

关于沸石类矿物命名法的建议(II)

摘 要: 国际矿物学协会(IMA)新矿物及矿物命名委员会(CNMMN)批准的沸石命名法的修改建议的前半部分关于沸石类矿物的命名原则已在本刊 2001 年第 3 期编译发表。本文列出了 13 个系列 82 种沸石矿物和 3 个存疑的物相的中英文名称、简化分子式、单位晶胞分子数、IZA 结构类型符号、典型产地、化学组成特征、空间群对称和晶胞参数,简述了有关结构问题,并列举了各沸石类矿物的主要参考文献。

关 键 词: 沸石类矿物; 矿物命名; 矿物分类

中图分类号: P578.974 文献标识码: A 文章编号: 1007-2802(2002) 03-0158-13

本文为“Recommended nomenclature for zeolite minerals: Report of the Subcommittee on Zeolite of the International Mineralogical Association, Commission on New Minerals and Mineral Names”^① 一文的组成部分。

文中给出了国际矿物学协会新矿物及矿物命名委员会已承认的 82 种沸石类矿物的矿物中英文名称、简化分子式、单位晶胞分子数、国际沸石协会结构委员会确定的结构类型代码(由三个大写英文字母构成)、典型产地、目前已知的矿物化学组成范围、空间群对称和结晶学参数,以及有关结构的简要描述和主要参考文献。其中部分矿物构成 13 个化学组成系列,其余则为不构成系列的矿物种。

需要说明的是,文中给出的简化分子式只是一个表达式而不是“理想分子式”。许多沸石化学组成中的 Si:Al 比值,或者 Si、Al、P、Be、Zn(可能还有其他元素)在四面体中的占位度变化很大。可交换的格架外阳离子的变化也是天然沸石类矿物的一个特征。随着格架外阳离子个数的增加、尺寸的增大、温度的升高和 $P(\text{H}_2\text{O})$ 的降低,水的含量降低,这些变化对于岩石学、地球化学及环境和实验等方面可能具有重要意义。

过去有人认为简化分子式就是“理想分子式”,实际上这只是一种主观愿望。有证据表明天然产出的方沸石的化学组成是其形成的化学环境的函数。在低 Si 活度的环境中(如强烈蚀变的贫硅碱性岩中),天然方沸石的 Si:Al 比值可达 1.5。在与石英平衡的变质岩中,方沸石的化学组成比起假定的 Si

Al = 2 更为富 Si。在含有硅质火山玻璃或比起与石英共存产生更高的硅活度的其他氧化硅源的天然环境中,方沸石的 Si:Al 比值可达 3。同样的情况亦出现在片沸石和其他沸石中。假如所谓“理想”的含义是指平衡,则可以理解为结晶作用过程中化学的(和 $p-t$)环境的函数,而不是简单的晶体结构的函数。不同的 Si:Al 比值会影响到格架中有序的不同样式。故此应当避免将“理想的”这一术语应用于沸石的简化分子式或平均分子式。

国际沸石协会结构委员会确定的沸石结构类型代码由三个大写字母组成。字母前面加连字符者表示四面体格架中含有断键。

文中给出了每种沸石目前已知的 Si 原子在四面体位的比值(T_{Si}),或其变化范围。多数沸石的 T_{Si} 值变化较大。目前报道的数值也许不能充分表达其变化范围(对于较稀有的沸石来说尤甚)。

多数沸石存在一种以上的空间群对称系由格架外阳离子的有序-无序关系的变化所致。许多沸石的晶胞尺寸亦变化较大,这是由于其化学组成、有序程度和水化程度变化的结果。

以下是已被承认的 82 种沸石矿物的简要描述。

斜碱沸石(amicite), $\text{K}_4\text{Na}_4[\text{Al}_8\text{Si}_8\text{O}_{32}] \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, $Z = 1$, GIS。典型产地:德国西南部的 Hlwenegg(第三系黄长石-霞石火山岩)。典型产地的样品中含有少量 Ca, $T_{\text{Si}} = 0.51, 0.49$ 。单斜晶系, $I2$, a 1.022 6(1), b 1.042 2(1), c 0.988 4(1) nm, β 88.32(2)°。与水钙沸石一样,格架以弯曲的双链为特征。Si、Al 和 Na、K 的有序分布使得对称由 $I4/$ *amd* 降低为 $I2$ 。

收稿日期: 2001-09-17

注: ①本文系据国际矿物学协会(IMA)新矿物及矿物命名委员会(CNMMN)“沸石专业委员会(IZA)的报告”编译。原文由 D. S. Coombs(主席)等 18 名成员署名发表,原载 The Canadian Mineralogist, 1997, 35: 1571-1606; 前半部分的中文编译刊载于本刊 2001 年第 3 期。

主要参考文献: Alberti *et al.* (1979) *Acta Crystallogr.*, B35, 2886~ 2889, Khomyakov *et al.* (1979), *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 263: 978– 980 (1982) (Russ.).

铵白榴石 (ammonioleucite), $(\text{NH}_4)[\text{AlSi}_2\text{O}_6]$, $Z = 16$, ANA。典型产地: 日本群马县藤冈的多多良川。样品中含 K, $T_{\text{Si}} = 0.70$ 。

四方晶系, $I4_1/a$, a 1.321 4(1), c 1.371 3(2) nm。

主要参考文献: Hori *et al.* (1986), *Am. Mineral.*, 71: 1022– 1027。

方沸石 (analcime), $\text{Na}[\text{AlSi}_2\text{O}_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$, $Z = 16$, ANA, 典型产地: 意大利塞克劳皮恩岛卡塔恩斯附近。多数样品分析结果表明 Na 是唯一主要的格架外阳离子, 但是方沸石与铯沸石 (可能与斜钙沸石) 形成连续系列。 T_{Si} 变化范围较大, 为 0.59~ 0.73。随着 Si 增加, Na、Al 减少和 H_2O 增加。

格架结构为等轴晶系, $Ia\bar{3}d$, a 1.372 5 nm。实际对称变化较多, 分别有: $I4_1/a\bar{c}d$, a 1.372 3(7), c 1.368 6(10) nm; a 1.372 1(1), c 1.373 5(1) nm; $I4_1/a$; $Ibca$, a 1.373 3(1), b 1.372 9(1), c 1.371 2(1) nm; a 1.372 7(2), b 1.371 4(2), c 1.374 0(2) nm; 2 次轴平行于立方单胞 [100] 和 [110] 方向的单斜对称; 三斜对称, a 1.368 24(5), b 1.370 44(6), c 1.370 63(5) nm, α 90.158(3)°, β 89.569(3)°, γ 89.543(3)°; 还可能有三方对称。

主要参考文献: Cho & Liou (1987), *J. Petro.*, 28: 417– 443。

板沸石 (barrerite), $\text{Na}_2[\text{Al}_2\text{Si}_7\text{O}_{18}] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $Z = 8$, STI。典型产地: 意大利萨丁尼亚 Capo Pula。美国阿拉斯加 Kuiu 岛亦有产出。 $T_{\text{Si}} = 0.77, 0.78$ 。典型样品的经验分子式为: $(\text{Na}_{5.45} \text{K}_{1.06} \text{Ca}_{0.84} \text{Mg}_{0.17})[\text{Al}_{8.19} \text{Fe}_{0.01} \text{Si}_{27.22} \text{O}_{72}] \cdot 25.78\text{H}_2\text{O}$ 。

斜方晶系, $Amma$ 或 $Ammm$, a 1.364 3(2), b 1.820 0(3), c 1.784 2(3) nm。

结构类似于辉沸石和淡红沸石, 但由于格架外阳离子的分布引起格架内部的旋转平移造成对称和空间群的变化。

主要参考文献: Passaglia & Pongiluppi (1974), *Lithos.*, 7: 69– 73; Passaglia & Pongiluppi (1975), *Mineral Mag.*, 40: 208。

贝尔伯格石 (bellbergite), $(\text{K}, \text{Ba}, \text{Sr})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2(\text{Ca}, \text{Na})_4[\text{Al}_{18}\text{Si}_{18}\text{O}_{72}] \cdot 30\text{H}_2\text{O}$, $Z = 1$, EAB。典型(唯一

的)产地: 德国梅因附近的贝尔伯格火山。Ca 为最主要的格架外阳离子。 $T_{\text{Si}} = 0.51$ 。

六方晶系, 可能的空间群为: $P6_3/mmc$, $P-62c$ 和 $P6_3mc$, a 1.324 4(1), c 1.598 8(2) nm。

格架结构与合成沸石 TMA-EAB 相同。

主要参考文献: R dinger B. *et al.* (1993), *Mineral. Petrol.*, 48: 147– 152。

硅锂铝石 (bikitaite), $\text{Li}[\text{AlSi}_2\text{O}_6] \cdot \text{H}_2\text{O}$, $Z = 2$, BIK。典型产地: 津巴布韦的比吉塔。 $T_{\text{Si}} = 0.67$ 。

单斜晶系, $P2_1$, a_0 为 0.861 3(4), b 0.496 2(2), c 0.760 0(4) nm, β 114.45(1)°, 该单胞中 Si、Al 部分有序分布。Si、Al 分布的高度有序化造成对称降低为三斜晶系, 空间群 $P1$, a 0.860 6(1), b 0.495 3(1), c 0.759 9(1) nm, α 89.89(2)°, β 114.42(2)°, γ 89.96(2)°。

主要参考文献: Hurlbut (1957), *Am. Mineral.*, 42: 792– 797。

伯格石 (boggssite), $\text{Ca}_8\text{Na}_3[\text{Al}_{19}\text{Si}_{77}\text{O}_{192}] \cdot 70\text{H}_2\text{O}$, $Z = 1$, BOG。典型产地: 美国俄勒冈州哥伦比亚县 Golble 附近的玄武岩中。典型矿物化学组成接近上述分子式, 并含少量 Fe、Mg 和 K。产于南极亚当森山的简化分子式为: $\text{Ca}_6\text{Na}_5\text{K}[\text{Al}_{18}\text{Si}_{78}\text{O}_{192}] \cdot 70\text{H}_2\text{O}$, 并含少量的 Fe、Mg、Sr 和 Ba, $T_{\text{Si}} = 0.81$ 。

