

察尔汗盐湖察尔汗二级补给系统 S₃ 盐层晶间卤水中 KCl 的分异特征、富集规律及其成因^①

徐少康

(化工部化学矿产地质研究院,河北涿州 072754)

摘要 据 KCl 含量的概率分布特征,晶间卤水分为 7 个总体。晶间卤水 KCl,在三级系统内水平分异有 2 种、剖面分异有 5 种,二级系统内水平分异呈环带状、剖面分异形式为三级系统内分异形式的组合,垂直分异有 13 种;富集的总体为Ⅳ_{KCl}、Ⅲ_{KCl}用 V_{KCl}、三级系统为(8)和(10)号、部位为固相钾高含处;分异及富集的成因主要为晶间卤水的阶段性淡化。

关键词 察尔汗湖盐 晶间卤水 KCl 分异特征 富集规律 阶段性淡化

分类号 P611.42

1 晶间卤水中 KCl 含量的概率分布及总体划分

据地质及晶间卤水(简称晶卤)分异特征等因素综合考虑,数据选取范围为察尔汗区段,数据网度为水平面上 1 个/(4×4)km²、铅直方向上 1 个/2m;数据量为 328 个。由于比重≤、> 1.251 的两种晶卤,其比重与 KCl 分别呈正、负相关^[2],所以,两种晶卤分开统计。统计结果见图 1。据图 2a 及图 2b 曲线 1 特征,可将晶卤分为 7 个总体(表 1)^[3];此外,总体Ⅳ_{KCl}晶卤比重>1.251 部分,以 2.264、2.739 及 3.371 为界,又可分为 4 个次级总体。

表 1 察尔汗盐湖察尔汗二级补给系统 S₃ 盐层晶间卤水钾总体划分

总体代号	KCl 含量(%)	晶卤比重
Ⅰ _{KCl}	<0.732	≤1.251
	1.764—2.108	
Ⅱ _{KCl}	0.732—1.248	
	2.108—2.796	
	1.248—1.764	
Ⅲ _{KCl}	>2.796	
	>1.790	
V _{KCl}	1.790—1.474	>1.251
Ⅵ _{KCl}	1.474—0.841	
Ⅶ _{KCl}	0.841—0.525	
Ⅷ _{KCl}	<0.525	

① 本文 S₃ 为青海地质一队 1965 上提出的盐系地层三分法的上部盐层^[1]。
收稿日期 1998—8—31 (修订 1998—11—16)

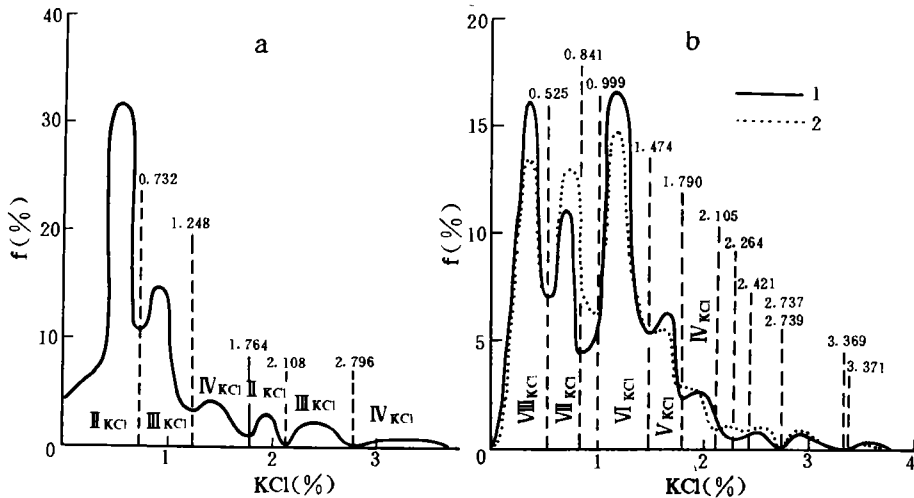


图1 察尔汗盐湖察尔汗区段及察尔汗二级补给系统 S_3 盐层的晶间卤水中 KCl 含量的概率(f)分布
a: 晶卤比重 $\leq 1.251:1$; b: 晶卤比重 $> 1.251:1$ —察尔汗区段, 2—察尔汗二级补给系统

