

柴达木盆地东部第四纪水文地质条件与生物气成藏*

王明明¹, 李本亮², 魏国齐², 李景明²

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北廊坊 065007)

摘要:柴达木盆地东部昆仑山脉的那仁格勒河水系在乌图美仁-台南东-涩北-驼峰山地区上新统-更新统形成了那-驼地下水循环系统,其两侧的达布逊湖洼陷和一里坪洼陷区属汇水盆地性质的停滞水文地质特征。台南构造以南的那-驼地下水循环系统控制区,地层水显著咸化期在 3×10^4 a左右的晚更新世晚期。该期地层水溶解气量基本达到饱和。其生物气成藏机制有两种:(1)地层水显著咸化期溶解气析出、运移、聚集成藏;(2)那-驼地下水循环系统携带南部较淡水区溶解的生物气向北部咸水区运移、析出、聚集成藏。根据水文地质特征及含油气系统特征确定船形丘构造东侧-鸭南-台南-涩北为第四系生物气最有利富集区,其南北两侧及驼峰山-盐湖、别勒湖南斜坡为较有利区带;船形丘-鸭南-南陵丘-盐湖构造带为第三系生物气有利富集区带。

关键词:柴达木;东部;地层水;水文地质;生物气;溶解气;成藏

第一作者简介:王明明,男,39岁,高级工程师(博士生),石油与天然气地质

中图分类号:T112.1

文献标识码:A

柴达木盆地东部第四系生物成因大气田是全球范围内独一无二的地层新、规模大、成因特殊的气藏类型。近期随着伊克雅乌汝构造上第三系喜获生物成因工业性气流,该地区生物气藏的勘探更为地质家们所瞩目和重视。天然气的生、运、聚与地层水关系密切,微生物的生存基本介质为地层水。柴达木盆地显著特点是地面为盐湖广布、地下为高矿化度地层水,属高盐度寒冷地理环境,不利于微生物生存,却能形成如此高丰度的生物气藏。考虑到上述特点,我们决定从水文地质条件入手研究该区生物气成藏规律。

1 地质特征

东部地区是柴达木盆地第四纪沉积及沉降中心,构造区划上属东部坳陷区,包括盐湖斜坡、三湖凹陷及格尔木斜坡3个亚一级构造单元^[1]。洼陷中心位于西台吉乃尔湖南侧-涩聂湖-达布逊湖南侧-南、北霍布逊湖之间,构成在涩聂湖处向南突出的NWW向展布的弧形洼陷带。正向构造在凹陷北侧较多,主要有鸭湖、伊克雅乌汝、台吉

乃尔、南陵丘、驼峰山、台南、涩北、盐湖、喇叭尔等背斜构造。断裂不发育,主要在坳陷南、北两侧边部发育倾向山区露头区的逆断层,少数背斜顶部发育规模较小的正断层。

该区钻井揭露的地层主要为第四系、上第三系,下第三系和侏罗系在柴北缘南八仙构造处有系统揭露。

2 水文地质特征及演化

2.1 水系发育特征

柴达木盆地现今气候干旱、寒冷,盆地平均年降水量为84.21 mm、平均年蒸发量为2 570.40 mm^[1],但仍有湖泊存在,说明水源较充足。其水源主要靠周缘高山的降水、降雪及冰川融化供给^[2]。

柴达木盆地东部周围山区的供水系统,大致以无柴沟-涩聂湖-大灶火一带为界,西区主要为南侧的昆仑山水系供水;而东区为南、北两侧山系共同供水(图1)。另一显著特点是乌图美仁至台吉乃尔湖区域(即那仁格勒水系流域),山区河水量供给大,而山前洪冲积沉积相带泉水少、地面河流少,且地面潜水为低矿化度硫酸钠型水,标志着地下水混入较少,说明该区域河流供水大部分注入地下深部层系,在较深部层系应该存在一个