斜方晶系, $Imma$, a 2.023 6(2), b 2.379 8(1), c 1.279 8(1) nm, Si、Al 高度无序。

主要参考文献: Pluth *et al.* (1990), *Am. Mineral.*, 75: 501– 507。

锶沸石 (系列) (brewsterite (series)), $(\text{Sr}, \text{Ba})_2[\text{Al}_4\text{Si}_{12}\text{O}_{32}] \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, $Z = 1$, BRE。

单斜晶系 ($P2_1/m$ 或 $P2_1$) 或三斜晶系。结构为平行于 (010) 的似层状。

锶沸石-Sr (brewsterite-Sr), $(\text{Sr}, \text{Ba})_2[\text{Al}_4\text{Si}_{12}\text{O}_{32}] \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, $Z = 1$, BRE。典型产地: 苏格兰阿格尔斯特朗添。Sr 为最主要的格架外阳离子。 $T_{\text{Si}} = 0.74 \sim 0.75$ 。

单斜晶系, $P2_1/m$, a 0.679 3(2), b 1.757 3(6), c 0.775 9(2) nm, β 94.54(3)°, 该晶胞参数样品的化学组成为: $(\text{Sr}_{1.42} \text{Ba}_{0.48} \text{K}_{0.02})[\text{Al}_{4.12} \text{Si}_{11.95} \text{O}_{32}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。Si、Al 分布部分有序。

主要参考文献: Schlenker *et al.* (1977), *Acta Crystallogr.*, B33: 2907– 2910。

锶沸石-Ba(brewsterite-Ba), Ba 为最主要的格架外阳离子。典型产地: 美国纽约州刘易斯县哈里斯韦尔附近的硅灰石矿山。意大利的利古瑞亚也有产出。 $T_{Si} = 0.73 \sim 0.74$ 。

单斜晶系, $P2_1/m$ 或 $P2_1$, a 0.678 0(3), b 1.759 9(9), c 0.773 3(2) nm, β 94.47(3)°, 该晶胞参数样品中每 16 个氧原子含有 0.85 个 Ba。

主要参考文献: Robinson & Grice(1993), Can. Mineral., 31: 687–690。

菱沸石(系列)[chabazite(series)], $(Ca_{0.5}, Na, K)_4 [Al_4Si_8O_{24}] \cdot 12H_2O$, $Z = 1$ (三方单胞), CHA。以其在自然界发现的频次为序, 该系列有 Ca 、 Na 和 K 为主的 3 个矿物种。偶尔含有 Sr 和 Mg , Ba 则更为少见。 T_{Si} 的变化范围宽(0.58~0.81)。

格架的对称三方晶系($R-3m$), $a \approx 1.32$, $c \approx 1.51$ nm(假六方单胞)。Si、Al 分布的部分有序化使得对称降低为三斜($P-1$), $a \approx 0.94$, $b \approx 0.94$, $c \approx 0.94$ nm, $\alpha \approx 94^\circ$, $\beta \approx 94^\circ$, $\gamma \approx 94^\circ$ 。

主要参考文献: Mazzi & Galli(1983), Neues Jahrb. Mineral., Monatsh., 461–480。

菱沸石-Ca(chabazite-Ca), 为该系列中最常见的矿物种, 其中 Ca 为最主要的格架外阳离子, 其他阳离子变化较大。 T_{Si} 的变化范围为 0.58~0.80。意大利瓦尔迪发萨的科尔地拉瑞斯产出的菱沸石-Ca 的化学组成为: $(Ca_{1.86}Na_{0.03}K_{0.20}Mg_{0.02}Sr_{0.03}) [Al_{3.98}Fe_{0.01}Si_{8.05}O_{24}] \cdot 13.16H_2O$, 由该样品获得的假六方单胞为 a 1.379 0(5), c 1.504 0(4) nm。

主要参考文献: Passaglia(1970), Am. Mineral., 55: 1278–1301。

菱沸石-Na(chabazite-Na), Na 为最主要的格架外阳离子, 其他阳离子变化较大。 T_{Si} 为 0.62~0.79。意大利西西里岛的阿希特瑞索视为典型产地, 其化学组成为: $(Na_{3.11}K_{1.05}Ca_{0.19}Mg_{0.06}Sr_{0.05}) [Al_{4.53}Fe_{0.01}Si_{7.40}O_{24}] \cdot 11.47H_2O$, 由该样品获得的六方单胞为 a 1.386 3(3), c 1.516 5(3) nm。

过去曾经用碱菱沸石(herschelite)表示具板状习性和高钠含量的菱沸石, 现已被废弃。

主要参考文献: Passaglia(1970), Am. Mineral., 55: 1278–1301。

菱沸石-K(chabazite-K), K 为最主要的格架外阳离子, 其他阳离子变化较大。 T_{Si} 的变化范围为 0.60~0.74。意大利那不勒斯考兰诺视为典型产

地, 其化学组成为: $(K_{2.06}Na_{0.98}Ca_{0.46}Mg_{0.10}Sr_{0.01}) [Al_{4.37}Fe_{0.08}Si_{7.60}O_{24}] \cdot 11.42H_2O$, 由该样品的六方单胞为 a 1.384 9(3), c 1.516 5(3) nm。

主要参考文献: De Gennaro & Franco(1976), Rend. Accad. Naz. Lincei, 40: 490–497。

水硅锰钙铍石(chiavennite), $CaMn [Be_2Si_5O_{13}(OH)_2] \cdot 2H_2O$, $Z = 4$, -CHI。典型产地: 意大利伦巴第的恰温那。有限的分析数据表明, 四面体位中可有高达 0.72 个 Al 和 0.15 个 B 原子, 此外含有一定量的格架外阳离子 Fe 和 Na。 T_{Si} 的变化范围为 0.63~0.68。

斜方晶系, $Pnab$, a 0.872 9(5), b 3.132 6(11), c 0.490 3(2) nm。

结构为由 4 个相连的 $[SiO_4]$ 四面体和三个相连的 $[BeO_4]$ 四面体组成的格架具有断键的 Ca、Mn 铍硅酸盐。

主要参考文献: Bondi *et al.* (1983), Am. Mineral., 68: 623–627。

斜发沸石(系列)[clinoptilolite(series)], $(Na, K, Ca_{0.5}, Sr_{0.5}, Ba_{0.5}, Mg_{0.5})_6 [Al_6Si_{30}O_{72}] \cdot \sim 20H_2O$, $Z = 1$, HEU。典型产地: 美国怀俄明州胡度山以东的风化玄武岩中。

阳离子含量变化大, 已知有 Ca、Na 和 K 为主的化学组成, 时含一定量的 Sr、Ba 和 Mg, 亦有可能含 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 。据 Pirsson(1890) 的分析结果, 其中 K 为最富的阳离子。因此, 斜发沸石-K 为该系列的典型矿物种, 其 T_{Si} 的变化范围为 0.80~0.84。

具有相同的格架构造, 但 $T_{Si} < 0.80$, Si/Al < 4.0 的矿物则归属于片沸石。片沸石和斜发沸石形成一个连续系列。

单斜晶系, $C2/m$ 或 $C2$ 或 Cm 。结构精化表明: 与片沸石比较斜发沸石中的格架外阳离子的位置有变化, 这种变化是水化程度的函数。

主要参考文献: Armbruster(1993), Am. Mineral., 78: 260–264。

斜发沸石-K(clinoptilolite-K), K 为最富的格架外阳离子, T_{Si} 的变化范围为 0.80~0.83。

单斜晶系, $C2/m$ 或 $C2$ 或 Cm , a 1.768 8(16), b 1.790 2(9), c 0.740 9(7) nm, β 116.50(7)°, 该晶胞参数的样品来自日本的近海钻孔, 其化学组成为: $(K_{4.72}Na_{0.85}Ca_{0.04}Sr_{0.37}Mg_{0.19}Fe_{0.05}Mn_{0.01}) [Al_{6.52}Si_{29.38}O_{72}] \cdot nH_2O$ 。

主要参考文献: Ogiwara & Iijima (1990), *Eur. J. Mineral.*, 2: 819–826.

斜发沸石-Na(*clinoptilolite*-Na), Na 为最富的格架外阳离子, 其他阳离子含量变化大, T_{Si} 为 0.80~0.84。美国加利福尼亚州圣伯那丁诺县猫头鹰峡谷口以东约 1.6 km 的巴斯托建造可视为典型产地。

单斜晶系, $C2/m$ 或 $C2$ 或 Cm , a 1.762 7(4), b 1.795 5(4), c 0.739 9(4) nm, β 116.29(2)°, 求得该晶胞参数样品的化学组成为 $(Na_{3.78}K_{1.31}Ca_{0.61}Ba_{0.09}Mg_{0.23}Mn_{0.01})[Al_{6.61}Fe_{0.16}Si_{29.19}O_{72}] \cdot 20.4H_2O$ 。

主要参考文献: Sheppard & Gude (1969), *U. S. Geol. Serv. Prof. Pap.*, 634: 1–35.

斜发沸石-Ca(*clinoptilolite*-Ca), Ca 为最富的格架外阳离子, 其他阳离子含量变化大, T_{Si} 为 0.80~0.84。日本福岛县的来马山口为典型产地。

单斜晶系, $C2/m$ 或 $C2$ 或 Cm , a 1.766 0(4), b 1.796 3(5), c 0.740 0(3) nm, β 116.47(3)°, 求得该晶胞参数样品的化学组成为 $(Ca_{1.90}Na_{1.76}K_{1.05}Mg_{0.17})[Al_{6.72}Si_{29.20}O_{72}] \cdot 23.7H_2O$ 。

主要参考文献: Koyama & Takuchi (1977), *Z. Kristallogr.*, 145: 216–239.

刃沸石(*cowlesite*), $Ca[Al_2Si_3O_{10}] \cdot 5.3H_2O$, $Z=52$ (IZA 的结构代码未经指派)。典型产地: 美国俄勒冈州哥伦比亚县 Goble 北西 0.65 km。Ca 可被少量的 Na、K、Mg、Sr、Ba 和 Fe 替换。 T_{Si} 为 0.60~0.62。

斜方晶系, $P222_1$ 或 $Pmmm$, $Pmm2$, $P2nm$, $P222$, a 2.324 9(5), b 3.062 9(3), c 2.496 4(4) nm。结构和格架阳离子的有序度未经测定。

主要参考文献: Vezzalini *et al.* (1992), *Mineral. Mag.*, 56: 575–579.

