



我国某地一个新类型镁硼酸盐矿床的初步研究

郑绵平 金文山

本文介绍一个首次在我国发现的新类型盐湖镁硼酸盐矿床，并着重讨论其矿物组合及成因的若干特征。这一矿床系作者同沈晋明、王彦明、閔霖生等同志参加中国科学院组织的考察工作中发现的。在室内工作中，承谢家荣、郑直工程师多方指导，朱念秀等同志协助清绘图件，谢先德等同志提出宝贵意见，作者在此一并致谢。

一、矿区地质概况

本矿床位于干旱气候带，一个闭流的内陆湖盆中。湖盆呈长条形，长轴为北西西方向，长达100公里，宽10—20公里。含硼酸盐的盐湖分布于湖盆西北部。盆地南部可能为燕山末期的花岗岩长岩；盆地北部为火山岩层及红层互层，火山岩层主要为安山岩、凝灰岩及凝灰角砾岩等。盐湖周围的第四纪湖相地层分布甚广，由下而上可分为：

1. 灰色钙质砂砾岩：砾石多呈扁圆形，胶结物为方解石，胶结甚紧，具5—10°倾角（倾向湖心），其时代可能为老第四纪。厚40米以上。

2. 灰色砂层及砂砾层：砾石亦呈扁圆形，胶结不紧，其时代可能为中下第四纪。厚20—30米。

3. 香灰色及灰黄色含水草砂质粘土：其下部多粘土及砂质粘土，往上碳酸盐增多。层理清楚，产状水平。大约属上更新世。本层上部为灰黄色含水草粘土层，在附近湖盆中含有大量软体动物化石及孢粉，其中软体动物化石经李子舜同志鉴定为 *Obligala*, *Sizanensis*, *Costutata*, *Sibiricus* 等，初步鉴定其时代为上更新世晚期。本层厚约8米。

4. 粘土碳酸盐—硼酸盐层：其时代大致为全新世早期或者上更新世晚期。厚约5米左右。

5. 现代盐湖沉积层：下部为碳酸盐淤泥层，上部主要为芒硝及石盐层，层次清晰，产状水平。厚

10—15米以上。

本区按期收缩的湖盆地貌极为清晰，上述湖相沉积组成多级阶梯式阶地，呈环状围绕湖盆地分布很广。全新世以来在区域性气候变干和频繁的新构造运动影响下，湖盆日趋收缩分离，湖水不断浓缩，成盐作用盛行。

二、硼矿层分布及产状特征

本矿床赋存于湖相I级阶地上部，围绕现代盐湖边缘及甲、乙湖之间的横堤分布（图1），硼矿层产状水平，多呈扁平状矿体出现（图2、3），其地层顺序（图2）由下向上为：

1. 香灰色含碳酸盐砂质粘土（Ⅱ₂）：泥质结构，主要由显微隐晶质粘土组成，其次为砂粒级碎屑矿物及显微晶质白云石等碳酸盐，其中还分散有极少量的硼酸盐矿物：原生的库水硼镁石、多水硼镁石及次生的柱硼镁石（详见第三节）。含少量细分散的其它盐类，如石盐等。本层出露厚度5米许。

2. 灰白色粘土碳酸盐（Ⅱ₂₋₃）：泥质结构，主要由显微隐晶质白云石及显微隐晶质粘土组成，含有少量的碎屑矿物。含5—10%的石盐等盐类矿物，呈分散产出。其中还含有少量并呈分散的粒状硼酸盐矿物：原生库水硼镁石、多水硼镁石及次生柱硼镁石，有的已经风化成为碳酸盐，但仍保留着柱硼镁石的晶形。本层厚0.5—1米。

3. 硼酸盐（Ⅳ_{1^{oh}2}）：呈嵌晶结构，但自下而上矿物组合有明显变化（图3），靠近底部为原生硼矿库水硼镁石或多水硼镁石，往上常为次生的柱硼镁石和钠硼解石所代替。本层厚度一般为0.3—1米，最厚可达2.6米。

