

提高遥感揭示能力，促进油气地质调查

陈荫祥

(地质矿产部遥感中心)



我国石油地质调查早在1955年就开始使用航空地质方法，起步不晚于当时世界航空地质初潮。近20年来随着航天遥感的发展和航空遥感的扩充，地质矿产部、石油工业部及有关院校、研究所的石油地质工作者紧跟这一科技形势，办了专门的石油地质遥感学习班，成立了石油地质遥感研究所等专业机构，开展了几十项石油地质遥感科研勘查项目，普及了遥感地质技术，取得一批石油地质遥感应用成果，在国内外刊物上发表论文百余篇，在石油地质普查各个历史时期都发挥了明显的效益，奠定了我国石油地质遥感学科和事业基础。

(一) 有力地配合了第一轮石油地质普查

50年代中期开始的第一轮石油地质普查，面临着一系列困难。首先是中西部地区没有合格的中比例尺地形图，地质填图工作无法进行。例如柴达木地区根本没有中比例尺地形图，四川盆地、河西地区和鄂尔多斯地区的地形图也粗略、陈旧得无法使用。为了解脱这基础性的难关，组织进行了柴达木盆地的黑白航空摄影。为了保证地质解译效果，特意在1:4.5万航摄同时，拍摄了1:2.7万比例尺的30×30cm的地区专用航空象片。地质人员就用这些象片开始了柴达木地区的石油地质普查填图。柴达木盆地地质解译效果特别好，很多褶皱构造反映得十分真切，包括地表圈闭范围、轴线、高点、鞍部。各类断裂构造也反映得十分清楚，例如依格雅汝乌背斜。柴达木的断块构造揭示得也很逼真。隆升块断褶皱成排展现，有时还可以显示出褶皱的深部构造硬核。下陷断块则被第四系所掩覆，局部可以显示出隐伏的断裂和褶皱。整个盆地的地质构造一目了然。柴达木盆地内第三纪第四纪沉积地层在地面上很难追索标志，如果没有航空象片就很难填绘出高质量的地质图。有了航空象片，找出地层、岩性、构造标志层，就很容易精确地描绘地质构造，无扭曲地编制出全盆地的1:10万至1:20万地形地质图来，有力地推进石油普查勘探工作。地面物探布设网线、钻探也都用航空象片定位，保证了空间几何精度。柴达木盆地的航空地质效果，直至今日在世界范围内也是绝妙的奇迹。四川盆地的石油地质普查填图也是用航空象片为基础，既修编地形图，又填绘地质构造，完成川东线形褶皱和川西平缓褶皱的快速描绘。70年代又用航空地质、遥感地质的方法对全盆地的1:20万地质构造图进行了补充修改，同时还采用航空象片开展了部分地区的大

比例尺裂隙研究、浅层天然气的普查和构造研究，效果甚佳。河西地区、鄂尔多斯、湖南、江西、藏北等地区也都先后利用航空地质方法进行过中比例尺石油地质普查，保证了第一轮石油地质普查的顺利完成，为后来的石油地质研究提供出大批真实、形象、精密的地面地质构造资料，丰功伟绩至今当铭记于史录。

（二）全国区域地质构造研究导出新概念

近年来石油地质工作者从油气研究出发，利用航天遥感资料，对全国性、区域性的若干重要问题重新进行了遥感再认识，提出了一系列新认识，引导出若干新概念。

区域断裂构造的遥感研究效果特别突出。各种尺度、不同级别、类型的断裂构造，特别是与石油天然气密切相关的中新生代活动断裂、隐伏断裂，以至裂隙、节理均可以精确无遗地解译描绘出来，使断裂网络、体系、世代得到充分的显示。诸如青藏高原周边断裂带、贺兰山及康滇南北向断裂带、太行山山前断裂、郯庐断裂带、祁连山-秦岭断裂束、阿尔金断裂等，石油地质遥感都提供了详细的新地质构造资料。对准噶尔盆地东部北西西向克拉美丽断裂带、盆地西北缘的达尔布特断裂带、柴达木的狮子沟-油砂山断裂、溧阳-遂平断裂、范县-兰考断裂等也都进行了大量的分析对比和补充订正工作。广泛的实践表明，用遥感揭示的断裂构造，编制的各级比例尺断裂构造图件是任何其他方法无可比拟的，明显地促进区域地质构造的研究。

