

56.581
DSB₅

56.581
DSB₅

1223
004

水文地质工程地质 物探技术报告选编

地质出版社



水文地质工程地质物探 技术报告选编

(限国内发行)

书口期表

地质出版社

水文地质工程地质物探技术报告选编
(限国内发行)

地质部书刊编辑室编辑
地质出版社出版
(北京西四)
地质印刷厂印刷
(北京安德路47号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ ·印张：12 $\frac{1}{8}$ ·字数：279,000
1981年8月北京第一版·1981年8月北京第一次印刷
印数1—1,480册·定价2.00元
统一书号：15038·新473

前 言

物探用于水文地质工程地质勘察，自五十年代后期开始，目前已得到广泛应用。地质调查部门和基本建设单位几乎都已开展了物探工作。为了总结交流经验，国家地质总局于一九七八年二季度，召开了一次全国水文地质工程地质物探专业会议，着重总结一九七四年以来的主要工作成果和经验，并对今后工作发展进行了讨论。

各单位向大会提交了一百多篇技术报告，直流电法的约占一半，这些文章反映出近几年物探在水文、工程地质工作中的新进展，内容十分丰富。择其有代表性的十四篇，编成这本选集，由唐大荣、张文梁、吴磊、程庆云四位同志分别审查定稿，陈昌礼同志审阅了全稿。其中，遥感、电子计算机应用等新仪器、新技术方面的有三篇；正在探索中的找水新方法（放射性找水、声频大地电流法）有三篇；常规物探方法（电法、重磁、地震、测井等）在找水、热田勘探中的应用或综合应用的经验等有八篇；还有属于仪器装备的。由于篇幅所限，有许多好文章未尽选入，在此表示歉意。

水文地质条件往往是比较复杂的，但是可以大体分为两类：一类是松散沉积型。这种类型大部属于第四系沉积平原、盆地，其物探工作特点类似于石油物探，但又偏于浅层，恰恰在浅层又出现了许多深层所遇不到的技术问题。例如，浅层反射地震波的取得，仍然是一个难题，这个难题在石油地震勘探中并不予以注意。直流电测深的定量解释在水文地质工作中分层要多，解释定量精度要高，这个问题在石油物探中要求并不迫切。另一种类型是岩溶和基岩裂隙水，这种条件下地质构造极为复杂，这种条件与金属矿物探条件相近而方法上又有很大差距。物探在这种条件下的应用，主要任务是勘察和追踪断层、裂隙、岩溶和暗河及其含水性，而这些课题在金属矿物探中仅仅列于次要地位。

这些情况充分反映出水文地质、工程地质物探方法技术的特殊性。现在充分认识这些特殊性是非常重要的。只有认识了这些特殊性，才能正确地把石油和金属矿物探已有成熟的方法技术有机地移植，而不是生硬地搬到水文、工程地质勘察中来。只有充分认识这些特殊性、才能明确水文、工程地质物探今后需要解决的课题。并且只有使这个特点为更多的人所了解，才能更有助于发展和提高。

总的讲，水文地质和工程地质物探所遇到的一些课题，大多并非其它矿种物探所迫切需要解决的问题，而水文地质和工程地质调查几乎在所有工业、农业和国防建设中都要开展，迫切要求物探研究的课题很多，希望本选集的出版能引起有关方面的兴趣和重视。

一九七九年四月

目 录

地球物理方法在水文地质、工程地质工作中的应用——回顾与展望·····	顾功叙	(1)
JHY-1型机载红外成像仪研制及试验结果·····	水文地质工程地质 技术方法研究队	(3)
直流电测深数字解释·····	水文地质工程地质技术方法研究队	唐大荣、张文梁 (17)
信息论在水文物探工作中的应用·····	中国人民解放军〇〇九三二部队	赵庆龙 (40)
羊八井热田物探方法的应用效果·····	西藏地质局物探大队	(52)
重力、电法找地下水·····	北京市地质局水文地质工程地质大队	田世义 (63)
用物探方法圈定地下水·····	中国人民解放军〇〇九一三部队	(80)
纵轴直流电测深法在岩溶地区找水中的应用·····	柳州铁路局设计所	方兴付 (91)
用直流电法在曹溪岩溶地区找水的几点体会 ·····	福建省地质局水文地质队 福建省水文工程地质队物探分队	(102)
声频大地电流法找水试验·····	广西地质局水文地质大队物探分队	(111)
利用天然放射性方法探测地下水·····	长春地质学院物探系放射性找水研究小组	(129)
地震勘探在水文工程地质中的应用 ·····	水文地质工程地质技术方法研究队	陈宝荪 (144)
根据测井曲线划分淮北地区第四纪地层·····	安徽省地质局三二三地质队	(157)
钻孔无线电波透视法在水文工程地质中的应用·····	煤炭部地质勘探研究所 水文物探组	(164)
钻孔摄影在工程地质勘探中的应用·····	湖南省水利电力勘测设计院	(179)

地球物理方法在水文地质、工程地质 工作中的应用

——回顾与展望

顾功叙

地质部汇编《水文地质、工程地质技术报告选编》的同志希望我写一篇关于水文地质、工程地质中有关地球物理方法的应用的文章。但由于我已多年没有参与地球物理勘探工作，缺乏实践，能写什么呢？现在再也不能空谈一阵来滥竽充数了。为了满足以往长期一起工作的同志们的要求，只能就过去我所接触到的一些有关问题，凭我个人的一般知识来写一点回顾既往和展望未来的内容，可能还避免不了一个“空”字。