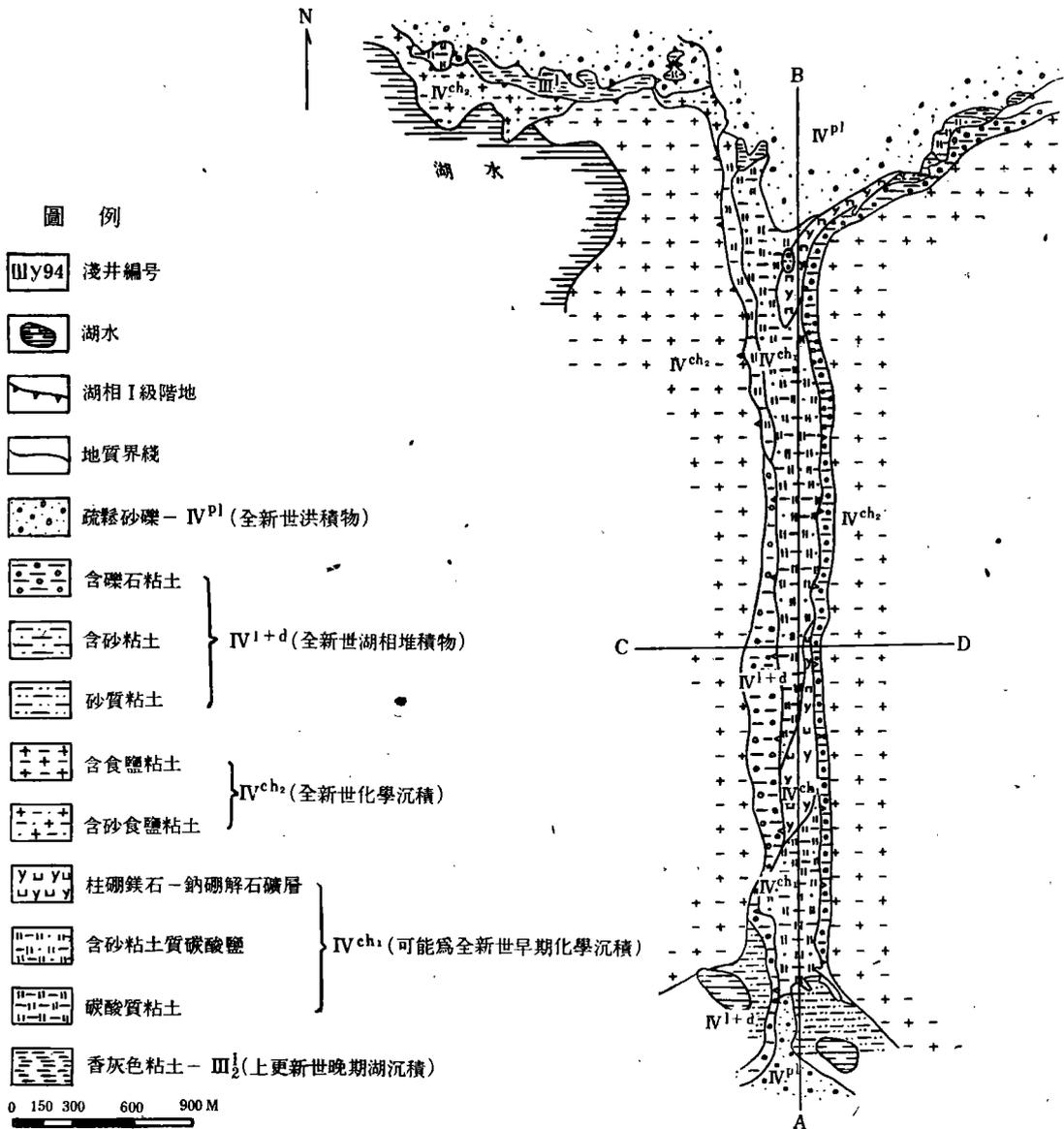


图 1 某地 I 号矿段硼矿实测地质图

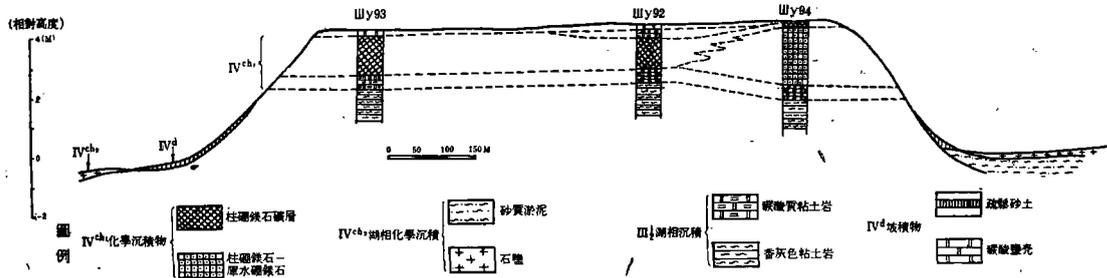


图 2 某地甲、乙湖 I 級阶地东西向硼矿地质剖面略

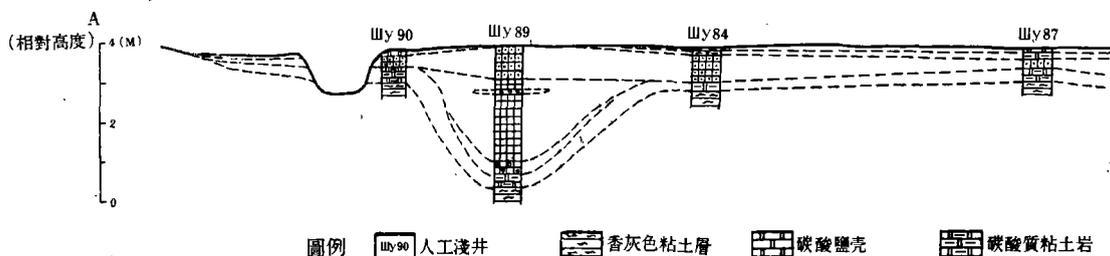


图 3 某地甲、乙湖之間 I 級階地

三、矿物成分及其共生組合和 硼矿物的次生变化規律

(一) 矿物成分

本区硼矿床就目前所知具有以下五种含鎂、含鈉或鈣鈉的硼酸盐矿物，即庫水硼鎂石、多水硼鎂石、柱硼鎂石、鈉硼解石和硼砂（上述庫水硼鎂石、多水硼鎂石系我国首次发现的硼矿物）。其中庫水硼鎂石和柱硼鎂石是主要矿物，鈉硼解石次之，而多水硼鎂石較少見，硼砂仅在个别矿段上部呈分散状产出。除这五种硼酸盐矿物以外，矿体中还包含有胶体状的粘土矿物和胶体状或显微晶质的碳酸盐矿物以及少許的碎屑矿物。繼本区全新世早期的硼酸盐矿床形成之后，在湖盆內近代化学沉积层中含有大量的芒硝（易脱水成无水芒硝）、石盐及少量罕見的鉀石膏。除多水硼鎂石和硼砂之外，其它三种硼酸盐矿物在近代化学盐类沉积层中亦有少量产出。