环形构造（影象）的大量发现是遥感地质的重大新贡献。这种岩石圈的基本结构形式，久久没有引起地质学界的重视。开展遥感地质以来，发现直径大到几百上千km、小到几百m几m的大量环形构造。它们世代叠加以几种空间形态有规律地组成地壳-岩石圈垂直筒柱状结构。石油地质遥感学界结合地表地质、近地表景观（地貌、土壤、水文、植被）、地球物理、地球化学及油田开发钻探资料，对各类环形构造的地质构造意义、与油气的关系作过比较全面深入的分析研究。例如克拉玛依环形影象，直径10km，为结晶基底上的圆形凹陷，重力反映为-6mGal圈闭。玛纳斯湖东北环形影象，航磁为200—225nT值，重力为+2mGal高，估计为一隐伏花岗闪长岩体。不少环形影象就是已经普查勘探证实的含油构造，如滴水泉鼻状构造的两个圆形高点，柴达木的玉米环形影象可能为一个隐伏构造，槐树口环形影象为钻探证实的隆起构造，位于丹阳、溧阳、宜兴之间的金坛环形影象为一中新生代构造盆地。直接反映已知油田者如文留环形影象，卫城环形影象，观城环形影象，魏岗环形影象等。大量实例表明环形构造不仅是岩石圈-地壳的主要结构形式，它对石油、天然气的形成和分布更有其直接控制意义。

（三）隐伏地质构造信息为石油地质开拓了新境界

隐伏构造信息也是遥感地质独特发现。不同深度的构造边界，特别是断裂构造、活动断裂（这里泛指中新生代以来有活动的断裂。绝大多数的地壳、结晶基底、盖层中的古老断裂后期都有活动迹象），在松散盖层中形成韧性剪切带、微裂隙群，通过地气（包括水、地液、气体、热流）导现于地表，很容易在遥感图象中标记出来。这类隐伏构造，多数已取得物探、钻井或其他资料证实，对石油地质具有特殊重要的意义。

通过航卫片的解译研究，发现了一批大型推覆构造。它们分布在各山系的边缘地带，例如青藏高原南缘的班努-西瓦里克-萨地亚推覆带，祁连山北坡推覆带，龙门山山前推覆带，天山南坡乌恰-柯坪-库车-轮台推覆带，天山北坡独山子-博格达推覆带等。

这些推覆构造多发生在新生代,地形显示清楚。其他局部、小型的推覆构造也有普遍发现。至于中生代以前的推覆构造,由于后期改造和掩盖,虽然不很容易发现,经过一番解析也是可以揭露出来的。推覆构造除与当时地形差异、岩层产状有关外,多数与某一内动力冲击动力源有关,并伴随热液金属矿和油气成矿作用。

石油-天然气的深源无机成因说近年来越来越引起重视,遥感对于扩展、促进这一学说有着不可磨灭的功绩。大量的油气储量集中在各类环形构造的边缘和中心,表明油气主要导发于地壳的某些通道,和金属矿产串联成一个热力-物质链,而且往往多次叠加、改造。中国和世界的多数油田地热流均有增高,而且常有一个火山根、深通道和气流强爆、喷射中心,同时显示放射性、金属元素和深源气体增高。在这些地质构造新见解的指引下,我们不妨核算一下世界十几个特大油田的储量与沉积生油量间有很大的亏值。很多大油田、高产井都系上部凝析性质等等。尽管深源无机合成理论目前尚有待探索,但遥感地质提供依据大大促进这一新学说、新油气勘探方向的发展。

(四) 开展了主要含油地区的综合研究

近10年来遥感地质配合石油地质区域性总结,开展了综合研究和战略侦察。

在塔里木盆地开展了石油地质遥感调查,发现环形影象(异常)256个,参照已有地质、物探资料确定出182个与油气有关的环形异常,其中地面已证实的54个,反映隐伏构造者51个,待查影象异常77个。15号异常就是柯克亚油田,168号异常已经沙参2井等钻探证实产油,22号异常经地震验证为一鼻状构造,105号异常已发现油气显示。此外,在塔里木盆地共解译出各种断裂299条,同时完成了全盆地的构造分区和油气远景预测,为近年来开展塔里木石油地质普查提供了基础资料。

准噶尔盆地的遥感地质研究,不仅大幅度地补充修订了原有地质资料,还在很短的时间内提供了大量新的地质信息,为加速这一地区的石油地质勘探、综合研究开拓了新的思路,深化了西北缘的构造与油气评价。

华北地区的遥感地质研究对分析华北区域地质构造、深化断块潜山型油气田认识都发挥了重要作用。

鄂尔多斯地区进行的遥感地质研究,为石油地质普查勘探提供了新的启示。

柴达木盆地的遥感地质研究证明,已知140个地表背斜构造,可解译出131个,其中105个背斜图象反映完整。发现28个隐伏背斜。发现大于20km的断裂87条,其中67条已被地面地质调查、地球物理勘探证实,解译可信度大于74%。同时对干柴沟-油砂山区、鄂博梁Ⅱ号区作了详细研究。对盆地边界及内部断块以及构造分区作出了详细的构造分析。