环晶沸石(系列) [*dachiardite*(series)], $(Ca_{0.5}, Na, K)_{4-5}[Al_{4-5}Si_{20-19}O_{48}] \cdot 13H_2O$, $Z=1$, DAC。典型产地: 意大利爱尔巴地区坎普的圣皮埃罗。可能含有少量 Cs 和 Sr。 T_{Si} 的范围为 0.78~0.86。

单斜晶系, 格架对称 $C2/m$, 实际对称 Gm 。结构由五元环和四元环交替连接形成的复杂链组成, 这种结构的复杂性常常导致 X 粉末衍射线弥散呈条纹状。

主要参考文献: Gottardi & Meier (1963), *Z. Kristallogr.*, 119: 53–64.

环晶沸石-Ca(*dachiardite*-Ca), 为继承原系列名称的新名称, Ca 为最主要的格架外阳离子。 T_{Si} 为

0.78~0.83。

单斜晶系, 格架对称 $C2/m$, 实际对称 Cm 。 a 1.867 6, b 0.751 8, c 1.024 6 nm, β 107.87°, 求得该参数样品的化学组成为 $(Ca_{1.54}Na_{0.42}K_{0.92}Cs_{0.11}Sr_{0.12}Ba_{0.01})[Al_{4.86}Fe_{0.02}Si_{18.96}O_{48}] \cdot 12.56H_2O$ 。Si、Al 分布部分有序。

主要参考文献: Bonardi (1979), *Mineral. Mag.*, 43: 548–549.

环晶沸石-Na(*dachiardite*-Na), Na 为最主要的格架外阳离子。意大利波尔扎诺的 Alpe di Siusi 可视为典型产地。由 7 个产地获得的有效分析数据表明, Na:K:Ca 的比值变化较大。 T_{Si} 为 0.81~0.86。

单斜晶系, a 1.864 7(7), b 0.750 6(4), c 1.029 6(4) nm, β 108.37(3)°, 求得该晶胞参数的样品的化学组成为 $(Na_{2.59}K_{0.71}Ca_{0.53}Mg_{0.04}Ba_{0.01})[Al_{4.27}Fe_{0.11}Si_{19.61}O_{48}] \cdot 13.43H_2O$ 。衍射点弥散表明为无序结构。

主要参考文献: Alberti (1975), *Contrib. Mineral. Petrol.*, 49: 63–66.

钡沸石(*edingtonite*), $Ba[Al_2Si_3O_{10}] \cdot 4H_2O$, $Z=2$, EDI。典型产地: 苏格兰格拉斯哥市基尔帕特里克山。少量的 K、Na 和 Ca 可能会替换 Ba。 T_{Si} 为 0.59~0.61。

斜方晶系, $P2_12_12_1$, a 0.955 0(10), b 0.966 5(10), c 0.652 3(5) nm (瑞典威斯特高特兰的样品)。典型产地的样品为四方晶系, $P-42_1m$, a 0.958 4(5), c 0.652 4(3) nm。有证据表明存在三斜对称的可能性。斜方对称的钡沸石接近完全的(Si, Al)有序; 四方对称则为(Si, Al)无序的钡沸石。

主要参考文献: Galli (1976), *Acta Crystallgr.*, B32: 1623–1627.

柱沸石(*epistilbite*), $(Ca, Na_2)[Al_2Si_4O_{12}] \cdot 4H_2O$, $Z=4$, EPI。典型产地: “冰岛”和“Farø 岛”。Na/(Na+Ca) 比值为 0.1~0.3, 含有少量 K 和 Ba, T_{Si} 为 0.72~0.77。

单斜晶系, $C2$, a 0.910 1(2), b 1.774 1(1), c 1.022 6(1) nm, β 124.66(2)° (样品产于冰岛特依加洪); 三斜晶系, $C1$, a 0.908 3(1), b 1.773 8(3), c 1.020 9(1) nm, α 8.995(1), β 124.66(2)°, γ 90.00(1) (样品产于瑞士瓦来斯的基贝尔斯巴赫)。格架结构属于丝光沸石族。早期的工作认为其空间群为 $C2/m$ 。Alberti 等 (1985) 提出了空间群为 $C2$ 的无对

称中心的四面体构型的晶畴结构。Yang 和 Armbruster(1996) 指出这种晶畴可以由局部的镜面引起的(010)无序加以调制,(Si, Al)部分有序的增高导致三斜对称。

主要参考文献: Alberti *et al.* (1985) *Z. Kristallgr.* 173: 257–265; Yang & Armbruster(1996) *Eur. J. Mineral.* 8, 263–271。

毛沸石(系列) [erionite(series)], $K_2(Na, Ca_{0.5})_8[Al_{10}Si_{26}O_{72}] \cdot 30H_2O$, $Z=1$, ERI。典型产地: 美国俄勒冈州的 Durkee 流纹质熔结火山灰流凝灰岩。主要的格架外阳离子有 Ca、Na 和 K, 亦可能有 Mg 存在。有证据表明痕量的 Fe 会进入四面体位置和格架外阳离子位置。在典型样品中, Ca 是最主要的格架外阳离子。 T_{Si} 为 0.68~0.79。

六方晶系, $P6_3/mmc$, a 1.315, c 1.502 nm。结构与钾沸石相关, 二者能形成具有堆垛层错的连生体。毛沸石可在插晶菱沸石上形成取向附生生长。这三种矿物都具有 4、6 和 8 元环, 但其单一的和双 6 元环的堆垛方式不同, 导致三者的 c 平移周期、孔笼的尺寸和形状不同。(Si, Al) 无序分布。

主要参考文献: Passaglia *et al.* (1998), *Am. Mineral.*, 83: 577–589; Schlenker *et al.* (1977) *Acta Crystallogr.* B33, 3265–3268。

毛沸石-Na(erionite-Na), Na 是最主要的格架外阳离子。美国加利福尼亚州的卡迪山为典型产地。 T_{Si} 的变化范围为 0.74~0.79。 a 1.321 4(3), c 1.504 8(4) nm, 获得该晶胞参数的典型样品的化学组成为: $(Na_{5.59}K_{2.00}Ca_{0.11}Mg_{0.18}Fe_{0.02})[Al_{7.57}Si_{28.27}O_{72}] \cdot 24.60H_2O$ 。

主要参考文献: Sheppard *et al.* (1965) *Am. Mineral.* 50, 244–249; Sheppard & Gude (1969) *Am. Mineral.* 54, 875–886。

毛沸石-K(erionite-K), K 是最主要的格架外阳离子。美国俄勒冈州的罗马产出的毛沸石-K 可视为典型样品, 其中 K 含量占格架外阳离子总量的 58%, 含一定量的 Na、Ca 和 Mg。 T_{Si} 为 0.74~0.79。 a 1.322 7(1), c 1.5057(3) nm, 该样品来自德国奥特恩伯格, 其化学组成为: $(K_{3.32}Na_{2.31}Ca_{0.99}Mg_{0.06}Ba_{0.02})[Al_{8.05}Si_{28.01}O_{72}] \cdot 31.99H_2O$ 。

主要参考文献: Passaglia *et al.* (1998), *Am. Mineral.*, 83: 577–589; Eberly(1964) *Am. Mineral.* 49, 30–40。

毛沸石-Ca(erionite-Ca), Ca 是最主要的格架外

阳离子。日本新岛县间瀨产出的毛沸石-Ca 为典型样品。 T_{Si} 为 0.68~0.79。 a 1.333 3(1), c 1.509 1(2) nm, 该样品的化学组成为: $(Ca_{2.28}K_{1.54}Na_{0.95}Mg_{0.86})[Al_{8.83}Si_{26.90}O_{72}] \cdot 31.35H_2O$ 。

主要参考文献: Harata *et al.* (1967), *Am. Mineral.*, 52: 1785–1794。

八面沸石(系列) [faujasite(series)], $(Na, Ca_{0.5}, Mg_{0.5}, K)_x[Al_xSi_{12-x}O_{24}] \cdot 6H_2O$, $Z=16$, FAU。典型产地: 德国凯塞斯吐赫的萨斯巴赫。主要格架外阳离子常见有 Na、Ca 和 Mg, 有时含 K 与 Sr。 Si/Al 比值可变, T_{Si} 为 0.68~0.74, 个别为 0.64。上述分子式中的 x 为 3.2~3.8, 个别为 4.4。

等轴晶系, $Fd-3m$, a 2.465 nm。

格架结构异常开放, 具有完整的方钠石孔笼, 并具有 12 元环开口的异常大的孔道。每个单胞可容纳 260 个分子 H_2O 。

主要参考文献: Ibrahim & Hall (1995), *Eur. J. Mineral.*, 7: 1129–1135; Baur(1964), *Am. Mineral.*, 49: 697–704。

八面沸石-Na(faujasite-Na), Na 是最主要的格架外阳离子。典型产地: 德国凯塞斯吐赫的萨斯巴赫。 T_{Si} 为 0.70~0.74, 个别为 0.64。

晶胞参数 a 的变化范围为 2.463 8(3)~2.472 8(2) nm。

主要参考文献: Ibrahim & Hall (1995), *Eur. J. Mineral.*, 7: 1129–1135。

八面沸石-Ca(faujasite-Ca), Ca 是最主要的格架外阳离子。典型样品产自德国汉森的瓦基尔斯伯格伊尔比施奥森附近的哈斯尔伯恩的岩芯中。 T_{Si} 为 0.68~0.73。该样品的化学组成为: $(Ca_{1.32}Na_{0.56}Mg_{0.26}K_{0.04})[Al_{3.83}Si_{8.19}O_{24}] \cdot nH_2O$, $Z=16$ 。

晶胞参数 a 的报道值为 2.471 4(4) 和 2.478 3(3) nm。

主要参考文献: Ibrahim & Hall (1995), *Eur. J. Mineral.*, 7: 1129–1135。

八面沸石-Mg(faujasite-Mg), Mg 是最主要的格架外阳离子。典型样品为宾夕法尼亚大学典藏的德国凯塞斯吐赫的样品。该样品的化学组成为: $(Mg_{15.3}Ca_{4.0}Na_{7.0}K_{6.4})[Al_{56}Si_{1137}O_{384}] \cdot nH_2O$, $Z=1$ 。

