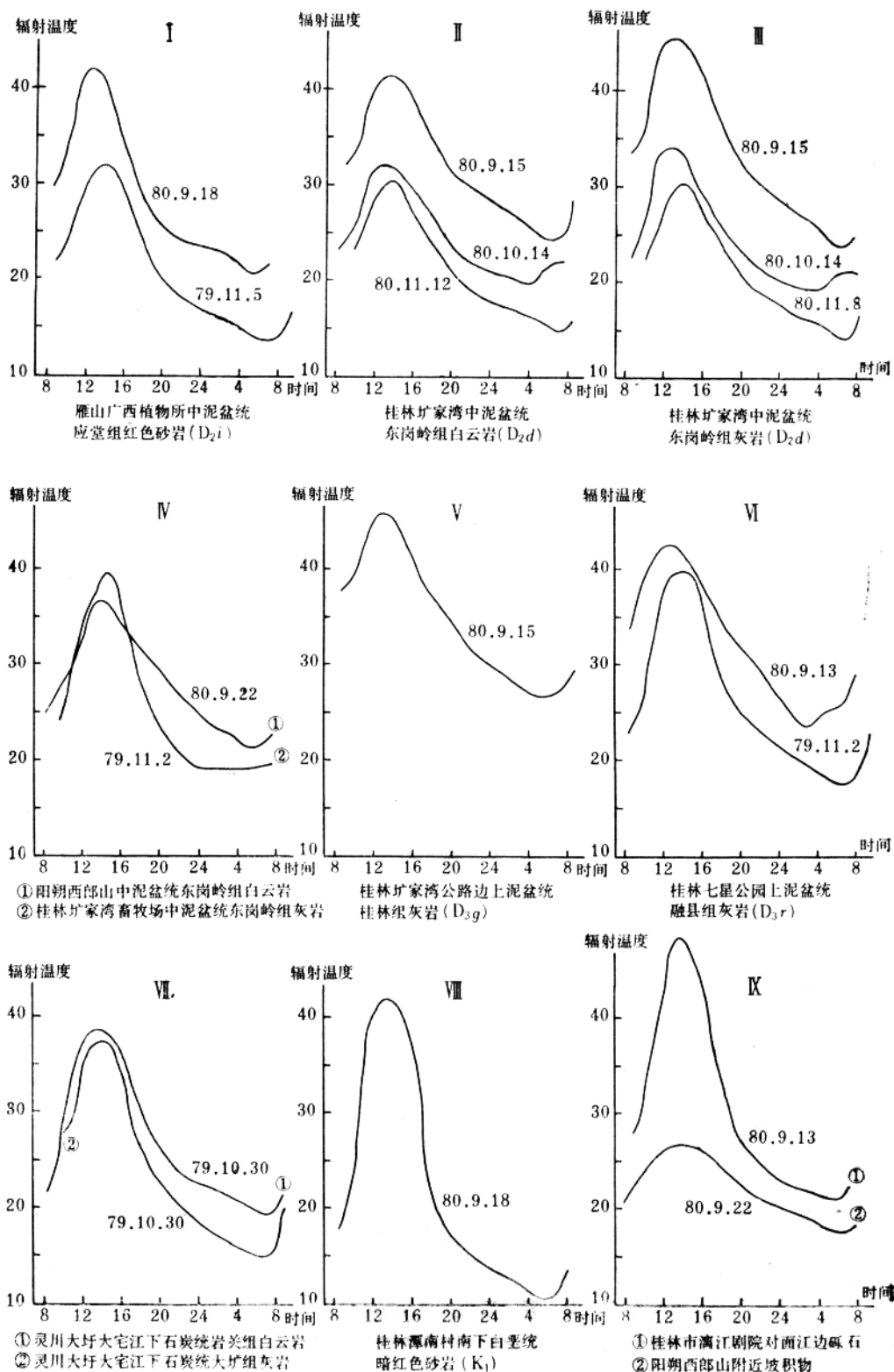


图 3-1 野外露头测温曲线图

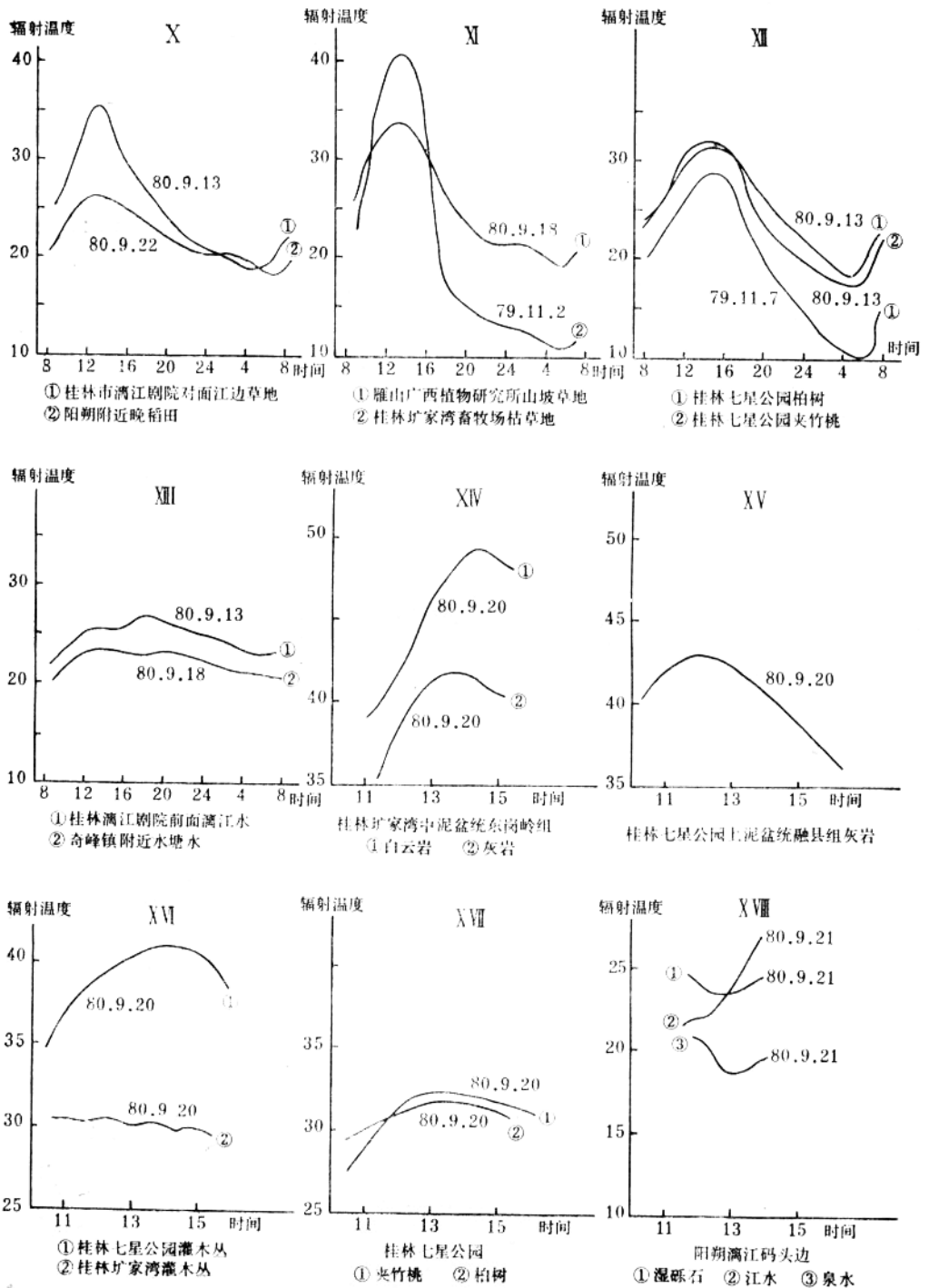


图 3-2 野外露头测温曲线图

粗糙,溶沟发育,反照率比较低(照片1),如大埠长流水附近C_{ly}灰质白云岩、白云岩(dol)与灰岩(Ls)所表现的不同溶蚀特征,表明反照率的差异。根据资料^[8]石灰岩的反照率为22%,白云岩仅17%。热惯量是物体两种不同介质交界面上热传递率的量度,是物质温度变

