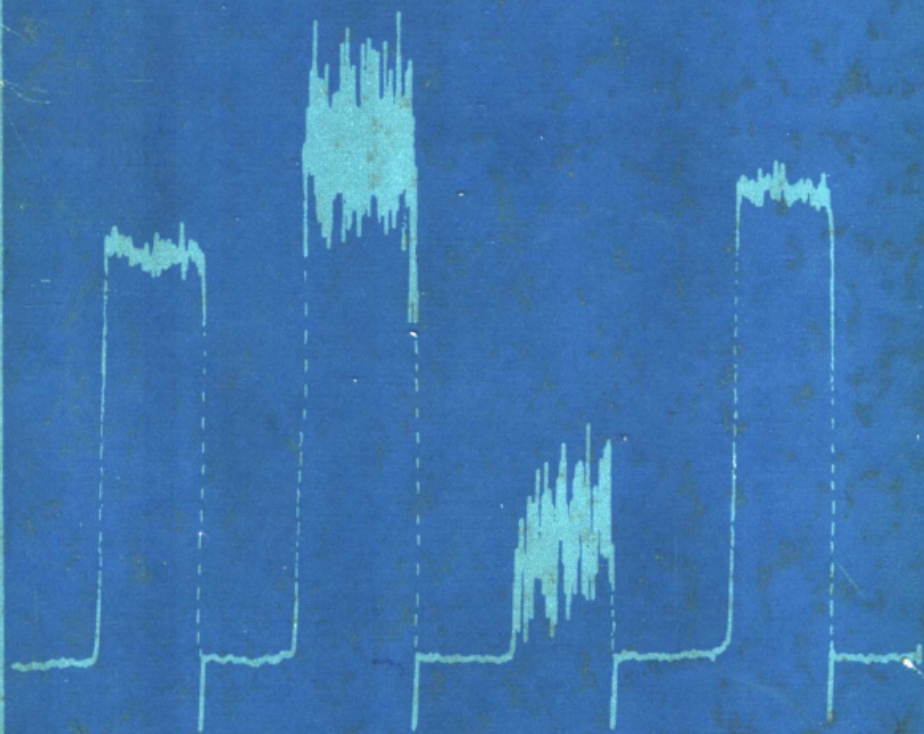


卤水和盐的分析方法

(第二版)

中国科学院青海盐湖研究所分析室 编著



科学出版社

卤水和盐的分析方法

(第二版)

中国科学院青海盐湖研究所分析室 编著

科学出版社

1988

内 容 简 介

在我国西北地区分布着数量众多的盐湖，蕴藏着极其丰富的盐类和卤水资源，其主要成分是钠、钾、钙、镁及锶、钡等的氯化物，硫酸盐、碳酸盐和硼酸盐；此外还有锂、铷、铯、氟、铀等稀有元素。这些盐类在农业、化工、冶金、建材和国防工业中有重要作用，我国科技工作者从 50 年代开始，对这一地区的资源进行了全面的科学考察。现在已从科学考察转向深入研究 and 开发利用的阶段。

本书为作者多年来从事卤水和盐的分析工作的总结，从应用的角度出发，较全面地介绍了卤水和盐类的分析技术及 70 多种分析方法。全书共分十一章，在第一版的基础上作了全面的修订，总结了新的研究成果，增补了新的仪器分析方法。

本书是从事卤水、海水、油田水和其它无机盐开发研究人员及分析测试工作者有实用价值的参考书。

卤水和盐的分析方法

(第二版)

中国科学院青海盐湖研究所分析室 编著

责任编辑 操时杰

科学出版社出版

北京朝阳门内大街 137 号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1973 年 7 月第 一 版 开本：850×1168 1/32

1988 年 10 月第 二 版 印张：15

1988 年 10 月第二次印刷 插页：图 2

平 9.10—10.690 字数：394,000

印 0007—1,800

ISBN 7-03-000461-2/O·126 (平)

ISBN 7-03-000637-2/O·172 (精)

