

doi: 10.11720/wtyht.2017.6.30

邱礼泉, 刘东明, 孔广胜, 等. 温度测井在东北冻土区天然气水合物勘查中的应用[J]. 物探与化探, 2017, 41(6): 1215–1219. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.6.30>

Qiu L Q, Liu D M, Kong G S, et al. The application of temperature logging to the gas hydrate resource exploration in permafrost areas of Northeast China [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(6): 1215–1219. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.6.30>

## 温度测井在东北冻土区天然气水合物 勘查中的应用

邱礼泉<sup>1,2,3</sup>, 刘东明<sup>1,2,3</sup>, 孔广胜<sup>1,2,3</sup>, 李洋<sup>1,2,3</sup>, 冯杰<sup>1,2,3</sup>,  
林振洲<sup>1,2,3</sup>, 贾定宇<sup>1,2,3</sup>, 欧洋<sup>1,2,3</sup>

(1. 国土资源部地球物理电磁法探测技术重点实验室, 河北 廊坊 065000; 2. 国家现代地质勘查技术研究中心, 河北 廊坊 065000; 3. 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 河北 廊坊 065000)

**摘 要:** 冻土厚度是影响永冻区天然气水合物形成及分布的重要因素, 准确地划分多年冻土层底板深度对东北冻土区天然气水合物资源勘查具有重要意义。文中利用温度测井曲线对冻土层的响应特征, 建立了地温模型, 并对研究区的 8 个天然气水合物勘查孔的实测温度曲线进行了研究, 结果表明: ①温度测井曲线在冻土层底板处存在明显的拐点, 拐点以上曲线斜率小于拐点以下曲线斜率, 可用于准确划分冻土层底板深度; ②钻孔涌水或井液平衡时间太短, 会影响温度测井的准确性; ③日照时间长短影响冻土层发育深度。

**关键词:** 天然气水合物; 温度测井; 东北多年冻土; 地温模型; 冻土深度

**中图分类号:** P631.4

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000–8918(2017)06–1215–05

### 0 引言

天然气水合物是在低温高压下形成的一种主要由甲烷和水组成的似冰状结晶化合物, 是一种规模巨大、能量密度高的潜在新型能源, 广泛分布于海底沉积物和陆上永久冻土带。国外学者已先后在美国的阿拉斯加北坡、加拿大的马更些三角洲和俄罗斯的西西伯利亚等冻土区发现了天然气水合物, 与之同属高纬度冻土区的黑龙江漠河盆地也具有形成天然气水合物的良好条件<sup>[1]</sup>。

地球物理测井是天然气水合物资源勘查的有效手段, 其中温度测井能够直接反应冻土层内、冻土与非冻土界面处的温度变化, 而冻土厚度是影响天然气水合物形成及分布的最重要因素, 因此研究如何准确识别冻土层底板深度对天然气水合物资源勘查

具有重要意义<sup>[2]</sup>。

2010 年起, 中国地质调查局在东北冻土区实施了以天然气水合物资源勘查为目标的科学钻探工作, 完成了 8 个冻土验证孔的温度测井。本文基于温度测井资料, 对研究区冻土层测井响应特征进行了总结, 确定了冻土层底板深度的测井识别方法, 并对研究区冻土层厚度进行了评价, 旨在为研究区天然气水合物资源勘查评价工作提供依据。

### 1 研究区概况

研究区位于黑龙江省大兴安岭地区漠河县北部, 处于东北永久冻土带的漠河盆地内, 区内 8 个冻土验证孔的布置见图 1。该区年平均气温为  $-4.8 \sim -5.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 冻结期长达 7 个月左右, 地表温度约  $-0.5 \sim -3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , 地温梯度约  $2.2\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$  左右, 这一地区

收稿日期: 2017–09–08

基金项目: 国家 127 专项“天然气水合物资源勘查与试采工程”项目 (GZHL20110321, GZHL201400303); 国家高技术研究发展计划 (“863”计划) 课题“金属矿小口径地下物探技术与设备” (2014AA06A608)

