

* 专题评述 *

热释光在油气勘查中的应用研究与进展*

郑公望 朱忠礼 任秀生 田昭舆

北京大学环境学院, 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京 100871

摘要 利用砂土天然热释光信号勘查油气藏, 是一种观念上的创新. 研究中发现: (1) 地表圈定的热释光异常区与地下油气藏相对应, 它支持了油气垂直向上运移的观点; (2) 经过长时间积累, 油气区与非油气区的热释光信噪比得到增强, 弥补了短寿命放射性勘查的不足; (3) 热释光勘查不受构造干扰, 有利于发现非构造圈闭的油气藏; (4) 在一定条件下, 地表长寿命放射性元素的天然分布状态是可以改变的.

关键词 热释光 油气勘查 油气运移 核辐射

油气藏勘查的方法很多, 但是到目前为止, 还没有一种十分有把握的勘查方法. 要想完全搞清楚数千米地下的油气藏分布情况, 的确不容易. 本文介绍的砂土热释光油气勘查方法, 国外尚未见报道, 国内已有一些单位在研究^[1,2]. 该方法适宜大面积快速勘查, 它不仅在操作简便、布线灵活、成本低廉等方面见长, 而且在提高油气勘查的信噪比方面有突出表现, 现已在十几个油气藏勘查工作中获得成功. 该项研究在理论、方法、技术和应用方面都已经取得一些成果. 当然, 热释光方法也和其他方法一样, 有它的局限性. 目前砂土热释光方法虽还只是一种辅助勘查手段, 但它的优点突出, 前景诱人, 具有较好的推广应用价值.

1 热释光油气勘查的理论模式

热释光是矿物晶体被加热时发射的一种特殊的光, 与常见的铁块等金属被烧红时发射的光不同, 其能量是矿物中石英等绝缘体或半绝缘体受到放射性辐射时所积聚的, 能量以电子跃迁的方式不断储存下来, 直到晶体被加热激活, 电子回到基态, 多余的能量则以光子发射方式释放, 这就是热释光^[3]. 需要强调指出的是, 矿物晶体具有热释光信号是其曾经接受核辐射的直接标志, 其天然热释光

强度与总吸收剂量呈正比, 地表热释光的强弱反映和代表了该地区核辐射水平的高与低.

我们在 150 多万平方公里海域的勘查研究中, 热释光圈定的异常区域与海底沉积物的酸解烃分析结果吻合甚好(另文发表). 热释光勘查不仅在技术上突破了某些勘查方法受海洋工作条件的限制, 而且证明热释光圈定的异常区与水下(海底)油气藏密切相关. 对这种现象的合理解释应该是: 地下油气藏的存在引起了油气水运移, 并且影响到油气藏上方岩柱直至地表的放射性元素分布. 氧化环境条件下铀被吸附, 形成相对富集; 反之则被稀释, 形成相对贫化^[4]. 受其影响, 砂土的热释光信号在地表就会形成局部异常区域, 特别是在油气藏的地表投影边界附近形成反差, 油气藏上方地表砂土的热释光信号水平, 明显高于(或低于)周边非油气区域地表砂土的背景噪声水平, 从而可以在地表找到下覆油气藏.

2 热释光油气勘查应用的研究发现

2.1 地表热释光信号对地下油气藏响应, 支持了油气垂直运移说

油气运移是个非常复杂的问题, 目前还没有统一的认识, 但是已有事实证明, 地表热释光可以反

2003-01-24 收稿, 2003-04-15 收修改稿

* 国家自然科学基金资助项目(批准号: 49972050)

E-mail: zhenggw@urban.pku.edu.cn

映埋深在数百米至数千米的油气藏分布,其地表边界几乎就是油气藏的垂直投影.应该说明的是,油气藏在地表产生响应的现象并不是热释光方法首先发现的,许多放射性勘查方法,包括遥感勘查方法,利用的也都是这个机理和事实^[5,6].如果没有油气垂直运移的实际存在,就不会相隔数千米的空形成呼应.室内人工模拟油气运移实验也证明了这一点.

实验1:采用玻璃试管为容器,底部盛放原油,中部架空,上部盛满砂土.在砂土层中再分上、中、下3层埋敷剂量片,埋敷时间半年.结果,不出3天就清楚看见上部砂土层颜色变暗,湿度增大.说明底部原油越过中部空气阻隔,浸染到了上部砂土层中.剂量片的测量数据也表明,同一质地的砂土层放射性水平向上有增强的趋势.

