

308152

盐 类 矿 床

蒸发岩的成因、变质和变形

H. 博歇特 著
R. O. 缪尔



地 质 出 版 社

7323

盐 类 矿 床

蒸发岩的成因、变质和变形

H. 博 歇 特 著

R. O. 缪 尔

袁见齐 张瑞锡 张昌明 译

地 质 出 版 社

Salt Deposits

The Origin, Metamorphism and Deformation of Evaporites

Hermann Borchert

Richard O. Muir

D. VAN NOSTRAND COMPANY, LTD.

LONDON • PRINCETON, NEW JERSEY • NEW YORK • TORONTO 1964

盐类矿床

蒸发岩的成因、变质和变形

H. 博歇特 著

R. O. 缪尔 著

袁见齐 张瑞锡 张昌明 译

国家地质总局地质研究所编辑

地质出版社

地质印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1976年6月北京第一版 • 1976年6月北京第一次印刷

印数1—8,400册 • 定价1.70元

统一书号: 15038 • 新155

译 者 的 话

盐类矿床中赋存有工农业所必需的宝贵资源，其中钾盐是化肥的重要资源。当前农业学大寨的群众运动正在全国范围内轰轰烈烈地开展，钾肥的需要日益迫切，钾肥资源的寻找已成为地质工作的重要任务之一。为了寻找钾盐矿床，需要掌握盐类矿床的知识和它的成矿理论。各国地质工作者通过已知钾盐矿床的实际资料的综合整理和相应的实验研究，对钾盐矿床的形成条件已有所了解，但仍没有正确地阐明钾盐成矿作用的规律。西欧和苏联的地质工作者各自根据其本国矿床的资料和实验研究，形成了不同的观点，因而，钾盐矿床的成因理论，在某些问题上还没有一致的意见。

我国盐类矿床地质工作正在广泛开展。我们将根据自己的丰富的实际资料，总结出一些规律，以指导我们的找矿实践。在这个过程中，我们也要了解一些国外的情况。

本书主要是根据西北欧二叠系盐类矿床的资料写成的，也介绍了西欧北美其他盐类矿床的情况。书中讨论了盐类矿床的成因及其机理，而对其他文献阐述极少的盐类矿床的变形和变质，也作了探讨。它反映了西欧北美地质工作者的基本观点，也讨论了苏联地质工作者提出的一些论据，是一本比较简明地阐述盐类矿床地质的著作。虽然本书出版较早，但我们认为，它仍然是一本盐类矿床的重要文献，故译出以供我国地质工作者参考。

本书中很大部分是由德文译成英文的，辗转翻译，在文字表达上有欠明确之处，加以译者缺乏译书经验，又系三人分章合译，译文中有错误和不甚确切之处，尚希读者批评指正。

1975年5月

目 录

第一章	引言, 蒸发岩的矿物学和用途	1
第二章	现代蒸发岩的分布和沉积环境	12
第三章	古代盐类矿床的分布	18
第四章	蒸发岩相的韵律和持续时间	32
第五章	构造作用, 沉积作用和沉淀作用	36
第六章	海水的等温蒸发过程	52
第七章	海水的动态-多温蒸发作用	62
第八章	正常的前进地热变质作用	73
第九章	后退变质作用	84
第十章	变质作用的物理-化学特征	92
第十一章	结构和构造是变质过程的标志	96
第十二章	相变和矿层尖灭的原生性或次生性	111
第十三章	动态-多温-相变	114
第十四章	次生溶液引起的相变	119
第十五章	浸染、裂隙充填和交代的钾盐矿床——明显的次生溶液的标志	127
第十六章	非海相蒸发岩	134
第十七章	来因地堑的钾盐矿床	144
第十八章	其他一些蒸发岩矿床简述	152
第十九章	蒸发岩与石油的关系	171
第二十章	盐构造	174
第二十一章	蒸发岩的力学性质	187

第一章 引言, 蒸发岩的矿物学和用途

1. 引言

蒸发岩形成于哪些环境?它们的原始成分受哪些因素的控制?层间溶液所造成的矿物成分的变化规模究竟有多大?盐类易于变形的程度如何?它们造成何种类型的构造?这些至少是本书企图解答的部分问题。

任何有关盐类或钾盐矿床的理论,应建立在尽可能最广泛地研究许多科学部门所累积的资料的基础之上。海洋学可以告诉我们有关海流循环、卤水的密度分层及多温体系中温度和浓度梯度等方面的知识。气候学告诉我们有关气候对于沉积条件和形成韵律顺序的巨大控制作用。根据天文学和地球物理学,我们可以发现,地球以外的因素是如何影响气候的,蒸发岩带是如何相应于两极的迁移和月球轨道的变化而迁移的。这些因素构成了盐类成因的特殊理论基础。

