

# 热红外发射率对热红外成像及其图像判读的影响

王品清

(地质矿产部地质遥感中心)

1987年9月21日收稿

## 摘 要

在热红外扫描图像的判读工作中,热红外发射率是一个极为重要的影响因素。在某些特定条件下,这一因素的影响是十分显著的。然而,迄今为止,这一因素在热红外图像的判读工作中还没有引起人们的足够重视。本文试图从热红外辐射定律出发,结合白天和夜间的热红外遥感图像资料,以及地面温度测量数据来说明这一因素的影响,并较详细地讨论了一些与热红外发射率有关的影响因素。但是,如何在成像或者在图像判读过程中消除这一影响因素,还有待于进一步的研究。

**关键词:** 发射率 热红外图像 影响

## 一、前 言

热红外遥感技术是遥感重要的手段之一。特别是在区域地质填图、水文地质研究、地热调查、森林防火、地下煤层燃烧探测、环境保护以及火山活动的监视和勘查等方面,具有其它手段不能相比拟的优点。然而,目前我们所使用的热红外传感器——热红外扫描仪,都是以假定自然界中的所有物体均为黑体辐射(即热红外发射率  $\varepsilon = 1$ ) 为前提的。这种假设只是一种理论上的理想模型。在通常情况下,由于各种地面物体的发射率变化不十分明显,或者由于地面各类物体或地质体间的温度差异较大,所以仍能得到十分令人满意的热红外扫描图像。但图像判读人员必须清楚地认识到,在这类热红外扫描图像中仍存在着热红外发射率的影响,有时它对热红外图像中色调显示的影响是十分显著的。因此,在某些特定条件下,如果我们忽略了发射率对图像色调(即辐射温度)变化的影响,就会造成我们判断上的错误。特别是在使用计算机对其图像进行自动识别分类和编制热惯量图及有关专业性图件时,就必须考虑到这一重要因素的影响。

然而,迄今为止,这一因素对于热红外成像及其图像地质判读的影响,还没有引起人们的足够重视。本文试图从热红外辐射定律出发,结合地面温度测量资料以及与之相对应的热红外扫描图像来讨论红外发射率的影响。

## 二、红外辐射定律及红外发射率

能量的大小由普朗克定律给出:

$$W_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{ch/\lambda KT} - 1} \quad (1)$$

方程中:  $W_{\lambda}$  为光谱辐射通量密度,  $\text{瓦} \cdot [\text{厘米}]^{-1} \cdot [\text{微米}]^{-1}$ ;  $\lambda$  为波长, 微米;  $h$  为普朗克常数  $= (6.6256 \pm 0.0005) \times 10^{-34} \text{瓦} \cdot \text{秒}^2$ ;  $c$  为光速,  $c = (2.997925 \pm 0.000003) \times 10^{10} \text{厘米} \cdot \text{秒}^{-1}$ ;  $C_1 = 2\pi hc^2$  为第一辐射常数,  $C_1 = (3.7415 \pm 0.0003) \times 10^4 \text{瓦} \cdot [\text{厘米}]^{-2} [\text{微米}]^4$ ;  $C_2 = ch/k$  为第二辐射常数,  $C_2 = (1.43879 \pm 0.00019) \times 10^{-4} \text{微米} \cdot \text{K}$ ;  $k$  为波耳兹曼常数,  $k = (1.38054 \pm 0.00018) \times 10^{-23} \text{瓦} \cdot \text{秒} \cdot \text{K}^{-1}$ , 将普朗克定律对波长  $\lambda$  从零到无穷大进行积分, 就得到斯蒂芬一波耳兹曼定律:

$$W = \frac{2\pi^5 k^4}{15c^2 h^3} T^4 = \sigma T^4 \quad (2)$$

方程中,  $W$  为辐射通量密度,  $\text{瓦} \cdot [\text{厘米}]^{-2}$ ;  $\sigma$  为斯蒂芬一波耳兹曼常数,  $\sigma = (5.6697 \pm 0.0029) \times 10^{-12} \text{瓦} \cdot [\text{厘米}]^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$ ;  $T$  为绝对温度,  $\text{K}$ 。

