

钾盐专辑

第 2 辑

北京地质学院情报室和矿床教研室 译

中国工业出版社



钾 盐 专 辑

第 2 辑

北京地质学院情报室和矿床教研室 译

中 国 工 业 出 版 社

本專輯共收集文章十一篇，主要从地质构造、地球化学、矿物学、岩石学等方面探討鉀盐矿床的形成特点和分布規律。最后三篇文章以具体例子說明鉀盐层的形成条件、岩石特征和普查鉀盐矿床的先决条件。

本專輯可供从事盐类矿床的普查、勘探和研究工作的地质人員参考。

本專輯由北京地质学院袁見齐教授負責选题，由該院情报室和矿床教研室翻譯，全稿經袁見齐教授审校。

鉀 盐 专 辑

第 2 辑

北京地质学院情报室和矿床教研室 译

*

地质部地质书刊編輯部編輯（北京西四羊市大街地质部院内）

中国工业出版社出版（北京佟麟閣路丙10号）

北京市书刊出版业营业許可証出字第 110 号

中国工业出版社第四印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印张 $8 \frac{3}{8}$ · 插頁 1 · 字数 190,000

1965年6月北京第一版·1965年6月北京第一次印刷

印数0001—1660·定价（科六）1.10元

*

統一书号：15165·3942（地质-331）

目 录

含盐地层形成的地质特点	М. П. 菲 維 格 (1)
洋水蒸发过程中液相和固相的体积比是决定鉀盐矿床形成的因素	М. Г. 瓦里亚什科 (5)
鉀盐矿床形成的最重要地球化学参数	М. Г. 瓦里亚什科 (9)
論海水蒸发时鉀石盐的結晶作用	М. Г. 瓦里亚什科 Е. Ф. 索洛維耶娃 (33)
盐类岩石的相列以及各种岩相的空間分布特点	М. П. 菲 維 格 (41)
論鉀矿床中杂卤石的成因問題	Я. Я. 雅尔热姆斯基 (46)
杂卤石形成条件的实驗研究	М. Г. 瓦里亚什科 А. А. 涅 恰 耶 娃 (68)
二迭紀海南带盐盆地的成因理論和盐类的結晶作用	И. Н. 列彼什科夫 (74)
論上卡馬含盐群的形成条件	М. П. 菲 維 格 (78)
前喀尔巴阡东部鉀矿层的岩石学問題	В. В. 洛巴諾娃 (86)
在西伯利亚地区发现鉀盐矿床的远景	А. Л. 楊 申 (118)

含盐地层形成的地质特点

M. II. 菲維格

从地球形成以来，地面上曾經多次出現有利于形成盐类富集盆地和堆积厚盐岩层的条件。

在地壳沉积层中，只是从寒武紀开始才出現盐类沉积，因此，也可能仅仅从寒武紀才开始强含盐性建造的历史。目前还没有根据推断，寒武紀沉积的岩盐是地面上最早形成的可溶盐类。較正确的是認為，在强烈变质的前寒武紀岩石中，沒有保存下成分不明的較古老的盐岩。关于这一时期，即地壳存在的三分之二時間內盐类形成作用的各种推測很难令人信服，因为目前对于这一时期洋水化学成分的演化以及地壳构造历史和气候的特点，尚不清楚。当我们假定在前寒武紀盆地中原則上有可能发生盐类富集作用时，不可能設想这种作用的化学机理及其在地表发生的地点。

在元古代以后的时期，周期性地造成了含盐度逐漸增高的大盆地系产生和长期存在的条件。在盆地底上形成了含盐岩系，在其中的許多地方分布着厚层的盐类堆积。

在地球存在的整个时期中，盐类只能富集在蒸发超过入流的那些盆地中。換句話說，盐类富集作用只能发生在干燥（干旱）帶範圍內，在有利于存在有限水交替盆地的那些地区。干旱帶中盆地的补給条件主要受地表运动，即构造特点的控制。因而，形成含盐地层的主要因素，象形成任何其他沉积岩一样，是气候和地表运动的条件。

在許多含盐地层中，发现了巨大的岩盐透鏡体（沉积厚度达 0.4—0.6 公里）。在研究条带状岩盐层的韻律构造时，区分出季节性夹层，并且确定了約 3—6 厘米的年沉积厚度。根据大多数地质学家的意見，含盐地层是在浅水盆地中形成的。在此种盆地中，只有在盆地底强烈下降的情况下，才能形成很厚的和迅速堆积的岩盐沉积层，也就是說，只有在地壳强烈下降的不稳定地区，才能形成厚的岩盐堆积。

根据含盐地层发育地区地质状况的研究可以得出結論：含盐地层形成于經受总的上升运动的地区，也即形成于海退时期或在海侵的初期，它們不是海侵最强烈发育期間海处于稳定状态时期的特征。成盐盆地主要发育于大陆具有最大規模的地质时期內。因而，盐类堆积地区是地面上大陆总的上升运动比較緩慢，而相反，下降运动却占着显著优势的地段。

干旱帶的分布与地壳上各构造带的方向不一致，因此，在干燥气候帶範圍內，分布着具有不同地表运动特点的各种构造地段。

地壳运动的特点和聚盐活动带的古地理方向对于盐类盆地的补給条件和滴水盐成分的形成具有决定性意义，因而，它們也决定了盆地底部固相的共生組合。对盐类岩石进行矿物和地球化学研究的結果查明，当成盐盆地中发生盐类富集时，在极少数情况下保存着与大洋相适应的离子比例。即使在聚盐区与海洋存在固定联系的情况下，由于大陆风化产物