关于蒸发岩的形成时间和空间方面的精确资料是由地层学提供的,同时,古地理指明了陆地和海洋的相对位置、盆地的地形、连接盆地和外海的海峡位置以及关于气候带的位置。大陆漂移的问题,尤其对于前二叠纪的蒸发岩来说是很重要的。

矿物学和岩石学使我们能够根据变质变化来阐明结构、颗粒形状、次生长以及颗粒间的缝合等。宏观和微观的构造,也可以表明重结晶的程度。

构造学使我们能正确估计控制沉淀作用的同期沉降的重要性以及在蒸发岩本身和相邻岩层中大、小规模变形的意义。蒸发岩对于地壳运动的反应如何?每种不同盐类的活动性如何?要回答这些问题,就必须研究物质的强度。岩石流动及其呈现形式,两者多半是地壳运动的结果,必须与因变质液体的浸染所造成的流动性偶然局部的加强清楚地区别开来。

混合液的物理化学平衡的知识,对于正确理解盐类的原生沉淀作用及其地热或前进变质作用是必不可少的。地热变质作用或前进变质作用的效果在蒸发岩中特别显著。沉淀作用在准稳条件下可能常发生。在温度变化不定的自然环境下,准稳沉淀作用的重要性如何?我们的某些问题能否用准稳沉淀作用来解答?

K^{40} 的放射性衰变对钾盐沉积的环境温度和蓝色石盐的发育究竟有多大影响?在大多数情况下,从下伏沥青质沉积向上渗透的含铀溶液的影响还可能更大一些。

蒸发岩为什么经常与腐殖泥伴生?沉积时,氧化还原电位(Eh)、从而颜色发生必然变化的原因何在?变质变化是由于蒸发岩本身中形成的自生液体所造成,也可以由从下伏沥青质页岩-白云岩-石膏相上升至盐矿床的油田水而引起。

细菌学也必须予以重视,因为特殊的细菌在把分解的硫酸盐还原成硫化氢的过程中起着重要的作用,所以这也是大多数海相钾盐矿床中所看到的硫酸盐缺乏的基本原因。

R. 库恩(1955)曾正确地指出,只有仔细地检验了所有这些科学领域的研究成果以后,我们才会获得有关钾盐问题的完善解决。H. 博歇特在1940年曾谈到使物理化学家E. 耶奈克和地质学家E. 富尔达意见分歧的“鸿沟”(gulf)。那时他还没读到过洛采的《岩盐和钾盐

地质学》一书，这部著作曾经大大地有助于，而且仍然有助于修正极端的观点。1957年，洛采对这部著作作了重要的修订，促使不同研究领域间的相互关系密切多了。在讨论海相盐类矿床一般地质学的一节中，洛采成功地说明，来自不同学科的大量观察资料，可以组合在一起构成一幅内在一致的图画。与此相比，则现存的争论仅是侧重点不同而已。即使在准同期沉降的重要性、再沉积作用所起的影响、原生相变和次生相变的差异、硫酸盐缺乏的岩石学效应以及其他许多问题上，仍然存在着广泛的分歧，然而我们认为，正当洛采的著作和 O. 勃拉奇的教科书问世不久的现在是会大大有助于我们对海相蒸发岩成因问题的理解。

此外，博歇特教授在1940年的专著中过于强调原生相变的重要性，虽然1953年在他和 E. 贝耳合写的论文中包含了这种看法，可是至今未予以说明。

尽管力求简短，有些读者可能感到我们有时一再地重复。我们所以这样做，是因为很多问题都需要从不同的角度来观察。我们发现，我们在一个基本问题上，即变质作用在海相蒸发岩发育的相对重要性上，和某些学者的观点是对立的。因此，我们对于许多论证，甚至定义，都作了较为详细的介绍，如果无助于将来取得一致意见，我们是乐于把它们略去的。

2. 蒸发岩矿物学

在蒸发岩沉积中，虽然已发现将近四十种盐类，但其中约有半数以上的含量不过略多于痕量而已。这些矿物的主要物理和光学特性列于表 1 中。浏览一遍就可以知道，这些矿物主要是钙、钠、钾和镁的氯化物、硫酸盐和碳酸盐。有些是简单的盐，有些是复盐或更复杂的盐。有些是无水盐，有些则是含水的盐。

这些盐中最常见的（如果我们把白云石和菱镁矿除外，这两矿物常常是由于海水的蒸发沉淀而成，但一般不认为它们是蒸发岩矿物）是硫酸钙——石膏（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ）和硬石膏（ CaSO_4 ）。按含量多少的顺序居第二位的是石盐（ NaCl ），常称之为岩盐或普通盐。钾盐颇为稀少，其中最重要的是钾石盐（ KCl ）、光卤石（ $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ）、无水钾镁矾（ $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$ ）和钾盐镁矾（ $4\text{KCl} \cdot 4\text{MgSO}_4 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$ ）。其他镁盐，特别是硫镁矾和泻利盐等硫酸盐，则经常和钾盐伴生。硼酸盐更不常见，有时是非海相成因的。

