

青藏高原盐湖盐类沉积及盐湖矿物*

杨绍修

(中国科学院盐湖研究所, 西宁 810008)

提要 上新世盐类沉积仅分布于柴达木盆地西部、昆仑山和唐古拉山北坡; 晚更新世—全新世盐类沉积广布于羌塘和柴达木盆地。盐湖沉积具有蒸发岩与碎屑沉积物互层特点, 系干湿交替的内陆气候和动荡浅水环境下的湖相沉积。迄今已发现 62 种盐类矿物, 其析出具有阶段性特征, 青藏更新世—全新世盐湖析出阶段的起始时间分别为 ^{14}C 24000 和 9000a B.P., 钾盐和硼酸盐各有两种典型的矿物共生组合。丰富的盐湖矿物资源是该区走向繁荣的物质基础之一。

关键词 青藏盐湖 盐类沉积 盐湖矿物

一、盐类沉积

(一) 上新世盐类沉积特征

青藏高原上新世盐类沉积有石膏、石盐、芒硝, 局部地区有天青石、菱锶矿等, 其分布不限于柴达木盆地西部, 而且向南越过昆仑山达到唐古拉山北坡⁽¹⁾, 现以柴达木盆地西部为例说明之。

该区的含盐地层为一套深灰、褐灰、绿灰色泥岩、泥灰岩层夹盐岩、芒硝、石膏层, 上新世早期 (N_1^1) 主要为泥岩与泥灰岩沉积, 其中盐类矿物有菱锶矿、钠硼解石等, 局部见有石盐和石膏 (图 1A), 在茫崖的绿灰色泥岩中, 菱锶矿层厚度可达 2m。在油泉子、开特米里克和油墩子等地均可见到钠硼解石沉积, 呈斑点状、脉状产于褐灰、绿灰色泥岩中或呈裂隙充填。上新世中期 (N_2^1) 为灰白、灰绿色泥岩、泥灰岩沉积, 盐类矿物以石膏、硬石膏、天青石、芒硝和石盐为主。如大风山, 天青石已形成一个大型的原生矿床 (图 1B)。上新世晚期 (N_3^1) 盐类沉积为泥岩、泥灰质碎屑岩夹芒硝、白钠镁矾和石盐层 (图 1C)⁽²⁾。

上新世盐类沉积在空间上具有分带性 (图 2)⁽²⁾, 以大风山为中心, 边缘为泥灰岩、菱锶矿组成的碳酸盐沉积相, 向内为石膏、硬石膏、天青石组成的硫酸盐沉积相, 中心出现石盐为主的氯化物沉积相。在时间上, 盐类矿物的发育程度显示正向演化特征, 即: N_1^1 (碳酸盐相) \rightarrow N_2^1 (硫酸盐相) \rightarrow N_3^1 (氯化物相)。表现在物质组成上, 随时间演变而出现不同类型的特征矿物。菱锶矿可作为上新世早期的特征矿物; 而天青石可成为上新世中期的特征矿物。初步认为, 上新世盐类沉积时空分布的规律性, 是该区古湖盆逐渐东迁和古湖水不断浓缩的结果。

