

国外地质资料选编 (二十三)

国外地下水研究

GUOWAI DIXIA SHUI YANJIU

地质科学研究院情报所

一九七六年二月

一九七六年七月廿八日

PBG

毛 主 席 语 录

路线是个纲，纲举目张。

凡属我们今天用得着的东西，都应该吸收。但是一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。

前 言

为了配合农业学大寨，加速我国水文地质事业的发展，我们遵照伟大领袖毛主席“洋为中用”的教导，根据七十年代国外地下水的一些研究情况，选择了部分有代表性的文献编译成册，供从事水文地质、环境地质、工程地质、给水排水、水利工程以及地理工作的同志们参考。

本专辑内容共分四个部分：（一）水文地质调查方法，主要是遥感方法在地下水调查中的一些应用以及冰川沉积含水层的概述；（二）地下水计算和数值模型，介绍近代越流理论，集中开采区的水文地质计算方法，以及集中参数系统和分布参数系统的一些模型研究（包括在地下水盆地管理和地下水污染方面的应用）；（三）地下水水文地球化学，主要介绍地下水的化学性质在天然和人为条件下的某些变化规律；（四）地下水污染研究，着重介绍污染水文地质学基本原理，污水排放对地下水质的影响，以及农业、煤矿和盐水侵入对地下水污染等方面的内容。

在编译过程中，得到了国家地质总局水文地质局的大力支持和北京市地质局水文地质一大队、武汉地质学院水文地质工程地质教研室等单位有关同志的协助，在此一併致谢。

由于时间仓促，水平有限，缺点和错误在所难免，希望读者批评指正。

地质科学研究所 一九七六年二月

目 录

水文地质调查方法

1. 地球资源技术卫星图象用于地下水调查	1
2. 利用航空红外线测量查明过湿地段和地下水露头	12
3. 在露头很差的地区进行水文地质测量时泉的研究方法	17
4. 埋藏冰川沉积含水层的圈定	23
5. 冰川沉积含水层概述 (综述评)	39
6. 利用地电阻率法圈定地下水污染带	50
7. 水文地质学在解决农业水管理问题中的作用	57

地下水计算和数值模型

8. 越流多层含水层水力性质的野外确定方法	71
9. 越流理论的进展 (综述评)	86
10. 根据取水工程开采动态观测资料确定含水层水文地质参数	101
11. 利用线性规划评价一组相互影响的取水工程地下水开采储量	132
12. 数字计算机模型与地下水盆地管理	146
13. 根据联合一维理查兹和布辛涅斯克方程建立的数值模型	155
14. 地下水水质模型	168
15. 纽约长岛地下水污染的迎辽金有限单元模拟	179

地下水水文地球化学

16. 巴基斯坦旁遮普地区地下水水文地球化学相的成因	192
17. 一个都市地区碳酸盐地下水的水文地球化学	201
18. 高透水含水层中淋滤范围	214

地下水污染研究

19. 污染水文地质学	221
20. 防止取水工程地段的地下水污染	231
21. 圣华金河谷南部区域性污水排放和地下水水质	238
22. 浅含水层污染中的天然控制	246
23. 地下水人为的污染危害	252
24. 农业对地下水的污染	259
25. 煤矿开采及其对水质的影响	267
26. 盐水侵入对地下水的污染	288

地球资源技术卫星图象

用于地下水调查

前 言

美国国家航空和宇宙航行局(NASA)在1972年7月发射了地球资源技术卫星(ERTS),在其运转的第一年内,通过多光谱扫描仪(MSS)在美国境内摄取15000多个景象。美国境内另外585个景象是用反束光导管摄像机(RBV)摄取的。但是,反束光导管摄像机在1972年8月6日因故障而关闭,此后仅收到多光谱扫描仪摄取的图象。

如无云层遮盖,那么每隔18天就可对美国全境的每一个地点拍摄一次或者一年拍摄20次。云彩和雾霾减少了这一理论上的摄象次数,然而无云的图象对全国来说还是可以取得的。

多光谱扫描仪可以摄取从地面反射回来的可见光和近红外光(不是地面发出的热辐射)在四个不同光谱段或波长上的图象。从每个光谱段上产生黑白图象。因此,四种黑白图象可用在任意轨道上的每个目标。这些光谱段被编成号并表示为:4—绿光(0.5—0.6微米),5—红光(0.6—0.7微米),6—近红外光(0.7—0.8微米)以及7—近红外光(0.8—1.1微米)。光谱段4、5和6或者4、5和7合成而产生一种与彩色红外光照片相当的图象。大部分景象没能表现彩色合成,但是到1974年7月,有关美国大陆部分已制成约500张彩色图象。

ERTS轨道略有偏移(径向偏离);因此,虽然“所有图象的中心处在原起点以东或以西13公里内(S. P. 弗雷登,1973)”,但不同轨道上相同景象的画面并不完全一致。

图象的分辨力取决于目标与其周围的反差。在林区,可以见到一些双线道路,而在开阔区却难于描出一些州间公路来。总的来说,面积超过1—2公顷的池塘和宽度超过30米的河流是容易看出的。一些州间公路以及林区输电线和管线的断开也同样看得出来。人口在10000以上的城镇,在图象上几乎总能产生一些明显不同的图案或色调。但是市区的准确界线却难于确定,那些较小的城镇也不好圈定。一些大于100米的单个目标总还是可以看出来。

以前,从“双子座”和阿波罗载人飞船发回的空间照片仅包括美国最南部地区,约达北纬34°。因此,ERTS摄取的图象使得首次有机会把分辨力较高的卫星资料提供全国性的地球资源研究。为此目的,许多学科的研究人员正在使用这种图象。这种图象直接应用并取得成功的两种用途是土地利用分类和地质构造的填图。

