

库车坳陷异常高温在气层发现中的应用

张 博¹, 李江海¹, 俞莹滢², 曹 波², 袁克学², 苏兆红²

(1. 北京大学地球与空间科学学院, 北京 100871;

2. 塔里木油田公司外事办, 监督中心, 新疆 库尔勒 841000)

摘要:在库车坳陷天然气勘探中, 由于目的层段上覆膏盐岩厚度变化大、钻井液密度高使得在该区天然气勘探中卡取层位、发现气层十分困难。从天然气藏的高温异常成因、特征出发, 根据目前库车坳陷预探井在钻井中普遍应用综合录井仪, 能够对井底温度进行连续测量的生产技术条件, 结合库车坳陷古近系—白垩系目的层段主要为高压天然气层的实际, 充分利用气层温度异常高的特点, 通过对地层温度的连续监测, 对地层变化进行了及时、准确地预测, 卡准了地层、发现了气层, 解决了生产中的难题。

关键词:异常高温; 天然气层; 地温; 导热率; 库车坳陷

中图分类号: TE132.1⁺4

文献标识码: A

文章编号: 1672-1926(2009)05-0703-04

库车坳陷位于塔里木盆地北缘, 为一中生界再生前陆盆地。勘探证实库车坳陷是一个天然气富集区, 该区天然气藏具有埋深大、压力高的特点。气藏之上一般为巨厚的膏盐岩、泥岩盖层; 由于该层厚度变化大, 分布不均, 地震信噪比低, 深度、厚度难以预测, 在生产中导致难以卡准膏盐岩底界, 直接影响了气藏的发现和生产安全。

1 异常高温及其成因

1.1 异常高温的定义

一般条件下, 地层温度随着埋深增加而加大, 常采用地温梯度来描述这种增加幅度。

地温梯度: 是指地下埋深每增加 100 m, 地层温度增高的度数, 用下列公式表示:

$$G_T = 100(T - t) / (H - h) \quad (1)$$

式中: G_T 为地温梯度, $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$; T 为测温点的温度, $^{\circ}\text{C}$; t 为恒温带或当地大气的年平均温度, $^{\circ}\text{C}$; H 为测温点的深度, m ; h 为恒温带的深度, m 。

针对某一具体地区的地温梯度是一常数^[1]。

随着埋深加大, 地层温度变化符合式(1)时, 此时的地层温度为正常地层温度, 反之则为异常地层温度。

1.2 异常高温的成因

在含油气盆地内, 岩石的导热能力和油气层的分布是导致地温异常的主要因素。

岩石的导热能力: 物体相邻部分由于温度差异发生能量迁移叫做热传导。热传导的基本定律为:

$$\frac{dQ}{dt} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2)$$

式中: $\frac{dQ}{dt}$ 为单位时间内流过截面 A 的热量; $\frac{dT}{dx}$ 为温度梯度; k 为比例常数, 即热导率^[2], 反应了物质传导热量的能力, 不同物质, k 值不同。

针对某一岩石, 热导率大, 传导热量的能力强, 因而在相关岩层剖面中所测到的地温梯度大。如岩石的导热率小, 则情况相反。表 1 中列出了几种岩石和流体的导热率。

从表 1 中可看出碳酸盐岩热导率小于碎屑岩, 从而可以解释在同一盆地中, 碳酸盐岩分布区具有较低地温梯度的原因。

油气的分布: 一般认为, 油气是有机成因的, 只有当温度升高到一定程度——达到生油门限温度时, 有机质才开始生成油气^[3-4]; 并且有机质裂解为烃类的过程是一个放热过程, 气藏内压力的增加, 进一步促使了热异常的形成。在碎屑岩盆地中, 作为

表 1 几种岩石和流体的导热率(据陈碧玉^[1],1987,换算)

编号	物质	导热率(J/(m·℃·s))	编号	物质	导热率(J/(m·℃·s))
1	地壳平均	1.68	6	白垩	0.84
2	花岗岩	1.68~2.10	7	石灰	0.12
3	玄武岩	2.18	8	碳酸镁	0.10~0.11
4	砂岩	2.31	9	石油	0.15
5	板岩	1.91	10	20℃的水	0.60