的作用以及海洋的生物作用，海盐的成分照例会发生变化（变质作用），它們失去硫酸盐或者使其作用大大增强。大多数聚盐作用强烈的地区在含盐地层形成时期与大洋存在联系。

在地球历史上，厚盐岩地层依靠大陆岩石风化产生的盐类发生富集而形成的情况是非常少見的。天山盆地晚第三紀（中新世）的厚盐层可以作为規模最大的陆相聚盐的例子。有时在受陆地补給的盆地中，在一定时期內，有海水或海盐进入，此种海盐是以前形成的矿床內海成盐岩地层遭受冲刷的結果。此种情况在印迭尔、巴斯孔查克、厄耳頓等湖的底部形成盐类沉积时曾經发生过。因而，所有的成盐盆地按其补給类型可以分为三种：主要是受海水补給的、大陆补給的和混合补給的。

如已指出，在干旱带范围内的活动地区，照例存在一系列盆地。卡腊博加茲哥耳类型为例，它是一个与海盆地有着直接联系的統一盆地。活动带的所有盆地，依据地表运动的条件，逐渐改变着本身的形状、大小、深度和相互位置。当地区下降和流入的水量（从海洋或大陆上流入）增加时，盆地变得較深和占据較大的面积。在流入量减少的情况下，盆地发生变化并且分解成一系列具有較浓瀉水的小盆地。聚盐地区的所有盆地构成統一的动力系统，在其范围内，瀉水逐渐流向較强烈坳陷的地段，在其流动过程中逐渐濃縮，于是形成含盐地层的全套岩石。

含盐地层通常由三个岩組組成：盐下岩組，它是在瀉水飽和氯化鈉以前的濃縮时期，即在岩盐层形成以前造成的；盐岩組，它是在瀉水浓度达到在底部形成盐类岩石的盆地中形成的；盐上岩組，相当于总的淡化时期，其岩石形成于盐类浓度沒有达到飽和氯化鈉的盆地中。

盐下岩組、盐岩組和盐上岩組共同形成沉积岩系，它是由含盐度較高盆地发展的完整（一級）韻律所造成。对于大多数聚盐区來說，含盐地层由数个一級韻律組成。例如，德国北部苦灰統地层由三个韻律組成（維拉、施塔斯富特、下薩克松群），上卡馬矿床由两个韻律組成等。

含盐地层的上述构造为寒武紀后地层的特征。这些岩組不仅在形成順序上，而且在矿物成分方面都出現相似性。阿耳岡后聚盐作用的此种单一性可能是在此期間海水盐成分变化很小之故。在時間上影响沉积作用性质的所有其他原因，如海水中盐类的浓度、海水氧化电位和 pH 值的变化，有机物的作用和地面大气成分的变化，对于主要受海水补給的盆地中盐类富集过程的方向不起显著影响。

組成含盐地层的上述每一个岩組都具有韻律构造。它們經常由成分不同的岩层多次更替而成。这些岩石的韻律单位沿地层剖面作有規律的变化，这与盆地內盐类成分总的演化有关。盐下地层的特征是：碳酸盐粘土与泥灰岩或白云岩成互层，而在剖面上部，与硬石膏岩成互层。粘土矿物和碳酸盐在岩石成分中所起的作用随剖面在盆地中位置的不同而有变化。对于盐岩組，特別是盆地边缘部分的盐岩組來說，岩盐层与硬石膏岩或碳酸盐粘土成互层。

在盐岩組的上部层位中，在互层內时常有鉀盐岩参加。根据最近几年的勘探工作，可以得出結論：在大多数主要受海水补給的大型聚盐区，在含盐地层剖面的上部出現鉀盐。

在不同的聚盐区中，剖面上含鉀部分的构造是不一样的。在德国北部晚苦灰世施塔斯富尔特群剖面的上部，发育一个很厚的鉀盐层。在維拉河流域的岩盐层（維拉群）中，找

到两层钾盐，它們被 60 米厚的岩盐分开。在塔吉克斯坦的高尔达克矿床中，发现与此类似的钾盐层的相互关系。在上卡馬矿床中見到明显不同的剖面类型，那里，钾盐地层由一系列钾盐岩层組成——下部钾盐岩层，上部光卤石层，它們与岩盐层成互层。在西班牙的埃布罗地区，見到类似的剖面。

盐上地层的构造也出現此种周期性。总的說来，这里岩层的分布規律与在盐下地层中所見到的相反。

含盐地层的各个岩組中，薄盐层的多次交替現象(二級韻律)是沉积条件改变的結果，此种改变是由于滲水被周期性的冲淡而使盆地中盐类浓度发生变化所致(地表升降运动的結果)。

对每一层(二級韻律)进行詳細研究的結果，在大多数岩层，特别是盐层中，查明了季节性夹层。因而，在具有韻律构造的含盐地层中，可以区分出各級韻律：年度的(一組季节性夹层)、多年的(岩性不同的岩层发生多次更替)和在千万年時間內形成的千年韻律(盐下岩組、盐岩組和盐上岩組)。

对聚盐地区进行很不完善的地质研究的結果确定，盐下地层形成的面积比含盐地层要大得多。含盐地层分布在最强烈拗陷的地区，此种拗陷作用保証了卤水的聚集。当含盐地层形成时，与成盐盆地一起通常还存在含低浓度卤水的盆地，即在岩盐附近形成盐下岩組所特有的其他岩石。根据卡腊博加茲湖判断，在盐浓度很高的盆地中，卤水成分在一个盆地中可以有很大变化。因此，在这类盆地的不同部分，可以同时沉积下不同的盐类。

