

地下构造的地貌表征及其在油气勘探中的应用

党振荣

(华北油田地质勘探公司, 河北任丘 062552)

以张性块断活动为主要表现形式的中国东部油田,包括渤海湾盆地和蒙古—兴安裂谷盆地群等,地下构造往往具有良好的地貌表征。由于盆地基底的高低起伏和年轻盖层厚度变化造成的差异压实、构造运动的长期继承性发育,为地下构造和地貌之间建立了必然的内在联系,这使地貌资料在对地下构造解释中具有实用价值。

国内外都有把地貌用于油气勘探并取得成功的生动事例,尤其在勘探后备战场的前期准备阶段,对盆地(或坳陷、或凹陷)的含油气性进行早期评估时,地貌资料可以用来查明盆地的平面展布范围和规模大小,进而判断盆地的线性地质结构,包括 I、II 级主断层、生油洼槽、构造带、直至局部构造以及用于沉积相分析等。这对于准确的油气勘探战略决策和部署,保障工作量和资金的重点投入,提高勘探成效,无疑是十分有益的。

关键词 裂谷盆地 地貌 油气勘探
作者简介 党振荣 男 58 岁 高级工程师 石油地质

1 一种有价值的探索

本文提出了一种利用第四纪地貌来参考与判断地下构造的可行性,并探索其在石油勘探中的实用价值。

近年来,随着现代科学技术的发展,国外已经试用遥感技术,通过研究地表异常来勘探石油。美国科学家 N. M. Seote 介绍了他们在阿纳达科盆地所取得的两项重要成果:第一,利用资源卫星图象勾划出了含油盆地范围、地下构造的线性格架。它比之使用钻井资料甚至野外勘察所找到的线性构造要丰富得多,生动得多。第二,从卫星照片图象中直接发现了数种类型的地表异常,其中占绝大多数的属于地貌-地形异常和朦胧异常。实践证明,这两种异常类型与地下构造和油气田有高度的相关性,如表 1 所示。

N. M. Seote 强调指出:①某些异常见于埋藏深达 2400~4200m 产油构造的上方,而在地层圈闭之上则罕见。“地表与地下的关联性是如此之强烈,以致于必须承认地表效应与下伏石油构造之间存在着某些内在的关系”,“诸如一个背斜构造,覆盖在它上面的年轻地层是不均匀的,这是导致地貌异常的重要原因之一。②阿纳达科盆地的西部放牧区“异常”发育得最好,在盆地东部耕作区则不易找到。③当进行地表勘察时,异常区始终与砂质土壤的局部分布

表 1 阿纳达科盆地地表异常
与已知油气田的相关程度

地貌、色调和朦胧异常	秋季调查结果
异常总数	76 个
与油气田吻合的异常数目	59 个
与无工业油气的地下构造的吻合数目	11 个
与油气田或地下构造不吻合的异常数目	6 个
与油气田或地下构造相吻合的异常	地貌异常 37 个中的 33 个 朦胧异常 35 个中的 33 个 色调异常 4 个的 0

区吻合。
从上述实例中可以看出,从卫星照片上所圈划出的 76 个地表异常中,就有 70 个和地下构造对应相关,占 92%,其中含油构造又占 84.3%;在 37 个地貌异常中,有 33 个与地下构造对应相关,占 89.2%,可见地表异常对地下构造反映是如此的清楚!这就增加了人们进行这一探索的兴趣。
在笔者工作过的广袤的蒙古—兴安裂谷盆地群、渤海湾盆地的黄骅坳陷和冀中坳陷,从盆地与周边、坳陷与隆起、凹陷与凸起、洼槽和构造带、甚至某些局部构造,常常表现出清晰地貌特征。虽然大自然的改造及迄今为止几千年来的人类活动,已经使地表的原来面目发生了不少的变化,不可能有如同柴

达木盆地山前坳陷那样好的地表显示,然而,由于地下构造等内在因素的制约,使大自然和人为的改造作用相形见绌、或者仅限于一定范畴之内,未使第四纪地貌所提供的参考价值丧失殆尽,这就为我们研究构造的地表效应力提供了线索。

2 在中国东部油区地下构造具有明显的第四纪地貌表征

2.1 解剖一个“麻雀”

