

地质科技资料选编

(八)

航宇遥感及航空地质

江西地质科学研究所

一九七七年九月

前 言

近年来，随着宇宙飞行和遥感技术的发展，航宇遥感方法也被引进地质学领域，用来探测地球上的资源。由于应用效果显著，在短短的几年时间，航宇遥感方法就已由试验阶段开始进入了实用阶段。

航宇遥感方法可以加速地质调查，提高填图质量，时间短，收效快；航宇（卫星）照片视域宽广，便于研究全球性、大区域构造；利用航宇（卫星）照片进行成矿分析，指出矿产普查方向；随着遥感方法多波段影象的利用及电算处理，不仅对寻找地下水、地热及石油等有较好效果，而且还可识别岩石热液蚀变类型等不同标志来寻找新的隐伏矿床。

我国近年已开始遥感方法的试验研究工作，不久将会有我国自己的地球资源技术卫星。在华主席和党中央抓纲治国的战略决策的指引下，在本世纪末实现四个现代化的过程中，我国科学技术定将攀上世界高峰，为人类作出更大的贡献。

为使地质工作在国民经济建设中当好先行，在大干快上的过程中尽量采用新技术新方法，我们选编了有关航宇遥感方法及航空地质方面的专辑，供学习中参考。限于编者水平，错误之处，请读者指正。

编 者

一九七七年九月廿五日

目 录

航宇遥感方法在地质工作中的应用	(1)
电磁波地质学——遥感影象在地质上的应用	(6)
应用航空照片进行地质力学解析的一点体会	(65)
1:20 万叙永幅航空区域地质调查的工作程序 和方法	(69)
1:20 万叙永幅航空地质解译标志	(95)

航宇遥感方法在地质工作中的应用

中国地质科学院情报所

近年来,随着宇宙飞行和遥感技术的发展,航宇遥感方法*也被引进地质学领域,用来探测地球上的资源。在这方面,只经过短短的几年功夫,航宇遥感方法就已由试验阶段开始进入了实际利用阶段。

美国于1966年拟定了“地球资源观测计划”并于1972年和1975年各发射了一颗地球资源技术卫星(英文代号ERTS—1和2,现改称陆地卫星,代号LandSat),对地球表面85%面积拍摄了无云高分辨影象。最近几年内,还准备发射“陆地卫星—3”(1977年)和“海洋卫星—1”(1978年)等资源卫星,计划要发射的还用磁力调查的“应用探测器—3”和“陆地卫星—4”,还计划在八十年代中期发射以测量为目标,的“重力卫星”和“海洋调查等资源探测卫星。1976年8月,美国矿业界组建了一个新的地质勘探服务的机构——“地质卫星”委员会(Geosat)。它将提供用于勘查和工程、环境地质等研究的航宇照片、红外彩色影象、雷达图象、热红外资料,以及其它专门情报资料。

苏联没有发射专门的地球资源卫星,但“联盟号”、“礼炮号”和“宇宙号”等宇宙飞船和人造卫星也担负类似的探测地球资源的任务。在苏共“二十五大”上,特别强调了航宇地质方法对于研究地球资源的重要意义;在《苏联1976—1980年国民经济发展的基本方向》文件中也指出,必须加强地质勘探工作的技术装备,扩大利用航宇地质和航空地质方法;苏联地质部已把进一步推广应用这一方法列为该部第十个五年计划十项地质科研任务的第二项。还要求在这个期间内,完成苏联某些地区的航宇摄影地质填图工作。1976年10月苏联地质部召开了关于利用航宇测量所获资料解决地质问题的首次会议。

据报道,目前世界上已有50多个国家参与了美国地球资源技术卫星计划,举行过18次以上遥感为主题的国际讨论会。日本、西德和加拿大宣布也要发射自己的资源卫星。在加拿大、巴西、意大利等国已建立地面站,直接接收美国陆地卫星遥感资料。伊朗、日本、加蓬和扎伊尔等国也已要求在本国建立接收站。

航宇遥感资料除用于军事侦察和天体探测外,还广泛用于农业、林业、地质、地理、海洋、水文、地震预报、环境监测等许多方面。下面,仅就航宇照片在地质工作中的应用情况作一些简单介绍。

*又称航天遥感方法、卫星遥感方法,目前主要是从人造卫星和宇宙飞船上拍摄照片和摄影影象,美、苏並已开始进行了一些航宇磁测,美国还由此新发现了规模很大的中非班吉磁异常。

一、航宇摄影测量与航空摄影测量的比较

航宇遥感方法虽然是从航空方法的基础上发展起来的，但它具备航空摄影测量无可比拟的某些突出特点。

1、视域更为广阔，可以得到全球性、大区域表面影像。一张ERTS标准航宇影像拍摄的地面面积达34,385平方公里（ 185×185 公里）这相当于1,000—10,000张航空照片所拍摄的地面面积。

2、能够从人造卫星或宇宙飞船上迅速地获得最新资料，能定期接收到不同条件（照明度、时间）下摄取的影像，亦可对同一地段进行重复观测，从而得以研究动态变化，而且航宇取得的资料，既可直接发回地面站，也可存储在供电子计算机处理用的磁带中。

