



马海盐湖深部卤水钾盐勘查与研究进展

焦鹏程¹, 张建伟², 姚佛军¹, 赵 龙³

(1 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;

2 青岛大学环境科学与工程学院, 山东 青岛 266071; 3 青海中航资源有限公司, 青海 德令哈 817099)

钾盐是中国紧缺的战略资源矿种。据统计(元昭英等, 2009), 2008 年, 中国钾肥消费量已高达 1300 万吨, 而生产能力不足 400 万 t, 对外依存度达 70%。此后, 随着罗布泊盐湖钾盐的开发及青海盐湖扩大产能等, 对外依存度有所下降, 目前对外依存度仍达 50% (邢万里等, 2013)。

马海盐湖位于柴达木盆地东北部, 北起赛什腾山前, 南至茶冷口、南八仙, 西北至冷湖, 东至马海, 面积约 3700 km²。受多期构造运动的影响, 马海盆地自马海古隆起形成的印支运动时期, 一直持续受多种构造应力的联合作用(马长玲等, 2012; 何照等, 2016)。马海盐湖蕴藏丰富的钾盐资源, 其中深部卤水 KCl 资源量 5330 万 t (马金元等, 2010)。以往的钾矿开采主要在地表钾矿层, 经过 20 多年的开发, 地表富钾矿石已消耗殆尽。而潜卤水含水层的持续开采, 使潜水位普遍下降, 以采卤工程为中心形成覆盖全区的降落漏斗。2002 年至 2009 年, 水位埋深平均下降了 2.43 m, 在采卤渠附近地段水位下降超过 5 m。一般认为, 马海盐湖等深度 40 m 以下的深部承压储层, 尽管氯化钾资源量储量巨大, 但因其富水性差, 属于“呆矿”, 不具开采价值。然而, 2010 年马海盐湖深部钻探(K1, 位置参见图 1), 井深 100~120 m, 单井涌水量可达 8000 m³/d, 卤水 KCl 品位大于 1.20%, 揭示出深部储层卤水富钾且水量丰富, 显示其深部层卤水开发的良好前景。但对深部承压储层的富水特征、机理等认识不足, 需进一步勘查、研究。

近年来, 参考罗布泊盐湖遥感解译断陷带分布规律(刘成林, 2010a)、含水墙成钾模式(刘成林, 2010b), 在马海盐湖开展的遥感地质解译、水文地质物探及钻探、地球化学分析等工作, 在深层储层特征、富钾卤水的赋存规律及构造控矿理论等方面取得了新进展、新成果。

1 矿床特征

马海盐湖是一个固、液并存的中(大)型盐湖矿。固体钾矿主要分布于矿区北部, 目前在 20 m 深度范围内, 固体 KCl 平均品位在 5%~8% 的资源储量为 137.4 万 t, 开采的保有资源储量总计 841.06 万 t; 卤水钾矿 5 层, 包括 1 个潜卤水层和 4 个承压卤水层, 潜卤水层岩性为化学沉积的含粉砂(黏土)的石盐, 厚度 1.61~14.78 m, 富水性强, 矿化度 308.20~416.84 g/L, 水化学类型属硫酸镁亚型水, 局部为氯化物型水。承压卤水(即本文所述深层卤水)主要有 4 层(编号 W_{II}~W_V), 其特征见表 1。

2 遥感地质解译

利用高精度、高分辨率、多尺度光学遥感(WorldView2、ASTER、ETM)与雷达遥感(PAL-SAR)相结合, 实现盐湖区 1:5 万和 1:1 万比例尺的多层次“立体”探测。

表 1 马海盐湖承压(深层)卤水层特征

含水层(组)	主要岩性	厚度/m	顶板埋深/m	水头埋深/m	单位涌水量/(m ³ /d.m)	矿化度/(g/L)
W _{II}	含粉砂石盐	4.80~12.08	9.6~26.8	0.73~7.43	0.020~68.73	307.8~387.0
W _{III}	含粉砂石盐	3.31~32.51	23.6~58.6	1.23~18.77	0.020~278.07	306.9~351.0
W _{IV}	含粉砂石盐	7.72~18.43	86.5~114.9	7.72~18.43	0.002~0.169	313.5~326.4
W _V	含石膏粉砂石盐	8.87~28.24	146.8~190.9	9.94~23.00	0.040~0.177	>320.0

