

深部含油气性问题

T. B. Белокопъ

(俄罗斯)

摘要 以科耳瓦深部水平井(7 057 m)、提马诺—伯朝拉深部示范井(6 904 m)和秋明超深井(7 502 m)为例,探讨了深部液压条件、含油气性、岩石的储集性能、油气源岩和布井等问题。认为进行深部油气勘查是解决未来俄罗斯补充能源的方向之一。

关键词 深部 深井 超深井 含油气性 布井

根据“1993~1995年及2000年前发展矿物原料和地质工作的俄罗斯国家计划”,对正在开发利用浅部烃类资源的俄罗斯大部分地区来说,解决深部含油气性问题显得越来越重要。钻探深井和超深井是提高地质勘探工作效益的组成部分之一。最近几年,在俄罗斯几个大的含油气省内,钻了许多深井和超深井,获得了丰富的理论和应用性资料。

本文旨在总结根据提马诺—伯朝拉含油气省和西西伯利亚含油气省深井和超深井资料提供的深部含油气性调查结果。文中涉及的井共三个:科耳瓦深部水平井(井深7 057 m)、提马诺—伯朝拉示范井(6 904 m)和秋明超深井(7 502 m)。

1 地质构造

要评价一个地区的深部含油气性,首先必须掌握该区的地质构造。

(1)科耳瓦深部水平井对认识伯朝拉—科耳瓦坳拉槽(提马诺—伯朝拉含油气省古生界的一个主要构造单元)的地质发育史提供了重要的修正资料。其中,下泥盆统的厚度比预测的大4倍,上志留统的厚度大2倍,也就是说,处于科耳瓦大长垣带上的古坳陷年龄比预测的更古老(早泥盆世)。用常常呈多马泥岩型的粘土沉积物和碳酸盐岩—粘土沉积物进行减压补偿,沉积物孕育着很高的含油气替势。这样,就从根本上改写了关于深部烃潜势的预测理论。

(2)提马诺—伯朝拉示范井钻在古生界陆源碳酸盐岩剖面上。该剖面在泥盆系罗赫科夫阶与艾斐尔阶发育区下部,厚度很大并呈现为粗玄岩层状体。这比原先预测的要古老一些。现已查明,原先与沉积壳层岩性地层界面视为同一的反射地震层,实际上赋存在侵人体内。

(3)秋明超深井不仅证实了对下普尔大坳陷内三叠统沉积成因的预测,而且还提供了与地球物理资料相反的有关剖面分层性的补充证据。证据证明了裂谷型构造有利于火山岩发育,但没有证实对深部4 000~7 500 m深度磁活动本身发育的预测。

这样,从上述三个井的情况可以看出,没有一个所获资料与预测的深部地层剖面相吻

收稿日期:1999-10-11

合。于是,人们对以前所作的深部含油气性预测就不能不产生怀疑。如果深井或超深井钻在区域地球物理调查相对好的地方,那么对地球物理学家来说,就可取得更丰富的实际资料,以便进行对深部界面性质认识的对比。至于对深部构造的预测,则需在设计钻井阶段依据现行假设仔细研究地质构造的模型。

2 温压条件

通过井温测量查明了深井和超深井剖面上目前的温度。为了得到客观的数据,需要采用大量的不同地区的钻井信息。图1示出了秋明超深井的最高温度值。在该超深井的井底,温度高达210℃。对深井温度梯度变化资料的分析结果表明,实际温度和预测温度值很接近。

解决古温度测量问题有赖于综合方法。然而,当在剖面上能够观察到镜质体时(如秋明超深井),古温度就主要靠镜质组的反射率来确定。这是对正常深度岩石有机质在演化改造阶段采取的最常用的方法。结果显示,不同调查者完成的测量结果的差异是如此之大。(例如巴热诺夫组从演化中期1级到该期3级),以至于为了取得有机质演化的分布资料,不得不采用对有机质的全套化学—沥青学和微岩石学研究方法,还采用了红外光谱学方法,以及有机质的热解方法等。大家知道,早在研究世界沉积盆地的最深井(美国俄克拉何马州的贝尔塔—罗德热尔斯1号井)时,人们就曾怀疑仅用镜质组反射特殊性来确定深部有机质成熟度的这种作法。同时,在深井和超深井的设计阶段,解决浅层演化分带性的校正测量和将这种分带性扩展到深层的问题,有助于更有把握地预测深部岩石的含油气潜势。

