

准噶尔盆地西北缘现今水动力分布特点*

王震亮, 朱玉双, 耿 鹏, 高胜利, 孙明亮

(西北大学地质学系, 陕西西安 710069)

摘要: 准噶尔盆地西北缘包括西部隆起和玛湖凹陷的西侧, 构造比较复杂。通过流体物理化学特征参数、储层实测压力、压实和泥岩超压、流体势分布等多个方面的资料, 研究了准噶尔盆地西北缘水动力场的发育特点。不同层系的流体物理、化学特征显示了各自不同的水动力分布特点, 识别出重力水流较强、深浅层水交替频繁的地区: 石炭系为红山嘴-乌尔禾一带; 二叠系为克拉玛依和夏 40 井附近; 三叠系为克 114 井、风 1 井及乌尔禾处; 侏罗系则为白碱滩-百口泉。从砂岩实测压力看, 侏罗系和石炭系基本保持静水压力, 三叠系和二叠系在一定深度下则会出现一定幅度的超压, 平面上, 玛北、夏子街等地超压发育。利用压实曲线计算出泥岩的异常压力, 超压的起始深度为 1 800~2 300 m, 对应的层位差别大, 厚层泥岩的欠压实对压力的贡献较大。根据二叠系和三叠系水头分布, 认为现今水动力场主要表现为压实流, 在盆地边缘的一些构造高点或断裂处, 则发育一定程度的重力流或大气水流。

关键词: 水动力; 流体物理; 流体化学; 异常地层压力; 准噶尔盆地; 西北缘

第一作者简介: 王震亮, 男, 36 岁, 副教授(博士), 盆地流体动力学

中图分类号: P641.5⁺1

文献标识码: A

流体动力学研究作为含油气盆地分析中的重要内容, 已成为解决油气地质问题特别是运移成藏这一核心问题的首选方法^[1~5]。准噶尔盆地西北缘包括西部隆起和玛湖凹陷的西侧。西部隆起是西北缘的主体, 南部为车排子凸起, 北部为克-夏断阶带。克-夏断阶带是从二叠纪到燕山晚期长期发育的、由一系列舌状滑脱体组成的推覆构造带^[6]。

本文以水动力场研究为核心, 通过流体物理化学特征参数、储层实测压力、压实和泥岩超压、流体势分布等多个侧面反映水动力场的分布规律。

1 流体特征

流体物理、化学组成的变化既反映了流体与外界因素(大气水、岩石等)的物质和能量的交换作用, 也在一定程度上留下了流体本身运动的足迹, 因此利用流体物理、化学场特征, 可以探索地区性的水动力分布特点^[7~8]。经过筛选, 采用地层水的水型、矿化度、钠氯比值(rNa^+/rCl^-)、脱氯系数($rSO_4^{2-} \times 100/rCl^-$), 原油的密度、粘度、凝固点等物理化学特征参数来反映地下水动力状况。

1.1 石炭系

据统计, 在石炭系出现的 3 种水型中, 主要为 $CaCl_2$ 型(占 57.6%), 其次为 $NaHCO_3$ 型(占 36.4%)。平面上, 除红山嘴-克拉玛依-百口泉-乌尔禾一带为 $NaHCO_3$ 型外, 大部分地区为 $CaCl_2$ 型地层水。地层水矿化度在红山嘴-克拉玛依-百口泉-乌尔禾一带较低, 而检乌 24 井附近(可达 45 g/L)和车-拐地区矿化度较高。地层水的钠氯比值及脱氯系数的展布与矿化度、水型相似。均表明红山嘴-克拉玛依-百口泉-乌尔禾一带石炭系重力水流强度大, 水动力强, 深、浅层水交替频繁, 而车-拐大部分地区的水动力较弱。

从原油密度的分布看, 整体表现为水动力弱的地区(如车排子、检乌 24 井区)原油密度低, 水动力强的地区(如克拉玛依、百口泉)原油密度较高。原油粘度的分布与密度基本一致。凝固点温度则表现为, 由盆地内部向盆地边缘地区降低, 靠近盆地边缘一侧的较稠油表现为重质、高粘、低凝等属性。稠油的形成可能与细菌的分解作用有关, 因较强的水动力环境富氧, 细菌易于繁殖。

