柴达木盆地深层地下水成矿模式及其成矿规律

王焕夫
(国土资源部水文地质工程地质研究所,河北正定 050803)

摘要: 论述了柴达木盆地深层地下水成矿模式及其成矿规律。不仅剖析了深层地下水成矿的研究概况和化学成分的现今性状与时空分布规律;而且首次探讨了深层地下水的水文地质发育史,进行了古水文地质再造,提出了古水文地质旋回的新概念。同时,还揭示出"围压深埋型烃类运聚形成的石油(气)藏"及其"高压围限的低压区、毗邻高压区的低压区、卸压区和早熟型等4大聚油(气)区"和"高山深盆浅水蒸发型盐湖富钾卤水矿床"及其"水平分带、垂向叠加效应和水型相关"等3大成矿规律。据此,对于石油(气)藏和盐湖富钾卤水等资源开展了成矿予测,并且指出了勘查开发方向。

关键词: 柴达木盆地; 深层地下水; 成矿模式; 规律
中图分类号: P612 文献标识码: A 文章编号: 1008-858X(2001)02-0000-00

柴达木盆地位于东经 90°00′— 98°20′,北纬 35°55′— 39°10′之间,居于青藏高原的东北部,海拔 2600~ 3200m,面积 12× 10^4 km^2。其自然景观是:南面以昆仑山系之祁漫塔格山和布尔汉布达山为屏障,北面、东北面与祁连山系毗邻,西面以阿尔金山系与塔里木盆地分割。这些高山系主要由古生界的变质岩和不同时期的花岗岩类型岩石所组成。盆地雏形形成于侏罗纪,被上万米的中、新生代陆相沉积物充填覆盖。这些沉积物中不仅赋存有丰富的石油(气)资源,而且聚集大量的盐类矿床,这些盐矿类型之多、规模之大、厚度之巨、品位之高均属举世所罕见。同时,还含有极为丰富的盐湖富钾卤水(系指 M > 50g/L之湖表卤水和地下卤水)和淡水以及铜、铅、锌、铁等矿产资源。因此,这是我国西部内陆地区一个大型的举世闻名的"聚宝盆"。

1 深层地下水成矿的研究概况

远在一个世纪前,中、外地质学家[1-3]虽然对柴达木盆地进行过地质调查,可是,深入详尽系统的调查研究还是在新中国诞生后进行的。40多年来,中央和地方有关单位为不同目的、在不同范围内开展了不同程度的石油(气)地质、盐矿(钾盐)地质、水文地质以及盐湖水文地球化学等学科的大量调查和科学实验研究,已经积累了相当丰富的基础资料和研究成果。然而,现今就深层地下水水文地球化学研究领域而言,其研究水准有待深化,深层地下水成矿理论研究值得深入探索;至今,古水文地质分析的文献也寥寥无几。因此,对柴达木盆地深层地下水成矿模式及成矿规律的探讨,不仅可充实和发展水文地质学、石油(气)地质学、盐湖水文地球化学等学科的成矿理论,而且能为石油(气)、盐湖富钾卤水等矿产资源的开发利用做出新贡献。同时,对于我国西部地区的经济大发展和腾飞也具有战略地位。

2 深层地下水化学成分的现今性状及其时空分布规律

2.1 深层地下水化学成分的现今性状

表 1列举了柴达木盆地深层地下水化学成分的现今性状。

收稿日期: 2000-06-01; 修订日期: 2000-09-11
基金项目: 国家自然科学基金资助项目(4870170)
作者简介: 王焕夫

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1 柴达木盆地深层地下水化学成分的现今性状

Table 1 Status quo and properties of chemical components in deep groundwater of Qaidam basin

层位		中生界			新生界						
		侏罗系		白垩系	第三系					第四系	
		大煤沟组	红水沟组	犬牙沟组	乐路河组	下干柴沟组	上干柴沟组	下油组	上油组	七个泉组	
		J_2^6	J_3	K	E_{1+2}	E_3	N_1	N_2^1	N_2^2	Q_{1+2}	Q_{3+4}
常量元素 (g/l)	$K^+ + Na^+$				58.49	12.7–58.5	9–42	32.5	47.86	1–85	4–85
	Ca^{2+}				1.08	0.8–2.46	3–14	3.61	7.00	0.92–9.3	0.2–0.5
	Mg^{2+}				0.19	0.3–1.65	2–8	1.81	0.77	1–85	30–45
	Cl^-				92.22	21.3–92.46	26.07	61.65	88.09	5–246	150–190
	SO_4^{2-}				2.55	0.16–6.21	0.24	0.05	0.37	0.5–102.4	40–60
	HCO_3^-				0.92	0.7–0.92	0.62	0.24	0.16	0–0.4	0.15–0.35
微量元素* (mg/l)	酚	0.04–0.152	0.03	0.08	0.035–1.14	0.0–1.46	0–2.57	0.212	0.05–2.52	0–0.07	0
	碘	2.48–15.4	8.8	4.0	5.55–24.5	0.0–35.6	27.2–49.0	27.4	2.64–31.6	0–5.32	0
	铵	0–11.02	0	0	0.0–9.0	0.0–19.61	4–324	1389	0–1084	0–383	0
	硼	1.59–3.97	24	2	3–23	4–54.0	9–171	736	26–735	0–46	0
氯化钾(KCl)		0.02–0.05	0.36	0.05	0.1–0.18	0.02–0.20	0.4–2.61	5.08	0.1–7	0.02–6	20.6
总矿化度(g/l)		13–20	52	5	45–153	17.0–161	20.0–215	100–245.6	128–320	50–490	300–360
特征系数值	rNa/rCl				0.98	0.92–0.98	0.5–2.5	0.81	0.84	0.1–2.5	0.5–1.5
	rNa/rCa				47.29	14–21	2.60–2.61	7.80	5.96	10–1020	30–500
	rCa/rCl				0.02	0.1–0.05	0.20–0.95	0.10	0.14	0.001–0.20	0.002–0.016
	rCa/rMg				3.46	1.6–0.9	0.94–1.06	1.20	5.51	0.001–0.12	0.004–0.02
	$SO_4 \times 10^2/Cl$				2.77	0.8–7	0.92	0.01	0.42	0.5–130	24–35