在追索含盐群的各个岩組时，可以見到其形成地区的位移。岩盐占有盐下岩組发育区的一部分，其最完全的地层发育地点与盐下地层最大厚度区不一致。在含盐地层和盐上地层之間出現相反的关系。远非在盐上岩組地层剖面最完全的地区內，盐岩組經常也具有完整的地层剖面 and 最大的厚度。在含盐地层的上部层位中，只有在其分布的部分地区才見到钾盐，而且并不是在岩盐厚度最大的那些地方。如果含盐地层由数个一級韻律組成，那末每一韻律的分布界綫与它們具有較完整地层剖面 and 最大厚度的地点并不一致。德国北部上苦灰統含盐地层是說明这一点的有意义的例子。提林根地区(維拉和富尔达河流域)建造发育的东南部，維拉群的下部具有最大的厚度和完整的剖面。中部(施塔斯富特群)——在薩克森范围內。施塔斯富特群最发育地区位于維拉群的东北部。最后，下薩克森群上部分布在西北部的汉諾威区(下薩克森)。上述情况在寻找岩盐和钾盐时应当考虑到。

这里指出的各种不一致現象是含盐地层形成时期发生的地壳升降运动演化的結果。由于含盐地层各个层位的岩性差別，可以十分清楚地查明含盐地层形成时地壳运动的一切特点。

根据聚盐地区地质情况的研究，可以确定，盐类形成作用往往发生于地台范围內；而在地槽帶中，成盐作用主要发生于地槽发展的晚期阶段，当存在山前拗陷和山間洼地时。

在此时期，由于地台总体上升，地台海的規模大大减小，它們移向山前拗陷，成为地台上的近地槽部分。地壳的此种总体上升造成了在山前洼地中存在长期下降盆地的环境，这些盆地与海洋以及相互之間很难发生水的交替作用。

在山前拗陷中，在早二迭世(孔谷世)时，形成前烏拉尔拗陷矿床(上卡馬、丘索夫、斯捷尔利塔馬克-伊什姆巴耶夫)，在中新世时形成前喀尔巴阡拗陷矿床(羅馬尼亚和烏

克兰西部)。与前喀尔巴阡坳陷含盐地层形成的同时，在喀尔巴阡山間盆地（特兰西瓦尼亚、木卡切沃和土提謝盆地）中形成类似的地层。

在地台上，含盐地层往往形成于靠近地槽边缘部分的盆地（洼地、陆向斜）中（晚二迭世形成的北德盆地，早二迭世形成的里海盆地，可能还有晚侏罗世的塔吉克盆地等）。必须指出，有时毗連地盾的地台区是活动地区。北美晚侏罗世的含盐地层可以作为一个例子，該含盐地层分布在与地盾相連的地台部分中。

地台上的含盐地层还形成于地形还童过程中产生的地塹中。来因地塹和天山的中新世盆地的含盐地层便是这样的例子。

原文載于 Тр. ВНИИГ, Выпуск XXIII, 1952.

洋水蒸发过程中液相和固相的体积比 是决定钾盐矿床形成的因素

M.Γ.瓦里亞什科

虽然对钾盐矿床的形成条件已经作过比较完善的物理-化学论证,但是在我们的概念中还有许多至今没有得到满意解释的问题。这些问题是:

1. 钾盐矿床比石盐矿床分布较少,这与它们在洋水中的相对含量以及沉积钾盐需要较深刻蒸发的情况不相符合。
2. 下伏石盐层和钾盐层的比值不固定,这与海水中这些盐类的比例不符。
3. 通常都有石盐盖层存在。
4. 钾盐带中石盐的含量与结晶出钾盐的卤水中石盐的含量不符,纯的季节性石盐夹层的存在。
5. 石盐沉积层中钾盐层的垂直和水平位置不一定。
6. 钾盐矿床必定赋存于构造活动区中。

所有这些事实应当是某一种原因的必然结果。为了找出决定上述特点的因素,我们着手研究洋水蒸发过程中形成的液相和固相的体积比。这样做是完全有根据的,因为目前显然可以断定,绝大多数钾盐矿床与洋水的浓缩有关。

表1中列举了洋水和卤水的成分,此种卤水乃是相当于石盐、泻利盐、钾石盐和其他

不同浓缩程度的洋水的成分
(以1000克溶液中的克数计)

表 1

编号		CaCO ₃	CaSO ₄	MgSO ₄	MgCl ₂	NaCl	KCl	NaBr	总盐量	固 相
1	正常洋水	0.134 Ca(HCO ₃) ₂	1.276	2.305	3.385	27.667	0.763	0.09 MgBr ₂	35.62	——
2	石膏开始沉积	0.34 Mg(Ca) (HCO ₃) ₂	4.90	9.50	14.90	99.10	2.40	0.26	131.40	CaSO ₄ ·2H ₂ O
3	石盐开始沉积	0.52	0.460	21.0	33.40	214.1	5.20	0.59	275.27	CaSO ₄ ·2H ₂ O + NaCl
4	泻利盐开始沉积	2.24	痕跡	89.2	158.2	50.5	22.9	2.72	325.76	CaSO ₄ ·2H ₂ O + NaCl + MgSO ₄ ·7H ₂ O
5	钾石盐开始沉积	未测定	痕跡	75.5	169.1	33.8	49.2	未测定	327.6	NaCl + MgSO ₄ ·7H ₂ O + KCl
6	光卤石开始沉积	3.01	痕跡	64.4	218.4	24.2	31.6	3.9	345.5	NaCl + MgSO ₄ ·6H ₂ O + (KCl) + KCl·MgCl ₂ ·6H ₂ O
7	共结点	4.57	痕跡	39.9	308.6	10.5	1.9	5.99	371.46	NaCl + MgSO ₄ ·6H ₂ O + KCl·MgCl ₂ ·6H ₂ O + MgCl ₂ ·6H ₂ O