土地利用和地质条件都影响着地下水的利用和分布。一些褶皱、断层以及岩石中的节理对地下水的影响一般很好理解,但是,土地利用的水文学影响还有点不清楚。可是,含水层的补给和排泄水量通常为降雨量的10—20%。土地利用明显地减少降雨的入渗并增加地面径流或者改变蒸发蒸腾的速率,因此,必然影响含水层的水文学。

ERTS图象既是基础资料也是一种工具。说它是基础资料,是因为它是水文信息的

来源。如同其它基础资料一样,可以考虑用作地下水调查。说它是一种工具,是因为它能用来圈出一些含水层的轮廓并确定其开发的范围。如同水文人员的其它工具一样,ERTS 图象单独不能提供地下水问题的全部答案。

ERTS 图象的潜在意义可以减少所需要的野外工作量,而野外工作在地下水研究中是花费最大的阶段。本文讨论了 ERTS 图象在地下水水文学领域内的提出和可能的用途,以及在不同类型的地下水研究中 ERTS 图象用来减少野外工作量的一些途径。

应 用

卫星图象具有两种固有的特性,它的优点要比航空照片多一些。这些特性是:(1)比较低的分辨力(与航空照片相比);(2)宏大的视域(大面积的取景)。

宏大视域的一个优越性是可以发现和鉴别在地面、在图上或在低空照片上难以或不能看到的一些区域地形及地质构造。同样,很少可以见到判读者发生错觉的、人工耕作方面的细节(因为分辨力低);低分辨力有助于判读者鉴别和圈出区域的标志。这种小比例尺的卫星图象及其宏大的视域,对圈出大范围的水文标志可能比地面工作或航空照片来得要快。本人经验和文献中的许多成果表明,ERTS 图象上的目标一般可用比航空照片少一半的时间描绘出来。

宏大视域的另一个优越性是,地面上逐渐变化的界线在卫星图象上通常显得鲜明。因此,J. G. 巴恩斯等人(1973)得出结论:“虽然雪线的一些微小细节在 ERTS 资料上看不出,但可通过较高分辨力的航空资料画出来,一些非常大的雪盖区的界线可以根据 ERTS 资料画出来,其精度和航空照片一样。根据 ERTS 资料画出的山区积雪,比航空雪盖图件更详细”。

这里讨论 ERTS 图象在地下水中应用的有益实例。但就某些应用来说,ERTS 图象可能不会成功或者比其它方法成本要高。例如当(1)感兴趣的一些目标小于 100 米;(2)水文条件在若干分钟、几小时或数天内发生重大变化;(3)有些目标在图象上没有特殊的色调、图案或结构;(4)需要有精确的位置和十分详细的圈定。

ERTS 图象的这种有益用途要求用在一些区域性的水文问题方面,例如包括一个县、一个大型的泄水盆地或者一个含水层。在给出这类问题以后,对图象可用照片判读技术得出有关这些含水层的类型、界限以及开发等方面的试验性结论。判读的范围包括地形、露头型式、地质构造、土地利用(包括植被的类型、密度和生长状态)、排泄型式以及土壤类型和厚度。判读 ERTS 图象的唯一先决条件是要有地下水水文学方面的基本知识和了解。当然,以前判读小比例尺航空照片的一些经验以及有关该地区的一些了解也是有益的。

地下水形成的初步调查

不列颠哥伦比亚省温哥华地区的 ERTS 图象是一个很好的例子(图 1,略),它表明从卫星高程上摄取的广阔的区域性视域是如何用来初步确定地下水的形成。欲达本文之目的,假定很少或者不存在该地区有关地下水的信息。这一地区大部分地方的陡峭地形(如温哥华岛上的地形阴影、夏季月份的积雪山区以及很小的一些耕地的不规则形状)表

明，很象下伏有固结岩石的一种地面。在弗雷塞河和斯卡吉特河的现代和古洪积平原的下面几乎肯定有冲积的砂砾石。此外，图象北端附近的一些指状湖泊表明存在一些山谷冰川的侧碛和尾碛，并可能还存在一些蛇形丘和谷碛。这些山地的陡峭斜坡和在这些山脚边一些清楚的田地形状（特别在弗雷塞河的北面）表明，在某些地区可能存在一些小型的冲积扇。在图象上不可能直接看到含水层（固结岩石，冲积层，冰碛层，蛇形丘和冲积扇），因为被植物所遮蔽。然而，可从根据看出来的地形和土地利用的型式推断它们的存在。

固结岩石区的水井出水量和许多因素有关，其中包括岩石类型和地质构造。但总的说来，水井的最大出水量是在一些河谷中取得的，而最低出水量则是在一些陡峭的斜坡及山脊上。在弗雷塞河和斯卡吉特河的洪积平原下面，深度不到30米处砂砾石沉积层中可以取得大量的地下水。冰积物分选差，但在许多地区它仍是少量到中等数量的地下水水源。如果存在一些蛇形丘和冲积扇并包含有分选良好的沉积物，那么就可能是中等到大量地下水的潜在水源。

在这个地区，为了(1)证实一些冰碛层、蛇形丘及冲积扇的存在；(2)并确定它们的规模、岩性以及含水的潜力；(3)选定试验的井位，需要有低空照片和一些地面调查。然而，通过对ERTS图象的几分钟判读，就揭示出在这个地区想找到的一些含水层类型。这样加快了低空照片的判读并不需要做大量的野外工作。