* 据柴达木盆地钾盐分布概况(青海石油管理局,1975附表 2数据整理制表

由表 1可知:

(1) 柴达木盆地中、新生界深层地下水化学成分的现今性状是独特的,它是一个典型的负向水文地球化学剖面类型。深层地下水的总矿化度由老到新呈递增的总趋向。正向变质。其宏量组分也随总矿化度递增而增加。

(2) 深层地下水中 KCl的含量:从侏罗系至第四系是逐渐增高的。而以第四系的含量为最高,高达 20.6g/L。不论湖表卤水还是地下卤水均已构成 K、Mg、Li、B液态矿床。

(3) 深层地下水中的微量组分:以 N_1含酚最高,为 2.57mg/L;J_2^6含碘为 15.4mg/L,而 E_{1+2}、E_3、N_1、N_2^1、N_2^2均很高,含碘为 25~50mg/L,已达到工业开采品位,构成油田碘水矿床。值得生产部门重视开发利用碘素;此外,深层地下水中的铵和硼以 N_2^1、N_2^2为最高。

(4) 盐湖富钾卤水中元素的含量有序:其中阳离子含量为 $Na^+ > Mg^{2+} > K^+ > Ca^{2+}$;而阴离子含量则为 $Cl^- > SO_4^{2-} > CO_3^{2-} > HCO_3^-$。在直角坐标系中元素与矿化度的关系具有特定的位置和图象。当 M < 300g/l时,K^+、Na^{2+}、Cl^-、Br^-元素与 M呈线性关系,而 Ca^{2+}、Mg^{2+}、SO_4^{2-}、CO_3^{2-}、HCO_3^-、B_2O_3、I^-、Li等元素与 M则呈非线性关系;当 M为 300~350g/L时,K^+、Na^{2+}、Mg^{2+}、Cl^-、SO_4^{2-}、CO_3^{2-}、HCO_3^-、I^-、Li^+、Br^-等元素与 M呈一束点群平行纵坐标;当 M为 350~400g/L时,K^+、Li^+、Mg^{2+}、SO_4^{2-}、HCO_3^-呈递增态,而 Na^{2+}、Ca^{2+}、Cl^-、Br^-、CO_3^{2-}和 B_2O_3则呈递降态,I^-却为不增不降态。

(5) 深层地下水的特征系数值反映了西部内陆闭流汇水盆地的地下水化学特征值。

2.2 深层地下水的空间分布规律

2.2.1 深层地下水的空间分布规律

柴达木盆地深层地下水空间分布与赋存具有水平分带性。由盆地周边的高山区至盆地中心区可划分为:山区基岩裂隙淡水带、山前平原戈壁孔隙潜水带、山前平原孔隙—裂隙承压自流水、潜水带和湖积平原孔隙—裂隙地下卤水带等 4个水文地质带。

深层地下水化学成分的空间分布具有环带性。由盆地边缘至中心,水化学类型有碳酸盐型、硫酸盐型、硫酸盐—氯化物型和氯化物型等四种类型[4]。这种环带性分带与盆地主体构造线走向大体一致。西

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

北部抬升,而中、东部凹陷,反映了地下水由西向东南迁移、流动的总趋向。

2.2.2　深层地下水的垂向分布规律

由老到新,深层地下水的总矿化度递增、浓度增高,正向变质。例如,侏罗纪的深层地下水总矿化度为 13~ 50g/L;白垩纪的则为 5g/L;第三系的则为 17~ 320g/L;而第四系湖表卤水的总矿化度为 360g/L,干盐湖赋存的地下卤水总矿化度可高达 490g/L。因此,完全呈现了水文地球化学剖面类型的负向属性。