的确，我国二、三十年来在水文地质工程地质中应用地球物理方法还不太普遍，技术本身也不够成熟，还处于可有可无的状态。不象石油构造的勘探普查少不了地震勘探，各种金属矿少不了磁法测量那样。

找寻地下水常常使用电阻率法，测定基岩以上覆盖层厚度也采用电阻率法并用浅地震折射波法，现正开始用反射波法，效果则有时成功，有时失败。另外由于水文地质、工程地质的探测目标一般都离地表不深，数米至数十米，其内岩层结构和物质分布常常很复杂，一般不属于水平的二维介质。因离地表较浅，打钻探测也比较方便。地球物理勘探的显示，最终也总得用钻机来验证。当然，也有不少交通不便的地区缺乏钻探工作的条件和设备，而有些地球物理方法的显示也能达到最低限度的目的。这样，在这里或那里曾发挥过一定的作用，尽管不够系统。这是我所掌握的过去情况。

今后怎么办？我认为万事必须讲求实效。对某一探测目标来说，各种技术方法之间是要有竞争的。地质效果和经济效果之间是要有对比并作出平衡的。过去不计成本，不讲求经济效果，今后是不允许的了。空喊效果如何如何也是不会被人们所理采的。

首先我想要明确一下关于水文地质、工程地质中地球物理方法的探测目标是什么？当然是指最广泛出现的探测目标，然后再考虑应用什么真正有效的方法和技术。即不要把地球物理方法当作“万金油”来应用于水文地质、工程地质工作中去。还必须做到象地震勘探在石油构造的探测，磁法在磁性金属矿那样，非它们不行的地步，而不是可有可无的。只靠领导支持鼓励总是不够的。方法本身必须具备真本领，能发挥无可争辩的作用，才能站稳脚跟。

我想水文地质、工程地质中对地球物理方法所提出的探测目标最普遍的有三项：①找地下水；②测基岩以上覆盖层厚度；③找溶洞。更多的对象不要考虑了，以免没有重点。

现在需要考虑用什么地球物理方法和技术才能做到工作不是可有可无。电阻率法有

缺陷，条件要求苛刻，在许多情况下较难取得理想的效果，探测的详细程度也较低，必须应用得当。如电测深法在华北平原找水，指导农田打井；电剖面法在丘陵山区和岩溶区找断层、裂隙、都能发挥一定的作用。电测井用于划分含水层、隔水层、咸水层和淡水层的效果也较好。因此，电阻率法目前仍然应用较为广泛。地震折射波法比电阻率法在条件要求和探测详细程度方面有所改善，但野外观测效率不高，设备较复杂，成本较高。反射波法（浅反射）由于技术上的改进，最近才有办法使用。当然，探测详细程度较折射波法是有所提高的。

我想应该考虑地球物理方法在水文地质、工程地质的应用中，怎样与其他勘探技术竞争的问题，特别是与钻探（手摇钻或其他轻便钻机）。竞争有这样两个方面：（1）野外工作效率的高低，设备的可携程度及成本；（2）探测的详细程度。显然，浅地震反射波法是在朝着这两方面改进。不过目前它在第一方面还很不够，但预计是有前途的。

最后，说一点科研问题。浅反射波地震法是应该不断研究改进的一种技术。用老方法和老原理，到野外去“联系实际”就称之为“科研”，那是搞不出什么新东西的。过去我们这种“科研”工作做得很多，浪费人力物力很大，得不偿失，这种教训今后应该认真吸取。

科研必须有所创新来提高地球物理方法在水文地质、工程地质应用中的实际效果，包括地质的和经济的。不创新想有所突破是很难设想的。随着物理学技术的不断发展，我们的眼睛必须紧跟这种新的进展，尽一切可能利用它们来为地球物理方法应用于水文地质和工程地质服务。地震反射波法探测浅部是由于现代地震勘探技术，数据处理的新成就而才有可能实现的。随着这门技术的进展和不断改进，反射波法探测浅层结构，我认为是有意义的，但现在还不够满意。另外可考虑的是电磁波的反射。水文地质、工程地质的探测目标既然都是浅的，电磁波似乎可以在其中传播而不被吸收。当然，表层岩质不宜太潮湿，否则电磁波就不易通过。电磁波的优点在于波源可控制，反射波记录的分析处理可利用许多雷达方面的新技术。电磁波反射法找地下水似乎是有物理前提的。此外，如激发极化法找地下水的效果究竟如何？似乎还存在理论问题，野外观测设备需要大电源也是个问题，要很好研究。

JHY-I型机载红外成象仪研制及试验结果

水文地质工程地质技术方法研究队

一、引言

遥感技术的迅速发展，为从空间探测地球资源开辟了一条新途径。红外探测技术又是一系列遥感技术的重要组成部分。其近年来在地球资源探测上初步显示出来的能力和所具的优越性，引起了各国普遍的重视，很多国家先后开展研究，取得了很大进展。目前除美、德、法、日、苏、瑞典等工作较早的国家外，意大利、英国、加拿大、墨西哥、冰岛、澳大利亚、巴西、印度……等国家，也相继用红外与多光谱扫描技术进行地球资源探测野外试验，获得了大量资料，进一步证明红外探测技术在地质勘探中有其广阔的前景。七十年代以来我国开始研制红外扫描仪器并分别在广东、哈密、广西、湖南等地为普查找矿，调查岩溶发育及地下热水的分布，进行了一些野外试验，取得了可贵的资料。为适合地质勘探的特点，我们重新设计研制一台适用于地质调查的机载红外成象仪，经地面多次联试和空中试验，说明仪器性能良好。温度灵敏度高，记录方法先进，图片清晰。