* 本文承蒙唐渊副研究员审阅, 特此致谢。

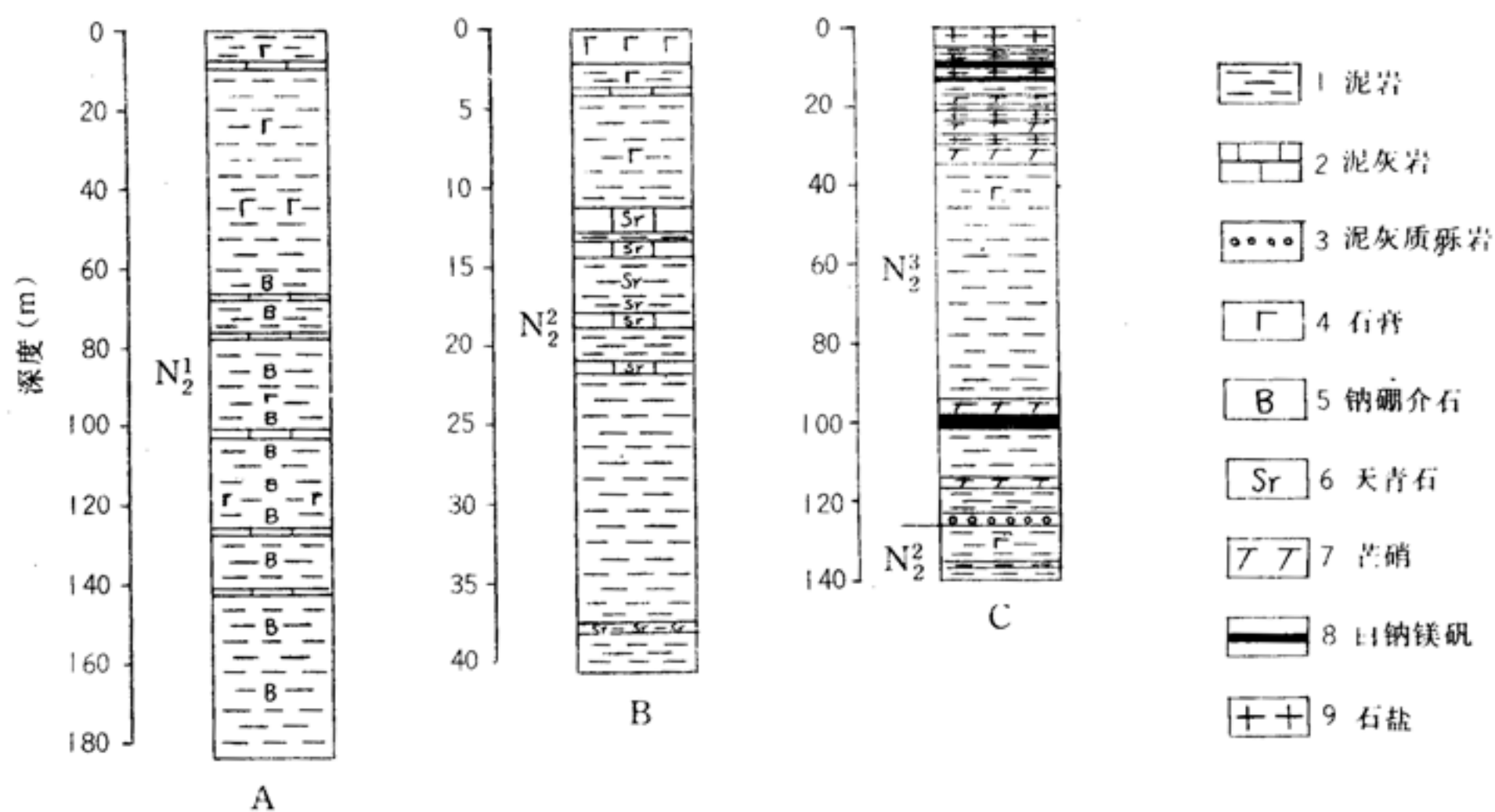


图 1 柴达木盆地西部上新世盐类沉积剖面

A. 油泉子钠硼介石, B. 大风山天青石, C. 油墩子白钠镁矾芒硝

Fig.1 Profile of saline deposits of pliocene epoch in Western Qaidam Basin

A. Ulexite in Youquanzi, B. Lazurite in Dafeng Mountain,

C. Bloedite and mirabilite in Youduanzi

(二) 晚更新世—全新世盐类沉积特征

1. 沉积剖面

晚更新世—全新世盐类沉积广泛分布于柴达木盆地和羌塘。现举出几个有代表性的盐湖沉积剖面, 分别叙述如下 (图 3):

(1) 察尔汗干盐湖剖面 据盐湖所 1974 年 CK2022 钻井, 101.32m 以上沉积自下而上分别为:

- 1) 黑色淤泥层, 厚 25.32m, ^{14}C 年代: 井深 84.50—85.00m 为 $26400 \pm 700\text{a B.P.}$, 91.36—96.76m 为 $31800 \pm 2000\text{a B.P.}$;
- 2) 土黄、深灰色淤泥粘土与碳酸盐粘土、粉砂互层, 厚 14.12m, ^{14}C 年代: 井深 65.89—66.42m 为 $24400 \pm 510\text{a B.P.}$, 68.14—68.54m 为 $24800 \pm 470\text{a B.P.}$;
- 3) 含石膏、粘土、粉砂的中、粗粒石盐层, 厚 14.50m;
- 4) 灰色含盐粘土层, 厚 0.99m;
- 5) 含石膏、砂、粘土的中、粗粒石盐层, 厚 9.72m;
- 6) 含石膏的粉砂粘土层, 厚 2.30m, ^{14}C 年代: 井深 34.52—34.87m 为 $20600 \pm 410\text{a B.P.}$;
- 7) 含粘土的石盐与含盐粉砂粘土互层, 厚 12.21m;
- 8) 含石盐的粉砂层, 厚 1.46m, ^{14}C 年代: 井深 21.19—21.39m 为 $15700 \pm 340\text{a B.P.}$;
- 9) 含光卤石的石盐层, 上部光卤石含量较高, 可达 20%, 下部泥砂量增多, 厚 6.92m;