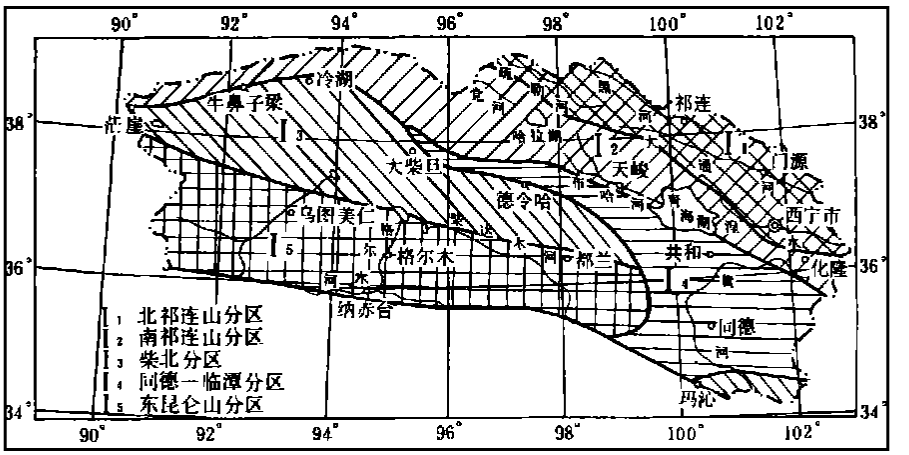
3　深层地下水的古水文地质再造[5~8]

3.1　古水文地质旋回的含义

柴达木盆地中、新生代内各个含水岩系(含水岩石综合体)在水文地质发育历程中,相同的或相似的水文地质特征的重复再现谓之古水文地质旋回(或者称之为周期、循环、轮回)。每一个古水文地质旋回包括沉积作用、淋滤作用、深埋封闭作用或可能的构造热液作用等四个水文地质期。这四个水文地质期体现了古水文地质旋回发展的阶段性、循环性、复杂性和方向性。

3.2　古水文地质旋回区的划分及特性

根据柴达木盆地中、新生代深层地下水所处的介质环境、地体受印度板块与欧亚板块运动挤压影响的漂移程度以及古水文地质旋回的特性,而把柴达木盆地(包括毗邻区)划分为 Ⅰ1、Ⅰ2、Ⅰ3、Ⅰ4、Ⅰ5等 5个古水文地质旋回区(图 1)这 5个古水文地质旋回区在时空上既有其共同性,又有其特殊性。



比例尺: 1∶3000000

图 1　柴达木盆地及其毗邻区古水文地质旋回分区图(据青海地质科学研究所 1980年资料编制)

Fig. 1　Palaeohydrogeological cycle of Qaidam basin and its neighbouring area

所谓共同性,就是说古水文地质旋回均由沉积作用水文地质期开始,此期形成同生沉积水,然后经历淋滤作用水文地质期,此期形成淋滤水。由此构成一个古水文地质旋回。随后,又从沉积作用水文地质期开始,又经历淋滤作用水文地质期,而构成第二个古水文地质旋回。依此类推,可构成第三、第四等古水文地质旋回。含水岩系在经历了第二个古水文地质旋回之后,对于第一个古水文地质旋回来说,其深层地下水则处于埋藏封闭作用水文地质期;如有岩浆热液活动时,则还可出现构造热液作用水文地质期。同理,含水岩系在经历了第三个古水文地质旋回之后,则第二个古水文地质旋回却处于埋藏封闭作用水文地质期,或可能出现的构造热液作用水文地质期,依次类推,循环往复。

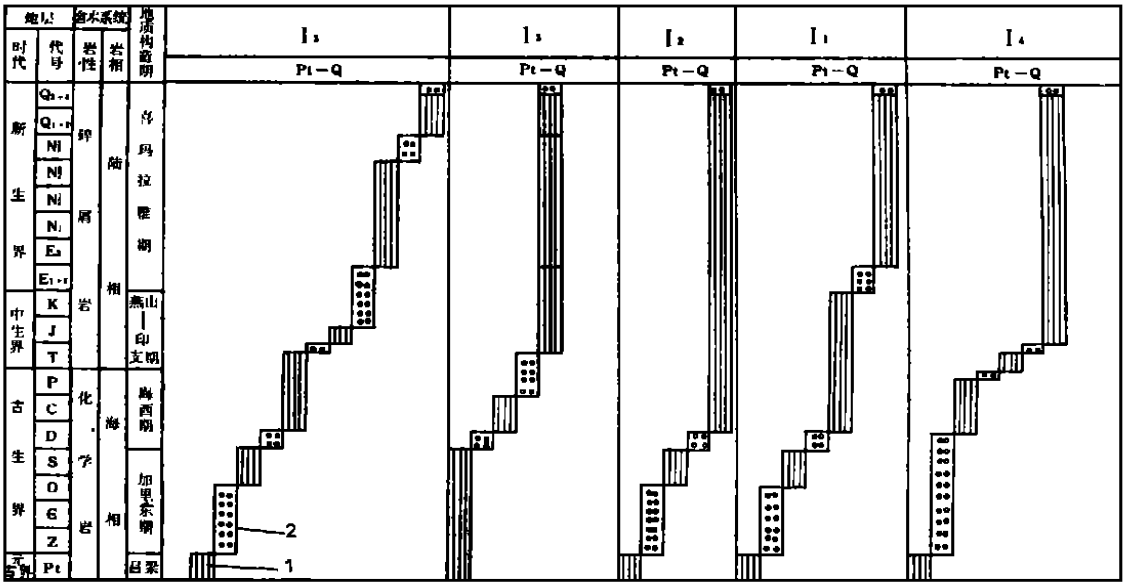
而所谓特殊性,也就是说柴达木盆地及其毗邻区的水文地质发育史在不同区(Ⅰ1、Ⅰ2、Ⅰ3、Ⅰ4、Ⅰ5)是有区别的。从元古代至新生代古水文地质旋回数目不一,大体由 3~ 6个古水文地质旋回构成。这种情况的出现与该区所处的大地构造部位以及地壳的升降运动休戚相关。