冲积含水层的圈定

许多大河的冲积河谷都具有平缓的坡度以及深厚的肥沃土壤（与邻近的一些高地相比）。土壤内部的排水是良好的甚至极为通畅，或者利用排水管和排水沟改变成为这种条件。这些地区是富饶的农业区，一般都是精耕细作的农田，并且没有遭到经常的长时间的洪水泛滥。耕地与一些森林或其它自然植物之间的界线，一般和冲积河谷及下伏砂砾石含水层的外缘接近。

在ERTS图象上，耕地和非耕地之间的界线几乎总是鲜明的，因此冲积含水层的近似边界线容易圈定出来。例如（图1，略），弗雷塞河的现代冲积河谷和现代河谷以南的古代河谷可以根据一些耕地的范围描出来。这些河谷之间的一些小面积森林区的坡度比较陡，并可能下伏有固结的岩石。

需要用一些地球物理调查和钻孔试验来确定弗雷塞河地区冲积含水层的厚度、岩性和含水潜力；同样也需要用一些航空照片及立体视象来找出其它一些小规模岛状分布的固结岩石。在这种ERTS图象上，冲积河谷的外缘边界线可能比航空照片上显示的要更鲜明。所以，这一些界线可在ERTS图象上迅速圈定出来，其精度几乎和航空照片或野外工作所取得的一样好。

未来河道流量和含水层抽水量的估计

在美国西部一些干旱的州里，大部分河道流量来自夏季月份里山区的融雪水。在这些地区需要预报未来的河道流量。以便有效地管理和保持地下和地表的水资源。多年来，例如当河道流量低于平均流量的时候，必须抽取比较多的地下水来进行灌溉。同样，在

过量抽水的地区，河流成为冲积含水层的补给来源。一些河道流量的预报模型是以冬季积雪的体积量，与其相当的水量以及春冬融雪速度的测定为基础。

目前，通过定期的航空调查来确定积雪的范围，并估算出积雪的厚度；积雪厚度及其相当的水量也可在地面测定。这两种方法花费大而且耗用时间长。ERTS 图象的分析（特别是经过自动计算机的处理）对取得河道流量预报所需的一些资料来说是潜在的一种非常廉价的方法。

所有雪盖区可以用重复的 ERTS 图象绘成图。如前所述，初步的结果表明，这样制的图其精度是相当好的。因此，有充分的理由相信，根据 ERTS 图象测定雪盖区的面积有助于水资源的管理。

灌 溉 用 水

在整个美国境内，大量的地下水用于灌溉。在西部一些干旱的州里，保存了抽水量和分配水量的十分精确的记录；同时也密切监测抽水结果对地下水位的影响。在这种地区，为了进行管理，当前有一要求是预报未来的用水量。例如，目前加利福尼亚州水资源处通过对农场主调查缩减和扩大种植的英亩数而定期收集资料。这些资料可以用来估算未来用水的需求量。

另一方面，在东部一些潮湿的州里，农场主个人手里灌溉记录保存得很少。这种地区的要求是更好地估计和地下水位趋势有关的灌溉抽水量，特别是有关用水的短期变动，从一个月份到其它月份，从一个生长季节到下一个生长季节，可利用的资料非常少。

在东部各州，越来越需要比较完整的灌溉用水资料。例如，近几年密西西比州水稻种植面积平均为 140 平方公里，1973 年尚未超过 200 平方公里。但 1974 年计划种植面积为 280—400 平方公里。几乎全部稻田的灌溉都利用地下水，在 120 天的作物生长季节里，平均用水量为 1.2 米。这意味着，在 1974 年，仅仅用于稻田的地下水抽水量就从平均 170 hm^3 （百米³）增加到 350—490 hm^3 。在密西西比州，几乎全部水稻种植都集中在 5 个县里，可以预料在这一地区会对地下水发生重大的影响。

如果水稻一类的特殊作物可以在 ERTS 图象上鉴别出来，那么便可测出种植区的面积，并估算出灌溉用的水量。在东部各州，这些资料可以用来估算灌溉抽水量的一些变化。在西部各州，这些资料可以用来预报需水量（这里对有疑问的资料提供一次挑选或补充机会）。

一张加利福尼亚州蒙特雷湾的 ERTS 图象（图 2，略）表明，森林、草地和耕地可以鉴别出来，并且容易圈定出它们的轮廓。同样，完全可以用几次重复的 ERTS 图象将果园、葡萄园、改良牧场和条播作物分离开。这一点可通过对比几个月到一年的时间里田野间色调的相对差异来实现。W. C. 德雷格和 A. S. 本森(1972)的一项研究表明，可以获得小到 8 公顷的各种作物地区可靠色调的信息特征。

大量的研究是在航行中确定诸如苜蓿、水稻、大豆和玉米一类的特殊作物。有两个办法相当成功。一个是将地面上一些样板田的作物与 ERTS 图象上的特殊色调联系起来。在圣华金河谷采用了这种方法，“只用如下五种颜色的规程，照片的判读者就能以 90% 以上的精度鉴别出作物的类型：(1)全部褐色的田地相当于成熟的红花；(2)全部浅黄色

的田地相当于成熟的大麦；(3)全部黑色的田地相当于大麦或其它细小谷物收割后烧毁的残梗；(4)全部蓝—灰色田地为休耕地；(5)其它全部为红色和粉红色的田地，相当于为生长旺盛的绿色作物（多半是苜蓿和制糖用的甜菜）所覆盖。”

第二个办法是建立一张有关特殊地区生长作物的全年一览表，例如，有一块田地，它能表示出有关秋季犁地、冬季和早春生长作物以及春末成熟和收获的一些典型色调来，那么这块田就相当于冬小麦。德雷格和本森(1973)指出：“利用 ERTS 图象鉴别一些农作物在当前是现实的”。许多遥感研究的成果表明，无论人工或者自动化地应用这种图象来正确鉴别作物的种类是有可能的。但是，大部分研究是集中在鉴别较小的一些试验区的作物，因此，为了确定区域调查能否利用这些方法，必须对它们进行仔细的评价。

