

遥感方法对黄土地区隐伏 控油构造的评价

刘燕君 金丽芳

(北京大学遥感技术应用研究所 100871)

1992 年 8 月 5 日收稿

摘 要

本文提出了判断黄土地区隐伏断裂的标志,并将研究区的隐伏断裂划分为基岩断裂、新构造或继承性构造、断裂破碎带或岩脉以及深层构造 4 种类型。在此基础上提出了与传统观点不同的区域构造格局及三级构造单元划分。然后,根据油气藏的类型、圈闭原理及研究区的构造背景,提出了隔水性构造可以圈闭油藏、为控油构造的结论。最后,以 3 条隐伏断裂为例,说明了隔水性和漏水性构造的遥感信息特征及其形成机制,并在研究区内圈出了 3 个油田预测区。

关键词 遥感 隐伏构造 控油机制

传统观念认为,鄂尔多斯西部的厚层黄土覆盖地区,构造简单,为一向西缓倾的单斜构造,断裂不发育,储油藏多系鼻状构造所控制。该区在地质图上,除西部存在数条近南北向与六盘山平行的断裂以外,均为第四系覆盖。剖面资料表明,黄土之下亦基本无断裂发育。

但我们在陇东北平凉至环县一带用遥感地球化学方法预测油田的研究工作中发现,该区黄土之下的基岩构造并不那么简单,不同性质和规模的断裂构造,仍是控制区域构造和油气田的主要因素。现就有关问题分述于后。

一、黄土地区隐伏断裂的影像特征

该区地表普遍由 100m 左右的 Q_2 和 Q_3 黄土覆盖。下伏基岩以三叠系和侏罗系的河、湖相碎屑岩、泥岩为主。地面植被稀疏,以禾草、灌木为主,农作物主要分布在黄土塬上或宽谷中。因而在植被不发育和少雨的季节,遥感各波段的亮度主要是区域黄土(土壤)的亮度,在各单波段的航天遥感图像上,均呈现为浅色调,而河流和沟谷则呈深色调,黄土地貌的影像特征十分清晰,与基岩出露区有明显的差异^[1]。黄土地貌的特征,或者说它在航天遥感图像上的影纹特征,其细节,如次级沟谷的形态及展布规律等特征,是由黄土的性状及外动力地质作用决定的。而大的地貌格局,如河谷的分布及其形态特征、黄土塬和梁的布局等,则是受基岩的岩性和构造控制的。因此,可以说黄土区遥感影像的影纹特征,既反映了黄土的外力地质作用,也反映了中生代末期的区域地质构造特征。通过图像上影纹和色调的异常,可以判读出基岩的基本岩性、断裂构造和新构造。

新、老构造的影像特征,基本上显示为线性构造。线性构造的判读标志有 6: 平直的

河谷和河沟;不同影纹的界线;地貌特征点(如山垭口、河流拐点、分流点等)直线状展布线;线状黄土地貌,如平直的黄土冲沟、黄土梁及黄土边界线等;影纹的异常带;色线或色调的界面。以上 6 项标志中,前 5 项标志形成的线性构造属结构型,后者属色调型。有些线性构造具有两项或更多的标志,有的兼有结构和色调两种型式。有些线性构造显示为清晰的直线或曲线,而有些则为断续的或模糊的线段。线性构造主要反映了隐伏的断裂构造。不同影像标志所指示的构造性质不同,从本区的具体情况看有如下 4 种。

1. 基岩断裂

黄土高原的地质构造轮廓形成于中生代末期。尽管新生代以来该区经历了长期的剥蚀和大幅度的升降运动,但基岩的构造格局和岩性特征,仍是本区山川河流、黄土地貌的控制因素。因而平直的河谷、不同影纹的平直界线以及地貌特征点的平直联线,均应视为基岩构造的反映。

2. 新构造或继承性构造

直线状黄土地貌,既受基岩构造的控制,同时也是新构造的反映。在结构型线性构造附近出现的、由黄土地貌作用形成的细小而密集的线性构造,多为新生代以来继承性构造的反映。

3. 构造破碎带或岩脉

呈一定宽度的结构型线性构造带,表明该处基岩存在一条较宽的构造破碎带,或异于背景的岩石带,如岩脉群等。

上述各项基岩构造,可能是具有断距的断层,也可能是大型节理密集发育带,或无断距的破碎带,甚至仅仅是一个塑性变形带。所有这些构造运动的产物,多数为线状的风化薄弱带,而缺少明显的界面,因而用物探方法难以检测出来。