平 装 6.80 元
定价：布脊精装 7.90 元

第二版序

我国西北地区遍布大小盐湖 2000 多个，以数量多、面积大、资源丰富著称于世。为适应盐湖科学考察和开发的需要，我们于 1973 年编写了《卤水和盐的分析方法》一书，并荣获中国科学院重大科技成果奖和青海省科学技术大会奖。尽管发行 9000 余册，但仍不能满足广大读者需要。

随着我国西北地区建设事业的发展及铁路的西进，迎来了盐湖资源综合开发利用的新阶段。广大盐卤科技工作者迫切需要一本综合性更强、应用面更广、涉及仪器分析种类更多的盐卤分析新书。为此，我们编写了第二版。第二版对第一版的内容进行了全面审订和修改，删去了陈旧过时的材料，补充了近十多年来分析室全体同志的研究成果，篇幅也由原来的七章扩充到十一章，新增加了温度滴定法(第七章)，离子选择电极分析法(第八章)，同位素质谱分析法(第九章)，红外光谱分析法(第十章)等四章。

第二版仍保持第一版的格式，各章均冠以分析技术概述，以助读者理解所述分析方法和程序；各节讨论部分均提供必要的实验数据，以供分析者实践时参考。

第一版由张长美主编，由张长美、翟宗玺、程祖本、胡丰和陈维吾撰稿，孙贵明和高明瑜绘图。

第二版由中国科学院青海盐湖研究所分析室翟宗玺(第一、二、三、七章)、程祖本(第四、六章)，胡丰(第五章)，吴国梁(第八章)，肖应凯(第九章)，刘福敏(第十章)撰稿。绘图胡金泉和刘建华。

在此，我们谨对广大盐卤分析工作者的鼓励和指教，科学出版社的大力支持表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中错误或不妥之处在所难免，敬请读者不吝指正。

作者

目 录

第一章 盐卤定量分析概论	1
§ 1.1 卤水.....	1
§ 1.2 卤水的化学分类.....	3
§ 1.3 样品的采集和处理.....	9
§ 1.4 卤水分析结果的表示.....	13
§ 1.5 分析结果的计算和误差.....	17
§ 1.6 溶液浓度的表示及混合、稀释的计算.....	26
参考文献.....	28
第二章 重量分析法	29
§ 2.1 概述.....	29
§ 2.2 乙酸铀酰锌法测定钠.....	33
§ 2.3 四苯硼化钠法测定钾.....	35
§ 2.4 草酸盐法测定钙.....	37
§ 2.5 硫酸钡法测定硫酸根.....	39
参考文献.....	41
第三章 滴定分析法	42
§ 3.1 概述.....	42
§ 3.2 EDTA 法测定钙、镁总量.....	47
§ 3.3 EDTA 法测定钙.....	52
§ 3.4 甘露醇法测定硼.....	55
§ 3.5 甲醛法测定铵.....	57
§ 3.6 碱度-碳酸根和碳酸氢根的测定.....	59
§ 3.7 银量法测定氯.....	61
§ 3.8 汞量法测定氯.....	64
§ 3.9 次氯酸盐法测定溴、碘总量.....	66

§ 3.10 溴水法测定碘.....	70
§ 3.11 催化法测定微量碘.....	71
参考文献.....	74
第四章 吸光光度法	75
§ 4.1 概述.....	75
§ 4.2 铍试剂 II 法测定微量铍.....	90
§ 4.3 胭脂红法测定微量硼.....	94
§ 4.4 甲亚胺-H 法测定硼.....	97
§ 4.5 二甲酚橙法测定微量铝.....	102
§ 4.6 硅钼蓝法测定微量硅.....	106
§ 4.7 奈氏试剂法测定铵.....	110
§ 4.8 α -糠偶酰二肼法测定微量硝酸根.....	113
§ 4.9 对氨基苯磺酸, α -奈胺法测定微量亚硝酸根.....	118
§ 4.10 硫酸钡浊度法测定硫酸根.....	122
§ 4.11 邻苯二胺法测定微量硒.....	124
§ 4.12 结晶紫法测定微量钼.....	127
§ 4.13 荧光素法测定微量溴.....	131
§ 4.14 催化法测定微量碘.....	135
§ 4.15 硫氰酸盐法测定铁.....	138
§ 4.16 邻-菲绕啉法测定铁.....	142
§ 4.17 亚硝基-R 盐法测定微量钴.....	145
§ 4.18 丁二酮二肼法测定微量镍.....	148
§ 4.19 偶氮胂 III 法测定钍.....	151
参考文献.....	157
第五章 火焰发射和原子吸收光谱分析法	159
§ 5.1 概述.....	159
§ 5.2 火焰发射光谱增量法测定锂.....	172
§ 5.3 离子交换-火焰发射法测定锂.....	176
§ 5.4 电离缓冲火焰发射法测定钾.....	181
§ 5.5 四苯硼钾共沉火焰发射光谱法测定铷和铯.....	184

