

青藏高原盐类矿物研究进展

张雪飞, 郑绵平

中国地质科学院矿产资源研究所, 国土资源部盐湖资源与环境重点实验室, 北京 100037

摘要 青藏高原盐湖众多, 盐类矿物种类丰富。从20世纪50年代国家组织各部门对青藏高原进行勘察和科考以来, 在盐类矿物研究方面取得众多进展。目前青藏高原已发现盐类矿物53种, 按照化学类型分为氯化物、硫酸盐、碳酸盐和硼酸盐, 其中新矿物为5种, 包括在青海大柴旦发现的章氏硼镁石、三方硼镁石和水碳硼石, 居红土的祁连山石和西藏扎布耶盐湖的扎布耶石。近年来, 对于盐类矿物的古气候意义研究逐渐增多, 按照其形成和保存温度环境, 可以分为冷相类、暖相类和广温相类, 被誉为有根据的古气候“温度-湿度计”; 芒硝作为典型冷相矿物的代表, 其稳定和不稳定芒硝层的古温度范围已确定; 扎布耶石作为典型暖相矿物的代表, 其形成和保存温度也已明确。利用矿物间的共生关系, 可以反映湖区的古温度范围, 在古气候研究中应用前景广阔。

关键词 盐类矿物; 新矿物; 古气候; 青藏高原

全球第四纪盐湖主要分为两带和两区, 其中两带为北半球盐湖带和南半球盐湖带, 两区为赤道非洲盐湖区和南极盐湖区^[1-2]。青藏高原位于北半球盐湖带欧亚盐湖亚带, 是中国盐湖的主要分布区。青藏高原平均海拔在4500 m以上, 高原上分布着众多大大小小的湖泊, 其中盐湖有352个, 大部分为第四纪现代盐湖, 总面积约2146 km², 有重要的科学研究意义和经济价值^[3]。

盐湖沉积是特定气候环境和地质背景的产物, 对于气候和环境有灵敏的记录, 其发展各阶段都保存了周围环境变化的信息, 是湖泊环境变化的“全息记录仪”^[2]。而盐湖沉积中的盐类矿物则蕴含着丰富的环境信息, 是重建古环境、古气候的重点研究对象^[4-6]。盐类矿物是在地质过程中水盐体系天然蒸发所形成的矿物^[9], 主要由K、Na、Ca、Mg的氯化物、硫酸盐、碳酸盐、硼酸盐以及Na、K的硝酸盐组成。

1 盐类矿物的研究现状

从19世纪后期开始, 来自世界各地的探险家和地质学家开始对青藏高原的某些盐湖和湖泊进行探索和研究, 但是由于当时路线和条件所限, 研究程度较为粗略^[3,10]。解放前, 中国有关青藏高原调查的资料较少。新中国成立后, 从50年代起, 国家组织石油、地质、化工等部门开始对青藏高原进行勘察和科考, 才开始了对青藏高原盐湖的研究工作^[3]。20世纪50年代, 以柳大纲为首的盐湖科学调查队对青藏高原和柴达

木盆地盐湖进行调查^[3]。从20世纪末以来, 盐类矿物及鉴定是研究盐类地质矿床学、岩石学成因的基础之一, 由于当时中国盐类地质工作者重视盐类矿物研究, 不仅对于阐明盐类地质矿床学、地球化学、全球变化以及盐类自然和等温蒸发物理化学研究都大有帮助, 而且对国际盐类矿物学本身也做出较大贡献。近年来, 国内对于盐湖矿物学镜下研究逐渐减少, 虽然现代透射电镜、扫描电镜等发展有利于较快对盐类矿物精细研究, 但是并不能忽视实体-偏光显微镜对盐类矿物的研究, 舍此将难于查明盐类矿物的结构与构造, 也难于进一步发现微量细小盐类矿物在盐沉积中的存在。但是这种状况不利于中国盐类科学的发展, 希望能引起中国有关方面对盐类矿物学的重视。

青藏高原盐类矿物种类丰富, 目前已确定发现的有53种^[3], 按照化学类型分为氯化物、硫酸盐、碳酸盐和硼酸盐。其主要为第四纪湖相化学沉积, 主要分布于藏北羌塘高原和柴达木盆地^[11]。