含油气的砂岩层段,相对盖层的泥岩、膏泥岩属于热的良导体(表 1),故而热量易于在此聚集,形成高温异常。

2 异常高温的应用

2.1 气藏发现中的应用

在相同构造区(排除构造影响条件差异),同一

目的层段,地温变化特征为含油区高于不含油区,气藏区的温度又高于油藏区(图 1)。高压气藏一般都被厚层泥岩所覆盖(在库车坳陷对应于巨厚的膏盐岩、泥岩段),其导热率低(借鉴表 1 中板岩、白垩的导热率),一般温度较低,应在正常地温范围内。含气层则温度较高,高于该区正常地温,因而当温度出现一个异常高时,可以判断即将钻达气藏。

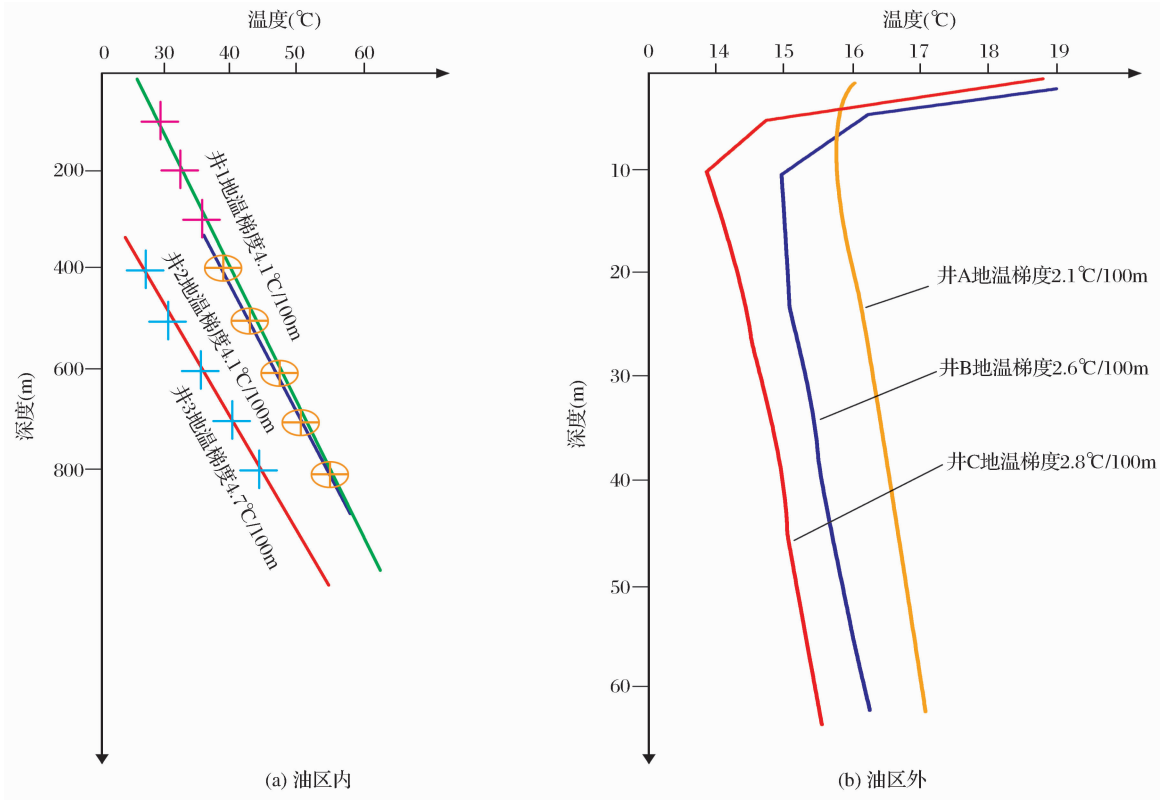


图 1 含油气区与非含油气区地温梯度对比(据陈碧玉^[1],修改)