§ 5.6	火焰原子吸收光谱法测定镉	189
§ 5.7	火焰原子吸收光谱法测定钙	196
§ 5.8	火焰原子吸收光谱法测定镉	201
§ 5.9	磷酸钠原子吸收光谱法测定锂	209
§ 5.10	电离缓冲原子吸收光谱法测定钠	215
§ 5.11	电离缓冲原子吸收光谱法测定钾	221
§ 5.12	电离缓冲原子吸收光谱法测定铷和铯	224
§ 5.13	萃取原子吸收光谱法测定铷和铯	228
§ 5.14	离子交换-萃取原子吸收光谱法测定铷和铯	232
	参考文献	237
第六章	原子发射光谱分析法	239
§ 6.1	概述	239
§ 6.2	ICP-AES 参比元素法测定卤水中的微量元素	252
§ 6.3	卤水中微量元素的光谱测定法	256
§ 6.4	ICP-AES沉淀分离法测定卤水中15种微量元素	263
	参考文献	270
第七章	温度滴定法	271
§ 7.1	概述	271
§ 7.2	氟化钾法测定钠	283
§ 7.3	四苯硼化钠法测定钾	287
§ 7.4	EDTA 法测定镁	289
§ 7.5	中和法测定硼	292
§ 7.6	氯化钡法测定硫酸根	294
§ 7.7	硝酸汞法测定氯	296
	参考文献	297
第八章	离子选择电极分析法	298
§ 8.1	概述	298
§ 8.2	离子选择电极的分析技术	310
§ 8.3	pH 值的测定	325
§ 8.4	标准比较法测定钠和钾	330

§ 8.5	标准比较法测定钾钾比	336
§ 8.6	电位滴定法测定钾	340
§ 8.7	标准加入法测定硼	345
§ 8.8	标准加入法测定氟	348
§ 8.9	标准比较法测定碘	352
§ 8.10	电位滴定法测定碘	356
§ 8.11	等电位变化连续标准加入法测定硫	358
§ 8.12	电位滴定法测定硫酸根	362
	参考文献	368
第九章	同位素质谱分析法	369
§ 9.1	概述	369
§ 9.2	离子交换-质谱法测定硼同位素丰度	374
§ 9.3	离子交换-质谱法测定锂同位素丰度	379
	参考文献	389
第十章	红外光谱分析法	390
§ 10.1	概述	390
§ 10.2	水和卤水中低含量重水的红外光谱测定	413
§ 10.3	矿物的红外吸收光谱	418
	参考文献	435
第十一章	其它	437
§ 11.1	比重的测定	437
§ 11.2	干基(总矿化度)的测定	439
§ 11.3	差减法计算钠	441
附录		444
1.	元素原子量表(1985年)	444
2.	放射性元素的同位素质量数	447
3.	不同温度下水的密度	448
4.	某些酸、碱的浓度	448
5.	某些酸、碱的重量百分数与比重的关系	449
6.	基准物质及其干燥温度	450

7. 难溶化合物的溶度积(18—25℃).....	451
8. 重量分析中的换算因数.....	453
9. 酸碱指示剂变色 (pH) 范围及其制备.....	455
10. 火焰理论温度及最高燃烧速度	455
11. 火焰光谱法常用的分析线, 火焰类型和检出极限.....	456
12. 火焰中自由原子分数 β	460
13. 盐卤分析中常用的有机试剂	462

第一章 盐卤定量分析概论

§ 1.1 卤 水^[1]