1. 庫水硼鎂石 (Курнаковит) $Mg_2B_6O_{11} \cdot 15H_2O$: 完好的晶体較少見，自形单晶发育有六边形 (100) 面的厚板状晶体 (照片 I)。通常为半自形細粒 (晶粒大小为 0.1—0.5 毫米，个别大者可达 2 毫米) 至致密集合体，其中或多或少嵌生有胶体状碳酸盐的小圆柱体或光滑他形顆粒，有时还有次生柱硼鎂石及多水硼鎂石与之共生。

单晶无色，集合体往往为白色。条痕白色。玻璃光泽。硬度 3。比重 1.86。(-) $2V=79^\circ 30'$ (实测)。主折光率： $N_g=1.5245 \pm 0.001$ (鈉光)， $N_m=1.5095 \pm 0.001$ (鈉光)， $N_p=1.4890 \pm 0.001$ (鈉光)， $N_g-N_p=0.0355$ 。

2. 多水硼鎂石 (Индерит) $Mg_2B_6O_{11} \cdot 15H_2O$: 单晶无色透明，多为細扁柱状或針状 (照片

I)，偶而呈板状。玻璃光泽。硬度 3。比重 1.77。一般在矿体中呈疏松白色扁豆状集合体，此外均呈分散的針状晶体与庫水硼鎂石共生。

二軸晶正光性。主折光率： $N_g=1.5057 \pm 0.001$ (鈉光)， $N_m=1.491 \pm 0.001$ (鈉光)， $N_p=1.4873 \pm 0.001$ (鈉光)。 $N_g-N_p=0.0184$ 。