3.3　柴达木区(Ⅰ3)古水文地质旋回

柴达木盆地及其毗邻区深层地下水古水文地质旋回演变模式概括于图 2。这里主要探讨柴达木区

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

(Ⅰ3)深层地下水的古水文地质旋回



Ⅰ1-北祁连山区 Ⅰ2-南祁连山区 Ⅰ3-柴达木区 Ⅰ4-同德—临潭区 Ⅰ5-东昆仑山区

1—沉积作用水文地质期; 2—淋滤作用水文地质期

图 2 柴达木盆地及其毗邻区深层地下水水文地质旋回演变模式

Fig. 2 Evolution pattern of hydrogeological cycle of deep groundwater in Qaidam basin

由图 2可知:

柴达木区 (Ⅰ3)古水文地质旋回,其水文地质发育史包括三个古水文地质旋回。由老到新的顺序是:第一和第二个古水文地质旋回均为海相,第三个古水文地质旋回为陆相,在经历沉积作用、淋滤作用、深埋封闭作用和可能的构造热液作用等水文地质期后,深层地下水的成因类型由陆相同生沉积水转化为后生同生沉积水。而深埋封闭作用水文地质期是油(气)藏和深层地下水成矿的极其重要的时期。

3.4 柴达木区(Ⅰ3)深层地下水系统的成因模式

根据柴达木区(Ⅰ3)的古水文地质旋回、水压系统类型、水交替性质和强度、变质作用方向和水浓度等,而将柴达木区深层地下水的成因类型概括于表 2。

4 深层地下水的成矿模式及其成矿规律

上面从今、古两方面论述了柴达木盆地中、新生代深层地下水的现今性状及其规律性,据此,可将深层地下水的成矿模式及其成矿规律概括为下列两个方面。

4.1 围压深埋型烃类运聚形成的石油(气)藏

柴达木盆地在第三个古水文地质旋回的沉积作用水文地质期,形成陆相同生沉积水,并且与生油母质—干酪根和细颗粒碎屑沉积物共处于同一个水—岩石—生物体系之中。在深埋封闭作用水文地质期,侏罗系和第三系碎屑沉积物中的干酪根等生油母质,达到一定的门限深度和门限温度而成熟向石油(气)转化。石油烃类运移的驱动力是水动力,其载体是深层地下水(油田水),其通道则是岩层中的孔隙、裂隙和断裂。这样,烃类就由高压区而向低压区或卸压区(泄水区)运移、流动并聚集。在卸压区或低压区形成上部为气、中部为石油、下部为油田水等三层结构的油(气)田(藏)。

在盆地边缘,构造热液作用水文地质期对油(气)藏的影响:一则是可导致烃类早成熟,形成早熟型油(气)藏;二则是石油烃可转化天然气,或聚集成天然气藏或者散失。现代淋滤作用水文地质期,将可导致石油(气)田(藏)的局部破坏。

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　柴达木区 (I3)深层地下水系统的成因模式

Table 2　Forming pattern of deep groundwater system in Qaidam area(I3)

时序	水文地质旋回	水文地质期	水压系统类型	水交替性质和强度	变质作用方向	水浓度	成因类型	备注
新	第三水文地质旋回	构造热液	沉积水压	内循环	正向	淡—咸	内陆地下热水	构造热液作用水文地质期只有在水文地质旋回有岩浆活动时才能出现
		深埋封闭	沉积水压	内循环	正向	卤水	内陆后生沉积水	
		淋滤	淋滤水压	外循环大于内循环	反向	淡—咸	淋滤水	
		沉积	沉积水压	内循环	正向	卤水	内陆同生沉积水	
	第二水文地质旋回	构造热液	沉积水压	内循环	正向	咸	地下热水	
		深埋封闭	沉积水压	内循环	正向		海相后生沉积水	
		淋滤	淋滤水压	外循环大于内循环	反向		淋滤水	
		沉积	沉积水压	内循环	正向	淡	海相同生沉积水	
	第一水文地质旋回	构造热液	沉积水压	内循环	正向	咸	地下热水	
		深埋封闭	沉积水压	内循环	正向		海相后生沉积水	
		淋滤	淋滤水压	外循环大于内循环	反向		淋滤水	
老		沉积	沉积水压	内循环	正向	淡	海相同生沉积水	