1) 氯化物。青藏高原目前已发现氯化物有6种, 按照丰度排列依次为石盐、光卤石、钾石盐、水氯镁石、水石盐和南极石。青藏高原氯化物主要分布在柴达木盆地东部的盐湖沉积, 且主要是石盐, 其次是富含光卤石、钾石盐的钾盐沉积, 以及少量杂卤石和水氯镁石。柴达木盆地西部也含钾石盐和光卤石。而藏北高原的氯化物则分布较少, 只有石盐和氯碳钠镁石, 含钾矿物较少。

收稿日期: 2017-02-10; 修回日期: 2017-04-21

基金项目: 国家自然科学基金青海联合重点基金项目(U1407027)

作者简介: 张雪飞, 博士, 研究方向为盐沉积与古气候, 电子邮箱: zhangxuefei2000@163.com

引用格式: 张雪飞, 郑绵平. 青藏高原盐类矿物研究进展[J]. 科技导报, 2017, 35(12): 72-76; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2017.12.011

2) 硫酸盐。青藏高原目前已经发现有硫酸盐矿物 19 种,按照丰度大致排列为石膏、芒硝、钙芒硝、白钠镁矾、无水芒硝、半水石膏、杂卤石、泻利盐、钾芒硝、钾石膏、软钾镁矾、钾盐镁矾、杂芒硝、天青石、无水泻利盐、水钙芒硝、四水泻利盐、羟钠镁矾和重晶石。藏北高原主要硫酸盐矿物为芒硝,其次是石膏和无水芒硝;而柴达木盆地硫酸盐主要为西部的石膏、芒硝、泻利盐、软钾镁矾、钾盐镁矾等。天青石也主要分布于柴达木盆地西部。

3) 碳酸盐。青藏高原碳酸盐矿物已发现有 16 种,按照丰度大致为方解石、白云石、文石、菱镁矿、天然碱、水菱镁矿、氯碳钠镁石、单斜钠钙石、苏打、含锂菱镁矿、重碳酸钠石、扎布耶石、水碱、菱锶矿、水碳镁石、含锂白云石。柴达木盆地碳酸盐矿物主要是湖相沉积的方解石和少量白云石;而西藏碳酸盐型盐湖主要沉积矿物为苏打、天然碱、水碱等矿物组合,热泉附近则有方解石和白云石等钙华沉积,

4) 硼酸盐。青藏高原由于地热和火山活动较多,因此硼酸盐矿物种类也很多,目前已发现 12 种,按照丰度排列为硼砂、柱硼镁石、库水硼镁石、钠硼解石、水方硼石、多水硼镁石、三方硼砂、板硼石、三方硼镁石、章氏硼镁石、水碳硼石、祁连山石。柴达木盆地的硼酸盐矿物主要集中在大、小柴旦湖,目前大柴旦湖还在开采硼矿,主要含硼矿物为柱硼镁石和钠硼解石,硼砂含量则较少,现开采层位为底部板状柱硼镁石矿层。祁连山南侧居洪土硼矿床现已采尽闭坑,主要硼矿物为钠硼解石。西藏有扎仓茶卡硼矿床,为富锂镁硼酸盐矿床^[12],主要硼酸盐矿物是柱硼镁石和库水硼镁石,其次是多水硼镁石和钠硼解石,硼砂较少。西藏聂尔错新近还发现镁硼矿床^[13],该硼矿主要矿物为粒状集合体库水硼镁石和少量蜂窝状、块状柱硼镁石,其形成机制认为是周围火山岩地层中的成矿物质受地热、大气降水淋滤进入湖中,在干冷气候条件下形成库水硼镁石矿床,加之河水的稀释作用,在西北部形成柱硼镁石。郑绵平等还在西藏雄巴色卡执周围发现有钠硼解石硼矿化层,有进一步寻找火山-沉积型硼矿床的前景^[14]。

2 新盐类矿物的发现

青藏高原由于其高寒的特性,加之蒸发盐结晶水的含量多种多样,因此青藏高原上发现了许多新矿物种类,其中经国际矿物委员会批准的盐类矿物有 5 种,包括水碳硼石、章氏硼镁石、三方硼镁石和祁连山石为中国新发现的硼酸盐矿物,扎布耶石为郑绵平在西藏扎布耶盐湖发现的含锂碳酸盐矿物。

章氏硼镁石是 1963 年在大柴旦盐湖发现的新类型含水镁硼酸盐矿物^[15-17],为纪念章鸿钊先生而命名。该矿物晶体极小,呈短柱状及假六方片状,集合体为豆状、团粒状,纯白色,玻璃光泽,微溶于水,二轴晶负光性,二轴晶最大折光率 $N_g=1.4899$,二轴晶中等折光率 $N_m=1.4851$,二轴晶最小折光率