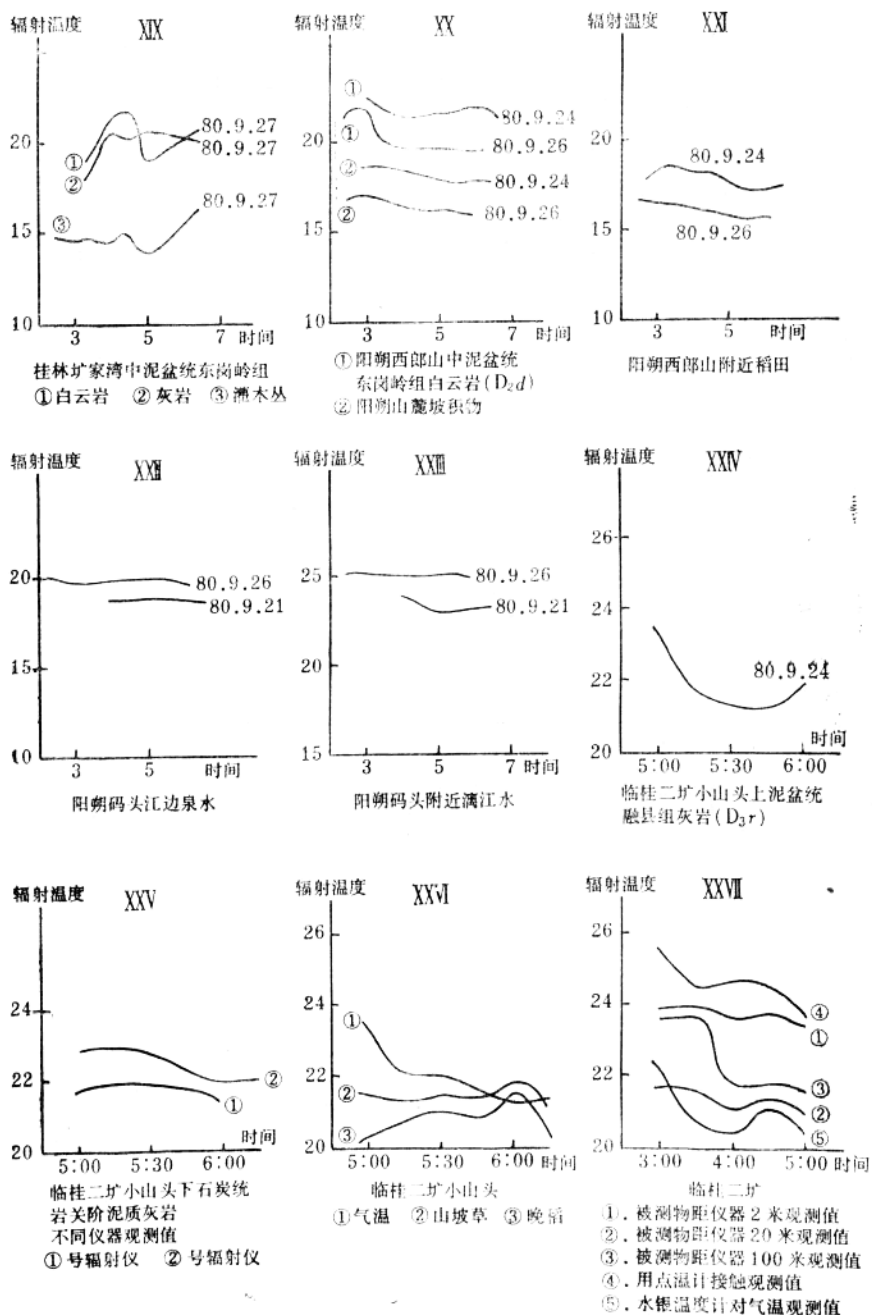


图 3—3 野外露头测温曲线图

化的热响应，单位为卡·厘米⁻²·秒^{0.5}·度⁻¹。热惯量不仅和物质成分有关系，而且对于大部分物质来说，物体的热惯量随着该物体的密度成线性递增关系。

我们采集了区内 9 块有代表性的岩类，用金工车床加工成物性测定所要求的圆形薄片 ($\Phi 13.9\text{cm} \times 0.6\text{cm}$) 送交北京大学物理系测定，结果列于表 2。由于岩石标本的物理特性主要与它的矿物及化学成份有关，因此将上述岩类分别进行了岩矿鉴定和化学分析于表 3：

表 2 几种主要岩类的热特征

地层	特征	岩石名称	图片质量 m (g)	密度 ρ (g/Cm ³)	比热 c (Cal/g.deg)	图片热容量 C (Cal/deg)	导热系数 K (Cal/cm.s.deg)	热惯量 P (Ca/Cm ² .deg.s ^{$\frac{1}{2}$})	岩石产地	备注
Cld		灰黑色含有机质泥质泥晶灰岩	237.37	2.70	0.20	47	0.0024	0.036	临桂刘村	测试条件: 温度约14°C
Cl _y		灰黑色中粒白云岩	223.52	2.75	0.21	47	0.0034	0.044	临桂刘村	相对湿度约 57%
D ₃ r		灰白色亮晶粒屑灰岩	230.01	2.71	0.20	46	0.0023	0.035	临桂刘村	测试日期: 一九八二年 十一月
C ₃ r		含钙球具鸟眼结构泥晶灰岩	231.96	2.70	0.21	49	0.0021	0.034	桂林八娘庙	
D ₃ k		灰黑色含钙球生物碎屑泥晶灰岩	268.03	2.72	0.20	54	0.0021	0.034	桂林窑头山	