柴达木盆地聚油 (气)规律: 一是高压围限的低压区聚油 (气)带; 二是毗邻高压区的低压区聚油 (气)带; 三是低压区 (泄水区)聚油 (气)带; 四是早熟型聚油 (气)带。 据此认识 ,可预测:

柴达木盆地及其毗邻的南祁连山区、同德—临潭区第三系和侏罗系的油 (气)保存的水文地质条件良好 ,应该注意发现围压深埋型烃类运聚形成的石油 (气)藏。 在西部及南缘区 ,注意发现早熟型石油 (气)藏及潜山型石油 (气)藏。

4.2　高山深盆浅水蒸发形成的盐湖富钾卤水矿床

柴达木盆地周缘为巍巍的高山系 ,深盆内则为巨厚的中、新生界陆源碎屑—化学岩型盐类沉积 ,而盐湖富钾卤水则是在高山深盆中形成的液态矿床。

4.2.1　成矿物质来源

高山区的大气降水、宇宙尘和基岩等外生物质均可为盐湖提供 K^+、Mg^{2+}、Li^+、B等主要成盐元素; 而第三系和侏罗系的地下热水等内生物质来源是次要的。

4.2.2　成矿介质环境

(1) 气象水文

柴达木盆地从中、上更新世至今为干旱气候。属于典型的内陆干旱荒漠气候环境。主要受气温、降雨量、蒸发量和相对湿度等气象因子所控制。

西部地区 30多年气象参数曲线变化势态: 气温、大气降水呈递增势 ,而蒸发量和相对湿度呈递降势。

西南部、南部的水系发育。这些水系通过地表迳流和地下潜流而补偿盐湖; 西北部、北部的水系不发育。

西部地势高于东部 ,盐湖又在强烈的浅水蒸发效应控制之下 ,因此 ,盐湖卤水的矿化从西至东呈现水平分异势态 ,即从西至东 ,湖水的矿化度递降。

(2) 地质构造

柴达木盆地是中、新生代形成的内陆闭流汇水盆地。 周边和盆内均以深大断裂和断层所控制。 除盆内为中、新生界沉积物埋藏覆盖以外 ,周边山区以元古界至第四系均有出露。在新生代早期 ,柴达木盆地的地体周期性地产生升降运动 ,从而导致中、新生代地层褶皱以及箕形盆地由西向东迁移 ,并形成西北部为古凹今隆 ,而东南部则为古隆今凹的构造格局[9-11]。 这种构造背景对于深层地下水成矿是极为有利的。

(3) 水文地质

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

柴达木盆地主要有潜水和承压水两套含水系统。在盆地内部,中、新生界含水岩系由单一潜水含水层过渡到多层含水层结构,在潜水层之下还含有丰富的承压自流水层。由于深层地下水受补给、迳流和排泄条件所控制,所以,在南部、西部地区富水性好,而在西北部、北部地区地下水匮乏。

现今的三湖新拗陷为盆地汇流中心,水盐归宿地,为地下水的泄水区。湖表卤水最终消耗于浅水蒸发效应和湖缘之牧草、灌木丛等植被的叶面蒸腾作用。

4.2.3 成矿作用

盐湖富钾卤水成矿主要是浅水蒸发作用,同时,还与地下蒸发、淋滤、掺杂混合和变质作用等[12]有成因联系(表 3)。

表 3 盐湖富钾卤水的成矿作用

Table 3 Mineralization effect of salt lake potassium- abundant brine

类 型	成 矿 环 境	作 用 结 果	能量来源	作用方向	成矿意义
蒸发浓缩作用	气—水界面,即湖水面 水—盐界面,即湖岸线内侧	晶出朵朵"盐花",重力下沉湖底成层析出新月形态新盐,以年为循环周期	太阳热能	湖表卤水浓集正向变质	主要成矿作用
地下蒸发作用	干盐湖赋存的晶间卤水(地下卤水)	浓集 K、Li、B等成盐元素	太阳热能 放射能	地下卤水正向变质	主要成矿作用
溶滤作用	水—岩界面	岩石中的易溶盐转化进入水中迁移;水中的元素达到溶度积而析出	物理、化学能	正向变质 反向变质	重要成矿作用
掺杂混合作用	沿湖岸线:淡水与湖表卤水;淡水与地下卤水;湖表卤水与地下卤水;深层地下水(油田水、同生沉积水、地下热水、古卤水)与地下卤水	湖表卤水和地下卤水浓集 K、Li、B等成盐元素,矿化度增升	物理、化学能	正向变质	重要成矿作用
卤水变质作用	湖表卤水与地下卤水	50年代至今卤水总矿化度增值 50g/l	物理、化学能	正向变质	重要成矿作用