经过几次野外试验所取得的资料初步证明，红外遥感技术在地质填图、水文地质调查、地热测量和监视环境污染等方面，都能发挥较好的作用。尤其对于沙漠、森林、沼泽地区等荒漠区，可见光照相对比度低，反映差，应用航空红外方法开展地质调查，更显示其优越性。利用航空红外结合可见光照相，具有成本低，效率高，一次可以大面积地取得资料，为宏观地研究各种自然现象和规律提供了有利条件，同时可避免时间、季节等各种外界变化因素的干扰，较少受自然地理条件的影响。

二、红外技术的基本理论

(一) 红外辐射特性

电磁波辐射是物质内部原子、分子（或离子）运动状态变化的结果。温度高于绝对零度（ -273°C ）的任何物体，都存在热运动，由于其原子和分子不停地振动与旋转，自然界的任何物体，都在不断地辐射红外线。它是整个电磁波谱的一部分，介于可见光与无线电微波之间的电磁辐射，波长为0.75微米到1000微米。在红外波谱中又可分近红外，中红外，远红外和超远红外几部份（图1）。

红外线具有可见光及无线电波两者的某些特征。它能借助于透镜和反射镜进行光学

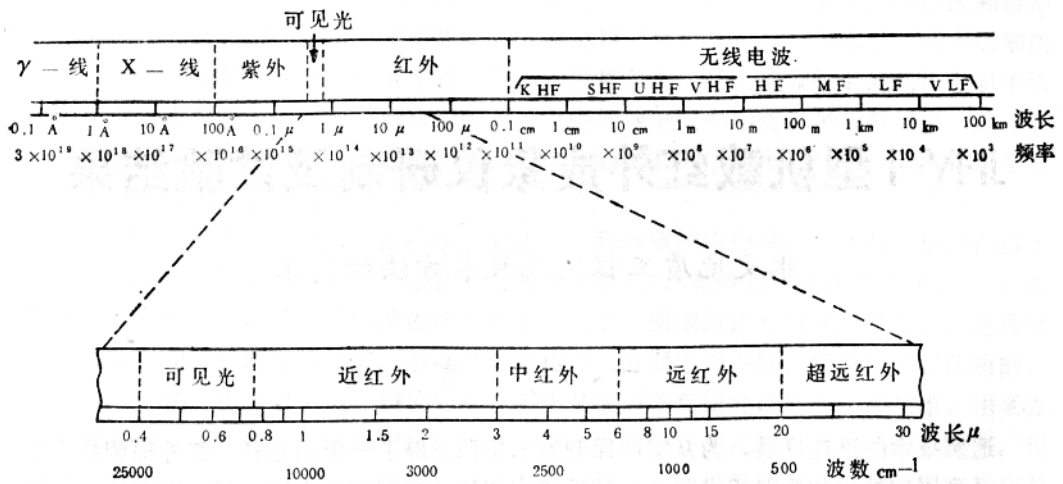


图1 电磁频谱

聚焦和定向；也能借助于分光棱镜进行折射与分光。还能透过对可见光是不透明的某些物质。

图1中各种类型的辐射，其波的运动形式都必须满足常用运动方程：

$$\lambda \nu = c \quad (1)$$

这里： λ —波长； ν —频率； c —光速。

当辐射入射到任一物体表面时，都要发生反射、吸收和透过现象，并且它们之间必须满足下列关系：

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (2)$$

式中： ρ —反射率； α —吸收率； τ —透过率。因此，在自然界的物质中，按其频谱发射率(ϵ_1)的不同，可归纳为三种发射体：

1. 黑体

能将辐射到其表面的辐射流全部吸收并全部辐射出来的物体，称为黑体，在黑体中反射率与透过率为零，吸收率等于1，即：

$$\rho = \tau = 0 \quad \alpha = \epsilon(\lambda) = \epsilon = 1$$

黑体的频谱分布符合普朗克定律：

$$W_1 = \frac{c_1}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{c_2/\lambda T} - 1} \quad (3)$$

式中： W_1 —频谱辐射强度 ($W \text{ cm}^{-2} \mu^{-1}$)

λ —波长 (μ)

h —普朗克常数，等于 $6.625 \times 10^{-34} W \text{ sec}^2$

T —绝对温度 $^\circ K$ ($^\circ K = ^\circ C + 273.16$)

c —光速，等于 $(2.998 \times 10^{10}) \text{ cm sec}^{-1}$

$c_1 = 2\pi hc^2$ ，为第一辐射常数，等于 $3.74 \times 10^{-12} W \text{ cm}^2$

$c_2 = hc/k = 1.44 \times 10^4 \mu K$ 为第二辐射常数，

k —波尔兹曼常数, 等于 $1.38 \times 10^{-23} W \text{ sec } K^{-1}$

(3)式对 λ 微分, 并令其导数为零, 则得黑体辐射能量分布曲线极大值的对应波长 λ_m

$$\frac{hc}{\lambda_m KT} = 5 \left(1 - e^{-\frac{hc}{\lambda_m KT}} \right)$$

代入常数并整理后得:

$$\lambda_m = \frac{2897}{T} (\mu) \quad (4)$$

由(4)式不难算出, 在地面通常遇到的各种温度中, 黑体辐射强度极大值所对应的波长, 正位于红外频谱中(图2)