实验2:在实验1的基础上,改以纸箱为容器,扩大实验规模的同时,也改善了实验边界的开放条件,企图更好地模拟自然状态.该实验结果显示,在上部被架空的砂土层中,可以探测到与下部原油相对应的热释光异常区.

受实验条件限制,人工模拟是在常温常压条件下进行的;而油气埋藏的天然状态是相对更高的温压,它们为油气运移提供了更好的条件.当然,由于没有考虑构造、岩性、孔隙度、渗透率等诸多野外条件,两个模拟实验并不能说明太多的问题,但是,油气运移的规律从中还是得到了一定的揭示.

2.2 砂土热释光信号是不断累加的结果,它有利于提高测量时的信噪比

地表化探方法有许多种,其基本理论模式也是借助油气运移引起地表放射性异常的现象建立的.不过,地表较低的信噪比似乎给它们造成了共同的难题.国内外也曾有人做过剂量片埋敷法,并且获得了成功^[7,8].但是,剂量片埋敷法为了保证信号灵敏度,需要将剂量片在野外埋敷一段时间.这就有可能受到地形、天气、季节等条件的限制和干扰.剂量片埋敷的时间不但延长了整个勘查工作的周期,而且增加了剂量片回收的难度,提高了勘查成本.更重要的是,它重蹈了某些放射性勘查方法的弊端,过于强调短寿命放射性元素的贡献.再者,由于剂量片埋敷时间有限(即使埋敷3~6个月),仍然无法克服信噪比过低的难题.而地表砂土的天然热释光信号是个不断累加的结果.研究表明,砂土热释光信号的有效保留时间往往可以长达

数千年至数十万年.因此在此期间,只要地表沉积物(砂土)不被迁移,油气藏引起的放射性异常区又曾经稳定过一段时期,那么,油气藏内外的任何微小差异都会被记录在矿物晶格中,通过砂土的热释光反映出来.随着时间的推移,这种差异还会不断叠加,油区内、外的反差必然得到巩固、放大和增强.在现代的地表表现就是,油气藏上方对应的热释光响应信号和非油气藏区地表的背景噪声,两者之间的差别越来越明显.这种效果不仅是油气勘查工作所希望的,也正是热释光勘查的特点和优势,它弥补了某些放射性方法的不足.

2.3 热释光勘查有利于避免构造干扰

传统的钻井和人工地震探测方法目前仍然是比较可靠的勘查手段,但是它们需要庞大的专业队伍、大型的机械设备和复杂的后勤体系的保障支撑,因而费时、费工,成本较高,而且,地震解释侧重的是构造形迹,遇到非构造圈闭或构造有利却不含油的情况难免造成失误.钻井探测也需要预先提供可能的油气层埋深数据,在这个估计深度的上、下层位,都有遗漏的可能.热释光地表圈闭与下覆油气藏直接对应,基本不受或较少受到构造的干扰和影响.已经成功运用的实例中,油层埋深从数百米到数千米都有,可以有根据地说,地表热释光勘查方法在覆盖层较厚的地区,也不会受到太大的干扰.

2.4 地表长寿命放射性元素迁移现象

实例1:香港九龙半岛的地表环境辐射剂量检测数据表明,岩浆岩地区放射性水平最高,尤以花岗岩为甚.以代表铀、钍元素含量水平的 α 计数^[9]为例,花岗岩类基岩风化物平均每千秒为73.63;砂岩类平均每千秒仅为30.27.风化物质经流水搬运至海边,放射性水平明显下降,并且逐步趋于均一.半岛周边7个海滨沙检测点的30个样品,测量数据都在统计涨落范围内, α 计数平均每千秒为11.84,其放射性水平比花岗岩类地区低6~8倍.这批实验数据代表了当地现代沉积物的辐射水平,也证明了放射性元素的迁移.