从方程(2)中可以看出,任何黑体单位面积上的辐射通量密度与该物体所处温度的四次方成正比。故当黑体温度有微小的变化时,将引起辐射通量密度的明显变化。由于地球表面的植被、土壤和岩石等物体的物质成分(其中包括水和空气在内)、结构、构造不同,所以即使它们所处的环境相同或相近,它们的表面温度也有一定的差异。这种差异,就成为我们用热红外扫描成像的方法,来研究地面物体或地质体辐射温度变化及其空间分布的物理前提。但在自然界中,黑体只是一种理想化的模型。因为它是以假定所有的地面物体或地质体的发射率相同且均为黑体辐射为前提的。

实际上,光谱辐射通量密度  $W_{\lambda}$  不仅是物体所处温度  $T$  的函数,而且还与物体的光谱发射率  $\epsilon_{\lambda}$  有关。一个物体的光谱发射率,在数值上等于该物体的光谱辐射通量密度与具有同一温度的黑体光谱辐射通量密度的比值。即:

$$\epsilon_{\lambda} = \frac{W_{\lambda \text{物体}}}{W_{\lambda \text{黑体}}} \quad (3)$$

因此

$$W_{\lambda \text{物体}} = \epsilon_{\lambda} W_{\lambda \text{黑体}} = \epsilon_{\lambda} \sigma T^4 \quad (4)$$

它是介于 0 和 1 之间的一个常数,与物体的化学成分、结构、构造及物体表面的物理状态(即表面粗糙度)有关。一般它随物体的温度而变化。

对于任何一个物体来说,当辐射能入射到它的表面时可能出现三种过程:即一部分入射能被吸收,吸收比为  $\alpha$ ;一部分入射能被反射,反射比为  $\rho$ ;而另一部分能量被透射,透射比为  $\tau$ 。根据能量守恒定律可写出下列关系式:

$$\alpha_{\lambda} + \rho_{\lambda} + \tau_{\lambda} = 1 \quad (5)$$

对于地球表面的地质体来说,不存在能量透射问题,故  $\tau = 0$ 。从基尔霍夫定律<sup>[1]</sup>得知,发射率在数值上满足  $\epsilon_{\lambda} = \alpha_{\lambda}$ 。所以,可以把方程(5)改写为:

$$\epsilon_{\lambda} = 1 - \rho_{\lambda} \quad (6)$$

方程(6)直观地反映出地球表面地质体的发射率与反射率之间的关系。但这种关系

仅在电磁频谱中的同一波长或同一光谱波段才能成立。

从上面的讨论我们可以看出,自然界中不同成分、不同结构、不同构造和不同表面粗糙度的物体或地质体,在电磁频谱热红外波段中的发射率是各不相同的。表 1 中列出了几种主要岩石及其它物体的热红外发射率<sup>[2-4]</sup>。表中的数据表明,热红外发射率随构成岩石的物质成分变化而异。而且对同一类岩石来说,由于表面状态不同,也会引起发射率的变化。从热红外遥感成像的角度来说,在扫描仪的有效扫描视场内,无论是岩石或土壤的类型,还是地质体的结构、构造和表面粗糙度,以及这些物体或地质体的温度都可能有很大差异。所以,在热红外扫描图像上所反映的地面物体或地质体的辐射温度,就不仅仅是物体或地质体表面温度的函数,而且也是地面物体或地质体的发射率的函数,即

$$T_a = T_g(T_g, \epsilon_g) \quad (7)$$

方程中:  $T_g$  为地面温度 K,  $\epsilon_g$  为地面物体的发射率,介于 0—1 之间。当然,这种处理会使根据热红外扫描图像分析和研究地面温度变化及其空间分布的问题变得十分复杂。但作为热红外图像的判读人员来说,至少要考虑到热红外发射率对反映地面温度热图像色调变化的影响。而且,在某些特定条件下,这一因素的影响是十分显著的。

表 1 几种主要岩土类型和物体的热红外发射率  
Table 1 The Emissivities of Some Major Rocks and Materials

岩石(或物质)类别	发射率	岩石(或物质)类别	发射率
石英	0.672	抛光表面的白云岩	0.929
斜长石	0.819	白云岩(粗糙表面)	0.958
花岗岩	0.815	白云岩砾石	0.959
黑曜岩	0.826	矽质平板玻璃	0.865
玄武岩	0.906	粗颗粒石英砂	0.941
纯杆岩	0.856	含水粗颗粒石英砂	0.936
花岗岩(粗糙表面)	0.898	石英砂	0.928
黑曜岩(粗糙表面)	0.837	干混凝土路面	0.966
玄武岩(粗糙表面)	0.934	柏油路面	0.956
纯杆岩(粗糙表面)	0.892	水	0.993
抛光表面的矽质砂岩	0.909	人的皮肤	0.980
矽质砂岩(粗糙表面)	0.935	浮有油膜的水	0.972