虽然硫酸钙或石盐往往可达到某一定层位的99%，但任何一种蒸发岩层通常都是由两种以上的矿物所组成。杂卤石、无水钾镁矾或钾盐镁矾的单矿物沉积极为少见。

生成在一起的矿物的组合通称为共生。共生关系是按照主要组成矿物含量的递增顺序排列的。因此，石盐-光卤石就是一种以光卤石为主而含有较少量石盐的岩石。如果还含有少许硫镁矾时，则此种共生命名为硫镁矾-石盐-光卤石。两种钾石盐的共生颇为普遍而重要，但其命名并不按照这个一般的法则。钾石盐和石盐的组合称为钾石盐岩，钾石盐与硬石膏和（或）硫镁矾（或杂卤石）的结合称为硬盐（hartsalz）。

盐类矿物经常伴有不定量的其他物质，如粘土矿物、石英和其他碎屑、沥青、石油和硫等。这些外来物质有些是来自周围的陆地，另外一些是由于有机质的腐解或细菌还原硫酸盐而成的，腐解或还原物质可以在蒸发岩本身之中产生，也可以在晚些时候从相邻的岩层中迁移而来。

3. 蒸发岩的经济价值

全部蒸发岩中最为人熟悉的是石盐或普通盐。这种主要的调味食盐，我们每人每月平均约消费一磅，而且目前石盐在工业上也具有极大的重要性。在每年3500万吨的产量中，有很大一部分是用来制造苛性钠和其他钠盐，其中很多是用于制造肥皂、染料、喷漆、釉料和水泥等。防腐剂、杀虫剂、选择除草剂、清洁剂和脱色剂以及大量的医药品，均以普通盐为基本原料。

另一方面，石膏主要用于建筑业。在年产量一千万吨的石膏中，约有90%是用于生产熟石膏、糊墙纸板或建筑纸板和花砖等。其余主要用于生产化肥的硫，或用于填料、涂料和杀虫剂等。

钾碱的年产量大约相当于四百万吨的 K_2O 。其中约有90%用于化肥，其余用于生产玻璃、陶瓷、肥皂、火柴、炸药、照相药品、染料和制革工业等。泻利盐和硫酸镁具有某些医药价值。因为钾石盐中钾含量相当高，且是易溶矿物，所以是一种最需要的钾盐矿物。因此钾石盐岩是一种最重要的源岩 (source rock)，其次是硬石膏质或硫酸镁质的硬盐。在德国^①盐丘的冠岩 (caprocks) 中，曾大规模开采过钾盐镁矾，但是由于有淹没的危险，这种生产早已停止。钾盐镁矾在波兰仍然被开采用作化肥。无水钾镁矾，虽然其成分较复杂，在化学工业上不太适用，但在波兰和新墨西哥，均在开采。光卤石岩的钾含量较低，所以很少开采。

人工合成的氮化合物的重要性尽管有了增加，但智利硝石在世界硝酸盐的总产量中仍占80%左右。它们主要用于生产肥料，少量用于制造炸药、硝酸和其他化学药品。约1000吨的碘，即世界总产量的90%，是来源于智利硝石的副产品。碘广泛地用作防腐剂、试剂、碘化物的原料以及电影胶卷和照相底片感光剂。印染和制革工业中也使用碘，而且也用作食品掺料。以前，溴也是来源于蒸发岩，主要是从钾盐矿床中提取，但现在此元素几乎全部是从海水中提取。镁部分从海水或天然卤水中提取，部分也从杂卤石、白云石和菱镁矿中取得。镁主要用于制造高强度的轻质合金和各种类型的焰火。

硼砂的年产量大约为50万吨。其中大部分是用硼砂、四水硼砂、硬硼钙石、白硼钙石、方硼石和天然硼酸等含硼矿物制取的。硼砂是瓷釉，珐琅瓷及各种类型的耐热玻璃和光学玻璃的重要成分。硼砂也广泛地用作清洁剂、防腐剂和弱杀菌剂。硼砂可增加纸张和皮革的光洁度，而且在石油、绘画颜料、擦亮剂以至电工器材和耐火材料中，均有广泛的用途。