河南地区的遥感地质研究对中生代构造发展及构造应力场作出了深入的论述。

四川盆地卧龙河背斜的构造裂隙研究取得了不同构造部位裂隙分布规律,为油气普查提供了丰富的地质构造资料。

二连盆地研究程度很低,第四系覆盖广,利用遥感地质方法能够精确地勾划隆起与坳陷的范围,标绘出详细的断裂系统,解译出90个环形构造,其中19个与重力、电法资料有明显的对应关系。

在以上区域性研究同时,各地区都选择重要的油气构造开展了大比例尺的遥感图象

处理和详细地质构造研究。所获结果表明，遥感地质研究与已有地面地质、物探、钻探资料均有较高的吻合程度，还局部提出了补充修改资料和一些新见解，说明遥感地质可以进行石油地质详查研究。

（五）总结出一批油气遥感地质找矿标志

经过广大石油遥感地质工作者的多年实践，初步总结出一些油气遥感地质标志。除了一般地质构造和综合地学标志外，摸索出油气地质调查的专业标志。包括：

中生代盆地内及基岩地区的隐伏构造标志和深部地质推断准则。这些方法原则多数已经过各油气区钻井和物探资料验证。

地貌-第四纪地质-新构造运动标志。石油和天然气有别于其它固体矿产，最新地壳运动对油气的聚集运移存在现实的导控作用。我国和世界大量油气田、构造都有明显或隐晦的地貌-第四纪地质-新构造显示，这种综合机理所构成的形态、动力差异，在地面调查很难于发现。利用遥感资料，比较容易揭示这些标志，是石油地质研究的又一进展。

土壤-水文-植被标志。由于油气、油田伴生气、液、热流对地球表面的作用，出现土壤成分、结构的变化，如盐碱化、膏盐化。壤中水、地表水、浅层地下水的变异，通过土壤-水文变化引起植被变异。这一标志也是遥感技术独特擅长的功能之一，其中地植物找矿（油、气）发展得更快些。可以预料，基于这一原理，将会有更多的找矿方法萌发起来。

气液动力迸发标志。近年来从航天、航空、特别是大比例尺航空遥感中发现了一批尺度不同的气液强爆现象，类似当年所提的泥火山。可它们对地壳浅层的冲击破坏要强得多，有时数 km^2 的岩石原地松动破裂成爆破角砾岩、数千 m^2 的耕地被击翻得生土朝天，还留有深不可测的喷气孔。这种现象往往伴随地热喷射、气体爆炸、雷电和黑昏¹⁾扩散。

云雾状色调异常和地热流异常。云雾状（或晕渲状亮区）色斑异常，由于油气的还原作用和地热流增升一般多呈浅色调，但也有深色的环斑，更多地混隐于各波段反射辐射及其比值的某些数据组合区段上，有待深入处理分析。热流-物质通道地热标志也是一项值得单独开展遥感探测的指标。至于微波段油气还有那些信息特征，尚缺乏确切结论，但肯定会有差异。这类标志不仅对探矿有用，对探测石油污染也很有价值。

（六）遥感与化探综合勘测

油气地球化学探测经过半个多世纪的发展，方法技术与理论解释已进入勘探程序，但化探样品只能是离散数据，不能进行大面积同时取样和适时分析。为了克服这些局限性，诸如航空激光荧光法、微波、汞气测量等遥感方法曾陆续问世。航天遥感数据应用以来，石油遥感地质学者开始探索地面波谱与烃类扩散晕的关系，在土壤、植被、岩石波谱分析的基础上，发现遥感图象中的色调异常、云雾状色环（斑）与油气扩散场有明显相关性，并找出色斑的油气地球化学特征标志。已知油气田之上也普遍存在这一对应畸变关系。探索实践表明油气构造上甲烷、重烃、伽马射线强度、金属元素等有明显增

1) 黑昏，一种黑色的天然气溢散。1626年前后华北有大量古籍记载。

高现象,波谱值(包括比值)也有显著差别,从而推导出地化变量与光谱变量的相关,初步奠定了油气遥感与地化结合的理论基础。结合线形影象密度(M)、交叉点密度(P)、线性构造长度(L)及线性构造主方位角(θ)的空间统计,从图象空间灰度矩阵提取“二阶矩”,“熵”纹理特征等遥感-化探综合预测指标体系,经过近几年的实践,取得了很好的效果,开创了一个边缘结合方法技术领域,标志着我国在油气遥感的独特进展。