水是地球上分布最广泛的物质之一，地球表面约三分之二以上的面积被水所覆盖。

水是一种良好的溶剂，它在运动过程中溶解着这样和那样的物质。因此，在天然状态下，纯水是不存在的。

除地球表面广大面积被水所覆盖外，地球内部也处处埋藏着水，所有这些通称天然水。天然水是一种十分复杂的溶液，化学工作者在各种天然水中共发现有六十种以上的化学元素。

§ 1.1.1 天然水的分类

由于天然水的运动过程及其存在的自然环境的差异，溶于天然水中的物质的种类和数量也有很大的不同。人们根据天然水中所溶解的各种物质总量的(矿化度)多少，概括地将其分成三大类。

- (1) 淡水类：溶解物质的总量小于或等于 0.1%。
- (2) 半咸水类：溶解物质的总量在 0.1—3.5% 之间。
- (3) 咸水类：溶解物质的总量大于 3.5%。

卤水，溶解物质的总量大于 5%，属于天然水分类中的咸水类：包括矿化度大于 3.5% 的海洋海湾水，盐湖表面、晶间和淤泥水，以及埋藏于地球深部的地下卤水和含油地质构造中高矿化度的油田水。这些卤水的矿化度有的高达 30% 以上，实际上构成了天然盐矿。

§ 1.1.2 地表卤水

地表卤水是处于地球表面或离表面不深的晶间和淤泥中的

水。它的形成主要决定于自然地理条件和气候特点。在气候干燥的闭塞湖盆环境中,随着湖水的不断蒸发浓缩,各种盐类的结晶和沉积,往往形成盐湖并伴随着极其大量的含盐饱和卤水。

地表卤水一般含有高浓度的 Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} 和 Cl^- 等离子,同时有相当浓度的 Li^+ , Rb^+ , Cs^+ , $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$ 和 Br^- 等离子。在干燥的气候条件下,卤水蒸发浓缩,可能结晶析出的盐类有:

石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$);

天然碱 ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$);

水碱 ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$);

食盐 (NaCl);

芒硝 ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$);

无水芒硝 (Na_2SO_4);

泻利盐 ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$);

六水泻盐 ($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$);

光卤石 ($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$);

钾食盐 ($\text{KCl} \cdot \text{NaCl}$);

钾盐镁矾 ($\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$);

水氯镁石 ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$),……等。

随着蒸发浓缩和盐类的析出,卤水的化学成分亦发生剧烈的变化。在通常情况下,卤水水化学类型顺次由碳酸盐类型逐步向硫酸盐类型和氯化物类型演变。

§ 1.1.3 地下卤水

地下卤水处于地层深部包括与古生盐矿有关的卤水和晶间卤水,以及与含油地质构造有关的高矿化度的油田水。这些卤水由于埋藏较深,具有高度封闭的特点,其形成主要决定于自身的运动过程和周围岩石的特性。

地下卤水的化学成分和地表卤水有共性的一面,一般也含有较高浓度的 Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} 和 Cl^- 等

离子,但也有其明显的内在特征:

(1) 脱硫作用引起卤水化学成分的变化;

(2) 某些稀散元素和有机物质的富集。

脱硫作用发生于地下卤水化学成分与四周岩石成分之间的离子交换作用,使卤水中 SO_4^{2-} 离子浓度显著减小,卤水则由硫酸盐类型演变为碳酸盐或氯化物类型。随着脱硫作用的发生,卤水中碱土金属离子如 Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} 等含量可能增高。

稀散元素富集主要表现于硼、溴、碘、铷、铯等元素在地下卤水中比地表卤水具有更高的浓度。如油田水中碘、溴和硼的浓度较高,这种特点不仅被作为石油勘探中含油岩层的重要标志,同时油田水也是制碘、溴、硼工业的重要原料。

有机物质在地下卤水中的分布和含量很复杂;这种特点在油田水中最明显。

§ 1.2 卤水的化学分类^[2]

按照卤水中所含化学成分,可将卤水分为三类,即碳酸盐类型、硫酸盐类型、氯化物类型。这种分类方法取决于卤水中主要阳离子 Ca^{2+} , Mg^{2+} 和 Na^+ , 同主要阴离子 CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} 和 Cl^- 的相互组合,以及所组成盐的溶解度。