3、时间短，收效快，经济上合算。据称，利用航宇照片编制一幅美国镶嵌图（比例尺1:100万），只需600张照片，三个月时间；而用传统航宇照片，约需176万张。另外一资料报道说，美国全境用航空摄影测量，需10年时间，150万张照片，费用1,200万美元；而用900公里高度的卫星摄影测量，只需17天，400张照片，花费75万元。据美国人计算，用航宇照片进行地质测量的费用为每平方公里0.18—2.9美元，而用航空照片为0.17—10.5美元。

在矿产普查勘探中，航宇照片和资料的利用亦可大大降低普查勘探费用，缩短普查勘探时间。美国一家石油公司在俄克拉何马州一个地区勘查石油时，利用了ERTS卫星航宇照片和资料，使用于地质和物探工作的费用估计减少25%，也就是节省的费用占油气勘查总费用10%，而且加速和简化了勘查工作，预计一年净争盈利1.25亿美元。

但是，航宇照片与航空照片相比，也有其缺陷，特别是比例尺小（标准用途的航宇影像比例尺主要有1:100万、1:50万和1:25万三种），可判读程度低。即使一个有相当水平的专业人员，也可能将非地质线性特征与地质线性特征混淆起来。因此，作了一种新手段的遥感方法，只能补充而不能代替航空地质测量和其它测量方法。

二、航宇照片在区域地质调查中的应用

从国外使用航宇照片进行地质填图的试验看来，它可加速区域地质调查速度，提高填图质量，对于地质研究程度不高的，或是开发程度较高的地区，都具有重要意义。

利用航宇照片，配合航空地质方法和一定的地面路线观测，可以编制1:100万和1:50万地质图。例如，伊朗利用两张美国“双子座”卫星照片，对其西部扎格罗斯山区进行了填图试验。地层划分质量不亚于最新出版的伊朗西南部1:100万地质图，特别清楚地判读出了一系列不大的基性岩体，以及过去地质图上没有反映的断裂构造。所查明的泥火山和盐丘构造数也大大超过原有地质图，如照片上判读出14个泥火山，而原地质图上只有三个。在阿富汗南部，航宇照片判读，不仅划出了过去1:50万地质测量所查明的地质构造区和构造带，而且圈出了以前在1:6万航空照片上没有看出的某些地质界线。美国根据

ERTS影象完成了一幅修正的阿拉斯加北部1:100万地质图。并利用放大到1:25万的航宇照片,直接对未进行地质填图的地区进行判读,也取得了较好结果。西澳大利亚的卡尔古利地区利用航宇照片进行的地质填图与该区1:25万地质图相比,发现前者对线性构造表现清楚,但地层划分精度较差。有些专业人员认为,由于卫星上广泛利用多波段扫描和摄影,获得的影象质量甚佳,有时可接近高空航空照片质量;而且航宇照片放大后(可放大到1:20万,甚至更大),一般不会降低影象质量,因此,利用这种高质量航宇照片,不仅可编小比例尺地质图,而且在条件有利的地区,也可用于1:20万地质填图。

在地质研究程度较高,例如已完成1:20万地质测量的地区,航宇照片可用来检查和修正原有地质图件,丰富图幅内容。航宇照片对于编制各种构造图(比例尺不大于1:100万)更有重要意义。如美国阿巴拉契亚山脉南部地区,进行地质工作已80多年,出版过各种大、中比例尺(由1:12.5万—1:2.4万)地质图,似乎重要构造不会被遗漏,但通过对航宇照片与红外摄影、侧视雷达影象的对比分析,又揭示了两个明显的区域断裂,并经野外检查证实。据称,这些断裂带的查明,对该区深部煤层开采和油气勘查很有帮助。

三、利用航宇照片研究区域构造

航宇照片判读,便于追索全球性和大区域性构造,有时可以确定断裂活动类型、断裂形成的时代和深度,还可发现地壳上一种特殊类型的断裂——环状断裂,如在非洲就查明了一系列环状构造,并划出了过去地质图上未表现的、推测的撒哈拉大沙漠上长达2,500公里的断裂带。美国利用航宇影象进行构造判读,揭示了一个很有意义的现象。他们通过对ERTS影象编制成的1:500万镶嵌图进行分析,发现三组区域性断裂——由佛罗里达州向西北延展的、由密执安湖向南延伸的和由美国东北部新英格兰地区向西南延伸的区域断裂,在密苏里州的新马德里城相交汇,这里正好是美国1811年发生强烈地震的位置,著名的密苏里铅锌矿区也正正好在这个断裂交汇处的附近。据美国人估计,用航宇照片研究区域构造的费用,只相当传统航空照片的1/500。