1.2 二叠系

$CaCl_2$ 水型更突出(占 69.2%), 而 $NaHCO_3$ 型仅占 19.2%。平面上, 除 $NaHCO_3$ 型水见于百口

* 中国石油天然气集团公司“九五”重点科技攻关项目(96-007-01-03)资助

收稿日期: 2002-07-20

泉-乌尔禾 Na_2SO_4 型和 MgCl_2 型见于车-拐地区和夏 40 井处外,其他区域均为 CaCl_2 型水。从地层水矿化度的分布看,夏 40 井附近、克拉玛依及车拐地区靠近盆地边缘的一侧矿化度较低(小于 10 g/L),应是深、浅层水交替强烈的表现;其他地区矿化度较高,最高处位于检乌 24 井附近(可达 120 g/L),是水动力相对较弱的滞留环境。从原油密度、粘度、凝固点温度看,在克拉玛依-585 井区向南至车-红-拐地区各参数降低,同样反映克拉玛依地区水动力较强。

由此可见,克拉玛依、夏 40 井附近二叠系水动力较强,百口泉次之,其他地区水动力较弱。

1.3 三叠系

其主要水型为 NaHCO_3 型(占 62.7%),其次为 CaCl_2 水型(占 28.8%)。平面上,除玛 002、玛 7 井一带和克 80、红 15、车 002 井一带为 CaCl_2 水型外,多呈 NaHCO_3 水型。地层水矿化度在乌尔禾以东及克 114 井附近最低(仅 5 g/L),小拐附近和玛北(玛 002 井附近)较高(大于 10 g/L)。地层水钠氯比和脱硫系数都反映玛北地区比较高,说明此处可能存在较强的深、浅层水交替作用。

从原油参数看,密度在红浅 6 井及风 1 井处最高,向盆地内部变小;粘度、高值同样出现在红浅 6 井区域,其他地区急剧降低;凝固点温度则在白碱滩地区最低,红浅 6 井处次之。表明原油在红山嘴-白碱滩一带经受的蚀变作用(如水洗、微生物降解、氧化等)比较强烈。

总之,三叠系水动力条件表现为克 114 井、风 1 井及乌尔禾处最为强烈,红山嘴-白碱滩一带次之,其他地区相对较为稳定。

1.4 侏罗系

主要水型为 NaHCO_3 型(J_1 占 63.3% , J_3 占 100%),其次为 CaCl_2 型。从平面分布来看,除在车 26、车 43 井区出现 CaCl_2 型水,夏 23 井处出现 MgCl_2 型水外,其他区域均为 NaHCO_3 型水。矿化度的平面分布显示,车排子-小拐-红山嘴一带、乌尔禾-夏子街为高值区域(车 26 井处大于 22 g/L),二者之间在白碱滩等地为一低值区。地层水钠氯比值和脱硫系数亦反映白碱滩处最高,向其他方向降低。分析认为,白碱滩-百口泉一带水动力较强,而车-红-拐地区、乌-夏地区水动力相对较弱。

从原油参数看,在白碱滩-百口泉一带原油密度最高(大于 0.94 g/cm^3),黄羊泉、乌尔禾、夏子街

次之,玛 6 井处最低(小于 0.79 g/cm^3);粘度则在百口泉处最高,达 $10\,000 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 以上,黄羊泉、乌尔禾及夏子街略低,向其他方向降低较快。说明车排子地区水动力较弱,而白碱滩-百口泉地区、黄羊泉-乌尔禾-夏子街地区水动力较强。

1.5 纵向变化

综合研究表明,准噶尔盆地西北缘单井的纵向水化学剖面可分为 3 种类型,即:正向型、反向型及多向型(图 1)。正向型即地层水矿化度由浅至深逐渐增加,钠氯比值及脱硫系数由浅至深逐渐减小;反向型恰好与之相反;多向型水化学剖面则表现为地层水环境指标随深度可增可减,呈“之”字型。其中,正向型反映了地层正常的埋藏变质史及地层纵向上的连通性较差;反向型和多向型则说明由于构造破坏作用,使深、浅层水得以多位沟通。据 29 口井的水化学剖面统计,多向型水化学剖面占 75.9% ,而正向型及反向型分别占 10.3% 、 13.8% ,表明西北缘地层受构造破坏严重。