2 晶间卤水中 KCl 的分异特征

晶卤钾总体(以 KCl 含量的概率分布特征所划分的总体)的空间分布见图 2、3。KCl 含量的变化,在一个总体内部基本不变或变化幅度较小,不同总体之间呈现幅度较大的突变。所以,KCl 分异的实质是多个钾总体的并存,不分异的实质是仅一个钾总体的存在,据钾总体的空间分布状况可知 KCl 分异特征。

2.1 晶间卤水中 KCl 的水平分异特征

水平分异指在晶卤水平面上的分异。二级系统内水平分异总体上呈环带状:中心为高代号总体(CK141 一带),各环带状总体围绕中心分布;由中心向外,总体的代号及晶卤浓度依次降低。CK141 一带称为一级高浓度晶卤低钾中心;此外,高浓度晶卤低钾中心另有 5 个:CK325 正南约 4km 处、CK236、CK149、CK50 和 CK660 处,称为二级高浓度晶卤低钾中心。

三级系统内水平分异有 2 种:①扇状分异,由“核部”向外,总体代号依次升高,包括(8)、(10)、(2)、(5)、(6)、(7)及(29)号系统,以(8)和(10)号为典型。②条带状分异,各总体大致呈条带状,条带延伸方向均垂直于补给水流方向;沿补给水流动方向,总体代号依次升高;包括(1)、(25)及(9)号系统。

由上述分异形式和总体代号与晶卤浓度及 KCl 含量的关系(由 II_{KCl} 至 $VIII_{KCl}$ 晶卤浓度依次升高,由 II_{KCl} 至 IV_{KCl} KCl 含量依次升高,由 IV_{KCl} 至 $VIII_{KCl}$ KCl 含量依次降低。),可知 KCl 的水平分异特征。

2.2 晶间卤水中 KCl 的剖面分异特征

剖面分异指在铅直剖面上的分异。三级系统内的分异形式有 5 种(表 2)。二级系统内的分异形式为三级系统的有机组合,如:184 线剖面(图 3a)为斜列式、向斜式及楔状插入式分异的