在热红外扫描图像上,色调相同(即具有相同的辐射能量)的不同物体或地质体的实际表面温度可能存在很大差异。在正常情况下,不同物体之间发射率 0.01 的差异就可能使物体产生一度左右的辐射温度差。例如,27℃ 的水体,64℃ 的石英和 32℃ 的大理岩可以具有相同的辐射能量,即具有相同的辐射温度显示<sup>[9]</sup>。因此,在我们对所研究的地面地质体的热红外发射率不甚了解的时候,就不能在热红外图像上准确地测量其表面温度。

### 三、资料分析

的了解。下面再以此为基础,结合航空像片和热红外扫描图像及有关地面实测温度资料,作进一步的阐述。

图 1 (封三)是我国西北半干旱地区中同一位置的白天(上)和夜间(下)的航空热红外扫描图像。两张图像中的 W, G 和 B 分别为同一地物点。其中同一地物在不同时间所获得的图像形状及位置的变化,是由于白天和夜间两次飞行中航线重合不佳以及由于扫描畸变所引起的。图像中 G 为第四系戈壁砂砾石沉积物, W 为灌水的农田, B 是在戈壁滩中季节性积水洼地中沉积的亚粘土。这类亚粘土颗粒细,分选性好,表面平整、细腻、光滑。这些特征都充分反映出它们属于静水环境下沉积的产物。图 2 是在热红外扫描成像区域内几种主要地物的实测日变温度曲线图。测量时采用的是半导体点温度计,以便消除在热红外辐射测量过程中物体发射率变化的影响。因此,由此所测得的温度值可视为地面物体的实际温度。从此图解中可以看出,无论是在白天还是夜间,戈壁砂砾石沉积物的温度,都要低于季节性积水洼地中亚粘土沉积物的温度。至少我们可以说亚粘土沉积物的表面温度不低于戈壁砂砾石。从航空热红外扫描图像反映地面物体或地质体辐射温度的意义上讲,季节性积水洼地中的亚粘土沉积物,在白天和夜间获取的热红外扫描图像上,都应反映出比戈壁砂砾石沉积物更浅的色调。但事实上并非如此。

图 3 (封四)分别是西北干旱地区中同一位置的可见光航空像片(上)和白天的热红外扫描图像(下)。如前所述,由于季节性积水洼地中亚粘土沉积物表面平整、光滑,在电磁频谱中的可见光波段有较高的反射率。所以,在可见光航空像片上呈现亮色调特征,相反,在热红外扫描图像上却反映为暗色调的冷异常。

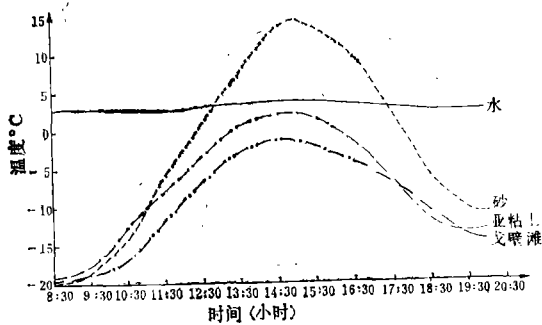


图 2 几种主要地物的日变温度曲线

Fig. 2 The Curves of Diurnal Temperature of Some Ground Materiales

众所周知,地表水体和湿地在白天热红外扫描图像上呈现暗色调显示,而在夜间热红外扫描图像上为亮色调异常。水体和湿地在白天及夜间热红外扫描图像上的色调变化,主要是由于水在白天对热红外辐射有强烈的吸收作用和夜间水的热传导及热对流作用所引起的。此外,相对于粗颗粒、高孔隙度的戈壁砂砾石松散沉积物来说,水又具有较大的热惯量。然而,从图 1—3 中的可见光航空像片