D ₃ l ²		灰红色扁豆状泥质灰岩	227.65	2.71	0.21	48	0.0024	0.037	白 砂	测试者: 北京大学物 理系段家骝
D ₃ l ¹		灰黑色细晶有机质白云岩	248.98	2.68	0.20	50	0.0029	0.039	阳朔木浪岗	
D ₂ d		灰色交代残余灰质白云岩	259.38	2.79	0.21	54	0.0029	0.041	桂林塘家湾	
D ₂ i		暗红色泥质粉砂岩	236.65	2.62	0.19	45	0.0020	0.032	桂林尧山	

表 3 主要岩类化学分析结果

地层单位	岩 性	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	CO ₂	备注
C ₁ d	含有机质泥晶灰岩	2.06	0.18	0.08	53.94	0.61	42.77	
C ₁ y	中晶白云岩	0.06	0.01	0.03	30.61	21.92	48.05	
D ₃ r	亮晶粒屑灰岩	0.14	0.05	0.09	55.66	0.65	43.22	
D ₃ r	亮晶粒屑灰岩	0.53	0.23	0.05	55.38	0.17	43.21	
D ₃ g	有机质泥晶灰岩	0.53	0.23	0.17	53.04	2.25	43.20	
D ₃ l ²	扁豆状泥质灰岩	13.06	2.89	1.26	45.20	0.93	35.64	
D ₃ l ¹	硅质白云质页岩	39.32	3.01	1.47	17.62	10.49	24.74	
D ₂ d	灰质白云岩	0.11	0.17	0.07	32.98	19.74	17.34	
D ₂ i	中粒石英砂岩	71.07	10.51	10.37	0.41	0.85	0.42	

