

礦產普查勘探叢書

錫

柯索夫 奧斯特羅明茨基合著

地質出版社

本書係根據蘇聯地質部礦物原料研究所主編的“礦產在普查與勘探時的評價叢書”(Оценка месторождений при поисках и разведках)第二冊“錫”(Слово)譯出的。爲簡便起見,我們簡稱“礦產普查勘探叢書”。本冊作者是柯索夫(В. М. Косов)和奧斯特羅門茨基(Н. М. Остроменский)。蘇聯國立地質書籍出版社(Госгеолиздат)1949年於莫斯科出版。

全書共11萬餘字,是錫礦地質研究和勘探的結晶。由地質部編譯室鄭儒義、呂文彥譯出,徐啓明、王敬端、張麗娟、蔡冬生校對,張培善、趙其淵審校。

礦產普查勘探叢書 第五號

書號0054

錫

119千字

著者 柯索夫、奧斯特羅門茨基

出版社 地質出版社

北京市書刊出版業營業許可證出字第伍伍號

北京安定門外六鋪炕

經售者 新華書店

印刷者 北京市印刷一廠

北京西便門南大街一號

印數(京)1—6,000 一九五四年五月北京第一版

定價10,000元 一九五四年五月第一次印刷

開本31×43 $\frac{1}{2}$

原 序

本書是工作方法叢書之一。所謂工作方法，係指評價最主要礦產產地所積累起來的經驗的系統化。本叢書編輯的目的是專供地質工作者在初次遇到新資源評價問題時之用。

地質工作者對礦產產地的評價，其內容包括確定礦產的質量、儲量及勘探和開發的條件。隨礦床研究程度的不同，評價可分為：（1）遠景評價，即確定產地作為普查和勘探工作對象的價值；（2）工業評價，此種評價是在勘探工作的成果上進行，並須給開發和原料加工的企業提供設計資料。

在設計過程中必須做一些必要的經濟計算。計算用的原始地質資料，應當在勘探時獲得。本叢書所涉及的經濟知識，僅僅作為設計時的一種方針，不能認為是決定性的意見。

由於自然現象千差萬別，礦床特性各不相同，無從提供一套現成的評價方法。因此，方法問題是本書的主要內容；所引用的例子是我們祖國豐富的實際工作中解決這些問題的有效辦法。

“礦產普查勘探叢書”共分 19 冊：10 冊是金屬礦物原料，9 冊是非金屬礦物原料。

由於所涉及的問題過於複雜，用以說明工作方法的材料範圍又十分廣泛，個別的缺點和不够的地方在所難免。希望讀者發現書中所存在的缺點後，隨時通知我們，以便再版時有可能予以更正。

目 錄

原 序

第 一 篇 總 論

第一章	國外錫的情況	1
第二章	錫的工業礦物	5
第三章	錫礦生成的條件	12
	錫在地球化學上的主要特徵	12
	標型礦物的錫石	14
	錫礦的氧化帶、分散量和錫石砂礦形成的條件	16
第四章	錫礦的工業類型	25
	生根錫礦	25
	含錫偉晶岩礦系的礦床	26
	錫石石英礦系的礦床	30
	錫石硫化物礦系的礦床	36
	砂錫礦床	46
	殘積砂礦	46
	堆積砂礦	48
	沖積砂礦	50
	湖濱砂礦和海濱砂礦	52
	掩蔽砂礦	54
	石化砂礦	56

第 二 篇 含錫地域及錫礦礦床的遠景評價

第一章	錫礦與塊狀花崗岩類的關係	57
第二章	根據當地的區域位置作含錫情況的遠景評價	64

第三章	普查錫礦的工作方法	65
	重砂測量	66
	錫量測量	69
第四章	普查結果的評價	76
	對重砂調查材料的評價	76
	對普查的直接標誌的評價	80
第 三 篇 錫礦礦床的工業評價		
第一章	生根錫礦床的勘探方法	86
	揭露錫礦礦體露頭	86
	詳細勘探下的錫礦礦床分類	91
	深處勘探礦床	93
	取樣	99
第二章	錫石砂礦勘探方法	105
第三章	對生根錫礦大小的評價	114
第四章	對生根錫礦評價的礦山技術要素	122
第五章	對生根錫礦評價的工業技術要素	126
	生根礦床礦石選礦法	126
	錫精礦及對錫精礦的要求	128
	錫礦石的工業技術類型	129
第六章	評價錫石砂礦的基本要素	132
	用挖泥機開採砂礦床	132
	水壓開採法	135
	挖土機開採法	136
	人工開採法	136
	錫砂的選礦	138
第七章	各級儲量計算和估計方法	141
	生根礦床	141
	砂礦床	145
第八章	對錫礦作工業評價的基本技術經濟指標	149
參考文獻		