任丘油田是冀中坳陷中部埋藏适中、面积较大、发育典型的大型的古潜山油田,其第四系地貌是一个走向北北东 25°的长条形低梁子,南北长约 25.0 km,东西宽 3.5~6.0km,相对高程由绝对海拔 6.80 m 到 10.48m,轴线在任 25 井—观 3 井—观 2 井—观 1 井—任 23 井一带,西坡狭窄而陡,东坡宽缓徐徐倾没。内部有 5 条明显的浅沟,其中 I、II、III 号浅沟均属北西或北西西向,IV、V 号浅沟为北北东向,它们把统一的任丘低梁子分割成 5 个小包子,以 1、3 号包较高,海拔高程达 10.48m,2 号包较低,为 9.70m,其具体形态如图 1。该图系采用单井绝对海拔高程,围斜选用了国家测绘部门 1:25000 地形图测点标高编绘而成。

我们拿任丘古潜山构造图(图 2)和任丘地区第四纪地貌图相比,可以看出二者之间具有良好的相似性,并可对地貌形态作出如下相应的地质解释(见图 3):①两者外形很相似,均呈北北东延伸,潜山顶面构造线和现代地形等高线的布局 and 变化是一致的,北端窄而尖,南端宽而钝。②和潜山高点沿任丘断层、河间西断层排成两串相对应,地貌正异常也排成两串,第一串包括 1¹、1²、2¹、2² 和 2³ 5 个高点,分别与任北和任十五潜山山头相对应,第二串有 3、4 号两个高点,是任 4 和任 9 井山头的反映。地下构造和地表异常的相关性如表 2。③地貌图上还有 5 条浅沟,浅沟出现在 1、2 号地貌高点之间,相当于地下构造中①号断层的位置所在。浅沟 III 位于 2² 和 2³—3 号异常之间,和任⑤号断层对应。浅沟 IV 见于 3、4 号地貌高点之间,是任⑥号断层的地表效应,浅沟 V 是任 4 号断层的反映。河间西主断层北段插入任丘潜山带南部,落差已变小,其地貌表现不大明显,从 4 号地貌高点西到浅沟 IV¹,似乎可解释为该断层的表征。在任丘断层以西,发现好几处地貌低异常,显然是主断层下降盘的任西断槽之所在。