对(3)式积分, 可得黑体的辐射强度:

$$W = \int_0^{\infty} W \lambda d\lambda = \sigma T^4$$

这里: σ 为斯蒂芬—波尔兹曼常数, 等于 $5.67 \times 10^{-12} W \text{ cm}^{-2} K^{-4}$ 。

顺便指出: 近于黑体的物质, 其颜色并不一定是黑色。如白色霜冻的吸收率竟高达0.985, 在所有物质中它最接近于绝对黑体。在 -9.6°C 下透明的水, 吸收率也达0.965与黑漆相近。

2. 灰体

对热辐射不透明, 其反射率与吸收率之和等于1。并且辐射率为一个小于1的常数, 与波长无关的物体称为灰体。

即: $\tau=0, \rho+\alpha=1 \quad \epsilon(\lambda) = \epsilon = \text{常数} < 1$ 。灰体的辐射谱是连续的。根据基尔霍夫定律, 灰体(W')与黑体辐射强度的关系为:

$$\frac{W'}{\alpha} = W \quad \text{即} \quad W' = \alpha W$$

$$\text{而} \quad W' = \int_0^{\infty} \epsilon(\lambda) W_\lambda d\lambda = \epsilon \delta T^4 = \epsilon W$$

所以在同一温度条件下: $\epsilon(\lambda) = \epsilon = \alpha = (1 - \rho)$

灰体的辐射强度曲线与同温度下绝对黑体的辐射强度曲线相似, 所以在地面通常遇到的温度条件下, 灰体辐射能量最大值所对应的波长, 也同样位于红外频谱范围内。按(4)式不难算出不同温度的最大辐射波长为: 飞机发动机: 700°C , 3.1μ ; 人体: 37°C , 9.7μ ; 雪: 0°C , 11μ ; 钢水: 1800°C , 1.5μ 。

固体和液体对于热辐射来说, 实际上可看作是不透明的灰体。因此, 自然界中各种物体和地质体都属于灰体。

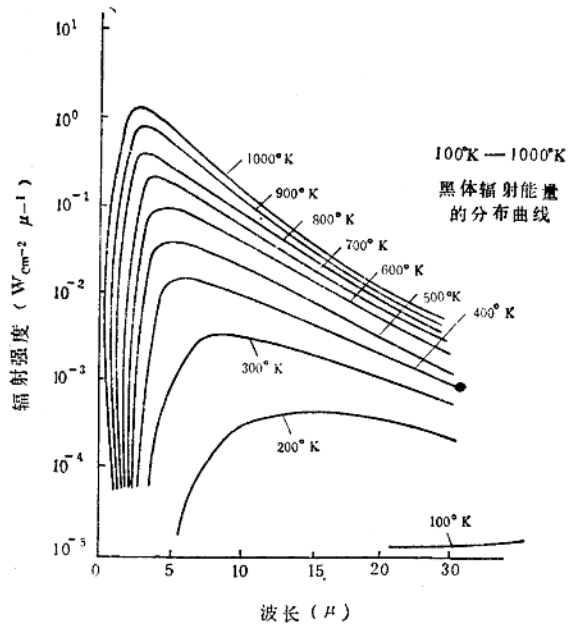


图2 100°K—1000°K黑体辐射能量的分布曲线

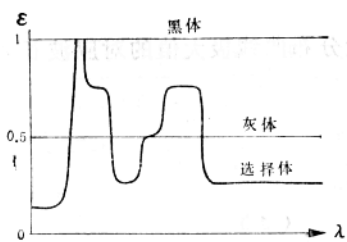
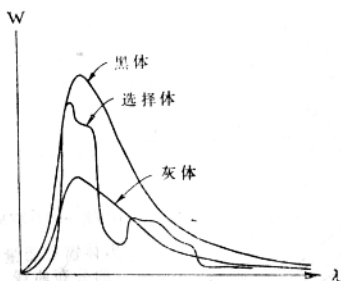


图3 三种辐射体的光谱发射率与光谱辐射强度



3. 选择体

发射率 $e(\lambda)$ 随波长而改变的物体称为选择体。在工程计算中，为了方便，往往把选择体看成是窄波段内的灰体。其辐射曲线与灰体及黑体的比较如图3。

(二) 红外辐射在大气中的传递

大气对红外线传递的影响很大。它是一种均匀连续变化的气体、液体和固体微粒的混合物。其中水蒸气、二氧化碳、臭氧都能强烈吸收红外辐射，要精确计算大气对红外辐射的吸收和散射是困难的，但根据杰比等试验证明，大气有六个窗口可通过红外辐射，其中远红外区一个，中红外区二个；近红外区三个。对应于窗口的红外波段，被大气的吸收和散射都较小，基本上可认为是透明的(图4)

为有效地接收地面目标的红外辐射能，必须随时了解大气对红外辐射的影响，以便校正所取得的资料。在设计各种探测仪器时，也要根据不同的地质勘探要求和对应的大气窗口，适当选择仪器的工作波段。