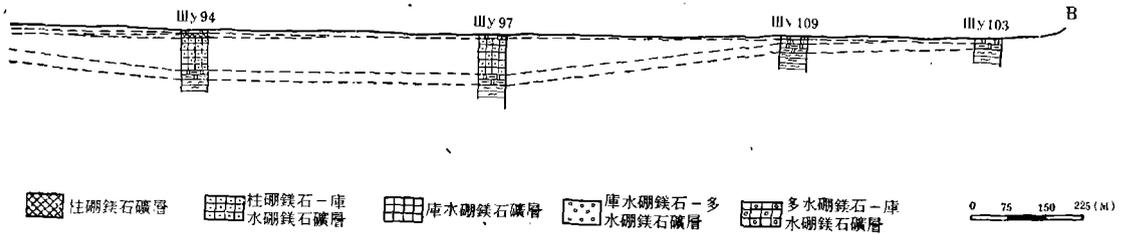
3. 柱硼鎂石 (Пинноит) $MgB_2O_4 \cdot 3H_2O$: 柱硼鎂石为主要次生矿物。晶体沿 (001) 呈短柱状，一般在庫水硼鎂石晶体中嵌生。集合体为隐晶粒状块体或圍繞着碳酸盐质粘土团粒和碎屑矿物呈放射状排列 (照片 II)。

单晶无色透明。玻璃光泽。硬度 3—4。一軸晶正光性。主折光率： $N_e=1.5760 \pm 0.001$ (鈉光)， $N_o=1.5595 \pm 0.001$ (鈉光)。 $N_e-N_o=0.0165$ 。

4. 鈉硼解石 (Улексит) $NaCaB_5O_9 \cdot 8H_2O$: 鈉硼解石为次要的次生矿物。晶体呈纖維状或針状；集合体为由纖維状或針状晶体組成的白色棉絮状团块，并显絲絹光泽。硬度 2.5。二軸晶正光性。主折光率： $N_g=1.5215$ (鈉光)， $N_m=1.5053$ (鈉光)， $N_p=1.4900$ (鈉光)。 $N_g-N_p=0.0315$ 。

5. 鉀石膏 (Сингенит) $K_2Ca(SO_4)_2 \cdot H_2O$: 此矿物在我国系首次发现，并具有独特的产状和共生矿物。它产于本硼矿区盐湖的近代化学沉积层中，通常呈薄板状单晶或集合体包含在碳酸盐质粘土中，也有与芒硝（往往已脱水成无水芒硝）、石盐及庫水硼鎂石、柱硼鎂石及鈉硼解石共生。

单晶呈薄板状，大者可达数厘米。純者无色透明，含有粘土杂质时則呈烟灰色。玻璃光泽。硬度 11.68 (尅/毫米² 維克硬度数) 或 2.2 (摩斯硬度数)。比重 2.61。(-) $2V=29^\circ$ (实测)。主折光率： $N_g=1.5199$ (黃光)， $N_m=1.5172$ (黃光)， $N_p=1.5013$ (黃光)。 $N_g-N_p=0.0186$ 。



南北向硼矿地质剖面略图

(二) 矿物共生组合及硼矿物次生变化规律

本矿床的主要矿物库水硼镁石，通常位于矿层的下部和中部，尤其是纯的粒状库水硼镁石集合体只在矿层下部见到。少见的多水硼镁石也在矿层的下、中部呈扁豆状集合体（图4），或分散在库水