美苏两霸还利用人造卫星窥视我国领土,收集我国地质和资源情报。例如,1963年美国利用“水星”载人飞船偷拍了我国西藏高原北部的照片,从中可以清晰地看出高原冰盖、山谷冰川和冰水地形,以及藏北高原中生代盖层之下的北北东向基底断裂和穹窿构造,据此可做出该区地质地貌草图;苏联也利用1968—1972年的卫星传真照片,对北起天山,南至印度南端,东经70°—90°之间面积约600万平方公里地区进行构造区划研究,其中就包括我国西藏和新疆自治区西部广大地区。据称,在航宇照片上,可以明显地划出塔里木块和西藏地块的轮廓;在西藏地块西部,可清楚地看出北西向和北东向两组断裂,并有一系列区域断裂将西藏南部中生代复背斜与西藏高原分开。在西藏南部唐古拉攸穆湖和昂拉仁错湖一带,判读出了一些火山锥。还划出了喜马拉雅山区各种断裂,并且发现喜马拉雅山脉东、西南段很不相同(东段新构造运动强烈);喀喇昆仑山脉东段与喜马拉雅山脉的构造相同,而西段则与兴都库什山脉的构造相同。

四、利用航宇照片进行成矿分析，指出矿产普查方向

在这方面，主要是通过照片判读，查明与成矿有密切关系的区域构造（控矿构造），编制或修改成矿预测图，提出成矿远景区。如在美国阿拉斯加的普鲁德霍湾已知油田地区航宇照片判读，发现所查明的影象异常与油田的关系极为密切，在79个不同的影象异常中，59个相当于已知的含油的局部构造，11个相当于不含油的构造，其余6个则是新发现的局部构造，显然，这6个异常是应该优先进行地面调查的对象。近年从分析航宇照片入手，结合物探资料，在阿拉斯加又找到了一个新的可以进行石油勘查的地区。

航宇照片判读对指导金属矿床的普查也有明显效果。以美国阿拉斯加的育空—塔纳纳高地一带的有色金属矿床普查为例，利用“雨云”气象卫星和ERTS卫星影象分析，提出了一个与传统成矿理论（认为矿床沿德纳利断层以南的弧形带分布）不同的新的成矿假说，即该区的矿化在空间上可能与北东向和北西向（以前未曾认识的）区域断裂体系，尤其是两组断裂交汇处有关。1970—1971年普查工作结果，确实在德纳利断层东北的两个北东向断裂之间的地带发现了几个斑岩铜矿床，其中两个矿床已投入钻探，这就证明了由航宇照片判读所提出的新成矿预测的正确性。

还应指出，航宇照片镶嵌图和判读图在区域矿产资源评价中已正式使用，有的已成为一整套图件的一部分。如在美国阿拉斯加州中南部纳比斯纳幅的区域调查工作就是这样的。在所完成的一套图件中，除1:25万基础地质图、各种元素的地球化学异常图、航磁等值线图、重力异常图外，还包括ERTS—1卫星影象判读图。最后，根据地质、地球物理和航宇影象资料，编出了该区矿产资源远景图（成矿预测图），并根据各种标志，如岩石类型、侵入体、地表蚀变、航宇照片上的颜色异常、地球化学异常和物理场、断裂和其它构造，以及已有矿床等，圈出了25个有远景的地区，估计了铜、钼、金、银等矿藏资源量。

五、航宇照片用于间接找矿

虽然利用航宇照片不能直接指明地下埋藏的矿床，但随着航宇遥感方法中多波段影象的利用，以及利用电子计算机处理，增强航宇影象，从而可以识别岩石热液蚀变类型等标志，对比已知矿床和航宇影象上的特征，应用一些间接标志来找寻新的矿床。

苏联利用航宇影象研究，发现了三个含金刚石的金伯利岩筒。美国利用卫星多波段影象分析，在新泽西州大西洋城老铁矿区，通过对比一系列已知的铁矿床的影象特征，查明了一些新的铁矿远景地段。在巴基斯坦，美国地质调查所利用ERTS—多波段扫描影象，进行电子计算机处理，在已知的沙音达克斑岩铜矿区内，又新指出了27个可能的铜矿远景地段。以后经过地质资料分析，将这一数目缩减到19个；在野外路线检查以后，发现有5个远景地段值得进一步详细勘查。从国外试验结果来看，航宇照片指导金属矿床普查的效果，在干旱地区比在一般地区更为显著。

六、航宇照片在水文地质调查中的应用

利用航宇影象和传真照片,可以获得大区域内有关水文地质方面的资料,借以研究地下水及其区域分布、补给、径流和排泄条件、地下水和地表水的关系,区域构造和含水层、隔水层的关系等问题。

在蒙古中西部干旱半干旱地区,利用“流星—18”卫星1974年拍摄的1:1,000万黑白照片,配合地面水文地质调查和航空测量资料,进行了水文地质填图;美国在蒙大拿、新墨西哥、怀俄明和犹他州的干旱半干旱地区,利用高空飞机照片(1:12万)和ERTS卫星影象,编制了水文地质图件。据称,美国曾利用ERTS—1卫星上的红外装置探测陆地与河床的地形信息,找出了红外影象的色调与不同水文地质条件之间的规律,因而确定了地下水赋存的位置。在伊朗西南部尼里兹湖一带,利用ERTS—1卫星1972年9月初至1973年8月底所获得的彩色红外合成图象,配合少量地面调查工作,找到了一种掌握水源季节性变化的新方法,从而提出在山区修建水库来改善水源的措施。