主要参考文献: Rinaldi *et al.* (1975), *Neues Jahrb., Mineral., Monatash.*, 433–443。

镁碱沸石(系列)(ferrierite(series)), (K, Na, Mg_{0.5}, Ca_{0.5}) [Al₆Si₃₀O₇₂] • 18H₂O, Z = 1, FER。典型产地: 加拿大不列颠哥伦比亚省坎卢普斯湖。主要的格架外阳离子为 Mg、K、Na 和 Ca, 含少量的 Fe、Ba 和 Sr。T_{Si} 为 0.80~ 0.88。

格架的统计对称为斜方晶系, *Immm*。真实对称斜方晶系, *Pnmm*, *a* 1.923, *b* 1.415, *c* 0.750 nm; 单斜晶系, *P2₁/n*, *a* 1.889, *b* 1.418, *c* 0.747 nm, β 90.00°。

结构系由 Vaughan (1966) 首次测定。格架中 (Si, Al) 部分有序分布。

主要参考文献: Vaughan (1966), *Acta Crystallogr.*, 21: 983– 990; Alberti & Sabelli (1987) *Z. Kristallogr.*, 178: 249– 256。

镁碱沸石-Mg (ferrierite-Mg), Mg 是最主要的格架外阳离子, 常常含有 Na、K 和少量的 Ca。T_{Si} 为 0.80~ 0.84。真实的对称斜方晶系, *Pnmm*, *a* 1.923 1(2), *b* 1.414 5(2), *c* 0.749 9(1) nm, 该样品产于意大利萨丁岛的蒙那斯台尔, 化学组成: (Mg_{2.02} K_{1.19} Na_{0.56} Ca_{0.52} Sr_{0.14} Ba_{0.02}) [Al_{6.89} Si_{29.04} O₇₂] • 17.86 H₂O。

主要参考文献: Alberti & Sabelli (1987), *Z. Kristallogr.*, 178: 249– 256。

镁碱沸石-K (ferrierite-K), K 是最主要的格架外阳离子。美国加利福尼亚州的圣蒙妮卡山的镁碱沸石-K 为典型样品。其化学组成为: (K_{2.05} Na_{1.14} Mg_{0.74} Ca_{0.14}) [Al_{5.00} Si_{31.01} O₇₂] • nH₂O。T_{Si} 为 0.81~ 0.87。

斜方晶系, *a* 1.897 3(7), *b* 1.414 0(6), *c* 0.747 8(4) nm。

主要参考文献: Wise & Tschernich (1976), *Am. Mineral.*, 61: 60– 66。

镁碱沸石-Na (ferrierite-Na), Na 是最主要的格架外阳离子。典型样品产于美国华盛顿州的阿尔通纳。其化学组成为: (Na_{3.06} K_{0.97} Mg_{0.38} Ca_{0.05} Sr_{0.03} Ba_{0.02}) [Al₅ Si₃₁ O₇₂] • 18H₂O。T_{Si} 为 0.85~ 0.88。

单斜晶系, *P2₁/n*, *a* 1.888 6(9), *b* 1.418 2(6), *c* 0.747 0(5) nm, β 90.0(1)°。

主要参考文献: Wise & Tschernich (1976), *Am. Mineral.*, 61: 60– 66。

十字沸石 (garronite), NaCa_{2.5} [Al₆Si₁₀O₃₂] • 14H₂O, Z = 1, GIS。典型产地: 北爱尔兰安特里姆县格兰那瑞福河谷。Ca/(Na+ K) 值可变, 但以 Ca 为

主。典型产地样品的单位分子式中含大约 1.3 个 Na, 一般情况下 (Na+ K) < 0.2。H₂O 的个数为 13.0 ~ 14.0。T_{Si} 为 0.60~ 0.65。Artoli (1992) 以 *I-4m2* 空间群精化获得的晶胞参数为: *a* 0.992 66(2), *c* 1.030 31(3) nm, Schrlöper & Joswig (1997) 以 *I4₁/a* 空间群对不含 Na 的合成十字沸石精化获得的晶胞参数为: *a* 0.987 3(1), *c* 1.028 8(1) nm。格架的结构与水钙沸石相同, 区别在于十字沸石中 (Si, Al) 是无序分布的。

主要参考文献: Walker (1962), *Mineral. Mag.* 33: 173– 186; Artoli (1992), *Am. Mineral.*, 77: 189– 196; Schrlöper & Joswig (1997), *Eur. J. Mineral.*, 9: 53– 65。

锌硅钠石 (gaultite), Na₄ [Zn₂Si₇O₁₈] • 5H₂O, Z = 8, VSV。典型产地: 加拿大魁北克省圣希来尔峰。所报道的分析数据中未检测到其他元素。T_{Si} = 0.78。

斜方晶系, *F2dd*, *a* 1.021 1(3), *b* 3.98 8(2), *c* 1.030 4(4) nm。

这种锌硅酸盐四面体格架以共边的 4 元环和 8 元环的堆垛层为特征。这些结构层由四面体交联。

锌硅钠石与合成沸石 VPI-7 同构, 与铍硅钠石的结构相似。

主要参考文献: Ercit & Van Velthuisen (1994), *Can. Mineral.*, 32: 855– 863。

水钙沸石 (gismondine), Ca[Al₂Si₂O₈] • 4.5H₂O, Z = 4, GIS。典型产地: 意大利罗马附近的 Capo di Bove。(Na+ K) 不超过 0.12 apfu, 其中 K 少于 0.08 apfu, 分析结果所显示的较高的 K 含量是由与其连生的钙十字沸石引起的。可能存在少量的 Sr, T_{Si} 为 0.51~ 0.54。由于 VI 配位和 VII 配位的 Ca 共存, H₂O 为 4.4~ 4.5。

单斜晶系, *P2₁/c*, *a* 1.002 3(3), *b* 1.061 6(5), *c* 0.984 3(15) nm, β 92.42(25)°。

格架结构如同长石, 以四元环的弯曲链为基础, 以 UDD 构型连接。(Si, Al) 分布严格有序。

主要参考文献: Vezzalini & Oberti (1984), *Z. Kristallogr.* 166, 63– 71; Artoli *et al.* (1986) *Zeolites*, 6, 361– 366。

钠菱沸石(系列) [gmelinite(series)], (Na₂, Ca, K₂)₄[Al₈Si₁₆O₄₈] • 22H₂O, Z = 1, GME。建议北爱尔兰安特里姆县格连那姆的小鹿公园和意大利维琴查

的 Montecchio Maggiore 为典型产地。Na 为主的成员最为常见。 T_{Si} 为 0.65~0.72。

六方晶系, $P6_3/mmc$, a 1.362~1.388, c 0.997~1.025 nm。结构与菱沸石相似, 且二者常相互连生, 区别是钠菱沸石的双六元环的堆垛方式不同。(Si, Al) 无序分布。

钠菱沸石-Na(gmelinite-Na), 在钠菱沸石系列中最为常见。常含有 Ca, 含少量 K, 少数样品含 Sr。 T_{Si} 为 0.65~0.71。

六方晶系, $P6_3/mmc$, a 1.375 6(5), c 1.004 8(5) nm。获得该晶胞参数的样品产于澳大利亚的昆士兰, 其化学组成为: $(\text{Na}_{7.61}\text{Ca}_{0.03}\text{K}_{0.16})[\text{Al}_{7.41}\text{Si}_{16.49}\text{O}_{48}] \cdot 21.51\text{H}_2\text{O}$ 。

主要参考文献: Passaglia *et al.* (1978), Neues Jahrb Mineral. Monatsh., 310~324。

钠菱沸石-Ca(gmelinite-Ca), Ca 为最主要的格架外阳离子, 含 Sr, Na 和少量 K。 T_{Si} 为 0.68~0.70。

六方晶系, $P6_3/mmc$, a 1.380 0(5), c 0.996 4(5) nm。获得晶胞参数的样品产于意大利维琴查的 Montecchio Maggiore, 化学组成为: $(\text{Ca}_{2.06}\text{Sr}_{1.35}\text{Na}_{0.78}\text{K}_{0.11})[\text{Al}_{7.82}\text{Si}_{16.21}\text{O}_{48}] \cdot 23.23\text{H}_2\text{O}$ 。

主要参考文献: Passaglia *et al.* (1978), Neues Jahrb Mineral. Monatsh., 310~324。

钠菱沸石-K(gmelinite-K), K 为最主要的格架外阳离子。典型样品产于意大利维琴查的 Fara Vicentina, 其化学组成为: $(\text{K}_{2.72}\text{Ca}_{1.67}\text{Sr}_{0.39}\text{Na}_{0.22}\text{Mg}_{0.13})[\text{Al}_{7.79}\text{Si}_{16.32}\text{O}_{48}] \cdot 23.52\text{H}_2\text{O}$ 。俄罗斯的科拉半岛也有产出。

六方晶系, $P6_3/mmc$, a 1.362 1(3), c 1.025 4(1) nm。

主要参考文献: Vezzalini *et al.* (1990), Neues Jahrb Mineral. Monatsh., 504~516。

戈硅钠铝石(gobbinsite), $\text{Na}_5[\text{Al}_5\text{Si}_{11}\text{O}_{32}] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, $Z=1$, GIS。典型产地: 北爱尔兰安特里姆县戈宾斯地区以南希尔斯港附近的玄武岩岩壁。Na:Ca:Mg:K 比值可变, 其中 Na 最富, $\text{Ca} < 0.6 \text{ apfu}$ 。 T_{Si} 为 0.68~0.70。

斜方晶系, $P/mn2_1$, a 1.010 8(1), b 0.976 6(1), c 1.017 1(1) nm, 样品产于北爱尔兰安特里姆县的双嘴洞, 化学组成为: $(\text{Na}_{2.50}\text{K}_{2.11}\text{Ca}_{0.59})[\text{Al}_{6.17}\text{Si}_{9.98}\text{O}_{32}]; a$ 1.010 27(5), b 0.980 16(5), c 1.016 82