关于预测深部层压问题,在科耳瓦和提马诺—伯朝拉含油气省进行得比较顺利。在科耳瓦深井,异常压力系数 K_a 达到了1.42,而在提马诺—伯朝拉超深井中,该系数则大大超过了静水压力(图1)。在秋明超深井,按预测模型计算,到阿契莫夫层将出现异常高层压,到深部5 000 m以下,层压恢复,接近静水压。可是实际上,直到井底面 K_a 值才开始升高并达到1.8。对陆源岩的现行预测方法揭示了深于5 000 m的计算值和实际值的不一致性。当钻到6 500 m以下的岩浆岩时则发现,通常使用的方法已不适用。通过分析超深井的深部层压变化资料认为,在预测高层压时必须考虑下列因素:①区域性质;②随着深度的增加有无恢复静水压的趋势;由底水控制的异常高层压的发育一般具有分段性。在科耳瓦深井和秋明超深井的异常高层压带出现了层间水矿化度降低的现象,并发现了含有大量甲烷的气显示,且储气层在6 000 m以下。这些都是我们在制定深层找气标准和评价深部异常高层压时必须认真考虑的。

3 含油气性

在上述三井4 000 m以下均发现了含油气性的直接标志(图1)。直到接近5 000 m即深成作用中期4级阶段,不同强度的油显示才告结束。在此深度范围内,岩石的沥青化程度急剧减弱。深于5 000 m后开始出现不溶固态沥青。这种沥青不同于可溶有机质,其在一般溶剂里不被溶解,被称为不溶沥青(焦沥青)。埋深最小的焦沥青始见于提马诺—伯朝拉深井的泥盆系,其赋存在侵入带内。在科耳瓦深井和秋明超深井,焦沥青的出现深度为5 500~6 000 m,相应的现代温度分别为<150℃和165~175℃,虽然异常高层压很发育(此高层压常常破坏油的稳定性),但这些温度比原先预计的一些石油裂解的实际温度要低一些。