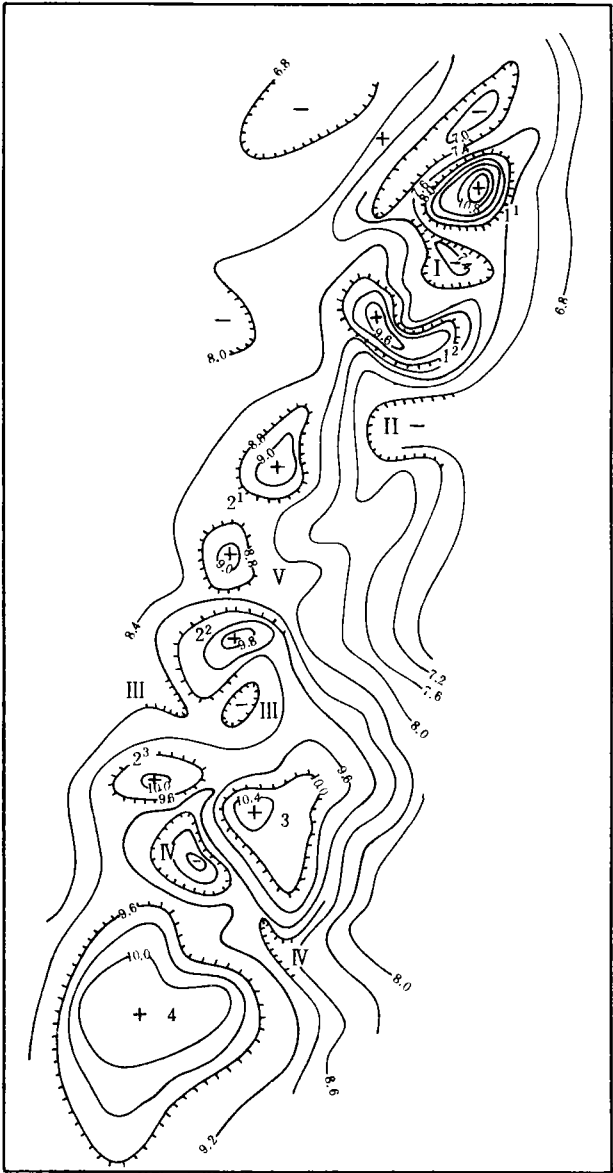


图 1 任丘油田地貌异常图

表 2 任丘潜山与地貌的对应关系

地表异常	平面形态	面积(km ²)	绝对海拔(m)	对应的地下构造
1 ¹	近三角形	5.0	10.90	} 任丘古潜山头
1 ²	东西向长条形	8.0	9.70	
2 ¹	椭圆形	2.0	9.12	} 任 15 井潜山头 ?
2 ²	圆形	4.0	10.20	
2 ³	东西向扁圆形	1~2.0	10.20	
3	土豆状	5.5	10.48	任 4 井潜山头
4	桃心状	13.0	10.21	任 9 井潜山头