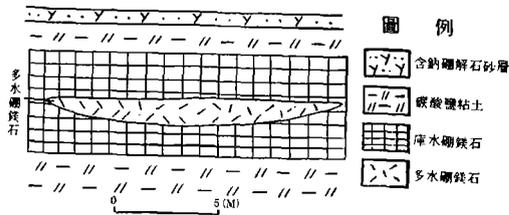


图4 原生多水硼镁石产状

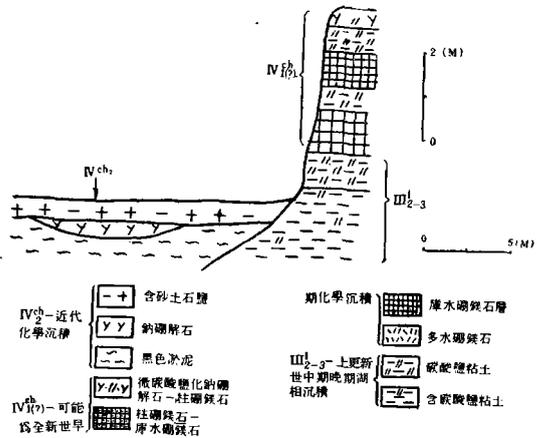


图5 硼酸盐矿层变化示意图

硼镁石集晶体中，有时还见到多水硼镁石交代库水硼镁石而生长的现象（照片IV）。粒状库水硼镁石除了呈疏松块状集晶体之外，在矿层底部或上部还与碳酸盐形成极细的交替薄层构造。柱硼镁石为次生的主要矿物，是交代库水硼镁石形成的，因此在库水硼镁石晶体中往往穿生着柱硼镁石的柱状晶体（照片V），甚至柱硼镁石呈库水硼镁石的假象；有的胶结库水硼镁石晶粒，形成了柱硼镁石-库水硼镁石矿石或库水硼镁石-柱硼镁石矿石。柱硼镁石对库水硼镁石的交代作用自矿层下部往上逐渐变得强烈，以致矿层顶部常常完全变为柱硼镁石以及矿层表面形成含碳酸盐和钠硼解石的柱硼镁石硬壳。在矿层某些地段的表层和现代盐湖上部还形成了棉絮状的钠硼解石巢状团块，其大小自10厘米至数米长透镜体（图5），镜下可观察到它交代柱硼镁石现象（照片VI），为本矿床最晚的次生硼矿物。

上述说明库水硼镁石、柱硼镁石和钠硼解石在近代化学沉积层中也有少量的形成。其中库水硼镁石极少见，并发现只与柱硼镁石、钾石膏共生。

柱硼镁石则较普遍地在含芒硝、石盐和钾石膏或不合这些盐类矿物的碳酸盐质粘土中，呈微柱状分散出现，富集时也能形成碳酸盐质柱硼镁石硬块。钠硼解石通常在现代盐湖沉积上部，偶然能与钾石膏、芒硝等盐类矿物共生。

根据现在获得的资料认为，库水硼镁石和大部分多水硼镁石是原生沉积硼矿物，其理由如下：①纯库水硼镁石和多水硼镁石呈似层状，且局限于硼矿层下部，愈往矿层上部柱硼镁石和钠硼解石交代作用愈强烈。因此，这两种硼矿物含量随之减少，以致矿层上部形成次生的含碳酸盐和钠硼解石的柱硼镁石硬壳。②库水硼镁石和大多数多水硼镁石具有本身的结晶习性，没有呈其它硼酸盐矿物的假象，即没有交代其它硼酸盐矿物的现象。相反地，库水硼镁石显著地被柱硼镁石交代。③该盐湖卤水目前尚在沉积含水六硼酸镁（详见第五节）。

经过上述讨论，本矿床的原生硼酸盐-库水硼镁石及多水硼镁石在表生条件下形成和次生变化程

序，可以提出如下图解：

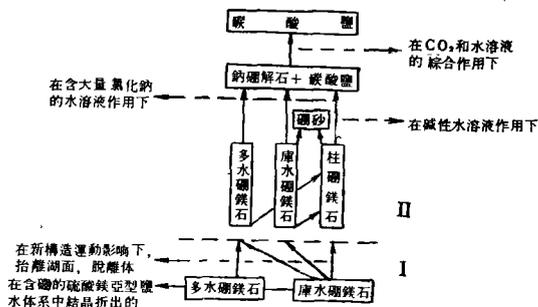


图 6 某地六硼酸鎂鹽的次生变化及相应成矿作用图解

I 次生成矿作用 I 原生含水六硼酸鎂鹽

注：在CO₂和水溶液的综合作用下，析出硼酸，并被水流带走。

四、现代盐湖的水化学特征

如上所述，本矿床无疑属于第四纪晚期湖相成因类型，在这个矿床的现代盐湖中，目前仍有芒硝、石盐、钾石膏等沉积。

盐湖是存在于地表条件下处于动态平衡的水盐系统，与自然界其他成矿水一样，盐湖湖水也可划分为三个主要水化学类型：碳酸盐类型、硫酸盐类型

和氯化物类型，根据盐湖物理化学分析原理，盐湖类型是由其中主要阴离子所决定的，亦即Na⁺(K⁺)、Ca²⁺、Mg²⁺及Cl⁻、SO₄²⁻、CO₃²⁻、HCO₃⁻等离子。在确定盐湖属于那一种类型之后，就可以确定这种类型盐湖的物理化学作用特点，并可预测其发展的方向。下面我们用瓦利亚什科 (B.Г. Вальяш-ко) 分类方法，对于该盐湖卤水特征讨论如次：