* 中国石油天然气股份公司项目:“油气预探目标评价研究”的部分成果

收稿日期:2003-09-20

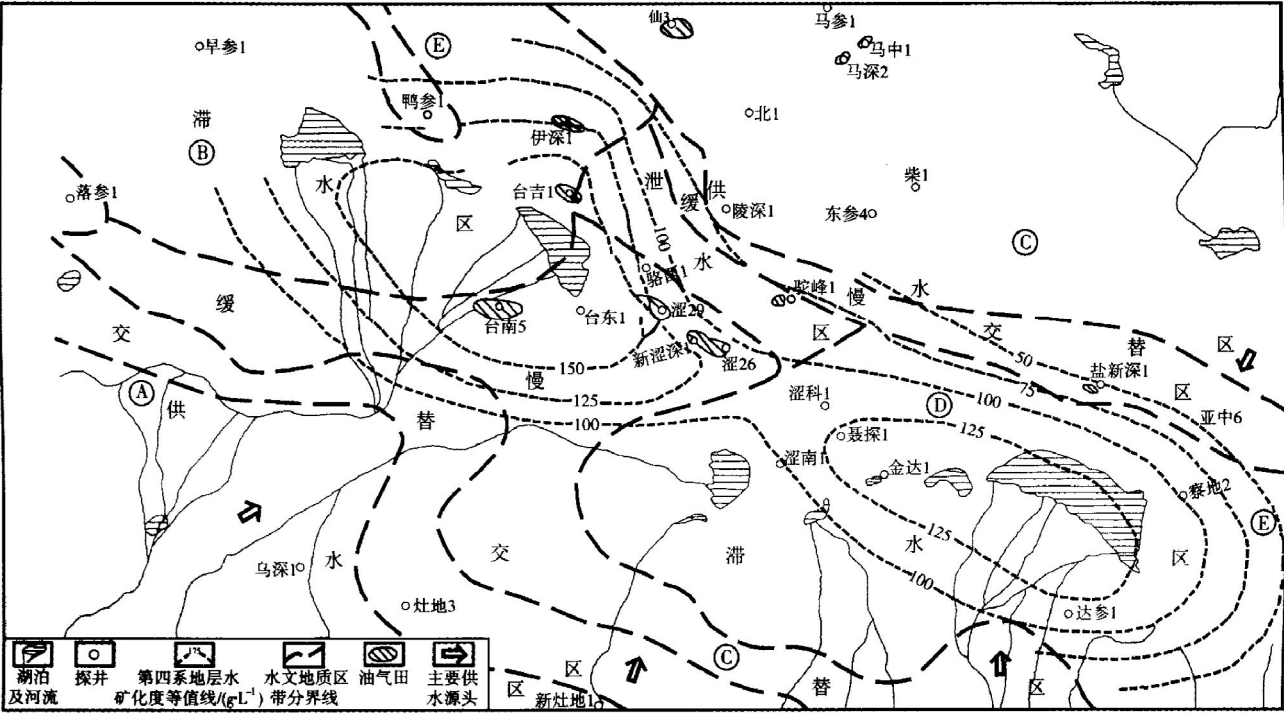


图 1 柴达木盆地东部第四系水文地质分区图

Fig. 1 Hydrogeologic subdivision of Quanternay in eastern Qaidam basin

由南向北流动的水循环系统。而中灶火以东地区,南北两侧山系供水系统经过山前地区急剧交替带后,多以泉水形式泄出地表,构成向盆地延伸的高矿化度氯化镁地面潜水,汇集成地表河流及盐湖沉积,为典型的山间汇水-滞水盆地类型,不存在大范围的水动力循环系统。

2.2 地层水特征及水文地质分区

钻井试油测压和水分析资料显示(1)主力含气层系(下更新统)高矿化度区在东台吉乃尔湖周围及别勒湖-达布逊湖地区,水型几乎都为氯化

钙型,该层系由浅向深,略有高矿化度区向西偏移的特点,东台吉乃尔湖与聂涩湖之间有一低矿化度带,且由浅向深略有向东偏移的特点(图 1);(2)上新统上部高矿化度区在台吉乃尔构造-涩北二号-盐湖构造一带;(3)大部分地区的地层水矿化度由地面向深处逐渐降低,只有台南构造的潜水层与涩北组对比,盐湖构造的涩北组与上第三系对比,出现地层水矿化度随深度增加而增高的趋势;(4)台南构造水势面高程比台吉乃尔构造高出 80 余米(图 2),且下部层组比上部层组水势面略高。