总之,航宇照片在区域地质调查、区域构造分析、成矿规律研究、间接找矿、以及水文地质、工程地质、环境地质(包括地震地质在内)等各方面的应用效果是比较明显的。但是,这种方法仍处于继续试验阶段和实际利用的初期阶段,对其作用,既不能估计过低,也不能估计过高。目前比较成熟的航宇遥感方法主要是航宇照片和影象的判读。其它某些领域,如航空测量中广泛使用的各种物探技术(磁、重、电、放射性法等)很多尚在探索和试验之中,而且,对于地质调查和矿产普查等方面的应用说来,航宇照片还必须与航空、地面调查的各种方法有机地结合起来,才能发挥其应有的作用。

电磁波地质学——遥感影象在地质上的应用

馬 霭 乃*

一、前 言

正如地质力学是建立在力学理论基础上的地质学一样,电磁波地质学是建立在电磁波理论基础上的地质学。

自一九七五年以来这门课程题目变动颇大,最初叫《遥感遥测简介》,后来相继改为《遥感遥测的物理基础》、《遥感遥测的地质信息》、《影象地质》、现在叫《电磁波地质学》,叫《电磁波地质学》的时间才五个月。从课程名称的变动上,就可以看出将要介绍的内容极不成熟,而我们接触这些新技术和基础理论也是新课题,无论在实践上和理论上都极为幼稚。尤其是要解决遥感影象在地质上的应用,从而建立起一个新的基础学科《电磁波地质学》,还有许多困难。但是从短短的不到两年的时间里,也看到了这个新兴科学的发展,正因为它是新兴事物,具有强大的生命力。尽管有不成熟的一面,但也有发展速度快的一面。下面把自己近两年来的学习体会介绍给大家,讲得不清楚、不确切、有错误的地方请同志们批评指正!

(一) 常用术语解释

1、航空地质 (Aerogeology)

凡是用飞机搞地质的,都属于航空地质,主要有:

(1) 航空物探: 机载物探仪器、测量地质体的伽马、磁、重、电……。

(2) 航空化探: 用飞机在天空收集气样和粒子进行化验,主要项目有 SO_2 、 I_2 、 Hg 、蒸气等。用 Hg 蒸气可以探测 Cu 、 Co 、 Pb 、 Zn ……矿床。

(3) 航空目测: 地质人员坐飞机,在天上用肉眼观察地质进行地质工作。

(4) 航片解译: 对飞机拍摄的照片进行地质解译,其片子有黑白片、彩色片、红外片、假彩色片、远红外片、雷达片、多波段片……等。

总之航空地质是机载的,但现在空间技术除航空外,还有航天、航宇。因此,名词已过时或不确切。

*本文系北京大学马霭乃同志于1977年5月在江西省地质局举办的航空地质学习班上讲课材料记录稿,整理后经本人审阅过。

2、相片地质 (Photogeology)

主要指可见光波段的航片解译,是狭义的航空地质。四十年代就用,五十年代发展。名词是国外的,意即用光的照片地质。

3、遥感影像 (Remote Sensing Image)

(1) 影像: 所获照片不是光学照像, 因此, 不叫照像, 而叫影像。

(2) 遥感: 遥远的感知, 可分为两种:

① 被动遥感——通过遥感器(如人的眼睛、照像机、辐射仪等等)接受地质体(或其它物体)发射的信号,而不须接触那个物体、就可了解目的物,称为被动遥感。

② 主动遥感——通过仪器发射信号(如雷达或激光雷达波束和声纳等)并接受其后反射信号而了解目的物。主动遥感又称遥测。

被动遥感在军事上更为重要,保密性强,不易发觉,而主动遥感就不行,如苏联在北欧发射微波束被测知。

(3) 遥感过程(被动)



接收器如透镜、反射镜、天线等; 探测器如用光化(底片)、光敏、光思(半导体)等作用; 输出光信号和非光信号, 如象片和影像的图表、磁带、光谱等。

例一、照像机遥感过程:

地质体→镜头→底片影像→冲洗→象片

例: 电视摄影机遥感过程

地质体→镜头光象→电子象→电子束扫描→输出电信号、电视显象管、电信号→电子枪扫描→萤光屏成象

(4) 被动遥感技术包括三方面:

① 传感器 (Sensor) 是搞物理的人从事研究制作的。

② 地面实况地质测量、地质体反射亮度、发射特征、吸收、偏振等。

③ 影像和非影像解译方法: 用眼睛、仪器、电子计算机等。

(5) 主动遥感技术

① 脉冲系统

② 相位系统

4、影像地质

是把航空、航天、航宇以及地面对地面遥感得到的信息变为地质象片便于地质解译。地质人员长喜欢数字和曲线, 将其用仪器和电脑计算成图, 便于目视解译。

5、电磁波地质学

进行地质解译的遥感影像是现象，其本质是地质体辐射（包括发射、反射、吸收、透射等）电子波，靠的是建立在电磁波基础上的遥感技术。因此，命名为电磁波地质学是符合其本质的。