4. 深层构造

指断裂深度较大的构造。但很难提出深度的定量数据,只能笼统地称其为深层构造。这种构造在影像上显示为规模较大的色线或色调界面。色线表示黄土(土壤)性状,特别是含水量出现带状异常;色调界面是由于两侧的黄土(土壤)性状截然不同所致。性状不同可引起黄土的颜色及含水量的变化,而导致遥感亮度值的差异。下伏基岩岩性的突变和构造带的存在是造成地表黄土质地、性状及含水量突变的主要控制因素。地表异常变化的显著性与断裂构造的深度和规模成正比关系。一般来说,规模较大的色调型线性构造应是深层的构造。

此外,两组交汇的区域隐伏断裂构造,在影像上也可以表现为大型的环形影像。小型的环大多与断裂无关,而是油气或土壤地球化学异常晕。

二、区域构造格局

以 1976 年 6 月 10 日 MSS 图像为主,并参照 1976 年 7 月 16 日的 1:100 万 MSS

彩色合成图像、1978年9月25日的1:50万 MSS 彩色合成图像、1987年8月24日的 TM 图像及1974年1月1日的1:50万 MSS 彩色合成图像对构造进行的判读结果(图1)

表明:近南北向为区内控制性构造,北西向和近东西向时代较新,而北东向构造在本区规模和影响均较小。

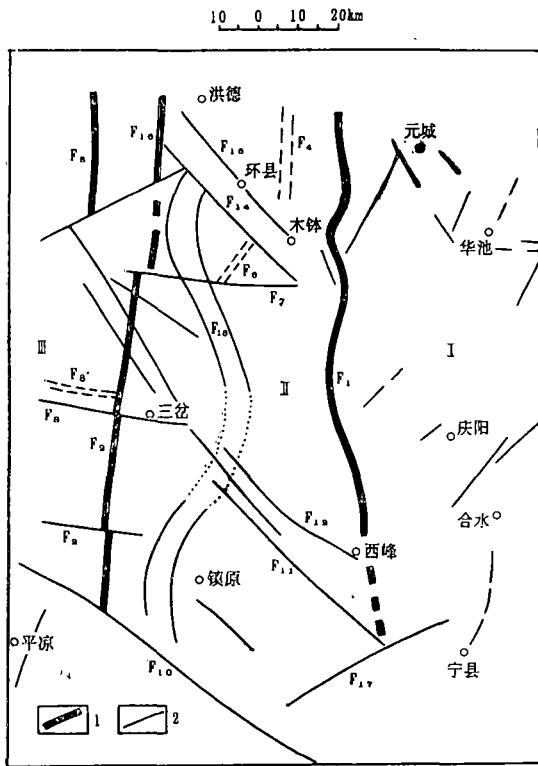


图1 遥感图像线性构造判读及构造分区图

1——构造分区界线, 2——线性构造

Fig. 1 Linear interpretation of remote sensing image and regionalization map of structure

数不同,构造带两侧的影纹明显不同,并普遍有近南北向的继承性构造发育。影像特征表明,两侧的基岩及构造活动均显然不同,故应为一基岩或深层构造,而且新构造继承老构造继续活动。

F_1 与 F_2 将本区划分为3个三级构造单元: ①东部稳定区(I), ②西部活动带(III), ③中部过渡带(II)。由遥感图像判读所作的构造分区与常规方法对比(图2)可见,西部活动带与中间过渡带之间的界线,与天环拗陷的西界基本一致;中部过渡带和东部稳定区之间的界线与天环拗陷的东界相比,界线东移而且弯曲。对于后者界线位置的差异,笔者认为依据遥感图像判读而划分的界线是正确的。理由有三,其一,从现有的12个钻孔资料分析,中部过渡带中生代地层总厚度普遍大于1800m(1894—3892m),而东部稳定区的厚度则小于1800m(1330—1755m),说明过渡带在中生代时拗陷幅度大于稳定区。其二,与该界线相应的部位有一条 γ 能谱异常带。其三,地震等值线图反映出以该线为界,两侧的线条分布特征截然不同。以上资料表明,两个单元之间确实存在一个界面。