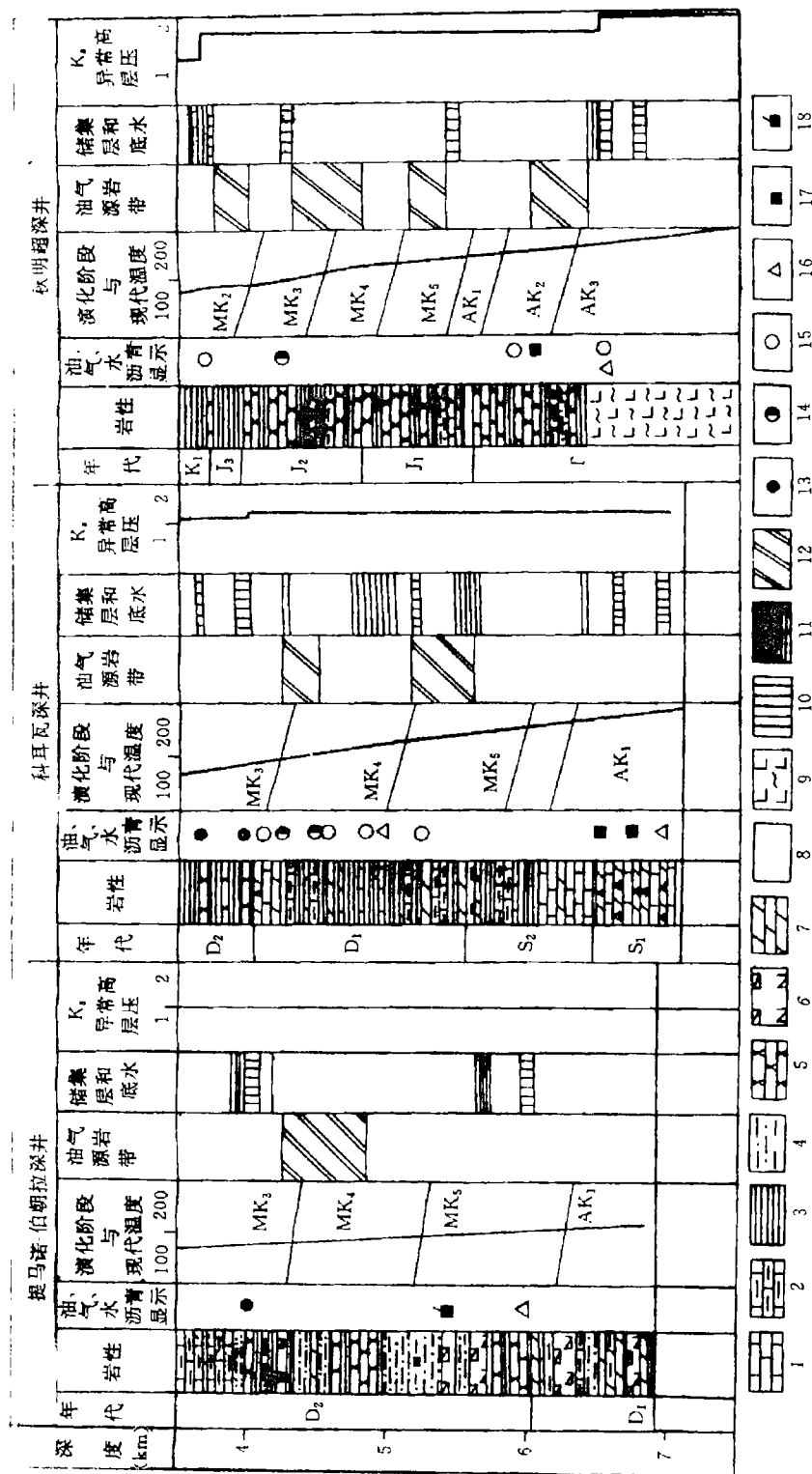


图 1 提马诺-伯朝拉和西西伯利亚含油气省深井和超深井调查结果

1. 灰岩; 2. 泥质灰岩; 3. 砂岩; 4. 粉砂岩; 5. 砂岩; 6. 粗玄武岩; 7. 白云岩; 8. 硬石膏; 9. 玄武岩; 10. 储层发育带;
11. 盖层; 12. 高产能的烃源岩带; 13. 油藏; 14. 油显示; 15. 气显示; 16. 水显示; 17. 固体沥青; 18. 侵入岩带固体沥青
- AK₁, AK₂, AK₃—深成作用晚期 1 级、2 级、3 级 (译者注)
MK₁, MK₂, MK₃, MK₄, MK₅—深成作用中期 1 级、2 级、3 级、4 级、5 级 (译者注)

有意义的是,在秋明超深井,不溶沥青发育带特别是在该带的上部,沥青的份额竟占到10%。

焦沥青的特性,例如在数量、结构方面的许多特性,高含硫和富轻碳同位素($\delta^{13}\text{C} = -31.06\text{‰}$)等特性,使我们可以这样假设:在科耳瓦深井剖面志留系碳酸盐岩层,焦沥青就是那些被热解和氧化还原作用破坏了的油藏的残余物。因此岩石的含油潜势很微小。被破坏了的那些油藏的成因与下伏层烃的向上运移有关。下古生界和元古界的油富轻碳同位素是众所周知的。

无论是科耳瓦深井,还是秋明超深井,在5 000 m 以下均有气显示。从6 650 m 开始在岩浆岩中获得了含气的矿化水,气体成分的80%以上是甲烷。对深井和超深井的天然气调查采用了综合研究手段(除天然气测井和研究甲烷碳同位素组成外,还研究了吸附于岩石封闭孔隙和开放孔隙中的气体)。这样可以发现天然气的许多新的分布规律。

热解有机质过程中,在90℃温度作用下取得参数 S_0 值的岩心经常保存在极低或零度以下。值得注意的是,随着深度的增加,吸附在沉积岩内的深部吸附甲烷气(200℃热解后取得)的量也大大增加。

从深成作用中期4 级阶段开始,封闭孔隙中甲烷的含量也具有随深度增加而增大的规律趋势。图2 还示出了按第聂伯-顿涅茨超深井有机质丰度计算的岩层气体的分布,其结果与秋明超深井的结果相同。在4 000 m 深度以下,主要是腐殖型有机质。这一点与科耳瓦和提马诺-伯朝拉深井的情况不同,在后两者的此深度主要是腐泥型有机质。这些资料可作为成气带发育的证据。而且上述调查井的记录,还指出一条向深部延伸的成气带。