注: 据 1991 年青海省柴达木综合地质勘查大队“青海省大柴旦镇马海钾矿区普查报告”整理。

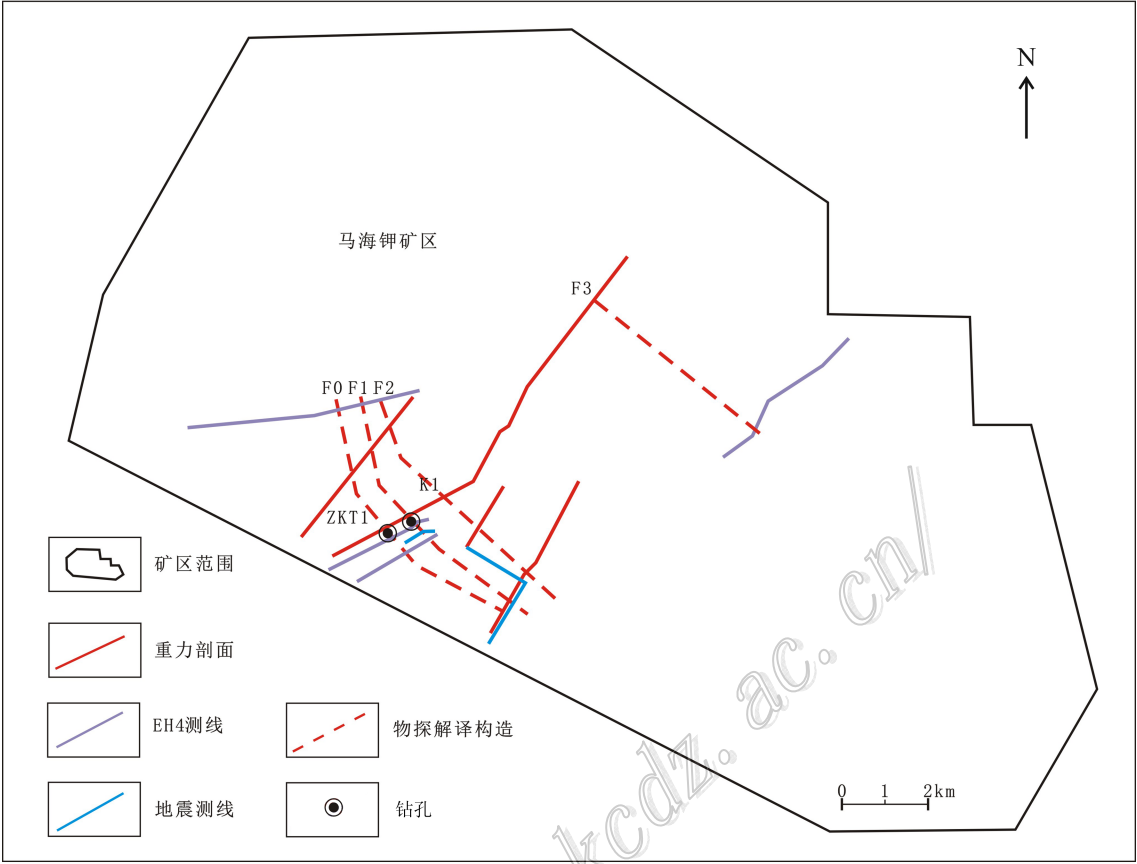


图 1 马海盐湖物探剖面及探测构造

综合利用光线遥感和 PALSAR 雷达遥感 L 波段的穿透性、断裂线性及其回波弱于周围岩体的特征、不同时段干涉雷达图像等,重点对构造及隐伏构造进行探测。如阻水断裂,遥感影像显示暗色线性特征,断裂两侧植被形态和地形特征也具有明显的差别:一侧植被发育,说明地下水水质较淡,水量相对丰富,另一侧没有植被,地下水为富钾卤水。

从解译结果来看(图 2),主要断裂 15 条,呈北西向断裂和北东向断裂共轭展布,2 组压性断裂(F7、F9 等)控制马海盐湖钾盐富集区,受其影响,形成了断裂拗陷区,即张性断裂区域(F10、F11、F12 等),目前出水量较大的钻井与该断裂系有密切关系。根据构造几何形态分析,推测北西向的为张性断裂,为主要的富钾卤水构造带。

3 地面地球物理探测

在马海盐湖采用音频大地电磁法(EH4)、地震

法、重力法、地质雷达法、核磁共振法等物探技术方法,基于区域构造和富卤带控制规律(黄华等, 2014),实施了先导性试验勘查,取得了较好的效果。

通过 EH-4 勘查分析了控水构造和储卤层分布状况,显示有 3 条近于平行的张性构造带穿过矿区;地震剖面表现出含水构造的弹性波振幅、频率和相位的明显差异;高精度重力探测表明矿区上下层之间的继承性很好。物探推测出 4 条富水断裂(图 2)。

