

沉积岩中的沸石及其成因

R. L. 海 著

地 质 出 版 社

沉积岩中的沸石及其成因

R. L. 海 著

黄 典 豪 译

尚 若 筠 校

地质出版社

本书对已发表的有关沉积岩中沸石的资料作了综合评述。书中简述了沸石矿物的结构、成分和物理性质，结合典型实例介绍了非海相盐、碱环境沉积物、海相沉积物和淡水沉积物中的沸石的地质产状、矿物共生组合及沉积环境的特点；叙述了沸石矿物成分与主岩成分、水化学、年代和埋藏深度的关系，并探讨了沉积岩中沸石矿物的形成机理。

本书可供从事沸石矿产普查、勘探和科研的地质人员及地质院校师生参考。

Zeolites and Zeolitic Reactions in Sedimentary Rocks

Richard L. Hay

Published by The Geological Society of
America, INC
New York 1966

沉积岩中的沸石及其成因

R. L. 海 著

黄典豪 译 尚若筠 校

国家地质总局书刊编辑室编辑

地质出版社出版

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

1978年7月北京第一版·1978年7月北京第一次印刷

统一书号：15038·新303·定价0.45元

目 录

提 要	1
绪 言	3
沸石的结构、成分和物理性质	5
沸石的一般叙述	5
选择的沸石的叙述	8
沉积岩中沸石矿物的鉴定	11
自生沸石和共生的硅酸盐矿物的产状	13
含沸石沉积物的分类	13
非海相盐、碱环境沉积物中的沸石	13
海相沉积物和淡水沉积物中的沸石及共生的硅酸盐矿物	55
矿物成分与主岩成分、水化学、 年代和埋藏深度的相互关系	65
主岩	65
水化学	66
埋藏深度	69
年代	72
沸石和共生硅酸盐矿物的成因	76
沸石成因的理论和实验的探讨	76
沸石矿物借助玻璃的反应形成	79
沸石矿物通过原生硅酸盐矿物反应的形成	82
沸石矿物的化学沉积作用	85
形成不同沸石的一些沸石的反应	87
沸石-长石的平衡状态	91
一些沸石反应中的交代作用	97
概述	97
交代作用的类型	97
交代变化的次序和离子的来源	93

沸石组合的地质意义和分类	100
地质意义	100
分类及有关术语	101

提 要

沸石族是沉积岩中最常见的自生硅酸盐矿物。它们在非海相的盐、碱环境的沉积物中最为丰富。沸石、碱性长石或水硅硼钠石几乎总是交代盐、碱湖中的凝灰岩，并通常构成非凝灰泥质岩类的主要部分。沸石族作为火山玻璃的蚀变产物，极普遍地产于海相沉积物和淡水沉积物中，大量的沸石产于巨厚堆积的凝灰质沉积岩内。在许多海相沉积的和淡水沉积的石质或长石质砂岩中，以及在各种各样的化学沉积岩或生物沉积岩（如石灰岩、磷灰岩、煤、铝土矿和泥铁矿）中，均曾发现沸石。已知的最厚且分布最广泛的单矿物沉积沸石矿床可能是盐湖积成因的中生代方沸石岩。

为阐明沸石产出的不同方式，并提供沸石成因几个方面的证据，对沉积岩中沸石族的几个实例作了简单叙述。在非海相的盐、碱沉积环境中形成沸石矿物的有：内华达州蒂斯沼泽地区的晚更新世凝灰岩和近代凝灰岩，加利福尼亚州欧文斯湖、中国湖和瑟尔斯湖的晚更新世沉积物及近代沉积物，坦桑尼亚纳特伦湖的近代沉积物和更新世皮宁伊层（Peninj Beds），坦桑尼亚奥尔杜维峡谷的第四纪沉积，加利福尼亚州克雷默的中新世层，怀俄明州格林河建造，以及新泽西州的洛卡东建造。除洛卡东建造外，所有这些实例都提出了新资料。具有海成沸石和淡水沉积沸石特征的例子有：那不勒斯湾内的近代火山灰沉积，太平洋的橙玄玻质沉积，俄勒冈州的约翰代建造，日本本州的绿色凝灰岩建造以及新西兰的三叠纪岩层。