(七)石油遥感地质发展前景

综上所述,我国石油地质遥感起步较早,特别近20年来从资料数据来源、方法技术、应用实践都取得了很大的发展,积累了经验,培养了专业队伍,成效是显著的,影响是深远的。除技术装备上略逊于世界先进国家外,应用水平仍不愧为列居前茅。随着航天、航空及遥感高技术的发展,石油地质遥感也即将产生新的发展和提高。

遥感技术发展的主要动向为:探测的波段在向长波、微波方向扩展,向窄波多道细分深化,从目前的几个波段扩展到256个或更多波段,空间分辨率提高到几十m、几m。传感器及信息类型将愈来愈多,探测平台的数量日益增多。观测周期越来越短。这样就意味着,在现录浩瀚的遥感信息储备尚未充分应用的同时,更大的信息潮流即将来临。数据之浩繁,计算处理-应用工程之巨大,远远超出我们的预料。信息增储就蕴藏着推动石油地质遥感的科技发展潜势。

遥感地质应用有很多基本问题至今尚未获得解决,例如电磁波谱与地表物质,地壳深层物质-能态的相关机理,地质体与地质运动与地球表浅层综合标志的关系,地质应用的基础理论等。这些地质应用的共同性“识意障”有待去克服。

遥感数据的电子计算机处理和光学处理尚处于探试阶段,处理容量、效率、效果都尚很有限。所以今后十年,信息加工处理,特别是石油地质适用性处理程序、数据库和专家智能系统的建设,将是繁重的技术过程和科研任务。

石油地质遥感是地质应用中比较复杂和困难的一个领域。尽管前二、三十年摸索到一些经验,但很多基础应用问题要深入攻关,以便构成科学的解译理论、方法、标志。遥感应用要创立本学科的认识论、方法论和预测论。要把已往很多研究者的思路、技巧和策略加以纵深剖析,上升为理性程序。在开拓提高过程中,如何面对遥感信息,补充修改现有地学理论,提出新的地质概念,是至关重要的。这个问题没有得到及时的解决,就会延误遥感信息的生效时机。例如前十几年一个隐伏构造信息,另一个是岩石圈的环形构造与深源热动力理论,抵着专业、学科内外的阻力、涡流,有了一定发展,但已经阻碍了遥感地质的发展和应用效果。随着遥感及其他科学信息的暴涨,今后几年十几年内也还必然会出现一些新的推论和延拓,我们遥感地质学界应该以现代科学意识积极地支持新生理论,促进遥感地质应用的发展。

石油地质有自己的独特之点,所以油气遥感标志、油气形成的理论等特点都会影响遥感地质的成败,以至油气勘探方向和战略。凡此等等都有待石油地质遥感工作者去推敲论证,去探索理论,完善方法技术,不能满足目前尚属肤浅的配合演示阶段。就以大陆石油天然气勘探历史回顾而论,如果再早30年充分发挥遥感在地质调查中的作用,至少能够节约三分之一勘探费用,缩短油田开发周期3至5年,更不至于造成目前研究程度

不高，后备勘探基地紧张的严峻局面。汲取历史教训，油气地质勘探部门的专家、领导们应该认真研究如何正确发挥遥感技术在整个勘探程序中的合理编组和最大效益。这一趋势已经在欧美一些石油地质勘探企业中客观地呈现出来，不过他们对遥感信息的理解、应用尚嫌浅显了些，就这样其效益亦是明显的，而且日益在扩展中。海洋及大陆架油气勘探中遥感技术很少应用，随着海洋、海底遥感技术的发展，估计在浅海、海岛、海滨地区会发挥一定作用，据近年来海上侦察表明数百米深的海底可发现潜艇、海底状况，可见海洋地质矿产遥感研究有可能在近期发展起来。近年来国内外都在谈论以遥感为主，结合其他勘探资料直接进行找油气的问题。这一方向并不是没有可能的，特别在老油田、老油区的重新再认识、重新再勘探时，很有希望实现直接预测油田的目的。但多数情况下，在以综合勘探重新开拓的第二轮油气普查中，将遥感技术认真地编入综合勘探程序，列为必用手段，规划一批攻关科研和勘探项目，精心实践探索，特别是从开展遥感-化探综合勘测、油田综合地质研究、加强油气遥感标志研究、以多种手段有机结合入手，开创新的科技、应用突破，油气地质遥感必将作出应有的贡献。