- 10) 含粉砂的粘上层, 厚0.40m, ^{14}C 年代: 井深13.38—13.78m为 $9170 \pm 100\text{a B.P.}$;
- 11) 含钾盐、石膏的石盐层。中上部含钾石盐为主, 含量10—25%, 下部含光卤石为主。最高含量可达30%, 厚6.32m;
- 12) 含石膏、石盐的粘上层, 厚1.37m;
- 13) 白色中、粗粒石盐层, 上部含少量微粒状光卤石, 厚5.69m;

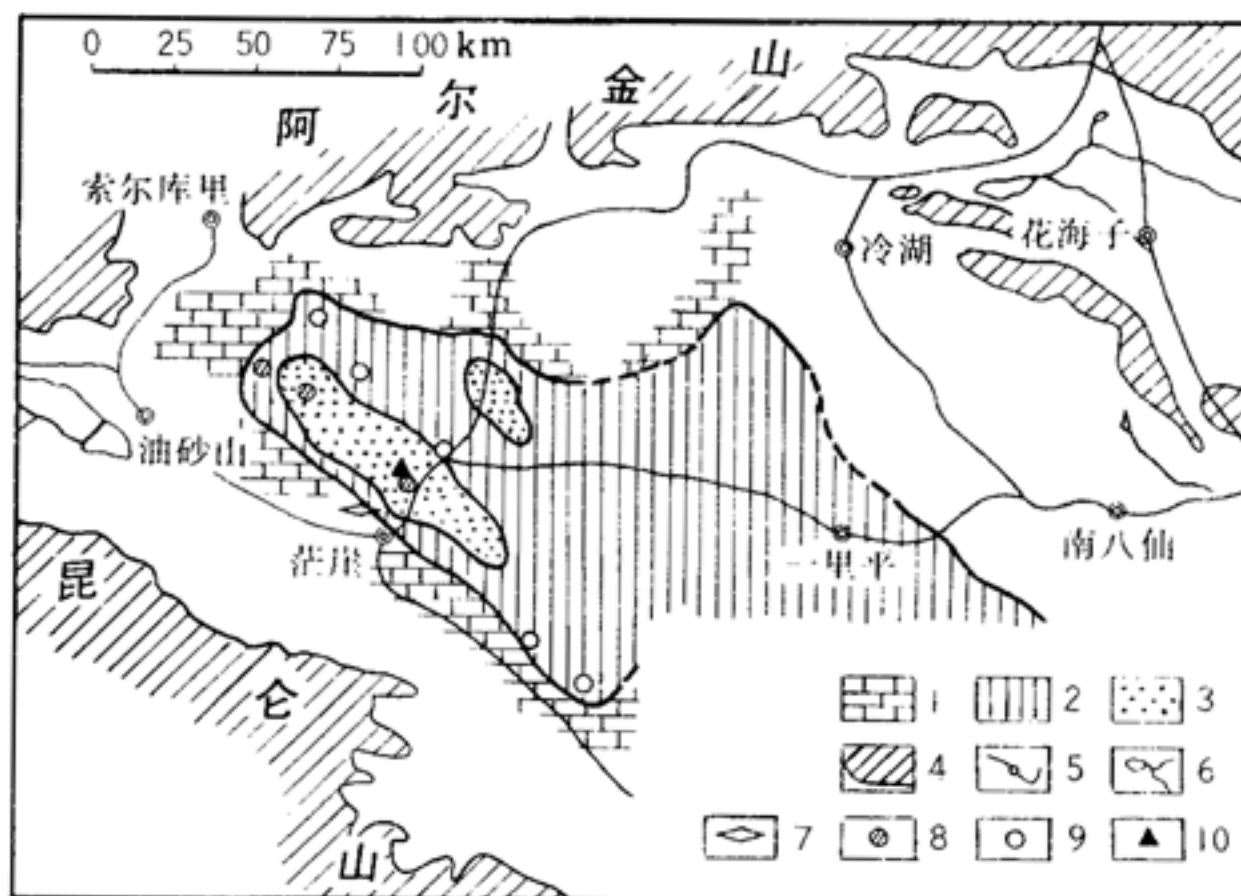


图2 柴达木盆地西部上新世盐类沉积相及盐类矿物分布图

1. 碳酸盐相, 2. 硫酸盐相, 3. 氯化物相, 4. 盆地界限, 5. 公路居民点,
6. 湖泊水系, 7. 菱锶矿, 8. 钠硼介石, 9. 天青石, 10. 白钠镁矾

Fig.2 Distribution of saline deposits facies and saline minerals of pliocene Epoch in Western Qaidam Basin

1. Carbonate facies, 2. Sulfate facies, 3. Chloride facies, 4. Basin bounds,
5. Road and residential area, 6. Lakes and river system, 7. Strontianite,
8. Ulexite, 9. Lazurite, 10. Bloodite

(2) 大浪滩干盐湖剖面 据盐湖研究所1965年CK2钻井, 30.77m以上沉积自下而上分别为:

- 1) 泻利盐石盐层, 底部含粘土的泻利盐石盐层(未见底), 含钾0.74—1.08%, 厚1.66m; 下部石盐层, 含钾0.19—0.43%, 厚2.00m; 中部含粘土的石盐泻利盐层, 含钾0.16—1.87%, 厚1.71m; 上部泻利盐石盐层, 含钾0.18—0.98%, 厚1.92m;
- 2) 含钾泻利盐层, 含钾石盐、石盐, 含钾6.74%, 厚0.22m;
- 3) 泻利盐石盐层。底部含粘土的泻利盐石盐层, 含钾1.28%, 厚0.40m; 下部含石盐泻利盐层, 含钾0.18—0.40%, 厚0.57m; 中部泻利盐石盐层, 含钾0%, 厚1.39m; 上部石盐层, 含钾1%, 厚4.72m;
- 4) 粘土石盐层, 含光卤石、泻利盐, 含钾1%, 厚3.12m;
- 5) 石膏粘土层, 含光卤石、泻利盐和石盐, 含钾1.58—2.1%, 厚2.01m;
- 6) 粘土石盐层, 含光卤石、泻利盐, 含钾2.53%, 厚0.68%;

- 7) 石盐泻利盐层, 含钾 0.75%, 厚 0.91m;
- 8) 含钾石盐层, 为含少量光卤石、泻利盐、粘土的石盐层, 含钾 5.5%, 厚 1.03m;
- 9) 石盐泻利盐层, 含少量钾石盐, 含钾 0.64%, 厚 0.90m;
- 10) 含钾的石盐泻利盐层, 下部为含钾石盐的泻利盐石盐层, 含钾 7.52—13.19%, 平均 9.98%, 厚 0.97m; 上部为石盐、钾石盐、泻利盐层, 含钾 7.25—15.51%, 平均 10.22%, 厚 2.70m.
- 11) 含盐粘土层, 厚 0.15m;
- 12) 软钾镁矾层, 含少量泻利盐、钾石盐和粘土, 含钾, 17.8%厚 0.59m;
- 13) 含钾石盐层, 下部为含软钾镁矾、钾石盐、粘土的石盐层, 含钾 10.82%, 厚 0.35m; 上部为含钾石盐、粘土的石盐层, 含钾 5%, 厚 1.49m;
- 14) 石盐层, 含钾 2.07%, 厚 1.02m;
- 15) 由粘土、钾盐镁矾、光卤石、石盐组成的含钾盐壳, 含钾 7—8%, 厚 0.26m.