2.2 构造类型识别中的应用

在同一局部构造例如背斜构造内,由于地层具有非均质的导热率,顺层面热流比垂直层面易于传播。当地层倾斜时,沿层面和垂直层面二者之合热流将偏向地层的上倾方向,导致背斜热流聚敛;而向斜热流分散。所以,钻达同一目的层的不同探井,根据温度的变化,不但能落实是否钻达了气层,而且能够初步确定钻达的构造位置。同时利用钻达同一油

气藏的不同探井钻井液温度差值,可初步判断构造类型。因为构造的地层倾角越大,热量就越容易从深部传导到浅部(图 2)。

3 库车坳陷异常高温在气层发现中的应用

库车坳陷为中生界再生前陆盆地,早期长期缓慢浅埋藏,后期快速深埋藏,整体上地温梯度较低。坳陷西部井深 6 500 m 处实测地温为 123℃,坳陷东

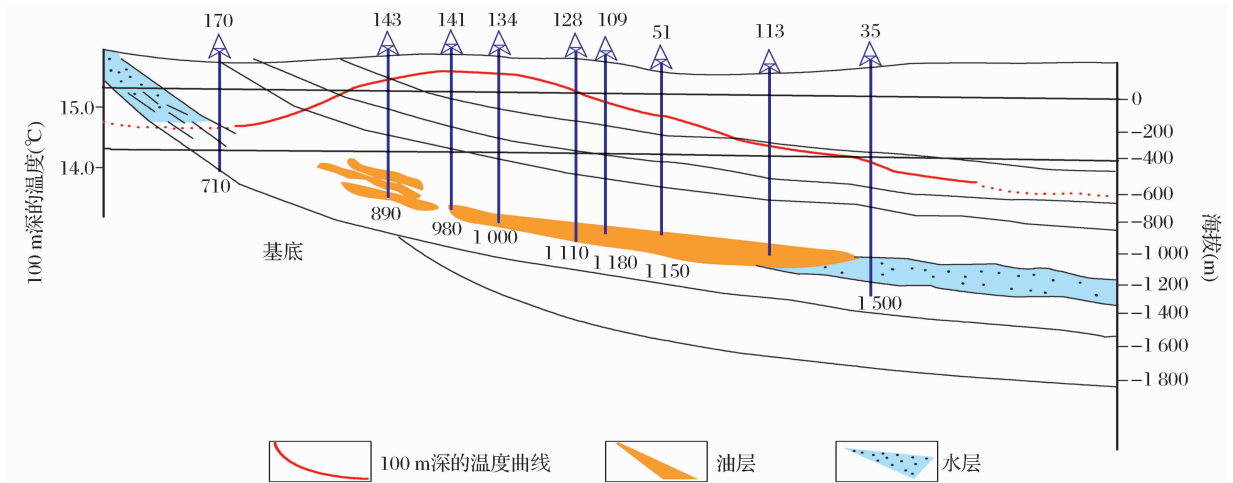


图 2 俄罗斯什罗卡盆地油田地温剖面(据陈碧玉^[1],1987)

部井深6 300 m处实测地温为 152℃,远远小于正常演化的沉积盆地^[5]。整体上表现为一个“冷盆”。

3.1 可行性论证

目前地层温度的获取可以通过测井、随钻综合录井仪器 2 种方式获得。测井测得的是井底的实际温度,但连续性差。综合录井仪器虽然能够进行连续测量,但测量的仅是钻井液温度的相对变化^[6]。其过程可用式(3)表述。

录井仪器井口实测钻井液温度=井底实际温度

—钻井液上返过程中损失温度

(3)

一般应用测井资料来求取不同深度地层的实际温度和温度梯度。结合录井温度,从而可连续获得不同井深的温度变化。由于钻达气藏后,地层温度一般都有所升高,反映到录井温度也会有一个相对高值。所以当录井温度突然升高时,可能表明已经钻达了气层。