1. 近南北向构造

F_1 和 F_2 为本区主要的近南北向构造。 F_1 呈曲线延伸为一色调界面,在6—9月份的图像上均显示为东侧呈浅色调,西侧相对较深。唯有在1月份的图像上不存在这种差别。就影纹而言, F_1 的主体部分两侧的影纹无明显差异,仅北段为不同影纹的界线。上述影纹特征表明, F_1 两侧基岩岩性无明显差异,但表层含水量不同。表层含水量不同的原因可能有三: 两侧岩层厚度不同(同一种岩性),基岩风化强度的差异和构造活动性的差异。无论其中的哪种原因,均可引起地表黄土(土壤)性状的变化。综上所述, F_1 显然为一深层构造。

F_2 为数条断续的、呈近南北向延伸的、彼此平行的直线状沟谷构成的线性构造带。受近东西向构造影响此带可分成若干段,各段线性构造的条

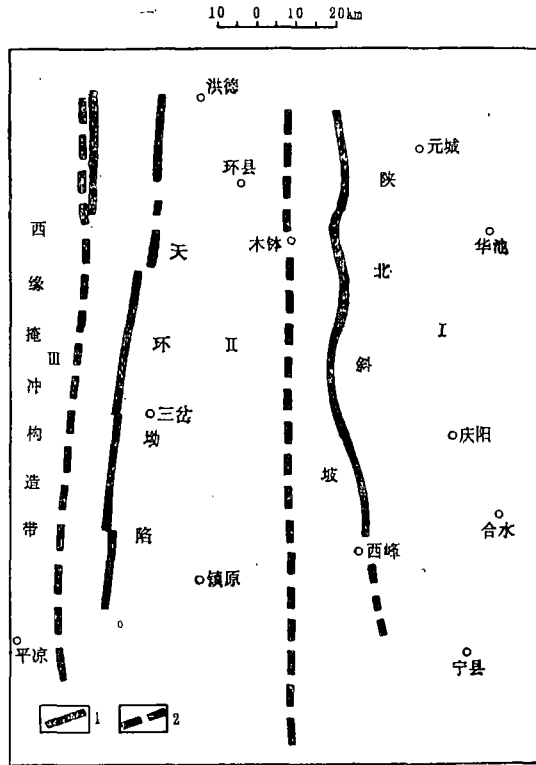


图 2 两种构造分区界线对比图
 1——本文分区界线, 2——长庆油田分区界线
 Fig.2 Comparison of structure boundary line

2. 北西向构造

主要发育于中部过渡带。区内共计有 3 条构造带, 大致呈等间距分布。根据影像特征分析, 各条均属扭性构造, 是六盘山断裂带与稳定地台之间差异运动的产物。

3. 近东西向构造

主要发育于西部, 规模小, 基本呈等间距分布。其中 F_8 和 F'_8 显示为色线, F_9 和 F_7 为结构线。形成时代晚于北西向和近南北向构造。

4. 北东和北东东向构造

北东向规模较小, 主要在东部稳定区发育, 多以结构线为主。北东东向 F_{17} 为一明显的色调界面线。地质资料提供的 F_{17} 的东南为渭北隆起^[2]。因此, F_{17} 也是一条构造单元的分界线。

5. F_{13}

在 6 月份的各波段图像上, 均有一较宽的呈弧形的色带断续出露, 纵贯南北。从 8 月

的 1:50 万 TM 彩色图像上可见,此带是由南北和北西两组线性构造组成,并被东西向或北东向构造切断。据图像分析,此带透水性好,宽度大,可能是一个深层的拉张带。

三、控油构造评价

现有石油地质资料(长庆油田)表明,在稳定区和过渡区内,中生代的石油储集层向西缓倾(近水平),断层极少,油气藏类型主要是地层油气藏或鼻状构造圈闭的油气藏。这两种类型均未涉及断裂构造。笔者认为,判断黄土以下的鼻状构造是很困难的,再者鼻状构造的形成亦多与断裂构造有关,因而抛开断裂,寻找单一的鼻状构造是不够全面的。

纵观国内各油田的油气藏类型,有不少属于断层圈闭的油气藏^[2]。这类油气藏无论层面倾角大小、一条或两条,也无无论断层与鼻状构造或含油层尖灭的关系如何,该圈闭断层的共同点是断层本身为封闭性的,即为一隔水和隔油性的断裂。这种性质的断裂构造,无疑对于预测油气田有着重要的意义。用遥感方法可以正确判定断裂构造的封闭性质。

1. 隐伏控油断裂构造的遥感分析

控油的断裂构造,首先必须是基岩或深层构造,其次还必须是封闭式构造。一般说压扭性断裂的阻隔性较好,易形成封闭式构造。仅通过遥感图像的目视判断判断隐伏断裂的力学性质是不可靠的,还需借助于其它的遥感信息进行分析。实践表明,遥感对土壤和黄土中含水量的变化极其敏感,充分发挥这一优势将是正确判断封闭性质的关键。