4.2.4 成矿机制

(1) 证据

在湖表面上发现"盐花"。在每年炎夏,在气—水界面上即湖水面上遍布朵朵密集的"盐花"。例如,察尔汉盐湖区达布逊湖湖水面上,由南到北,"盐花"增多;尕期库勒盐湖湖水面上,由西到东"盐花"增多。这些"盐花"越积越大,然后按重力分异而固结于湖底,形成岩盐层(含晶间卤水)。

在背离地表迳流一侧,湖表卤水与干盐湖界面上,每年析出象新月形态的新盐。

在海水蒸发实验研究中,不同蒸发浓缩阶段析出不同的盐类矿物。

对盐湖深井取样进行岩矿鉴定分析,也发现了碳酸盐、硫酸盐和氯化物等盐类矿物

所有上述证明:浅水蒸发效应是客观存在的。

(2) 能量来源

主要能量源于太阳能的热辐射和地下放射性元素衰变所产生的热能。

(3) 浅水蒸发效应

浅水蒸发效应受重力分异原理所控制。湖表卤水在垂直方向上的运动主要受浅水蒸发效应或毛细管蒸发作用所制约。在卤水浓缩过程中,湖表面首先蒸发,形成多个析盐中心,然后结晶析出朵朵"盐花"。这些盐花下沉于湖底,形成盐层。而下部低浓度的卤水则上升于湖面,如此,循环往复,直至在背离地表迳流一侧的湖表卤水干涸而形成干盐湖(含晶间卤水或地下卤水)。也有可能形成干盐湖与湖表卤水并存的格局。两者之间呈互补关系。

干盐湖中盐层结构疏松,颗粒粗大,其所含的晶间卤水浓度较均一,或者下部稍高于上部的浓度。随盐层厚度增加,重力作用将导致在 NW_SE构造线上形成串珠状的次级凹陷。这些次级凹陷不但有一定的方向性,而且也有着继承性,在垂向上还具有叠加性。干盐湖一旦被埋藏,经成岩压实作用就转化为

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

含地下卤水的沙下干盐湖。

由此可见,湖表卤水的矿化,由浅水蒸发效应所决定,而浅水蒸发效应受重力分异原理所控制。地下卤水的矿化,既受浅水蒸发效应所决定,又受地下蒸发作用所控制。地下卤水的水平分带、垂向叠加效应除受重力分异原理控制以外,还受地质构造和新构造运动所控制。

(4) 水氢氧同位素记录值及其成矿解释

察尔汉盐湖区、尕斯库勒盐湖区水氢氧同位素记录值均在全球降水线的右侧或接近这一值域。σD‰值域为 - 1.9 ~ - 53.40; $\sigma^{18}O$‰值域为 1.41 ~ - 8.21(图 3)。

本区水氢氧同位素记录值呈σD值低、$\sigma^{18}O$值高的分布态势。揭示了高海拔内陆干旱区水氢氧同位素组成和分布特征。不仅表明盐湖富钾卤水的成矿物质主要来源于大气降水、冰雪融化水,而且与地下水的掺杂混合作用有成因联系。还反映了成矿物质的多源性以及浅水蒸发效应的主导成矿作用。