沸石的矿物成分在不同程度上与主岩的成分、沉积环境和沉积后环境的水化学、年代和埋藏深度有关。沸石的 SiO_2 含量与沉积于海洋环境或淡水环境中玻璃凝灰岩的 SiO_2 含量之间存在着直

接关系； SiO_2 含量较低的沸石是由盐、碱湖的玻璃凝灰岩形成的，不管火山玻璃中的 SiO_2 含量如何。粒度和渗透性似乎与某些凝灰岩中的沸石矿物成分有关。高 pH 和高盐度有利于火山玻璃很快发生反应而形成沸石。巨厚沉积岩层序中的沸石矿物组合呈现带状分布，接近地表最富含水深处最贫含水。这种分带性的程度和各带的厚度在不同地区有很大的变化。浊沸石对方沸石、片沸石、斜发沸石、丝光沸石和钙十字沸石的比率一般作为埋藏深度的函数而增长；方沸石对斜发沸石、丝光沸石、毛沸石和钙十字沸石的比率，通常则随埋藏于较浅处的岩石的年代而增加；自生碱性长石对碱性沸石的比率则随年代、盐度和埋藏深度的增长而增大。

沸石可以是化学沉淀的，也可以由火山玻璃同水溶液中的铝硅酸盐矿物发生反应而生成。方沸石显然是某些盐、碱湖中的一种化学沉淀物，方沸石厚层泥岩和方沸石岩的广泛沉积可能就是这样形成的。火山玻璃在水溶液中发生反应便形成了许多沉积矿床内的沸石，而不论其沉积环境如何。火山玻璃的反应速度介于几百年到几千万年之间，这取决于火山玻璃的成分和化学环境的性质。火山玻璃形成层状硅酸盐矿物时的水解作用在许多海相凝灰岩和淡水凝灰岩提供适宜于形成沸石的化学环境中是一个重要的因素。石英、斜长石、辉石、石榴石、霞石和蒙脱石是沉积层中发生反应形成沸石的原生矿物。随着埋藏深度的增加，早期形成的沸石发生反应可以形成浊沸石、钠长石和钾长石，而在深度较浅时，则可形成作为年代或盐度函数的方沸石、钠长石及钾长石。地质证据表明，在多数沉积埋藏条件下，碱性长石可能比含石英沉积岩中的沸石更为稳定。许多沸石反应涉及到大量的交代作用，大多数交代作用可以认为是由于水溶液中的各种组分在一个沉积层或层序范围内的迁移而引起的。

绪 言

沸石是在沉积岩中发现的最普通的自生硅酸盐矿物，可在各种类型（海相和非海相）的岩石中形成，而在已蚀变的玻璃凝灰岩中特别丰富。大量的沸石矿物也存在于盐、碱湖的非凝灰质沉积物中。在考虑到各种沉积岩的沉积期后历史时，下述几种因素使沸石成为具有特别重要意义的矿物族：（1）沸石矿物作为碎屑组分是罕见的，因此，一般只反映岩层的沉积环境或沉积期后环境；（2）沸石有许多类型，成分各不相同，不同的沸石类型大概是在较局限的条件范围内形成的；（3）沸石矿物在适宜的化学环境内生长迅速；（4）因为沸石具有孔隙结构，所以在化学上有反应性能，在低温和低压条件下易于转变成其他类型的沸石或非沸石矿物；（5）沸石生成的许多环境可以直接进行观察，或用打钻来采集样品，这样便提供了直接确定不同沸石形成和发生反应所处环境条件的机会。

