

深层富钾卤水类型、勘查技术方法及工业指标建议

李博昀, 邓小林, 王凡, 王占文, 韦钊, 刘星旺, 邓宇飞, 张明明, 栾俊霞

(中化地质矿山总局地质研究院, 北京 100101)

[摘要]为修订完善现行《盐湖和盐类矿产地地质勘查规范》(DZ/T0212-2002)有关深层卤水的勘查类型、勘查技术要求及工业指标等内容,作者系统收集了近年来富钾深层卤水的勘查成果及研究资料,并进行归纳总结。根据卤水的赋存条件,对深层卤水类型进行了分类,划分为孔隙型、孔隙-裂隙型和溶蚀孔洞-裂隙型三种勘查类型;针对不同卤水矿类型及已有工作程度提出了“油钾兼探”及开展专项勘查评价两种工作方法;总结了近年来对深层富钾卤水工业指标论证成果,确定深层富钾卤水矿一般工业指标:边界品位为 $KCl \geq 0.3\% \sim 0.5\%$,最低工业品位为 $KCl \geq 0.5\% \sim 1.0\%$ 。该成果已应用到规范修订中。

[关键词] 深层富钾卤水 类型 勘查技术方法 工业指标

[中图分类号] P624 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2019)06-10

Li Boyun, Deng Xiaolin, Wang Fan, Wang Zhanwen, Wei Zhao, Liu Xingwang, Deng Yufei, Zhang Mingming, Luan Junxia. Types, exploration techniques and suggested industrial indexes of deep-seated potassium-rich brine[J]. *Geology and Exploration*, 2019, 55(6): 1426-1435.

0 引言

现行《盐湖和盐类矿产地地质勘查规范》(DZ/T 0212-2002)自2002年修订后实施十多年来,对指导盐湖和盐类矿产的勘查、开发起到积极的指导作用。我国钾盐资源严重短缺,以往的钾盐勘查工作侧重于现代盐湖型钾盐矿的勘查,由于当时深层卤水矿的勘查工作程度低,原规范对其勘查相关技术要求较为粗略。近十年来,钾盐勘查工作重点逐渐转向深部,开展了一系列勘查评价及科研项目,富钾

深层卤水找矿工作取得了新的突破,在柴达木盆地西北部发现了巨厚砂砾石孔隙型富钾卤水矿,在江汉盆地、四川盆地等深层卤水的勘查也取得了新进展,初步形成了深层卤水矿的勘查技术方法体系,需要对成熟有效的勘查技术加以总结,提出工业指标建议,以期对现行规范补充完善。

1 深层富钾卤水类型

本次规范修订对我国不同成盐盆地深层卤水的埋深进行了统计(表1)。根据深层卤水的赋存情况,

表1 我国不同地区深层富钾卤水顶板埋深一览表

Table 1 Roof depths of deep-seated potassium-rich brine in different areas of China

地区	地层时代	含卤层组	顶板埋深(m)	备注
黄河三角洲	始新统	Es_3	2400~3500	
江陵凹陷	古新-始新统	$E_{1-2}x$	3300~4000	
潜江凹陷	始新统	E_2q	1700~2450	最浅600m
四川盆地	上三叠统	T_3x	700~1934	黄卤
	中三叠统	T_2l	1000~3000	黑卤最深5782m
柴达木盆地西北部	第四系更新统	Qp_1l	162.29~797.2	最浅122.1m
柴达木盆地西部油泉子	渐新统、中上新统	E_3, N_{1-2}	2799~4263	
柴达木盆地西部南翼山	渐新统、中上新统	E_3, N_{1-2}	1200~3000	

[收稿日期] 2019-02-22; **[改回日期]** 2019-10-10; **[责任编辑]** 衣骏杰。

[基金项目] 国家矿产资源储量技术标准体系建设项目之矿产地质勘查规范制修订研究课题(编号:CB2017-4)之盐湖和盐类矿产地地质勘查规范修订研究(编号:CB2017-4-16)联合资助。

[第一作者] 李博昀(1964年-),男,1988年毕业于西安地质学院,获学士学位,教授级高级工程师,主要研究方向为地质矿产科研与勘查。E-mail:276260609@qq.com。

将储卤层埋深大于 200m,处于高压封闭状态的卤水视为深层卤水。这种卤水无补给来源、具有较大的存储量,不具可恢复性和更新性(周训,2013)。深层卤水的形成主要与古气候、古地质条件和古水文条件有关,需要高度封闭和深埋的地层条件,尤其是

盆地内卤水往往与地层深部的石盐、石油和天然气相伴而生(黄汉纯等,1989;林耀庭等,1998,2002;王焕夫,2001)。深层卤水主要分布在一些含盐盆地的深层储卤层中,如四川盆地、柴达木盆地西部、江汉盆地及山东黄河三角洲地区(图 1)。