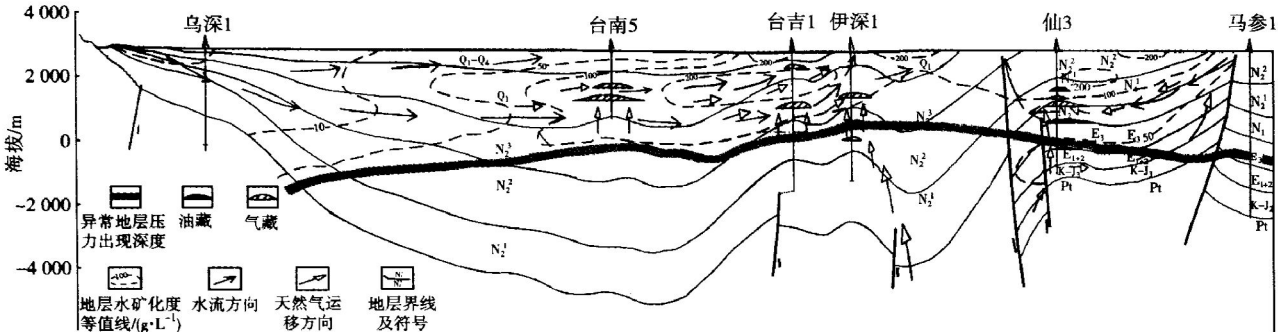


图 2 乌深 1- 马参 1 井水文地质与天然气成藏剖面图

Fig. 2 Profiles showing the hydrogeology and biogenic gas reservoiring in Wushen 1 well-Macan 1 well

第四系划分为供水区、交替区、缓慢交替区、泄水区及滞水区。供水区地面河流、上升泉水丰

富,水流动性强、矿物质含量低;交替区泉点发育,地层水矿化度低于 3 g/L,水型以硫酸钠型为主;

缓慢交替区地层水矿化度低于100 g/L,水型以氯化镁为主,地层水折算水势面有明显的坡度降低;泄水区地层水矿化度在100 g/L左右,且由供水方向向泄出方向急剧降低(原因是泄水区有地面水的混入),氯化钙及氯化镁水型兼有,且地层水的折算水势面与地面海拔相近似;滞水区地层水矿化度在100 g/L以上,地层水型以氯化钙型为主,地层水折算水势面无明显的坡度降,常常是高于地面海拔高程。

达布逊湖洼陷及一里坪洼陷为两个滞水区带,属汇水盆地常见水文地质特征。台吉乃尔湖洼陷区发育的供-泄水系统(简称那-驼地下水循环系统),构成了柴达木盆地东部独特的水文地质现象^[3]。其主要形成条件为:那仁格勒河水源丰富、碳酸盐岩基底孔渗性好、北部无显著的供水系统及台吉乃尔构造-驼峰山构造中更新统-下更新统上部出露地表构成较好的泄水地质条件。泄水区带边界的确定,主要是根据台吉乃尔-涩北北部-驼峰山构造轴部最老地层出露处的海拔高程与涩北组上部地层水折算水势面高程相当,为2730 m左右。那-驼水动力循环系统的下限深度为3000 m左右。

2.3 地层水的咸化史

柴达木盆地第四系盐湖的形成与盆地周围高山的不隆升及气候的不断寒冷、干燥密切相关。湖盆的盐湖化时期是由西北向东南逐渐过渡的^[4]。在 3×10^4 a左右的晚更新世晚期,印度板块向东北方向挤压,使盆地与高山的相对高差达2900 m,高山屏障可挡住来自印度洋、太平洋、地中海的季风,使盆地变得异常干燥;而山区本身则成为一个海拔极高的“雨影区”,其湿度和大气降水量都大,可以为盆地提供大量的水源和对地表岩石风化及地下岩石溶解所带来的盐类物质,所以显著盐湖化时间是在3万年左右。

3 水溶气的发育

3.1 甲烷菌的盐度生存条件

现今高盐度的第四系地层水,如何能有大量的微生物生存及发生显著的生化作用,这是柴达木盆地生物气研究者不能回避的问题。前苏联学者研究认为地层水矿化度在20~35 g/L时仍旧发

现产甲烷菌,但甲烷产率降低^[5]。

根据柴达木盆地不同地区地层水样的甲烷菌培养及数量检测结果,当地层水矿化度大于40 g/L时,甲烷菌含量明显减少。

实验证明,若生物菌能与有机质接触,生物菌作用于烃源岩的生气过程是个快速的过程。第四系沉积早期是一个主要的生物菌发育及生物气形成阶段,因形成的甲烷气多溶于地层水中,所以能长期保存下来,同时说明现今埋藏深度大于生物作用成气深度的烃源岩(包括上第三系)在早期也是水溶生物气形成的贡献者;第四纪晚期,盆地南部,尤其是那仁格勒河水系影响区域的第四系烃源层系,矿化度低于20 g/L、厚度大于300 m的面积达3200 km²,现今仍是有利的生物气形成区域。