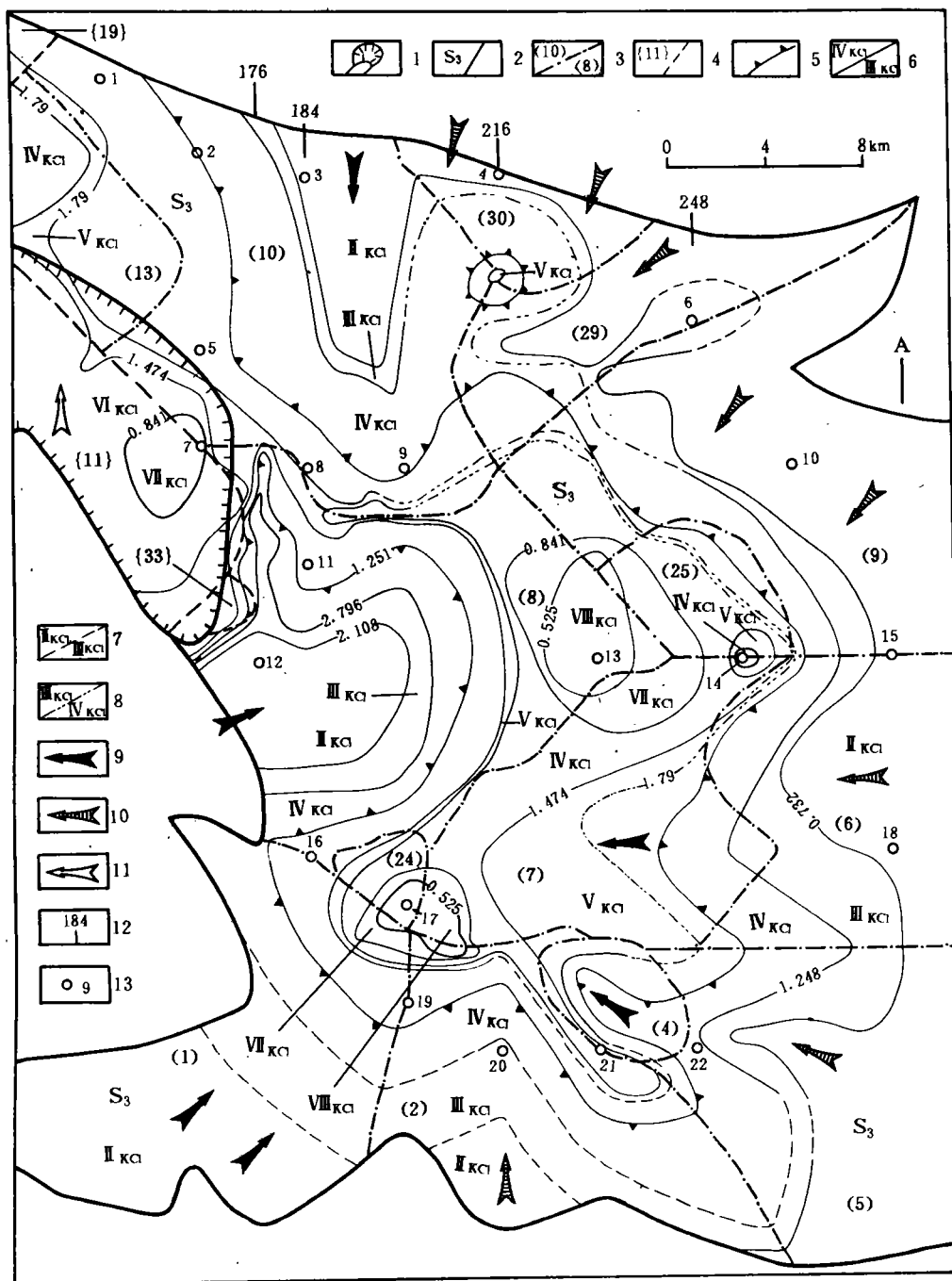


图2 察尔汗盐湖察尔汗二级补给系统 S_3 盐层晶间卤水中 KCl 的分异特征、富集规律及其成因平面图

1. 湖泊; 2. S_3 盐层分布区; 3. 三级补给系统编号、分布区及其界线; 4. 地下三级补给系统编号及范围; 5. 晶间卤水 1.251 等比重线, 三角尖所指一侧的晶间卤水比重 < 1.251 , 另一侧晶间卤水比重 > 1.251 ; 6. 晶间卤水 KCl 总体代号、分布区及界线; 7. 晶间卤水 KCl 总体的推测界线; 8. 主要据“1.251 等比重线上插入 KCl 4.1% 值”计算的总体界线; 9. 自 S_3 顶部补给晶间的水源流动方向; 10. 自 S_3 顶部至底部同时补给晶间的水源流动方向; 11. 自 S_3 中部或下部补给晶间的水源的流动方向; 12. 勘探线及编号; 13. 钻孔位置代号。注: 1. (24) 指地下系统 {24} 在晶间水面上的出露部分; 2. 钻孔代号示: 1—CK1256, 2—CK1660, 3—CK811, 4—CK325, 5—CK659, 6—CK236, 7—CK660, 8—CK820, 9—SK2, 10—CK244, 11—CK823, 12—CK117, 13—CK141, 14—CK393, 15—CK180, 16—CK64, 17—CK50, 18—CK184, 19—CK53, 20—CK670, 21—CK149, 22—CK162; 3. 296 线位于 A 线正东 3.4km; 4. 总体界线上的数字为总体界限值; 5. 察尔汗区段西、东界分别为 176 及 296 线; 6. 察尔汗二级补给系统西界为 (8) 和 (10) 号三级补给系统的西界、东界为 A 线。