6、信息 (Message)

信号与消息最初是通讯系统用的名词。我们要的是地质信息，它是可以确定地质体的几何或物理量。衡量信息多少的数量称信息量。

影像上的信息可分为两种：一是几何信息、如点、线、面、体……。另外是物理信息，如色调、色彩、 $T^{\circ}C$ 、……。

7、地质信息

分为直接地质信息和间接地质信息。又称直接解译标志和间接解译标志。前者是通过几何或物理信息能直接得出地质信息，如影像的几何和物理信息。后者如通过地貌、流水、植物、土壤等解译地质现象。

8、地质信息获取方框图

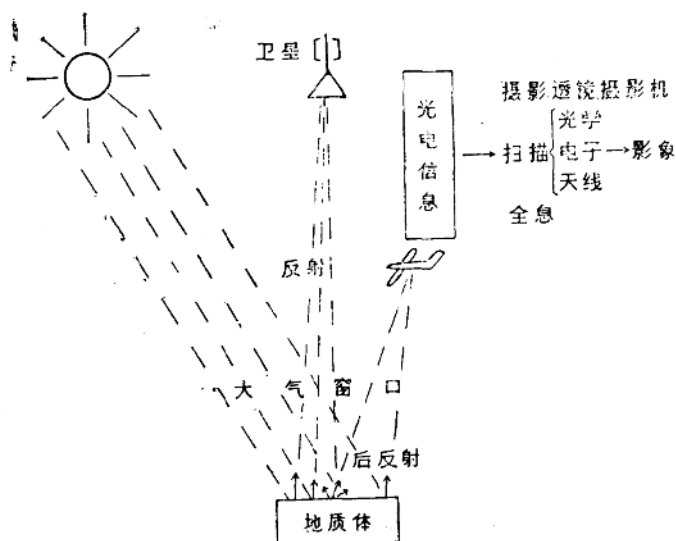


图 1-1 地质信息获取示意图

(二) 国内外动态——遥感影像在地质上的应用概况

(从略)*

*可参阅本期刊物上“航空遥感方法在地质工作中的应用”一文

二、电磁波地质学的原理

遥感技术的物理基础，主要是由电磁波理论，在遥感影象上进行地质现象的解译，主要是根据地质体的电磁波特性。

(一) 电磁波的波粒二象性

光是一种电磁波，电磁波的本质是它的波动性和微粒性的对立统一体。人的认识是有过程的，最初牛顿把光看成弹性粒子（弹性微粒），根据反射和折射现象而看成粒流，但衍射和绕射解决不了。惠更斯把光看成机械波，解决了衍射和绕射现象。后来梦克斯威尔提出光不是实物，而是场——电磁场，开始叫电磁波，解决了好多现象，以后出现光电现象解决不了，最后爱因斯坦在量子力学中，据光电效应提出光子。问题得到了解决。现在认为光是电磁辐射，其本质是波粒的二重性，即光是波动性和微粒性的对立统一体。连续的波动性和不连续的波粒性是相互排斥和相互对立的，但二者不是相互联系并在一定的条件下相互转化的。可以说波是粒子流的统计平均，粒子是波的量子化。

1、波动性——电磁波

什么叫波？波是振动在空间的传播，现在已知的波有机械波、电磁波和概率波；在地壳中传播的地震波，在海洋中传播的水波，在空气中传播的声波，都是振源发出的振动在弹性媒质中的传播，叫做机械波。在机械波里，振动着的是弹性媒质中的质点位移矢量。而交流电波、无线电波、热辐射波、光波等都是振源发出的电磁振动（或振荡）在空间的传播，叫做电磁波。在电磁场里，振动着的是空间里的电磁场矢量 E 和 H ， E 是电场强度， H 是磁场强度，其实质是电子跃迁（光子）或原子核的振动和转动（近红外、远红外）或原子与分子的谐振动（热辐射）……。

由于振动的情况不同，产生的波也不同。最基本的波动形式有两种：横波和纵波。横波是振动方向和传播方向相垂直的波，如水波、电磁波等（如图2—1）。纵波是振动方向与

传播方向相同的波，如声波，它好像用手迅速而有节奏的推动弹簧的一端，可以看到弹簧上有的部分密集，有的部份稀疏，疏密相同，沿着弹簧向前传播一样（如图2—2）。

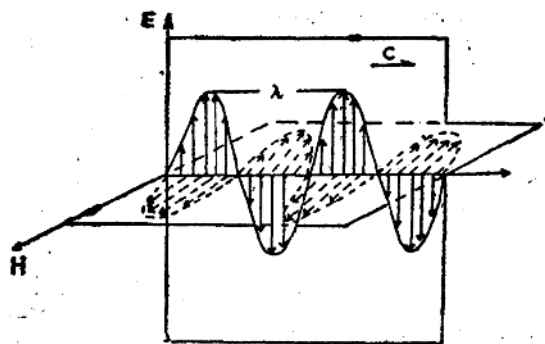


图2—1 电磁波——横波

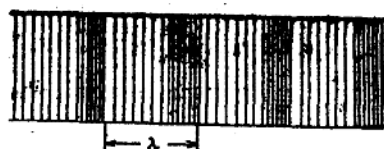


图2—2 声波——纵波

振动在单位时间内传播的距离叫波速。电磁波在真空中传播的速度是 $C = 2.998 \times 10^{10}$ 厘米/秒 $= 3 \times 10^{10}$ 厘米/秒。