$N_p=1.4415$, $N_g-N_p=0.0484$ 。赋存于含石膏水方硼石层中,边缘包裹次生石膏,与次生钠硼解石共生。

三方硼镁石也是在大柴旦湖首次发现的镁硼酸盐矿物^[18-19],该矿物为三方晶系,呈六方片状细小晶体,常温下不溶于水,静置水中数日后能变成章氏硼镁石或多水硼镁石。透射光下无色透明,集合体呈纯白色,玻璃光泽,一轴晶负光性,一轴晶常光折光率 $N_o=1.4638$,一轴晶非常光折光率 $N_c=1.5070$ 。认为是地下卤水沿毛细管蒸发浓缩结晶的产物。

水碳硼石也是在大柴旦发现的硼碳酸盐矿物^[20],为尖菱面体状晶体,无色透明,玻璃光泽,二轴晶负光性, $N_g=1.5693$, $N_m=1.5459$, $N_p=1.5069$, $N_g-N_p=0.0624$ 。主要分布于大柴旦湖南部钠硼解石薄层中,呈束状产在晶洞内,晶体的一端常嵌入钠硼解石中。

祁连山石也是发现于柴达木盆地的硼酸盐矿物^[21-22],位于祁连山南侧的居洪吐硼矿床,不与主要硼矿物钠硼解石和板硼钙石共生,而是与三方硼砂和苏打石共生,后者是其天然风化产物。祁连山石一般呈粒状集合体产出,少量集合体为板状和柱状,解理完全,二轴晶负光性, $N_g=1.486$, $N_m=1.459$, $N_p=1.351$, $N_g-N_p=0.0624$ 。该矿物在空气中极易失水发生变化,样品量极少,加之现在该矿已采完闭坑,已很难再拿到样品,作者有幸得到样品,但已全部风化,由于样品在北京潮湿(相对于柴达木盆地)的环境下,风化产物也由原来的苏打石和三方硼砂转变为天然碱和三方硼砂。

扎布耶石是郑绵平在西藏扎布耶盐湖发现的含锂碳酸盐矿物^[23-25]。该矿物在富锂贫镁的碳酸盐卤水中形成,为两端尖刃状的棱柱状晶体,微溶于水,玻璃光泽,在热水中比在冷水中溶解度小,单偏光下无色透明,正交光下高级干涉色, $N_g=1.5743$, $N_m=1.5672$, $N_p=1.4285$, $N_g-N_p=0.1458$,具有淡黄至浅棕色多色性。一种为雏晶或微晶呈包体分布在石盐中,另一种呈细小单晶与单斜钠钙石、氯碳钠镁石等矿物共生。

3 盐类矿物古气候意义的研究

盐类沉积除可以在干旱炎热的环境下形成,也可以在干旱寒冷的环境下形成,如在中国高寒的青藏高原地区,聚集了大量的盐类矿物,只是干热与干冷的条件下形成的盐类沉积矿物组合不同而已,因此可以利用盐类矿物组合特征来反演古气候古环境。最早进行该研究的为郑绵平,1998 年就提出利用盐类矿物作为环境转换指标恢复古温度^[3],并得到了刘东生先生的极大肯定,称赞其为有根据的古气候“温度-湿度计”^[25]。

郑绵平根据国内外已知的多元卤水体系的介稳相图数据,以及多年来对青藏高原各盐湖盐类沉积矿物组合的综合分析将盐类沉积矿物划分为冷相盐类矿物、暖相盐类矿物和广温相盐类矿物,并在近几年工作基础上进一步做了补充和修正,如表 1 所示^[2]。

冷相、暖相和广温相盐类矿物的温度界定受矿物形成时

表1 青藏高原冷、暖相与广温相盐类矿物简表
Table 1 Cold, warm and eurythermal saline minerals in Tibetan Plateau

