

祁连山冻土区天然气水合物地球化学勘查模型

孙忠军, 杨志斌, 秦爱华, 张富贵, 周亚龙

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

1 序言

国外陆域天然气水合物主要分布在极地冻土区, 天然气水合物勘查技术主要是地震和测井, 地球化学勘查技术研究非常薄弱。中国天然气水合物的勘查问题与国外有些差异, 一是中国天然气水合物主要分布在中纬度带冻土区, 二是该纬度带还未发现油气田, 这样, 中纬度带天然气水合物勘查技术成为非常重要的研究方向。本文主要研究祁连山木里天然气水合物地球化学勘查模型, 为中纬度带冻土区天然气水合物地球化学异常解释评价提供理论基础。

2 研究区地质特征

研究区位于祁连山木里煤田聚乎更矿区, 矿区总体上是一个复式背斜构造。北向斜分布有三井田、二井田和一露天, 南向斜由四井田、一井田、三露天和二露天组成, 天然气水合物矿藏位于聚乎更矿区南向斜三露天井田内。

天然气水合物产出状态有三类: 孔隙充填型、断裂充填型和集块型。祁连山木里天然气水合物产于中侏罗统江仓组地层中, 产出状态有两种。“裂隙型”以薄层状、片状、团块状赋存于粉砂岩、泥岩和油页岩的裂隙面上; “孔隙型”呈浸染状赋存于粉砂岩、中砂岩的孔隙中。到目前为止, 已经在 DK1、DK2、DK3、DK7 四个水合物钻井发现三层水合物, 产出深度在 133.0~396.0m 之间。水合物成分以甲烷为主含量为 54%~76%, 乙烷含量为 8%~15%, 丙烷含量为 4%~21%, 并有少量的丁烷、戊烷等, CO₂ 含量一般为 1%~7%, 高的可达 15%~17%。水合物光谱曲线与墨西哥海底水合物样品相似, 属于 II 型水合物。

祁连山属于山地多年冻土区, 冻土面积达 10

$\times 10^4 \text{ km}^2$, 季节融化层底面年平均地温为 $-1.2 \sim -3.6^\circ\text{C}$, 冻土层厚度约 50~139m。研究区介于托来南山和大通山之间, 海拔高度一般为 4000~4300m, 是祁连山冻土区的中心地区, 测区地貌以山地沼泽为主, 发育高寒草地土壤。

3 天然气水合物地球化学勘查模型

3.1 水合物矿藏地球化学异常特征

已知水合物矿藏上方土壤酸解烃甲烷呈现顶部异常, 异常面积约 1.2 km^2 , 异常与水合物发现井吻合程度很高, DK1、DK2、DK3、DK7 天然气水合物发现钻井位于异常内, DK4、DK5、DK6 水合物未发现井位于异常外。已知水合物矿藏上方土壤酸解烃重烃也呈现顶部异常, 异常面积约 1.0 km^2 , 与酸解烃甲烷相似, 酸解烃重烃异常与水合物钻井吻合程度非常高。

2012 年顶空气甲烷和干燥系数在已知水合物井上方有很弱的异常, 而 2010 年顶空气甲烷在已知水合物矿区有很好的异常。这是因为钻探破坏了土壤中弱吸附的顶空气平衡, 使得异常减弱。

丁烷异构比是一个烃类分异程度的特征指标, 油气田上方出现该指标的异常表示油气分异完全, 木里丁烷异构比异常指示水合物成藏的地球化学分异作用。

土壤碳酸钙是反映垂向迁移的烃类化学和微生物氧化程度的指标, 是海洋天然气水合物探测的一种有效指标。木里水合物矿藏土壤碳酸钙也有非常好的异常。

木里水合物物质来源主要是原油伴生气或凝析油伴生气, 出现单环或二环芳烃的异常, 不管是环状还是顶部异常, 均指示深部可能存在油气藏。

惰性气体是水合物矿藏中的微量组分, 由于分子半径小, 活动性强, 不被微生物氧化, 因而近木里水合物矿藏近地表惰性气体地表异常强度大。应用惰性气体进行水合物勘查国内外未见报道。