遥感图像上的色线或界面线,可能是土壤质地、性状及含水量变化的反映,也可能是地形线的反映。如果我们在同一土壤背景上,选择贯穿地形线的色线或界面线,这些异常色调的成因就排除了地形和土质等因素,而主要反映了深部的信息。封闭式(隔水性)或开放式(漏水性)构造有不同的形成机制,但都与大气降水相关。现以三条线性构造为例,说明如何用遥感方法判断其封闭性质。

(1) F_{11} 和 F_{12} 隔水性构造

此两条均为呈北西向延伸、贯穿地形线的暗色调线性构造。 F_{11} 在 5 月和 9 月份图像上反映明显, F_{12} 在 7 月份图像上显示清晰。据查显示清晰的时相均在雨后,而且在 MSS 的各波段图像上均为暗色调带,表明其为富水带。8 月份 TM 图像亦有显示,但因降雨区域不同, F_{12} 的显著程度相对较差。为探明 F_{11} 和 F_{12} 的实质,我们利用 TM 数字图像,作垂直于 F_{11} 和 F_{12} 的两条切线,读出两条切线的图像亮度值,并求出一定数量像元点的均值。

表 1 列出的为穿过 F_{11} 的北东-南西向切线各波段亮度值的均值。表中的 WS 为通过信息提取处理得到的新的亮度值,主要反映水分含量的多寡;LS 表示土壤的综合亮度。表 1 的数据表明, F_{11} 线上 TM1—TM7 和 LS 的亮度均值均明显低于线两侧的数据,唯有 WS 值明显高于两侧,充分说明 F_{11} 为一条富水带。此外,还可以看出, F_{11} 线北侧与 F_{11} 线的差值比西南侧的更为显著,这种现象表明 F_{11} 的隔水性构造倾向西南。

表 2 为穿过 F_{12} 线的北东-南西方向的切线。其中亮度均值显示的规律性与 F_{11} 基本相同。不同的是,西南侧与 F_{12} 线的差值较东北侧显著,说明 F_{12} 隔水性构造的倾向为

表 1 F_{11} 线内外亮度均值对比表

Table 1 Comparison of lightness mean values between F_{11} inner and outer

亮度均值	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TM7	WS	LS
西南侧(33个像元)	74.5	35.8	40.0	61.1	78.3	132.0	35.1	162.1	88.6
F_{11} 线(15个像元)	66.7	29.5	30.3	51.1	62.9	129.2	26.6	174.1	62.9
东北侧(33个像元)	79.6	39.8	47.5	67.6	88.9	132.4	42.7	152.1	106.4

表 2 F_{12} 线内、外亮度均值对比表

Table 2 Comparison of lightness mean values between F_{12} inner and outer

亮度均值	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TM7	WS	LS
西南侧(46个像元)	88.8	49.4	61.2	70.7	110.9	132.1	60.6	117.2	138.6
F_{12} 线(18个像元)	83.3	43.1	51.8	69.3	90.3	131.0	47.8	137.3	117.3
东北侧(46个像元)	83.9	43.4	54.5	64.2	96.2	131.6	49.3	141.1	114.2

东北。 F_{11} 与 F_{12} 两者展布方向基本平行,且倾向相反,此现象表明,它们可能是同时生成的地垒式构造。

隔水性构造的形成机制可解释为: 在雨后不久黄土中的饱和水向正常含水量过渡的时期内,由于基岩隔水性断裂上盘岩石中的含水量较下盘丰富,因而形成了潜水面较下盘为高的势态。这样,黄土中的水分向下渗透、运移的速度,上盘必然较下盘缓慢。从而导致在隔水性断裂上盘的沿(断裂)线,在短期内形成为富水带^[3,4](图 3)。

(2) F_{10} 透水性构造

该带位于平凉以北,为一呈北西向延伸的穿河谷和地形线的浅色调线性构造,长 80km 以上,宽 5—10km。在 6—8 各月份该部位久未降雨的 MSS4,5,6,7 各波段的图像