泉、地下水渗坑和潜水含水层的圈定

一些灌溉的田地和喜水植物（比如耐盐杉木）标志出洛斯阿拉莫斯以东的格兰德河道(图3)。沿山区周围的一些支流、泉水以及地下水渗坑的分布区内，可见有其他喜水植物的小块覆盖。因为喜水植物仅生长在其根部可以达到潜水的地方，所以表明在这一地区有地下水。某些覆盖有喜水植物的地区给出的地下水量足够城市或灌溉之用。

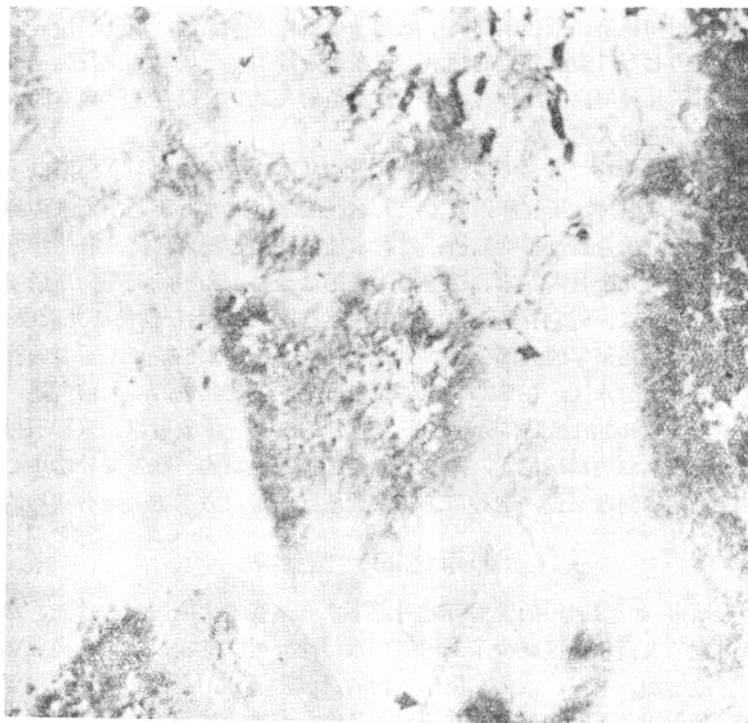


图3 1972年8月2日摄取的，表示新墨西哥州洛斯阿拉莫斯一张 NASA 的 ERTS 彩色合成图象的黑白复制品。洛斯阿拉莫斯大致位于哲近兹山区图象的中部。该区的山地为森林所占，而一些河谷则为荒疏的植物所覆盖。箭头表示格兰德河道。有些山上的白块为白云层

在西部许多州，在夏季的月份里草类枯萎并变成褐色。但在冬季首次降雨后种子发芽并继续生长到晚春雨停方止。草类成熟、发芽和枯萎的精确时间取决于土壤的水分。在同一个地区，位于排水好的高地上的草要比土壤水分多或者潜水位浅的低地的草提前2—4周成熟。在晚春，根据草类的枯萎和生长图案，可用ERTS图象找出土壤水分异常高的地区。其中有些地区的浅层含水层可以开采足够的地下水供人们使用。一些其它草地区对旱地种植冬小麦或裸麦可能更有利。

第三个意见是通过一些融雪的图案来找出浅层地下水。地下水一年到头近乎常温，如果包括日照、遮阴以及盛行风在内的各种因素都相同的话，那么雪（至少在理论上）将首先在地下水渗坑和泉水地段融化。

小比例尺可使一张大于26000平方公里的ERTS图象，仅在几分钟内就搜寻出表明土壤水分异常或者温和温度的一些植物或融雪的图案。ERTS图象的低分辨力保证了只发现和鉴别出一些最大的，可能最有意义的地区。然后，一些反常地区可以进一步通过航空照片或者地面工作进行调查。

一些补给中心的识别

德克萨斯州和新墨西哥州南部高平原是一个富饶的农业区，但几乎所有的耕地都是水浇地。从大约七万口灌溉井中的抽水，正在迅速地消耗下伏奥加拉拉地层中的地下水。已经提出了几种解决办法，其中有一建议是输入地表水以及通过现有的一些浅水湖对奥加拉拉地层进行人工补给。

在高平原上，约有二万多个浅水湖，其大小从不到一公顷到200公顷以上。除了浅水湖的充满和溢流以外，所有降雨或者流入这些浅水湖的水，不是向下入渗到奥加拉拉地层、水面蒸发，就是通过植物蒸腾。没有水能够经地表流入河流。有些浅水湖常年都有水或者暴雨后的几个月内存水。这些湖的底部已为粘土和矿物沉积物所淤塞，所以它们不是重要的补给点。其它有些浅水湖则能快速排泄，大雨后仅能保持几天或几周的水。因此，这些浅水湖在每年的大部分时间里是干枯的，一般来说成了最重要的补给中心。

所有那些露天的水区，在ERTS图象的光谱段7上是黑色的，如前所述，大于1—2公顷的一些水池和湖泊都很容易看出来。重复的ERTS图象可以用来标明得克萨斯州高平原上一些浅水湖的精确位置，并鉴别出奥加拉拉地层的一些重要补给中心。对于现存的一些过量抽水问题来说，这种信息在设计最优的解决方案方面是有帮助的。