附注: 2、3、4、6、7号——根据 B.Π.伊利英斯基的资料, 5号——由作者和E.Φ.索洛維耶娃用黑海海水测定。

盐类开始結晶时的洋水的濃縮产物。这里我們采用所謂的“阳光”結晶途径^①。从这一表中看出，当出現固相鉀石盐(KCl)时，盐类的总量达到 330‰，并且在溶液中聚集 170‰的 $MgCl_2$ ——不呈固相析出的組份。

我們利用初期和末期滲水中 $MgCl_2$ 的含量，計算了 1000 克洋水蒸发时形成的母液的量（見表 2）。

同时，利用同一种不沉淀組份和具有相应浓度的滲水的成分，計算洋水蒸发到相同的 $MgCl_2$ 含量时所析出的固相的量（見表 2）。

在图 1 上表示固相体积增大和液相体积縮小与洋水濃縮程度的关系。

研究表 2 和图 1 的資料后得知，鉀盐开始結晶时，母液的体积和从其中已析出的盐类的体积趋于相等，結果我們得到液：固 ≤ 1 的体系。

就其結果來說，这是一个非常重要的結論。

图 2 中举出了克里木科学研究所对薩司克-錫瓦什和薩基湖以及北錫瓦什湾滲水所进行的蒸发实验的結果。在这些实验中，除了液相和固相的成分外，还测定了它們的数量（固相体积的計算由我們进行）。

研究这些图表的結果表明：在这种情况下，約在鉀盐开始結晶时所析出的固相的体积与母液的体积相等。滲水和盐类体积的这种比例造成了，大部分滲水分布在固体盐的晶体之間，这种固体盐不呈块状結晶。簡單的計算証明，为了滲水全部能隐藏在盐类晶体之間的孔隙中，对于薩基湖來說（滲水密度 $d_p = 1.33$ ），孔隙度应当达到 53.3%，对于薩司克-錫瓦什（ $d_p = 1.325$ ）——48.6%，对于錫瓦什（ $d_p = 1.325$ ）——46.8%。我們所計算的滲水的浓度分別等于：54.0‰、48.8‰、38.8‰和 33.2‰。

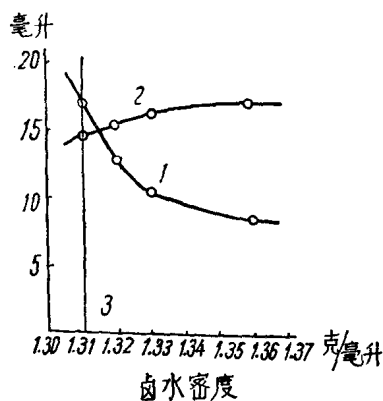


图 1

1—原滲的体积；2—固体盐的体积；
3—鉀盐开始結晶

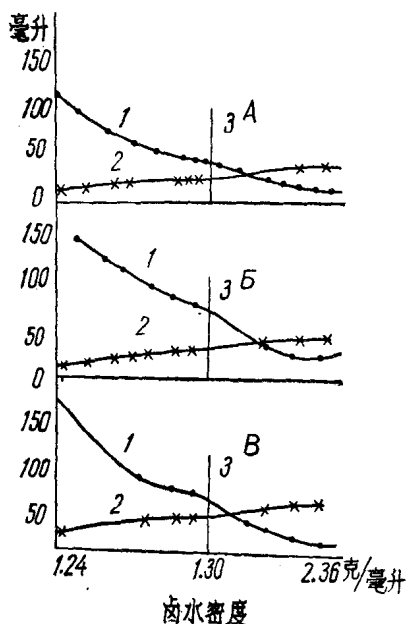


图 2 海水蒸发时母液和固体盐的体积

1—母液；2—固体盐；3—鉀盐开始結晶。
A—薩司克-錫瓦什湖，B—薩基湖，B—錫瓦什湾

① 洋水的阳光結晶途径比范特-戈夫当时所确定的所謂的的稳定途径更要簡單。阳光結晶途径首先是由 H.C. 庫尔納科夫和 B.M. 尼古拉耶夫根据薩基盐田的滲水确定的，而以后通过許多研究証明，这种結晶途径为天然条件下的蒸发作用所固有。

30%的孔隙度是非常普遍的，在某些现代盐湖中孔隙度达到更大的数值。如果考虑到围岩和土壤颗粒必定会带到盐盆地中，那末固相的体积会更大，而且在钾盐开始结晶时，全部母液或其绝大部分将位于盐类晶体之间，也就是说盐盆地将变成所谓的“干”湖，象我们所证明的那样，这种“干”湖具有一系列特点。

薄薄的、有时消失在盐壳下面的表面滴水层不可能成为形成比较厚的钾盐层的来源，而所析出的盐类将受到头几场秋雨的冲刷。在这种湖中，如我们所证明的那样，较易溶的盐类只能在有利条件下沉积在底部沉积层中。

由此可见，我们所得出的第一个结论是：任何一个积聚洋水的盆地在一定时期都会变为“干”湖，并且水盆地向“干”湖的转变应当发生在钾盐开始结晶的某一时刻，而且在洋水浓缩所形成的液相和固相产物体积相等的时候。