实例2:一些油田的地表勘查中发现,在热释光已正确反映出下覆油气藏的异常区内、外,地表相应的铀、钍、钾元素含量水平目前并没有明显差异.理论上讲,热释光是核辐射的次一级能量响应,热释光异常区就是当地环境的核辐射异常区;

而实地测量的结果是,作为该地区核辐射水平的主要贡献者——铀、钍、钾元素含量,现在却没有明显异常。对于这种反常现象的合理推断解释就是,历史上(地表沉积物埋藏期)该地区曾发生过铀、钍、钾元素分布异常的时期,并且当时在油气藏上方形成了局部的富集(或贫化),因此,现在的热释光勘查可以找到(或者说是恢复了)这个相应的异常区;后来环境变化,铀、钍、钾元素分布重新趋于均一,导致当初的异常区现在已经不复存在。这种情况的出现应该引起重视,它可能是导致某些勘查手段失败的原因之一。

两个实例从不同角度证明,经过长时间的地表过程,物理风化、化学风化、生物风化以及地表水和地下水的淋溶、搬运作用,沉积物中许多化学元素(包括铀、钍、钾等长寿命放射性元素)在一定条件下是可以迁移的,它们的含量水平会逐渐趋于均一,从而造成天然分布状态的改变。

3 存在的问题与不足

3.1 理论模式的完善

地表热释光勘查采用的理论依据之一是油气垂直向上运移,如果进行井下勘查,需解决油气横向扩散对热释光影响的理论研究。这个工作有一定的难度,关键是,在不同钻井之间要进行横向对比,需解决时间同步和深度一致的问题,在构造复杂的地质条件下,还要考虑地层对比问题。目前完成的人工模拟实验由于受到室内条件的限制,无法模拟自然埋藏条件下油层的空间展布,因此还不能完全确定热释光信号在三维空间的连续规律。但是有资料认为,放射性异常从油层到地表有延续性,不同深度油层的异常独立存在^[10]。因此,通过进一步工作,热释光勘查的理论模式有望得到更好的完善。

3.2 复合油层的划分

地表热释光勘查圈闭的是地下油气藏在地表的投影,在二维空间,这个投影表现的是一个平面形态。如果地表投影对应的是单一油层,只涉及一个深度问题;如果对应的是复合油层,就涉及多个深度问题。如何解决投影的“深度”和“厚度”?这是个棘手的问题。为此,我们又提出了热释光三维立体勘查理念,一方面利用地表(平面)热释光勘查的成功经验为基础,另一方面利用钻孔资料进行井

下热释光勘查,希望由此建立热释光的立体空间响应模式。此项研究目前尚处在摸索阶段。

井下热释光勘查一方面有新的理论问题要解决,另一方面又受到钻尺进度和取心质量的限制,有许多技术问题要解决,困难不少。但是从已经取得的资料来看,热释光信号与含油饱和度呈负相关。热释光信号从油层到地表有连续性,在非油层段产生跳跃,在油层附近形成突变。如果进一步研究能够证明,热释光信号与含油饱和度的负相关是普遍规律而不是个例偶合,那么,复合油层的划分问题就有希望得到解决。

热释光井下勘查研究不仅可以确定“射孔”层位,避免“漏层”,而且可以为判别井深设计是否合理,终孔时下覆地层是否还有油层,提供更多的依据。这在生产实践中是很有意义的。

3.3 测量精度的提高

热释光测量得到的是一条温度函数曲线,读数区间通常采用面积积分,科学确定积分上、下限是技术关键。是以峰位确定好,还是以峰值确定好?这个问题并没有很好解决。与其说这是个技术问题,不如说是个理论问题。这个问题不解决,必然影响热释光勘查工作的测量精度。在这方面,还有大量研究工作需要进行。

3.4 结果的多解性问题

由于热释光是核辐射的次一级能量响应,与其他放射性勘查方法一样,其测量结果也存在多解性问题。目前研究阶段认为,较为稳妥的办法是利用已有钻井资料为参考依据,建立当地的热释光勘查辨别模式,继而大面积展开。如果在初探阶段采用此方法,可以先在地表圈定热释光异常区,然后再根据其他手段确定油气藏与异常区的关系,继而部署钻探井位。

4 结语

直接利用砂土的热释光信号进行油气勘查,是一项开拓性研究,国内已在十余个油田获得成功^[11]。与某些勘查手段强调短寿命放射性元素贡献、注重地表异常的瞬时表现相比,它是一种观念上的转变。经过长时间的积累,热释光信号有望明显提高油气区内、外的信噪比,有效确定油气藏的地表边界。该方法快速、简便、成本低、效率高,具有良好的实际推广价值和生产应用前景。目前,