4 储层物性分析

马海 ZKT1 钻孔的地层岩性主要有石盐、黏土、粉细砂、石膏,总体来看,黏土、粉细砂层与石盐层交替出现,其中石盐层在钻孔的上、中、下均有出现,且在 27~68 m 和 107~127 m 两个层段出现了纯石盐层,其他层段石盐层均含有少量黏土、石膏、粉细砂等。

孔隙度是储层评价的重要参数之一。笔者根据 ZKT1 孔 20 件岩芯物性实测数据发现(图 3):孔隙

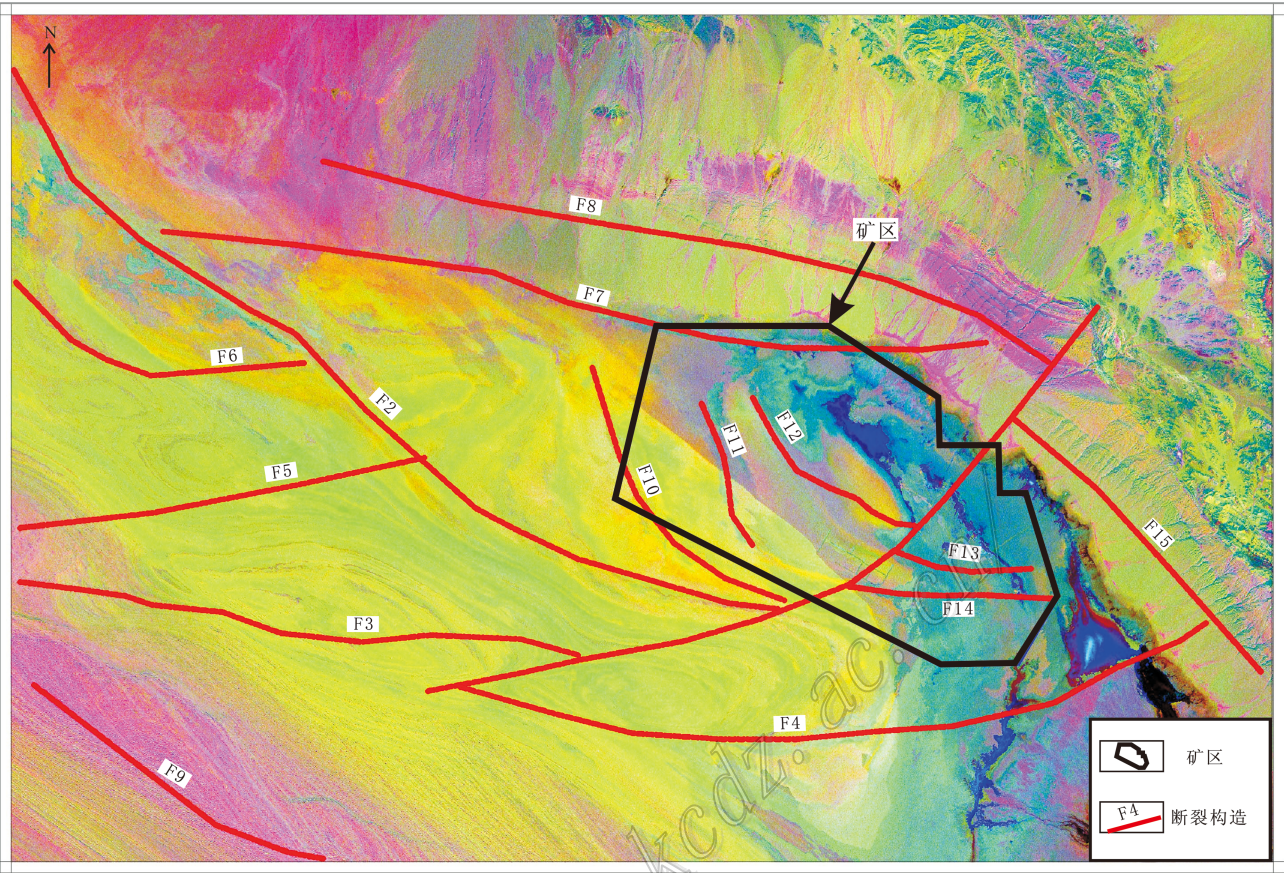


图 2 马海盐湖遥感构造解译结果

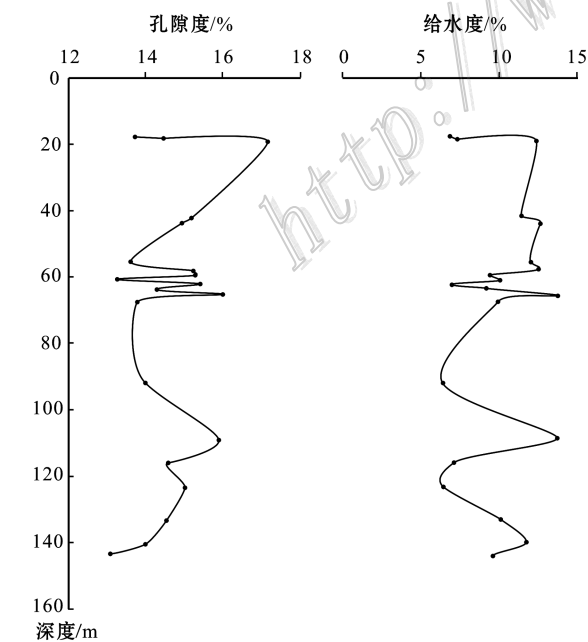


图 3 马海盐湖 ZKT1 孔孔隙度、给水度随深度的变化规律

度最大为 17.13%，最小为 13.08%，平均为 14.67%；深部(40 m 以下)层段孔隙度均大于 13% (最大值 15.89%)，给水度大于 6.39% (最大值 13.72%)，揭示出 ZKT1 孔深部储层有利于富钾卤水的储集与运移，富水性好。

5 构造控矿模式与开发前景

通常将沉积盆地沉降中心和蒸发浓缩中心(石盐沉积厚度最大)确定为富钾卤水的找矿靶区，即寻找沉降中心较厚的晶间含水层，其储卤模式为“水平层状储卤”模式。通过遥感、物探、地球化学等研究，笔者提出了马海盐湖深部承压富钾卤水存在另一种赋存模式——陡倾集水廊道储卤模式，即区域条带深层构造控水模式。“陡倾集水廊道储卤模式”与“水平层状储卤模式”相比的优势在于：陡倾集水廊道(断裂带)孔隙度大、能够储集相当的水量，既是集水空间，又是导水通道，其综合功能更接近于盐湖开

采工程系统中的采卤渠,是天然的“采卤渠”,能大大提高给水的能力,有效解决深部卤水开发“两低一难”(低孔隙度、低渗透率、难开发利用)问题。