第二个结论是：在“干”盆地中不能发生晚期析出的盐类的结晶作用，即不能在已沉积的石盐层上形成构造正常的具有规律层理的钾盐层。

在威海-里海低地中广泛分布着富集接近于泻利盐饱和状态的底部滴水的干盐湖，这种现象证明了第一个结论的正确性。

卡腊博加兹滴水的蒸发实验以及液体和固体体积的测定表明(见图3)，当具有接近于泻利盐开始结晶的浓度时，母液和固相的体积相等。

威海-里海盆地的这些干湖也证实了我们的第二个结论的正确性。

如果结晶作用在没有被构造运动所破坏的环境中进行，那末干湖中的钾盐沉积也可能形成在早先析出的石盐层中，象目前在威海-里海盐湖中形成苦盐沉积那样。

当盆地的某一地段出现构造沉降时，浸润底部盐类沉积的水便流向那里，而且在最强烈拗陷的部分，开始继续蒸发并且发生钾盐结晶作用。在这种情况下，钾盐沉积作用将发

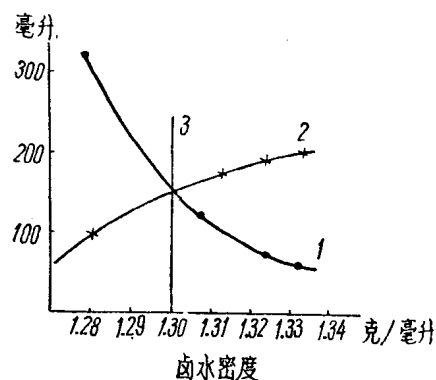


图3 卡腊-博加兹-哥耳滴水蒸发时母液和固体盐的体积

1—母液；2—固体盐；3—泻利盐开始结晶

表 2

	当 1000 克 洋 水 蒸 发 到								計算体积时 采用的固相 的 密 度
	170% $MgCl_2$ ($d_p=1.31$)		200% $MgCl_2$ ($d_p=1.32$)		250% $MgCl_2$ ($d_p=1.33$)		300% $MgCl_2$ ($d_p=1.36$)		
	克	毫 升	克	毫 升	克	毫 升	克	毫 升	
析出:									
方解石	0.134	0.05	0.134	0.05	0.134	0.05	0.134	0.05	2.7
石 膏	1.615	0.70	1.615	0.70	1.615	0.70	1.615	0.70	2.3
石 盐	27.000	12.83	27.165	12.92	27.465	13.10	27.545	13.12	2.1
泻利盐	1.73	1.02	2.260	1.35	3.33	1.98	4.01	2.38	1.7
鉀石盐	—	—	0.263	0.132	0.603	0.303	0.743	0.373	1.99
固体盐类总量	30.479	14.60	31.437	15.15	33.147	16.13	34.047	16.62	
剩余母液	22.50	17.15	16.92	12.80	13.53	10.33	11.3	8.30	

生在被石盐岸包围的湖中，并且依据沉降现象延續的时间和聚集滲水的坳陷的面积，可能堆积任何厚度的鉀盐沉积。

由此看出，鉀盐层产于构造不稳定地区中的现象是可以理解的，而且也很好的說明了以上所列举的有关鉀盐矿床成因的其他一些不明白的特点。所有这些现象的首要原因在于固体盐类和母液的体积比例。

原文載于 Доклады АН СССР 1951, Том LXXVII, № 6, Стр.1055—1058. Изд., АН СССР。

鉀盐矿床形成的最重要地球化学参数

M.Γ.瓦里亞什科

彼得堡科学院的考察队，是18世紀下半叶建立的，和 I.列 彼兴、S.格曼林、P.S.帕拉斯、I.格奥尔吉等人的名字分不开。在 18 世紀下半叶发现了沉积盐湖，但是按照 W.I.維尔納茨基的說法：“所发现的这些盐湖 对于当时的西欧各国來說，是不可能进行进一步观察的”。

19世紀，由于对这些发现有了愈益深入的認識，推进了俄国盐湖的研究。在这里不能忽視 T.E.洛維茨、W.G.拉克斯曼、G.費德欣科、L.彼尔什克、A.維里戈、W.馬尔科夫尼科夫、W.M.加尔克姆、A.別布雅丁斯基、A.A.列別捷采夫、N.S.庫尔納科夫及其他許多人的值得注意的著作。这些研究工作的成果在于，不仅描述了俄国的大量盐湖，而且研究了盐类沉积的全部形成过程。

1896年，即62年前，柏林科学院的J.H.范特戈夫开始了有关施塔斯富特矿床成因的著名研究。他的研究工作的基础，是对蒸发海水即許多組分的不均匀平衡系的观察。

关于不均匀平衡系的类似理論，是几乎同时即 1898年 N.S.庫尔納科夫的著作的基础，这部关于卡腊博加茲-哥耳海湾中芒硝沉积条件研究的著作，是由 N.S.庫尔納科夫和 S.F.什姆丘任合著的。

此后，在俄国以及以后的苏联，研究工作就是沿着这个方向发展的。本世紀20年代末至 30 年代初，組織了物理化学專門考察队，目的是研究盐类的結晶过程、盐盆地卤水中化学組分变化的年旋迴以及有关盐盆地发育的一系列其他問題。