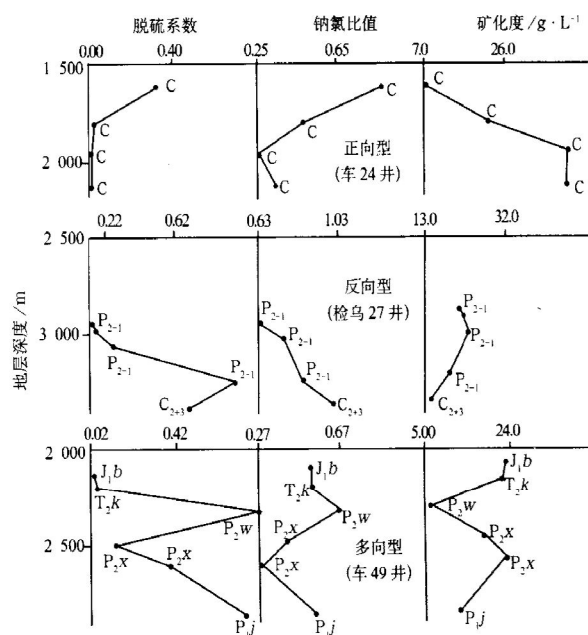


图 1 准噶尔盆地西北缘 3 种水化学剖面类型图

Fig. 1 Three types of hydro-chemistry profiles in NW margin of Junggar basin

2 地层压力

2.1 纵向分布

根据搜集到的西北缘地区地层测试(RFT、MDT、试油)资料,编制出西北缘储层实测孔隙压力的纵向分布图(图 2)。由图可见,本区大部分井点的实测压力接近于静水压力,压力异常的点相对较少,

但个别点仍有很可观的压力异常,如北段夏 40 井二叠系 4 886~4 831 m 地层段内试油得到高达 87.59 MPa 的外推地层压力,压力系数达 1.82。整体上,地层流体压力在纵向上的起伏,反映了现今至少存在 3 个以上封隔性相对较好的层位,使得压力在纵向上的沟通相对困难,导致压力分布不均匀。

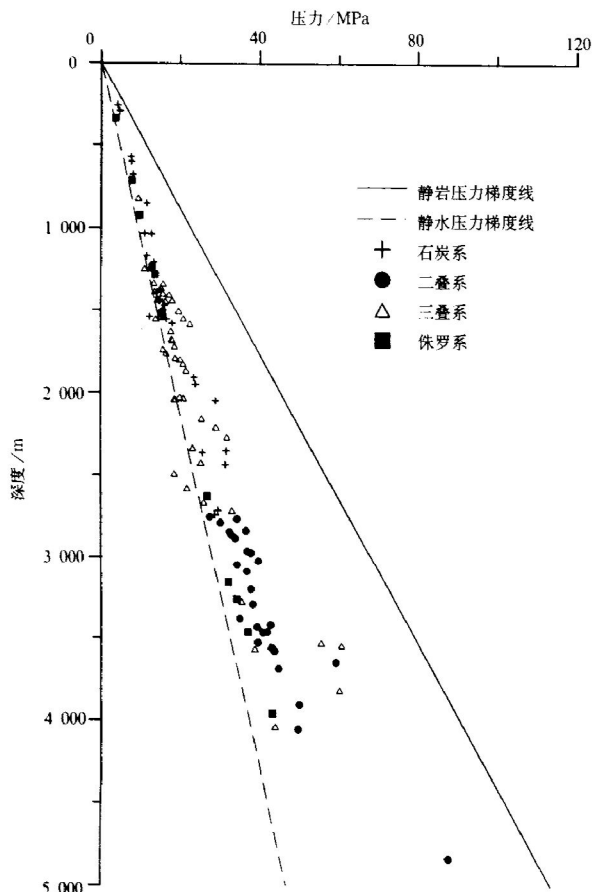


图 2 不同地层实测地层压力纵向分布图

Fig. 2 Longitudinal distribution plan for measured stratigraphic pressure of various strata