碳酸钠、碳酸氢钠和硫酸钠均为化学工业中广泛使用的其他非海相蒸发岩。家庭主妇所熟知的洗涤苏打和食用苏打就分别是碳酸钠和碳酸氢钠。泡碱 ($Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$)、天然碱 ($Na_2CO_3 \cdot NaHCO_3 \cdot 2H_2O$) 和芒硝 ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) 均是主要的原料矿物。碳酸钠是生产肥皂、玻璃、苛性钠和其他钠化物的原料。含水碳酸钠则用于制造灭火剂。在纸张、纸板、人造纤维和其他纺织品以及重化学品的生产中则使用芒硝。芒硝也是制造医药品、染料、颜料、肥皂、炸药和化肥的原料。

硫不是蒸发岩矿物，世界所产的硫大部分来自与蒸发岩 (特别是与盐丘) 共生的矿床，而且主要是由细菌蚀变石膏和硬石膏而成。硫酸、化肥和杀虫剂是用硫制造的主要产品。

① 本书地名和附图均照原书译制——中译本编者注

表 1 较 常 见 蒸 发 岩 矿 物 的

矿 物	溶解度 (克/升) 味	晶 系 空 间 群	单位晶胞大小			结 构 和 晶 习
			a	$\frac{a}{b}$	$\frac{a}{c}$	
硬石膏 CaSO_4	1.97(20℃) 2.10(20℃) 1.97(70℃) 无味	斜方晶系 Bbmm	6.24 6.99 7.00			块状, 粒状。短 粗柱状, 片状
白钠镁矾 $\text{MgSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	高, 不一致熔融, 24.5℃ 以上沉淀出芒硝 微辛辣和苦	单斜晶系 $P \frac{2_1}{a}$	11.09 8.20 5.50	100.6°		块状, 粒状。短 粗柱状
水氯镁石 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	潮解 2635 (20℃) = 35.1% MgCl_2 溶液 2710(60℃) 很苦	单斜晶系 $C \frac{2}{m}$	9.92 7.16 6.11	93.7°		粒状, 纤维状
方硼石 $5\text{MgO} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 7\text{B}_2\text{O}_3$	无味	斜方晶系				块状, 结核状 立方体, 四面体 和十二面体
光卤石 $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	潮解 不一致熔融, 并沉淀出 钾石盐 1190 = 27.3MgCl ₂ 溶液 味苦	斜方晶系 假三方晶系 Pban	9.56 16.05 22.56			块状, 粗晶质 双锥体
泻利盐 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	潮解 262 (20℃) 335 (50℃) 味辛辣	斜方晶系 $P 2_1 2_1 2_1$	11.86 11.99 6.85			葡萄状, 粒状, 纤维状 针状
钾芒硝 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{K}_2\text{SO}_4$	145 (20℃) 微咸	三方晶系 $P \bar{3} m 1$	5.66 — 7.30			块状

物理性质和光学性质

解理, 断口	硬度, 比重	颜色, 光泽	光学性质	成因和在蒸发岩中的共生
完全(001) 好(010) 清晰(100) 不平	3.0—3.6 2.9—3.0	白, 灰, 淡蓝, 砖红 脂肪状, 珍珠状, 玻璃状	$n\alpha$ 1.570 $\parallel c$ $n\beta$ 1.575 $\parallel b$ $n\gamma$ 1.614 $\parallel a$ $+0.044 + 2V\gamma 43.7^\circ$ — $r < b$ 弱	由石膏变质而成, 与石盐共生于硬盐中, 被杂卤石交代, 水化成石膏
无 贝状	3.0—3.2 2.2	无色, 淡绿, 淡红 玻璃状	$n\alpha$ 1.483 $\Delta c + 41^\circ$ $n\beta$ 1.486 $\parallel b$ $n\gamma$ 1.487 — $0.004 - 2V\alpha 71^\circ$ $r > b$ 强	在碱湖中为原生的。在海相蒸发岩中是交代硫酸镁的次生矿物。与石盐、钠镁矾、钾盐镁矾、镁的硫酸盐共生
完全(110) 清楚(001)	1.5 1.59	无色, 白 玻璃状	$n\alpha$ 1.495 $\parallel b$ $n\beta$ 1.507 $\Delta c 9.5^\circ$ $n\gamma$ 1.528 — $+0.033 + 2V\gamma 79^\circ$ $r > b$ 弱	与溢晶石、石盐、光卤石共生于残余卤水中。次生的和与光卤石共生
无 贝状	7.0 2.9	白, 淡灰, 淡绿, 黄 玻璃状至金刚状, 半透明	$n\alpha$ 1.662 $n\beta$ 1.667 $n\gamma$ 1.673 — $0.011 + 2V\gamma 83^\circ$	次生结核, 分布于石膏和硬盐中
无 贝状	1.0—2.5 1.6	白, 红, 黄 脂肪状, 半透明	$n\alpha$ 1.466 $\parallel c$ $n\beta$ 1.475 $\parallel b$ $n\gamma$ 1.494 $\parallel a$ — $0.028 - 2V\gamma 66^\circ$ $r < b$ 弱	原生的与石盐、硬石膏共生, 较少与钾石盐、钾盐镁矾等共生 次生后退变质产物, 与石盐、硬石膏共生
完全(010) 清晰(011) 贝状	2.0—2.5 1.75	白, 淡红 玻璃状至绢丝状, 半透明	$n\alpha$ 1.432 $\parallel a$ $n\beta$ 1.455 $\parallel b$ $n\gamma$ 1.461 $\parallel c$ — $0.028 - 2V\gamma 52^\circ$ $r < b$ 弱	可能是低温沉淀物, 与石盐、钾石盐、钾盐镁矾等共生。代替硫酸镁和杂卤石的次生产物
不清晰	2.5—3.5 2.7	白, 淡蓝, 淡绿 脂肪状至玻璃状	$n\omega$ 1.491 $n\epsilon$ 1.499 — 0.008 极少二轴, $2V$ 小	冠岩中的次生矿物, 与白钠镁矾、软钾镁矾、芒硝共生