都市化的一些影响

一些大城市（如芝加哥）的发展可能对地下水有某些重大的影响。首先，房屋、街道和停车场占据的大面积地区减少了对浅部含水层的补给。其次，城市、商业和工业用水的抽水量普遍增加。第三，液体和固体废物的偶然泄漏和蓄意处理降低了浅层地下水的质质量。这三种作用并不是到处都存在；但是，在存在这些作用的地方，增加了一些含水层的管理问题。含水层补给地区的都市化，在抽水量不断增长的同一时间内，可能还要降低可供利用的地下水水质和水量。由于从密执安湖取水受到法律限制，因此对芝加哥地区来说增加抽水量是人们特别关心的。目前，用水量的增加靠抽取地下水来解决。

ERTS 图象 (图 4) 表示出密执安湖南端附近现有的全部居民点。用多年同一时间的重复图象可以监测都市化的发展方向与速度, 并且在含水层管理中有助于确定一些进一步问题的出现位置与严重程度。

区域地形与地质构造的水文学意义

ERTS 图象在区域地形与地质构造的研究和解释中是非常有用的。例如一张哈里斯堡地区的 ERTS 图象表示出四个自然地理分区的部分: 皮德蒙特区、布卢山岭区、“河谷”与“山脉”区以及阿帕拉契亚高原区。该区岩石中已知的一些断层和褶皱可以在 ERTS 图象上加以检验, 进而确定其范围及其地质意义。在已知的构造(或地形)与一些邻近地区的其它标志之间可以发现新的关系, 一些已知的断层可能发现其比图上所标的要长或者更为复杂。同样, 一些新的断层和褶皱也可被发现。这种类型的一些标志在全国许多地方影响着地下水的利用以及富集, 同时也影响地下水的品质。

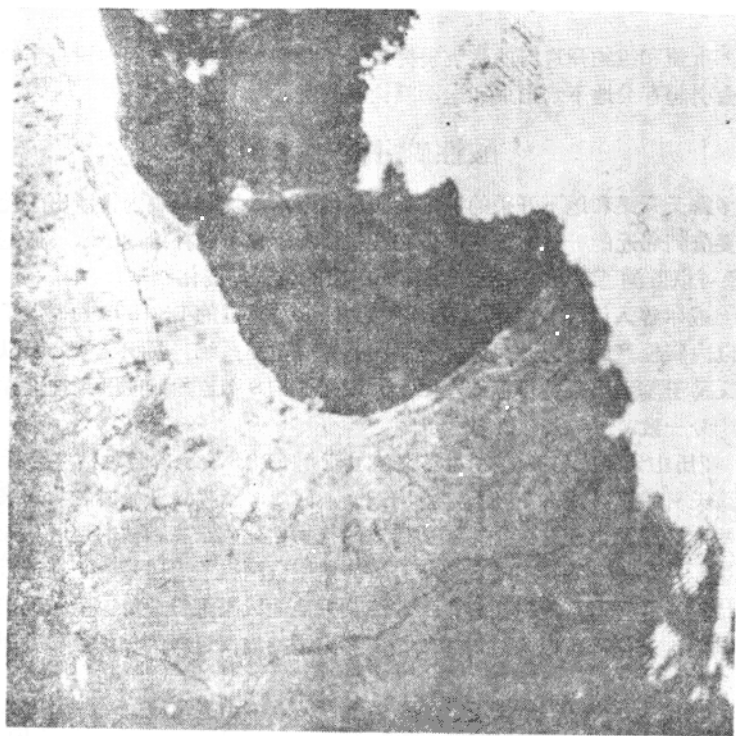


图 4 1972 年 10 月 1 日摄取的表示伊利诺斯州芝加哥一张 NASA 的 ERTS 彩色合成图的黑白复制品。芝加哥、格里、哈蒙德市及其郊区从密执安湖南端向内陆延伸。大片云层盖住了图象的东侧

对密苏里州北部 ERTS 图象的研究(J. A. 马丁等人, 1973)表明, 墨西哥背斜“大大超出了目前辨认出来的范围而向北延伸, 并且看来与圣加芒穹隆并合在一起。”曾被认为是一穹隆的米内欧拉构造, “在图象上是一个呈北西南东向延展、与墨西哥背斜直角相

交并向外延伸了差不多 48 公里的构造形迹。米内欧拉线状构造的总长度约 145 公里, 它穿过奥陶系、泥盆系、密西西比系(石炭纪)及宾夕法尼亚系(早石炭世), 并可追索到被一些第四纪沉积物所覆盖的地区。”

在纽约州, 虽然大部分地区已进行了详细填图, 但 ERTS 图象显示出若干个以前并未查清的地质特征。“在阿德朗达克斯北部, 这个古平原的一个突出的线状特征是, 往东南方向去, 沿着一个以前并未填绘出来的线状地形单元而突然终止并形成 一个假单面山。”Y. W. 艾萨克森(1973)也指出, “通过 ERTS-1 图象提供了”“一个主要洞察”卡茨基尔山脉(长期被看作为马尼图壁)东边笔直的原因。在“马尼图壁以西, 卡茨基尔山脉遭到侵蚀, 从而形成一些突出的北西方向的山岭和河谷。大量走向约北 15° 东并平行于马尼图壁的线状地形以高角度横穿这些山岭。这一组至少向西延伸 25 公里的线状地形的蔓延性质从前没有辨认出来, 仅在文献中简单地提到过它的地质成因。”在 ERTS 图象上填绘的纽约州新的线状标志其长度在 1.5—200 公里之间, 加起来的总长度在 6000 公里以上。