地层压力分布在不同层系间存在差别。侏罗系和石炭系基本保持静水压力,反映了地层流体与外界在物质和能量(动力)交换上较为容易,这与侏罗系埋藏较浅、甚至出露地表,石炭系多深大断裂相伴有关。而三叠系和二叠系在一定埋深之下,则出现较大幅度的超压。三叠系超压开始见于 2 050~2 400 m 段内,但过剩压力幅度不超过 10 MPa,向下为相对低压段,较明显的超压出现于 3 550~4 000 m,过剩压力达 28 MPa;二叠系的过剩压力自 2 750 m 下多保持在 10~15 MPa 的中等幅度,唯个别井点(如夏 40 井 4 886~4 831 m 段)比较突出。

2.2 平面分布

从平面分布上看,玛北、夏子街、克拉玛依以东

等地区超压比较发育,如克拉玛依油田石炭系揭露最深的八区检乌 26 井,在埋深为 4 330~4 338 m 处测得的地层压力为 55.042 MPa,折算水位海拔为 1 439.4 m,相当于过剩压力幅度为 14.2 MPa,是比较典型的深层高压水。其余如乌尔禾、百口泉、大拐、车排子等地区则主要表现为常压或低幅超压。

3 压实与泥岩异常压力

由压实曲线获得的压力应反映岩石处于最大埋深时的状态^[9~10]。由于西北缘内各地区具有不尽相同的构造、沉积和埋藏背景,分析认为,由压实曲线反映的地层压力在北段时代较早,而在南段则相对较新。为叙述方便,暂将整个西北缘地区根据压实研究获得的异常压力分布列入现今水动力场内。

研究中分砂(砾)岩、泥岩系统读取了 15 口井的声波时差测井数据,编制了砂、泥岩压实曲线。从泥岩正常压实趋势段的斜率来看,南段如西 3、车 1、车 3 及拐 6 井处最大,为 $3.82 \times 10^{-4} \sim 4.48 \times 10^{-4}$ (1/m);向北段克 75、百 65 井等井处减小为 $2.74 \times 10^{-4} \sim 3.30 \times 10^{-4}$ (1/m)。与之相邻的玛湖凹陷艾参 1 井,则仅 2.43×10^{-4} (1/m)。分析表明,这种差别是由不同地区泥岩厚度和岩性组合关系、断裂活动等因素造成的。

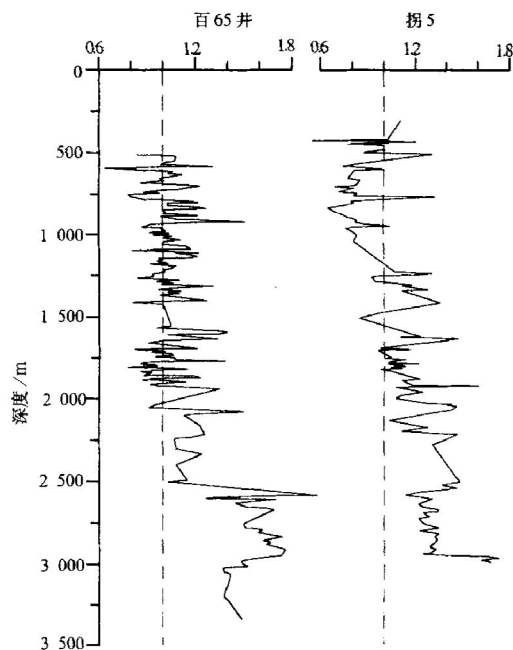


图 3 百 65 井和拐 5 井泥岩过剩压力曲线分布

Fig. 3 Curve distribution plan showing overpressure of mudstones in Bai No. 65 well and Guai No. 5 well

异常压力段的起始深度在整个地区比较统一,

为 1 800~ 2 300 m。对应的层位则差别较大,南部以沙湾组(N_{1s})为主,而北部则为侏罗系西山窑组(J_{2x})和八道湾组(J_{1b})。异常开始处的地层泥岩含量一般不是太高,这说明,形成压力封隔体的地层只要致密且具一定厚度即可,毋需太厚。在孕育超压的欠压实段内,地层内的泥岩一般较厚且分布广泛,如百 65 井克拉玛依组(T_{3k}),而欠压实和超压幅度小的层段,则有广泛分布的砂、砾岩。这说明压实和排水的不平衡仍是异常压力孕育和保持的重要机理,即在泥岩等细粒沉积物发育良好(厚度大、含量高)的层位和地区,容易形成并保持较高幅度的异常流体压力。