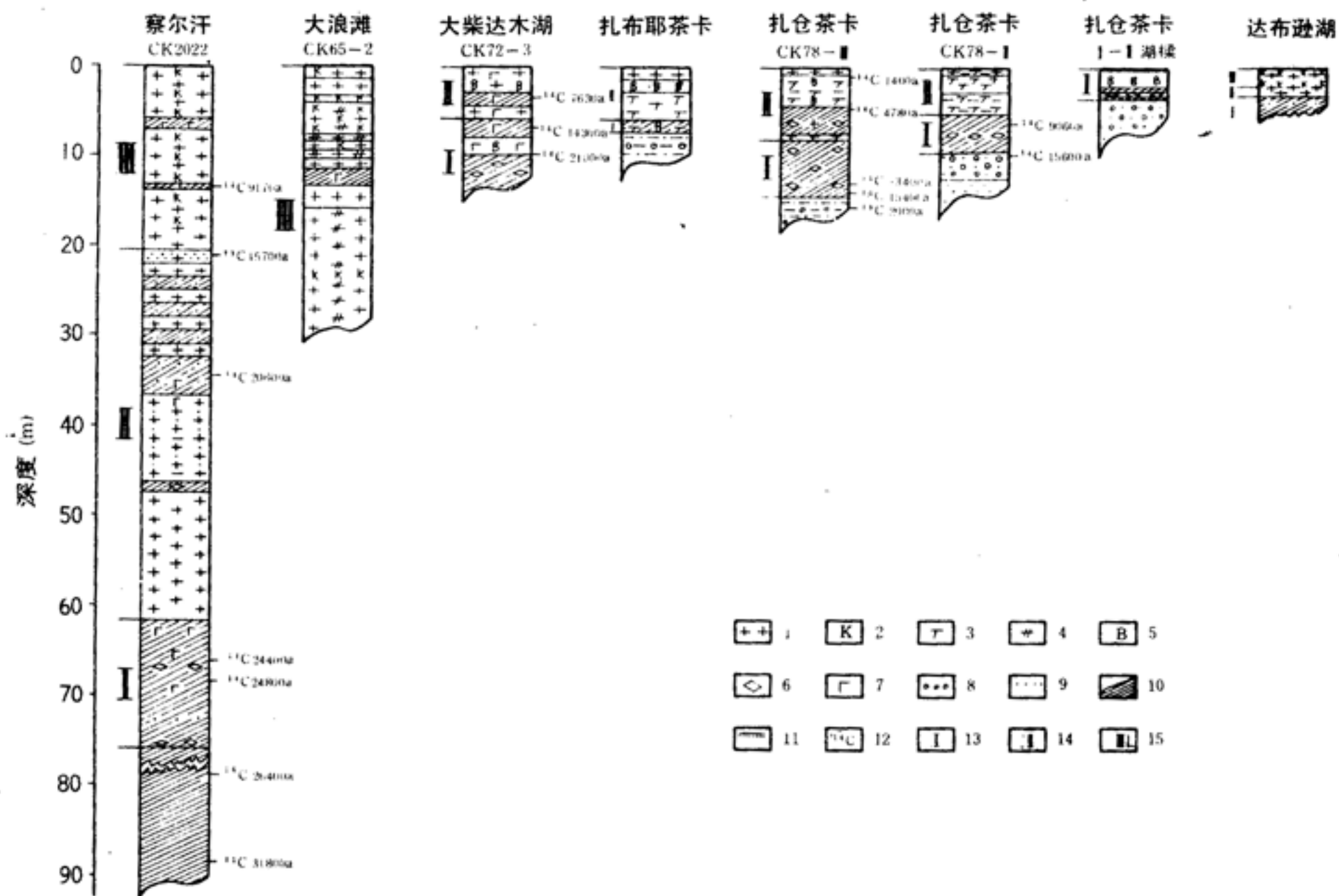


图 3. 青藏晚更新世—全新世盐类沉积剖面

- 1. 石盐, 2. 钾盐, 3. 芒硝, 4. 泻利盐, 5. 硼酸盐, 6. 碳酸盐,
- 7. 石膏, 8. 砾石, 9. 砂及粉砂, 10. 粘土淤泥, 11. 硬壳,
- 12. ¹⁴C 年龄值 (B.P.), 13. 预备 (盆地) 阶段, 14. 自析阶段, 15. 干自析阶段.

Fig.3 Profile of saline deposits of Late-Pleistocene—Holocene Epoch in Qinghai—Xizang Plateau

- 1. Halite, 2. Potash salt, 3. Mirabilite, 4. Epsomite, 5. Borate, 6. Carbonate, 7. Gypsum
- 8. Graval, 9. Sand and silty, 10. Clay and mud, 11. Hard crust, 12. ¹⁴C age-value (B.P.),
- 13. Preparatory (basin) stoge, 14. Self-separate stage, 15. Dry self-separate stage

(3) 扎布耶茶卡剖面 根据南湖浅钻揭露, 湖相沉积厚达 7m 以上, 含盐岩系多超过 5m, 其沉积剖面自下而上为⁽³⁾:

- 1) 黄褐色—浅灰色含砂、砾粘土层, 砾石细小 (未见底);
- 2) 灰黑色、黑色含芒硝淤泥层, 这是下硼矿层的底板沉积物, 厚 0.70m;
- 3) 下部含硼粘土层, 以硼砂为主, 含有粘土, 是该湖最早沉积的硼矿层, 厚 0.50m;
- 4) 芒硝层, 呈颗粒状, 质纯, 内含丰富的晶间卤水, 厚 3.40m;
- 5) 上部硼酸盐层, 以硼砂为主, 是该湖的主要含硼层位, 厚 1.53m;
- 6) 石盐层, 为表层白色粒状石盐, 质纯, 是该湖目前的开采对象, 厚 1.03m;

(4) 扎仓茶卡 I—II 湖梁剖面 7m 以上剖面自下而上为:

- 1) 黑灰色疏松砂砾层, 砾石由岩浆岩和火山岩块组成, 磨园度差, 分选差, 厚 3.5m (未见底);
- 2) 杂色钙质胶结砂砾层, 砾石多不为灰岩、火山岩等, 呈扁平状, 质坚硬, 厚 0.2m;
- 3) 土黄色含碳酸盐的粘土层, 文石、菱镁矿晶粒含量低, 微细层理清楚, 但不太规则, 厚 0.3m;
- 4) 白色厚层碳酸盐层沉积, 主要矿物为文石和水菱镁矿, 质轻, 具隐晶质结构和垂直节理, 厚 0.40m;
- 5) 白色含微细柱硼镁石晶粒和碳酸盐粘土层, 多为薄层状结构, 薄层单层厚 1—5cm, 厚 0.4m;
- 6) 白色细粒状库水硼镁石—多水硼镁石层, 具多孔状结构, 层位稳定, 是主要的硼矿层, 厚 2.1m;
- 7) 碳酸盐化的柱硼镁石硬壳, 局部见次生钠硼解石, 厚 0.1—0.2m;