矿 物	溶解度 (克/升) 味	晶 系 空 间 群	单位晶胞大小 a b c α β γ	结 构 和 晶 习
钙芒硝 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{CaSO}_4$	不一致熔融, 并沉淀出石膏 微咸	单斜晶系 $C \frac{2}{c}$	10.10 8.28 112.2° 8.51	肾状 板状, 柱状
芒 硝 参阅下述的芒硝				
斜水钙钾矾 $\text{K}_2\text{Ca}_6(\text{SO}_4)_6\text{H}_2\text{O}$	不一致熔融, 并有石膏沉淀 味苦	单斜晶系	17.10 6.71 113.2° 18.20	板状
石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2.0 (20℃) 无味	单斜晶系 $C \frac{2}{c}$	5.68 15.18 113.8° 6.20	块状, 粒状, 纤维状 片状, 针状, 燕尾双晶
石盐 NaCl	264 (20℃) 274 (60℃) 味咸	等轴晶系 $F \frac{4}{m} \frac{3}{m} \frac{2}{m}$	5.64	块状, 粒状, 纤维状 立方体
硬 盐 钾石盐与硬石膏和 (或) 硫酸镁矾、杂卤石、石盐共生				
六水泻盐 $\text{Mg}_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	308 (20℃) 355 (60℃) 味苦	单斜晶系 $C \frac{2}{c}$	10.06 7.16 98.6° 24.39	块状, 纤维状 柱状
钾盐镁矾 $4(\text{KCl} \cdot \text{MgSO}_4) \cdot 11\text{H}_2\text{O}$	味咸 微苦	单斜晶系 $C \frac{2}{m}$	19.76 16.26 94.9° 9.57	块状, 粒状 片状, 板状

续表 1

解理, 断口	硬度, 比重	颜色, 光泽	光学性质	成因和在蒸发岩中的共生
好 (001) 不好 (110) 贝壳状	2.5—3.0 2.7—2.85	淡黄, 白, 灰, 玻璃状至珍珠状	n_{α} 1.515 n_{β} 1.535 Δc 12° n_{γ} 1.536 $\parallel b$ — $0.021 - 2V\alpha 7^{\circ}$ $r > v$ 很强	与石盐、硬石膏、石膏、 杂卤石、无水芒硝、芒硝 共生在海相和非海相蒸发 岩中
好 (100)	3.5 2.77	无色或因含包体 而淡红 玻璃状	n_{α} 1.560 Δa 40.5° n_{β} 1.569 $\parallel b$ n_{γ} 1.584 — $0.024 + 2V\gamma 79^{\circ}$	次生的与钙芒硝、杂卤 石、石盐共生
完全 (010) 好 (111)、(100)	2.0 2.3—2.4	白, 灰, 淡红 玻璃状或土状, 半透明	n_{α} 1.521 n_{β} 1.523 $\parallel b$ n_{γ} 1.530 Δc 52° — $0.009 + 2V\gamma 58^{\circ}$ $r > b$	原生的与白云石或石盐 共生; 代替硬石膏或钾盐 类的次生产物 ± 石盐
完全, 立方体 贝壳状	2.5 2.1—2.2	无色, 白, 灰, 红, 深蓝 玻璃状	$n = 1.54$	在大多数蒸发岩中原生 或次生, 与石膏、硬石膏 或钾盐类共生
柱面解理好	2.5 1.76	白, 淡绿 珍珠状	n_{α} 1.426 $\Delta c - 25^{\circ}$ n_{β} 1.453 $\parallel b$ n_{γ} 1.456 — $0.030 - 2V\alpha 38^{\circ}$	原生的与石盐、光卤石 共生于现代湖泊中。次生 的是由硫酸镁和泻利盐变 化而成
好 (110)、(100)	2.5—3.0 2.1—3.0	白, 红, 淡黄 玻璃状, 半透明	n_{α} 1.494 n_{β} 1.505 $\parallel b$ n_{γ} 1.516 Δc 13° — $0.22 - 2V\alpha$ 近 90° $r > b$ 弱	原生的与石盐、泻利 盐、六水泻盐等共生, 常 为次生的, 与无水钾镁矾 一起由硫酸镁、钾石盐或 光卤石次生变化而成