作者简介: 邱礼泉 (1964–), 男, 高级工程师, 主要从事综合地球物理测井技术研究工作。

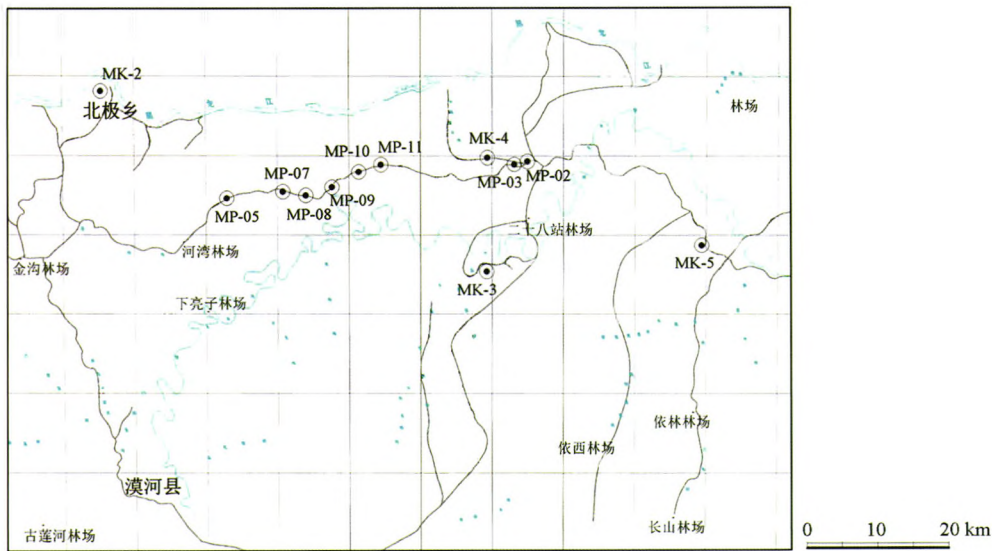


图 1 漠河研究区钻孔位置

的永久冻土厚约 20~80 m,最厚可达 140 余米。这不仅与已发现天然气水合物的我国祁连山地区极为接近,而且也与西伯利亚 Yamal 半岛永久冻土带推测的天然气水合物发育深度相当,具有天然气水合物形成的冰冻条件<sup>[3]</sup>。

2 井温数据采集及其影响因素

2.1 数据采集

在本工区井温测量中使用高精度井温仪,采用点测的工作方式进行数据采集,点距 1.0 m,自上而下逐点观测。实施测量时钻孔终孔时间超过 24 h,井温探头在每个测点停留 6 s 以上,使温度传感器和井液之间的温度达到充分平衡后再采集数据,确保所测温度准确。

2.2 影响温度测井的因素

在实际井温测量中,由于钻探施工扰动、钻孔中涌水漏水、地层裂隙发育、破碎带、温度未达到平衡等原因,造成井温曲线形态发生变化,同时也存在测量时间的随意性,影响了井温测量效果,从而无法判断准确的冻土层深度,也不能得到准确的地温梯度。

2.2.1 钻孔涌水对温度测井的影响

图 2 是 MP-05 孔实测井温曲线,在进行该孔井温测量时,钻孔涌水量较大,实测的井温曲线形态与其他钻孔的井温曲线形态完全不同,可以根据曲线形态大致推断冻土深度,但这样推断的冻土深度偏差较大,要小于实际深度。