这种研究提供了十分丰富而且极为正确的資料，因此，有可能相当可靠而客觀地闡明盐类形成作用的这种特征并查明决定这些作用的参数。

作者在本文中力求闡明决定盐类矿床形成的某些最重要的地球化学参数，这就是利用苏联在現代盐类沉积研究中所获得的經驗和应用不均匀平衡理論以及物理化学分析所提供的新化学图解的結果。作者努力以审核过的資料作为叙述的依据，并且尽可能地避免作出任何推断。

終結 卤 水 的 組 份

十分明显，絕大多数盐类矿床形成的来源是海水。在地质时代里，从我們所知的最早形成盐类矿床的时代即寒武紀以来，海水的組份并未发生显著变化。如果我們根据海水的組份总是和現代海水組份一样而作进一步的探討，那末就可以更加接近真实情况。

目前已知，盐类矿床是在海湾，或者是在与开闊海洋仍有某种联系但已伸入陆地的海洋部分中形成的。如果是在干旱地带，就会有强烈的蒸发作用，使溶液的水面下降，并使新的海水不断流入；結果就使这些海湾中的海水浓度普遍升高，直至氯化鈉达到飽和并成

固相析出。这里应该指出盐湖发展的预备阶段和沉积阶段，即海水浓缩至最易溶盐类（岩盐）开始结晶的阶段和继续蒸发而形成易溶盐类沉积的阶段。

正如 M.P. 菲維格、A.A. 伊万諾夫、G. 李希捷尔-别伦堡的著作所指出的那样，有一个时期曾经认为盐湖形成的这两个阶段不是同等重要的。其中预备阶段比沉积阶段长很多倍（从一定的時間起，部分盐湖还处于预备阶段，而另一部分盐湖已经进入了沉积阶段）。溶液准备到易溶盐类析出的过程以及足够体积的饱和溶液的聚集过程，是极缓慢的；而由此产生的盐类却以較大的速度沉积。为了了解盐类矿床的形成条件，主要应该查明以下几点：大洋水的組份在预备阶段是否没有发生变化，以后形成的饱和溶液是否只是蒸发的海水，海水組分是否已强烈变化。这些条件决定了盐类沉积的矿物組份和一系列其他的重要因素。早在 19 世紀 80 和 90 年代，L. 彼尔什克、W. 維利戈、N.S. 庫尔納科夫等人的著作指出，黑海沿岸盐湖（海湾）的組份与原生海水的組份不同。一般說来，在位于大海附近的內海中， $\text{SO}_4^{''}$ 离子总会发生不同程度的减少。W. 維利戈最早将这种现象解释为浓缩的海水与陆地水带来的 $\text{Ca}^{''}$ 离子相互作用的结果；为了证明这种看法，进行了有关的实验并且得到了肯定的結論。

N.S. 庫尔納科夫綜合了这些資料后指出，在陆地带来的 $\text{Ca}^{''}$ 盐作用的影响下，海水溶液的組份发生了变化，即“变质作用”，为了说明这种作用的发展程度，引用了所谓的“变质系数”：

$$K_{MK} = \frac{\text{Mg SO}_4}{\text{Mg Cl}_2}。$$

表 1 列举了黑海沿岸許多盐湖的系数值，这种系数以后就命名为 N. S. 庫尔納科夫系数。

表 1

黑 海	頓河-烏茲洛夫湖	貝 加 尔 湖	薩司克-錫瓦什湖	薩 基 湖	阿克塔湖	克斯尔雅尔湖
0.73	0.70	0.65	0.62	0.49	0.23	0.04

对这种现象进行了較詳細而全面的研究后指出，庫尔納科夫所描述的海洋成因溶液的去硫酸盐作用，只是一般天然变质作用中的值得注意的特殊情况。这种变质作用一般是指上述天然水（溶液）的化学組份的不可逆或不易逆的变化，后者是由于来自介质的外来成分以及有机质的作用而引起的。干旱地区的特点是，变质作用特别发育；因此，在溶液状态中不太稳定并容易析出的 HCO_3' 离子以及 $\text{SO}_4^{''}$ 离子逸失，从而引起阳离子組份的相应变化。

20 年代，由于在上卡馬发现了不含硫酸鎂的鉀鎂盐矿床，这个研究自然引起了关于缺失硫酸盐原因的問題。

1930 年，A.E. 利科夫斯科夫对当时已知的全部資料进行詳細分析后得出結論：上卡馬盐湖中硫酸盐的逸失与海水的变质作用即 $\text{SO}_4^{''}$ 离子的减少有关。同年，烏拉索夫詳尽地描述了上卡馬盐湖中结晶过程的物理-化学状况，并且指出，这种盐湖的終結卤水的相对組份与几乎失去全部 MgSO_4 的海水的組份相近。

以后, J.W. 穆拉契夫斯基研究了盐类沉积中不溶的粘土物质的组份和数量以及上卡馬盐湖的地球化学特性, 从而证明了上述看法的正确性。

根据现代盐湖的考察和钾盐矿床矿物的地球化学研究, 相应地得出了变质作用广泛分布的结论。

进一步的研究指出, 在所讨论的海盆地中发生的变质作用, 主要是由大陆水的 Ca^{++} 离子和新海水的进入而引起的。这时, 离子交换只起次要作用。这一结论已被证实, 例如在俄罗斯地台已知地段的二叠纪硫酸盐沉积中, 只含有少量粘土物质。