矿 物	溶解度 (克/升) 味	晶 系 空 间 群	单位晶胞大小		结 构 和 晶 习
			a b c	α β γ	
硫镁矾 $\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	形成准稳水化物和泻利盐。386 (80℃) 无味	单斜晶系 $C \frac{2}{c}$	6.88 7.61 7.53	116.3°	粒状 双锥体
氯氧镁铝石 $2\text{MgCl}_2 \cdot 3\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	微苦	三方晶系			块状 片状
无水钾镁矾 $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4$	在61℃以下不一致熔融 无味	等轴晶系 $P2_13$	9.92		块状 变晶
钾镁矾 $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	不一致熔融 微苦	单斜晶系 $C \frac{2}{m}$	11.78 9.53 9.88	95.4°	块状
钠镁矾 $6\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{MgSO}_4 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$	微苦	三方晶系 $R \bar{3}$ 或 $R3$	18.96 — 13.47		块状 片状
芒硝 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	448 (20℃)	单斜晶系 $P \frac{2_1}{c}$	11.51 10.38 12.83	107.8°	粒状, 土状, 纤维状 柱状, 板状
软钾镁矾 $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	不一致熔融 味苦	单斜晶系 $P \frac{2_1}{a}$	9.06 12.26 6.11	104.8°	皮壳状
杂卤石 $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	不一致熔融, 并有石膏沉淀 无味	三斜晶系 FT 或 FI	11.68 16.33 7.60	90.6° 90.1° 91.9°	块状, 纤维状, 页片状 柱状

续表 1

解理, 断口	硬度, 比重	颜色, 光泽	光学性质	成因和在蒸发岩中的共生
好 (111), (113)	3.0—3.6 2.57	无色, 白, 灰, 黄 玻璃状	$n\alpha$ 1.520 Δc 41° $n\beta$ 1.533 $\parallel b$ $n\gamma$ 1.584 — $0.064 + 2V\gamma 55^\circ$ $r > b$	次生的, 与钾石盐、无水钾镁矾、钠镁矾、无水钠镁矾共生
完全 (0001)	1.0—2.0 1.98	淡黄, 淡红 绢丝状至玻璃状	$n\omega$ 1.55 $n\epsilon$ 1.52 — $0.03 - Ve$	泥质硬石膏中的次生洞穴充填物
无解理, 不平坦	3.0—4.0 2.8—2.83	无色, 白, 淡红 玻璃状	$n = 1.534$	次生的, 与硫镁矾、钾石盐及石盐共生, 或者与硬石膏、杂卤石共生
柱面解理	2.5—3.0 2.2	无色, 白, 或淡黄 玻璃状至脂肪状	$n\alpha$ 1.479 $n\beta$ 1.483 $\parallel b$ $n\gamma$ 1.487 Δa 小 — $0.008 + 2V\gamma$ 近 90°	在冠岩中是钾盐镁矾的次生变化产物, 与石盐 ± 钾石盐、杂卤石和白钠镁矾共生
好 (001)	3.5 2.4	淡黄, 淡红 玻璃状	$n\epsilon$ 1.470 $n\omega$ 1.490 — $0.019 - Ve$	硫镁矾的次生变化产物, 与无水钠镁矾、白钠镁矾、无水钾镁矾、钾芒硝、硬石膏等共生
完全 (100) 不好 (001), (010)	1.5—2.0 1.48	白, 无色 次玻璃状, 半透明	$n\alpha$ 1.394 $\parallel b$ $n\beta$ 1.396 $n\gamma$ 1.398 Δc 31° — $0.004 - 2V\alpha 76^\circ$ $r > b$ 强	原生的, 是碱水湖的冬季沉淀物, 与石膏、石盐、泻利盐、钙芒硝、钾芒硝、白钠镁矾共生。常局部被无水芒硝交代
完全 (201)	2.5 2.1	无色, 白 玻璃状	$n\alpha$ 1.461 $\Delta a - 1^\circ$ $n\beta$ 1.463 $\parallel b$ $n\gamma$ 1.476 — $0.015 + 2V\gamma 48^\circ$ $r > b$ 弱	在低温下能成为和钾石盐共生的原生沉淀, 几乎经常是钾盐镁矾、钾镁矾的次生产物, 与钾盐镁矾、白钠镁矾、钾芒硝共生
好 (100)	2.5—3.5 2.78	砖红, 淡黄, 灰 脂肪状, 绢丝状	$n\alpha$ 1.547 Δc 12° $n\beta$ 1.560 $\approx \parallel [TO]$ $n\gamma$ 1.567 — $0.020 - 2V\alpha 64^\circ$	石盐中的代替硬石膏的次生产物。少数为光卤石和硬石膏中的次生产物