2.2.2 平衡时间对温度测井的影响

为探讨钻孔终孔后井液平衡时间对井温的影

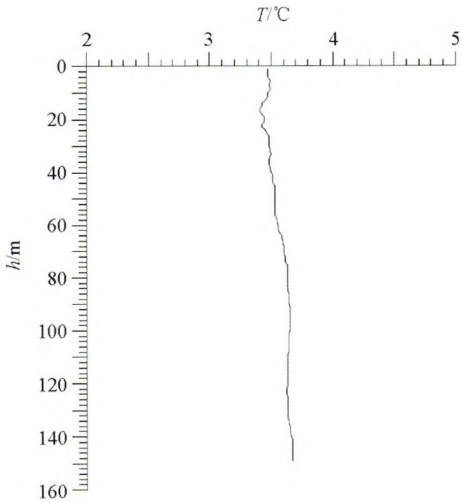


图 2 MP-05 钻孔涌水情况下的井温曲线

响,笔者对 MP-02、MP-03 和 MP-07 等 3 个钻孔进行了长期温度观测。图 3 是 MP-02 孔终孔后不同时间观测的井温曲线(由于塌孔,从 8 月 18 日开始只能测到 81 m)。该孔于 2014 年 7 月 25 日终孔,温度测井在 7 月 26 日到 10 月 28 日之间共进行了 7 次测量。由图可见,井温随终孔时间的增加,井温越来越低,并趋于稳定。

图 4 为 MP-02 孔中 15、35、50、80 m 处井温随时间变化曲线,由图中可以看出,终孔后 20 天内井温快速降低,然后井温的降低速度越来越慢,到终孔两个月左右井温基本趋于稳定。

综上所述,井温测量测的是井液的温度,由于钻探施工扰动、地层破碎涌水、钻孔中井液对流和平衡时间较短等因素,使实测的温度与原始地温有一定的差值,在季节性冻土和永久冻土层上偏高,在非冻



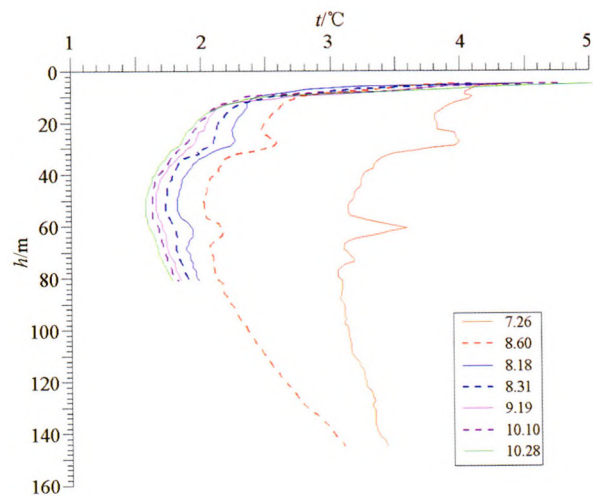


图3 MP-02孔多次测量井温曲线

土层上偏低。从而导致季节性冻土层厚度偏厚,永久冻土层厚度减小。

3 测井响应特征及冻土层底板识别

3.1 温度测井响应特征

通过对研究区 7 个钻孔的实测井温曲线分析,发现井温曲线整体上呈“C”形,即井温曲线在井口附近(0~12 m)温度显著下降,接着温度下降变缓并逐渐接近稳定,而后温度逐渐上升,最后趋于线性升高(图 3、图 7)。

基于以上冻土层的测井响应特征,在季节性冻土、永久冻土、非冻土层的简单模式下,设计了温度曲线识别冻土层的地温模型。假设每年的最低温度、最高温度和年平均温度(低于 0℃)不变,且地层岩性单一、成分均匀的情况下,地温曲线如图 5 所示。图中紫色曲线为冬季低温对冻土层(包括季节性冻土和永久冻土)影响最大时的地温曲线;橙色曲线为夏季高温对冻土层(包括季节性冻土和永久冻土)影响最大时的地温曲线,此时无季节性冻土,A 点为永久冻土层顶界;蓝色和红色曲线分别为冬季最低气温和夏季最高气温时的地温曲线。图中各曲线在 B 点以下重合,表示此点以下的地温不受地表温度影响,地温随深度的增大而升高,曲线呈一定斜率的直线,BC 段的斜率的倒数即为地温梯度。冻土层导致地温降低,使得 B 点以上曲线斜率小于非冻土层段的曲线斜率,据此判断 B 点(拐点)为永久冻土层底界。