(5) 达布逊湖沉积剖面 据青海省地质局钻孔资料和盐湖研究所 1964 年实测, 该湖北岸沉积剖面自下而上为:

- 1) 粉砂淤泥层, 底至察尔汗干盐滩溶蚀面, 厚 2.00m;
- 2) 中细粒至粗粒石盐层, 厚 1.10m;
- 3) 无色透明中粒光卤石层, 厚 0.60m;
- 4) 细粒石盐层, 厚 0.09m;
- 5) 细粒含石盐的光卤石层, 厚 0.20m;
- 6) 微粒含水氯镁石、光卤石的石盐层, 厚 0.25m;
- 7) 白色细粒含石盐的光卤石层, 厚 0.02m。

2. 沉积特征

由上述剖面可以看出, 晚更新世—全新世, 青藏盐湖沉积具有下列特征:

(1) 在盐湖沉积层序中, 蒸发岩与细碎屑沉积物呈互层结构 蒸发岩沿剖面往上层数加多、厚度加大和纯度增高; 另外, 沉积物常见波痕特征。这些现象表明:

- 1) 系内陆湖相沉积;
- 2) 沉积时的气候条件是干湿波动的, 总的趋势是愈来愈干旱;
- 3) 波痕等标志反映, 系水体动荡的浅水沉积环境。

(2) 盐湖沉积具有明显的阶段性 盐湖的自身发展, 常显示三个主体沉积阶段即预备(盆地)阶段、自析(盐)阶段和干自析阶段, 本区盐湖亦不例外(图 4)。

¹⁴C 年令 (a B. P.)

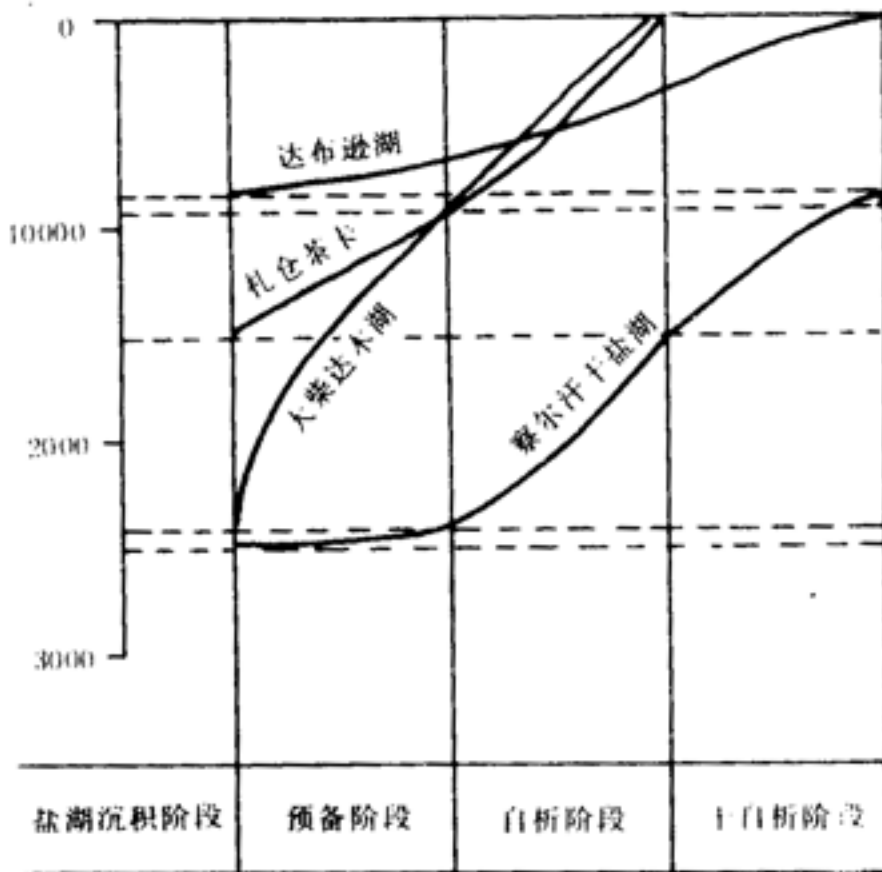


图 4. 主要盐湖成盐演化图

Fig.4 Salifiable evolution of main salt lakes in Qinghai-Xizang Plateau

以扎仓茶卡为代表的西藏湖泊, 距今 15000 年前开始, 进入盐湖的预备盆地沉积阶段, 沉积了粘土、碳酸盐、硼酸盐和少量芒硝等物质, 约在距今 9000 年前, 这些盐湖进入自析盐沉积阶段, 析出大量芒硝、石盐和硼酸盐。