4 流体势

流体势表达了单位质量流体所具有的总机械能,揭示了流体的一种潜在流动能力^[11~12]。该概述既适用于盆地内以压实流为主(此时流体压力对势的贡献较大)的情形,也适用于盆地内以重力水

流为主(此时高程或海拔位置对势的贡献较大)的情形,以及压实流与重力流共存的情形,故可用于描述盆地演化不同阶段的水动力分布格局^[13]。根据储层实测地层压力(静压)与相应点的海拔高度,分别作出了西北缘二叠系和三叠系顶的现今水势分布图(图 4,以水头表示)。

尽管受实测资料点分布不均匀的限制,但仍能得出反映真实状况的现今二叠系水势分布。由盆地内部向西北缘逐渐降低,其中北段玛 001 井~乌 17 井处水势的梯度最大,说明水动力强,中部克~拐(585 井~拐 5 井处)梯度变缓,且存在一个由东南高势区伸向西北低势区的鼻状等势线分布区。

三叠系的水头分布基本保持东高西低的格局,不同之处在于:(1)在玛湖凹陷处(玛 001 井~玛 5 井东南)发育一全区的高势区;(2)在水头由东南向西北方向的整体降低过程中,在红 65、百 69 585 井等地形成了凸向高势区的低势区,有利于油气的聚集。

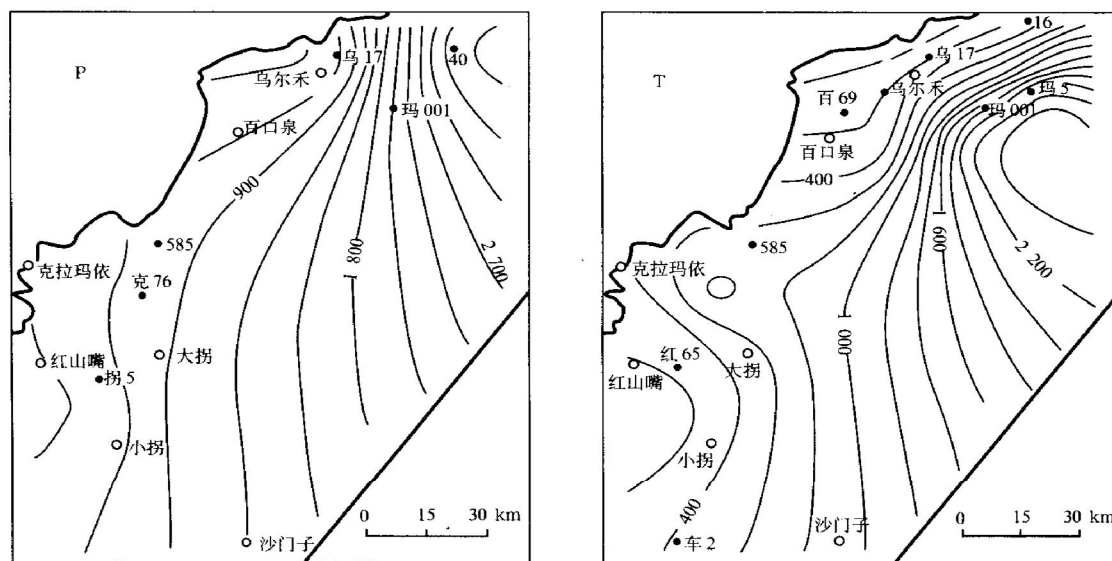


图 4 准噶尔盆地西北缘二叠系和三叠系水势分布图

Fig. 4 Hydraulic distribution diagram for the Permian and Triassic in NW margin of Junggar basin

由流体势的分布特征看,西北缘储层中的现今水动力场主要表现为压实流,即由盆内向边缘斜坡方向,水头分布格局明显呈逐渐降低之势。另外,在盆地边缘的一些构造高点或断裂处,则不排除发育一定程度的重力流或大气水流,它们的活动明显影响了该处流体的物理、化学性质,如乌~夏断阶带的白垩系~上侏罗统。