3.2 实例分析

大北气田是位于库车坳陷克深构造带西部的一个高压气田,目的层段为古近系底部砂砾岩段及下白垩统砂岩,盖层为新近系及古近系膏泥盐层。该气田

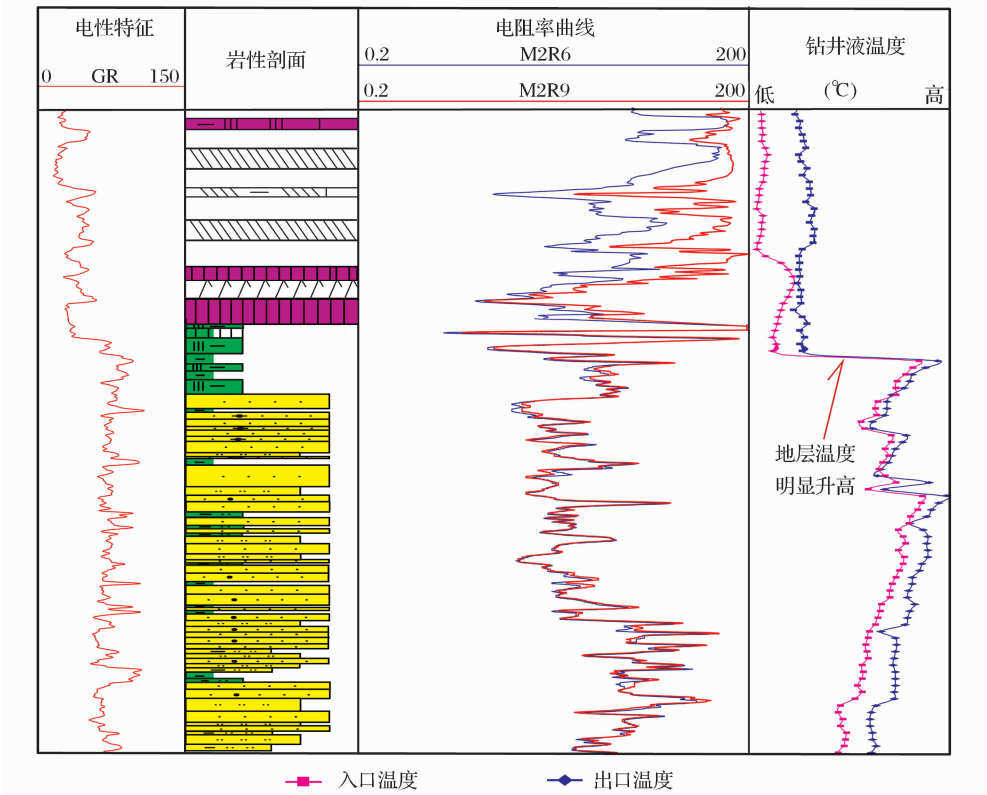


图 3 DB102 井地层岩性、含油气性与钻井液出口温度关系

具有埋藏深、压力高的特点,埋深普遍大于5 000 m,该区地层复杂,目的层之上具有多套压力系统,气藏之上覆盖有厚达千米的膏盐岩,但其厚度、分布范围却毫无规律可循。地震预测深度误差大,不同井之间膏盐岩厚度差可达千米,井间对比困难,应用常规方法难以及时发现气层。通过观察地层温度变化,及时、准确地发现了气层。

例 1:在大北气田的 2 口探井 DB102 井、DB103 井,通过利用温度变化准确地发现了油气层(图 3,图 4)。DB102 井,在上覆厚度达 1 000 m 的膏泥岩段盖层中,钻井液温度曲线呈线性(图 3)。由于膏盐岩的导热率低[由于缺乏膏泥岩的导热率参数,所以用同

属于蒸发岩类的石灰、碳酸镁替代(表 1)],属于热的不良导体,而下伏含气砂岩段属于热的良导体,热量在此不断聚集,导致了含气砂岩段温度持续升高—形成了异常高温。受此高温影响,在即将钻达气层前,钻井液温度突然上升,变化幅度远远大于该区地温梯度趋势,表明即将钻达油气层,实钻与预测吻合(图 3)。