矿 物	溶解度 (克/升) 味	晶 系 空 间 群	单位晶胞大小 $\begin{matrix} a \\ b \\ c \end{matrix}$ $\begin{matrix} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{matrix}$	结 构 和 晶 习
泻利盐 参阅上述的泻利盐				
钾铁盐 $3\text{KCl} \cdot \text{NaCl} \cdot \text{FeCl}_2$	不一致熔融 味涩	三方晶系 $R\bar{3}c$	11.98 — 13.84	粗粒状
软钾镁矾 参阅上述的软钾镁矾				
钾石盐岩 与少许石盐结合的钾盐				
钾石盐 KCl	340 (20℃) 455 (60℃) 味咸, 苦	等轴晶系 $\begin{matrix} 4 & 3 & 2 \\ m & & m \end{matrix}$	6.29	块状, 粒状 立方体, 八面体
溢晶石 $2\text{MgCl}_2 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	吸水性强 味辛辣, 苦	三方晶系?		块状, 粒状
无水芒硝 Na_2SO_4	潮解 388 (40℃) 453 (60℃) 味微咸, 苦	斜方晶系 Fddd	9.82 12.30 5.86	块状 短粗柱状, 单锥 体, 板状
无水钠镁矾 $3\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4$	微有点苦	单斜晶系 $P\frac{2_1}{c}$	9.79 9.21 113.5° 8.19	粒状

其他蒸发岩矿物:

氟化物, 氯化物, 氧氯化物:

水石盐 $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 氯钾钙石 KCaCl_3 , 氟镁石 MgF_2 , 铁镁氯铝石 $9(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Ca})\text{Cl}_2 \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$,
绿钾铁盐 $\text{KFeCl}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 红钾铁盐 $\text{K}_2\text{FeCl}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

碳酸盐:

方解石 CaCO_3 , 白云石 $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, 铁白云石 $(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe})\text{CO}_3$, 文石 CaCO_3 , 菱镁矿 MgCO_3 .

硼酸盐, 硼硅酸盐:

钠硼钙石 (ulexite) $\text{NaCaB}_5\text{O}_{10} \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, 基性硼钠钙石 $\text{NaCaB}_5\text{O}_{10} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 硼钾镁石 $\text{KMg}_2\text{B}_{11}\text{O}_{39} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, 硼
镁石 MgHBO_3 , 水方硼石 $\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 法氏硼钙石 $\text{CaB}_3\text{O}_6(\text{OH})$, 白硼钙石 $\text{Ca}_4\text{B}_{10}\text{O}_{36} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$,

续表 1

解理, 断口	硬度, 比重	颜色, 光泽	光学性质	成因和在蒸发岩中的共生
清晰 (1120) 贝状	3.0 2.35	无色, 淡红, 黄, 紫, 棕 新鲜时玻璃状, 以 后变为绢丝状	n_{ω} 1.589 n_{ε} 1.590 — 0.001 异常干涉色和波长 λ 很 有关系	光卤石的次生产物, 与 钾石盐、石盐、硫镁矾及 硬石膏共生
立方体解理完全	2.0—2.2 1.98	无色, 白或黄红 玻璃状, 脂肪状	$n = 1.490$	是光卤石和其他钾盐类 矿物的次生产物
清晰 (1011)	1.0—2.0 1.66	蜜黄, 蜡黄 玻璃状	n^{α} 1.512 n_{β} 1.520 — 0.008 - V_e	次生的, 与光卤石共生 于粘土中, 绝不与钾石盐 或硫镁矾共生
好 (001)	2.7 2.68	白, 淡棕 玻璃状, 脂肪 状	n_{α} 1.471 $\parallel c$ n_{β} 1.477 $\parallel b$ n_{γ} 1.484 $\parallel a$ — 0.013 + $2V \gamma 83^{\circ}$	湖泊中原生的, 与钠 镁矾、钙芒硝、泻利盐共 生。常是芒硝的次生产物。 海相沉积中有否分布值得 怀疑
次贝状断口	3.5 2.69	无色 玻璃状	n_{α} 1.485 n_{β} 1.488 $\parallel b$ n_{γ} 1.489 — 0.004 - $2Va 84^{\circ}$ $r < b$ 弱	硫镁矾、钠镁矾的次生 产物, 与石盐 ± 无水钾镁 矾共生