地质勘探要求和对应的大气窗口，适当选择仪器的工作波段。

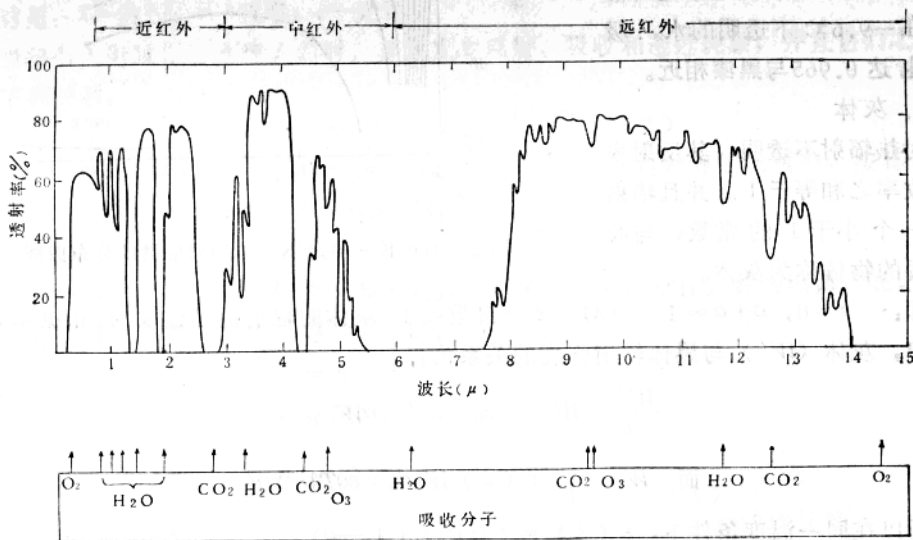


图4 在海平面6000英尺水平距离上测得的含17mm凝结水的大气透射率

三、红外技术资源勘探的基础

为把红外技术应用于地球资源探测，必须了解地球辐射的来源、特征，以及和这些辐射有关的各种因素，以便采取必要的探测方法和有效地识别所取得的各种资料。

(一) 地球表面的热平衡

地球表面的热能，来源于天空对地球的辐射（尤其是太阳的辐射）和地下地质体的补给（如地热、某些与热作用有关的矿床、冷的地下水等都可以影响地表的温度）。太阳辐射经过大气吸收、云层反射与散射后，同天空辐射一起同时辐射到地表，并在地表上产生反射、蒸发、辐射假传导，长波辐射，热传导和转换等一系列的现象。由于地表各处的成分、结构以及地形地物不尽一致，因而上述现象在各处的反映也有差别。同时由于白天和夜间天空和太阳向地表辐射的能量有很大差别，所以白天和夜间地表表面的热平衡状态也不同（图5 A、B）。在白天存在强烈的太阳辐射，热能主要是往地下补给，在夜间却反过来从地下向地表补给热能。

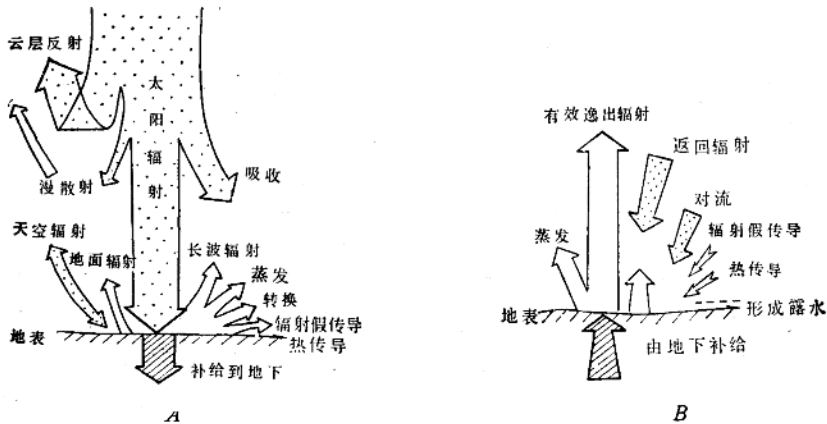


图5 地球表面的热平衡
A—白天，中午； B—夜间

(二) 地球表面的辐射特征

地球表面分布有河流、湖泊、山脉、树林、田野、道路、铁路、桥梁、厂房、船舶、海洋、冰、雪，以及各种地质现象（沉积岩、火成岩、变质岩、泉水、火山活动和各种地质构造特征）等不同地形地物目标。这些目标基本上都是对红外辐射是不透明的，因此可以将其看成是一个灰体。它们之间对外界辐射只具有不同的反射与吸收特性，每一种地形地物的辐射（ N ），由其自身辐射（ N_e ）以及对入射到其上的外界辐射流的反射与散射（ N_r ）组成：

$$\text{即 } N = N_e + N_r$$

自身辐射 N_e 及其对外界辐射流反射与散射 N_r 的大小，由每一地形、地物本身的成份结构，特别是其表面的性质（包括表面温度），以及入射的辐射流的大小决定。不同的物质具有不同的辐射率（表1），表面较粗糙和较黑的物体，具有较高的发射率和低的反射率（ $N_e > N_r$ ）；反之，光滑较亮的物体，则反射率大于发射率（ $N_r > N_e$ ）在地表各自然目标的反射波长一般小于 3μ ，反射率的数值在0.03（无复盖的地面或海洋）到0.95（新鲜的雪）之间。对于长波区反射率较低，一般为0.72。在夜间由于已没有太阳辐射，所以地表对外界辐射的反射与散射作用可以忽略，这时起主要作用的是自身的发射（ N_e ）。并且不难证明：