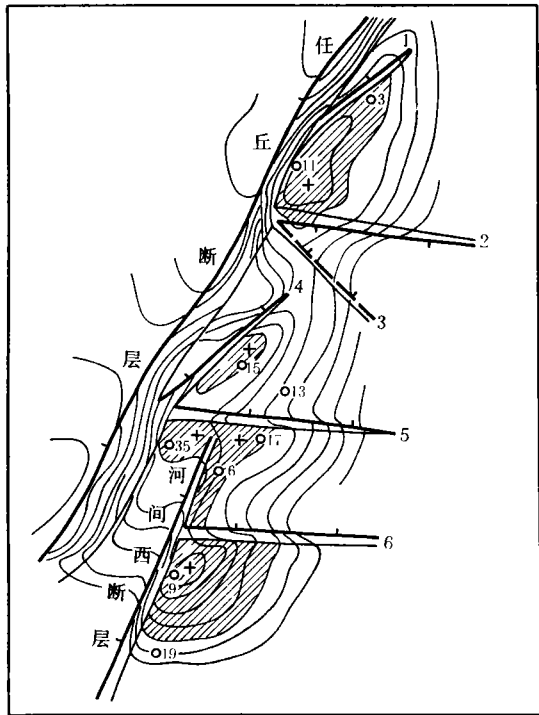


图2 任丘古潜山构造图
底图系由本院油田地质研究室
编绘,断层关系作了局部修改

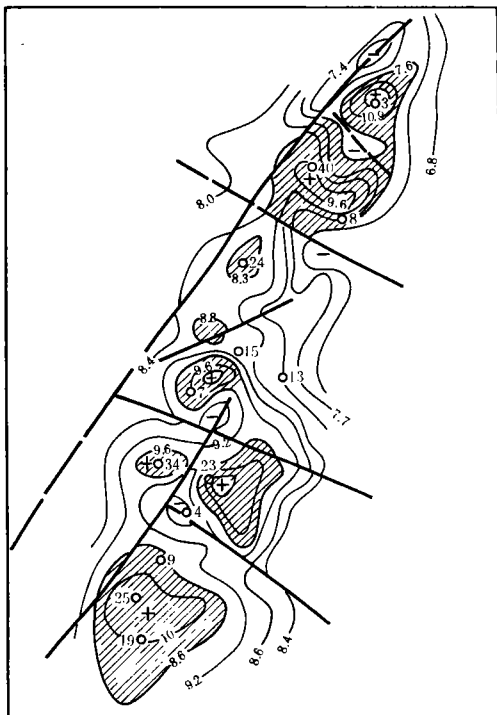


图3 任丘地区第四纪地貌的地质解释

其实,任丘的地貌在历史上早有明确记载。据唐史:任丘城东部和西部地形较高,多布流砂,白天在阳光下“闪烁进金光、照耀万家室”。在任丘附近当时有九十九淀,较大的有白洋淀、五官淀、掘鲤淀、芦胡淀,到了清朝,可考者仍有30多处……赵北口南扒头堤渡口,为汇水东流之咽喉,水面宽阔,有十二连桥。汉元帝初年,一个姓任的中郎将埋葬于此,“任丘”由此而得名……。由上述一些零星资料可以想象当时任丘地区的自然界观是:县城附近为高地,砂质土壤局部分布,这是地下构造高部位的所在,周围湖泊成群,水域浅而广阔,代表了任西、白洋淀、出岸、郑东、肃宁、河间西等断槽处所发育的浅水湖泊,碧水环“山”,可称作“凹中之高”,在旧社会自然是埋葬的“风水地”,至于“地势高的细砂地”,在阿纳达科盆地用作判断地下构造的地表异常标志。从唐代到今约一千年,任丘地区的自然面貌发生了重大变化,上述景观渐向消失。可以设想,如果利用地方志史料能将唐代的高地斜坡、河溪湖泊位置作一恢复,其总体面貌和我们目前所用的任丘地区基岩顶面构造图更趋相似。

2.2 地貌表征具有普遍性

就笔者曾工作过的渤海湾盆地和蒙古—兴安裂谷盆地群等地区来看,大至盆地,小到正向构造带,甚至局部构造,地下地质结构所反映出来的地貌表征,具有明显的普遍性。

宏观来看,冀中平原的水系河谷,虽已都进入宽U型河床的老年期,难免易渠改道,但其流向、分布,仍与地下构造格架关系密切。如区内较大的滹沱河近东西走向,基本上和石家庄—衡水大型基底断裂带的位置吻合;大清河从徐水方向流来,注入白洋淀,在这里与海河—东淀汇流,其位置和徐水—安新大型基底断裂密切相关;子牙—滏阳河三改其流向,都未脱开地下构造线的控制。如果将冀中平原的河流位置叠在构造图上,二者的线性相关就得更清楚了。

坝县凹陷是受牛东大断裂控制而形成的一个箕状断槽,所对应的地表是一大面积洼地,久雨则涝,雨晴后,积水逐渐沿河沟排出或渗入地下,若每隔几天绘制水线位置,结果你将发现水线等值图和凹陷的构造形态图十分相似。

沿牛驼镇凸起,地面上表现为高地形和砂壤土分布区。凸起的围斜低部位及毗邻凹陷区是亚粘土

分布区,第四系表面是未成岩的粘土和分选极差的砂子,当地貌高部位表层粘土被风力搬去以后,砂子遗留下来,局部出现砂土是地下构造正向异常的间接标志,这和阿纳达科盆地构造高点以上对应出现砂壤土是一致的。

黄骅坳陷濒临渤海,其海岸线随地下正、负向构造的间互排列而弯曲摆动,凡地下为正向构造者(含三级构造),如塘沽、北大港、南大港、羊二庄等构造上方,海岸线均向海域凸出去,与歧口凹陷和初次洼槽相对应的岸线则向内陆弯曲,使每个纵贯海、陆的二、三级构造,在这里都留下清楚的地貌表征。

地貌资料不仅在宏观上控制盆地、坳陷和凹陷

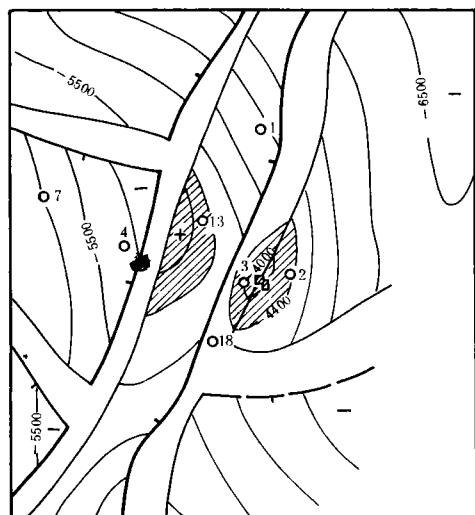


图4 郑州潜山构造图

埋藏深度居中等、构造顶面在3000m的白庄子潜山发现井喷油后,按陆上地震资料所编绘的构造图,曾认为构造高点在白洋淀岸边,淀水内还有半个构造。但是雁10井以北很快进入水域,近岸水体深达5.0m之多,与之并列的刘李庄构造近岸水深仅1~2m,根据这种地貌特征并结合重、磁、电资料,笔者曾预测白庄子古潜山构造高点就在淀2井附近,白洋淀岸线即为构造的倾没部位,水下不存在半个构造,这和后来水上地震队补作新测线之后的结论以及打井结果是一致的。