致谢:在本课题进行过程中,得到西北大学陈荷立、石油大学金之钧、王捷、查明、刘震等教授的

支持,新疆石油管理局张义杰教授级高级工程师等提供了大力帮助,特此一并致谢。

参 考 文 献

- 王震亮. 改造型盆地流体动力学的发育特点[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 24~ 27
- 陈荷立. 油气运移研究的有效途径[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 123~ 131
- 张建林, 陶一川, 王昌桂. 酒西盆地水动力学特征与油气运移聚集[J]. 沉积学报, 1992, 10(2): 109~ 117

- 4 王建荣, 张景达, 赵文智, 等. 吐-哈盆地古水动力条件与油气聚集规律[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(1): 28~ 33
- 5 康永尚, 王捷. 流体动力系统与油气成藏作用[J]. 石油学报, 1999, 20(1): 30~ 33
- 6 张国俊. 准噶尔盆地(中国石油地质志, 卷十五, 上册)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993. 113~ 115
- 7 王震亮, 朱玉双, 陈荷立, 等. 准噶尔盆地腹部侏罗系流体物理化学特征及其水动力意义[J]. 地球化学, 2000, 29(6): 542~ 548
- 8 邸世祥. 油田水文地质学[M]. 西安: 西北大学出版社, 1991
- 9 真柄钦次. 压实与流体运移[M]. 陈荷立, 邸世祥, 汤锡元, 等译. 北京: 石油工业出版社, 1981
- 10 陈荷立, 王震亮. 陕甘宁盆地西部泥岩压实研究[J]. 石油与天然气地质, 1992, 13(3): 263~ 271
- 11 Hubbert M K. Entrapment of petroleum under hydrodynamic conditions [J]. AAPG Bull, 1953, 37(8): 1 954~ 2 026
- 12 陶一川. 油气运移聚集的流体动力学问题[J]. 石油与天然气地质, 1983, 4(3): 254~ 267
- 13 王震亮, 罗晓容, 陈荷立. 沉积盆地地下古水动力场恢复——原理与方法[J]. 西北大学学报(自然科学版), 1997, 27(2): 155~ 159

DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF PRESENT HYDRO- DYNAMICS IN NW MARGIN OF JUNGGAR BASIN

Wang Zhenliang Zhu Yushuang Geng Peng Gao Shengli Sun Mingliang

(*Department of Geology, Northwest University, Xi' an, Shanxi*)

Abstract: NW margin of Junggar basin with relatively complicated structures is composed of western uplift and west part of Mahu depression. The development characteristics of present hydro-dynamics fields have been studied by means of analyzing parameters of fluid physics and fluid chemistry, measuring pressure data in reservoirs, compaction and overpressure in mudstones and distribution of fluid potential. Fluid physicochemical features from various layers show different hydro-dynamics distribution distinctions of its own, so as to recognize easily where gravity flow is strong and where frequent replacement of water between deep layer and shallow layer, namely; districts from Hongshanzui to Wuerhe in the Carboniferous System, Kelamay and adjacent Xia No. 40 well in the Permian, Ke No. 114 wells and Feng No. 1, Wuerhe in the Triassic, Baijiantan-Baikouquan in the Jurassic. It is believed by measuring pressure in situ in sandstones that hydrostatic pressure is basically preserved in the Jurassic and Carboniferous, and overpressure to a certain extent would appear at some depth in the Triassic and Permian, where development of overpressure in plane occurs in Mabei and Xiazijie areas. It is indicated by calculating abnormal pressure in mudstones from compaction curves that the beginning depth of overpressure is between 1 800~ 2 300 m while the beginning corresponding layer is quite different, moreover thick layers of under-compaction mudstone contribute markedly to abnormal pressure. It is believed by studying distribution of hydraulic head in the Permian and Triassic that hydrodynamic fields are present mainly as compaction flow, whereas in some high positions of structures or fractures around northwest margin of Junggar basin the fields are developed and present as gravity flow or meteoric ground water flow.

Key words: hydrodynamic; fluid physics; fluid chemistry; abnormal stratum pressure; NW margin; Junggar basin