例 2:DB103 井上部的膏盐岩段在钻探过程中,钻井液出口温度一直维持不变,呈直线状(图 4)。在钻达井深 A 处时,出口温度突然上升,根据变化幅度,预测将在 50 m 内钻揭高压气层,在随后的生产中,该预测得以证实(图 4)。

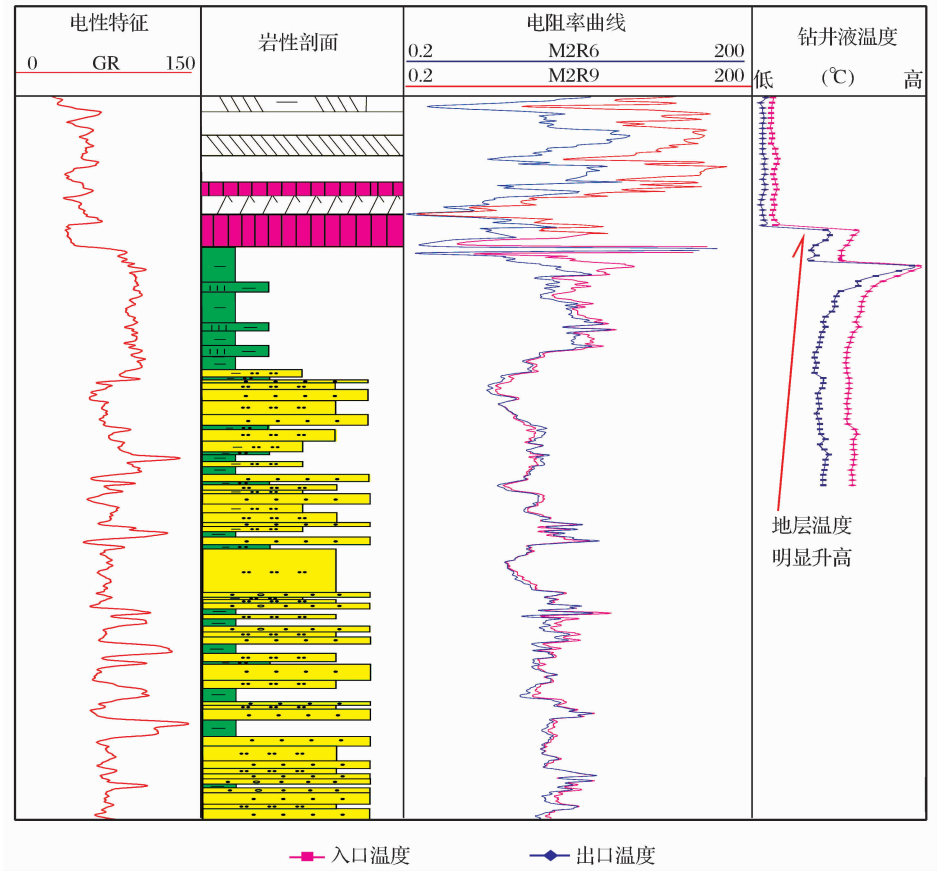


图 4 DB103 井地层岩性与钻井液出口温度关系

4 结 论

可利用油气藏的异常高温特征,指导下一步的勘探。经过 2 年来的生产实践、验证取得了良好效果,提高了地层对比、油气发现率。结合生产实际,具体应用表现在以下 2 个方面。

(1)及时发现可能的油气层,特别是气层。在库车坳陷,目前主要勘探目标为天然气藏,具有埋深大,压力高的特点,钻井生产中风险大,难以控制钻井液

密度。密度偏大,破坏了产层;密度偏小,容易导致事故。但利用地层的异常高温,能够对气层进行预测,及时调整相关工作。兼顾了钻井生产与油气发现这对矛盾。

(2)在库车坳陷目的层段一般位于巨厚的膏盐层段之下。但膏盐岩分布范围、厚度变化巨大,难以卡准其底界。利用异常高温特征变化,圆满解决了该问题,提高了地层对比的精度。