和白天及夜间的热红外扫描图像的对比分析可以看出,虽然粗颗粒的戈壁砂砾石沉积物和季节性积水洼地中亚粘土沉积物,两者的表面温度接近相等或者前者略低于后者,但无论是在白天还是在夜间的航空热红外扫描图像上,季节性积水洼地中的亚粘土沉积物都为黑色调冷异常。这说明这种黑色调的冷异常并非地表水体或湿地的显示。实地检查验证也表明地表土壤干燥,同时通过地表揭露工程也证明在近地表(10 米深以上)并无浅层地下水存在。从几种主要地物实测日变温度曲线图(图 2)和白天及夜间热红外扫描图像中(封三,图 1)也可以看出,虽然季节性积水洼地中亚粘土沉积物的表面温度远比(在白天)地表水体温度高,但在白天热红外扫描图像上(封三图 1 中 B),它却反映出与水体和

湿地相近的黑色调冷异常。这种黑色调的图像特征,并不能如实地反映出它的实际温度变化,而是地面温度  $T_g$  和发射率  $\varepsilon_g$  两个自然变量在热红外扫描图像上的综合显示。正如在前一节中所叙述的那样,地面物体或地质体的热红外辐射能量是物体所处温度  $T_g$  和自身发射率的函数。而发射率是由物体或地质体的物质成分、结构、构造和表面粗糙度所决定的。因此,虽然在戈壁滩中,季节性积水洼地中的亚粘土沉积物具有较高的表面温度,但由于表面细腻、光滑,具有较低的热红外发射率,使之由表面放射出的热红外辐射能量降低。因此,无论是在白天还是在夜间其表面放射出的能量,都要低于粗颗粒而且温度相近的戈壁砂砾石沉积物,最终在热红外扫描图像上都呈现出黑色调的冷异常。就其发射率的影响来说,从这类亚粘土沉积物在可见光航空像片上的亮色调特征似乎也能得到证明。

## 四、讨 论

上述分析表明,在某些条件下,热红外图像反映的地面辐射强度不仅与地面温度  $T_g$  有关,而且还取决于地面物体的发射率  $\varepsilon_g$ 。由此所产生的这种差异,对航空热红外成像及图像的地质和水文地质判读的影响是十分明显的。在这类热红外扫描图像的判读过程中,如果人们不了解有关地面物体或地质体的热红外发射率的话,就不能从图像上得到定量的温度信息。甚至可能出现判读上的错误。例如,在图 1(封三)和图 3(封四)的白天热红外扫描图像中,如果没有可见光航空像片和夜间热红外扫描图像进行对比分析的话,很可能将亚粘土沉积物错误地判读为地表水体或湿地。所以,在进行遥感图像的地质和水文地质判读时,若有可能,应尽可能收集各种图像资料进行综合分析,以便排除有关地质及水文地质现象的多解性,提高判读的正确率。

表 1 中的数据充分地说明了,自然界中不同类型岩石的热红外发射率有很大差异。进一步讲,即使是同一类岩石,由于风化程度不同(即表面粗糙度不同),也会使发射率产生很大的变化。这类差异和变化都可能以色调差异反映在热红外扫描图像上。特别是在两种不同类型的岩石或地质体表面温度相同或相近的情况下,这类影响就变得尤其显著。作为热红外图像的判读人员来说,必须认识到这一因素的影响,尤其在根据热红外图像,来研究地面物体及地质体的温度分布和变化时,应予以慎重考虑。

然而,在影响热红外发射率的控制因素方面,除前两节中已述及的以外,在硅酸盐岩石中的矽质成分也是一个重要的影响因素。如图 4 所示,在 8—14 微米这一大气窗口内,硅酸盐岩石都有一发射率的极小值,其中以石英最为明显。仅就这一极小值的大小以及出现的波长来说,从酸性岩石到基性和超基性岩石,有影响幅度逐渐变小、而波长向长波方向移动的趋势。在野外正常温度环境中(300K),硅酸盐岩石的最小发射率波长出现在 9—10 微米波段(主要取决于岩石在所处环境中的温度)。而在同一环境温度和同一波长范围之内,最小发射率主要取决于硅酸盐岩石的化学成分或矿物成分。目前,对这类现象出现的原因尚不十分清楚,其机制是极为复杂的。多数人认为,主要是与氧在硅氧四面体中的连结方式(即离子类型)和铁质成分的多少有关。此外,象地面植被覆盖、地面湿度等这类因素,对发射率都有很大影响。在对航空热红外扫描图像进行地质和水文地质判