在已发表的 200 多篇有关沉积岩沸石的论述中，有几篇可以表明有关沉积岩中沸石分布或成因解释方面的重大进展。摩雷和雷纳（1891）的报告首次指出，沸石（这里指钙十字沸石）是大面积沉积层的一种主要组分。业已确定了钙十字沸石的低温成因。罗斯（1928, 1941）和布莱德利（1928, 1929）曾指出，方沸石在非海相盐、碱环境中，在低温下由凝灰岩发生反应而形成。布拉姆雷特和波希纳克（1933）曾证明，斜发沸石作为海相成因玻璃凝灰岩的一种蚀变产物而普遍产出；德费耶斯（1959, 1959）和雷尼尔（1960）曾经指出，钙十字沸石和毛沸石可能是沉积于盐湖中流纹凝灰岩的一些广泛分布的低温蚀变产物。库姆斯（1954）曾在—30000 英尺厚的岩层柱状剖面中发现各种沸石类型的垂直分带现象，从而对沸石的地层关系更加强调，并根据温

度-压力稳定区和相图对沸石矿物组合加以考虑。后来对盐湖沉积物的一些研究指出，湖水的 pH、盐度和阳离子含量的变化能产生可与很大的温度和压力变化相比拟的矿物效应，因此，大大地扩大了根据沸石矿物组合作出成因推断的可能范围。

库姆斯等人 (1959)、德费耶斯 (1959 a)、特鲁基和安德烈斯 (1963)、伯雅诺娃 (1960)、饭岛和歌田、以及范德斯塔班和维比克 (1964) 曾评述过沉积岩中沸石的产状和成因。库姆斯等人 (1959) 的评述是值得注意的，因为这一评述强调了沸石成因的物理化学控制作用，沸石矿物发生化学反应的性质，以及实验数据对天然沸石产状的应用。

本文评述了已发表的有关沉积岩中沸石的资料，并提出一些关于盐、碱湖沉积中自生矿物组合的新资料。重点放在正常沉积埋藏条件下形成的一些沸石。局部热液蚀变产生的沸石只是简单地予以考虑，尽管在了解沸石的成因时它们是具有一定意义的。熔岩流中的沸石不在本文讨论之列，即使其中大多数沸石是在埋藏之后处于与沉积岩中的许多沸石相同的温度-压力条件且通过相同的作用而形成的。

为了较客观地确定沉积岩中含沸石矿物组合的形成和发生反应的条件起见，本文探讨了沸石矿物成分与主岩成分、水化学、年代和埋藏深度的关系。提出了有关沉积岩中沸石的化学成分和物理性质以及关于沉积岩中涉及沸石的化学反应的性质等的新资料。在与沸石共生的自生矿物中，只对长石族矿物作了详细论述。

沸石的结构、成分和物理性质

沸石的一般叙述

沸石是含水的碱和碱土金属铝硅酸盐类矿物，它可被看作是相当于长石的水化产物。它们是架状硅酸盐类矿物，因而具有一种无限延展的三维阴离子格架，原子比为 $(Al + Si):O = 2$ 。这种格架的净负电荷为一些阳离子（一般是 Ca^{2+} 、 Na^{+} 或 K^{+} ）所平衡。与长石类的格架不同，沸石的格架含有通道和一些较大的联通空腔，阳离子和水分子在其间结合得不紧。在大多数的沸石矿物中，阳离子和水分子很容易地失去或被置换，而并不破坏其格架。这些阳离子和 H_2O 分子的位置及松弛的结合造成可能连续的和部分可逆的脱水作用及阳离子交换。 $K^{+} \rightleftharpoons Na^{+}$ 和 $CaAl \rightleftharpoons NaSi$ 类型的置换象在长石中一样是可能的，不过 $Ca^{2+} \rightleftharpoons 2Na^{+}$ 类型的置换也十分普遍。在某些沸石矿物中，阳离子交换会引起 $Si(Al)-O$ 格架的结构变异。