1. 据所得的水化学系数 (表 1)，说明该盐湖属于硫酸鎂亚型，它的基本平衡系统为 Na⁺(K⁺)—Mg²⁺/Cl⁻—SO₄²⁻—(B₂O₃)—H₂O。
2. 该盐湖卤水贫含溴、碘，而富含锂等稀有元素，这点亦是盐湖硼酸盐矿床内陆成因的一个明证。

五、与国内外外生硼矿床的对比

现试与国内外有关的若干代表性硼矿床对比如下 (表 2)：

由对比表可以看出：

1. 本文报导的新类型硼酸盐矿床属于第四纪盐湖硼矿床，形成于第四纪内陆盐湖中，成矿时代很新。根据刘文高、陆德复、郑绵平等研究，本区硼的主要来源与新生代火山活动产物 (含硼火山岩系及温泉) 有关，但硼份经过一定距离的搬运，而自盐湖卤水中大量析出，故其主要围岩为含盐岩

表 1 某地盐湖的水化学类型

盐湖名称	离子成分	盐类的基本平衡系统	特征系数				湖的类型
			K _{n1}	K _{n2}	K _{n3}	K _{n4}	
硫酸鎂亚型盐湖 (据 M.Г. 瓦利亚什科分类)	Na ⁺ 、Mg ²⁺ 、Ca ²⁺ 、SO ₄ ²⁻ 、Cl ⁻ 、HCO ₃ ⁻	$\frac{Na^+(K^+) - Mg^{+2}}{SO_4^{2-} - Cl^- - H_2O}$	<< 1	<< 1	>> 1	> 1 或 < 1	硫酸鎂亚型
某地盐湖 (在现代盐沉积中，见有少量含水六硼酸鎂)	Na ⁺ (K ⁺)、Mg ²⁺ 、SO ₄ ²⁻ 、Cl ⁻ 、HCO ₃ ⁻	$\frac{Na^+(K^+) - Mg^{+2}}{Cl^- - SO_4^{2-} - (B_2O_3) - H_2O}$	0.15	0.52	29.36	1.99	同上
某地盐湖附近，现代沉积含水六硼酸鎂的盐湖	Na ⁺ (K ⁺)、Mg ²⁺ 、SO ₄ ²⁻ 、Cl ⁻ 、HCO ₃ ⁻ (B ₂ O ₃)	$\frac{Na^+(K^+) - Mg^{+2}}{Cl^- - SO_4^{2-} - (B_2O_3) - H_2O}$	0.239	0.98	56.8	18.2	同上

$$K_{n1} = \frac{\partial CO_3^{2-} + \partial HCO_3^-}{\partial Ca^{+2} + \partial Mg^{+2}}; \quad K_{n2} = \frac{\partial CO_3^{2-} + \partial HCO_3^- + \partial SO_4^{2-}}{\partial Ca^{+2} + \partial Mg^{+2}}; \quad K_{n3} = \frac{\partial SO_4^{2-}}{\partial Ca^{+2}};$$

$$K_{n4} = \frac{\partial CO_3^{2-} + \partial HCO_3^-}{\partial Ca^{+2}} \quad (\partial CO_3^{2-} \text{ 是代表 } CO_3^{2-} \text{ 离子的当量数, 其余类推)}$$

层及碳酸盐质淤泥。这种成矿条件和特点，既不同于苏联和德国的海相硼矿床，亦与美国、阿根廷第三纪火山沉积硼矿床有所不同。前者形成于二迭纪海相泻湖中；后者直接形成于第三纪火山作用地区，主要围岩为火山物质（凝灰岩和熔岩等）、頁岩和粘土，大部分缺乏盐类堆积，而且没有含硼、鋰和鉀等盐类的卤水层。