在个别情况下, 硫酸盐的还原在浓缩初期有很大的意义。

另一个任务就是研究海洋成因的成盐盆地中水变质时发生的反应。

为此, 作者与 P.W. 加拉索夫斯卡娅、A.A. 涅恰耶娃、G.K. 彼尔什和 E.M. 彼得洛娃等人一起, 从 1946 至 1952 年对上述作用共同进行了系统的实验研究, 实验条件与自然作用的条件相当。安排实验的目的主要是研究变质作用与溶液成分及其浓度的关系。这时, 溶液的成分根据 Na^+ 、 Mg^{++} 、 SO_4^{--} 、 Cl^- 、 H_2O 体系的平衡图解(没有钾)进行选择, 目的是要说明所有各种组份的变质作用过程。然后, 这个体系由于钾离子的增补而扩大并且变得更加复杂。这种或那种反应的发展, 可以根据反应结果析出的难溶化合物(即析出的稳定固相)的矿物成分来判断。

根据实验结果所得出的有关作用过程的结论是正确的, 已由自然界变质作用产物的研究加以验证。由此可见, 不仅各种析出矿物的成分而且其形态都是彼此适应的。正如实验指出的那样, 当 Ca^{++} 离子与饱和的硫酸盐型溶液作用时产生下列反应:

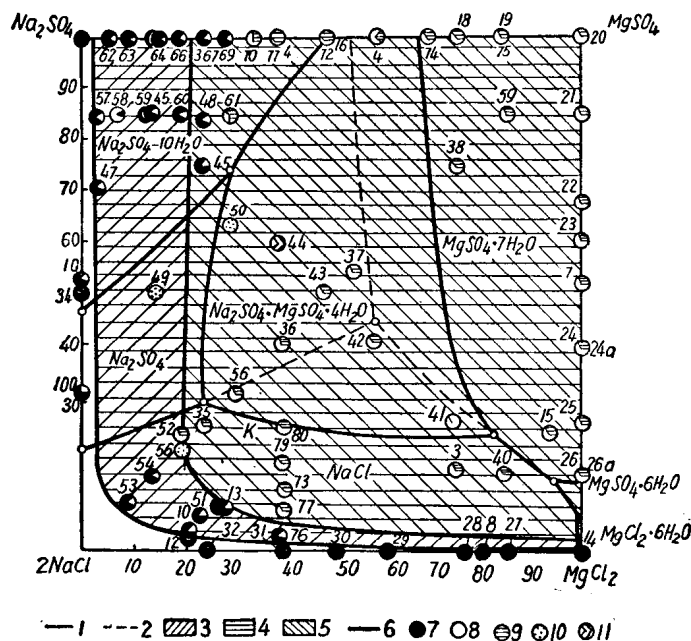


图 1 $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{MgCl}_2 \rightleftharpoons 2\text{NaCl} + \text{MgSO}_4$ 系在 $+25^\circ\text{C}$ 等温时最主要稳定固相结晶区的分布

- 1—周期矿物结晶区的边界; 2—周期矿物准稳定结晶区的边界;
- 3—方解石的结晶区; 4—石膏的结晶区; 5—碱式碳酸镁的结晶区;
- 6—稳定固相结晶区的边界

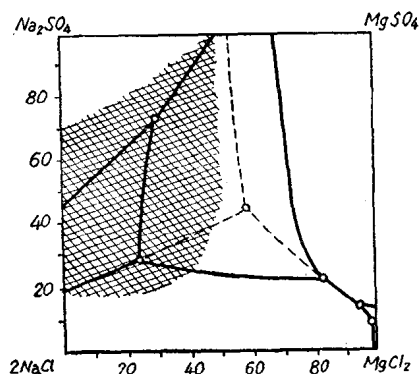
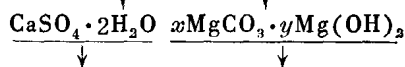
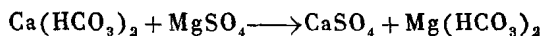
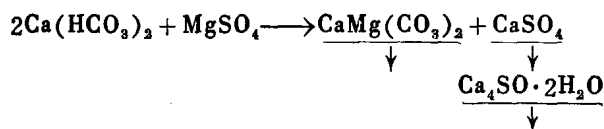


图 2 硫酸盐型饱和滴水变质时钙芒硝的形成区

这就是最主要的反应。但是，这种反应的发展决定于溶液中 MgSO_4 的含量。这种反应首先表现为石膏的出现，然后是碱式碳酸镁的沉淀。与此相应，根据与 Ca^{++} 离子的相互作用，可以将 Na^+ 、 Mg^{++} 、 SO_4^{--} 、 Cl^- 、 H_2O （图 1）系的等温场分成三个区。

相当于无水芒硝结晶区的组份区，不是石膏的而是钙芒硝的准稳定晶出区。图 2 表示钙芒硝的析出区。最后，当溶液中有钾时，如图 3 所示的图解部分，可能由早已析出的石膏晶出杂卤石。

最后，正如我们的实验所指出的，下列反应：



具有有限的发展，而许多观察者却赋予这种反应以决定性的意义。显然，这种反应的速度极小，所以最初的反应即很重要。对于卡腊-博加兹-哥耳湾、厄耳顿湖及其他成盐盆地中稳定矿物析出的观察，使我们有可能了解同样的作用过程。实验研究指出，变质作用的特点是硫酸镁分子迅速从溶液中消除。因此，有可能由图解追索出变质作用时海水成分图点位置的改变。以后的变质作用使得海水的成分图点沿着连接海水成分图点和 MgSO_4 图点的线移动，这时，每个硫酸镁的图点愈渐远离（图 4）。