3.2 天然气溶解于水的主控因素

天然气的溶解度主要受地层水压力、温度、矿化度、地层水水型的影响^[6]。

取第四系烃源岩分布面积为39740 km²、烃源岩厚度1200 m、游离水孔隙度30%、地层水平均矿化度为20 g/L、地层压力平均为10 MPa,根据天然气溶解度的实验数据算出甲烷气的溶解度为2.5 m³/m³,则盆地东部地区生物菌作用较显著期(3×10^4 a以前)的地层水饱和溶解气量为 35.77×10^{12} m³。因含气层系厚度及地层水范围要大于烃源岩的范围,所以实际可溶解气量应大于该数据。据国家“九五”攻关项目研究成果*,盆地东部第四系生物气总生气量为 36.15×10^{12} m³,据此可认为在第四纪早期较淡地层水环境时,生物甲烷气可完全溶解于地层水中,基本达到饱和气的状态。

4 运聚机制与有利地区

4.1 水溶生物气游离成藏机理

水溶气的游离成藏,基本条件是溶解气量达到饱和并在游离出来时有圈闭聚集条件。柴达木盆地东部第四系在近 3×10^4 a内,地层水平均矿化度由20 g/L上升到150 g/L,天然气在地层水中的平均溶解度由2.5 m³/m³降到1.2 m³/m³,则有约 18.60×10^{12} m³的天然气游离出来。这种特点,使工区范围内几乎有地层水的层段,就有天然气显示。天然气散-运-聚方式具显著的气源区分散特点,形成较大气藏的重要条件是圈闭的供气面积要大,向斜低部位的圈闭不如斜坡高部位的圈闭聚气条件好。

* 管志强,余辉龙,徐子远,等.柴达木盆地天然气富集规律及勘探目标评价.中石油青海油田分公司,2000

那- 驼地下水循环系统的存在, 创造了生物气由现今有利生气区向北部圈闭发育区大规模迁移的独特地质条件。尽管乌图美仁北部地区有机质丰度较低, 但有适合微生物长期生存的较好地层水条件(低盐度供水- 交替区), 所以在盆地地层水整体咸化过程中, 一直为有利的生气区。由于低矿化度地表水源的不断供给, 生成的天然气不断溶解在该循环水系统中并向北运移; 另一方面, 该供水系统因与周围地区有明显的水溶气浓度差, 不断吸收周围地层水中的溶解气或游离气。携带天然气的地层水在向北运移的过程中不断咸化。过了凹陷最低处(即地层压力最高处)时, 随着地层压力降低及地层水盐度增加, 溶解气饱和度不断降低, 天然气在凹陷中、北部地区游离出来, 并在其流动路径上或附近的圈闭中聚集成藏(图2)。因该过程是一个动态的过程, 游离气析出的地区又相对集中, 所以对圈闭的供气效率要远远大于停滞水文系统地层水咸化而使天然气游离出来的供气效率。

4.2 有利区带优选

上述天然气成藏机制分析说明, 现今存在的供- 泄水动力循环系统中, 缓慢交替区与泄水区结合带为天然气聚集的最有利地区; 停滞水文地质区带中, 有较大供气面积的正向构造区带为较有利地区。

综合分析柴达木盆地东部地区第四系和上第三系生物气藏形成的生、储、盖及圈闭发育等基本条件, 以水文地质区带分布为重要选区要素, 评价

出第四系生物气有利富集区位于船形丘构造东侧- 鸭南- 台南- 涩北构造范围内, 较有利富集区为上述有利区带南北两侧、驼峰山- 盐湖构造区带和别勒湖南侧斜坡区带。因第四系圈闭面积较大的构造都已钻探并发现较大气田, 所以今后的勘探方向主要是在有利聚集区内寻找小型低幅度构造或较大型岩性圈闭作为勘探目标。上第三系钻遇探井较少, 伊深1井及盐新深1井狮子沟组高矿化度地层水的发现预示着上第三系缓慢交替区与泄水区的分布范围较大, 初步评价台吉乃尔- 达布逊洼陷区北部的船形丘- 鸭南- 南陵丘- 盐湖构造带为有利生物气聚集区。

致谢: 本文是中国石油天然气股份公司设立的油气预探目标评价研究项目阶段成果的总结, 得到股份公司贾承造总地质师, 勘探与生产公司和青海油田分公司有关领导及专家的支持与指导。