2. 与其他第四纪硼矿床相比，本文报导的新类型硼矿床不但与古泉型硼矿床成矿特征有明显差别，而且与硼砂盐湖硼矿床（西尔兹湖等）亦有显著不同。前者直接形成于古温泉活动区，主要围岩为石灰华，共生盐类很少。后者按其水化学类型属碳酸盐类型，与硫酸镁亚型不同，并由此而导致它们之間在硼矿物种类和組合、共生盐类、水化学特征及矿体产状等方面均有一定差别。例如：碳酸盐型盐湖硼矿物以硼砂为主，有时还有鈉硼解石等少数硼矿物。与硫酸镁亚型的新类型硼矿床相比，硼矿物种类較少，而且以鈉鈣硼酸盐为主。而本文报导新类型硼矿床的硼矿物种类較多，原生硼酸盐以鎂硼酸盐为主。由于上述一系列差别，两者的化学加工和选矿条件也是有所不同的。

3. 与那些产有相同的硼矿物的硼矿床比較，在硼矿物組合和工业意义方面亦很不相同。如因傑尔硼矿床主要硼矿物为水方硼石和硼鎂石等，庫水硼鎂石及多水硼鎂石都属于第三世代的很次要硼矿物。同时亦不同于美国、阿根廷等第三纪火山沉积类型硼矿床，它們的主要工业硼矿物为原生的硼砂和次生的斜方硼砂。庫水硼鎂石仅在矿层的局部地段发现，而且在克拉茂矿床已查明为斜方硼砂的次生产物。同样，我国第四纪古泉型硼矿床主要工业硼矿物为鈉硼解石，庫水硼鎂石为很次要的次生硼矿物。至于柱硼鎂石最早是在德国斯塔斯弗尔特发现，并与主要硼矿物方硼石共生，也只有矿物学意义。本文报导的新类型硼矿床則以原生的庫水硼鎂石和次生柱硼鎂石等矿物为主，并已形成具有工业意义的硼矿层。此外，在本区产出的多水硼鎂石多属原生硼矿物，与上述各类硼矿亦不一样。

綜上所述，此矿床属于一个新的成因类型，矿床的地质构造简单，直接出露地表，没有含水层，矿石易加工和提炼，而且具有一定的工业意义，值得进一步进行研究。

参 考 文 献

- (1) Д.Ж.Д.Дана и др.: Система минералогии.
- (2) Спиригина А.И.: Об условиях образования курнаковита ДАН СССР, Т. 68, № 5, P. 909, 1949.
- (3) Clifford Trondel and Vincent Morgan: Inderite and gerstleyite from the Kramer borate district, kern County, California. The American Mineralogist vol. 41, № 11—12. P. 839—843, 1956.
- (4) Heinrich E. W.: A Second discovery of inderite. The American Mineralogist vol 31, P. 71—75, 1946.
- (5) Болдырева А.М.: Исследование иандрита и вмеш ающей его породы. Зап все и ине об, vol 66, №4, P651—672, 1937.
- (6) Trondel. C.: Lesserite, a new borate mineral. The American Mineralogist, vol 41, № 11—12, P.927, 1956.
- (7) Горбов А.Ф.: О процессах карбонатизации индерских боратов. ДАН СССР. 1956.
- (8) Schaller W. T. and Mrose M. E.: Naming of hydrous magnesium borate minerals from Boron, California. The American Mineralogist vol. 45. № 5—6 P. 732, 1960.
- (9) Turilari, a borax Crystal Playa in Argentina (abs) Geol. Soc, America Bull. vol. 69 № 12 P. 1696, 1958.
- (10) 謝先德、郑綿平：“庫水硼鎂石晶体的研究”《中国科学》№ 4, 1963.

作 者 来 信

中国地质編輯室：

1963年第十二期《中国地质》发表的《中国东部震旦紀、泥盆紀沉积鉄矿的分布特点》一文，有以下錯誤，請予更正：

1. 第十六頁右栏倒数第四行“鷄窩寨灰岩”应为“鷄泡灰岩”；第十七頁左栏倒数第十一行“麟山砂岩”应为“宋家桥砂岩”。

2. 第十四頁表 2，豫西和河北两栏中的“（石英砂岩）”和“（鈣质砂岩）”应分别移入上栏“（鉄矿层）”之下；第十七頁表 4，湖北、陝西两栏中的“云台观石英岩”及其底部橫綫，均应向下平移約半栏，其时代属于中泥盆世。

（作者赵东旭）