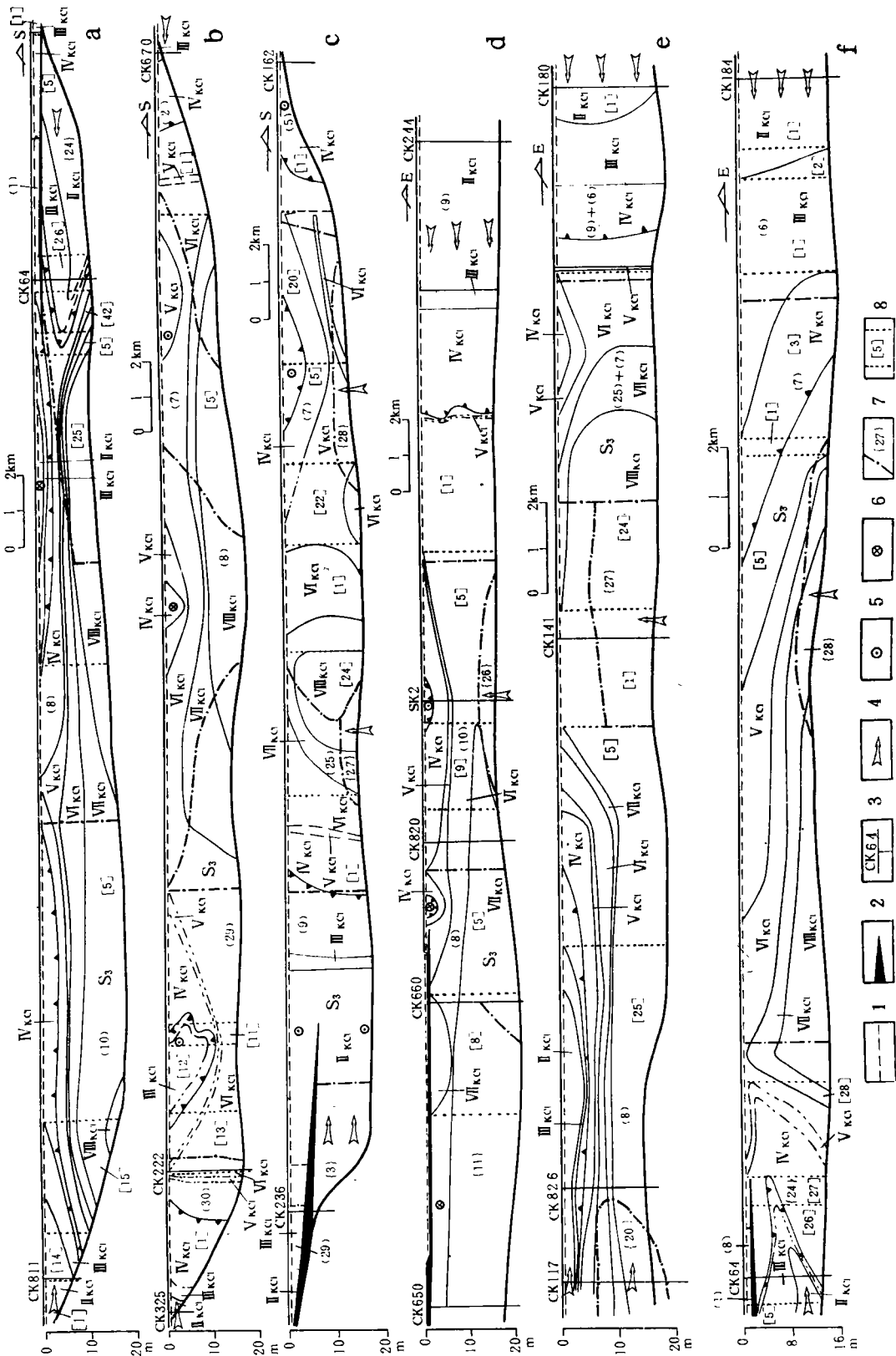


图3 察尔汗盐湖察尔汗二级补给系统 S_3 盐层晶间卤水 KCI 分异特征常集规律及成因剖面图

1. 晶卤水位; 2. 隔水层; 3. 钻孔位置及编号; 4. 补给位置及编号; 5. 表示补给水流向; 6. 表示补给水流向外; 7. 地下三级补给系统编号及范围; 8. 垂直分异区编号及范围; 其他图例同图2。注: 剖面代号为: a—184线, b—216线, c—248线, d—CK650~CK244线, e—CK117~180线, f—CK64~CK184线; 2. (25)+(7)表示(25)与(7)号三级补给系统的界面; 3. (9)+(6)表示(9)与(6)号三级补给系统的界面; 4. CK64右侧隔水层之上部分为(8)与(1)号三级补给系统界线; 5. CK660孔上半部为(11)与(8)号三级补给系统界线; 6. 剖面f中CK64右侧隔水层之上竖线为(8)与(24)号三级系统界线

组合。由上述分异形式和总体代号与晶卤浓度及 KCl 含量的关系可知 KCl 的剖面分异特征。

表 2 察尔汗盐湖察尔汗二级系统内三级系统 S₃ 盐层晶间卤水 KCl 分异形式及实例(图 3)

分异形式	剖面	三级系统	分异形式	剖面	三级系统
向斜式	a	(8)	铅直不对称条带状	b	(30),(2)
	b	(29),(8),(7)		c	(29)
	c	(7)		d	(9)
	d	(8),(10)		f	(6)
	e	(25)+(7)		e	(9)+(6)
斜列式	a	(10)	铅直对称条带状	c	(9)
	f	(7)	楔状插入式	a、f	{24}
	e	(8)			