(6) nm, 产于北爱尔兰拉恩的 Magheramome, 化学组成为: $(\text{Na}_{4.3}\text{Ca}_{0.6})[\text{Al}_{5.6}\text{Si}_{10.4}\text{O}_{32}] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 。

格架结构同水钙沸石, 以四元环的弯曲链为基础。由于孔道中阳离子的分布造成格架结构的歪曲, 使对称由四方降低为斜方。(Si, Al) 无序分布。

主要参考文献: Nawaz & Malone (1982), Mineral. Mag., 46: 365~369。

纤沸石(gonnardite), $(\text{Na}, \text{Ca})_{6-8}[(\text{Al}, \text{Si})_{20}\text{O}_{40}] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, $Z=1$, NAT。典型产地: 法国基格那特的 Chaux de Bergonne。

形成广泛的替换系列, 分子式接近于 $\text{Na}_{8-3x}\text{Ca}_{2x}[\text{Al}_{8+x}\text{Si}_{12-x}\text{O}_{40}] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, 含少量 Fe^{3+} 、Mg、Ba、Sr 和 K。 T_{Si} 为 0.52~0.59。

四方晶系, $I-42d$, a 1.321(1), c 0.662 2(4) nm, 样品选自挪威, 化学组成为: $(\text{Na}_{6.42}\text{K}_{0.01}\text{Ca}_{1.50})[\text{Al}_{9.22}\text{Si}_{10.78}\text{O}_{40}] \cdot 12.37\text{H}_2\text{O}$ 。

结构类似于钠沸石, 但 (Al, Si) 无序分布, 且通常含 Ca。

主要参考文献: Alberti *et al.* (1995), Eur. J. Mineral., 7: 501~508。

古柱沸石(goosecreekite), $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $Z=2$, GOO。典型产地: 美国弗吉尼亚诺顿县 Goose Creek 矿坑。已有的化学分析结果严格符合上述分子式, 未检测到其他元素。 $T_{\text{Si}}=0.75$ 。

单斜晶系, $P2_1$, a 0.740 1(3), b 1.743 9(6), c 0.729 3(3) nm, $\beta 105.44(4)^\circ$ 。格架由 4、6 和 8 元环连接形成的平行于 (010) 的结构层组成, 结构与锆沸石有某种类似性。(Al, Si) 分布接近完全有序。

主要参考文献: Rouse & Peacor (1986), Am. Mineral., 71: 1495~1501。

戈塔迪石(gottardiite), $\text{Na}_3\text{Mg}_3\text{Ca}_5[\text{Al}_9\text{Si}_{17}\text{O}_{72}] \cdot 93\text{H}_2\text{O}$, $Z=1$, NES。典型产地: 南极维多利亚高地亚当森山。并为迄今已知的唯一产地, 样品中含少量 K。 $T_{\text{Si}}=0.86$ 。

斜方晶系, 格架对称 $Fmmm$, 真实对称 $Cmca$, a 1.369 8(2), b 2.521 3(3), c 2.266 0(2) nm。

主要参考文献: Alberti *et al.* (1996), Eur. J. Mineral., 8: 69~75。

交沸石(harmotome), $(\text{Ba}_{0.5}, \text{Ca}_{0.5}, \text{K}, \text{Na})_5[\text{Al}_5\text{Si}_{11}\text{O}_{32}] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, $Z=1$, PHI。典型产地: 德国哈兹安德瑞斯堡。Ba 为最主要的格架外阳离子。交沸石与钙十字沸石-Ca 形成连续系列。交沸石(harmotome)

的名称早于钙十字沸石(phillipsite), 尽管有本文的规则 1 的限制, 鉴于历史和应用的原因两个名称均予保留。 T_{Si} 为 0.68~ 0.71。

单斜晶系, $P2_1/m$, a 0.987 9(2), b 1.413 9(2), c 0.869 3(2) nm, β 124.81(1)°。化学组成为: $(\text{Ba}_{1.93}\text{Ca}_{0.46}\text{K}_{0.07})[\text{Al}_{4.66}\text{Si}_{11.29}\text{O}_{32}] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ 。基于压电和光学性质的研究判断真实对称或许无对称中心, 亦或为三斜对称($P2$)。

结构与钙十字沸石相同, (Al, Si) 基本无序分布。

主要参考文献: Cerng *et al.* (1977), Neues Jahrb. Mineral. Abh., 128: 312– 320。

片沸石(系列)(heulandite(series)), $(\text{Ca}_{0.5}, \text{Sr}_{0.5}, \text{Ba}_{0.5}, \text{Mg}_{0.5}, \text{Na}, \text{K})_9[\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}] \cdot \sim 24\text{H}_2\text{O}$, $Z = 1$, HEU。无典型产地。阳离子含量变化很大, 已知有 Ca^{2+} 、 Na^{+} 、 K^{+} 和 Sr^{2+} 为主的化学组成, 有时 Ba 和 Mg 的含量较高。 T_{Si} 为 0.71~ 0.80。格架结构相同, 但 $T_{\text{Si}} \geq 0.80$, $\text{Si}/\text{Al} \geq 4.0$ 的矿物则为斜发沸石。

单斜晶系, 可能的空间群为: $C2/m(I2/m)$ 、 Cm 或 $C2$ 。结构为似层状, (Al, Si) 部分有序分布。

主要参考文献: Merkle & Slaughter (1968), Am. Mineral., 53: 1120– 1138。

片沸石-Ca(heulandite-Ca), 是片沸石系列中最为常见的矿物。Ca 是最主要的格架外阳离子。 T_{Si} 为 0.71~ 0.80。

单斜晶系, 可能的空间群为: $C2/m$ 、 Cm 或 $C2$ 。 a 17.718(7), b 1.789 7(5), c 0.742 8(7) nm, β 116.42(2)°, 样品取自 Fa^Le 岛, 化学组成为: $(\text{Ca}_{3.57}\text{Sr}_{0.05}\text{Ba}_{0.06}\text{Mg}_{0.01}\text{Na}_{1.26}\text{K}_{0.48})[\text{Al}_{9.37}\text{Si}_{26.70}\text{O}_{72}] \cdot 26.02\text{H}_2\text{O}$ ($T_{\text{Si}} = 0.74$)。

主要参考文献: Alberti (1972), Tschemaks. Mineral. Petrogr. Mitt., 18: 129– 146。

片沸石-Sr(heulandite-Sr), Sr 是最主要的格架外阳离子。产于意大利东部 Ligurian 蛇绿岩, 化学组成为: $(\text{Sr}_{1.10}\text{Ca}_{1.76}\text{Ba}_{0.14}\text{Mg}_{0.02}\text{Na}_{0.40}\text{K}_{0.22})[\text{Al}_{9.19}\text{Si}_{26.94}\text{O}_{72}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$, $T_{\text{Si}} = 0.75$ 。

单斜晶系, 可能的空间群为: $C2/m$ 、 Cm 或 $C2$ 。 a 1.765 5(5), b 1.787 7(5), c 0.739 6(5) nm, β 116.65°。

主要参考文献: Lucchetti *et al.* (1982), Neues Jahrb. Mineral. Monatsh., 541– 550。

片沸石-Na(heulandite-Na), Na 是最主要的格架外阳离子。典型产地为美国爱达荷州的查利斯。单

斜晶系, 可能的空间群为: $C2/m$ 、 Cm 或 $C2$ 。 a 1.767 0(4), b 1.798 2(4), c 0.740 4(2) nm, β 116.40(2)°, 化学组成为: $(\text{Na}_{3.98}\text{Ca}_{1.77}\text{K}_{0.35})[\text{Al}_{7.84}\text{Si}_{28.00}\text{O}_{72}] \cdot 21.74\text{H}_2\text{O}$, $T_{\text{Si}} = 0.78$ 。

主要参考文献: Boles (1972), Am. Mineral., 57: 1463– 1493。

片沸石-K(heulandite-K), K 是最主要的格架外阳离子。典型产地为意大利维琴查的 Albero Bassi。单斜晶系, 可能的空间群为: $C2/m$ 、 Cm 或 $C2$ 。 a 1.749 8, b 1.781 6, c 0.752 9 nm, β 116.07°, 化学组成为: $(\text{K}_{2.40}\text{Na}_{0.96}\text{Ca}_{1.64}\text{Mg}_{0.64}\text{Sr}_{0.56}\text{Ba}_{0.12})[\text{Al}_{9.08}\text{Fe}_{0.56}\text{Si}_{26.48}\text{O}_{72}] \cdot 25.84\text{H}_2\text{O}$, $T_{\text{Si}} = 0.73$ 。Nomberg (1990) 曾报道过接近端员的组成: $\text{K}_9[\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}] \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。

主要参考文献: Passaglia (1969), Per. Mineral., 38: 237– 243; Nomberg (1990), Mineral., Mag., 54: 91– 94。

香花石(hsianghualite), $\text{Li}_2\text{Ca}_3[\text{Be}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}]\text{F}_2$, $Z = 8$, ANA。; 典型产地: 中国湖南香花岭。含有少量 Al、Fe、Mg 和 Na, 有 1.28% 的烧失量, $T_{\text{Si}} = 0.48$ 。

等轴晶系, $I2_3$, a 1.286 4(2) nm, 具方沸石型结构, Si 和 Be 交替占据四面体位置。

参考文献: 黄蕴慧等 (1958), 地质月刊, (7): 35。

氯硼硅铝钾石(kalbarsite), $\text{K}_6[\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20}]\text{B}(\text{OH})_4\text{Cl}$, $Z = 2$, ? EDI。典型产地: 俄罗斯科拉半岛希宾碱性岩体中的粗霞正长伟晶岩。 $T_{\text{Si}} = 0.59$ 与 0.61。

四方晶系, $P4_2/c$, a 0.985 1(5), c 1.306 0(5) nm。Si、Al 四面体格架具有含 $\text{B}(\text{OH})_4$ 四面体和 K、Cl 的沿 c 轴的孔道。Smith (1988) 认为属于钡沸石结构类型(EDI)的无水类似物。

主要参考文献: Malinovskii & Belov (1980), Dokl. Akad. Nauk SSSR, 252: 611– 615 (Russ.); Smith (1988), Chem. Rev., 88: 149– 182。

浊沸石(laumontite), $\text{Ca}_4[\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}] \cdot 18\text{H}_2\text{O}$, $Z = 1$, LAU。典型产地: 法国布列塔尼的 Huelgoet 铅矿山。Ca 为最主要的阳离子, 含少量 K 和 Na。 T_{Si} 为 0.64~ 0.70。

单斜晶系, $C2/m$, a 1.484 5(9), b 1.316 7(2), c 0.754 14(8) nm, β 110.34(2)°。结构由 Bartl (1970) 精化, 格架中(Si, Al) 高度有序分布。

主要参考文献: Ambruster & Kohler (1992), Neues

Jahrb. Mineral. Monatsh., 385–397; Bartl (1970)

Neues Jahrb. Mineral. Monatsh., 298–310.