类型	冷相盐类矿物	暖相盐类矿物	广温相盐类矿物
碳酸盐	水菱镁矿($4\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 苏打($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)	扎布耶石(Li_2CO_3) 水碱($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 菱锶矿(SrCO_3)	方解石(CaCO_3) 白云石($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$) 菱镁矿(MgCO_3) 天然碱($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 氯碳钠镁石($\text{MgCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaCl}$) 单斜钠钙石($\text{CaCO}_3 \cdot \text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) 重碳酸钠石(NaHCO_3)
硫酸盐	芒硝($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 泻利盐($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 软钾镁矾($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 水钙芒硝($5\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)	硬石膏(CaSO_4) 钙芒硝($\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$) 无水芒硝(Na_2SO_4) 半水石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$) 天青石(SrSO_4) 六水泻利盐($\text{MgSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 四水泻利盐($\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 重晶石(BaSO_4)	石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 白钠镁矾($3\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) 杂卤石($\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{CaSO}_4 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 钾芒硝($\text{NaK}_3(\text{SO}_4)_2$) 钾石膏($\text{K}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
氯化物	光卤石($\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 钾石盐(KCl) 水氯镁石($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 水石盐($\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 南极石($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)		石盐(NaCl)
硼酸盐	硼砂($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 库水硼镁石($\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$) 多水硼镁石($\text{Mg}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 15\text{H}_2\text{O}$) 祁连山石($\text{NaHCO}_3 \cdot \text{H}_3\text{BO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	三方硼砂($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$)	柱硼镁石($\text{MgB}_2\text{O}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) 钠硼解石($\text{NaCaB}_6\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) 水方硼石($\text{CaMgB}_6\text{O}_{11} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

的水温和大气温度的影响。由于湖水表面温度会因为昼夜温差和一年四季平均温度的不同而变化,因此形成的盐类矿物极不稳定,称为瞬变盐类矿物^[1],而湖水底部的温度则较稳定,因此形成的盐类矿物也较稳定。郑绵平等根据盐类矿物得以稳定保存的温度对于典型冷相、暖相的温度有大致界定,认为:

1) 典型冷相盐类矿物如稳定芒硝层能够形成且保存的年均温在 $-7 \sim -3^\circ\text{C}$,而不稳定芒硝层的年均温度在 $0 \sim 2^\circ\text{C}$ 。稳定性芒硝层保存的 0°C 以下月均温每年一般可达7个月以上,而不稳定性芒硝层保存的 0°C 以下月均温每年则在6个月左右。

2) 典型暖相盐类矿物无水芒硝层或天然碱层的形成年均温度为 $16 \sim 25^\circ\text{C}$ 。芒硝是典型冷相矿物,已得到众多古气候学家的认可,其古气候意义与黄土-古土壤序列有一定可比性,并与河西走廊末次冰期古温度数据较为一致^[25]。

通过多种盐类矿物共生关系的综合分析认为,含Na的单盐碳酸盐矿物多为暖相矿物(如 Na_2CO_3 、 NaHCO_3),含Ca、Mg的单盐碳酸盐多为广温相矿物,而含结晶水较多的碳酸盐则通常形成于气温突然降低的环境。

4 结论

盐类矿物是盐湖沉积的重要组成部分,是盐湖研究的重要内容。由于很多盐类矿物都含有结晶水,因此其变化也极其复杂,很多矿物由于自然条件的变化会得到或失去结晶水,从而变成另外的矿物,因此对盐类矿物转变的研究显得尤为重要。青藏高原独特的自然地理条件下,存在各种丰富多彩的盐类矿物,中国在青藏高原现已发现的新矿物有5种,依据青藏高原特殊的区位优势,希望对盐类矿物深入精细和及时的研究,能发现更多的新矿物和新矿物组合。盐类矿物组合特征是盐湖区古气候环境的全息记录仪,因此对盐类矿物形成和保存条件的研究,不仅对于阐明盐类矿床的成因,而且对于古气候和古环境研究均有重要科学意义。但是近年来对盐类矿物镜下研究较少,希望能有更多的年轻人投入到盐湖矿物学行列中来,并能引起中国有关方面对盐类矿物学的重视。

参考文献(References)

- [1] 郑绵平. 全球盐湖地质研究与展望[J]. 国外矿床地质, 1989(3): 1-34.
Zheng Mianping. Research and prospect of global salt lake geology[J].