2.3 晶间卤水中 KCl 的垂直分异特征

垂直分异指在铅直方向上自晶卤水面至 S₃ 底面间的分异,共有 13 种(表 3,图 4a),各垂直分异区的分布见图 4b。以前 7 种类型为主。

表 3 察尔汗盐湖察尔汗二级系统 S₃ 盐层晶间卤水 KCl 垂直分异类型

垂直分异类型	示意曲线	垂 直 分 异 区
直线型	图 4a-1	[1],[23],[27]
左偏型	图 4a-2	[5],[13],[24],[41]
右偏型	图 4a-3	[2],[3],[4],[14],[34],[39],[19]
左凸型	图 4a-4	[9],[10],[20],[22],[30],[26],[44]
右凸型	图 4a-5	[8],[12],[15],[18],[17],[21],[25],[28],[35]
S 型	图 4a-6	[6],[7],[11],[29],[31],[42],[45]
反 S 型	图 4a-7	[16]
多次波折型	图 4a-8	[32]
	图 4a-9	[38]
	图 4a-10	[37],[43]
	图 4a-11	[40]
	图 4a-12	[36]
	图 4a-13	[33]

3 晶间卤水中 KCl 的富集规律

由总体界限(图 1,表 1)可知,KCl 富集的总体主要为 IV_{KCl}、次为 III_{KCl}和 V_{KCl}。由于晶卤 KCl 与固相 KCl 呈正相关^[2],所以,晶卤 KCl 主要在固相钾高含部位富集。由图 1 可知,(8)号系统 II_{KCl}、III_{KCl}、IV_{KCl}的界限(2.108,2.796)分别高于全区的(0.732,1.248),(10)系统西半部