$$N_e = \frac{\epsilon \sigma T^4}{\pi}$$

表 1 常温下一些物质的发射率

物 质 名 称	发射率 (ϵ)	物 质 名 称	发射率 (ϵ)
铁 (磨光)	0.05	粗 灰 岩	0.91
铸 铁	0.21	石 灰 泥	0.92
粗糙的钢板	0.82	石 英	0.89
铝 (磨光)	0.04	无灰尘的沥青路	0.93
炭 (未氧化)	0.81	土 路	0.83
石墨 (野外表面)	0.98	腐 植 土	0.64
大理石 (光滑)	0.56	砂	0.90
大理石 (磨光, 发灰色光)	0.93	灰 土	0.92
花 岗 岩	0.44	被水浸透的灰土	0.95
白大理岩	0.95	石 油	0.27, 0.46
红 砂 岩	0.89	(厚0.001, 0.002, 0.005时)	0.72
砂 岩	0.83	蒸 馏 水	0.96
板 岩	0.67	冰 (光滑的 -10°C)	0.96
石 造 物	0.97	严寒结晶水 (-10°C)	0.98
石 灰 岩	0.95	雪 (-10°C)	0.85
云 母	0.75	人的皮肤	0.98

同时,当地表物体吸收到太阳及天空辐射或接受地下热流补给时,温度便开始上升,其上升的速度与物体的热惯性有关。一般以温度传导系数 α^* 标志物体热惯性特征。

水是热惯性最大的物体之一。在温度为 90°C ,压力为一大气压时,其温度传导系数为 $0.0005\text{米}^2/\text{时}$ 。气体的热惯性最小,在同样状态下,空气的温度传导系数为 $0.0925\text{米}^2/\text{时}$ 。由于水具有很大的热惯性和发射率,所以不论在白天与夜间地表各物质的辐射中,水的温差不大,在整个辐射背景中,水的辐射总是表现出其明显的特征,成为应用红外技术找水的有利条件。特别是通过红外与可见光相配合而确定的热惯量值,可以灵敏地反映微小的湿度变化,因而在山区、干旱区与半干旱区找水中更为有利。

四、JHY-1 机载红外成像仪

在地球资源勘探中,需接收地面各种目标的红外辐射能,对于波长小于 1μ 的近红外波段,可以直接用红外底片进行感光,它属于航空摄影的一部分。但要接收波长长

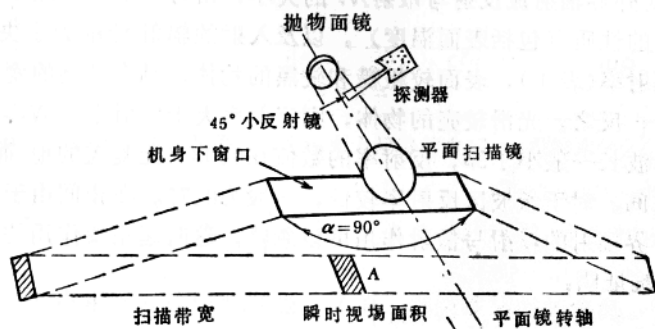


图 6 机械扫描成像原理图

于 1μ 的红外能，直接用红外胶片感光是不可能的。当前只有用机械扫描成象或电扫描（对阵列元件而言）成象方法。JHY-1机载红外成象仪是属于机械扫描成象。其工作原理是：

（一）决定扫描系统性能的主要参数为

1. 瞬时视场角 (β)：表示每一扫描瞬间能观测到的空间范围。即在瞬时能进入光学系统并落到探测器上的地物红外辐射所限制的一个很小的立体角。它由置于象平面上的场光栏，调制器、探测器的面积决定：

$$\beta = \frac{\delta}{f}$$

式中： f —光学系统总焦距；

δ —红外探测器上的成象线径；

β 越小对地面的分辨能力越高。

2. 瞬时视场面积 (A)：是瞬时视场角对应于地面的一个小的面积单元。每一个瞬时视场面积所辐射的总辐射能的强弱与探测器输出的每一电信号的强弱相对应，瞬时视场面积随扫描距离的改变而变化。当扫描角为 θ 时，瞬时视场面积 A' 为： $A' = A \sec^3 \theta$
 扫描角为 θ 时，瞬时视场横向线度 $a' = a \sec^2 \theta$
 扫描角为 θ 时，瞬时视场纵向线度 $a'' = a \sec \theta$

瞬时视场面积随扫描角的变化，说明沿扫描线对地物的分辨能力随扫描角的增大而减小。

3. 总视场角 (α)：扫描镜从一边到另一边的最大夹角，也称最大扫描角。扫描角增大所能扫过的范围也大，效率就高。但过大会严重降低对地物的分辨能力和使红外扫描象片发生畸变。

4. 温度灵敏度 ($NE\Delta T$)：也叫噪声等效温差，即探测目标上两个相邻单元之间的温差所给出的信号，等于系统的噪声。系统噪声越小，温度灵敏度越高。其计算公式：

$$NE\Delta T = \frac{(A_D \cdot \Delta f)^{1/2}}{D^*} [\epsilon k' \sigma' T^3 \beta^2 S \tau K]^{-1} \quad (5)$$