在密苏里州和纽约州进行的这类研究扩大了我们对于地质构造的知识与了解。这些研究也必然会引起有关地下水形成和运动理论的改进。

酸性矿井的排水源

在许多露天开采和地下开采的矿山里, 从地下水渗坑和泉眼内排泄出酸性水。这种酸性水主要流到邻近的一些河流中, 但在某些情况下也可能补给地下水。通过重复的 ERTS 图象可以监测已在开采和新开发露天矿山的位置与变化。

G. W. 威尔等人(1973)指出, 在印第安纳州, “重复的 ERTS 取景提供了对在三个月或一年以内新投产的露天开采区进行制图的良好监测系统。面积在 4 公顷以上的孤立露天开采区易于鉴别出来并可标绘在图上。根据 ERTS 图象绘制的开采地区详情图与地面实测图十分一致。

S. S. 亚历山大等人(1973)利用宾夕法尼亚州 ERTS 资料的自动数字分析法, 已可能将一些露天开采区分成如下几类: 挖沟地区, 回填, 新投入开采或者为未来露天开采清理的一些地区以及由酸性矿井排泄所造成的植物枯死或正在枯萎的地区。亚历山大等人得出结论: “看来, 利用 ERTS 资料有可能定期监测有关大区域的正在进行露天开采的范围和位置, 并且有可能对减轻复田和污染方法的效果进行评价。受露天矿山酸性矿井排水影响的地表区, 可以通过对 ERTS-1 多光谱扫描仪资料的仔细数字处理, 有效地加以圈定和制图。

断层和节理的制图: 一些坚硬岩石区地下水的富集位置

在一些固结岩石地带所作的许多研究断定, 沿着一些断层或大的节理分布的水井中, 可以获得大量的水。长度比较小的一些断层和节理可以在地面或者具高分辨力的低空照片上清楚地看出来。但空间图象(如 ERTS 摄取的), 对于发现一些长的断层来说通常是最好的, 因为空间图象在同一时间里可以收视比较大的面积。

低空照片在土壤覆盖薄的一些地区也可具有很高的分辨力。在田纳西州中部斯通涅

斯河流域，灰岩基岩出露在地面或者处在地面以下很浅的地方，许多在深部反映不出来的闭合节理，在航空照片上显示为一些断裂形迹。这样一些地区(图5)在 ERTS 图象上只能看出一些最长的线状构造；而这些线状构造有着重要的水文学意义。

图5中一些实心箭头表示的是比奇格罗弗线状构造的位置。它以比奇格罗弗村落命名，这个村落位于线状构造穿过州间24号公路的点上(用空心箭头表示)。在用 ERTS 图象判读之前，这个线状构造未被发现。在比奇格罗弗，该线状构造显然是一个断层；在别处它也可能是一断层、一条主要的节理，或者是一组平行的节理。它主要是靠9条分离的河谷排列成直线而确定的。沿其长度方向的大部分地区，该线状构造宽约1.6公里。但在少数一些地区，间隔很小的平行线状构造显示出一个宽达6.4公里的断裂带。

断裂带中几个闪锌矿产地表明，长约140公里的整个断裂带是一个有工业价值的锌矿富集的远景区。

目前，这种线状构造对于贮存地下水的重要性还不十分清楚。在这个线状构造附近出现许多洞穴和落水洞，而平行或横穿线状构造的河流具有忽大忽小的水流。靠近线状

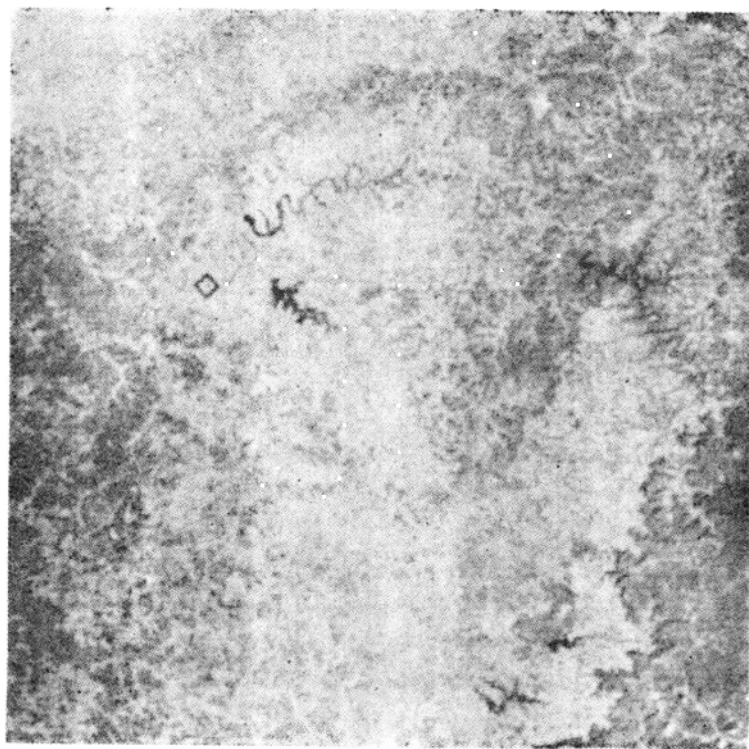


图5 1972年10月17日摄取的、表示田纳西州纳什维尔一张 NASA 的 ERTS 彩色合成图象的黑白复制品。纳什维尔位于坎伯兰河(图象上的方块位置)上。大部分地区下伏有水平或近乎水平的奥陶系及密西西比系灰岩。沿图象东部边缘的坎伯兰高原下伏有宾夕法尼亚系砂岩及页岩。比奇格罗弗线状构造用箭头表示