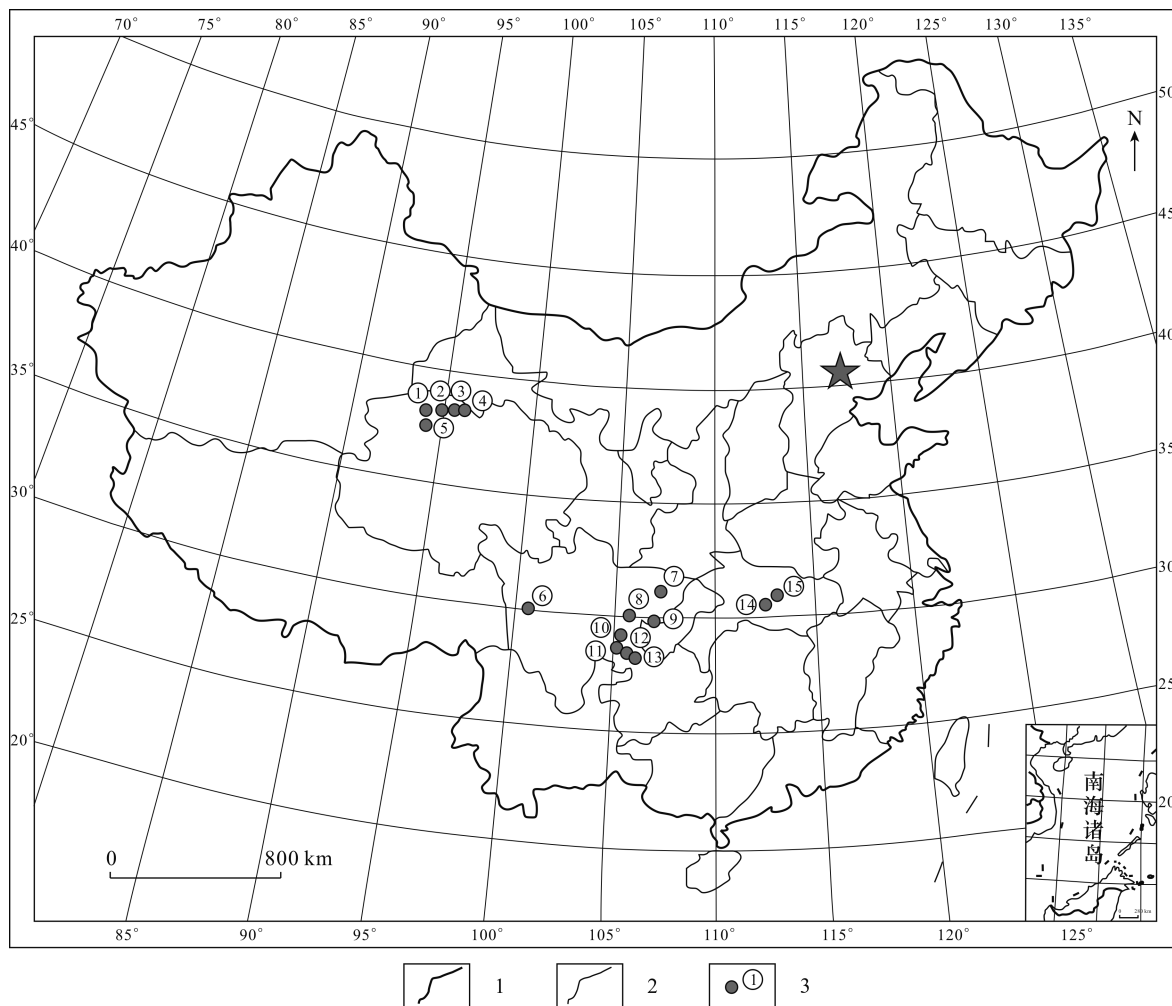


图 1 中国深层富钾卤水资源分布图

Fig.1 Map showing distribution of deep-seated potassium-rich brine resources in China

1 - 国界;2 - 省界;3 - 卤水矿点及编号;① - 大浪滩;② - 察汗斯拉图;③ - 昆特依;④ - 马海;⑤ - 南翼山;⑥ - 平落坝;⑦ - 罗家坪;⑧ - 遂宁磨溪;⑨ - 卧龙河;⑩ - 双河;⑪ - 自流井;⑫ - 兴隆场;⑬ - 邓井关;⑭ - 江陵;⑮ - 潜江

1 - national border;2 - provincial boundary;3 - brine spot and number;① - Dalangtan;② - Chahansilatu;③ - Kunteyi;④ - Mahai;⑤ - Nanyishan;⑥ - Pingluoba;⑦ - Luojiaping;⑧ - Mosi in Suining;⑨ - Wolonghe;⑩ - Shuanghe;⑪ - Ziliujing;⑫ - Xinglongchang;⑬ - Dengjingguan;⑭ - Jiangling;⑮ - Qianjiang

研究深层富钾卤水的赋存特征,划分深层卤水的类型,对于合理布置勘查工作,指导找矿具有重要意义。

深层卤水赋存需要一定储存空间,这些空间即受地层岩性的制约,又受后期地质演化及构造变动的控制。根据储卤层性质,深层卤水最初赋存于砂砾石层、砂岩层及碳酸盐岩层原生的孔隙中,如砂砾石层及砂岩中的粒间孔隙、碳酸盐岩中微溶孔(包

括粒内溶孔、粒间溶孔、晶间溶孔、针状溶孔)等,形成储卤层。这些原始的孔隙、溶孔对于地下深层卤水的储存具有重要的意义,如四川盆地邓井关构造,三叠系中下统碳酸盐岩储卤层中平均孔径为 0.146mm,微孔隙占孔隙总数的 95.4%(周训,2013),由于原生的孔隙,特别是碳酸盐岩储卤层的溶孔细小,渗透性差,后期的地质演化及构造改造就显得更加重要,如构造运动形成的次生裂隙和碳酸

盐岩中的卤水对岩石的溶蚀作用形成的溶蚀孔洞^①,特别是背斜和断裂构造等形成的有利赋存空间促进了卤水的进一步运移、富集,形成了有利的储卤构造。除第四系砂砾石孔隙型卤水外,其他层位的储卤层都经历了不同程度的构造改造,形成了复合型储卤层类型。目前已发现的深层富钾卤水可划分为孔隙型、孔隙-裂隙型及溶蚀孔洞型-裂隙型三种勘查类型。

1.1 砂砾石型孔隙富钾卤水

最近在柴达木盆地西北缘新发现一种深层富钾卤水类型,其储卤层分布于柴达木盆地西北缘阿尔金山前的次级凹陷内,这些凹陷受断裂控制,自早更新世起沉积了冲洪积扇相松散的砂砾石层、砂层、粉砂层及粘土层(李洪普等,2014)。该套储卤层从西边大浪滩凹陷-黑北凹陷至东部马海凹地呈条带状分布,东西长约 120km,南北宽 8~16km,面积约

1500km²。储卤层岩性为早更新世冲洪积中粗砂、卵砾石层夹粘土层^{②③④}(图 2),储卤层顶板埋深在 122.1~1230m,底板埋深 474~1983.9m(马海凹陷),厚度在 196~1265.14m 之间,其中大浪滩矿区、昆特依和马海矿区储卤层平均厚分别为 581.74m、681.11m 和 793.10m,孔隙度在 16.66%~33.96% 之间,给水度大于 12.00%,具有承压性,水位埋深 8~27.7m。该砂砾石层富水性中等-强,其中昆特依单井最大涌水量 6500m³/d,降深 32m。卤水矿化度一般在 259~300g/L 之间,卤水中 KCl 含量 0.14%~1.56% 之间,NaCl 含量 17.04%~22.14%;卤水中微量元素含量低,B₂O₃ 含量 55.85~151.60mg/L, Li⁺ 含量 0.74~2.96mg/L, Br⁻ 含量 0.68~1.98mg/L, I⁻ 含量 7.65~7.90mg/L,水化学类型为氯化物型^②(谭红兵等,2007;郑绵平等,2012,2015;李洪普,2014)。