波的基本特点是它的时空周期性。时间周期性用 T 或频率 ν ($\nu = \frac{1}{T}$) 来描述, 当时间增加 T 的整数倍时, 振动重复原来的状态。空间的周期性用波长 λ 或波数 N ($N = \frac{1}{\lambda}$) 来描述, 当距离增加 λ 的整数倍时, 振动出现同样的状态。根据波速的定义, 在时间 T 内 振动传播一个波长 λ , 即 $C = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu$ (如图 2-3)

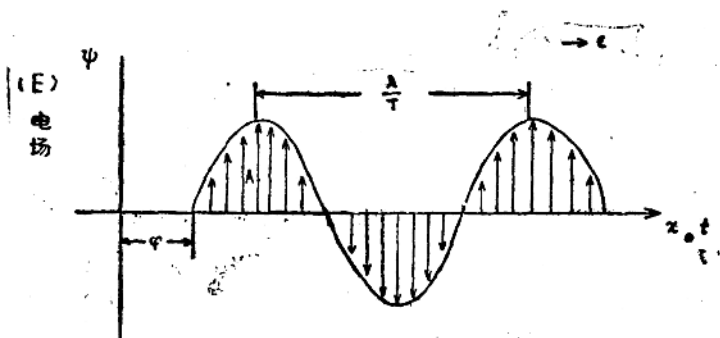


图 2-3

波动的时空性, 可以由波动方程的波函数来表示, 波函数为:

$$\Psi = A \cdot \sin[(\omega t - kx) + \Psi]$$

A - 振幅 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ (圆频率)

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ (圆波数) Ψ 初位相

$[(\omega t - kx) + \Psi]$ 初位相、 t 、 x 为时空变量。

电磁波的时空周期性可用正弦函数来描述。波函数由振幅和位相两部分组成。一般成像只记录振幅(A), 全息成像, 振幅和位相均记录。

2、微粒性—光子

太阳发光, 地球不发光, 但有热辐射, 两者是有共同性的, 皆为电磁辐射。

光能不是连续分布在空间的, 而是一份一份的, 最小单位即是量子化的叫光子。

(1)、原子能级和发光

原子结构由原子核和电子所组成。核体积小, 电子绕核转动, 远不是像地球绕太阳转动那样, 这种概念是错误的, 实际复杂的多。电子轨道是空间球面的所谓电子云, 电子可在不同的壳层上运动, 电子成层分布不会自动从一层跳到另一层上去, 因所具能量是一定

的,靠近核部的内电子层能极低,而外层能极高。图2—4为氢原子的能级图。

原子的能级一般可用一个量子数 n 征。原子得到外界能量后,由低能级向高能级跃进,从一层跳到另一层上去,但很快就会回来,放出能量一光2,叫原子的发光,发光的能量为:

$$E_2 - E_1 = h\nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

式中 $h = 6.6 \times 10^{-27}$ 尔格·秒,称普朗克常数。

ν 是辐射光子的频率

因此可见,能级差越大,跳出的波长(λ)越短,频率(ν)越高则能量越大。

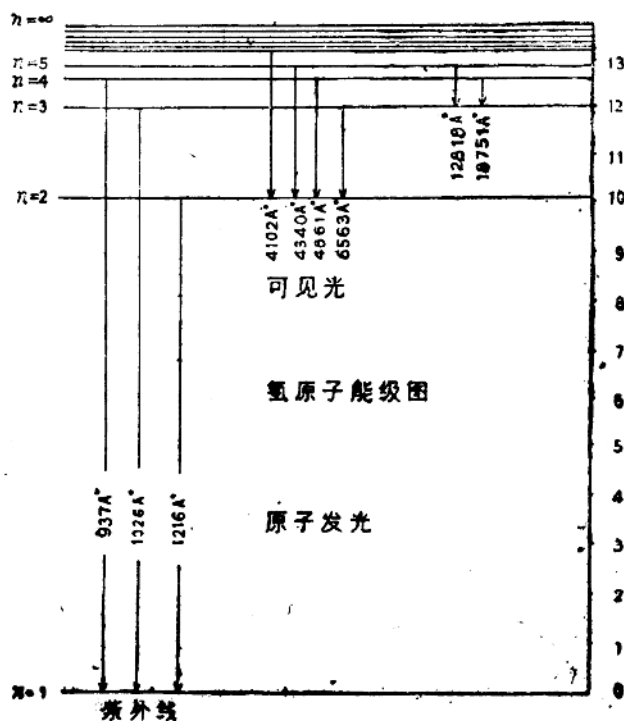


图2—4

2、分子能级和发光

由于分子内部的运动方式有三种,即电子相对于原核的运动,原子核的振动和原子核的转动。如图2—5;AB是电子能级,能量最大,其间 $\nu'/\nu'' = 1, 2, 3, 4$,为振动能级,能量中等, ν 间 $J', J'' = 0 \dots 5 \dots 10$,为转动能级,能量最小。分子能量等于电子能量加振动能量加转动能量,即 $E_e + E_v + E_j$ 。所以

$$\lambda = hc / (E_2 - E_1) = hc [(E_e' - E_e'') + (E_v' - E_v'') + (E_j' - E_j'')]$$

一般说电子能级的能量差 1—20 eV

振动能级能量差 0.05—1 eV

转动能级能量差 $< 0.05 - 10^{-4}$ eV

例:电子能量的能量差 $E_e' - E_e'' = 5$ eV $\lambda = 2500 \text{ Å}$

振动能级能量差 $E_v' - E_v'' = 0.1$ eV $\lambda = 50 \text{ Å}$

转动能级能量差 $E_j' - E_j'' = 0.005$ eV $\lambda = 2.5 \text{ Å}$

因此分子光谱要复杂的多,除线状光谱外,还有振动光谱和转动光谱迭加成带,所以分子光谱是带状光谱。

如果用红外线照射分子,只能引起原子核转动和振动能级的光谱。地质体只有转动和振动能级的跳动,所以可发射特征红外线。

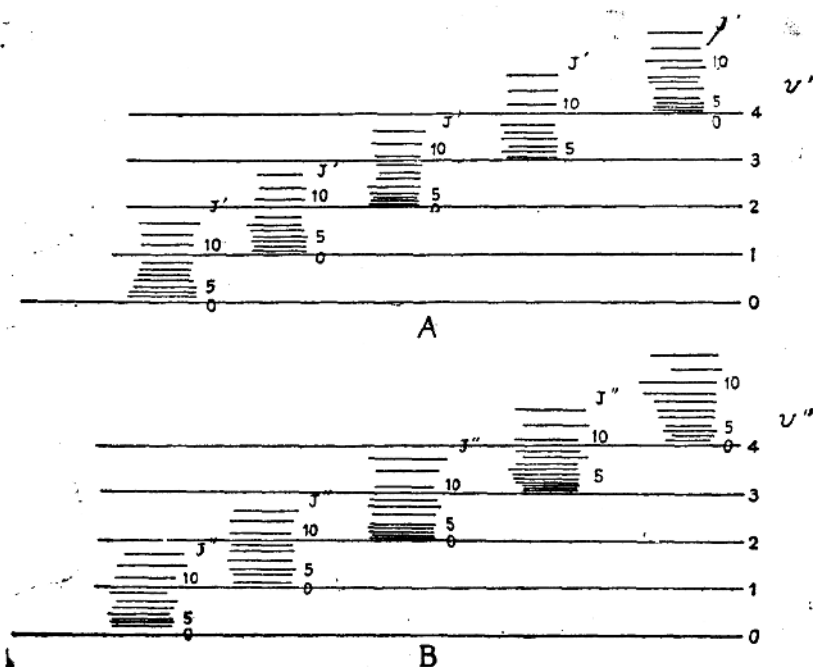


图2-5

分子光谱 { 电子光谱: 紫外线、紫外可见光。 E_e 、 E_v 、 E_j 都改变、
电子越迁。
振动光谱: 近红外、 E_v 、 E_j 改变, $\lambda = 1-25 \mu$
转动 { 远红外: E_j 改变 $\lambda = 25-250 \mu$
光谱 { 微波: E_j 改变 $\lambda = 350 \mu \sim$ 数厘米

例如 CO_2 : $\lambda = 6.8 \sim 7.14 \mu$ $11.4 \sim 12.3 \mu$

SO_2 : $\lambda = 6.54 \sim 6.90 \mu$

NO_2 : $\lambda = 7.09 \sim 7.46 \mu$ $11.6 \sim 12.5 \mu$

PO_2 : $\lambda = 9.09 \sim 10 \mu$

3、波粒二象性的关系

光子有能量 E , 又有动量 P , 而且还是波动的, 因此可通过普朗克常数 h 与 λ 、 ν 联系起来。

$$\text{能量 } E = h\nu \quad \text{动量 } P = \frac{h}{\lambda}$$

E 、 P 是不连续的粒子, λ 、 ν 是连续的波动性, 二者是矛盾的对立统一体。

将动量和能量与波函数方程式联系起来。

$$\Psi = A \cdot \sin[(\omega t - \kappa x) + \Psi]$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi \nu \quad \kappa = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\therefore \Psi = A \cdot \sin[2\pi(\nu t - \frac{x}{\lambda}) + \Psi]$$