式中： A_D —探测器接收面的面积；

D^* —探测器的探测率；

Δf —扫描仪整机的带宽；

ϵ —探测目标的发射率；

σ —斯蒂芬-波尔兹曼常数；

k —在 $[\lambda_1, \lambda_2]$ 波段内与全波段辐射能之比；

T —探测目标的绝对温度；

S —光学系统的有效接收面积；

β —瞬时视场角；

τ —大气透过率；

K —光学系统的接收效率。

从(5)式可知： $\frac{(A_D \Delta f)^{1/2}}{D^*}$ 越小， β 和 S 越大，温度灵敏度越高，而且随探测目

标的绝对温度 T 的增高而增高。但是 β 不能无限制地增大，前已指出， β 越大，对地物的分辨率将大大降低，所以系统的空间分辨能力与温度分辨能力是互相制约的，根据任务要求进行综合考虑，确定适当的指标。

(二) JHY-1 的主要组成及性能

1. 光学机械扫描系统 (图 7)

采用牛顿光学系统。

地物扫描镜：为一 45° 铝质斜面镜，表面镀镍，并用真空喷镀铝膜反射层及一氧化硅保护膜，扫描镜平面度小于四个光圈 (1.2μ)，光洁度达 ∇_{14} 。经静、动平衡校正后，扫描镜旋转的不平衡量小于 1μ 。

主镜：为一玻璃的抛物面镜，是牛顿光学系统的唯一聚焦镜。直径 200mm ，焦距 460mm 。

折叠镜：是铝质的 45° 斜面反射镜，把光路折叠后反射到腔体外面的元件上，其有效遮光面积为 $\Phi 50$ 的圆。

整个光学系统的成像光点直径为 1.38mm ，弥散小于 0.05mm 。相对孔径 $F=f/d=460/200=2.3$

选用大通光口径 ($\Phi 200\text{mm}$) 的光学系统是为获取高的温度灵敏度与空间分辨率。采用 45° 斜面扫描镜是有利于减小仪器体积，以便用于多光谱扫描。

2. 元件及致冷

根据不同波段和瞬时视场角的要求，可选用不同类型的元件。在我们的试验中采用的元件是：

硅光二极管：波长 $0.5-1.4\mu$ ； $\Phi 0.1\text{mm}$

铋化铟：波长 $3-5\mu$ ； $\Phi 0.5\text{mm}$ (77°K)

碲镉汞：波长 $8-14\mu$ ；瞬时视场 1 毫弧； $\Phi 0.5\text{mm}$ (77°K)

瞬时视场 2 毫弧； $\Phi 1\text{mm}$ (77°K)

瞬时视场 15 毫弧；带光锥的 $\Phi 1\text{mm}$ (77°K)

铋化铟和碲镉汞元件都用液氮致冷。

影响本仪器成像质量的元件主要参数是：

响应波长：希望在 $8-14\mu$ 大气窗口中尽量宽，以增加接收的有效辐射能。

响应率 (R)：表示把辐射能转换成电能的能力，单位是 V/W ，希望 R 越大越好。

探测率 (D^*)：它与元件噪声等效功率 (NEP) 或反比，与元件接收面积 (A_D) 及系统带宽成正比：

$$D^* = \frac{(A_D \cdot \Delta f)^{\frac{1}{2}}}{NEP}$$

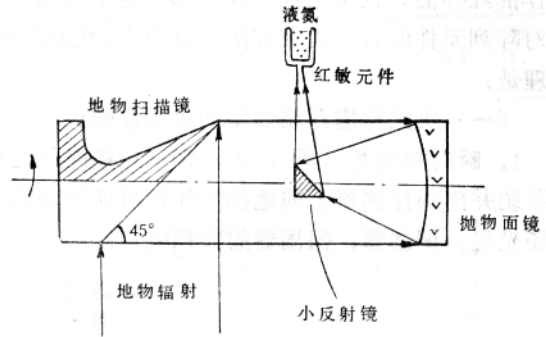
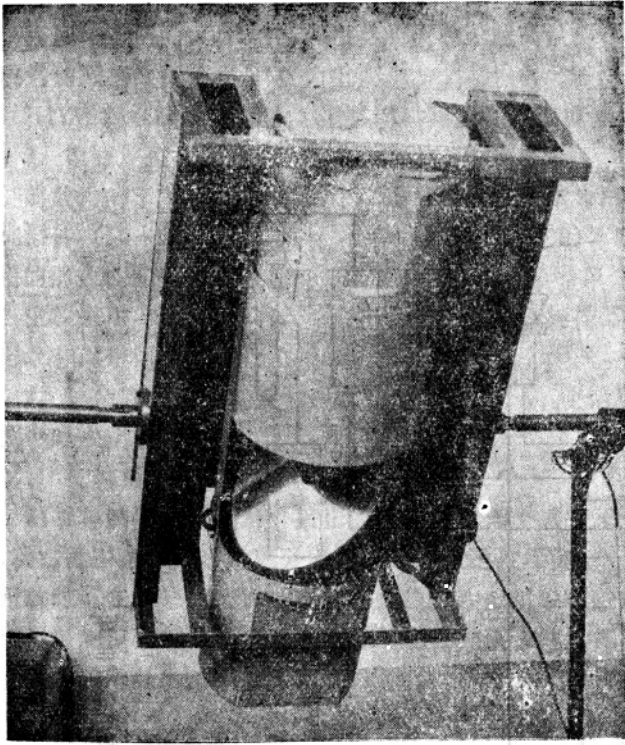
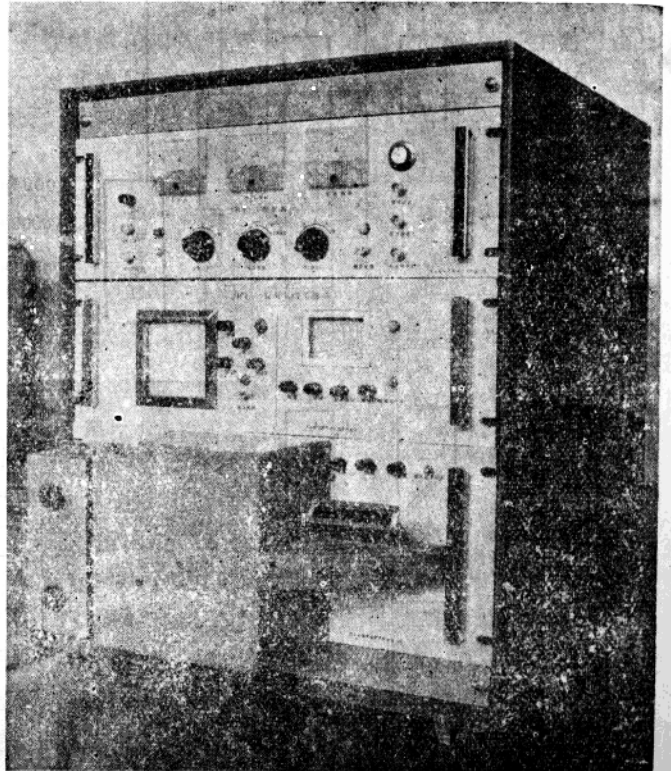