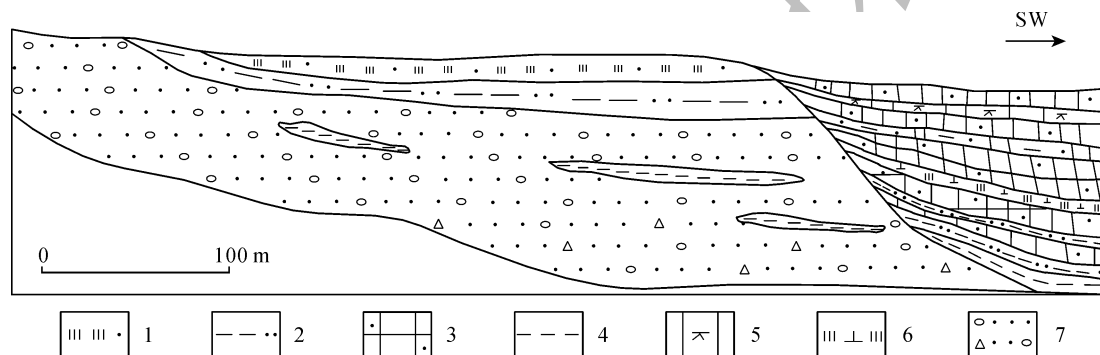


图 2 大浪滩深层富钾卤水矿床剖面图

Fig. 2 Crosse section of the deep-seated potassium-rich brine at Dalangtan

1 - 含粉砂淤泥;2 - 含粉砂粘土;3 - 含粉砂石盐;4 - 粘土层;5 - 含石盐白钠镁矾;6 - 含石膏淤泥;7 - 含卤水砂砾石

1 - silt-bearing ooze;2 - silt-bearing clay;3 - silt-bearing halite;4 - clay;5 - halite-bearing bioedite;6 - gypsum-bearing ooze;7 - gravel with brine

该类型卤水呈层状分布,规模大,富水性中等偏强,矿化度较高,KCl 含量达到开发利用要求,是我国深层卤水找钾的重大突破,将缓解我国钾盐资源紧张的局面。

1.2 孔隙-裂隙型卤水

以江汉盆地深层卤水为代表。该盆地是中扬子准地台上的中生代断陷盆地,总面积超过 36350km²,受北西向基地构造及北东向基地构造骨架的制约,江汉盆地分成七个凹陷(枝江凹陷、江陵凹陷、潜江凹陷、沔阳凹陷、小板凹陷、云梦凹陷及陈沱口凹陷)及五个凸起,共十二个次级构造单元,为典型的油气共生的内陆盐湖盆地,主要沉积白垩-古近系,厚度超过 10000m,其中古近系潜江组和新沟

嘴组是主要储卤层,少数钻井在沙市组也钻遇过富钾卤水,其中以江陵凹陷和潜江凹陷研究程度最高。

江陵凹陷位于江汉盆地西南部,由丫角-新沟低凸起与潜江凹陷相隔,面积 6500km²。储卤层为古近系沙市组下段和新沟嘴组下段,主要分布于凹陷的西南部,储卤层岩性为砂岩,厚 20~40m,最厚 70m。储卤层埋深一般在 3300~4000m。在盆地内石油勘探中钻遇多处高温高压卤水,区内油气钻孔中沙 4 井、沙 15 井、路 9 井、鄂深 5 井发现自喷卤水,在后期施工的岗钾 1 井也遇到自喷卤水,说明在盆地内存在高承压卤水。高承压水的形成往往与褶皱构造有关,路 9 井及岗钾 1 井位于相对隆起区^⑤,储卤层裂隙较发育,有利于卤水的富集(图 3)。

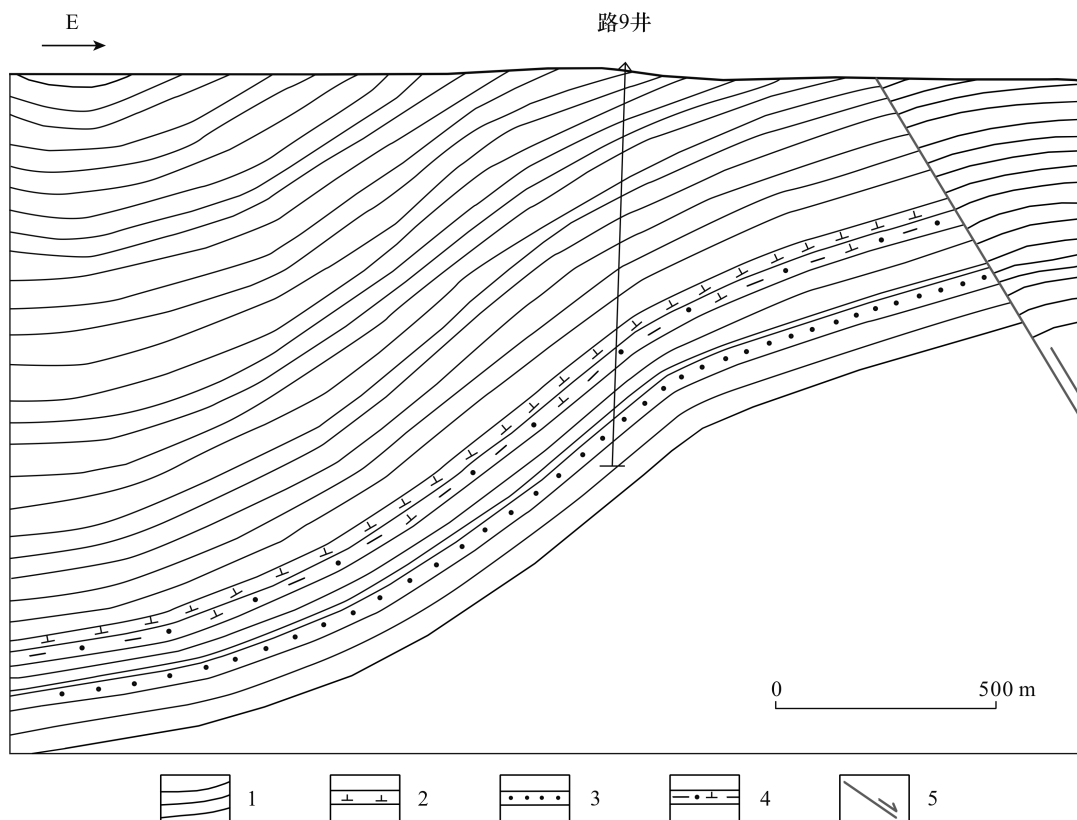


图3 江陵凹陷富钾卤水储卤构造剖面图

Fig.3 Cross section of deep-seated potassium-rich brine storage structure in Jiangling depression

1 - 泥岩;2 - 石膏岩;3 - 含卤砂岩;4 含卤含膏泥岩夹砂岩;5 - 断层

1 - mudstone;2 - gypsum;3 - brine-bearing sandstone;4 - brine-bearing gypsum with sandstone;5 - fault

卤水中 KCl 含量在 6.96 ~ 18.56 g/L, 在岗钾 1 井卤水中 B_2O_3 含量 2877 mg/L, Br^- 含量 220.46 mg/L, LiCl 含量 360.41 mg/L, I^- 含量 46.5 mg/L, RbO_2 含量 69.2 mg/L, Cs_2O 含量 24.1 mg/L, KCl、LiCl、 B_2O_3 达到单独开采工业品位, 其他达到了综合利用品位(周庆, 2012)。