基于结构和形态，沸石矿物可分为三大族。在钠沸石族中，在一个结晶方向上的链环 (linkage) 比在相交成直角的平面上的数量要多，这种情况一般便产生纤维状形态和解理。这一族沸石矿物当中有钠沸石、杆沸石、水钙沸石和变杆沸石。在片沸石族（片沸石、斜发沸石、辉沸石和柱沸石）中，在一个平面内的链环数量比在相交成直角的方向上更多，结果产生板状解理。在余下的一个族中，包括交沸石、钙十字沸石、菱沸石和八面沸石，在所有方向上具有类似的结合强度。毛沸石的结构虽然有些类似，但具有链状特征。迪尔等人（1963）并没有把方沸石和斜钙沸石列为沸石族矿物，但这两种沸石在本文被包括在沸石族中，不管它们的确切矿物分类如何。

全部六个晶系在沸石矿物中均有所体现，而个别沸石类型的晶体习性可以有相当大的变化。例如，毛沸石、丝光沸石和钠沸石，可以呈短粗的晶体或作为细长的发状纤维而产生；钙十字沸石甚至呈现更为多种多样的结晶习性。沸石矿物的比重较低（一般为2.0—2.3），因为它们具开放结构的缘故；折光率相当低（通常为1.44—1.52）。对于有关沸石形态、结构和物理性质的其他资料，读者可参考迪尔等人（1963）的著述。

多数沸石矿物可分为Ca型和富碱型（表1和2）；少数类型包括钙质沸石和碱质沸石。在低温下形成于沉积岩中的那些沸石，比火成岩中的同一类型沸石，普遍含有更多的硅质和富含碱金属。对于方沸石、钙十字沸石和片沸石结构族来说，这种关系已经极清楚地得到了证明。在沉积岩中发现的几种富碱金属沸石类型将在以下章节中根据新近资料加以论述。图1描绘了沉积岩中最常见的富碱质沸石的成分关系。火成岩和沉积岩的大多数钙质沸石的差异并不明显，库姆斯等人（1959）叙述了钙质沸石的成分关系。

表 1 钙质沸石的成分和比重

这些沸石是按相对于Al的水含量的递减顺序排列的。

这些资料大部分引自迪尔等人（1963）

矿物名称	主要阳离子	分 子 式*	比 重
辉沸石	Ca, Na	$\text{Ca}_{0.5}\text{AlSi}_{2.6-3.5}\text{O}_{7.2-9} \cdot 2.8-3.5\text{H}_2\text{O}$	2.18
菱沸石	Ca, Na	$\text{Ca}_{0.5}\text{AlSi}_{1.7-3.0}\text{O}_{5.4-8.0} \cdot 2.7-4\text{H}_2\text{O}$	2.08
片沸石	Ca, Na	$\text{Ca}_{0.5}\text{AlSi}_{2.7-3.7}\text{O}_{7.4-9.4} \cdot 2.5-3.1\text{H}_2\text{O}$	2.18
柱沸石	Ca, Na	$\text{Ca}_{0.5}\text{AlSi}_{2.4-3.2}\text{O}_{7.8-8.4} \cdot 2.6-2.8\text{H}_2\text{O}$	2.25
钙十字沸石	Ca, Na	$\text{Ca}_{0.5}\text{AlSi}_{1.3-2.2}\text{O}_{4.6-6.4} \cdot 1.7-2.4\text{H}_2\text{O}$	2.0—2.3
水钙沸石	Ca, Na	$\text{Ca}_{0.5}\text{AlSi}_{1-1.2}\text{O}_{4-4.4} \cdot 2-2.2\text{H}_2\text{O}$	2.1—2.2
浊沸石	Ca	$\text{Ca}_{0.5}\text{AlSi}_2\text{O}_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2.29
钙沸石	Ca	$\text{Ca}_{0.5}\text{AlSi}_{1.5}\text{O}_5 \cdot 1.5\text{H}_2\text{O}$	2.27
杆沸石	Ca, Na	$\text{Ca}_{0.5}\text{AlSi}_{1-1.1}\text{O}_{4-4.2} \cdot 1.2\text{H}_2\text{O}$	2.37
斜钙沸石	Ca	$\text{Ca}_{0.5}\text{AlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2.265