定性试验很容易粗略地确定卤水所属的类型。例如,碳酸盐类型的卤水,只能含有少量,甚至痕量的 Ca^{2+} , Mg^{2+} , 而且应该有高浓度的 CO_3^{2-} 和 HCO_3^- 离子,同时也可能有 SO_4^{2-} 和 Cl^- 离子,常常含有较高浓度的硼。硫酸盐类型的卤水应含有高浓度的 SO_4^{2-} , 只含有小量的 Ca^{2+} 离子等。

卤水化学类型的从属主要决定于卤水本身的化学平衡体系和特征系数。

§ 1.2.1 碳酸盐类型卤水

卤水含盐的化学成分为: NaCl , Na_2SO_4 , NaHCO_3 , Na_2CO_3 和

痕量的 CaCO_3 , MgCO_3 .

卤水化学平衡体系是: Na^+ , $\text{K}^+ // \text{CO}_3^{2-}$, HCO_3^- , SO_4^{2-} , $\text{Cl}^- - \text{H}_2\text{O}$.

特征系数

$$K_I = \frac{\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NaHCO}_3}{\text{Na}_2\text{SO}_4}$$

定性反应

- (1) 卤水具有明显的碱性反应;
- (2) 卤水加入盐酸时剧烈起泡 ($2\text{H}^+ + \text{CO}_3^{2-} \longrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$);
- (3) 加入 MgCl_2 或 MgSO_4 时生成白色凝胶状沉淀 (MgCO_3);
- (4) 加入 BaCl_2 时, 析出白色沉淀 (BaCO_3), 沉淀用盐酸处理时剧烈起泡.

§ 1.2.2 硫酸盐类型卤水

卤水含盐的化学成分为: NaCl , MgCl_2 , Na_2SO_4 , MgSO_4 , CaSO_4 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 和 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$.

卤水化学平衡体系是: Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , $\text{Ca}^{2+} // \text{SO}_4^{2-}$, $\text{Cl}^- - \text{H}_2\text{O}$.

特征系数

$$K'_{II} = \frac{\text{Na}_2\text{SO}_4}{\text{MgSO}_4}, \quad K''_{II} = \frac{\text{MgSO}_4}{\text{MgCl}_2}$$

定性反应

- (1) 卤水仅在用蒸馏水稀释后, 加入酚酞才呈红色;
- (2) 卤水加入盐酸时不起泡;
- (3) 加入 MgSO_4 后不生成凝胶;
- (4) 卤水用盐酸酸化后, 加入 BaCl_2 时生成极多的白色沉淀 (BaSO_4).

硫酸盐类型卤水按其化学成分的变化又可分为两个亚类: 硫酸钠型亚类和硫酸镁型亚类.

i. 硫酸钠型亚类

卤水含盐的化学成分为: NaCl , Na_2SO_4 , MgSO_4 , CaSO_4 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 和 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$.

特征系数

$$K'_{II} = \frac{\text{Na}_2\text{SO}_4}{\text{MgSO}_4}$$

2. 硫酸镁型亚类

卤水含盐的化学成分为: NaCl , MgCl_2 , MgSO_4 , CaSO_4 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 和 $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$.

特征系数

$$K''_{II} = \frac{\text{MgSO}_4}{\text{MgCl}_2}$$

§ 1.2.3 氯化物类型卤水

卤水含盐的化学成分为: NaCl , MgCl_2 , CaCl_2 , CaSO_4 , $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ 和 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

卤水化学平衡体系为: Na , K^+ , Ca^{2+} , $\text{Mg}^{2+} // \text{Cl}^- - \text{H}_2\text{O}$.

特征系数

$$K_{III} = \frac{\text{MgCl}_2}{\text{CaCl}_2}$$

定性反应

- (1) 卤水只有用蒸馏水稀释后,加入酚酞才呈红色;
- (2) 卤水加入盐酸时不起泡;
- (3) 加入 MgSO_4 后,缓慢生成难溶于盐酸的白色沉淀 (CaSO_4);
- (4) 加入 BaCl_2 后呈微弱的混浊 (BaSO_4).