N_{KCl} 的出露宽度远远大于其他地段的, 所以, KCl 主要在这两个部位(即达布逊湖沿岸地区)富集。

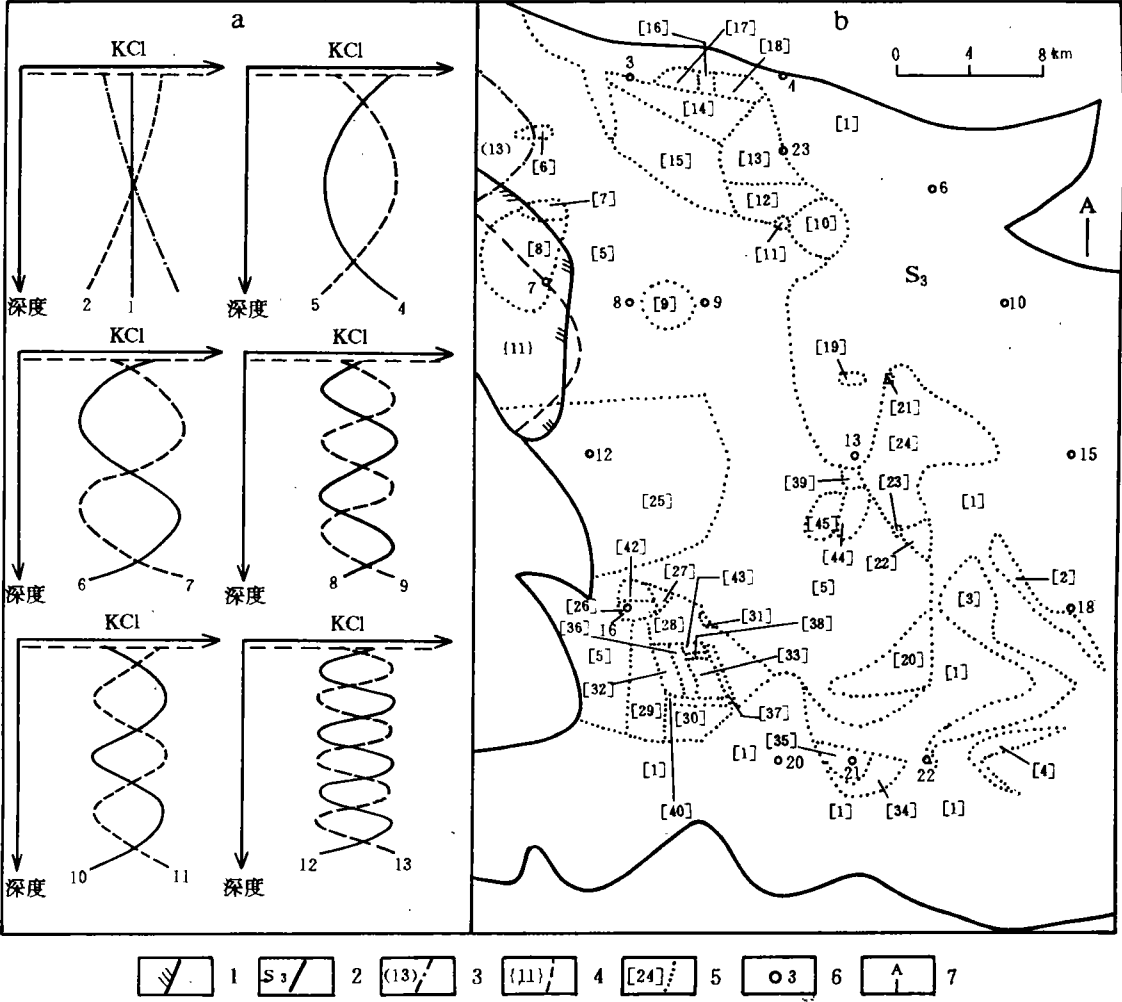


图 4 察尔汗盐湖察尔汗二级补给系统 S_3 盐层晶间卤水 KCl 垂直分异类型(a)及平面分布(b)图

1. 湖泊; 2. S_3 盐层分布区; 3. 三级补给系统编号及范围; 4. 地下三级补给系统编号及范围; 5. 垂直分异区编号及范围; 6. 钻孔位置及代号; 7. 察尔汗二级补给系统东界
注: 钻孔代号示: 23-CK222, 其他同图 2

4 晶间卤水中 KCl 分异及富集的成因

4.1 晶间卤水中 KCl 分异的成因

主要通过对比晶卤 KCl 和晶卤浓度的分异特征, 来分析 KCl 分异的成因。晶卤浓度分异

指以晶卤浓度总体(以晶卤浓度变量的概率分布特征所划分的总体)的空间分布特征为基础所研究认定的分异^[4-7]。

(1)晶卤 KCl 和晶卤浓度分异特征的相同点:①各三级系统内的水平、纵剖面上及横剖面上的分异形式均分别相同。如(8)号系统,水平分异均呈扇状(图 2,文献[4]图 1),横剖面上均呈向斜式分异(图 3 和文献[4]图 2 184 线剖面),纵剖面上均呈斜列式分异(图 3 和文献[4]图 3 CK117~CK180 剖面)。②二级系统内的水平分异总体上均呈环带状(图 2,文献[4]图 1),一级高浓度低钾中心(CK141 一带)与一级残留高浓度中心(CK153 一带,文献[4]图 1)对应^[5];5 个二级高浓度低钾中心 CK325 正南约 4km 处、CK236、CK149、CK50 及 CK660(图 2),分别与 5 个二级残留高浓度中心 CK222、CK236、CK149、CK51、CK660(文献[4]图 1)一一对应^[5];剖面分异形式也相同,如 184 线剖面分异形式均为斜列式、向斜式及楔状插入式分异形式的组合(图 3)^[4]。③晶卤 KCl 垂直分异的主要类型(前 7 种)与晶卤浓度垂直分异的 7 种类型一一对应。所以,晶卤 KCl 和晶卤浓度分异具有共同成因—晶卤的阶段性淡化^[5]。对比钾总体与浓度总体在水平面及剖面上的相对位置^[4],可知二者的对应关系为:Ⅰ_{KCl}—Ⅰ,Ⅱ_{KCl}—Ⅱ,···,Ⅶ_{KCl}—Ⅶ。Ⅳ_{KCl}形成之前,固相钾被不断溶解,因此,由Ⅶ_{KCl}→Ⅳ_{KCl} KCl 含量呈上升趋势;Ⅳ_{KCl}形成之后,固相钾被溶解殆尽,因此,由Ⅳ_{KCl}→Ⅰ_{KCl} KCl 含量呈下降趋势^[4]。