* 这些分子式是根据具有一个铝原子的纯钙端员来标准化的。

表 2 碱性沸石的成分和比重

这些沸石是按相对于Al的水含量递减顺序排列的。

大部分资料引自迪尔等人 (1963)

矿物名称	主要阳离子	分子式*	比重
八面沸石	Na, Ca	$\text{NaAlSi}_{2.4}\text{O}_{7.2} \cdot 4.6\text{H}_2\text{O}$	1.92
斜发沸石	K, Na, Ca	$\text{NaAlSi}_{4.2-5}\text{O}_{10.4-12} \cdot 3.5-4\text{H}_2\text{O}$	2.13—2.17
丝光沸石	Na, Ca	$\text{NaAlSi}_{4.5-5}\text{O}_{11-12} \cdot 32-3.5\text{H}_2\text{O}$	2.12
毛沸石	Na, K, Ca	$\text{NaAlSi}_{3-3.5}\text{O}_{8-9} \cdot 3-3.4\text{H}_2\text{O}$	2.07
菱沸石	Na, Ca	$\text{NaAlSi}_{1.7-3}\text{O}_{5.4-8} \cdot 2.7-4\text{H}_2\text{O}$	2.08
钙十字沸石	K, Na, Ca	$\text{NaAlSi}_{1.3-3.4}\text{O}_{4.6-8} \cdot 1.7-3.3\text{H}_2\text{O}$	2.0—2.3
变杆沸石	Na, Ca	$\text{NaAlSi}_{1.1-1.4}\text{O}_{4.4-4.8} \cdot 1.2-1\text{H}_2\text{O}$	2.27
方沸石	Na	$\text{NaAlSi}_{2-2.8}\text{O}_{6-7.6} \cdot 1-1.3\text{H}_2\text{O}$	2.26
钠沸石	Na	$\text{NaAlSi}_{1.5}\text{O}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2.24

* 这些分子式是按照具有一个Al原子的纯钠端员来标准化的。

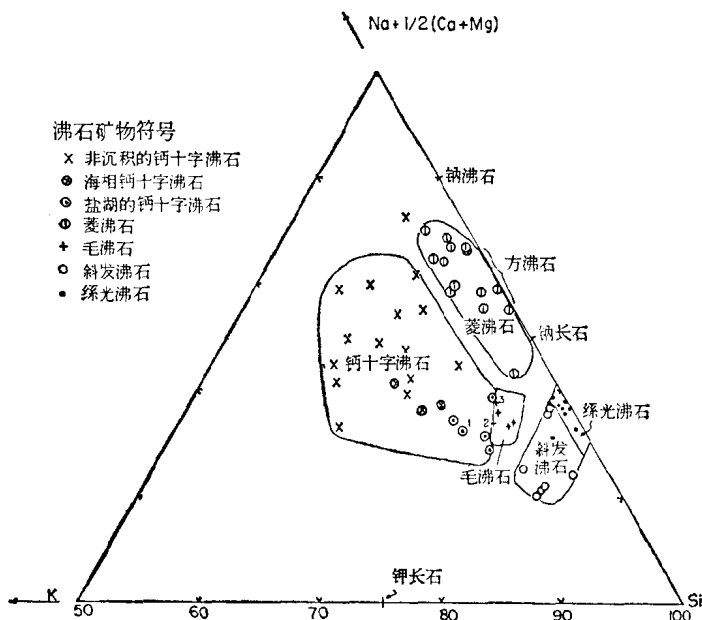


图 1 普遍产于沉积岩中的钠长石、钾长石与主要碱性沸石的成分关系。本图解是以Si、K和 $\text{Na} + \frac{1}{2}(\text{Ca} + \text{Mg})$ 原子比例为其端员的三角形图解的富含 SiO_2 部分。表示出菱沸石、钙十字沸石和丝光沸石的富碱与富钙的分析结果。方沸石被表示为一种钠质沸石，其Si/Al比值为2.0—2.7。