读时,必须结合当时当地的地质、地貌及植被覆盖等条件进行综合判读和分析。

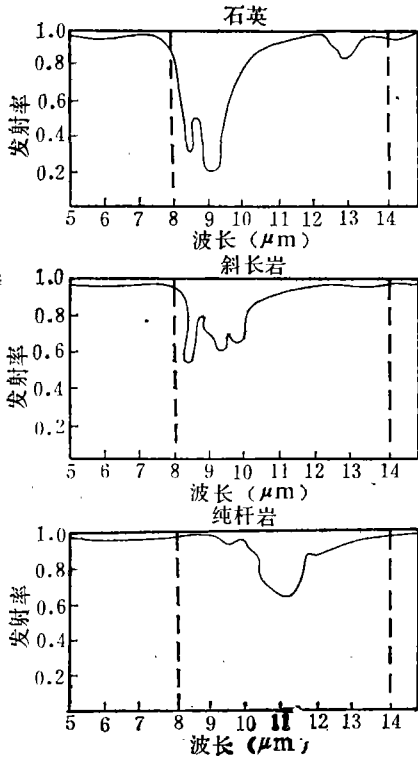


图 4 抛光岩石、矿物样品的光谱发射率曲线图<sup>[4]</sup>

Fig. 4 The Emissivities Curves of Some Rocks

近年来,随着图像处理和采用计算机进行图像识别分类的发展及热红外遥感研究的不断深入,对热惯量填图工作的重视程度有所增加。最近,美国学者 Watson 和 Kahle<sup>[6,7]</sup> 在进行热惯量填图研究的过程中,已认识到地面物体及地质体发射率变化对其表面温度计算的影响,并认为采用两个热红外波段(8—14 微米和 10.5—11.5 微米)成像,可以将由于发射率变化所产生的温度计算误差控制在 1% 左右。

总之,理论分析和实际图像都说明了热红外发射率在热红外成像及其图像地质和水文地质判读中的影响。无论是在图像的目视判读还是在采用计算机进行图像自动识别分类和编制热惯量图像中,都应考虑到这一因素的影响,以便提高判对率。

## 五、结 论

本文仅就航空热红外扫描图像及可见光航空像片,分析和讨论了热红外发射率变化对图像判读的影响。这一问题的解决尚有待于进一步的研究。就目前阶段来讲,图像判读人员应尽可能以各种途径来了解地表各类物体和地质体的热红外

发射特性。同时要考虑到与热红外发射率有关的一些环境因素的控制和影响。在某些情况下,地面物体和地质体自射辐射率的变化在其地质及水文地质判读中起着积极的作用,人们可以利用这一变化,来识别二氧化硅的含量,进行岩性划分。特别是利用热红外多光谱扫描技术时,它将是十分有益的。

## 参 考 文 献

- [1] R. D. 小哈德逊,红外系统原理,国防工业出版社,1975年。
- [2] Barry S. Siegal, Alan R. Gillespie, Remote Sensing in Geology, 1980.
- [3] Sune R. J. Axelsson, On the Accuracy of Thermal Inertia Mapping by Thermal Infrared Imagy, Proceedings of the 14th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Vol. 1, pp. 359—378, 1980.
- [4] Konard J. K. Buettner, Clifford D. Kern, Determinent of Infrared Emissivities of Terrestrial Surface, J. Geophysical Research, Vol. 70, No. 4, pp. 1329—1338, 1965.
- [5] Zhang Renhua and Jian Guoliang, Emissivity Measurement of Objects at Usual Temperature, Proceedings of the 14th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Vol. 1, pp. 153—158, 1980.
- [6] Alan R. Gillespie, Anne B. Kahle, Construction and Interpretation of a Digital Thermal Inertia Imagy, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. XLIII, No. 8, pp. 938—999, 1977.
- [7] S. H. Miller and Kennech Watson, Evaluation Algorithms for Geological Thermal Inertia Mapping, Pro-

ceedings of the 11th International symposium on Remote Sensing of Environment, vol. II, pp. 1147—1160, 1977.