- Foreign Mineral Deposits, 1989(3): 1-34.
- [2] 郑绵平, 张永生, 刘喜方, 等. 中国盐湖科学技术研究的若干进展与展望[J]. 地质学报, 2016, 90(9): 2123-2165.
Zheng Mianping, Zhang Yongsheng, Liu Xifang, et al. Progress and prospects of salt lake research in China[J]. Acta Geologica Sinica, 2016, 90(9): 2123-2165.
- [3] 郑绵平, 向军, 魏新俊, 等. 青藏高原盐湖[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 1989: 9-53.
Zheng Mianping, Xiang Jun, Wei Xinjun, et al. Saline lakes on the Qinghai-Xizang(Tibet) Plateau[M]. Beijing: Science Press, 1989: 9-53
- [4] 郑绵平. 论中国盐湖[J]. 矿床地质, 2001, 20(2):181-189.
Zheng Mianping. On saline lakes of China[J]. Mineral Deposits, 2001, 20(2):181-189.
- [5] 郑绵平, 赵元艺, 刘俊英. 第四纪盐湖沉积与古气候[J]. 第四纪研究, 1998, 11(4): 297-307.
Zheng Mianping, Zhao Yuanyi, Liu Junying. Quaternary saline lake deposition and paleoclimate[J]. Quaternary Sciences, 1998, 11 (4): 297-307.
- [6] Wang N A, Li Z L, Li Y, et al. Younger Dryas event recorded by the mirabilite deposition in Lake Huahai, Hexi Corridor, NW China[J]. Quaternary International, 2012(250): 93-99.
- [7] Yihdego Y, Webb J. Modelling of seasonal and long-term trends in lake salinity in southwestern Victoria, Australia[J]. Journal of Environmental Management, 2012(112):149-159.
- [8] 李卓仑, 马素辉, 王乃昂, 等. 巴丹吉林沙漠盐湖面积变化对湖泊边缘表层沉积物盐类矿物组合影响[J]. 盐湖研究, 2015,23(4):8-14.
Li Zhuolun, Ma Suhui, Wang Nai'ang, et al. Impacts of salt lakes area changes in Badainjaran Desert on saline minerals assemblages[J]. Journal of Salt Lake Research, 2015, 23(4):8-14.
- [9] 何法明, 刘世昌, 白崇庆, 等. 盐类矿物鉴定工作方法手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1985, 1-3.
He Faming, Liu Shichang, Bai Chongqing, et al. The method of identify of salt mineral[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1985, 1-3.
- [10] Coulson A L. Geological notes on traverses in Tibet[J]. Records, Geologica India, 1933, 67(3): 338.
- [11] 高世扬, 李秉孝. 青藏高原盐湖硼酸盐矿物[J]. 矿物学报, 1982(2): 107-112.
Gao Shiyang, Li Bingxiao. Borate minerals in saline lakes on the Qinghai-Xizang Plateau[J]. Acta Mineralogica Sinica, 1982(2): 107-112.
- [12] 郑绵平, 刘文高. 西藏发现富锂镁硼酸盐矿床[J]. 地质论评, 1982, 28(8): 263-266.
Zhng Mianping, Liu Wengao. The discovery of a lithium-rich magnesian borata deposit in Xizang(Tibet)[J]. Geological Review, 1982, 28 (8): 263-266.
- [13] 刘喜方, 郑绵平. 西藏聂尔错镁硼矿床地质特征及成矿机制[J]. 地质学报, 2010, 84(11): 1601-1612.
Liu Xifang, Zheng Mianping. Geological features and metallogenic mechanism of the Nie'er Co magnesium borate deposit, Tibet[J]. Acta Geologica Sinica, 2010, 84(11):1601-1612.
- [14] 郑绵平, 陈文西, 齐文. 青藏高原火山-沉积硼矿找矿的新发现与远景分析[J]. 地球学报, 2016, 37(4):407-418.
Zheng Mianping, Chen Wenxi, Qi Wen. New findings and perspective analysis of prospecting for volcanic sedimentary boron deposits in the Tibetan Plateau[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2016, 37(4):407-418.
- [15] 曲一华, 谢先德, 钱自强, 等. 章氏硼镁石——一种新发现的含水镁硼酸盐矿物[J]. 地质学报, 1964, 44(3): 351-356.
Qu Yihua, Xie Xiande, Qian Ziqiang, et al. Hungtsaoite - a new magnesium borate mineral with crystallization water[J]. Acta Geologica Sinica, 1964, 44(3): 351-356.
- [16] 董继和. 章氏硼镁石 X 射线粉末图的指标化及晶胞参数测定[J]. 地球化学, 1974(3): 204-212.
Dong Jihe. X-ray powder photograph indexing and cell constant determination of hungtsaoite, a new mineral[J]. Geochimica. 1974(3): 204-212.
- [17] 景燕. 合成章氏硼镁石的新方法[J]. 海湖盐与化工, 2000, 29(2): 24-25.
Jing Yan. A new synthetic method for hungtsaoite[J]. Sea-Lake Salt and Chemical Industry, 2000, 29(2): 24-25.
- [18] 曲一华, 韩蔚田, 钱自强, 等. 三方硼镁石——一种新硼酸盐矿物[J]. 地质学报, 1965, 45(3): 298-305.
Qu Yihua, Han Weitian, Qian Ziqiang, et al. Trigonomborite - a new borate mineral[J]. Acta Geologica Sinica, 1965, 45(3): 298-305.
- [19] 孟令宗, 邓天龙, 段超文, 等. 三方硼镁石合成方法研究[J]. 世界科技研究与发展, 2010, 32(6): 825-826.
Meng Lingzong, Deng Tianlong, Duan Chaowen, et al. A synthetic method for mcallisterite[J]. World Sci-Tech R&D, 2010, 32(6): 825-826.
- [20] 谢先德, 钱自强, 刘来保. 水碳硼石——新硼酸盐矿物[J]. 地质科学, 1964(1):91-99.
Xie Xiande, Qian Ziqiang, Liu Laibao. Carboborite: A new borate mineral[J]. Scientia Geologica Sinica, 1964(1): 91-99.
- [21] 罗世清, 卢建安, 王立本, 等. 祁连山石——一种新的硼酸盐矿物[J]. 矿物学报, 1993,13(2): 97-101.
Luo Shiqing, Lu Jian'an, Wang Liben, et al. Qilianshanite: A new boric carbonate mineral[J]. Acta Mineralogica Sinica, 1993, 13(2): 97-101.
- [22] 王立本, 周康靖, 施剑秋. 祁连山石的晶体结构[J]. 地质论评, 1994, 40(4): 347-353.
Wang Liben, Zhou Kangjing, Shi Jianqiu. Crystal structure of qilianshanite[J]. Geological Review, 1994, 40(4): 347-353.
- [23] 郑绵平, 刘文高. 新的锂矿物——扎布耶石[J]. 矿物学报, 1987, 7(3): 221-226.
Zheng Mianping, Liu Wengao. A new Li-mineral : zabuyelite[J]. Acta Mineralogica Sinica, 1987, 7(3):221-226.
- [24] 林月美, 张汉卿, 郑绵平. 扎布耶石的晶体结构[J]. 科学通报, 1989(12): 920-923.
Lin Yuemei, Zhang Hanqing, Zheng Mianping. Crystal structure of zabuyelite[J]. Chinese Science Bulletin, 1989(12): 920-923.
- [25] 王乃昂, 王涛, 高顺尉, 等. 河西走廊末次冰期芒硝和砂楔与古气候重建[J]. 地学前缘, 2000, 7(B08): 59-66.
Wang Nai'ang, Wang Tao, Gao Shunwei, et al. The last ice age and paleoclimatic reconstruction in Hexi Corridor, West China[J]. Earth Science Frontiers, 2000, 7(B08): 59-66.