选择的沸石的叙述

方沸石 天然方沸石可以在很大程度上偏离理想分子式 $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 。沉积的方沸石，其分子式中的 Si/Al 比值变化大约从 2.0 到 2.9，而且每一分子式含有 1 个到 2 个左右的水分子。已证实很难获得未蚀染的沉积方沸石的化学分析结果，而晶胞大小和折光率已被广泛用来确定一些沉积方沸石的化学成分。化学数据和晶胞大小表明，硅质凝灰岩的方沸石是相对含硅质的，一般其分子式具有的 Si/Al 比值介于 2.4—2.75 之间，最大比值范围为 2.1—2.9。在一些盐、碱湖沉积中，可能为非凝灰质成因的方沸石的 Si/Al 比值一般为 2.1—2.4。对已分析的撒哈拉地区白垩纪岩层的一些方沸石进行反复计算得出的分子式为 $\text{Na}_{0.8}\text{AlSi}_2\text{O}_6 \cdot 2.2\text{H}_2\text{O}$ ；怀俄明州的波波阿吉段（三叠纪）方沸石的 Si/Al 比值为 2.1—2.3，所采用的晶胞大小是根据萨哈的鉴定曲线得出的。

罗斯（1928）和凯勃（1952）的分析结果提出的 K^+ 对 Na^+ 置换高达 20%；在朱利亚等人（1959）的分析结果中， Na^+ 的不足表明了 H^+ （或 H_3O^+ ）对 Na^+ 的置换接近 20%。一些沉积方沸石的其他化学分析结果，对于完满地阐明它们的成分范围将是必须的。

菱沸石 菱沸石是一种主要的 Ca-Na 沸石，其 Si/Al 和 Ca/Na 比值的变化幅度很大。所分析的非沉积菱沸石的 Si/Al 比值范围为 1.7—2.6，但可高达 2.96。有关沉积岩中菱沸石的化学成分或光学性质了解得很少。在低温沉积菱沸石的一个化学分析结果中，Si/Al 比值为 2.5。本文作者所研究的低温沉积菱沸石的折光率，稍低于非沉积菱沸石的折光率，一般为 1.465—1.468。

钙十字沸石结构族 钙十字沸石是沉积岩中的最普遍钾质沸石矿物之一，而且其 Si/Al 比值具有比任何其他沸石（片沸石结构族除外）更大的变化范围（1.3—3.4）。钙通常是大量存在的，虽然它在某些沉积钙十字沸石中几乎可以缺失（表3，第1栏）。已分析的一些沉积钙十字沸石，比非沉积的钙十字沸石含有更多

的硅质(图1)。一些低温沉积钙十字沸石中,三价铁离子可以置换高达5%的 Al^{3+} 。交沸石是钙十字沸石结构族的一员,其中 Ba^{2+} 是主要阳离子。钙十字沸石结构类型的一些沸石在低温下易于人工合成, A. M. 泰勒(1962)曾对这些合成矿物相做过综合论述。

表 3 沉积钙十字沸石、毛沸石和富毛沸石凝灰岩的化学分析结果

组 分	钙十字沸石*	毛沸石**	毛沸石粗面凝灰岩***	毛沸石凝灰岩****
SiO ₂	56.58	56.77	58.05	49.85
Al ₂ O ₃	15.14	13.82	13.26	12.50
Fe ₂ O ₃	1.25	1.93	2.01	5.67
FeO	0.21	0.02	0.04	0.35
MgO	0.41	0.32	0.72	0.07
CaO	0.40	0.21	0.04	0.21
Na ₂ O	5.25	6.19	5.85	6.95
K ₂ O	6.13	4.07	3.63	3.47
MnO	0.04	0.28	0.01	未测定
TiO ₂	0.29	0.32	0.35	0.03
P ₂ O ₅	0.06	0.04	0.02	未测定
H ₂ O ⁺	6.97	8.11	8.13	12.42
H ₂ O ⁻	7.17	7.02	6.77	5.95
CO ₂	0.11	0.82	0.40	0.00
Cl ₂	未测定	0.02	痕量	未测定
S	未测定	痕量	痕量	4.11
(减去 S = O)				-1.54
总 和	99.95	99.94	99.35	100.01