热释光勘查研究正从二维地表平面向三维立体空间发展,有望解决复合油层的划分问题,其理论价值与生产应用价值都是非常明显的。

参 考 文 献

- 1 郑公望. 热释光及其在石油勘探中的应用. 石油勘探与开发, 1993, 20(4): 9
- 2 王南萍, 等. 第四纪沉积物天然热释光测量勘查深部油气藏的方法原理及应用. 现代地质, 1996, 10(4): 543
- 3 Aitken M J. Thermoluminescence Dating. London: Academic Press, 1985
- 4 杨振周, 等. 矿石岩石中的铀钍化学分析. 北京: 原子能出版社, 1980. 1~18
- 5 何明, 等. 地下油气藏烃类微渗漏雷达勘查机理与技术. 遥感技术与应用, 1992, 7(2): 13
- 6 孙成权, 等. 遥感技术在油气勘探中的应用. 遥感技术与应用, 1992, 7(2): 33
- 7 赵新华, 等. 热释光法在苏北油气勘查中的应用. 见: 程业勋等. 放射性方法勘查油气藏文集. 北京: 原子能出版社, 1996
- 8 王载明, 等. 放射性方法在油气勘探中的应用研究. 见: 程业勋等. 放射性方法勘查油气藏文集. 北京: 原子能出版社, 1996
- 9 曹王敏贤, 等. 两种测定铀、钍含量方法的比较. 核技术, 1995, 18(16): 377
- 10 王平, 等. 地表放射性异常与地下油气藏关系研究. 现代地质, 1996, 10(2): 268
- 11 刘海生, 等. 天然热释光技术在海洋油气田勘查中的应用. 海洋地质与第四纪地质, 2001, 21(1): 107

“新型功能陶瓷材料的制备科学及其关键基础性问题”的研究取得重要进展

新型功能陶瓷是以电、磁、光、声、热、力学、化学和生物等信息的检测、转换、耦合、传输、处理和存储等功能为特征的新型材料,在国民经济和国防建设中具有重要而广泛的应用.随着现代高新技术的发展,功能陶瓷及其应用正向精细化、多功能、智能化、集成化、高性能、高可靠和复合结构发展.因此,解决功能陶瓷材料在制备中的各种基础性科学问题,为我国高性能功能陶瓷材料和元器件的批量、稳定生产提供理论依据,以促进我国功能陶瓷材料制备科学的快速发展是功能材料研究领域的一大核心课题.

由中国科学院上海硅酸盐研究所殷庆瑞研究员主持的国家自然科学基金重大项目“新型功能陶瓷材料的制备科学及其关键基础性问题”,由中国科学院上海硅酸盐研究所、清华大学、同济大学、天津大学共同承担,项目通过选择若干种典型的功能陶瓷材料,在单晶化、复相化、块体材料膜层化和多层化的研究过程中,以制备科学为重点,发展制备高性能功能陶瓷的相关科学技术,揭示功能陶瓷材料的制备与组成、结构、性能以及物理效应之间的内在规律,以期探索新型功能陶瓷材料和研制高性能元器件提供科学依据.

项目组成员经过4年的努力,在以下几个方面取得了突破性进展:

(1) 研究了PMN-PT熔体的高温相结构和相稳定性,率先用坩埚下降法生长出了大尺寸的PMN-PT单晶,其主要物理性能达到国际先进水平;

(2) 通过对弛豫铁电体极化微区相互作用的研究,提出了“遍历空间连续收缩相变”(简称ES3)的概念,成功地解释了弛豫铁电体在弱场下所显示的弥散相变、频率色散、偏压效应以及非线性效应等介电特性;建立了八势阱有序-无序铁电模型,较好地描述了PMN材料的电场诱导相变;

(3) 较系统地研究了多相多层复合功能陶瓷元器件的共烧结行为和界面问题,比较深入地研究了界面互扩散行为,通过电极浆料的掺杂改性实现了共烧致密化;

(4) 开发出一类新型铁电、铁磁微晶玻璃陶瓷材料,制备出大可调度、低损耗的BST铁电微晶玻璃陶瓷,并发展了微波宽带同轴测试技术;

(5) 采用化学溶液沉积法制备了功能陶瓷厚膜,研究了厚膜制备过程中的物态变化、界面行为等现象,制备出膜厚50mm的PZT膜材料并提供试用;

(6) 采用可溶性无机盐溶胶凝胶技术制备出氧敏和铁电功能陶瓷膜,该技术对这类材料的批量生产和应用,以及对制备其他化合物膜材料具有借鉴作用.

(高瑞平 供稿)