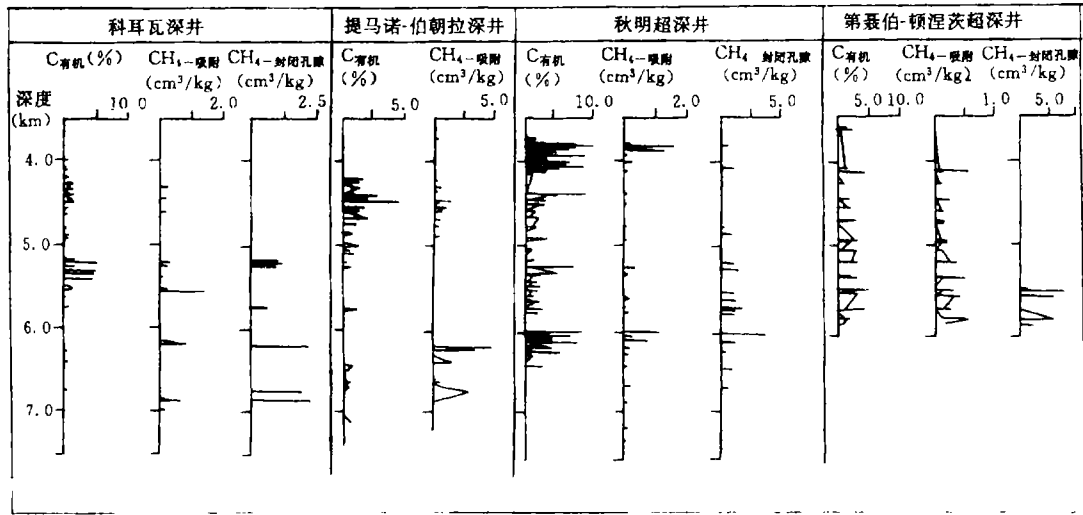


图2 深井和超深井深部封闭孔隙中的和岩石吸附的甲烷分布

相对烷烃同系物而言,各井甲烷的份额随深度增加而普遍增加。在秋明超深井侏罗系和三叠系发现了大量甲烷(图3)。从6 622~6 636 m 处取得的8885 号样品含甲烷最多(106.7cm³/kg)。该样品是从三叠系岩浆岩中取得的,比原先预测的成气带位置要深一点。

通过秋明超深井查明的下普尔大坳陷深部带具有很高的甲烷丰度,和已知的赋存在该带边缘上部层位的超大型气田——乌连戈伊气田的高富气现象,说明二者是一种相互关联的现象。对这一现象深入认真研究必将有助于解决超大型气田的成因问题。已经证实:6 000 m 深度以下的甲烷碳同位素值与从阿契莫夫阶(该阶甲烷富重碳同位素)开始的所有异常高压带的甲烷碳同位素值接近。这种现象涉及到许多问题,有待进一步深入研究。秋明超深井还尚未完井,任何一个关于为认识深部甲烷性质而进行的任何专业调查方面的实际建议都是有益的。

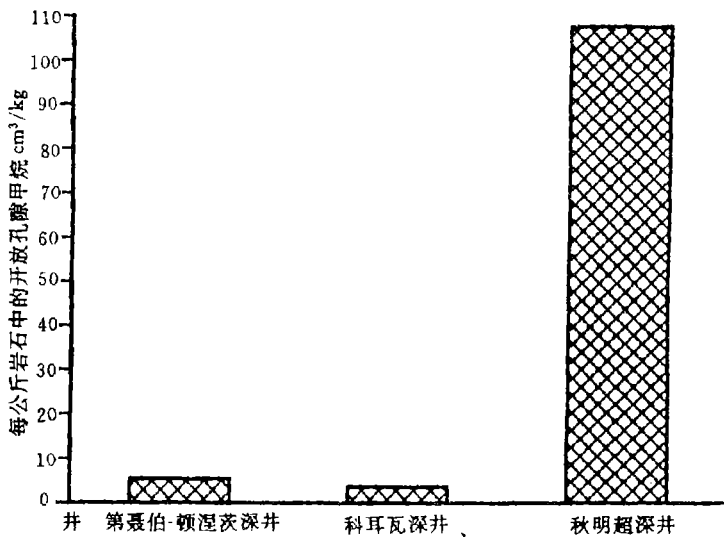


图3 深部地层(>4 km)开启孔隙中的甲烷含量

4 岩石的储集性能

毫无疑问,发现深部储集层是超深钻探的最主要成果。许多描述岩层储集性能随深度增加而变差的统计模型没有得到证实。关于深部存在储集层的最有说服力的证据是试验结果。例如,通过对科耳瓦深井 6 890~6 906 m 深度志留系复杂构造碳酸盐岩储层的试验,得到了富含硫化氢、矿化度为 190/l 的水。在秋明超深井 5 000 m 以下深度的沉积岩层和 6 550 m 以下的强变质玄武岩层里,都发现了孔隙度值很高(达 17%~19%)和渗透性很强的储层发育带。