* 岩密地质研究所实验室周小红, 朱静波分析。

各有关岩类的热惯量资料, 国内外文献中大多引用了J·詹扎^[8]的数据。现仅就白云岩、灰岩两种岩类的热特性值, 与J·詹扎的资料作一对比(表4)。J·詹扎的热惯量均偏高, 可能与当时测试时的温度有关。至于白云岩、石灰岩具体测试样本的矿物以及化学成分, 由于J·詹扎未列出, 故无从对比。尽管两者的数据不甚一致, 但白云岩、灰岩两者热惯量的差异却是明显的。白云岩高的热惯量, 低的反照率均使它比石灰岩有较高的辐射温度。白云岩、灰岩热特性之间的差异, 在野外露头面昼夜辐射温度测量中, 也明显地反映出来。在凌晨, 白云岩的辐射温度一般要比灰岩高出1—2℃(图4)。区内下石炭统岩关阶的白云岩, 由于白云石含量高、出露的厚度大, 在凌晨的红外影象较为醒目, 为明亮的暖色调, 与下伏的上泥盆统融县组及上复的下石炭统大塘阶均可以明显地区别开来。如测区西部临桂二塘旧机场附近(图5), 在凌晨的热红外影象中由于色调较暗, 加上灰岩与页岩互层, 成为颇为特殊的冷暖交互色调。下石炭统岩关阶为灰黑色中晶白云岩, 白云石的含量高, 已作为炼钢的熔剂进行开采, 于山体两侧布满了采石场。上复为向北西缓倾斜的下石炭统大塘阶的泥质灰岩和页岩(野外的产出情况见照片2), 大面积地区分白云岩和灰岩在可见光航空摄影中是十分困难, 甚至于无法实现。然而, 飞行前我们曾经希望划分东岗岭组、融县组中的

表 4 白云岩、灰岩热特性对比表

资料来源	岩石名称	密度 ρ 卡·厘米 ⁻³	热容量 C 卡·克 ⁻¹ ·度 ⁻¹	热导率 K 卡·厘米 ⁻¹ ·秒 ⁻¹ ·度 ⁻¹	热惯量 P 卡·厘米 ⁻² ·秒 ^{$\frac{1}{2}$} ·度 ^{$\frac{1}{2}$}	测试时温度
J·詹扎	白云岩	2.6	0.18	0.012	0.075	25°C
	石灰岩	2.5	1.17	0.0048	0.045	25°C
本 文	白云岩 (C ₁ y)	2.75	0.21	0.0034	0.044	14°C
	石灰岩 (D ₃ r)	2.71	0.20	0.0023	0.035	14°C

白云岩和灰岩夹层，但由于地层产状较缓，厚度不大，加上峰林石山陡峻的坡面，使这些地层单位的垂直投影宽度达不到扫描时的地面几何分辨率，因此东岗岭组、融县组中灰岩和白云岩在凌晨的热红外影象中区分不明显，仅在西南侧阳朔玉龙河附近，东岗岭组中的白云岩与周围岩石可分性较好。如若能适当降低扫描时的飞行高度，提高地面几何分辨率，或许对岩性的区分能达到更为理想的结果。

除了白云岩和灰岩在红外影象中存在着强烈的热反差外，其它岩类之间也存在着一定的热反差。对凌晨红外影象各岩类所出现的灰度进行了统计，再参照扫描时所确定的温标转换成相应的辐射温度，编制成岩性柱状及相应的凌晨红外辐射温度对比图(图5)

这里值得一提的是桂林组灰岩和融县组灰岩，虽然取样测定表明两者的热惯量相近，但在影象中仍然存在热反差，这可能反映了表面风化溶蚀作用的不同。上泥盆统下部桂林组灰岩，标准地点在桂林老人山一带，为一套灰黑色泥质生物灰岩，产丰富的腕足类、珊瑚层孔虫等化石，而上部融县组灰岩，层厚质纯、化石稀少，两者的岩性变化是很明显的。不过，一般认为桂林组灰岩岩相不稳定，向南部逐渐相变消失，从而认为在区内两者不宜分组。在南部，大埠东至漓江间的峰丛洼地，原地质图表明为大片上泥盆统融县组灰岩出露地区，在凌晨的热红外扫描中发现了两种影象，它们在色调和形态上均有差异。一种色调较暗，山体形态略大，呈斑块状；一种色调较明亮，山体形态略小，呈豆状、疙瘩状。在室内判译时曾推断后者为融县组灰岩，前者可能属中桂林组灰岩。经乌龙水库附近野外现场调查，在斑块状暗色调分布地区见到了桂林组灰岩，灰黑色，中、薄层泥质灰岩，并保存着桂林组所常见的层孔虫化石。化石据龚兴宝同志初步鉴定，层位还可能更低，尚包括一部分东岗岭组。又如：桂林市东面的尧山，整个山体由中泥盆统应堂组暗红色砂岩、泥岩所组成，仅在西坡由于一条北北东向的逆断层出露了一窄条上泥盆统榴江组地层。在可见光航空摄影片上，由于山体被众多植被所复盖，两者是难以区别的。但在黎明前的红外影象中，榴江组呈较明亮的暖色调，而应堂组则为较暗的冷色调(图7)。