硬硼钙石 $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 水硼锶石 $\text{SrB}_6\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 水硼镁锶矿 4 $(\text{Sr}, \text{Ca})\text{O} \cdot 2\text{MgO} \cdot 12\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, 水
氯硼钙石 $\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{10}(\text{OH})_2\text{Cl}$, 硼镁矾 $\text{Mg}_2\text{SO}_4 \cdot (\text{BO}_2\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 硼磷镁石 (lünzburgite) $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2\text{B}_2\text{O}$
 $(\text{OH})_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 赛黄晶 $\text{CaB}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ 。

硫酸盐及磷酸盐:

烧石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$, 钾石膏 $\text{K}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, 盐镁芒硝 $\text{Na}_{21}\text{MgCl}_3(\text{SO}_4)_{10}$, 天青石 SrSO_4 , 氟磷
镁石 Mg_2FPO_4 , 磷灰石 $\text{Ca}_5(\text{F}, \text{OH}, \text{Cl})(\text{PO}_4)_3$ 。

硅酸盐:

钾长石, 钠长石, 白云母, 伊利石, 绿泥石 (镁绿泥石, 叶绿泥石, 柯绿泥石 $\text{Na}_{0.12}\text{Mg}_{0.25}\text{Fe}_{0.24}\text{Al}_{2.17}\text{Si}_{0.2}$
 $\text{O}_{20}(\text{OH})_{10} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), 蛇纹石, 滑石。

第二章 现代蒸发岩的分布和沉积环境

1. 分布的气候控制

在现代,每个大陆上均有正在堆积的盐类沉积。现代盐类沉积主要分布于两个大的地带,南北两半球各有一个地带,大约都位于赤道两侧纬度 15° — 35° 之间(图3.1)。成盐的基本条件是:该地区水分的蒸发量应超过降水量和流入的地表水量的总和。影响这一平衡的主要因素是纬度、高度(成盐地区的高度和周围地区的高度)、风向、洋流以及与海洋的距离等。

一个地区的年平均温度,大致决定于这一地区的纬度和高度(海平面的温度从两极的 0°C 以下上升到赤道的 30°C 左右),因之,水的蒸发速度也随之而不相同。垂直变化的梯度,即温度随高度增加而下降的速度,平均每升高180米下降 1°C 。大气中水蒸气的可能含量仅仅取决于温度。在 0°C 时,每立方米的空气中,需含4.88克的水蒸气才能达到饱和; 10°C 时,则饱和含量增高为9.37克; 20°C 时为17.18克;而 30°C 时,则为30.18克。

太阳照射下的水温,可能远高于大气的温度,甚至可以超过 60°C ,其蒸气压力也相应地增加。然而,在一定的温度下,水的蒸气压力也受水中所溶盐类数量的控制。例如,在 50°C 时,纯水的蒸气压为93毫米水银柱,而饱和NaCl的溶液和饱和 MgCl_2 的溶液则分别为70和58毫米水银柱。因此,卤水的浓度愈大,其蒸发也就愈慢。所以,极易溶的盐类,仅在炎热而干旱的地带才能大量沉淀。

但是,单独温度一项并不是决定蒸发岩能否形成的临界因素。最明显的证明是,当代在斯皮茨伯根、格陵兰和南极洲等地也有钠、镁和钙的氯化物盐壳形成。

大气降水至少也是一个重要的因素。大气降水量是受海陆(特别是山脉)的分布、地球风系和洋流的控制。在具有上升冷气团的赤道地带,雨量丰沛;而在有下降气流分布的副热带无风带,则雨量稀少。因此,世界的沙漠主要分布在这些地区(参看图2.1)。持续高压的两极地区也是干旱的。

向岸风占优势的海岸地带,也有丰沛的降雨量,但向大陆腹地,降雨量就逐渐减少。温带大陆的西海岸比较潮湿,赤道附近大陆的东海岸则雨量较多。季候风可以是潮湿带雨的,也可以是干燥的,视其来自海洋还是来自大陆内部而定。

当潮湿的风遇到走向横切风向的山脉时,则气流将被迫上升而冷却,不能再长久地保持很多的水气。因而,山脉的向风坡是潮湿地区,而背风坡则是缺雨区。因此,由于安第斯山脉的关系,巴塔哥尼亚的降雨量,就较智利南部为少。此地占优势的风向当然是西风(参看图2.1和2.2)。

对于任何一定的地区,降雨量往往是随高度的增加(温度降低)而增加。甚至位于撒哈拉中心的艾哈加尔山脉(霍加尔)和提贝斯提山脉也有规律的(夏季)季节雨。然而,如果山脉非常高,由于大气中的水气几近于枯竭,所以最大的凝结带并不延伸到山顶。例如,喜马拉雅山及其附近的山脉,降雨量最大的地区位于海拔4000至10000呎之间。