## The Effect of Emissivity on Thermal Image and It's Interpretation

Wang Pinqing

(Center for Remote Sensing in Geology)

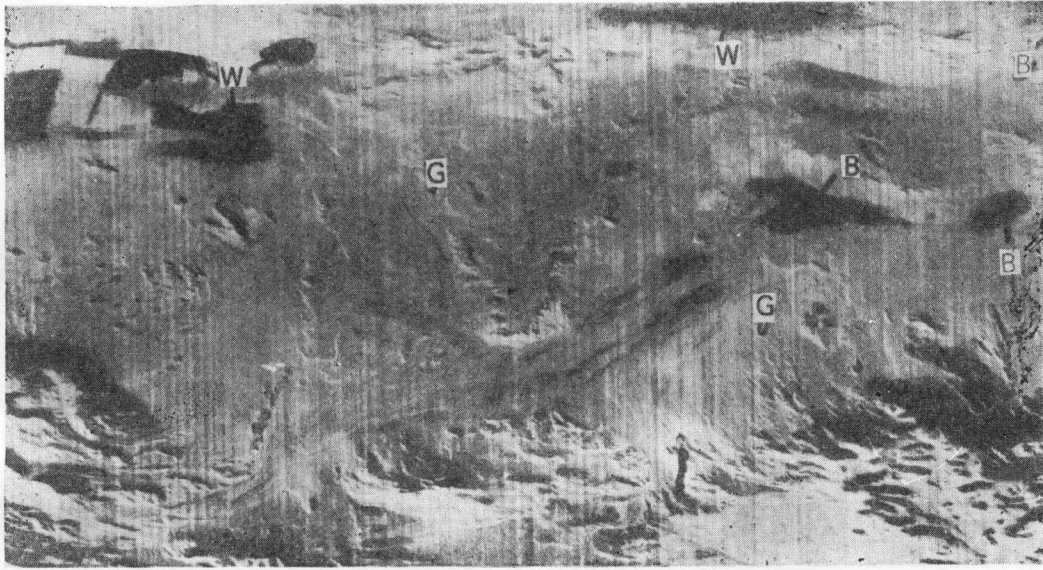
### Abstract

The emissivity of natural material is a important factor in the interpretation of thermal image. Sometime, the effect of emissivity is quite conspicuous under some specific conditions of environment. However, one does not, pay enough attention to their influences in the interpretation of the thermal remote sensing data. In this paper, author proceeded with the thermal radiation law attempts to illustrate this problem by combining the thermal image and temperature measurement data on the ground. Meanwhile, some factors to be closely related to the emissivities have been represented. But, how we can eliminate their effects in the interpretation of thermal image is depended on further study.

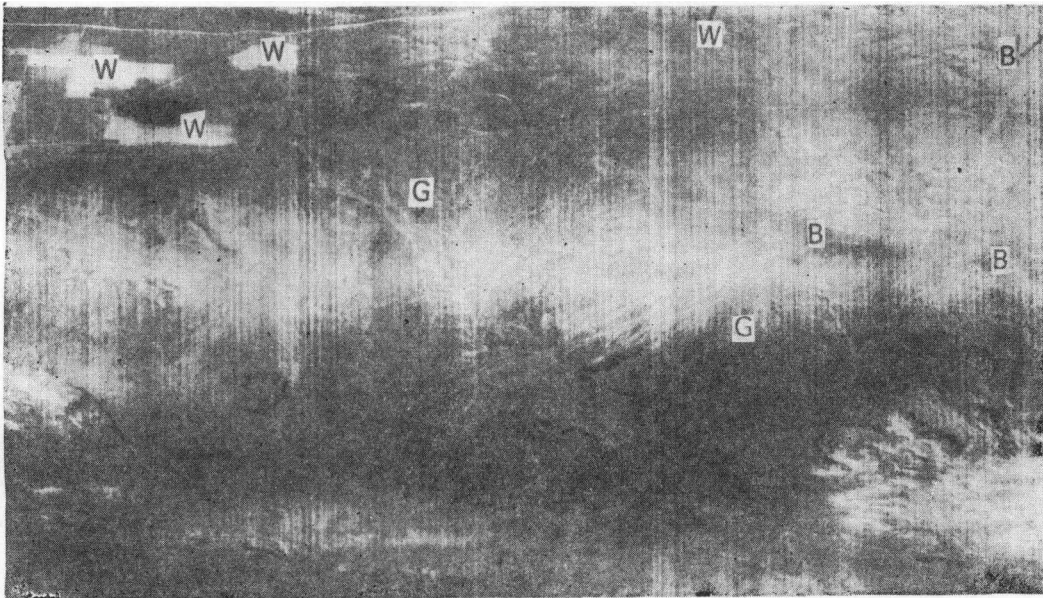
**Key words** Emissivities, Thermal Image, Effects