构造轴部的水井出水量各不相同，从大于6公升/秒变化到不足0.06公升/秒。“这些事实说明，有些河谷中的水沿线状构造渗漏到破碎的岩石中去，而在另一些地方又以泉水的形式出露，在这二者之间的一些地区内，这些水井可以取得大量的地下水。”

环状标志的制图

ERTS 图象常常显示出一些环状的标志，特别在一些由下伏海岸平原沉积物构成的地区(图6)。这些环状标志通过排水系统的图案、地形阴影或一些耕地的图案描绘出来。它们的直径约1—100公里。

在图6上很容易看出从前未知的一些不同规模的环状标志；所选的实例可见箭头所指。几乎所有的环状标志都位于图象的北半部。这一地区存在一些盐丘。初看的话，这些环状标志好象是一些已知的和未知的盐丘。但是，在一个125000平方公里面积上的制图表明，只有一种情况是环状标志与一个已知的盐丘相符。在其它不存在盐丘的地方，也见有一些环状标志。

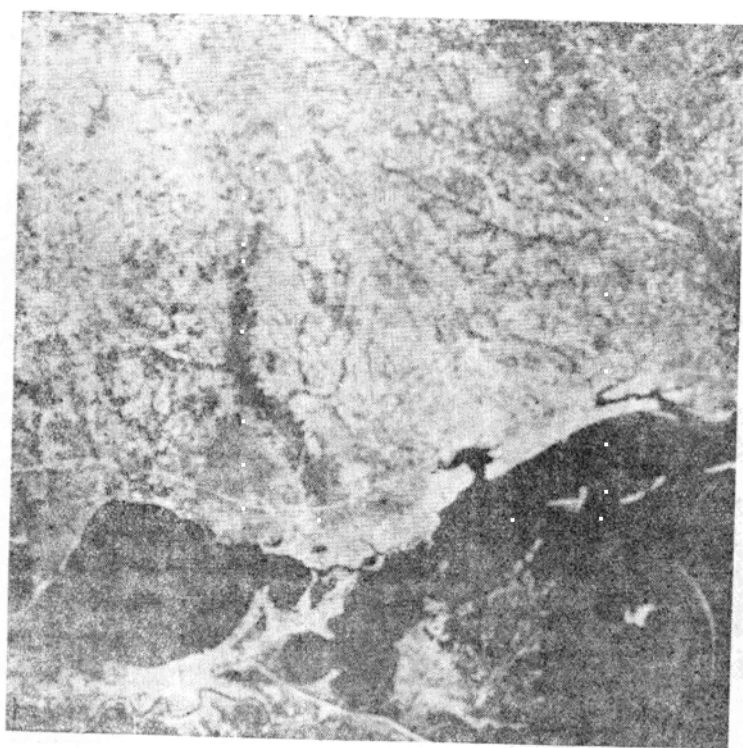


图6 1972年8月7日摄取的，表示路易斯安那州新奥尔良一张NASA的ERTS彩色合成图象的黑白复制品。密西西比河及新奥尔良在图象的西南角附近。密西西比州的格尔夫波特和比洛克西位于东面海岸附近。向南流的河流为珀尔河(中心以西)及帕斯卡古拉河(中心以东)。整个地区主要由松散的砂、砾石、粉砂及粘土沉积物构成。选定的环状标志用箭头表示

目前, 这些环状标志的确切地质性质(图6)尚不能肯定下来。已经知道的是, 这些环状标志通过各种植物的图案(它们又是地形、侵蚀作用以及耕地形状综合的结果)圈定的。环状图案实际上也是少见的; 在它出现的地方, 一般与下伏的地质构造有关。因此, 至少某些环状标志可能是一些穹隆和构造盆地。

靠近地表的一些穹隆和盆地可能随着深度而消失, 或者可能是深埋的。如果这些环状标志代表深埋的构造, 那么从石油远景来看在经济上是重要的。同样, 如果这些构造在地质年代上是古老的, 那么它们可以影响过去的沉积模式。因此, 这些构造也是造成含水层透水性局部变化的原因。

需要进行包括航空照片判读和地球物理调查或钻孔试验在内的一些补充研究, 以便确定这些环状标志的地质性质及水文学上的重要性。

结 论

ERTS 图象提供了一个利用分辨力比较高的卫星资料对地下水资源进行全国性研究的机会。这种图象既是基础资料, 也是一种工具。如同其他工具一样, ERTS 图象不可能提供有关地下水问题的全部答案。但与其他一些基础资料的形式一样, 可考虑将它用于地下水调查。

ERTS 图象主要的潜在优越性是, 减少所需的野外工作, 而这种野外工作在地下水调查中是最费时费钱的阶段。此外, 在 ERTS 图象上可以容易地看出许多广阔的区域特征, 而这些特征在地面或低空照片上是不易或不可能看出的。ERTS 图象的宏大视域以及界线的明显性(在地面上, 界线则是渐变的)较航空照片有两个重要的优越性。ERTS 图象上的一些有意义的目标, 通常只要化航空照片所需时间的一半都不到就可圈定出来, 其精度仍能满足许多目的的要求。

ERTS 图象在地下水水文学中一些当前和可能的用途有:

1. 对地下水形成进行初步调查, 确定某一地区的含水层类型以及估算水井的可能出水量。
2. 利用植物的图案和一些地形圈定冲积含水层的轮廓。
3. 根据相当于冬季积雪的水量来估算西部各州未来的河道流量和含水层的抽水量。
4. 预报用水量, 估算灌溉用的地下水抽水量的变化。
5. 利用喜水植物寻找泉、地下水渗坑以及浅层潜水层。
6. 寻找并鉴别南方高平原奥加拉拉地层的补给中心。
7. 监测城市的发展并预测都市化将带来的一些含水层问题。
8. 研究区域地形和地质构造的水文学意义。
9. 寻找露天矿山酸性排水源以及监测采区复田。
10. 对一些坚硬岩石地区中有可能富集地下水的断层与节理位置进行制图。
11. 对一些可能影响供邻近地区利用的地下水数量的环状标志进行制图。