3.2 冻土层底板识别

图 6 是温度测井的实测井温曲线。由图 6a 可见蓝线上下井温曲线的斜率明显不同(上面较小),

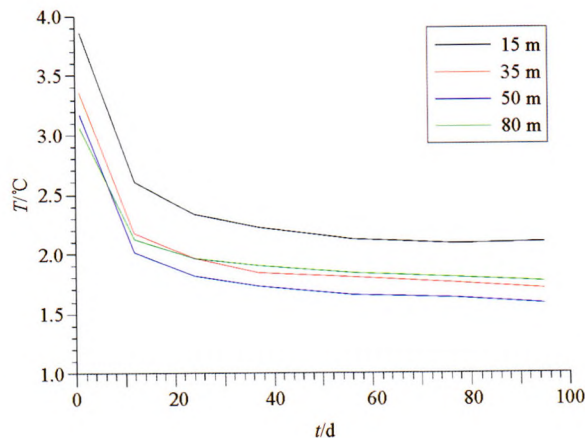


图4 MP-02孔井温—时间变化曲线

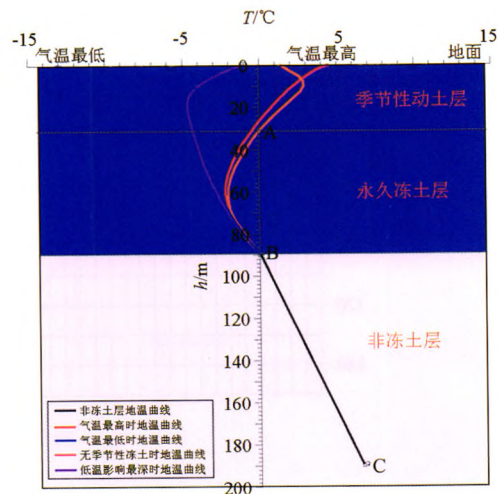


图5 漠河冻土区地温变化示意

参考地温模型,采用拐点法推测该孔的冻土深度为 136 m,冻土层温度值高于 0℃是由于钻探施工扰动、孔中破碎涌水及井液对流造成的。由图 6b 可见从蓝线开始往上温度快速下降,说明冻土层的存在使井液温度降低,推测该孔的冻土深度为 96 m。

图 7 为 8 个冻土孔实测井温曲线。参考地温模型,直接利用井温曲线推断工作区各钻孔冻土层深度结果见表 1。

| 表 1 各冻土验证孔冻土深度统计表 |        |                  |
|-------------------|--------|------------------|
| 钻孔名称              | 冻土深度/m | 备 注              |
| MP-02             | 133    | 涌水               |
| MP-03             | 120    | 涌水               |
| MP-05             | 74     | 涌水量大,推断的冻土深度误差较大 |
| MP-07             | 100    |                  |
| MP-08             | 96     |                  |
| MP-09             | 87     |                  |
| MP-10             | 122    |                  |
| MP-11             | 72     | 涌水               |