白榴石(leucite), $K [AlSi_2O_6]$, $Z = 16$, ANA。典型产地: 意大利维苏威火山。常见有关 Na 对 K 的少量替换和简化分子式中含 Si 过量的报道。有时含有 Fe^{3+} 。 T_{Si} 为 0.66~0.69。

四方晶系, $I4_1/a$, a 1.309, c 1.375 nm。常温下常为方沸石型结构的等轴晶胞反转位移形成的微细双晶; 在 630 °C 以上稳定, 为等轴对称, 具 $Ia3d$ 空间群。

主要参考文献: Heaney & Veblen (1990) Am. Mineral., 75: 464–476。

插晶菱沸石(系列) [Levyne(series)], $(Ca_{0.5}, Na, K)_6 [Al_6Si_{12}O_{36}] \cdot \sim 17H_2O$, $Z = 3$, LEV。典型产地: Farle 岛。格架外阳离子分别以 Ca 为主和以 Na 为主, 含少量 K, 有时含少量 Sr 或 Ba。Si: Al 比值可变, T_{Si} 为 0.62~0.70。

三方晶系, $R-3m$, a 1.332~1.343, c 2.266~2.301 nm。

单 6 元环和双 6 元环的对垛方式不同于毛沸石和钾沸石的相关结构。

主要参考文献: Galli *et al.* (1981), Zeolites, 1: 157–160。

插晶菱沸石-Ca (Levyne-Ca), Ca 是最主要的格架外阳离子, 产于 Farle 岛, 化学组成接近端员组成: $Ca_3 [Al_6Si_{12}O_{36}] \cdot 17H_2O$ 。 T_{Si} 为 0.62~0.70。

三方晶系, $R-3m$, a 1.333 8(4), c 2.301 4(9) nm, 化学组成为: $(Ca_{2.73}Na_{0.65}K_{0.20}) [Al_{6.31}Si_{11.69}O_{36}] \cdot 16.66H_2O$ 。

主要参考文献: England & Ostwald (1979), Aust. Mineral., 25: 117–119。

插晶菱沸石-Na (Levyne-Na), Na 是最主要的格架外阳离子, 典型样品产于日本的长者原, 化学组成为: $(Na_{3.84}K_{0.38}Ca_{0.89}Mg_{0.08}) [Al_{6.31}Si_{11.69}O_{36}]$ 。 T_{Si} 为 0.65~0.68。

三方晶系, $R-3m$, a 1.338 0(5), c 2.268 4(9) nm。

主要参考文献: Mizuta *et al.* (1974) Geol. Soc. Japen, Mem., 11: 283–290。

铍硅钠石(lovdarite), $K_4Na_{12} [Be_8Si_{28}O_{72}] \cdot 18H_2O$, $Z = 1$, LOV。典型产地为俄罗斯科拉半岛 Lovozero 碱性岩体。实际化学组成中有大约一个 Al 原子替换 Si, 并

伴随有 Na 和 Ca 含量的增加。 $T_{Si} = 0.75$ 。

斜方晶系, $Pma2$, 由于包含 b 面心的晶畴使 a 轴加倍, a 3.957 6(1), b 0.693 08(2), c 0.715 26(3) nm。该结构由 Si 和 Be 的四面体格架组成, 其中 3 元环使得 Be 有可能替换 Si 在其中一个四面体中存在。

主要参考文献: Merlino (1990), Eur. J. Mineral., 2: 819–817。

莫里铅沸石(maricopaite), $(Pb_7Ca_2) [Al_{12}Si_8(O, OH)_{40}] \cdot n(H_2O, OH)$, $n = 32$, $Z = 1$, 结构与 MOR 紧密相关。典型产地: 美国亚利桑那州 Maricopa 县的月亮锚矿山。 $T_{Si} = 0.76$ 。

斜方晶系, $Cm2m$, a 1.943 4(2), b 1.970 2(2), c 0.753 8(1) nm。格架与丝光沸石类似, 但其中含有断键。Pb 原子形成 $Pb_4(O, OH)_4$ 原子簇, 在孔道中具有 Pb_4 四面体。

主要参考文献: Peacor *et al.* (1988), Can. Mineral., 26: 309–313。

针沸石(mazzite), $(Mg_{2.5}K_2Ca_{1.5}) [Al_{10}Si_{26}(O, OH)_2] \cdot 30H_2O$, $Z = 1$, MAZ。典型产地: 法国罗伊尔 Montbrison 附近的橄榄玄武岩中。 $T_{Si} = 0.72$ 。

六方晶系, $P6_3/mmc$, a 1.839 2(8), c 0.764 6(2) nm。格架以堆垛的钠菱沸石型孔笼为特征。(Si, Al) 分布具有有限的有序度。

主要参考文献: Rinaldi *et al.* (1975), Neues Jahrb. Mineral., Monatsh, 145–156。

麦钾沸石(merlinoite), $K_5Ca_2 [Al_9Si_{23}O_{64}] \cdot 22H_2O$, $Z = 1$, MER。典型产地: 意大利 Santa Rufina 附近的原钾霞石黄长岩中。K 是最主要的阳离子, 其次是 Ca, 含有少量的 Na 和 Ba。 $T_{Si} = 0.66, 0.71$ 。

斜方晶系 $Immm$, a 1.411 6(7), b 1.422 9(6), c 0.994 6(6) nm。

结构由与 4 元环连接的双 8 元环构筑。

主要参考文献: Passaglia *et al.* (1977), Neues Jahrb. Mineral., Monatsh, 355–364。

中沸石(mesolite), $Na_{16}Ca_{16} [Al_{48}Si_{72}O_{240}] \cdot 64H_2O$, $Z = 1$, NAT。无典型产地。化学组成处于钠沸石和钙沸石之间, $(Na + K)/(Mg + Ca + Sr + Ba)$ 比值为 0.45~0.52, 其中 K、Mg、Sr 和 Ba 含量很少。 T_{Si} 为 0.59~0.62。

斜方晶系, $Fdd2$, a 1.840 49(8), b 5.565 5(6), c 0.654 43(4) nm, 样品产于印度的 Poona。

格架中 (Si, Al) 分布有序化, 由一个平行于 (010) 的似钠沸石层和两个似钙沸石层交替堆垛构成。

主要参考文献: Artoli *et al.* (1986), *Acta Crystallogr.*, C40: 937–942.

蒙特索马石 (montesommaite), $K_9 [Al_9Si_{23}O_{64}] \cdot 10H_2O$, $Z = 1$, MON。典型产地: 意大利维苏威的 Monte Somma。样品中含有少量 Na, $T_{Si} = 0.70$ 。

斜方晶系, $Fdd2$, $a = b$ 1.009 9(1), c 1.730 7(3) nm。

格架由 5 元环和 8 元环的 (100) 层连接构成; 与麦钾沸石和水钙沸石族的格架有类似性。

主要参考文献: Rouse *et al.* (1990) *Am. Mineral.* 75, 1415–1420。

丝光沸石 (mordenite), $(Na_2, Ca, K)_4 [Al_8Si_4O_{96}] \cdot 28H_2O$, $Z = 1$, MOR。典型产地: 加拿大新斯科舍省的莫登以东 3~5 km。阳离子含量可变, $Na/(Na+Ca)$ 一般为 0.80~0.86。也可能含有 K、Mg、Fe、Ba 和 Sr。亦有 K 为主要阳离子的报道, 认为丝光沸石可能是由以 Na 为主和以 K 为主的两个矿物种构成的系列。 T_{Si} 为 0.80~0.86。

斜方晶系, $Gmcn$, a 1.805 2~1.8168, b 2.040 4~2.052 7, c 0.750 1~0.753 7 nm。

主要参考文献: Passaglia *et al.* (1995), *Eur. J. Mineral.* 7, 429–438。

穆丁钠石 (mutinaite), $Na_3Ca_4 [Al_{11}Si_{18}O_{192}] \cdot 60H_2O$, $Z = 1$, MFI。典型产地为南极北维多利亚高地亚当森山。电子探针分析表明, 含有少量 Mg (~0.21 apfu) 和 K (~0.11 apfu)。 $T_{Si} = 0.88$ 。

斜方晶系, $Pnma$, a 2.022 3(7), b 2.005 2(8), c 1.349 1(5) nm。结构与合成沸石 ZSM-5 相同。

主要参考文献: Galli *et al.* (1997) *Zeolites*, 19, 318–322。

钠沸石 (natrolite), $Na_2 [Al_2Si_3O_{10}] \cdot 2H_2O$, $Z = 8$, NAT。典型产地: 德国 Hohentwiel。(Na+K)/(Mg+Ca+Sr+Ba) 为 0.97~1.00, K、Mg、Sr 和 Ba 含量很少。 T_{Si} 为 0.59~0.62。

斜方晶系, $Fdd2$, a 1.827 2~1.831 9, b 1.859 5~1.861 3, c 0.659 3~0.659 7 nm。(Si, Al) 分布部分有序到高度有序。

主要参考文献: Alberti *et al.* (1995), *Eur. J.*

Mineral., 7: 501–508。

钾沸石 (offretite), $CaKMg [Al_5Si_{13}O_{36}] \cdot 16H_2O$, $Z = 1$, OFF。典型产地: 法国罗伊尔 Semiol 山。Ca:K:Mg 通常接近 1:1:1; Na 痕量或少量。该地样品的化学组成为: $(Mg_{1.06}Ca_{0.97}K_{0.88}Sr_{0.01}Ba_{0.01}) [Al_{5.26}Si_{12.81}O_{36}] \cdot 16.85H_2O$ 。 T_{Si} 为 0.69~0.74。