地下构造埋藏越浅,地貌显示就越清楚,牛驼镇凸起上的马庄残山处在地表之下1000m的浅层,面积很小,幅度只有几十米,地貌异常甚明显,仅有的

的形态与规模,在研究地下地质结构和构造单元划分甚至局部构造判别中也已有实用价值,郑州潜山深埋在地下4000m处,是个小构造(图4),却也有良好的地表效应(图5),郑州东边的王约村,地面上有一个小土包,绝对海拔高程为7.7m,它正是郑东潜山的反映,二者不仅仅位置相当,而且形态相似。在地形图东北方,有个向南伸出的舌状洼地,那是郑东洼槽的位置所在。对应于郑西断层上升盘的主断棱,地貌上呈线性高异常,人们利用了这种地形特点,有十多个村庄一个接一个沿地貌高异常带分布,而对应于大断层的下降盘和构造倾没部位地势低洼,人少烟稀。

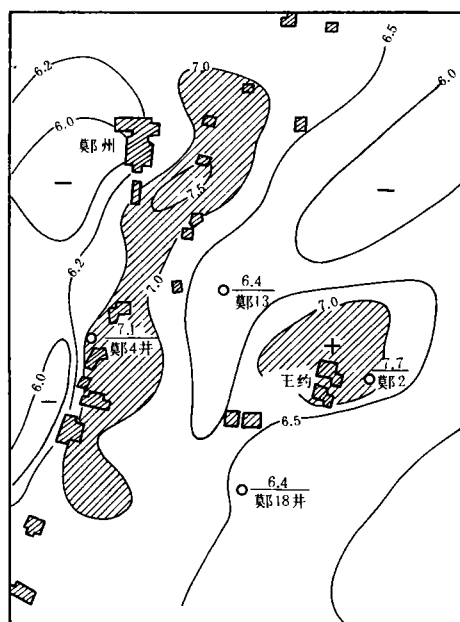


图5 郑州地形图

一口工业油流井坝28井正好位于其高点上,向四周地势下倾变低。

黄骅坳陷齐家务背斜T₁层平面构造像一付眼镜,有两个高点,幅度很低,中为浅鞍,地面平缓低洼,分两个小自然村分别居地势稍高的土丘上,与地下两高点正相对应,只在村子打的井见到沙一下油层和获得工业油流,鞍部的“连片井”落空。

2.3 在理论上,地下构造与地貌现象具有必然的内在联系

深埋在地下的构造,其所以出现地表效应,究其原因,主要和以下几个方面有关:其一,受盆地基底

形态的控制,成为由基岩断块体掀斜翘倾运动所产生的一系列主断裂、“山头”和“断槽”镶嵌排列的构造格架的反映;其二受盆地内年轻盖层沉积物不均衡分布的控制,在不同构造单元之上覆盖的年轻沉积物厚度的横向变化及其在成岩过程中不同程度的差异压实作用在地表的反映;其三是构造运动的长期继承性活动的制约。以研究程度甚高的渤海湾盆地为例,从深层到浅层,包括盆地基底顶面形态图、渐新统各个组、段的构造图、中新统底面构造图和上第三系+第四系地层等厚度图,它们的主断层、洼槽和构造,都有十分良好的相似性,只是平面上位置稍有偏移而已。

构造变动是使地下构造长期继承性发育并形成第四纪地貌的内在因素。渤海湾盆地曾历经了燕山、喜山两大构造旋回,每一旋回又以地壳的多次序振荡分为若干幕,均以块断运动为基本特点,一次接一次地发生,从来就没有停止过,新构造运动至今仍在继续进行。后一次构造变动总是在前一次构造形迹基础上的继承和发展。由受盆地刚性基底高低起伏不平的构造格架的控制和盆地内年轻沉积物的厚度不同导致的成岩差异压实作用,是形成地表效应的后天性外部原因。内因与外因的结合最终必然表现为地貌异常这一综合效应,并由此可以把这一规律推演到地质条件相同的几乎整个中国东部油区。