以上特征系数 K_I, K'_{II}, K''_{II} , 和 K_{III} 式中的 $\text{Na}_2\text{CO}_3, \text{Na}_2\text{SO}_4, \text{NaHCO}_3, \text{MgSO}_4, \text{MgCl}_2$ 和 CaCl_2 分别表示每种盐在卤水中的重量百分含量.

按照卤水的化学成分确定卤水所属的类型,不仅可用盐类之间比值的特征系数表示,而且可以用离子当量之间比值的分类系

表 1.1 卤水分类特征系数的变化

特 征 系 数	碳酸盐型	硫 酸 盐 型		氯化物型
		硫酸钠型	硫酸镁型	
$K_I = \frac{Na_2CO_3 + NaHCO_3}{Na_2SO_4}$	$n^{1)}$	0	~	~
$K_{II} = \frac{Na_2SO_4}{MgSO_4}$	∞	n	0	~
$K'_{II} = \frac{MgSO_4}{MgCl_2}$	~	∞	n	0
$K_{III} = \frac{MgCl_2}{CaCl_2}$	~	~	∞	n

1) 表中 $\infty > n > 0$; ~ 表示测不出。

数表示。

$$K_{n_1} = \frac{N_{CO_3^{2-}} + N_{HCO_3^-}}{N_{Ca^{2+}} + N_{Mg^{2+}}}, K_{n_2} = \frac{N_{CO_3^{2-}} + N_{HCO_3^-} + N_{SO_4^{2-}}}{N_{Ca^{2+}} + N_{Mg^{2+}}}$$

$$K_{n_3} = \frac{N_{SO_4^{2-}}}{N_{Ca^{2+}}}, K_{n_4} = \frac{N_{CO_3^{2-}} + N_{HCO_3^-}}{N_{Ca^{2+}}}$$

式中 $N_{CO_3^{2-}}$, $N_{HCO_3^-}$, $N_{SO_4^{2-}}$, $N_{Ca^{2+}}$, $N_{Mg^{2+}}$ 分别表示在一定量原始卤水中各离子的克当量²⁾或毫克当量值。

§ 1.2.4 确定卤水化学类型的实例

某卤水中各离子重量百分含量的分析结果分别为:

$$Na^+ = 4.58, K^+ = 0.56, Mg^{2+} = 3.60, Ca^{2+} = 0.0065$$

$$CO_3^{2-} = 0.042, HCO_3^- = 0.0096, SO_4^{2-} = 4.21, Cl^- = 14.92$$

换算成盐类重量百分数为:

$$CaCO_3 = 0.016, MgCO_3 = 0.045, Mg(HCO_3)_2 = 0.013$$

$$MgSO_4 = 5.28, MgCl_2 = 9.86, NaCl = 11.65, KCl = 1.07$$

按盐类重量百分数求得其特征系数分别为:

- 1) 按法定计量单位规定, N 为非许用单位, $1N \triangleq (1mol/L) \times \text{离子价数}$, 下同;
- 2) 在确定卤水化学类型或由卤水中离子配成化合物时, 暂时仍沿用克当量单位。

表 1.2 利用离子当量值确定卤水的化学类型

分 类 系 数	碳酸盐型	硫 酸 盐 型		氯化物型
		硫酸钠型	硫酸镁型	
$K_{n_1} = \frac{N_{CO_3^{2-}} + N_{HCO_3^-}}{N_{Ca^{2+}} + N_{Mg^{2+}}}$	>1	≤1	≤1	≤1
$K_{n_2} = \frac{N_{CO_3^{2-}} + N_{HCO_3^-} + N_{SO_4^{2-}}}{N_{Ca^{2+}} + N_{Mg^{2+}}}$	≥1	≥1	≤1	<1
$K_{n_3} = \frac{N_{SO_4^{2-}}}{N_{Ca^{2+}}}$	≥1	≥1	≥1	≤1
$K_{n_4} = \frac{N_{CO_3^{2-}} + N_{HCO_3^-}}{N_{Ca^{2+}}}$	≥1	<1 或 >1	<1 或 >1	<1