以察尔汗干盐湖为代表的柴达木盆地中部的一些盐湖, 约在距今 25000 年前开始, 从淡水湖泊进入盐湖的预备沉积阶段, 沉积物除粘土外, 主要是碳酸盐和石膏。在距今 24000 年前很快转入自析盐阶段, 以大量石盐沉积为标志。这个自析盐盆地在经历了多次的淡化与浓缩之后, 在距今 15000 至 8100 年前^②极干旱气候条件下, 演化成为干盐湖, 它以大量的光卤石、钾石盐析出为标志。此后, 干盐湖边缘由于淡水溶蚀而形成若干新生湖, 如达布逊湖, 近年来在其东北湾等局部地区, 又出现干盐湖阶段的沉积物——光卤石。然而, 柴达木盆地北缘的一些小盐湖, 如大柴达木湖, 其演化历史与西藏盐湖较相似, 在距今 9000 年前开始成盐, 并具两阶段成盐史。

总之, 除大柴达木湖等边缘湖泊外, 本区柴达木盆地盐湖的成盐作用开始于更新世距今 24000 年前, 演化时间较长, 并且出现干自析阶段的产物——钾石盐, 光卤石等; 而羌塘各盐湖的成盐作用始于距今 9000 年前, 不仅起始较迟, 而且演化时间亦短, 至今仍有大量湖泊处于盐湖沉积的预备阶段。

1) 预备阶段: 在沉积物为砾、砂、粘土而无盐类矿物且常含丰富的有机质和动植物化石碎片的淡水湖泊基础上, 由于气候变干旱, 湖水开始咸化, 当盐度近①25%时, 伴随粉砂和粘土的沉积, 有方解石、白云石、文石和水菱镁矿等碳酸盐, 有时有石膏、芒硝等钙和钠的硫酸盐甚至硼酸盐析出;

2) 自析阶段: 以石盐、芒硝等盐类矿物大量析出为特征, 湖泊中仍存在大量表面卤水, 是盐湖成盐作用开始的标志。硼酸盐主要在此阶段析出;

3) 干自析阶段: 以钾盐、水氯镁石等卤化物出现为标志。表面卤水一般不存在而以晶间卤水和淤泥卤水转入到盐湖沉积物中, 发展成为干盐湖。

(3) 成盐时间不同 青藏更新世—全新世各盐湖具有两个重要的成盐起始时间, 它们分别是 24000a B.P.和 9000a B.P.。

二、盐湖矿物

①此处盐度系盐度计测定值, 而非含盐量。

②杨绍修, 察尔汗盐湖地学研究的若干进展 (待发表)。

(一) 盐湖矿物组成

迄今为止, 已查明青藏盐湖沉积物中有 62 种盐类矿物 (含仅在泉华中出现的 7 种矿物) 和 4 种粘土矿物^(2, 4, 10, 11), 其中包括最近几年发现的南极石⁽⁵⁾、重晶石、羟钠镁矾⁽⁷⁾、扎布耶石⁽⁶⁾、锂菱镁矿⁽⁴⁾。钙盐、镁盐、钾盐、钠盐、锶盐、锂盐和硼酸盐的大量堆积使本区成为盐类资源的宝库 (表 1)。

(二) 盐类矿物产出特征

1. 两区矿物种类不同

青藏盐湖产出的 55 种矿物中, 碳酸盐 15 种, 硼酸盐 13 种, 硫酸盐 20 种, 氯化物 7 种。至今, 在柴达木盆地已发现其中的 40 种, 羌塘已查明其中的 31 种。碳酸盐中, 羌塘含 14 种, 柴达木仅占 5 种, 硼酸盐中, 柴达木占 12 种, 羌塘仅 7 种; 硫酸盐中, 柴达木仍居优势占 18 种, 羌塘仅 7 种; 而 7 种氯化物中, 柴达木全部出现, 羌塘仅出现 3 种。总之, 碳酸盐矿物以羌塘产出最多, 而氯化物矿物以柴达木盆地最为常见。

2. 盐湖矿物与许多泉华矿物种类相同

泉华矿物已发现 16 种, 其中 9 种是盐湖常见的矿物, 包括天然碱、多水硼镁石、三方硼砂、石膏、章氏硼镁石、泻利盐、文石、方解石和钾芒硝。共有矿物如此之多, 表明了两者成因上的紧密联系。此外, 明矾石、钾明矾、钠明矾、毛矾石、铵明矾、贫水硼砂和萤石, 仅在热泉泉华中出现。