(2)晶卤 KCl 和晶卤浓度分异特征的不同点:①随着总体代号的依次升高,晶卤浓度也依次升高,而 KCl 含量先依次升高、后依次降低(主要原因为本区晶卤有 KCl 饱和与不饱和两种)。这使二者在分异形式相同情况下,变化趋势有可能不一样。②各部位的同代号总体的晶卤浓度变幅不大,而有的总体不同部位 KCl 含量明显较高,主要指:(8)号系统的Ⅰ_{KCl}、Ⅱ_{KCl}、Ⅳ_{KCl}, (10)号系统西半部的Ⅳ_{KCl},其他部位的 CK1256、CK1660、CK659、CK823、CK64、CK53 及 CK393 孔上部(表 4),其中 CK393 上部已形成新的总体(图 2),为固相钾较高所致。③在本区中部 CK141—CK153 一带晶卤水面上,浓度总体Ⅶ未出露^[4],而钾总体Ⅶ_{KCl}却出露了(图 2),为固相钾较低、导致晶卤 KCl 降低所致。④二级残留高浓度中心比二级高浓度低钾中心多 2 个(SK2 西南约 3.5km 及 CK1259),为固相钾较高所致。⑤晶卤 KCl 垂直分异的后 6 种类型,不在晶卤浓度垂直分异中^[4],为固相钾随机变化导致晶卤 KCl 随机波动等因素所致。

综上所述,晶卤 KCl 分异的成因,主要为晶卤的阶段性淡化,次为晶卤 KCl 与晶卤比重的关系及固相钾的影响。

表 4 部分钻晶卤的比重 KCl 含量

钻孔	样品位置(m)	比重	KCl(%)	钻孔	样品位置(m)	比重	KCl(%)
CK1256	0.57—2.94	1.26	2.92	CK823	2.43—4.44	1.262	2.96
CK1660	0.7—2.74	1.251	4.73	CK823	4.44—5.3	1.26	2.99
CK1660	2.74—4.76	1.276	2.61	CK64	0.39—2.06	1.26	2.54
CK659	0.15—2.15	1.268	2.25	CK53	0.12—2.1	1.264	3.45
CK823	0.92—2.43	1.265	2.92	CK393	0.39—2.42	1.275	2.02

4.2 晶间卤水中 KCl 富集的成因

随着淡化作用的进行,晶卤浓度不断降低,因此,固相钾不断溶解、晶卤 KCl 含量增高;当

固相钾溶尽后,晶卤中 KCl 不再增加,因此,随着晶卤浓度的降低,晶卤 KCl 含量下降。这是“ KCl 主要在 IV_{KCl} 、其次在 III_{KCl} 和 V_{KCl} 中富集”的主要原因。

当晶卤浓度降低、钾盐处于溶解状态时,晶卤 KCl 与固相 KCl 呈正相关。这是“晶卤 KCl 在固相钾高含部位富集”的主要原因。

围绕达布逊湖岸地带,是固相钾高含区,这是“晶卤 KCl 在(8)号系统及(10)号系统西半部富集”的主要原因。

5 几个问题的说明

(1)研究范围:①本湖的四个二级补给系统与四个区段一一对应^[5,6]、范围基本吻合,表明这种四分法真实地反映了盐湖的“结构”。由于“系统四分法”是根据“微观研究”划分的、精度比“区段四分法”高,所以,本文研究范围取察尔汗二级补给系统。②比重 ≤ 1.251 晶卤 KCl 数据,本二级系统比区段仅多 1 个,所以,二者概率分布完全一样(图 1a);比重 > 1.251 晶卤的 KCl 数据,本二级系统比区段的多一些,但二者的概率分布的主要特征一样(a. 均可分为 5 个总体,二级系统的以 0.525、0.999、1.474 及 1.790 为界;b. 对应总体界限多数相等;c. $KCl > 1.790$ 的总体 IV_{KCl} 均由若干个次级总体组成)、差别(a. VI_{KCl} 与 VII_{KCl} 的界限分别为 0.999、0.841;b. IV_{KCl} 包含的次级总体个数分别为 5、4)不大。因此,同时为了便于与已有成果^[5,42]进行对比,数据仍在本区段内选取。

(2) IV_{KCl} 晶卤比重 > 1.251 部分的几个次级总体(图 1b), KCl 最低的为主体,其他的为 CK1256、CK659、CK823、CK64 及 CK53 顶部晶卤 KCl 高异常所致(表 4)。