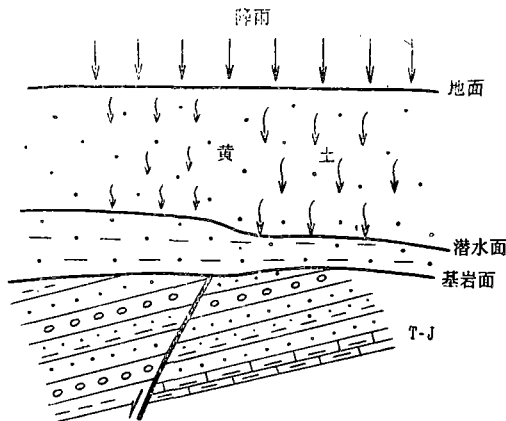


图 3 隔水性构造上部水分渗透示意图
(长的弯曲箭头表示黄土中水的渗透速率高, 短表示渗透速率低)

Fig. 3 Sketch map of water's seepage on water-resisting structure

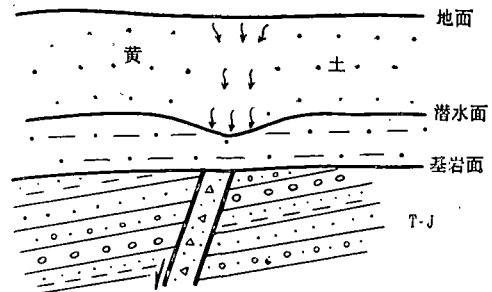


图 4 透水性构造上部水分渗透示意图
(弯曲箭头表示早期黄土中水分的运移方向)

Fig. 4 Sketch map of water's seepage on water permeability structure

上均呈浅色调。而在 1987 年 8 月 24 日的 TM 图像上,因该地区曾降雨,而未显示出浅色调, TM 各波段及 WS 的亮度值均未反映出其水分的变化。据此可以推断, F_{10} 应为贫水带的反映。这是由于久未下雨时, 遥感器感应的是黄土或土壤中保持的吸湿水和一定数量的毛管悬着水。后者可以由地下水面高的部位向低的部位移动。当基岩存在破碎带或漏水带时,该处可形成漏斗式的低潜水面,由此导致悬着水向下运移,而造成地面的贫水带(图 4)。当雨后不久黄土和土壤中的水分处于饱和状态时,漏斗处的贫水性尚未显示出来,因而在 8 月份的 TM 图像上 F_{10} 未显示出浅色调。

2. 控油构造评价

从上述不难看出,色线所表示的隐伏断裂构造有着重要的控油意义。研究区内已知的几个小油田的周边均存在或曲或直、或封闭或开放的一组或两组的色线或色调结构线。这也充分说明了上述对色线隔水性及其控油作用论断的正确性。此外,在评价线性构造的控油作用时,还必须强调色调线性构造与油气储集层的空间一致性,即只有在油气储集层内的隔水性构造才具有控油意义;同时还应参照遥感图像上色调型环形影像的分布进行全面分析,最终才能作出正确判断^[5]。

就研究区而言, F_{11} 与 F_{12} 呈地垒式隔水性构造,具有圈闭油气藏的条件,而且处于很好的石油储集部位,同时东段还分布有色调环形影像,因而是有希望形成较大油田的地段。其它与色线有关的地带,如三岔以北的三角区及镇原南部地区都可划为预测区。

参 考 文 献

- [1] 刘燕君,遥感找矿的原理和方法,冶金工业出版社,1991年。
- [2] 王尚文,中国石油地质学,石油工业出版社,1983年。
- [3] 徐启刚等,土壤地理学教程,高等教育出版社,1990年。
- [4] 李天杰等,土壤地理学,人民教育出版社,1979年。
- [5] 刘燕君等,遥感图像上的油气晕,环境遥感,7(1),1992。

EVALUATION OF BURIED OIL-CONTROLLING STRUCTURE IN LOESS REGION BY REMOTE SENSING METHOD

Liu Yanjun Jin Lifang

(Institute of Remote Sensing, Peking University)

Abstract

This paper presents the marks for recognizing the buried faults in loess region, and the four types of buried faults have been classified: 1. bed rock faults 2. new structure or inheritance structure 3. dyke-rock or dyke swarm 4. deep structure. Based on above classification, the regional structure pattern and the third grade structure unit, which are different from the traditional concepts, have been proposed. According to the types of oil-gas reserve theory and the structural background in study region, it is suggested that the water-resisting structure entrap oil-gas reserve as oil-controlling structure. Then the three buried faults are taken as examples to explain the features of R. S. information of water-resisting structure or water permeability structure and their forming mechanism. At last, the three oilfields have been predicted in the work region.

Key word Remote sensing Buried fault Oil-controlling mechanism