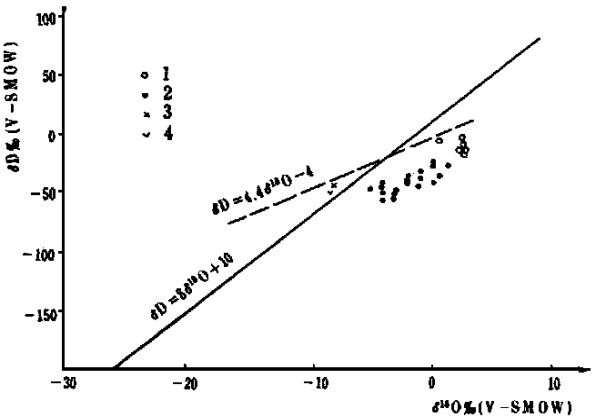


图 3　尕斯库勒盐湖区天然水σD与 $\sigma^{18}O$ 关系图

ig. 3　Relation of σD with $\sigma^{18}O$ in water of Gaskula salt lake

1- 湖表卤水; 2- 地下卤水; 3- 河水; 4- 自流井水

4.2.5　成矿模式

综合上述,本文把柴达木盆地盐湖富钾卤水成矿模式概括归纳为: 高山深盆浅水蒸发型盐湖富钾卤水矿床 (图 4)。

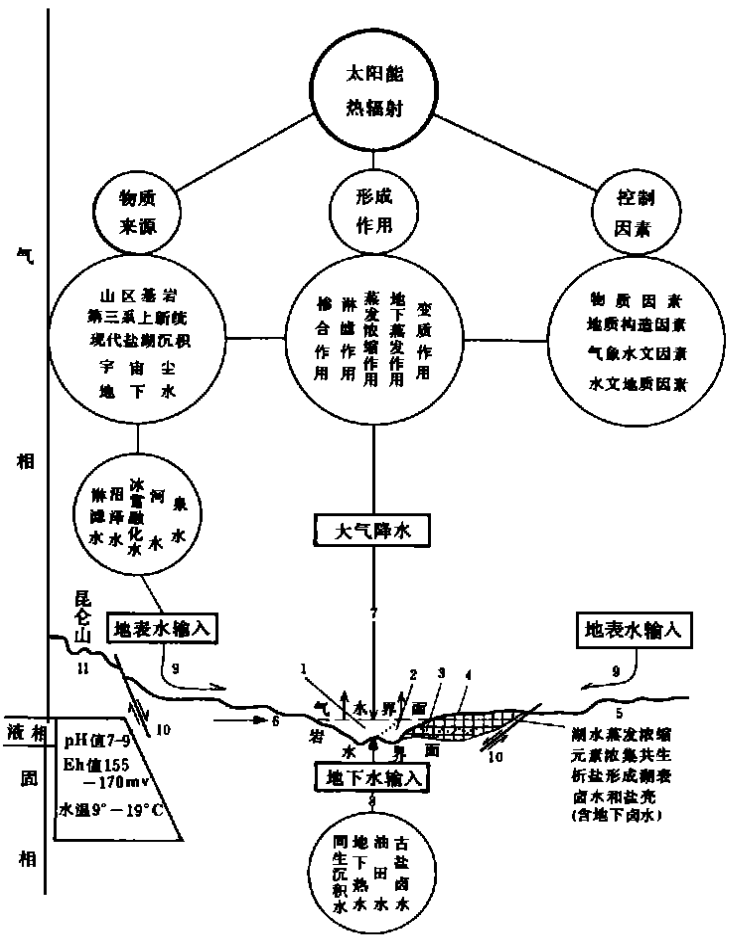


图 4　柴达木盆地盐湖富钾卤水成矿模式

Fig. 4　Mineralizatim pattern of salt lake potassium- abundant in brine Qaidam basin

1- 湖表卤水, 2- 湖表卤水 K Li B等成盐元素浓集带, 3- 地下卤水 K Li B等成盐元素浓集带, 4- 干盐湖 (含地下卤水), 5- 第三系, 6- 第四系, 7- 大气降水, 8- 深层地下水迳流方向, 9- 地表水迳流方向, 10- 深大断裂, 11- 前第三系

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

4.2.6 成矿规律

(1) 水平分带规律

盆地盐湖富钾卤水呈北西—南东向条带状展布,具有明显的水平分带。湖表卤水抑或干盐湖、沙下干盐湖之地下卤水均有如此势态。例如察尔汉盐湖区以达布逊湖—团结湖一线以北,协作湖以南、以西所围限的三角地带内地下卤水中 K、Mg、Li、B等元素最浓集;尕斯库勒盐湖区则以尕斯库勒湖、埃东湖以北的东西向串珠状条带内的地下卤水中 K、Mg、Li、B等元素最浓集。这种格局的形成主要受控于地质构造和新构造运动。这一规律,对于现代盐湖富钾卤水的成矿及勘查、开发均具有重要意义。

(2) 垂向叠加效应

这是指在背离地表迳流的湖岸线外滩次级凹陷内,不同层次的地下卤水中 K、Mg、Li、B等元素垂向叠加浓集的规律性。或者称之为边滩效应。

地下卤水的浓集中心,一般沿湖岸线北侧、东北侧或者东侧。并且呈 NW_SE向的分布势态。

浓集中心的层次和形态特征:有的为三个浓集中心叠加,有的为二个浓集中心叠加,还有的浓集中心分异和迁移后局部叠加。其形态特征是呈扁椭圆形、圆形、串珠形、三角形或者形象地称之为靴子形、鸭梨形等。

垂向叠加效应形成与盐湖的成生演化有关。在盐湖浅水蒸发浓缩过程中,浓缩中心虽然有变迁,但从总体而言是有继承性的。湖表卤水即是现代盐湖蒸发浓缩中心;而与其毗邻的干盐湖的次级凹陷则是干盐湖干化时的浓缩中心。因此,地下卤水呈现出垂向叠加效应。

垂向叠加效应不仅充实和丰富了盐湖水文地球化学成矿理论,而且为现代盐湖资源的勘查与开发指明了方向。

(3) 水型相关规律

盐湖富钾卤水的空间分布还与 SO_4、Cl—Na、Mg型水或者 SO_4、Cl—Mg、Na型水相关。这种水型相关性取决于元素地球化学性质以及元素的聚集共生关系。

5 深层地下水的成矿预测

5.1 石油(气)田(藏)的成矿预测

柴达木盆地石油(气)田(藏)的成矿预测及勘查开发的战略导向应该是西部找油,中、东部探气,油盐兼探,油气并举,边缘突破的方针。其目的层系为中生界的侏罗系(J_2^6、J_3^1)和新生界的第三系(E_3、N_1、N_2^1、N_2^2)和第四系的围压深埋型烃类运聚形成的石油(气)藏。在南祁连的青海湖毗邻的围压区中的低压区或者泄水区最有希望发现围压深埋型的第三系和侏罗系石油(气)田(藏);在同德—临潭区也有可能发现这类油(气)藏,在西部或南缘可注意发现早熟型油(气)藏和潜山石油(气)藏。