潜江凹陷位于江汉盆地中东部, 面积 2500 km², 储卤层为古近系潜江组砂岩, 主要分布于凹陷的北部, 岩性可分为中砂、细砂、粉砂岩, 砂岩孔隙发育, 孔隙度在 10% ~ 30%, 平均为 20%, 渗透率在 1 ~ 3000 mD, 卤水主要赋存有砂岩孔隙中。潜江组储卤层可分为 5 个含卤水岩组, 每个含卤水岩组之间均有区域性的隔水层, 厚度在 20 ~ 215 m, 主要岩性为泥岩、膏盐和岩盐层, 含卤岩组分布面积一般在 400 ~ 1000 km², 卤水组的埋深在 1800 ~ 2500 m 之间。卤水层平均矿化度为 274.84 g/L, 在蚌湖、王场和周矶向斜沉积中心矿化度大于 300 g/L, 卤水组分以 NaCl 为主, KCl 含量 0.97%, Br 含量 368 mg/L, LiCl 含量 368 mg/L, B_2O_3 含量 590 mg/L, LiCl 达到单独开采工

业品位, 其他达到了综合利用品位(黄华等, 2015)。

江汉盆地普遍赋存深层孔隙卤水, 在构造有利部位、裂隙发育, 含钾卤水得到进一步富集, 一般能高压自喷, 卤水中钾及其他有益元素含量高, 富水性较好, 是一种重要的钾盐资源。

1.3 溶蚀孔洞型-裂隙型

以四川盆地为例, 富钾卤水资源丰富, 该盆地属华南板块大型沉积盆地, 总面积 26 万平方千米, 盆地基底为前震旦系, 震旦系及之后盖层发育较为全面, 沉积了巨厚的海陆相地层, 从震旦纪到白垩纪有多个成盐期, 多个储卤层, 其中下-中三叠统嘉陵江组和雷口坡组地层赋存富钾卤水, 为盆地内主要富钾卤水层位, 雷口坡-嘉陵江组储卤岩系埋深一般在 676 ~ 4232 m, 梓潼老关庙最大埋深 5782 m(熊淑君等, 1996)。储卤层由白云岩、石灰岩、白云质灰岩组成, 储卤层累计平均厚约 110 m, 储卤层中原始针孔状溶孔孔径一般在 0.15 ~ 0.46 mm, 平均孔隙度在 1.80% ~ 3.70% 之间, 孔渗条件差, 属于低孔低渗致密储层。二储卤层之间由粘土岩相隔, 上覆

须家河组第一段页岩、砂质页岩为盖层。由于后期经历了多次构造运动,产生了大量的节理裂隙,裂隙率在4.2~28.9条/米,裂隙宽1~2mm,扩大了储卤层的储卤空间,改善了储卤层的运移条件,同时促进了次生溶蚀孔洞发育,次生溶孔直径大者可达2cm,局部密集呈蜂窝状,使得储卤层的总体孔隙度提高,一般在6.33%~12.98%,高者可达17.84%^⑥,改造了储集层的储卤空间,连通性提高,形成溶孔-裂隙型卤水(徐廷谅1991;林耀庭,1999)。在背斜及断

裂带处,为深层卤水的富集部位(图4),形成背斜圈闭型、背斜圈闭-断层富集型和断层控制-背斜圈闭型三种类型,储卤范围主要受背斜范围控制。目前盆地内发现含有富钾卤水的储卤构造10余处,主要包括邛崃平落坝构造、自贡自流井构造、罗家坪构造、遂宁摩溪构造等^⑤(李文鹏,2015),这些构造一般具有褶皱强度中等、褶皱幅度不高、裂隙发育、盖层封闭良好等特征。各储卤构造的面积在32~240km²不等(表2)。