在木里水合物矿藏上方发现了甲烷氧化菌和丁烷氧化菌的弱异常,在热释光强异常区甲烷氧化菌和丁烷氧化菌异常强度和面积很大。

土壤热释光是一种放射性累积指标,可以平抑一些地表环境影响,提高异常的衬度。首次在水合物已知区进行热释光勘查。热释光异常在水合物矿藏上方为顶部异常,在该异常的东侧发现了异常面积和强度更大的异常,该异常与酸解烃、顶空气、土壤碳酸钙、微生物和微量元素异常吻合程度较高,这是木里天然气水合物进一步勘探靶区。

3.2 祁连山木里天然气水合物地球化学勘查模型

结合水合物地质、地球物理和地球化学成果,总结木里天然气水合物的地球化学模型。

(1) 甲烷和重烃呈现顶部异常(酸解烃或/和顶空气), $C_1/(C_2+C_3)$ 、 iC_4/nC_4 、 iC_5/nC_5 也有明显的异常。

(2) 热释光和惰性气体顶部异常等。

(3) 土壤微量元素 Ba、Ca、V、Fe 也存在明显的地球化学异常。

(4) 水合物产层具有“一高三低”的物性特征,高电阻率、低声波时差、低密度、低自然伽马等响应特征。

(5) 水合物形成的反射波组呈现低速、高频、弱振幅特征。

(6) 多年冻土连续分布,厚度为 50-100m。

(7) 水合物受到 NE 向断裂构造控制。

(8) 木里物化探模型指示深部蕴藏油气。

4 祁连山天然气水合物成藏模式

关于天然气水合物形成模式的研究还处于概念性阶段,主要集中在海底水合物,冻土区水合物形成模型研究极少。俄罗斯学者研究了极地冻土区微生物天然气水合物成藏模型。认为烃类在冻土层或冻土层下在某一特定的深度聚集,当孔隙因为冰的生长而封闭,内部孔隙压力超过形成水合物的热力学临界值的时候,其中的一些气体就有可能转化为水合物。从这个成因模型分析,天然气水合物和周围的游离烃处于一种非平衡状态,这与钻孔中冻

土区水合物和游离烃共生的事实相符。

本文根据祁连山冻土区天然气水合物地质特征和地球化学异常特征提出祁连山冻土区天然气水合物成藏模式。形成天然气水合物的气体可以是油气,也可以是煤成气,烃类气体在水合物稳定带内(冻土层下方)通过地球化学分异和结晶,赋存于岩石裂隙和孔隙中,形成天然气水合物气藏。天然气水合物与周围的气体处于可逆的非平衡态,不断地进行气体和能量的交换,当压力超过水合物热力学临界值时,一些气体转化为水合物,反之,水合物分解。由于地层是一种微裂隙发育的系统,这样水合物分解的烷烃可以进行垂向迁移,从而形成天然气水合物“烟囱”和地球化学异常。

这个成藏模式可以解释以下地质现象:(1) 木里天然气水合物成因特征既可以用钻孔中水合物岩心的顶空气判断,也可以用近地表土壤酸解烃和碳同位素判断;(2) 木里水合物矿藏上方既有烃类异常,也有反映烃类垂向迁移形成的“烟囱”指标的(如土壤磁化率)异常;(3) 水合物异常强度在断裂发育地段较强;(4) 水合物异常范围与水合物矿藏范围联系密切;(5) 近地表水合物地球化学异常组合能够综合反映地下水合物成分和分布特征。

5 结论

本文研究了木里天然气水合物地球化学特征,结合水合物地质和物探成果总结了天然气水合物地球化学模型,进一步研究了天然气水合物成藏模式。

祁连山木里天然气水合物异常主要指标是土壤酸解烃、土壤顶空气和土壤惰性气体,次要指标是土壤热释光、土壤碳酸钙、甲烷氧化菌和丁烷氧化菌。

木里油气和天然气水合物属于同一成藏系统,因而形成了天然气水合物和油气藏异常共生的特点。