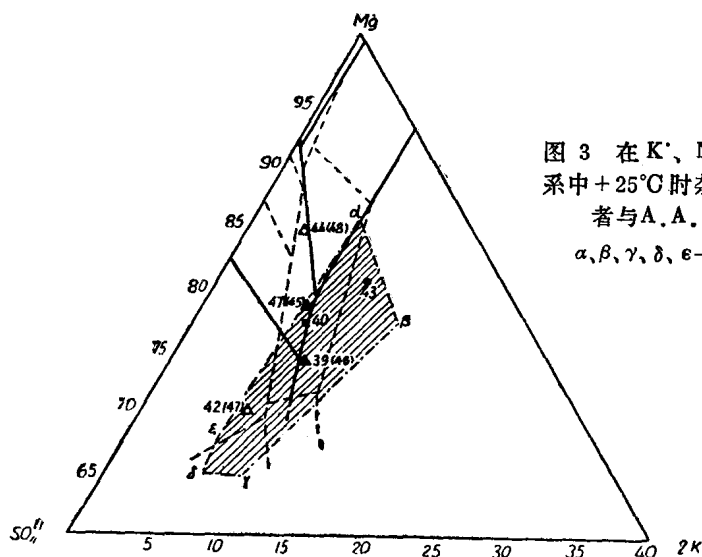


图 3 在 K^+ 、 Na^+ 、 Mg^+ 、 Ca^{++} 、 SO_4^{--} 、 Cl^- 、 H_2O 系中 +25°C 时杂卤石的结晶区（根据文献资料及作者与 A. A. 涅恰耶娃共同进行的研究结果）

α 、 β 、 γ 、 δ 、 ϵ —杂卤石的结晶区（根据范特-戈夫，丹斯等）

●—杂卤石的形成点

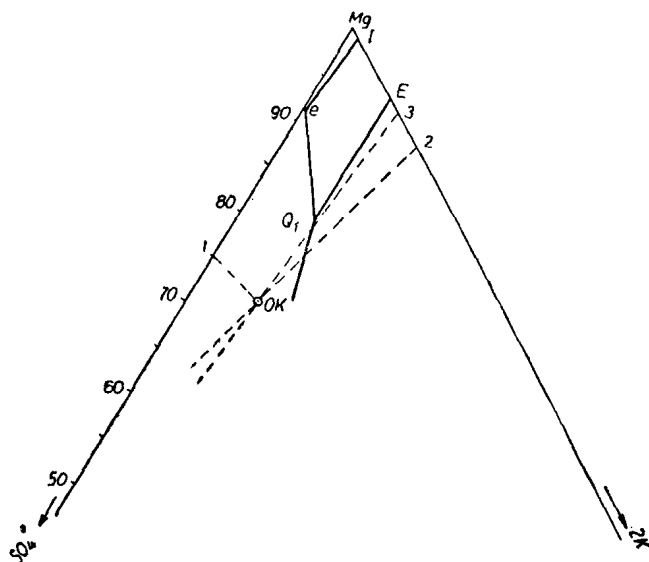


图 4 在钾离子减少时($OK-1$), 碳酸氢钙变质时($OK-2$), 粘土物质变质及 $SO_4^{''}$ 因生物化学作用再生成 $S''(OK-3)$ 时, 洋水图点移动的方向

现在可以有把握地确定:

1. 在“预备”过程中, 由于变质作用的影响, 海水可能改变成分;
2. 变质作用使 $SO_4^{''}$ 离子和部分 $Mg^{''}$ 离子发生不同程度的减少;
3. 在平衡图解上可以看出海水图点的位置在变质作用时的变化。

遗憾的是, 尽力認識这类现象而提出天然水变质的理论, 并在盐湖形成的研究中实际应用这种理论, 在西方各国的文献中几乎絕无仅有。只在最近的德文文献中才指出, 盐类晶出前海水中的 $SO_4^{''}$ 离子含量已大大减少(H. Borchert, J. d' Ans)。

盐类結晶的順序

J. H. 范特-戈夫在自己的經典著作中談到他認為 $+25^{\circ}\text{C}$ 是自然界盐类結晶的溫度, 并且指出海水中盐类析出的順序是可以从 Na^+ 、 $\text{Mg}^{''}$ 、 K^+ 、 $\text{SO}_4^{''}$ 、 Cl^- 、 H_2O 系的 $+25^{\circ}\text{C}$ 等溫所得出的順序来确定的, 而終結卤水的图点位置是已知的。

苏联对現代水盆地盐类結晶的規律进行了多年的研究, 結果表明, 水盆地中的盐类由于蒸发或冷却作用(有时是盐的析出作用)而析出。对于气候温暖地帶的盆地来说, 因溫度变化而发生的作用过程是可逆的, 对盆地的既定方向的变更影响不大。可以用强烈蒸发引起的負向水平衡来解释这样发生的变化。这一作用过程清楚地反映在 $+25^{\circ}\text{C}$ 的等溫图解上。这正如范特-戈夫所指出的那样, 如果要探討盐类析出时水盆地成分的变化規律或是盐类的析出順序, 就必须利用 $+25^{\circ}\text{C}$ 等溫图解。在这里, 自然界已經作了验证。在研究盐类結晶过程和順序时应该注意: 自然界作用的特点是具有上述准稳定状态。

以上所述由图 5 可清楚地看出。根据 A. D. 彼尔什的資料, 在石盐、鈣芒硝和泻利盐結晶区处于准稳定区的时候, Na^+ 、 $\text{Mg}^{''}$ 、 $\text{SO}_4^{''}$ 、 Cl^- 、 H_2O 系中会重新出現 $+25^{\circ}\text{C}$ 的局部等溫。根据卡腊博加茲考察队的研究資料, 在此图解上表示了卡腊博加茲-哥耳海湾的海水成