(3) CK149 顶部 1966 年勘探时未取晶卤样品,据周围情况分析,取晶卤比重为 1.29、晶卤 KCl 含量为 0.57%。

(4)总体界线在图 2、3 上的绘制及有关问题:①比重 $\leq$ 、 > 1.251 的两种晶卤, KCl 含量与比重分别呈正、负相关^[2],表明 KCl 分别不饱和、饱和。因此,总体界线不能跨越 1.251 等比重线。②据上述原则, IV_{KCl} 的两条界线及 V_{KCl} 与 VI_{KCl} 的界线在局部(图 2、3 中,图 2 图例 8 所示双点划线处)无处可去。主要原因为:各三级系统内总体界限实际值有差异、图 1 中确定的总体界线为全区的平均值、前述的“无处可去”处有着总体界限实际值远远低于全区平均值。③为了便于全区对比,总体界限仍取图 1 中确定的平均值;必须使总体界线“畅通无阻”、不能偏离实际位置太远。因此,在晶卤 1.251 等比重线上,晶卤 KCl 含量统一取本区段最大值 4.1%。④据此作出的图形客观地反映了晶卤 KCl 的分异特征,但在局部(主要为 Ck50 正南 2km 的 CK51 周围地区)对晶卤 KCl 垂直分异特征有明显影响,如:〔32〕、〔33〕、〔36〕、〔37〕、〔38〕、〔40〕及〔43〕区号所在部位原来垂直分异为图 4a 中 1、2、3、5 及 10 号曲线所示的 5 种类型。尽管如此,在插入“4.1%”值后上述各区显示的垂直分异特征仍具有一定的理论意义。

6 结论

(1)据 KCl 含量的概率分布特征,本区晶间卤水分 7 个总体:由 II_{KCl} 至 IV_{KCl} , KCl 依次升高;由 IV_{KCl} 至 $VIII_{KCl}$, KCl 依次降低;

(2)晶间卤水 KCl ,在三级系统内的水平分异有“扇状”和“条带状”2 种、剖面分异有“向斜式”、“斜列式”、“铅直不对称条带状”、“铅垂对称条带状”及“楔状插入式”5 种;二级系统内的水平分异呈“环带状”、剖面分异为三级系统分异形式的有机组合;垂直分异有直线型等 13 种、以前 7 种为主。

(3)晶间卤水中 KCl 富集的总体主要为Ⅳ_{KCl}、次为Ⅲ_{KCl}和Ⅴ_{KCl},富集的三级系统主要为(8)和(10)号西半部,富集部位主要为固相钾高含处。

(4)晶间卤水 KCl 分异及富集的成因,主要为晶间卤水的阶段性淡化,次为晶间卤水 KCl 与晶间卤水比重的关系及固相钾的影响。

上述几点为阶段性淡化说再次提供了佐证,表明文献[8]阐述的预测理论是正确的,对本湖钾盐矿床的成因研究及低品位卤水钾和固相钾的开发利用有一定意义。

致谢:本文承蒙宣之强高级工程师大力支持。

参 考 文 献

- [1]张彭熹等,古代异常钾盐蒸发岩的成因,北京:科学出版社,1993,7—8.
- [2]徐少康,盐湖研究,1996,(2):64—69.
- [3]赵鹏大等,矿床统计预测,北京:地质出版社,1983,34—46.
- [4]徐少康,盐湖研究,1994,(4):1—8.
- [5]徐少康,盐湖研究,1993,(4):9—20.
- [6]徐少康,盐湖研究,1994,(1):1—5.
- [7]徐少康,盐湖研究,1995,(4):23—32.
- [8]徐少康,盐湖研究,1996,(1):22—27.

Differentiation Characteristics, Concentration Rules And The formation Mechanism Of KCl In Intercrystalline Brine In Salt Group S₃ Of Qarhan Second Supply System Of Qarhan Salt Lake

Xu Shaokang

(*Mcl Geological Institute For Chemical Minerals, Zhunzhou City, Hebei 072754*)

Abstract

The intercrystalline brine is divided into 7 populations according to the probability distribution characteristics of the KCl content. Horizontal differentiation of intercrystalline brine KCl has 2 types and the sectional differentiation has 5 types in third supply systems. In the second supply system, horizontal differentiation is in a circular — belt form and sectional differentiation is the combination of the differentiation forms in the third supply system. The vertical differentiation has 13 types. Concentrated populations are N_{KCl} , II_{KCl} and V_{KCl} , and concentrated third systems are No. (8) and (10). Concentrated positions are places rich in solid — K. Mechanism of the differentiation and concentration is mainly the intercrystalline brine's desalination by stage.

Keywords: Qarhan salt lake, Intercrystalline brine, KCl, Differentiation characteristics, Concentration rules, Desalination by stage