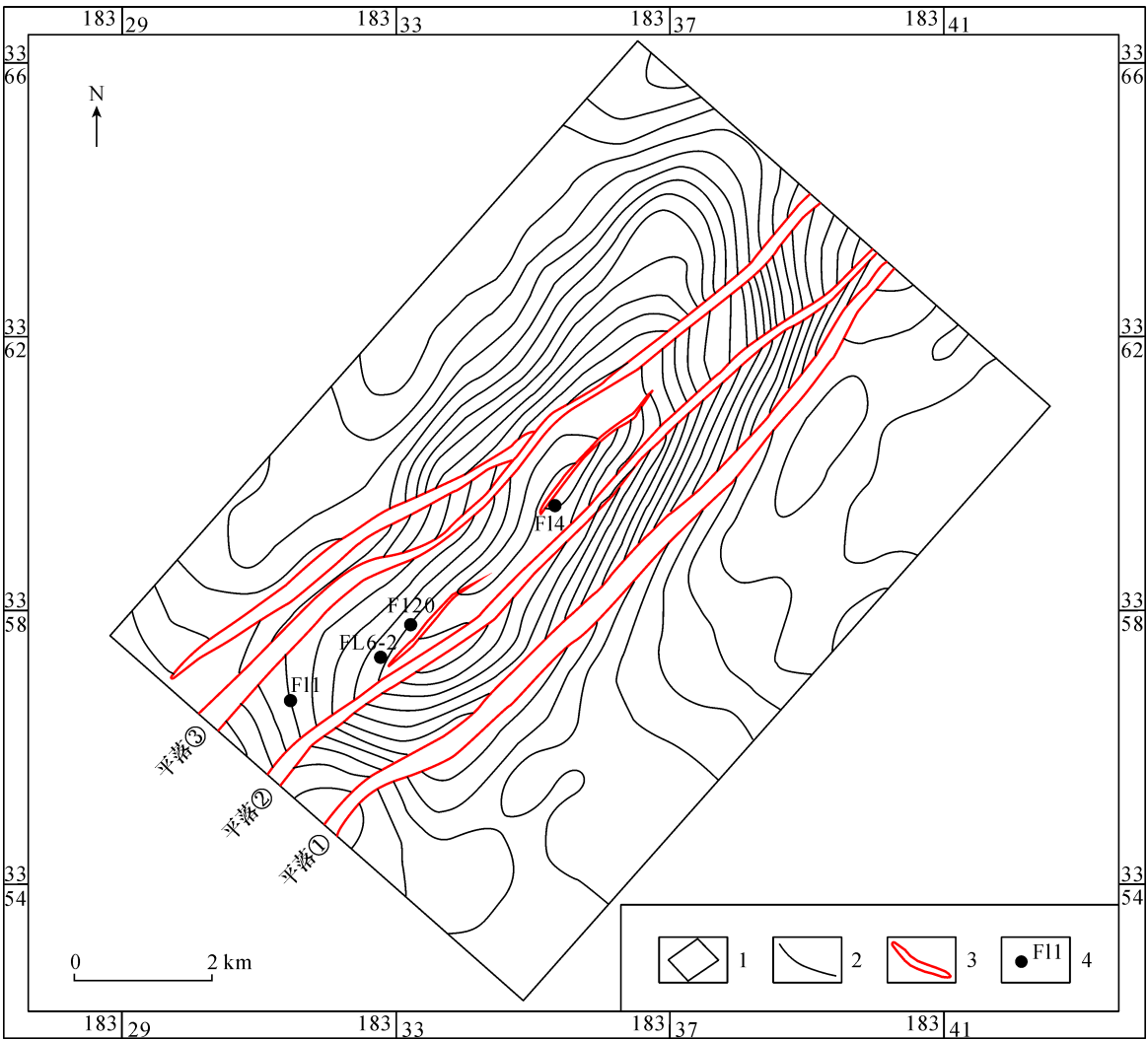


图4 四川盆地平落坝构造雷口坡组界三维地震反射构造图^⑥
Fig.4 3D seismic reflective structural map of the top boundary of Leikoupo Formation of Pingluoba structure in Sichuan Basin^⑥

1-三维测线框;2-三维地震等值线;3-断层;4-钻孔及编号
1-frame of 3D survey line;2-contour line of 3D seismic data;3-fault;4-drillhole and number

表2 四川盆地主要富钾卤水储卤构造特征一览表

构造名称	主要储卤层	孔隙度 (%)	KCl (g/L)	储卤层厚 (m)	顶板埋深 (m)	面积 (km ²)
武胜龙女寺	$T_2l^1 - T_{1j}^5$		4.75		2000 ~ 3000	240
邛崃平落坝	$T_{1j}^5 - T_2l^4$	3.78 ~ 11.21	95.24	111	4231	31.75
自贡邓井关	$T_{1j}^5 - T_2l^1$	6.34 ~ 7.20	5.61 ~ 8.99	50 ~ 70	676 ~ 1311.50	110
自贡兴隆场	$T_{1j}^5 - T_2l^1$		4.75	70.44	900 ~ 1200	60
自贡自流井	$T_{1j}^5 - T_2l^1$	8.27	4.05 ~ 7.14	44.35	850 ~ 1200	225
宣汉罗家坪	$T_{1j}^5 - T_2l^1$	1.08 ~ 6.47	50.10	50 ~ 77	2650 ~ 3500	78
遂宁磨溪	T_2l^1		22.92	20 ~ 22	2066 ~ 2730	90
卧龙河	$T_{1j}^5 - T_2l^1$	3 ~ 9	4.75	24 ~ 60.8	1000 ~ 2000	153
资中双河	$T_{1j}^5 - T_2l^1$	7.14	9.55	50.73	800	40

四川盆地深层卤水矿化度一般在 230 ~ 325 g/L, 平落坝最高可达 387.78 g/L, 卤水中 KCl 含量在区域上一般在 2.83 g/L 以上, 在储卤构造内较为富集, KCl 一般大于 4.78 g/L, 最高可达 95.34 g/L, Br⁻ 含量 345 ~ 2533 mg/L, I⁻ 含量 20 ~ 38.38 mg/L, LiCl 含量 548.67 ~ 173.57 g/L, B₂O₃ 含量 1139.88 ~ 16080.68 mg/L, 卤水中 KCl、LiCl、Br⁻、I⁻、B₂O₃ 达到工业品位, 其他具有综合利用价值(林耀庭等, 1996, 2001, 2002; 张淑彬等, 2003)。

2 勘查技术方法

深层卤水埋深大、地层压力高。目前除青海察尔汗盆地西北缘砂砾石孔隙型卤水外, 其他成盐盆地的深层卤水都是在油气勘查工作中发现的。深层卤水层的进一步勘查要充分利用已有的油气勘查资料, 采取“油钾兼探”的方法, 而砂砾石型孔隙卤水则采取专项勘查评价的方法。

2.1 “油钾兼探”工作

充分利用油气勘查资料, 对资料进行二次开发, 统一协调、最大化、最优化利用各方资源, 可节约大量时间和成本。目前江汉盆地、四川盆地以及青海油田深层富钾卤水的勘查评价工作均采用“油钾兼探”方法。

由于我国主要的深层卤水富集盆地均为油气共生盆地, 油气部门已对盆地开展了大量的地质调查、二三维地震勘查、钻探、物探测井工作, 并发现了富钾的油田卤水, 作为一种重要的伴生资源, 相关油气勘查单位及国家开展了专项研究工作, 形成了一套油田深层卤水勘查评价的新技术^①(王春宁等 2007; 杨飞等, 2011; 阎建国 2013)。其主要内容通过对石油钻探、测井及二三维地震资料的二次开发, 对深层

卤水进行识别、对卤水层的分布研究、通过少量的钻探验证, 提高资源储量级别。

深层卤水进行识别: 利用已知钻孔储卤层和地球物理测井资料, 建立储卤层与地球物理测井参数(自然伽马、井径、视电阻率、声波时差、密度等)之间的关系, 对测井资料进行刻度, 建立储卤层的解释标志; 通过声波时差值及自然伽马位比数据对砂岩储卤层及干层进行识别, 判定储卤层的位置、厚度、岩性; 通过声波时差差值与岩心孔隙度之间的相关关系, 建立储卤层孔隙度的解释模型, 用以判别其他钻孔储卤层的孔隙度; 利用测井资料建立矿化度解释方法, 确立利用脉冲中子测井计算深层卤水矿化度的方法(黄华等, 2016), 能够快速测定卤水的矿化度。

对储卤层的分布研究: 主要依据已知钻孔资料, 对经过钻孔的地震剖面资料进行分析, 结合地球物理测井资料, 最终确定储卤层的分布特征。首先通过已知钻孔建立精细的地层剖面序列, 分析通过钻孔的三维测线地震剖面图, 建立各地层及储卤层与地震波反射特征的关系, 对储卤层进行标定, 通过波阻抗反演, 区分岩相区, 控制储卤构造的范围, 对地震储层预测; 综合分析区内钻孔资料、电测井资料、岩相古地理等资料, 对地质储层预测; 通过对预测的地震储层和地质储层进行叠合, 最终确定预测的地震地质储层及卤水层的分布。

钻探: 通过少量的钻探验证工程, 提高对富钾储卤构造的控制程度和资源储量级别。深层富钾卤水深埋大、具高承压性, 在钻探施工及试水环节上采用油田钻井公司的钻探设备, 因为油田钻井公司具有高压防喷设施及钻遇这种高压卤水的施工经验, 作业队伍具有大型压裂车和压裂材料, 为富钾卤水的