3 地貌资料在油气勘探中的应用

3.1 地貌资料的收集

地貌资料的收集可采用如下办法。

在有条件的情况下,向有关单位收集研究区的大比例尺地形图、水文资料、卫照、航照等,这是最直接最基础的地貌资料。在使用地形图时,比例尺至少要达1:10000。并注意将基准点、地物点和地形点数据分开来,以防出现混乱。如有兴趣,还可以进行以下调查。

(1)野外实际踏勘。踏勘路线要沿着可疑构造的横切方向,穿越全部构造单元并向两端延长,要仔细观察各种地貌现象,寻找异常位置。任丘城东西向的裕华街正好对应地下潜山构造的横剖面,笔者曾经从街东头即潜山东翼斜坡倾没端,骑人力车西行,一路缓上坡,上到市医院附近地形最高,也正是潜山高点,再向西地形忽然降低,坡度变大,是任西断层的断槽所在。

(2)必要时可作工区地形测量,并结合单井实测海拔高程编绘大比例尺地形图。进行这一工作时要注意和排除后期的地形改造。使用单井高程时要互相验证,防止未作折光差校正的数据引起错觉。

(3)工作区的水文史料和人文地理调查也是必要的。通过查阅地方志或访问当地居民,调查河流古道、潜水面高低、雨涝季时的水线位置、自然排水速度、房舍基础、村址变迁,甚至水质土质、农作物生长情况等等。

十多年间,笔者曾经乘车多次踏勘工区的地貌表征,随时随地注意各种地貌资料的观察分析,认识逐深,饶有兴味。

3.2 地貌资料在油气勘探中的应用

对应于不同的油气勘探阶段,地貌资料的应用范畴和所要解决的地质问题可以归纳为以下3个层次。

一查盆地的范围、规模大小和平面形态,这在二连探区十分有用。华北油田所辖的二连探区属蒙古—兴安裂谷盆地群的一部分,在十多万平方公里范围内已查明的白垩系中小盆地有51个,它们一般呈单断箕状结构,平面形态狭窄而长,长宽比1:3~1:8,周围被侏罗系、古生界山丘分隔包围,目前在9个盆地中获得了工业油流,建成上百万吨原油生产基地。还有几十个盆地没有投入钻探,为进一步扩大勘探成果,首先面临着后备战场的优选问题,规模大而形态宽阔的盆地,无疑具有诱人的勘探前景。

20世纪80年代初,二连探区完成了全区1:20万重、磁、电勘探,受资料采集密度的影响;盆地的半地堑型结构导致的空间位置偏移,尤其是资料整理、解释中的人为因素,给盆地范围和形态的控制不可避免的带来影响。近两年作为拿储量重点目标的洪浩尔舒特盆地,1992年根据二维地震联络线反射波向西倾没,怀疑盆地向西扩大,逐布线向西延伸,并在盆地加密测线,结果发现了西洼槽,扩大了东洼槽。1995年发现西洼范围仍不准,又布线进行控制。1996年东、西洼出油后,经深入研究,又发现东洼槽范围不准,1997年又布线查边界、控范围,反回头来看,按该盆地的今地貌来界定,就可以一目了然的控制全盆地范围、规模和形态,为一次性准确的二维地震部署提供可靠依据。

同样的问题发生在包尔果吉和布日敦盆地,通过1993年的那次排队,曾认为它们连通成“统一凹陷”,被优选为重点后备战场,1994年根据重、磁、电

资料,统一部署二维地震详查,实施过程中,发现其规模和形态与原认识有明显变化,原认为的深洼变浅了,只得作紧急调整。

二连探区地貌资料以其直接准确的判断盆地展布范围、规模大小和平面形态,弥补重、磁、电资料的偏差和不足,对于盆地初评和优选,无疑具有重要价值。对于整个内蒙—兴安裂谷系在我国境内已发现的84个盆地和蒙古共和国境内的一批盆地今后油气勘探,都是适用的。