5.2 盐湖富钾卤水矿床成矿预测

5.2.1 湖表卤水的成矿预测

在盆地背离地表迳流一侧湖表卤水与干盐湖(含地下卤水)交界的狭长地带为湖表卤水 K、Mg、Li、B等元素叠加浓集的最有利地带。

5.2.2 地下卤水的成矿预测

湖表卤水毗邻干盐湖内的次级凹陷是地下卤水中 K、Mg、Li、B等元素叠加浓集的最有利地带,也是钾盐矿床存在的有利部位。例如察尔汉、尕斯库勒湖等盐湖区均是如此。也是固体盐类矿床(包括钾盐矿床)形成和赋存的有利地带。

5.2.3. 地下卤水和盐矿的成矿预测

盆地西部新生界第三系具有良好的成盐环境,预计在 2~4km深有希望发现地下卤水和固体盐类矿床。

5.2.4 钾盐矿床的成矿预测

在盆地干盐湖内次级凹陷的中、上部是钾盐矿床存在的有利部位。根据盐湖沉积、地下卤水矿化度、水型和水文地球化学系数特征值而进行综合预测是十分必要的。

5.2.5 地下油田碘水的成矿预测

在盆地及毗邻的油(气)田区的油田水区可发现地下油田碘水浓集区。在盆地西部石油(气)田区尤其如此。

参考文献:

[1] 瓦里亚什科.M.T.钾盐矿床形成的地球化学规律[M].范立,译.北京:中国工业出版社,1965.

[2] 博歇特。H.,缪尔.R.O.盐类矿床蒸发岩的成因、变质和变形[M].袁见齐,等,译.北京:地质出版社,1976.

[3] 关佐蜀.柴达木盆地地质概要[M].北京:地质出版社,1957.

[4] 张彭熹,等.柴达木盐湖[M].北京:科学出版社,1988.29-31.

[5] 中国科学院《中国自然地理》编辑委员会.中国自然地理—地下水[M].北京:科学出版社,1981.67-71.

[6] 巴斯科夫.E.A.成矿规律研究中的古水文地质分析[M].沈照理,译.北京:科学出版社,1981.

[7] 地质矿产部水文地质工程地质研究所.深层卤水形成问题及其

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

研究方法 [M].北京: 地质出版社, 1982.
[8] 地质矿产部水文地质工程地质研究所.油田古水文地质与水文地球化学 [M].北京: 科学出版社, 1987.
[9] 黄汉纯,周显强,王长利.柴达木盆地构造演化与石油富集规律 [J].地质论评, 1989, 35(4): 320-321.
[10] 郑绵平,向军,等.青藏高原盐湖 [M].北京: 科学技术出版社, 1989.
[11] 朱允铸,吴必豪,等.从新构造运动看察尔汉盐湖的形成 [J].地质学报, 1990, N1.
[12] 王焕夫,叶思源.柴达木盆地尕斯库勒湖区盐湖含钾卤水形成分布规律和资源评价研究 [J].中国地质科学院水文地质工程地质研究所所刊, 1992, (8): 51-77.

The Mineralization Pattern and Laws of Deep Groundwater in the Qaidam Basin

WANG Huan-fu
(*Institute of Hydrogeology and Engineering Geology, Ministry of National Soil and Resources, Baoding, Hebei* 050803, *China*)

Abstract The mineralization pattern and laws of deep groundwater in the Qaidam Basin have been expounded in this paper, the study status quo and the property and the temporal-spatial distribution of chemical components in deep groundwater have also been discussed. For the first time, the hydrogeological development history of deep groundwater has been introduced and the reconstruction of palaeo-hydrogeology has been comducted and the new concept, i. e., the palaeohydrogeological cycle, has been put forward. In addition, the oil (gas) resources formed by the deep buried hydrocarbon gathering and its four oil (gas) fields namely, the low-pressure area surrounded by the high-pressure area, the low-pressure area adjacent the high-pressure area, the pressure-decreasing area and the prematurity area as well as the potassium-abundant brine water in the salty lake formed by the evaporation of shallow ground water in the deep basin and its three mineralization laws, namely, the lateral zoning, the vertical superimposing effect and water type correlarity have been revealed. Finally, the mineralization of the oil (gas) resources and potassium-abundant brine water in the salty lake have been predicted and the exploration and exploitation ways have been proposed.

Key words Qaidam Basin; Deep groundwater; mineralization pattern; Laws

(C)1994-2020 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net