发现及后期施工提供强有力的技术支撑(郑文龙等,2019),卤水井的施工严格按照油气探井的要求施工,施工结束后进行地球物理探测井工作,根据区内刻度好的测井资料对卤水钻井的测井资料进行解释处理。在江汉盆地、四川盆地的深层卤水勘查中均采用油田的钻井设备施工。

2.2 专项勘查评价

柴达木盆地西北部砂砾石型深层卤水是在分析该区地层、构造条件的基础上进行的专项找钾工作中发现的新型卤水类型。该类型卤水分布面积广,储卤层埋深较小,承压性低,钻探工作是勘查的主要手段。钻探施工可采用 THJ-2000 型岩心钻机(王正浩等,2014),勘查工作中开展了地球物理测井,并对已有二维地震资料进行了综合研究,应用到卤水层的预测中。

柴达木盆地西部深层卤水钾盐资源综合评价主要通过区域地质、矿产资料的分析及地震资料的解译,认为山前冲积平原上的小盆地具有赋存深部卤水的条件(王伟等,2018),确定找矿靶区,开展少量钻探验证及地球物理测井工作,了解储卤层的埋深、岩性,对测井资料进行判识,建立储层参数解释模型;进行分层抽水试验、了解储卤层的富水性、水文地质参数及卤水化学组分。开展地震剖面解译工作,结合测录井资料,进行井-震联合标定反演,进行深层卤水层相应特征研究,通过对储卤层不同方向剖面的追踪,识别勾画砂砾石层的空间展布形态,通过进一步的钻探验证及面上网度控制,提交相应级别的资源量。

3 深层富钾卤水工业指标的建议

深层卤水埋藏深、勘查难度大,以往深层卤水勘查程度低,原规范未给出深层富钾卤水的一般工业指标。随着我国深层富钾卤水勘查工作不断取得新的进展,作为现有现代盐湖型钾盐矿的接替资源,其勘查工作日益受到国家的重视,已有青海省茫崖镇大浪滩东北部矿区、四川邛崃平落坝等矿区达到普查程度,国内相关单位就不同类型的深层富钾卤水进行了工业指标的论证,其中青海省柴达木综合地质矿产勘查院等单位针对柴达木盆地西北缘深层孔隙卤水开展了专题研究,提交了专题研究报告。该区砂砾石型孔隙卤水中 KCl 含量偏低,不同凹陷内卤水中 KCl 含量在 0.14%~1.56% 之间,伴生有益元素含量低,但资源量规模大,区内气候干燥,地貌属于湖积平原,有利于通过盐田法自然蒸发晒卤。

对深层卤水开发加工工艺进行了实验室蒸发实验、野外自然蒸发小试和盐田蒸发试验,并确定了一粗一精正浮选工艺流程,试验指标良好;通过类比法、经济分析法和统计分析法,确定砂砾石孔隙型深层富钾卤水边界品位为 $KCl \geq 0.3\%$,最低工业品位为 $KCl \geq 0.5\%$ ⑧。

我国东部四川盆地、江汉盆地深层卤水的自身组分特征及外部开发条件都与西部有很大的差异,具有 KCl 含量较高、伴生有益元素多、含量高的特点,如四川平落坝深层卤水平均含量 $KCl: 8.2\%$, $LiCl: 536.79 \text{ mg/L}$, $B_2O_3: 15990 \text{ mg/L}$, $Br^-: 2658 \text{ mg/L}$, $I^-: 31.26 \text{ mg/L}$,综合利用价值高⑨,江汉盆地江陵凹陷富钾卤水也具有相似的特征。但这些地区气候条件不利于自然蒸发,没有广阔的场地修建盐田,需通过强制蒸发手段进行生产,建厂的外部条件较差,成本相对较高。由原成都理工大学等多家单位对平落坝盐卤资源综合利用进行了加工工艺研究,针对卤水特征,确定卤水边界品位 $KCl \geq 0.5\%$,最低工业品位 $KCl \geq 1.0\%$,经过试验,最终确定了“卤水改性-多元组合结晶工艺”,通过对矿床的技术经济评价,认为生产工艺合理可行,经济合理⑩。

综合不同地区、不同类型的深层富钾卤水资源特点、开发利用条件及选冶试验结果,本次规范修订新提出了深层富钾卤水的一般工业指标,建议将深层富钾卤水的边界品位定为 $KCl \geq 0.3\% \sim 0.5\%$,最低工业指标为 $KCl \geq 0.5\% \sim 1.0\%$ 。结合不同地区实际情况,我国西部地区深层富钾卤水工业指标宜采用低值,东部地区宜采用高值。以上指标是在充分总结现阶段我国深层富钾卤水工业指标的研究论证成果基础上提出的,具有较广泛的代表性和适用性。

4 结论

深层富钾卤水作为我国浅层钾盐资源的接替资源,其勘查工作得到了国家及相关企业的高度重视,通过不断加大勘查力度,在青海柴达木盆地取得了钾盐找矿的突破,发现了深层砂砾石型孔隙富钾卤水。本次规范修订的主要内容之一就是补充相关内容。本文对深层卤水的勘查类型进行了划分、总结了近年来深层卤水勘查中的新的较为成熟勘查技术方法,提出了深层富钾卤水的一般工业指标:边界品位为 $KCl \geq 0.3\% \sim 0.5\%$,最低工业品位为 $KCl \geq 0.5\% \sim 1.0\%$,通过进一步完善,将对我国深层富钾卤水矿的勘查工作起到指导作用。

致谢:规范修订调研过程中得到了中国石油化工股份有限公司江汉油田分公司勘探开发研究院黄华高级工程师及青海省柴达木综合地质矿产勘查院有关专家的大力支持,笔者表示衷心的感谢。

[注 释]

- ① 地矿部第二地质大队. 1990. 四川盆地卤水资源评价及综合利用途径研究[R].
- ② 青海柴达木综合地质矿产勘查院. 2012. 青海省柴达木盆地西部第三系上新统富钾硼锂深循环卤水普查报告[R].
- ③ 青海柴达木综合地质矿产勘查院. 2011. 柴达木盆地西部新近系以来固液相钾盐资源调查评价[R].
- ④ 中国地质科学院矿产研究所. 2013. 中国柴达木盆地西部上新统以来富钾硼锂深循环卤水矿产普查岩心综合研究成果报告[R].
- ⑤ 中国地质科学院. 2011. 江陵古近纪盐盆地富钾卤水调查评价[R].
- ⑥ 四川省地质矿产勘查开发局. 2011. 四川省钾盐资源潜力评价成果报告[R].
- ⑦ 青海省地质调查院. 2011. 油田水资源勘查评价与开采技术研究[R].
- ⑧ 青海省柴达木综合地质矿产勘查院. 2018. 深层卤水钾盐矿工业指标论证及勘查规范研究报告[R].
- ⑨ 邛崃市鸿丰钾矿肥有限责任公司. 2010. 四川省邛崃市平落坝深藏卤水钾硼盐矿普查报[R].