深部发育有储层这一现象是罕见的,但却是广泛分布的,并有它自身的规律。Л. В. 西洛琴科根据国内外深井和超深井调查结果,详细研究了深部储集层的发育,并总结出深部储层形成的模型。在深部储层形成过程中,起主导作用的是所谓的重力未压实主带。这种重力未压实主带在不同区域不同深度段上均有发育。其具有下列特性:①孔隙型储层的发育比上部层段少得多;②孔隙度和渗透率急剧降低到最小值;③发育深度与物质组成无关。在重力未压实主带之下,当最强的重力作用消失之后,地球动力作用以及与之相关的热物理学、热动力学和水文化学作用在提高储集性能上开始发挥积极作用。上述四种作用因素需要根据深井和超深井资料作详细研究。确定重力未压实主带和成油成气主带在发育空间和时间上的关系将具有重要意义。

5 油气源岩

油气源岩的标志诸如物质组成特性和高的有机质丰度等,在鉴别深部油气源岩时依然有效。在高演化条件下,腐泥型有机质的有机碳丰度可达 5%(科耳瓦深井,深成作用中期),

腐殖型有机质的有机碳丰度则可达8%~10%甚至更高(秋明超深井,深成作用晚期)。

深部油气源岩预测问题与解决深部构造问题密切相关。在秋明超深井三叠系和提马诺—伯朝拉深井泥盆系,巨厚岩浆岩的发育削弱了所预测的层位的含油气潜势。此外,在科耳瓦深井剖面的志留系,尽管属不利的岩性—岩相条件(在这里发现了低粘土质和低含碳的硫酸化白云岩和灰岩),但在深于6 000 m的岩层里也有极小的含油气潜势。

在科耳瓦深井剖面的5 100~5 600 m区段,多马尼岩型的下泥盆统含油潜势最大(在烃类资源评价中,未用体积一成因法),根据许许多多的成因标志,上覆岩层对这里的含油潜势可能贡献不小。秋明超深井剖面的下一中侏罗统含气潜势最大。埋深最大、产油气最多的油气源岩再一次发现于三叠系普尔河组的秋明超深井剖面上。

按常用的指标(含沥青性和有机质热解数据),4 500~5 000 m以下大部分油气源岩潜势消耗在含油性上。故而这一部分源岩当属于旧的源岩范畴。可是油气潜势并不是随深度的增加而均匀的增大或减小,而是随岩性的变化而变化的。例如当同生或后生沥质含量升高时含油气潜势就会消耗殆尽。

在深井和超深井的布井方面也存在理论根据问题,应当深入讨论。上述深井和超深井钻在地壳上部层位含油气性好的深拗陷内。科耳瓦深井布在哈里雅根大油气田,提马诺—伯朝拉深井钻在西索普列斯凝析气田,秋明超深井钻在超大型气田——乌连戈伊气田以东60 km处。也就是说,布置这三口井时首先依据有机质生烃理论,注意到了深拗陷内有强的生烃作用。其次依据烃的深源理论,考虑到了浅部与深部含油气性之间的联系。同时,研究这些理论,在钻这几口井前就应当预见到,在油上不会有大的发现。钻井前,由那些对深部含油气性持不同假说的代表以科学的和求实的观点认真地讨论了在含油气区钻深井和超深井的建井计划。

最后,需要说明的是,含油气区深井和超深井调查所获得的丰富信息要求我们将深部含油气性问题由理论上的争论转到实际解决未来俄罗斯补充能源的勘查问题上。

参 考 文 献

- 1 Маленевский В. Н. Фомин А. Н. О глубинной зональности нефте-газообразования. Геология нефти и газа. 1997. (7):47.
- 2 Аксенов А. А. Перспективы Нефтегазоносности больших глубин. М.: Наука; 1985.
- 3 Мазур В. Б. Тюминская сверхглубокая скважина (0~7502 м). Результаты бурения и исследования. Пермь; Звезда. 1996.
- 4 Price L. C., Clayton J. L. Reasons for and significance of deep, high-rank hydrocarbon generation in the South Texas Gulf Coast. In: Gulf Coast Oils and Gases Proceeding Ninth Annual Research Conference, Gulf Coast Section, 1990. 105~137.
- 5 Price L. C., Clayton J. L., Rumen L. L. Organic geochemistry of the 9.6 km Berta Rogers No. 1 Well. Oklahoma Organic geochemistry, 1981, (3):59~77.

史斗 译自 Геология Нефти и Газа, 1998, (6):13~20.