六方晶系, $P-6m2$, a 1.330 7(2), c 0.759 2(2) nm。格架结构与毛沸石和插晶菱沸石有关, 但 6 元环的层堆垛方式不同, 造成 c 重复周期、孔笼的尺寸和形状不同。(Si, Al) 分布高度有序。钾沸石中可能含有连生的宏观或隐含的毛沸石晶畴。与菱沸石形成共面连生。

主要参考文献: Passaglia *et al.* (1998) *Am. Mineral.*, 83: 577–589。

水磷钙锂铍石 (pahasapaite), $(Ca_{5.5}Li_{3.6}K_{1.2}Na_{0.2} \square_{13.5})Li_8 [Be_{24}P_{24}O_{96}] \cdot 38H_2O$, $Z = 1$, RHO。典型产地: 美国南达科他州布莱克丘陵的 Tip Top 矿山。 $T_{Si} = 0$ 。

等轴晶系, $I23$, a 1.378 1(4) nm。

为具有序的 BeO_4 和 PO_4 四面体和歪曲的合成沸石 RHO 型格架的结构, 结构与八面沸石系列有关。

主要参考文献: Rouse *et al.* (1989), *Am. Mineral.*, 74: 1195–1202。

帕水硅铝钙石 (parthite), $Ca_2 [Al_4Si_4O_{15} (OH)_2] \cdot 4H_2O$, $Z = 4$, -PAR (连字符表示格架结构中含有断键, 余同, 编译者注)。产于土耳其南部蛇绿岩中。含少量 Na 和 K。 $T_{Si} = 0.495, 0.52$ 。

单斜晶系, $C2/c$, a 2.155 3(3), b 0.876 1(1), c 0.930 4(2) nm, β 91.55(2)°。

格架中含有不同的 4、6、8 和 10 元环。每隔一个 AlO_4 四面体均有一个 (OH) 取代 O, 从而使得四面体的连接中断。(Si, Al) 分布有序。

主要参考文献: Engel & Yvon (1984), *Z. Kristallogr.*, 169: 165–175。

勃林沸石 (系列) [paulingite (series)], $(K, Ca_{0.5}, Na, Ba_{0.5})_{10} [Al_{10}Si_{32}O_{84}] \cdot 27\sim 44H_2O$, $Z = 16$, PAU。典型产地: 美国华盛顿州哥伦比亚河岩岛坝。电子探针分析表明有三个产地 K 是最富的阳离子; 两个产地 Ca 是最富的阳离子。 T_{Si} 为 0.73~0.77。

等轴晶系, $Im\bar{3}m$, a 3.509 3(2) nm。格架中含有若干种较大的多面体孔笼。

主要参考文献: Langauer *et al.* (1997) Mineral. Mag. 61, 591– 606。

勃林沸石-K (paulingite-K), K 是最富的格架外阳离子。典型产地样品 5 个分析的平均化学组成为: $(K_{4.44} Na_{0.95} Ca_{1.88} Ba_{0.18}) [Al_{9.82} Si_{32.21} O_{84}] \cdot 44H_2O$, a 3.509 3(2) nm。

主要参考文献: Gordon *et al.* (1966), Science 154: 1004– 1007。

勃林沸石-Ca (paulingite-Ca), Ca 是最富的格架外阳离子。典型产地为美国俄勒冈州里特, 4 件分析的平均结果为: $(Ca_{3.70} K_{2.67} Na_{0.86} Ba_{0.10}) [Al_{10.78} Si_{31.21} O_{84}] \cdot 34H_2O$, a 3.508 8(6) nm。

主要参考文献: Tschernich & Wise (1982), Am. Mineral. 67, 799– 803。

皮水硅铝钾石 (perlialite), $K_9Na(Ca, Sr) [Al_{12} Si_{24} O_{72}] \cdot 15H_2O$, $Z = 1$, LTL。典型产地为俄罗斯科拉半岛希宾碱性岩体的伟晶岩中。 T_{Si} 为 0.65~ 0.67。

六方晶系, $P6_3mm$, a 1.84 9(3), c 0.751(1) nm。格架结构与合成沸石-L 相同, 具有交替分布的钙霞石型孔洞和双六元环。(Si, Al) 无序分布。

主要参考文献: Men'shikov (1984), Zap. Vses. Mineral. Obshchest., 113: 607– 612。

钙十字沸石 (系列) [(Phillipsite (series)), (K, Na, $Ca_{0.5}$, $Ba_{0.5}$) $_x [Al_x Si_{16-x} O_{32}] \cdot 12H_2O$ ($x = 4 \sim 7$), $Z = 1$, PHI。典型产地为意大利西西里岛 Aci Castello 附近的玄武质熔岩中。K、Na、Ca 和 Ba 均可作为最富的格架外阳离子, 但该系列的 Ba 为主的成员仍保留交沸石 (harmotome) 的名称。可能含有少量的 Mg 和 Sr。 T_{Si} 为 0.56~ 0.77。

单斜晶系, $P2_1$ 或 $P2_1/m$, a 0.986 5(2), b 1.430 0(4), c 0.866 8(2) nm, β 124.20°。

可区分出两套阳离子位置, 其中一套为单位分子式两个原子, 在钙十字沸石-K 中完全由 K 占据, 在交沸石中完全由 Ba 占据, 周围由 8 个 O 原子和 4 个 H_2O 分子环绕; 另一套则部分由 Ca 和 Na 在歪曲的八面体中心占位, 由 2 个 O 原子和 4 个 H_2O 分子环绕。(Si, Al) 基本无序分布。

主要参考文献: Rinaldi *et al.* (1974), Acta Crystallogr., B30: 2426– 2433。

钙十字沸石-Na (Phillipsite-Na), Na 为最富的格架外阳离子, 在典型样品中 Na 占全部阳离子的 81%。 T_{Si} 为 0.59~ 0.76。

假斜方单胞, a 0.993 1~ 1.000 3, b 1.414 2~ 1.428 6, c 1.415 9~ 1.433 8 nm, β 90°, $Z = 2$ 。

主要参考文献: Sheppard & Fitzpatrick (1989), Clay Clay Minerals 37, 243– 247。

钙十字沸石-K (Phillipsite-K), K 为最富的格架外阳离子。典型产地为意大利罗马 Capo di Bove。 T_{Si} 为 0.59~ 0.76。

假斜方单胞 a 0.987 1~ 1.000 7, b 1.412 4~ 1.433 2, c 1.419 8~ 1.441 5 nm, β 90°, $Z = 2$ 。

主要参考文献: Galli & Loschi Ghittoni (1972), Am. Mineral., 57: 1125– 1145。

钙十字沸石-Ca (Phillipsite-Ca), Ca 为最富的格架外阳离子。典型产地为美国夏威夷群岛的奥阿胡岛。 T_{Si} 在 0.57~ 0.74。

假斜方单胞, a 0.985 9~ 0.996 0, b 1.422 4~ 1.434 0, c 1.429 7~ 1.436 2 nm, β 90°, $Z = 2$ 。

主要参考文献: Passaglia *et al.* (1990), Eur. J. Mineral. 2, 827– 839。

铯沸石 (pollucite), $(Cs, Na) [AlSi_2O_6] \cdot nH_2O$, $Z = 16$, ANA。典型产地为意大利爱尔巴。与方沸石形成系列。 T_{Si} 为 0.67~ 0.74。可能含少量 Rb 和 Li。

等轴晶系, $Ia\bar{3}d$, a 1.369 nm, 样品的化学组成为 $(Cs_{11.7} Na_{3.1} Li_{0.2} K_{0.4}) [Al_{15} Si_{13} O_{96.2}] \cdot H_2O$; 单位分子中 Na 原子数为 0.114~ 0.173 时, a 为 1.367 2(1)~ 1.367 4(1) nm。(Si, Al) 无序分布。

主要参考文献: Cerni & Simpson (1978), Can. Mineral., 12: 334– 341。

水硅铝钙石 (roggianite), $Ca_2[Be(OH)_2 Al_2 Si_4 O_{13}] \cdot < 2.5H_2O$, $Z = 8$, ROG。典型产地为意大利奥尔塞斯考以南的钠长岩脉中。

四方晶系, $I4/m\bar{c}m$, a 1.83 3(1), c 0.916(1) nm。格架中含有四配位 Be 和 (OH) 基断键。

主要参考文献: Passaglia *et al.* (1969), Clay Minerals, 8: 107– 111。

钙沸石 (scolecite), $Ca[Al_2 Si_3 O_{10}] \cdot 3H_2O$, $Z = 4$ 或 8, NAT。典型产地为冰岛 Berufjord。(Na+ K)/(Mg + Ca) 为 0~ 0.16, K、Mg 或其他元素含量很少。 T_{Si} 为 0.60~ 0.62。

单斜晶系, Cc , a 0.651 6(2), b 1.894 8(3), c 0.976 1(1) nm, β 108.98(1)°, $Z = 4$ 。

结构类似于钠沸石, 具有 (Si, Al) 分布高度有序

的格架, Ca 取代钠沸石中的 Na, 并多出一个 H_2O 。

主要参考文献: Clark (1993), Hey's Mineral Index. Chapman & Hall, London, U. K.