$$K_I = \frac{Na_2CO_3 + NaHCO_3}{Na_2SO_4} = \sim$$

$$K'_{II} = \frac{Na_2SO_4}{MgSO_4} = \frac{0}{5.28} = 0$$

$$K''_{II} = \frac{MgSO_4}{MgCl_2} = \frac{5.28}{9.86} = 0.535 = n$$

$$K_{III} = \frac{MgCl_2}{CaCl_2} = \frac{9.86}{0} = \infty$$

按每 100g 卤水中所含各种离子的克当量值，求出分类系数。
离子克当量值分别为：

$$N_{Na^+} = \frac{4.58}{23.00} = 0.1992, N_{K^+} = \frac{0.56}{39.10} = 0.01432$$

$$N_{Mg^{2+}} = \frac{3.60}{12.15} = 0.2962, N_{Ca^{2+}} = \frac{0.0065}{20.04} = 0.0003244$$

$$N_{CO_3^{2-}} = \frac{0.042}{30.01} = 0.001399, N_{HCO_3^-} = \frac{0.0096}{61.02} = 0.0001573$$

$$N_{SO_4^{2-}} = \frac{4.21}{48.03} = 0.08764, N_{Cl^-} = \frac{14.92}{35.45} = 0.4208$$

分类系数为：

$$K_{n_1} = \frac{N_{CO_3^{2-}} + N_{HCO_3^-}}{N_{Ca^{2+}} + N_{Mg^{2+}}} = \frac{0.001399 + 0.0001573}{0.0003244 + 0.2962}$$

表 1.3 卤水化学分类法总表

卤水类型	硫酸盐型		氯化物型
	硫酸钠型	硫酸镁型	
盐类组成	$\text{NaCl}, \text{Na}_2\text{SO}_4, \text{Na}_2\text{CO}_3,$ $\text{NaHCO}_3, \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2,$ $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2, \dots$	$\text{NaCl}, \text{MgCl}_2, \text{MgSO}_4,$ $\text{CaCl}_2, \text{CaSO}_4, \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2,$ $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2, \dots$	$\text{NaCl}, \text{MgCl}_2, \text{CaCl}_2, \text{CaSO}_4,$ $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2,$ $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2, \dots$
离子成分	$\text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^-, \text{SO}_4^{2-}, \text{Cl}^-,$ $\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}$	$\text{SO}_4^{2-}, \text{Cl}^-, \text{HCO}_3^-, \text{Na}^+,$ $\text{Mg}^{2+}, \text{Ca}^{2+}, \text{K}^+$	$\text{Cl}^-, \text{SO}_4^{2-}, \text{HCO}_3^-,$ $\text{Na}^+, \text{Mg}^{2+}, \text{Ca}^{2+}, \text{K}^+$
分类系数	$K_1 = n, K_{11} = \infty, K_{12} = n,$ $K_{21} > 1, K_{22} \gg 1,$ $K_{31} \gg 1, K_{32} \gg 1$	$K_{11} = 0, K_{12} = n,$ $K_{21} \leq 1, K_{22} \geq 1,$ $K_{31} \geq 1, K_{32} < 1$ 或 > 1	$K_{11} = 0, K_{12} = n,$ $K_{21} \ll 1, K_{22} < 1,$ $K_{31} \leq 1, K_{32} < 1$
平衡体系	$\text{Na}^+, \text{K}^+ // \text{CO}_3^{2-}, \text{HCO}_3^-,$ $\text{SO}_4^{2-}, \text{Cl}^- - \text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Mg}^{2+}, \text{Ca}^{2+} // \text{SO}_4^{2-}, \text{Cl}^- - \text{H}_2\text{O}$	$\text{Na}^+, \text{K}^+, \text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+} // \text{Cl}^- - \text{H}_2\text{O}$
可能析出盐类	夏季	食盐 (NaCl), 芒硝 ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), 无水芒硝 (Na_2SO_4), 白钠镁矾 ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)	食盐 (NaCl), 水氯镁石 ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), 石膏 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 溢晶石 ($2\text{CaCl}_2 \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
	冬季	芒硝 ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), 水食盐 ($\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	水食盐 ($\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)