Research progress of salt minerals in Qinghai-Tibetan Plateau

ZHANG Xuefei, ZHENG Mianping

MLR Key Laboratory of Saline Lake Resources and Environments, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China

Abstract There are a great number of salt lakes in the Qinghai-Tibetan Plateau and salt lakes are rich in salt minerals in. Fifty three kinds of salt minerals are found in the Qinghai-Tibetan Plateau, and according to the chemical types they are divided into the chloride, the sulphate, the carbonate and the borax. Five new minerals are first found, including the hungchaoite, the macallisterite, the carboborite in the Da Qaidam Lake, the qilianshanite in the Juhongtu and the zabuyelite in the Zabuye Lake. According to Professor Zheng Mianping, the saline minerals are divided into the cold, warm and eurythermal saline minerals. It is known as a "temperature - hygrometer" as far as the ancient climate is concerned. In recent years, the climatic significance of salt minerals is gradually recognized. According to the temperature of formation and preservation, the salt minerals can be divided into the cold salt mineral, the warm salt mineral and the wide temperature salt mineral. This kind of classification is known as the "temperature - humidity meter" of the ancient climate. The mirabilite, as a representative of the typical cold salt minerals, is formed in the stable and unstable salt layer in different temperatures. On the other hand, the zabuyelitewill is formed easily in a higher temperature, so it is called typical warm salt mineral. According to the symbiotic relationship of different minerals, we can study the palaeo-environment and paleo-climate of the lake.

Keywords saline mineral; new mineral; paleoclimate; Qinghai-Tibetan Plateau

(责任编辑 韩星明)