淡红沸石 (stellerite), $Ca[Al_2Si_7O_{18}] \cdot 7H_2O$, $Z = 8$, STI。典型产地为白令海科曼德岛。单位分子含有大约 0.2 个以下的 Na 原子和少量的 K、Mg 和 Fe。 T_{Si} 为 0.75~0.78。

斜方晶系, Fmm , a 1.350 7~1.360 5, b 1.819 8~1.827 0, c 1.782 3~1.786 3 nm。格架的形貌与辉沸石相同, 但对称更高, 与其含有较少的格架外阳离子有关。

主要参考文献: Passaglia *et al.* (1978), Bull. Mineral. 101: 368–375。

辉沸石 (系列) [Stilbite (series)], $(Ca_{0.5}, Na, K)_9[Al_9Si_{27}O_{72}] \cdot 28H_2O$, $Z = 1$, STI。典型产地不明确。Ca 几乎常为主要的格架外阳离子, 伴随有 Na 和少量 K、Mg 的替换, 单位分子式中接近有 $Ca_4(Na, K)$ 。已知有富 Na 的成员存在。 T_{Si} 为 0.71~0.78。

单斜晶系, $C2/m$, a 1.36 4(3), b 1.824(4), c 1.127(2) nm, β 128.00(25)°。

随着一价阳离子含量的增高, 格架转动使得对称由斜方降低为单斜。有对称中心的空间群依赖于统计上的 (Si, Al) 分布的完全无序。真实对称有可能不具对称中心。

主要参考文献: Passaglia *et al.* (1978), Bull. Mineral., 101: 368–375。

辉沸石-Ca (Stilbite-Ca), Ca 为最富的格架外阳离子。

假斜方单胞, $F2/m$, a 1.359 5~1.365 7, b 1.820 1~1.829 1, c 1.777 5~1.784 2 nm, β 90.06~90.91°。

主要参考文献: Passaglia *et al.* (1978), Bull. Mineral., 101: 368–375。

辉沸石-Na (Stilbite-Na), Na 为最富的格架外阳离子。典型产地为意大利萨丁岛卡里亚里普拉角。含有 Ca、K 和少量的 Mg。 T_{Si} 为 0.73~0.78。化学组成为: $(Na_{8.18}K_{1.94}Ca_{3.45}Mg_{0.08})[Al_{16.62}Si_{55.25}O_{144}] \cdot 53.53H_2O$ 。

单斜晶系, $C2/m$, 假斜方单胞的结晶学参数为 $F2/m$, a 1.361 0, b 1.833 0, c 1.782 0 nm, β 90.54°。

主要参考文献: Passaglia *et al.* (1978), Bull.

Mineral., 101: 368–375。

特兰诺瓦石 (terranovaite), $NaCa[Al_3Si_{17}O_{40}] \cdot >7H_2O$, $Z = 4$, TER。典型产地为南极北维多利亚高地亚当森山。含有少量 K 和 Mg。 $T_{Si} = 0.85$ 。

斜方晶系, $Cmcm$, a 0.974 7(1), b 2.388 0(2), c 2.006 8(2) nm。格架的形貌尚不了解, 含有油沸石、片沸石和伯格斯石中所见的多面体单元。

主要参考文献: Galli *et al.* (1997), Am. Mineral., 82: 423–429。

杆沸石 (Thomsonite), $Ca_2Na[Al_5Si_5O_{20}] \cdot 6H_2O$, $Z = 4$, THO。典型产地为苏格兰旦巴顿附近的老奇尔帕特里克。Na (Ca+Sr) 和 Si: Al 变化较大, 近似分子式为: $Na_{4+x}(Ca, Sr)_{8-x}[Al_{20-x}Si_{20+x}O_{80}] \cdot 24H_2O$, x 为 0~2。含有少量 Fe、Mg、Ba 和 K。 T_{Si} 为 0.50~0.56。

斜方晶系, $Pncn$, a 1.310 43(14), b 1.305 69(18), c 1.324 63(30) nm。结构链与 NAT 型相同, 以 5 个四面体为重复单元, 但链之间的连接方式不同。(Si, Al) 分布高度有序, 但随着 Si: Al 比值的增大无序化的程度增加。

主要参考文献: Ross *et al.* (1992), Am. Mineral., 77: 685–703。

彻内奇石 (tschemichite), $Ca[Al_2Si_6O_{16}] \cdot \sim 8H_2O$, $Z = 8$, BEA。典型产地为美国俄勒冈州哥伦比亚县 Goble 附近。含有少量 Na、Mg 和 K。 T_{Si} 为 0.74~0.78。

四方晶系, 可能的空间群为 $P4/mmm$, a 1.288 0(2), c 2.502 0(5) nm。亦可能由空间群分别为 $P4_22$ 和 $P4_322$ 的两个对映体连生构成。

为合成沸石 β 的天然类似物。

主要参考文献: Boggs *et al.* (1993), Am. Mineral., 78: 822–826。

乔特诺石 (tschortnerite), $Ca_4(K_2, Ca, Sr, Ba)_3Cu_3(OH)_8[Al_{12}Si_{12}O_{48}] \cdot nH_2O$, $n \geq 20$, $Z = 16$, 结构代码未经指派。典型产地为德国梅茵附近的贝勒伯格火山。 $T_{Si} = 0.50$ 。

等轴晶系, $Fm\bar{3}m$, a 3.162(1) nm。

格架中含有由 96 个四面体组成的具有 50 个面的超大型孔笼, Cu 和含 (OH) 的原子簇占据另一种孔笼。是一种具非断键格架的沸石中格架密度最低的沸石。

主要参考文献: Effenberger *et al.* (1998), *Am. Mineral.*, 83: 607– 617.

斜钙沸石(wairakite), $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $Z=8$, ANA。典型产地为新西兰 Wairaki。Na/(Na+ Ca) 低于 0.3, 但斜钙沸石有可能与方沸石形成连续固溶体系列。 T_{Si} 为 0.65~ 0.69。

单斜晶系, $I2/a$, a 1.369 2(3), b 1.364 3(3), c 1.356 0(3) nm, β 90.5(1)°, 其化学组成为: $(\text{Ca}_{0.92}\text{Na}_{0.14})[\text{Al}_{1.92}\text{Si}_{4.07}\text{O}_{12}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 。

格架的几何形貌类似于方沸石, 但 Al 优先占据与 Ca 相邻的一对四面体, Ca 处于一个特定的格架外位置。

主要参考文献: Coombs (1955), *Mineral. Mag.*, 30: 699– 708。

韦恩本尼石(weinebeneite), $\text{Ca}[\text{Be}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $Z=4$, WEL。典型产地为奥地利韦恩本尼隘口以西的含锂辉石伟晶岩。

单斜晶系, Cc , a 1.189 7(2), b 0.970 7(1), c 0.963 3(1) nm, β 95.76(1)°。

为格架中具有 3-、4 和 8-元环的钙的铍磷酸盐沸石。

主要参考文献: Walter(1992), *Eur. J. Mineral.*, 4: 1275– 1283。

钾菱沸石(willhendersonite), $\text{K}_x\text{Ca}_{(1.5-0.5x)}[\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $0 < x < 1$, $Z=2$, CHA。典型产地为意大利 Terni。典型样品的化学组成接近 $\text{KCa}[\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 已知存在化学组成为 $\text{Ca}_{1.5}[\text{Al}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 的钾菱沸石。 $T_{\text{Si}}=0.50, 0.51$ 。

三斜晶系, $P1$, a 0.920 6(2), b 0.921 6(2), c 0.955 0(4) nm, α 92.34(3), β 92.70(3), γ 95.76(1)° (样品采自德国梅茵附近的贝勒伯格)。

结构格架与菱沸石相同, 其理想的格架几何学对称为 $R-3/m$, 由于 Si 含量较低且 (Si, Al) 分布完全有序使得格架对称降低为 $R-3$, 格架外阳离子的性质和有序化使得格架对称进一步降低为 $P-1$ 。

主要参考文献: Peacor *et al.* (1984), *Am. Mineral.*, 69: 186– 189。

汤河原沸石(yugawaralite), $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16}] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $Z=2$, YUG。典型产地为日本本州神奈川县汤河原热泉。可含有单位分子 0.2 个原子以下的 (Na+ K + Sr)。 T_{Si} 为 0.74~ 0.76。

单斜晶系, Pc , a 6.700(1), b 13.972(2), c 10.039(5) nm, β 111.07°。(Si, Al) 分布的局部有序可能使对称降低为三斜($P1$)。

主要参考文献: Akizuki(1987), *Mineral. Mag.*, 51: 615– 620。

下面列出的是两种尚存疑问的沸石和一种可能属于沸石类的矿物, 需要进一步工作确定。

副钠沸石(paranatrolite), $\text{Na}_2[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $Z=8$, NAT。典型产地为加拿大魁北克圣希来尔山。化学组成类似钠沸石, 区别是多一个分子 H_2O 和含有少量 Ca 和 K。

假斜方, 可能为单斜对称, a 1.907(1), b 1.913(1), c 0.658 0(3) nm。衍射点非常弥散, 衍射谱类似于纤沸石。

根据规则 4 判断, 它是否为独立的矿物种尚存争议。

主要参考文献: Chao(1980), *Can. Mineral.*, 18: 85– 88。

四方钠沸石(tetranatrolite), $(\text{Na}, \text{Ca})_{16}[\text{Al}_9\text{Si}_{21}\text{O}_{80}] \cdot 16\text{H}_2\text{O}$, $Z=0.5$, NAT。典型产地为加拿大魁北克圣希来尔山。化学组成接近于 $\text{Na}_{16-x}\text{Ca}_x\text{Al}_{16+x}\text{Si}_{24-x}\text{O}_{80}] \cdot 16\text{H}_2\text{O}$, x 为 0.4~ 4, 少量 Fe^{3+} 、Sr、Ba 和 K 可能替换 Na 和 Ca。 T_{Si} 为 0.50~ 0.59。

四方晶系, $I-42d$, a 1.314 1, c 0.661 7 nm。

格架属无序钠沸石型结构。四方钠沸石可视为副钠沸石的失水产。与钠沸石的区别在于 CaAl 对 NaSi 的替换和空间群的不同; 然而这些正是纤沸石的特征, 其与纤沸石的关系尚存争议。

主要参考文献: Chen & Chao (1980), *Can. Mineral.*, 18: 77– 84。

特韦达尔石(tvdaite), $(\text{Ca}, \text{Mn})_4\text{Be}_3\text{Si}_6\text{O}_{17}(\text{OH})_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, $Z=2$ 。典型产地为挪威韦斯特福德县特韦达棱。

斜方晶系(c 心格子), a 8.724(6), b 23.14(1), c 4.923(4) nm。认为其结构与水硅锰钙铍石有关, 但缺乏足够的结构测定证据, 目前还不能确认它是一个独立的矿物种。

主要参考文献: Larsen *et al.* (1992), *Am. Mineral.*, 77: 438– 443。

中国地质科学院矿产资源研究所 王立本编译