王品清：热红外发射率对热红外成像及其图像判读的影响

Wang Pinqing: The Effect of Emissivity on Thermal Image and It's Interpretation



白天热图像



夜间热图像

图1 半干旱地区中的热红外扫描图像

G 为戈壁砂砾石，B 为亚粘土，W 为灌水农田

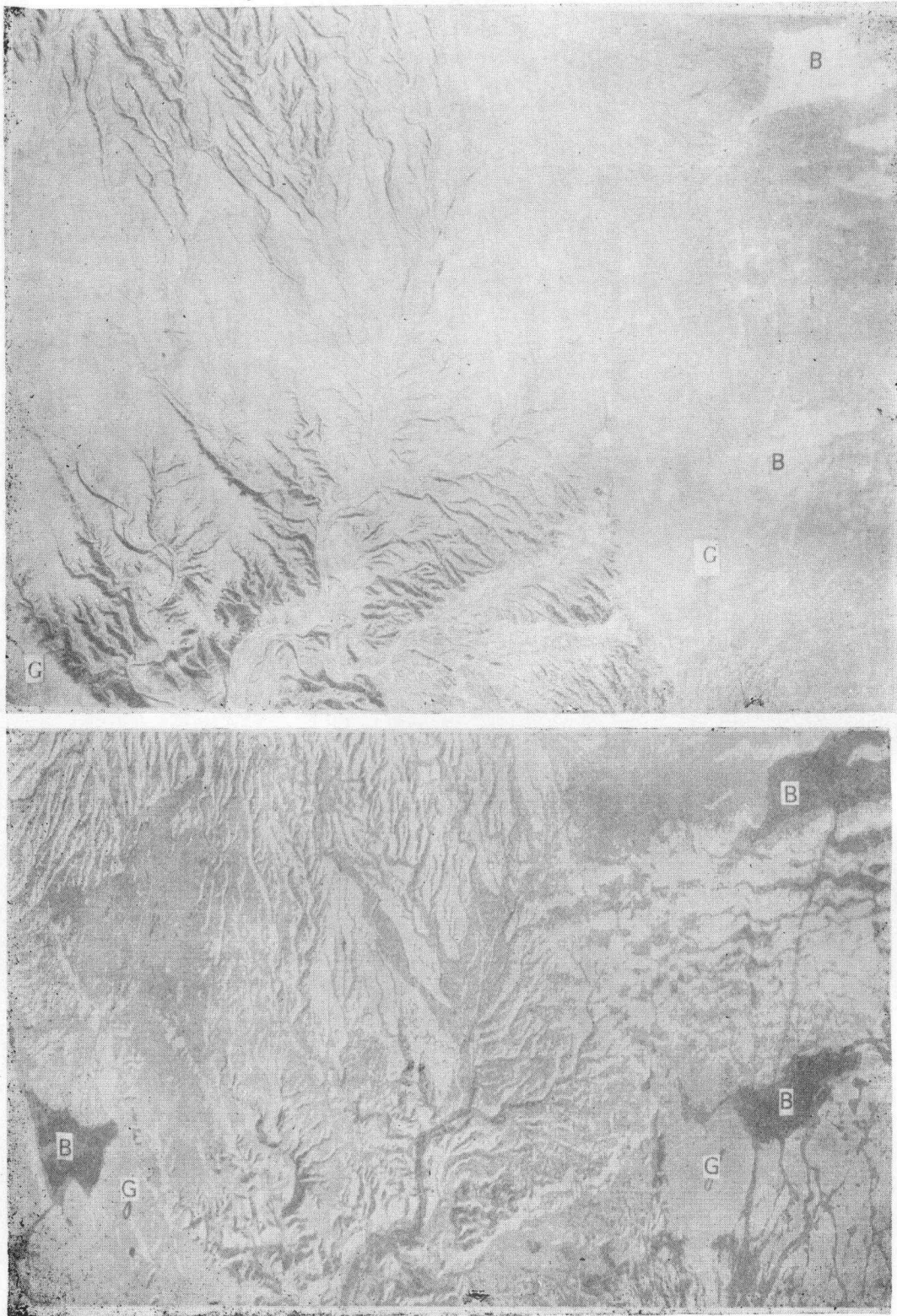


图3 干旱地区的可见光航空像片(上)和白天热红外图像(下)

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>