参 考 文 献

- 1 青藏油气区石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷十四)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1990
- 2 刘燕华. 柴达木盆地水资源合理利用与生态环境保护[M]. 北京: 科学出版社, 2000
- 3 Little R, Cramer B. Gas generation and accumulation in the West Siberian Basin[J]. AAPG Bull, 1999, 83(10): 1 642~ 1 665
- 4 郑锦平. 盐湖资源环境与全球变化(第六届国际盐湖学术讨论会论文选集)[M]. 北京: 地质出版社, 1996
- 5 包茨. 天然气地质学[M]. 北京: 科学出版社, 1988
- 6 关德师, 牛嘉玉, 郭丽娜, 等. 中国非常规油气地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 1995

QUATERNARY HYDROGEOLOGY CONDITION AND RESERVOIRING OF BIOGENIC GAS IN EASTERN QAIDAM BASIN

Wang Mingming¹ Li Benliang² Wei Guoqi² Li Jingming²

(1. China University of Geosciences, Beijing; 2. Langfang Branch of Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Langfang, Hebei)

Abstract: Narengale drainage system, originated from Kunlun mountains in eastern Qaidam basin, has formed Na-Tuo groundwater circulation system in Pliocene and Pleistocene periods in Wutumeiren, east to Tainan, Sebei and Tuofengshan areas; and on its both sides, Dabuxun Lake subsag and Yiliping subsag are catchment basins characterized by stagnant hydrogeology. The formation water within the control area of Na-Tuo groundwater circulation system to the south of Tainan structure, was distinctly salinized in the later period of late Pleistocene (about 30ka). The formation water was basically saturated with dissolved gas at that time. The reservoiring mechanism of biogenic includes two

models: (1) during the distinct salinization of formation water, dissolved gas was released from the water, and then migrated, accumulated and finally became gas reservoirs; (2) the Na-Tuo groundwater circulation system, carrying the biogenic gas dissolved in the formation water with relatively low salinity in the south, migrated northward to the saline water area where the gas was then released, accumulated and became gas reservoirs. According to the characteristics of hydrogeology and petroleum system, the most favorable area for the enrichment of the Quaternary biogenic gas has been determined to be in eastern Chuanxingqiu structure-Yanarr-Tainarr-Sebei area, the relatively favorable area occur on both sides, north and south of the above-mentioned area and Tuofeng mountains-Yanhu and on the slope of Biele lake; the favorable belt for the enrichment of the Tertiary biogenic gas would occur in Chuanxingqiu-Yanarr-Nanlingqiu-Yanhu structural belt.

Key words: Qaidam basin; eastern part; formation water; hydrogeology; biogenic gas; dissolved gas; reservoiring

《石油科学》(英文版) 正式创刊

由石油大学主办, CNPC, Sinopec, CNOOC 三大公司研究院及几大油田协办的《石油科学》(英文版) 石油科技期刊今年上半年经国家科技部批准正式创刊了! 刊号为 CN11- 4995/TE。

Petroleum Science 是目前中国唯一一本英文版石油科技期刊, 其读者面向全世界从事石油科学研究、技术应用的石油科技工作者和油公司管理人员。专业覆盖石油勘探开发、石油储运、石油炼制加工、石油企业管理与营销等与石油有关的各门学科。

本刊编辑委员会名誉主任为前石油部部长王涛, 主任为石油大学校长张一伟教授, 主编为张嗣伟教授, 编辑部主任由庞雄奇教授兼任。编辑委员会的委员由国内外石油界最知名的院士、专家学者等五十余人组成, 代表了目前石油界的最高学术水平。

Petroleum Science 为季刊。正式创刊后的第一期将于 2004 年 1 月初正式出版, 欢迎国内外石油科技界的同仁关注 Petroleum Science, 并踊跃投稿和订阅。

来稿请用英文撰写, 要求用词准确, 符合英语惯用语法, 意思表达清楚。在投寄英文稿件的同时, 请附相应的中文稿, 以备审、编、校时准确理解原文含义。投稿时, 请写清联系方式(地址、电话、E-mail) 并附个人简介。

如果您有任何问题, 请致电《石油科学》编辑部: 010- 82370092。

我们的通讯地址: 北京海淀区学院路 20 号 902 信箱《石油科学》编辑部, 邮政编码: 100083。

E-mail: PSJ@bjpeu.edu.cn