* 沸石化流纹凝灰岩中的钙十字沸石(厚1英寸), 采自内华达州西部蒂斯沼泽西南部7.5英尺深处。分析者: J. 莫依森。所分析的样品混杂有5%或更少的石英和碱性长石, 这与显微镜和X-射线衍射图所测定的结果一样。钙十字沸石形成板状均质晶体, 折光率为 1.474 ± 0.002 。

** 采自坦桑尼亚纳特伦湖西边皮宁伊层(中更新世)粗面凝灰岩中的毛沸石(见图3)。分析者: J. 莫依森。分析样品含有3%或更少的碱性长石、绿鳞石(?)、方解石和白云石。

*** 在上一样品位置附近的皮宁伊层毛沸石粗面凝灰岩。分析样品含有近于90%的毛沸石, 5%碱性长石和5%绿鳞石(?)、方解石和白云石。

**** 采自肯尼亚马加迪湖钻孔A81英尺深处的毛沸石凝灰岩。分析者: 莫依森。样品含有大约75%毛沸石, 10%方沸石, 8%黄铁矿和7%绿鳞石(?)。

沉积钙十字沸石的折光率可变化于1.438—1.490之间，而且似乎是随 SiO_2 含量呈相反的变化。沉积钙十字沸石通常呈现带状构造，其边缘部分具有比核心更高的折光率。更富含硅质的沉积钙十字沸石形成大致相同大小的晶体；含硅质较贫的钙十字沸石则形成板条状自形晶。钙十字沸石可以呈现为球粒状集合体。

阳离子类型强烈影响钙十字沸石的 $\text{Al}(\text{Si})\text{-O}$ 格架，而且阳离子交换可以改变X-射线的 d 间距。加热到130℃时可以引起X-射线谱的极明显的变化。

毛沸石 毛沸石是一种富碱沸石，其 Si/Al 比值为3.0—3.5，因此该比值范围的低硅一端相当于水化的碱性长石。 Fe^{3+} 可以置换高达15%的 Al 。在一些低温沉积毛沸石中，钠一般超过钾（表3；图1），虽然埃伯利（1963）所描述的毛沸石含钾比含钠多得多。基于无水的主要成分，沉积毛沸石在化学成分上可以重叠更富含硅质的钙十字沸石（图1）。海伊和费杰（1961）曾提到，毛沸石和冈纳德（1891）所描述的菱钾沸石是相同的，菱钾沸石的分析数据显示的 Si/Al 比值为2.4。如果这一分析准确地说明尚未肯定的毛沸石，则毛沸石（二菱钾沸石）可以在成分上广泛地重叠钙十字沸石。

沉积毛沸石形成杆状或针状晶体，这些晶体的重屈折率比大多数硅质的富碱沸石都高。毛沸石的折光率为： $N_o=1.460\text{—}1.471$ ， $N_e=1.465\text{—}1.474$ 。

片沸石结构族 片沸石和斜发沸石是同一结构类型的沸石， Si/Al 比值的变化为2.7—5.0，而且可以从完全钙型变到以碱型为主。置换作用的程度目前是个有争论的问题。穆普顿（1960）象海伊和班尼斯特（1934）所做的那样，把斜发沸石基本上规定为片沸石结构族的高硅沸石；他曾提出片沸石的 Si/Al 比值介于2.75—3.25之间，斜发沸石的为4.25—5.0。马森和桑德（1960）完全相反地主张，这种差异主要在于 Ca 和碱金属的含量：片沸石中 Ca 占优势，而在斜发沸石中则是 $\text{Na} + \text{K}$ 占优势。马森和桑德（1960）凭借 N_m 等于或低于1.485来识别斜发沸石，而根据 N_m 等