[References]

- Huang Hanchuen, Zhou Xianqiang, Wang Changli. 1989. Tectonic evolution of the Qaidam Basin and the regularity of oil accumulation[J]. Geological Review, 35(4): 314 – 323 (in Chinese with English abstract).
- Huang Hua, Yu Change, Zhang Shiwan, Wang Chunlian, Zhang Lianyan. 2016. Research on calculation methods of salinity of deep brine based on geophysical well logging parameters[J]. Mineral Deposits, 35(6): 1293 – 1299 (in Chinese with English abstract).
- Huang Hua, Zhang Shiwan, Zhang Lianyan. 2015. Mineral characteristics and resources assessment of the deep brine in Qianjing Formation, Jianhan Depression[J]. Journal of Salt Lake Research, 25(2): 34 – 43 (in Chinese with English abstract).
- Institute of Hydrogeology and Engineering Geology of the Geology and Mineral Resources of China. 1982. Formation of the brines in deep – seated aquifers and research method[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1 – 98 (in Chinese).
- Li Hongpu, Zheng mianping, Hou Xianhua, Sun Bintao, Liu Guotai, Dou Quancheng. 2014. Hydrochemistry characteristics and origin of new brine sandy gravel in Early Pleistocene of Heibei concave in Qaidam Basin[J]. Earth Science – Journal of China University of Geosciences, 39(10): 1433 – 1442 (in Chinese with English abstract).
- Li Wenpeng. 2015. The area forecast of underground brine with rich potassium in Sichuan Basin[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing): 45 (in Chinese with English abstract).
- Lin Yaoting, Cao Shanxing. 2000. A discussion on the relationship between salt – potash and oil – gas[J]. Geology of Chemical Minerals, 22(2): 70 – 74, 85 (in Chinese with English abstract).
- Lin Yaoting, Cao Shanxing. 2001. Potassium – rich brines resources in Sichuan Province and its exploitation prospects[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 20(4): 14 – 17 (in Chinese with English abstract).
- Lin Yaoting, He Jinquan, Ye Maocai. 2002. Distribution types of characters of potassium – bearing brine resources in Sichuan Basin[J]. Geology of Chemical Minerals, 24(4): 215 – 221, 247 (in Chinese with English abstract).
- Lin Yaoting, Yan Yangji. 1996. Hydrogeochemical features of K – rich brine and its genetic significance in west Sichuan Basin[J]. Journal of Salt Lake Research, 4(1): 1 – 12 (in Chinese with English abstract).
- Lin Yaoting, Zhao Zejun. 1998. Concurrent exploration of both oil and potash salt – An important way of speeding up potash salt search in China[J]. Acta Geologica Sichuan, 18(3): 190 – 195 (in Chinese with English abstract).
- Lin Yaoting. 1999. Storage characteristics of the ground brine of Triassic Sichuan Basin and the determination factors of its enrichment[J]. Journal of Salt Lake Research, 7(3): 1 – 7 (in Chinese with English abstract).
- Tan Hongbing, Cao Chengdong, Li Tingwei, Fan Qishuen. 2007. Hydrochemistry, characteristics and chemical evolution of oilfield brines of the Paleogene and Neogene in western Qaidam Basin[J]. Journal of Palaeogeography, 9(3): 313 – 318 (in Chinese with English abstract).
- Wang Huanfu. 2001. The mineralization pattern and laws of deep groundwater in the Qaidam[J]. Journal of Salt Lake Research, 9(2): 13 – 21 (in Chinese with English abstract).
- Wang Zhenghao, Du Wenbin. 2014. Drilling technology of deep borehole JYC ZK02 in Qaidam Basin[J]. Coal Geology of China, 26(10): 62 – 64 (in Chinese with English abstract).
- Wang Wei, Li Wenyuan, Tang Xiaodong, Li Tianhu, Xiong Zhongyi, Gao Manxin, Su Xiaohong, Guo Zhouping, Meng Yong, Quan Shoucun, Chen Chuangqing. 2018. Ore – Forming fluid features and mineralization of the Dishui copper deposit of in the northwest of Tarim block[J]. Geology and Exploration, 54(3): 441 – 455 (in Chinese with English abstract).
- Yan Jianguo, Hou Lei, Zhao Yuhong, Yang Xiaoyu. 2013. Application of seismic exploration method in east Sichuan deep – seated potassium – rich brine exploration[J]. China Engineering Science, 15(10): 59 – 65 (in Chinese with English abstract).
- Yang Fei, Pan Yuandun, Zhang Xuegang, Pan Yubin, Ye Jianzhong, Lei Haifei. 2011. Tracing potassium resources by 3D seismic data[J]. Geology of Chemical Minerals, 33(1): 54 – 57 (in Chinese with English abstract).
- Xiong Shujun, Lin Yaoting. 1996. On the distribution and geological characteristics of brines in the Sichuan Basin[J]. China Well and Rock