图 7 光学机械扫描系统示意图



← 照片1 JHY-1 扫描仪的头部，包括地物扫描镜及光学聚焦系统



照片2 JHY-1 信号处理器 →
上部：控制系统
中部：监视系统
下部：记录回放系统

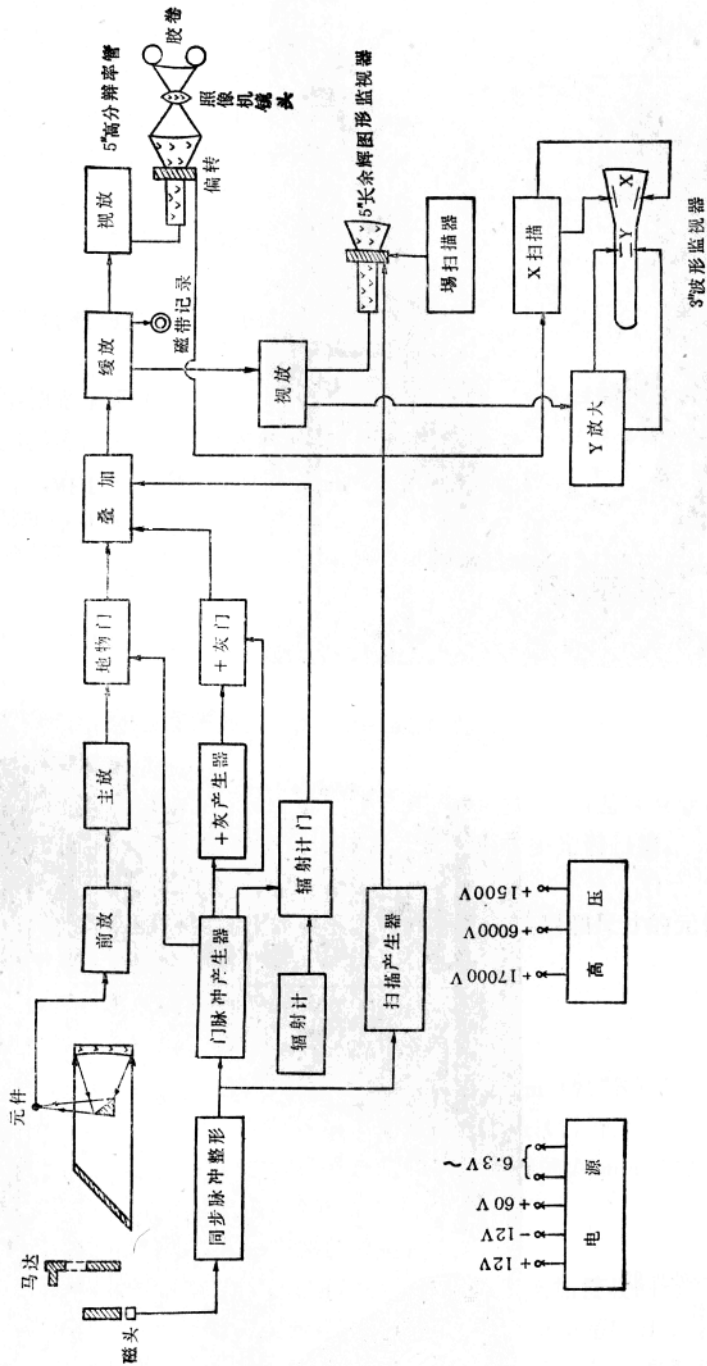


图 8 JHY-1 电路总方框图