马海深部承压卤水具有 KCl 品位高($>1.0\%$)、埋藏浅($<150\text{ m}$)等特征,且资源丰富,盐田日晒条件好、提钾工艺成熟。应用构造控矿理论,探测构造发育规律,圈定富水性,预测可采资源量为 $3.14 \times 10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 。

6 结 论

通过在马海盐湖开展遥感地质解译、水文地质物探及钻探、地球化学分析等工作,基本查明构造分布规律,综合研究认为,马海钾矿区深部承压卤水富集受到张性构造带的控制作用。

基于马海盐湖的找矿实践,提出了“陡倾集水廊道储卤模式”,也是深部卤水可开资源的主要赋存模式,涌水量通常很大,应作为马海盐湖深部富钾卤水勘查和开发优先考虑的方向。

参考文献

- 何照,张西营,黄聿铭,马海州,李永寿,苗卫良. 2016. 柴达木盆地北部新生代构造运动及其对盐湖演化的影响[J]. 盐湖研究, 24(1):1-7.
- 黄华,刘成林,张士万,徐海明,叶建中,王春连,彭伟,文辉. 2014. 深层富钾卤水的地球物理探测技术及应用——以江陵凹陷为例[J]. 矿床地质, 33(5):1101-1107.
- 刘成林,焦鹏程,王弼力. 2010a. 盆地钾盐找矿模型探讨[J]. 矿床地质, 29(4):581-592.
- 刘成林,焦鹏程,陈永志,王弼力. 2010b. 罗布泊断陷带内形成富钾卤水机理研究[J]. 矿床地质, 29(4):602-608.
- 马长玲,李科. 2012. 柴北缘马海古隆起形成机制数值模拟分析[J]. 中国煤炭地质, 24(8):12-15.
- 马金元,胡生忠,田向东. 2010. 柴达木盆地马海钾盐矿床沉积环境与开发[J]. 盐湖研究, (3):9-17.
- 元昭英,马金元. 2009. 我国一次钾肥的生产现状与未来展望[J]. 磷肥与复肥, 24(1):13-17.
- 邢万里,陈其慎. 2013. 中国钾资源安全分析[J]. 中国矿业, 22(12):11-14.