- Salt, 27(2): 6-8 (in Chinese with English abstract).
- Xu Tingliang. 1991. Formation of the yellow in the Sicuan Basin[J]. *Geology of Chemical Minerals*, 13(S1): 1-6 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Shubin, Xu Tingliang, Xu Enxiao. 2003. Study on the occurrence of potassium rich brine in a geological structure in west Sichuan and the analytical patterns[J]. *China Well and Rock Salt*, 34(2): 23-26 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Mianping, Zhang Zhen, Zhang Yongsheng, Liu Xifang, Yin Hongwei. 2012. Potash exploration characteristics in China: New understanding and research progress[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 33(3): 280-294 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Mianping, Hou Xianhua, Yu Changqing, Li Hongpu, Yin Hongwei, Zhang Zhen, Deng Xiaolin, Zhang Yongsheng, Guo Tingfeng, Wei Zhao, Wang Xuben, An Lanying, Nie Zhen, Tan Xiaohong, Zhang Xuefei, Niu Xinsheng. 2015. The leading role of salt formation theory in the breakthrough and important progress in the potash deposit prospecting[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 36(2): 129-139 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Wenlong, Wu Xiaoming, Xu Jie, Zhu Xuming, Wang Wenshi, Xu Lanbo. 2019. Application situation and focused research of drilling fluid technology in deep core drilling projects of China[J]. *Geology and Exploration*, 55(3): 826-832 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Qing. 2012. Discussion of conditions to form potassium-rich brine in deep west of Jiangling depression[J]. *Journal of Jiangnan Petroleum University of Staff and Workers*, 25(3): 10-12 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Xun. 2013. Basic characteristics and resource classification of sub-surface brines in deep-seated aquifers[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 40(5): 5-10 (in Chinese with English abstract).
- [附中文参考文献]
- 地质矿产部水文地质工程地质研究所. 1982. 深层卤水的形成问题及研究方法[M]. 北京: 地质出版社: 1-98.
- 黄汉纯, 周显强, 王长利. 1989. 柴达木盆地构造演化与石油富集规律[J]. *地质论评*, 35(4): 314-323.
- 黄华, 余嫦娥, 张士万, 王春连, 张连元. 2016. 基于地球物理测井参数的深层卤水矿化度研究方法[J]. *矿床地质*, 35(6): 1293-1299.
- 黄华, 张士万, 张连元. 2015. 潜江凹陷潜江组深层卤水矿产特征及资源评价[J]. *盐湖研究*, 23(2): 34-43.
- 李洪普, 郑绵平, 侯献华, 孙斌涛, 刘国泰, 窦全成. 2014. 柴达木盆地黑北凹地早更新世新型砂砾层卤水水化学特征[J]. *地球科学—中国地质大学学报*, 39(10): 1433-1442.
- 李文鹏. 2015. 四川盆地三叠系深层富钾卤水赋存区带预测[D]. 北京: 中国地质大学: 45.
- 林耀庭, 曹善行. 2000. 论钾盐和油气的关系[J]. *化工矿产地质*, 22(2): 70-74, 85.
- 林耀庭, 曹善行. 2001. 四川富钾卤水钾资源及其开发利用前景[J]. *矿产保护与利用*, 20(4): 14-17.
- 林耀庭, 何金权, 叶茂才. 2002. 四川盆地卤水钾资源分布类型及其品质研究[J]. *化工矿产地质*, 24(4): 215-221, 247.
- 林耀庭, 颜仰基. 1996. 四川盆地西部富钾卤水水文地球化学特征及其成因意义探讨[J]. *盐湖研究*, 4(1): 1-12.
- 林耀庭, 赵泽君. 1998. 实施“油盐”兼探是加速我国找钾工作的重要途径[J]. *四川地质学报*, 18(3): 190-195.
- 林耀庭. 1999. 四川盆地三叠系地下卤水储层特征及其富集的控制作用[J]. *盐湖研究*, 7(3): 1-7.
- 谭红兵, 曹成东, 李廷伟, 樊启顺. 2007. 柴达木盆地西部古近系和新近系油田水化学特征及化学演化[J]. *古地理学报*, 9(3): 313-318.
- 王焕夫. 2001. 柴达木盆地深层地下水成矿模式及其成矿规律[J]. *盐湖研究*, 9(2): 13-21.
- 王春宁, 徐俊清, 陈良, 张丽莎. 2007. 钾盐资源全球分布和我国找钾实践及方法探究[J]. *盐湖研究*, 15(3): 102-104.
- 王正浩, 杜文斌. 2014. 柴达木盆地深层钾盐寮 ZK02 孔施工工艺[J]. *中国煤炭地质*, 26(10): 62-64.
- 王伟, 李文渊, 唐小东, 李天虎, 熊中乙, 高满新, 宿晓虹, 郭周平, 孟勇, 全守村, 陈传庆. 2018. 塔里木陆块西北缘滴水铜矿成矿流体特征与成矿作用[J]. *地质与勘探*, 54(3): 441-455.
- 阎建国, 侯磊, 赵玉红, 杨晓玉. 2013. 地震勘探方法在川东深层富钾卤水勘探中的应用[J]. *中国工程科学*, 15(10): 59-65.
- 杨飞, 潘源墩, 章学刚, 潘喻斌, 叶建中, 雷海飞. 2011. 利用三维地震资料追踪富钾卤水储层[J]. *化工矿产地质*, 33(1): 54-57.
- 熊淑君, 林耀庭. 1996. 论四川盆地卤水分布及地质特点[J]. *中国井矿盐*, 27(2): 6-8.
- 徐廷谅. 1991. 四川盆地黄卤形成问题初探[J]. *化工矿产地质*, 13(增1): 1-7.
- 张淑彬, 徐廷谅, 徐恩孝. 2003. 川西某构造富钾卤水成因及分布规律研究[J]. *中国井矿盐*, 34(2): 23-26.
- 郑绵平, 张震, 张永生, 刘喜方, 尹宏伟. 2012. 我国钾盐找矿规律新认识和进展[J]. *地球学报*, 33(3): 280-294.
- 郑绵平, 袁鹤然, 张永生, 刘喜方, 陈文西, 李金锁. 2010. 中国钾盐区域分布与找钾远景[J]. *地质学报*, 84(11): 1523-1553.
- 郑绵平, 侯献华, 于常青, 李洪普, 尹宏伟, 张震, 邓小林, 张永生, 郭廷峰, 韦钊, 王绪本, 安连英, 卞贞, 谭筱虹, 张雪飞, 牛新生. 2015. 成盐理论引领我国找钾取得重要进展[J]. *地球学报*, 26(2): 129-139.
- 郑文龙, 乌效鸣, 许洁, 朱旭明, 王稳石, 徐蓝波. 2019. 中国深部岩心钻探钻井液技术应用现状及研究方向探讨[J]. *地质与勘探*, 55(3): 826-832.
- 周庆. 2012. 江陵凹陷西部深层富钾卤水的形成条件浅析[J]. *江汉石油职工大学学报*, 25(3): 10-12.
- 周训. 2013. 深层卤水的基本特征及资源量分类[J]. *水文地质与工程地质*, 40(5): 5-10.

Types, Exploration Techniques and Suggested Industrial Indexes of Deep – Seated Potassium – Rich Brine

LI Boyun, DENG Xiaolin, WANG Fan, WANG Zhanwen, WEI Zhao, LIU Xingwang, DENG Yufei, ZHANG Mingming, LUAN Junxia
(China Chemical Geology of Mine Bureau Research Institute of Geological, Beijing 100101)

Abstract: In order to revise and improve the current “Specifications of Salt – Lake and Salt Mineral Exploration (DZ/T0212 – 20020) focusing on exploration types, technical requirements and industrial indexes of deep brine, this work systematically collects and summarizes the relevant exploration results and research data in recent years. Based on the occurrence conditions of brine, the deep brine is classified into three types: pore type, pore – crack type and solution cavity – crack type. According to different types of brine and existing work, two methods of oil and potassium exploration and special exploration and evaluation are put forward. Summarizing the demonstration results in recent years, this work determines the general industrial indexes of deep – seated potassium – rich brine as follows: the boundary grade is $KCl \geq 0.3\% \sim 0.5\%$, and the lowest industrial grade is $KCl \geq 0.5\% \sim 1.0\%$. These results have been adopted in the revision of the specifications.

Key words: deep – seated potassium – rich brine, type, exploration techniques, industrial indexes