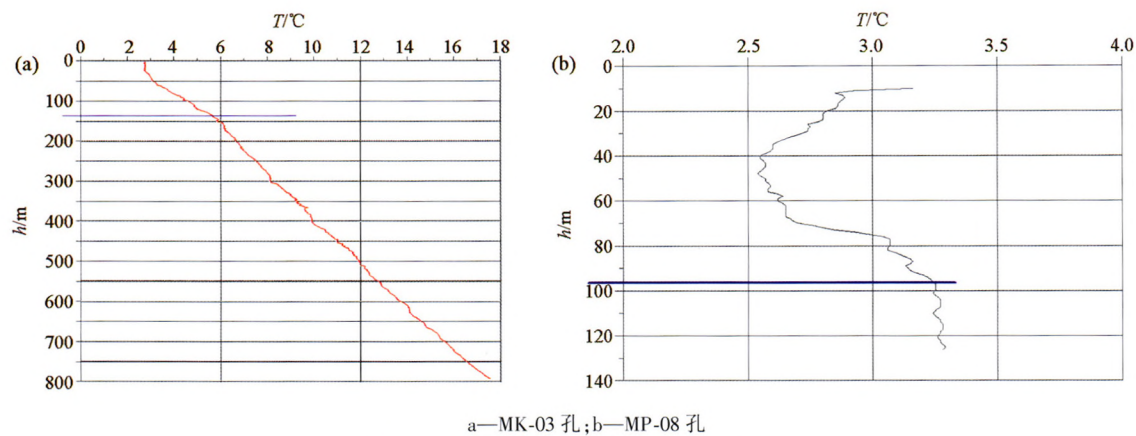


图 6 温度测井曲线推断冻土层深度示例

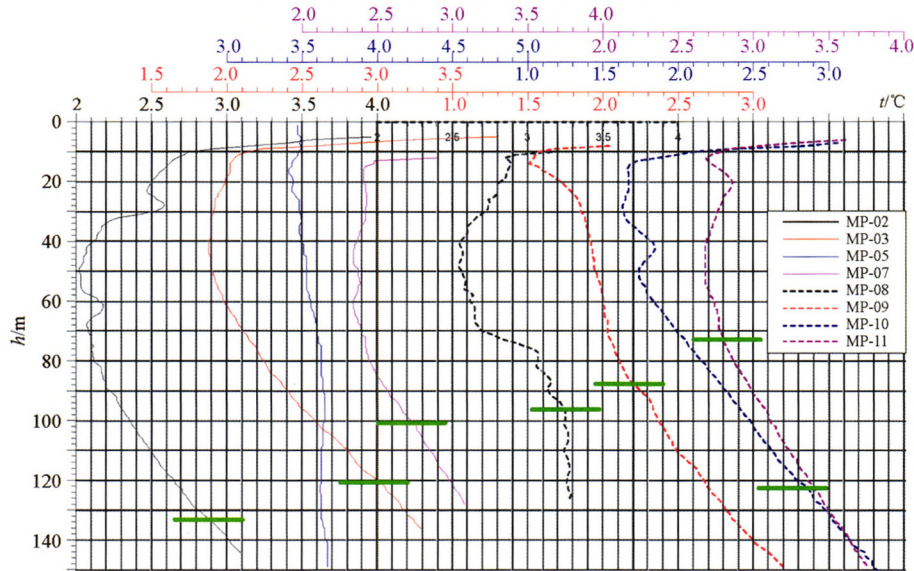


图 7 各冻土孔实测井温曲线

4 冻土分布评价

将 8 个冻土孔按照孔口相对高程连成一个剖面,再把各孔推断的冻土深度简单连接得到冻土深度剖面,图中蓝色线为冻土底界面(图 8)。

结合钻孔处的地质情况分析各孔的冻土深度,

发现冻土的发育深度与钻孔所处的地质环境有关。MP-05、MP-07 和 MP-11 等 3 个孔在阳坡上,冻土深度相对较浅,其中 MP-05 和 MP-07 两孔在小山沟旁,冻土稍深(如 MP-07 孔处,MP-05 涌水较大);其它 5 个钻孔在阴坡上,冻土深度较深,且处于较大阴坡的中下部冻土最深(如 MP-10、MP-03、MP-02 钻孔处)。

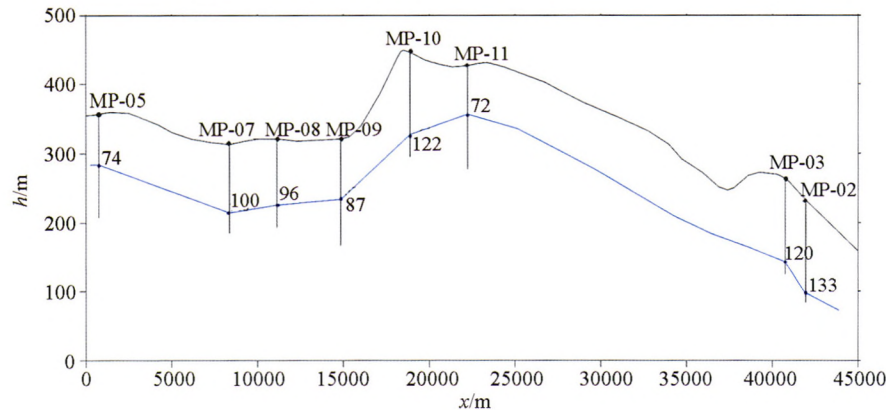


图 8 漠河研究区冻土深度剖面



## 5 结论

本文利用温度测井资料对东北永冻区 MP-02 等 8 个天然气水合物勘查孔的冻土深度进行了研究,取得以下认识:

1) 研究区位于大片多年冻土区,冻土深度在 70 ~ 130 m 之间,冻土发育程度受日照条件影响较大,日照条件好的阳坡冻土较浅,日照条件差的阴坡冻土较深。

2) 通过对温度测井资料的分析、研究,建立了地温模型,利用该模型的曲线特征能够准确识别出冻土层底板深度。

3) 通过分析井温观测资料得出:钻孔涌水或井液平衡时间太短,会影响温度测井的准确性;钻孔终孔两个月左右井温基本趋于稳定。

### 参考文献:

- [1] 赵省民,邓坚,李锦平,等.漠河多年冻土区天然气水合物的形成条件及成藏潜力研究[J].地质学报,2011,85(9):1536 -

1550.

- [2] 裴发根,方慧,杜炳锐,等.ATM 正演模拟及反演求导方法在探测冻土厚度中的应用——以青海木里地区多年冻土层为例[J].物探与化探,2016,40(2):405-410.
- [3] 邓磊,文志刚,唐婧.漠河盆地中侏罗统天然气水合物储层特征及评价[J].西安石油大学学报:自然科学版,2015,30(2):8-17.
- [4] 谭廷栋.测井学[M].北京:石油工业出版社,1998.
- [5] 卢振权,祝有海,张永勤,等.青海省祁连山冻土区天然气水合物存在的主要证据[J].现代地质,2010,24(2):329-336.
- [6] 祝有海,张永勤,文怀军,等.青海祁连山冻土区发现天然气水合物[J].地质学报,2009,83(11):1762-1771.
- [7] 郭崇光,李振栓,赵荣,等.水文地球物理测井方法与应用[M].北京:煤炭工业出版社,2006.
- [8] 潘语录,田贵发,栾安辉,等.测井方法在青海木里煤田冻土研究中的应用[J].中国煤炭地质,2008,20(12):7-9,23.
- [9] 潘语录,李小豫,赵平,等.利用测井资料分析木里煤田冻土(岩)分布特征[J].中国煤炭地质,2011,23(12):35-38.
- [10] 史斗,孙成权,朱岳年.国外天然气水合物研究进展[M].兰州:兰州大学出版社,1992.
- [11] 狄永军,郭正府,李凯明,等.天然气水合物成因探讨[J].地球科学进展,2003,18(1):138-141.

## The application of temperature logging to the gas hydrate resource exploration in permafrost areas of Northeast China

QIU Li-Quan<sup>1,2,3</sup>, LIU Dong-Ming<sup>1,2,3</sup>, KONG Guang-Sheng<sup>1,2,3</sup>,  
LI Yang<sup>1,2,3</sup>, FENG Jie<sup>1,2,3</sup>, LIN Zhen-Zhou<sup>1,2,3</sup>, JIA Ding-Yu<sup>1,2,3</sup>, OU Yang<sup>1,2,3</sup>

(1. Electromagnetic Detection Technology Key Laboratory of the Ministry of Land and Resources, Langfang 065000, China; 2. National Modern Geological Exploration Technology Research Center, Langfang 065000, China; 3. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, CAGS, Langfang 065000, China)

**Abstract:** The thickness of permafrost is an important factor for the formation and distribution of gas hydrate in permafrost areas. Recognizing permafrost thickness accurately is significant for gas hydrate resource exploration in permafrost areas of Northeast China. Based on the characteristics of permafrost from temperature logging, the authors established the geothermal temperature model and carried out research on temperature logging data from the nine gas hydrate exploration holes. Some conclusions have been reached: (1) The temperature logging curve has an obvious inflection point at the bottom floor. The slope of the temperature logging curve above the inflection point is less than that under the inflection point. Using the temperature logging data can accurately recognize the permafrost bottom floor. (2) Too short hole over-flow water and drilling fluid equilibrium time can influence the accuracy of temperature logging data. The length of sunshine duration influences the development depth of permafrost.

**Key words:** gas-hydrate; temperature logging; permafrost; geothermal temperature model; permafrost bottom depth

(本文编辑:叶佩)