在红外影象的解译中除了灰度以外，影象的形态(或水系)也是很重要的标志。影象的形态主要反映地质体的力学性质，表现出的各种破裂构造，以及随之而发育起来的各种水系型式。虽然影象的形态在可见光航空照片的解译中亦颇为重要，但由中两者成象的原理不同，所反映的结构是有差别的。我们将区内出露的各主要岩类典型影象编制成图8。从典型影象来看几种岩类的区分是明显的，如第四系为格状、斑点状、斑块状及隐点碎花斑状；下白垩统为肾状及斑状；大塘阶为明暗交替的指纹状，线状；岩关阶为碎絮状、奎块状、局部成碎纹状；融县组呈云团状、豆状、疙瘩状；榴江组为荔枝壳状、葡萄状；桂林组呈斑块状、微絮状；东岗岭组呈团块状，斑块状；应堂组呈核桃壳状、脑纹状、叶脉状。图8所选择岩性花纹所代表的地层单位均已经地面调查。其中融县组与东岗岭组之间，大部分地区根据影象似

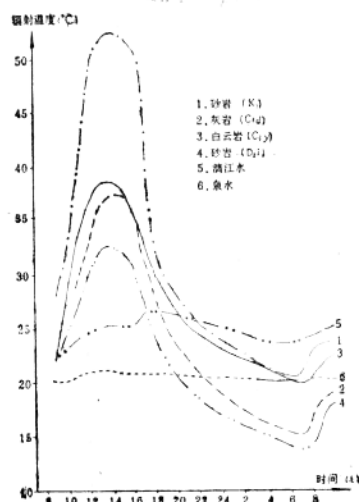


图4 野外露头面昼夜测温曲线

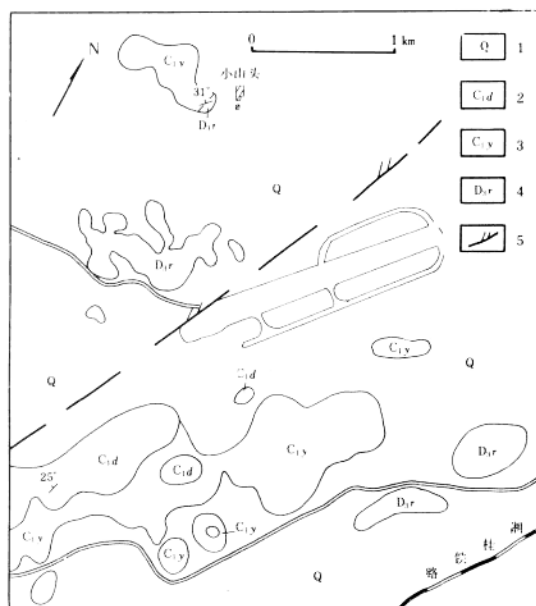


图5 临桂二塘旧机场附近凌晨热红外影像及解译图

影像中明亮部分代表岩关白云岩，明暗交替部分代表大塘阶灰岩。

1—第四系；2—下石炭统大塘阶；3—下石炭统岩关阶；4—上泥盆统融县组；5—压扭性断裂



照片2 临桂二塘旧机场南望C_{1y}之块状白云岩
以及上复之C_{1d}泥质灰岩与页岩互层