二查盆地地质结构,地貌资料在判别盆地、坳陷、凹陷的线性结构和对它们的勘探前景进行早期评估、优选中,具有重要应用价值。

二连探区的中小盆地,乃至渤海湾盆地的坳陷和凹陷,它们的内部地质结构、包括一、二级主断层,断槽和正向构造带,与油气勘探密切相关。作为同是裂谷成因和以掀斜翘倾构造形态为基本特点,其内部结构可概略分成两大类:一是单一半地堑型,二是半地堑被复杂化了的“盆岭式”结构型。勘探实践和理论上都表明,属“盆岭式”结构者具有良好的成藏条件,是油气勘探的重要目标。其中的一、二级主断层是造成盆地内部构造分异的基本条件,在断根部位发育的洼槽,就是沉降中心或者沉积中心,一般也是油气生成的场所。在有多个洼槽出现的情况下,首先要把主洼槽挑选出来。断层越大,断陷越深的是主洼槽,如宝饶、洪东、马西、老堤—新镇等,主洼槽控油的理论已被公认,它的生油条件最好,资源丰富,控制着油气的分布范围和富集程度。位于生油洼槽内部和与之毗邻的正向构造单元,包括潜山、背斜、主断棱型构造带等,是整装油气藏聚集的场所,如任丘、坝县二台阶、南、北大港、包尔、吉格森、蒙古林—小阿北构造带。

上列构造形迹,在地貌上一般都有清晰的形态和轮廓,甚至表现出像任丘潜山油田那样惊人的相似,同时也可以直接看到相关的地貌表征:对应于主

断层上升盘的断棱位置,地表上呈线性低梁子,洼槽处是低地、沼泽、U型曲流河、盐碱化……,与地下构造对应的是高地、土包、砂壤岩相、秋季枯草…等。总之,地貌资料在这里具有可信的应用价值。甚至能纠正和防止重力、磁法、电法资料的“粗放”和误差,查明盆地、坳陷、凹陷的内部地质结构,从这一基本地质角度出发,对盆地的勘探前景进行早期评估和优选,框定有利勘探方向和范围,为正确的勘探战略决策、地震部署提供一种依据,使我们在勘探前期准确阶段就能做到目标明确、重点突出、有的放矢的加大重点探区的实物工作量和资金投入,以期尽早取得成功。

三查局部构造,随着地震勘探的实施,给局部构造的解释提供了精细的资料。但当地下条件过于复杂造成地震资料品质过差,或者由于地表条件无法地震施工时,地貌资料对于局部构造的解释,仍不失其应用价值,阿纳达科盆地和前述的一些油藏实例就是证明,包括埋藏在深层、中层和浅层,规模大和较小的构造。此外,地貌资料在沉积相分析上也许有一定的借鉴作用:例如一条横贯洪东洼槽的小小河流,不知继承了多少年代,它竟然和努格达油藏的砂砾岩主力储层的物源和砂体展布有着良好的吻合。

尽管如此,本文仍然提议,在地貌资料应用中,要注意与重、磁、电资料的配合;要注意参照地下构造模式来综合解释效果更好;也要注意地下构造位置在地表的偏移。随着勘探程度加深,综合应用就更加重要。

(收稿日期:1997年8月7日)

参 考 文 献

- 1 Seote M M. 遥感在矿产勘探中的应用. 石油实验地质, 1978, (3)
- 2 吴华元等. 潜山油气藏. 北京: 石油工业出版社, 1982

TOPOGRAPHIC EXPRESSION OF SUBSURFACE STRUCTURES AND ITS APPLICATION IN PETROLEUM EXPLORATION

Dang Zhenrong

(*Geological Exploration Company, Huabei Oilfield, Renqiu 062552*)

Abstract

East China oil province, with block faulting as its main structural expression, consists of Bohai Wan basin and Mongolia~Xingan rift basins, whose subsurface structures usually show good topographic expression. The differential compaction due to the relief of basin base and thickness change in young cover rocks, and long development of inherited structures result in an internal relation necessary between the subsurface structures and their topographic expression. Thus the information of topographic expression is useful for the explanation of subsurface structure.

There are vivid examples of petroleum exploration success with the application of topographic information both home and abroad. Its application is particularly significant in a preliminary petroliferous estimation in a basin (or a depression or sag) during the preparation of a back-up campaign of exploration. Topographic information can be used to ascertain the plane spreading scale and size of a basin, further to determine the linear geologic structures of the basin, including classes I & II major faults, oil-generating depressed trough, structural belts as well as local structures, and to analyse sedimentary facies. Undoubtedly, it may be helpful for making a precise strategic policy and plan of petroleum exploration, and determination of working and financial amounts, and for a higher rate of exploration success.