$$= A \cdot \sin[\frac{2\pi}{h}(Et - Px) + \Psi]$$

说明一束沿X轴方向运动的能量为E，动量为P的光子流，有电场和磁场的起伏变化。

从波动性来看，光的强度I与波函数 $|\Psi|^2$ 成正比。

$$I \propto |\Psi|^2$$

从粒子性来看，光的强度I决定于光子密度 ρ （单位体积内光子数），若比例常数为1，则

$$\rho = |\Psi|^2 \quad (\rho = \frac{dN}{dV})$$

结论：矛盾的主要方面在不同条件下可以互相转化。

1、光在发射过程中（原子光强、分子光强）微粒性为主；光在空间传播过程中（干涉、衍射，偏振等）波动性为主；当光波实物吸收（光电效应，吸收光谱）或与实物作用（康普顿效应）时，微粒性为主，这是因为实物的粒子性显著。

2、电磁波有长有短，也影响波粒二象性的转化。波长较长的，能量较小的可见光，红外线，微波波动性显著；波长较短的X线， γ 射线微粒性显著，例如E=500万ev的 γ 光子， $\lambda = 0.002\text{\AA}$ ，质量为电子静质量的10倍，这样的 γ 光子的微粒不亚于电子。

（二）电磁波谱

电磁波谱 λ 有长有短，长到数千米的工业用电，短到 10^{-14}CM 的宇宙射线。按波长大小依次排列就成了电磁波谱（图2—6），它是一个由量变到质变的几个突然过程，形成几个物理场：

宇宙线场

γ 射线线场—核裂变

X射线—电子激发

光场——电子能级跃迁

热场——原子振动、转动、能级跃迁

原子转动能级跃迁

分子原子谐振动

电场——电磁振荡

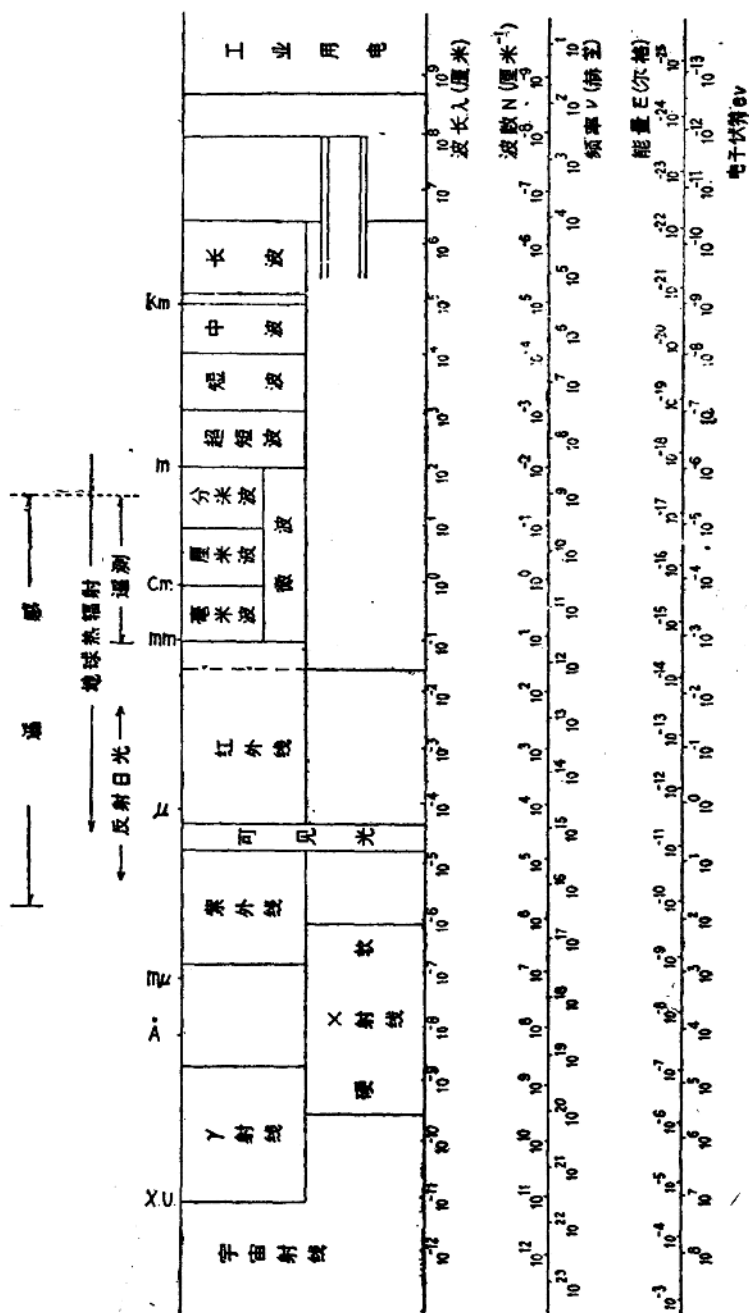


图 2—6 电磁波谱与遥感遥测波段