(三) 盐类矿物的共生组合

因篇幅所限, 仅以硼酸盐矿物和钾盐矿物作分析。

1. 硼酸盐矿物的共生组合

根据实验, 含硼卤水在稀释、浓缩和冷冻的条件下均可析出硼酸盐^(2, 8, 10)。因此, 硼酸盐既可产于盐度较低的预备阶段, 也可产在盐度较高的自析阶段的盐湖中。对比各含硼盐湖的矿物组成即可看出: 硼砂、三方硼砂等钠质硼酸盐经常与重碳酸钠石、天然碱、苏打、水碱、单斜钠钙石等钠质碳酸盐和芒硝等钠质硫酸盐相伴生; 而库水硼镁石、多水硼镁石、柱硼镁石等镁质硼酸盐则经常与水菱镁矿等镁质碳酸盐或芒硝等钠质硫酸盐相伴生, 却不与钠质碳酸盐共生。这可能与析出它们的盐湖水化学类型有关⁽¹⁰⁾。

2. 钾盐矿物的共生组合

钾盐常产于干盐湖上部, 有两种矿物共生组合: (1) 无硫酸盐的钾盐矿物共生组合——钾石盐、光卤石。伴生的非钾盐矿物主要为石盐, 如察尔汗干盐湖; (2) 有硫酸盐的钾盐矿物组合——软钾镁矾、钾盐镁矾、无水钾镁矾、钾石盐和光卤石, 伴生的非钾盐矿物有泻利盐、石盐, 如大浪滩干盐湖。

形成两类钾盐组合的原因, 不在于原始卤水中 SO_4^{2-} 离子的有无, 而在于其析出的先后顺序。根据前述钻孔剖面资料, 粘土层中的石膏含量在有硫酸盐矿物共生的大浪滩干盐湖中较低, 仅在井深 11.05—13.06m 处出现少量石膏; 而无硫酸盐矿物共生的察尔汗干盐湖沉积物中, 普遍含有 5% 的石膏, 特别是其粘土层中石膏含量很高, 如井深 50.58—50.68m 处可达 46%, 38.04—38.34m 处高达 70%。可见, 卤水中的 SO_4^{2-} 离子若在盐湖沉积的预备阶段的粘土、粉砂层中与钙首先结合成石膏方式而消耗掉, 那么, 在其后的干自析阶段的蒸发岩中, 就不会有钾的硫酸盐生成; 反之, 就会生成大量钾的硫酸盐。

参 考 文 献

- (1) 陈克造、杨绍修、郑喜玉, 青藏高原的盐湖, 地理学报, 36 (1), 13—21, 1981.
- (2) 中国科学院盐湖研究所, 柴达木盆地盐湖, 科学出版社, 1987.
- (3) 中国科学院盐湖研究所, 西藏盐湖, 121, 科学出版社, 1988.
- (4) 郑绵平、刘文高、向军, 西藏扎布耶盐湖的研究, 国际交流地质学术论文集4, 地质出版社, 173—183, 1985.
- (5) 李秉校、王克俊, 我国的南极石, 矿物学报, 6 (1), 59—62, 1986.
- (6) 郑绵平、刘文高, 新的锂矿物——扎布耶石 (Zabuyelite), 地质论评, 33 (4), 365—368, 1987.
- (7) 蔡克勤、钱自强, 钠镁矾在我国首次发现及其矿物学新资料, 化工地质, 第一期, 1980.
- (8) 高仕扬、李秉校, 青藏高原盐湖硼酸盐矿物, 矿物学报, 2 (2), 107—112, 1982.
- (9) 孙大鹏等, 自天然卤水获得酸盐的初步研究, 科学通报, 第 22 期, 1384—1387, 1981.
- (10) Yang Shaoxiu and Zheng Xiyu, The Components of the saline lake in Xizang and an approach to their origin, CHIN. J. OCEANOL. LIMNOL, 3 (2), 1985.
- (11) 徐昶, 中国一些盐湖粘土矿物的初步研究, 278—285, 海洋与湖沼, 19 (3), 1988.

SALINE DEPOSITS AND MINERALS OF SALT LAKES IN QINGHAI-XIZANG PLATEAU

Yang Shaoxiu

(Qinghai Institute of Salt Lakes, Academia Sinica, Xining 810008)

Abstract

Saline deposits in Pliocene distribute in the Western Qaidam Basin, the Kunlun Mountains' and the Northern Tanggola Range, but those in Late Pleistocene—Holocene Epoch widely distribute in Northern Xizang and the Qaidam Basin. Salt lake deposits are characterized by interbedded evaporite and clastic sediments with lacustrine facies deposits under inland, dry / wet alternating climate and unstable shallow water circumstances.

62 saline minerals have been discovered as of now. There exist several separation stages. The beginning age of the self-separation stage of salt lakes of Late-Pleistocene—Holocene Epoch in the Qinghai-Xizang Plateau are 24000 a B.P. and 9000 a B.P. respectively according to ^{14}C dating. Potash salt and borate have two typical mineral assemblages respectively. Abundance of mineral resources of salt lake is one of the material bases for the development of this district.

Key words: saline deposits, saline minerals, Qinghai-Xizang Plateau