于或高于1.488来辨认片沸石。穆普顿(1960)所确定的片沸石在大约230℃时经受反应变成“片沸石B”,而斜发沸石在700℃时至少经受15个小时还是稳定的。

这些分类系统都未令人满意地得到证实。以后的工作说明了一些片沸石结构类型的沸石的共同产状,而这些沸石在穆普顿(1960)或马森和桑德(1960)的分类中是没有规律可循的。有些样品具有斜发沸石的物理性质和更合乎片沸石的化学成分。还有一些样品具有介于片沸石和斜发沸石之间的物理性质,或具有片沸石与斜发沸石两者的混合性质。

细粒片沸石和斜发沸石的热性状,可在实验室中通过离子交换而改变:用KCl处理的片沸石获得斜发沸石的热稳定性,用CaCl₂处理的细粒斜发沸石,在加热时就转变成宛如片沸石。从这些实验室实验结果判断,片沸石和斜发沸石(如热性状所确定的那样)可以是同一矿物的离子交换变种。显然需要进行更多的工作才能弄清楚片沸石结构族的结构和成分的关系。

丝光沸石 丝光沸石(=发沸石)在成分上极其近似于斜发沸石。大多数丝光沸石的Si/Al比值介于4.4和5.0之间,几乎完全与斜发沸石的比值一致。主要的区别似乎是在于K/Na+Ca的比值,丝光沸石的该比值一般低于斜发沸石(图1)。丝光沸石的折光率属于斜发沸石的范围(1.472—1.487)。丝光沸石呈现为细长的纤维、棉花状集合体和短粗晶体。

沉积岩的丝光沸石和斜发沸石常常被混淆,部分原因是由于达纳(1892)的丝光沸石晶体学数据所依据的矿物。随后被沙勒(1932)作为他的标准斜发沸石,而海伊和班尼斯特(1934)则指出这是片沸石结构类型的富硅沸石。直至最近,所有报导产于沉积岩中的丝光沸石均被认为是可疑的。用X-射线衍射进行鉴定,证明丝光沸石是更常见的低温沉积沸石矿物之一。

沉积岩中沸石矿物的鉴定

X-射线衍射是现代对沉积岩中沸石进行鉴定的基础。全岩

粉末样品的常规X-射线衍射仪分析通常便能鉴定出样品中高达10%的沸石。样品中沸石含量低于10%时，通常必须通过重液或手选来加以富集，然后才能用X-射线方法精确地进行鉴定。迪尔等人（1963）所确定的沸石 d 间距值可能是最有用的鉴定表。

单是光学数据就足以鉴定一些沉积沸石中的较大晶体，而且对于X-射线资料的补充也是必要的。例如，折光率曾被马森和桑德（1960）用作为区分斜发沸石与片沸石的最有鉴定意义的非化学标准。 $n \cong 1.500$ 的浸油对于区分类似X-射线图谱的钙十字沸石（ $n < 1.500$ ）和斜长石-高岭石混合物（ $n > 1.500$ ）是有效的。虽然折光率和重折率本身通常不适用于细粒沸石矿物的识别，但是，浸油对于迅速区分沸石岩与非沸石岩一般是很有用的。

为了鉴别具有离子交换和分子筛性质的沸石族矿物（例如菱沸石、钙十字沸石、斜发沸石和毛沸石），赫尔弗里希（1964）曾提出一种化学方法，这种方法适用于野外工作和实验室研究。

许多含沸石沉积岩在野外通常是可以识别并填图的，沸石组合的地质意义在很大程度上取决于对野外关系的了解。粗粒的方沸石岩一般可用放大镜来鉴定，而主要由钙十字沸石、斜发沸石、毛沸石或丝光沸石组成的凝灰岩往往可以凭借其白色至淡黄橙色、白垩状外貌和低的比重而区别于非沸石岩。在某些沉积岩中，一些纤维状的毛沸石晶体可以用放大镜识别。浊沸石常常可以其白色、珍珠光泽和在风化露头上的脱水产物——黄浊沸石的易碎性来辨认。