(译自《Ground water》, 1975, Vol. 13, No. 2

作者: G. K. Moore, M. Deutsch,)

利用航空红外线测量查明过湿地段 和地下水露头

从空中进行水文地质调查, 目前主要利用航空摄影测量。在航空照片上划分饱水层和隔水层的界线, 圈定过湿带, 等等。所有这些潜水显示, 基本上都是根据潜水活动的结果, 即根据间接标志来判读的。例如, 水的露头, 系根据漏斗或侵蚀沟槽判读; 作为水文地质标准界线的不同岩层的岩性界线, 则根据小型侵蚀形态的位置判读, 等等。没有明显的潜水活动迹象时, 可根据植被特点, 土壤类型等, 判读地表附近是否有潜水存在。

航空红外线测量与航空摄影测量不同, 它研究的是景观要素的热辐射 (主要在光谱范围 1.8-5.3 和 7.5-14 微米内), 通过航空红外线测量, 可以根据直接标志——偏高的湿度判读水及地质对象。

航空红外线测量能提供地表各地段按温度变化的资料, 从而不用潜水活动的迹象, 也可以直接发现水。这是由于溢出地表的潜水, 其温度往往不同于周围地表的缘故。

实际上, 航空红外线测量确定的是地区的温度对比。使用现代的高灵敏度航空仪器, 可以取得质量接近于航空照片的红外线图象。航空红外线测量法的物理学原理, 现有的仪器和在研究天然资源时运用航空红外线测量的实例, 在苏联及国外作者的一系列著作中, 均有过阐述。

图 1 示出不同湿度地段土壤温度的变化; 其中一个地段定期受到人工灌溉。在早晨日出之后直到灌溉以前的几个小时内, 各种地段的温度相同。一经灌溉后, 潮湿地段的温度便开始显著下降 (受蒸发影响), 而干燥地段的温度, 由于被阳光晒热, 则开始上升。后来, 两种地段的温度开始平衡, 但仍保持 $3-4^{\circ}$ 的差距。通过分析各种不同景观要素温度的昼夜变化, 揭示出了类似规律 (图 2)。

黄昏和夜间, 各种景观要素的温度变化很慢。在寒冷而晴朗的夜间, 由于水冷却比

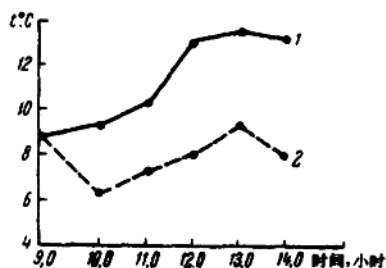


图 1 不同湿度地段土壤温度的变化

1——干燥地段;

2——潮湿地段;

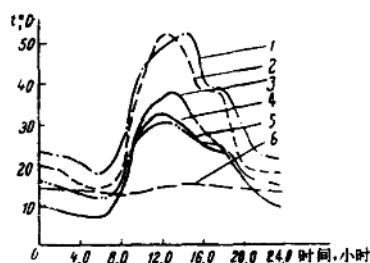
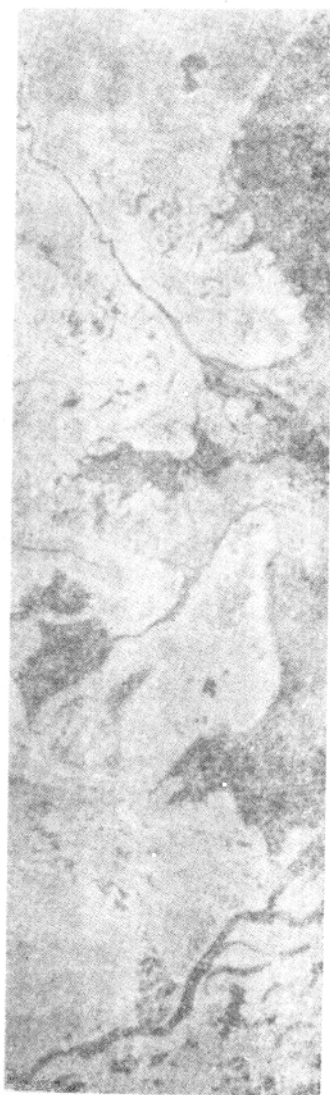
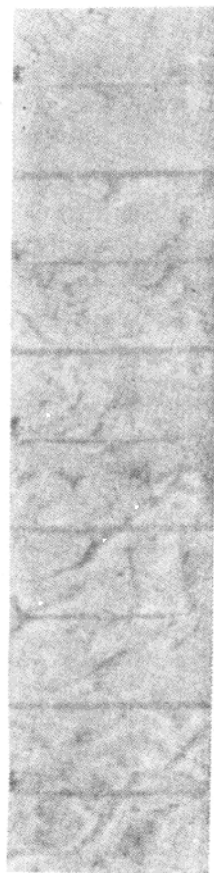


图 2 不同景观要素温度的昼夜变化

1——新清; 2——花岗岩上的土壤; 3——杂草植被; 4——芦苇及杂草覆盖的草地; 5——松柏树林; 6——河水



(a)



(c)

图 3 泻湖沿岸沼泽的平面航空照片(a)和红外线图象(c)(摄影时间 10 时 50 分, 光谱范围 3.2—5.3 微米, 飞行高度 400—500 米)