第 一 篇

總 論

第 一 章

國外錫的情況

消費和產量 錫在古代即已發現。使用錫與銅的合金(青銅)，決定了人類發展史中的一個時代，即是歷史學家和考古學家所稱的“銅器時代”。古代開採錫的地方有大不列顛的康瓦爾、中國南部和東哈薩克等地。

自發現用錫塗在薄層鐵板上可以防止鐵被腐蝕的方法後，就大大的推進了消費錫的增長。從1820年首次大規模的用錫製造白洋鐵的時候起，直到現在這種工業仍然佔錫的主要消費量。此外，錫還廣泛的應用於巴比特(Баббит)1839年所發明的耐磨合金(антифрикционный сплав)中。這種合金在技術發展上起着巨大作用。

錫之所以能够在工業上和日常生活上廣泛應用是因其有如下的特性：

- (1) 化學穩定性(防蝕性)；
- (2) 錫鹽無毒；
- (3) 易熔性及用以製造優質合金，特別是耐磨合金的性能：如巴比特合金(含錫自10到83%)、鋅料(含錫25—90%)、青銅(含錫2—30%)和活字合金。而活字合金類似巴比特合金，但含錫較少(10%以下)。

根據美國統計局的材料，錫在美國的消費情形如下（表 1）。

錫的各種用途分類（以噸計）

表 1

用 途	1938 年	1989 年
白鐵	25,514	40,500
巴比特合金	2,810	3,760
鋅料	7,820	10,090
青銅	5,000	3,960
小管和錫箔	4,000	3,910
其他	8,680	8,400
總計	50,624	70,620

在十九世紀，隨着技術的突飛猛進，錫的消費量也增加到約 20 倍。第二次世界大戰前主要消費錫的國家是美國和大不列顛。茲將世界各國（蘇聯除外）每年消費錫的數量列於表 2。

1929—1938 年間世界各國每年錫的消費量。

表 2

國 家	人口（以百萬計）	平均每年錫的消費量 （噸）	每人消費錫量（公斤）
大不列顛	45.0	21,500	0.5
美 國	131.5	63,600	0.5
瑞 士	4.1	1,300	6.32
瑞 蘭	6.5	1,700	0.26
法 國	42.0	9,700	0.23
大 利	6.6	1,500	0.23
拿 意	10.0	2,000	0.20
澳 德	65.0	12,000	0.18
捷 克	13.8	1,500	0.18
比 時	8.25	1,400	0.17
荷 蘭	8.64	1,200	0.14
新 西	1.6	220	0.14
阿 根	13.0	1,200	0.10
意 大	45.0	4,300	0.10
日 本	100.0	5,900	0.06
西 班	25.0	1,400	0.06
波 蘭	35.0	1,200	0.036
印 度	257.0	2,400	0.009
中 國	480.0	1,700	0.004

二十世紀初期錫的年產量是89,400噸，而從1935年到1939年，則增加到208,000噸。各大洲錫的產量（蘇聯除外）如表3所列。

1939年世界各國錫的產量

表 3

	千 噸	佔總產量的百分數
東南亞	124.0	66.0
其中包括：		
馬來半島	58.0	30.8
印度尼西亞	32.0	17.5
暹羅（泰國）	17.0	9.0
中國	11.0	5.8
緬甸	6.0	3.1
南美（玻利維亞）	28.0	14.8
非洲（尼日里亞和比屬剛果）	21.0	11.2
澳洲和其他國家	15.0	8.0
總 計	188.0	100.0

在1940年錫的產量提高到240,000噸。以後幾年由於東南亞轉入戰爭漩渦，錫的產量大大地降低了，1942年只有128,500噸。而1945年錫的產量僅等於89,000噸，按各國實際產量列舉如下（以千噸計）：馬來亞—3.1；印度尼西亞—1.0；泰國—1.5；中國—2.5；尼日里亞—11.2；比屬剛果—17.5；玻利維亞—42.5；其他國家—9.7。

從表3中可以看出，在馬來半島和印度尼西亞（如邦加島、勿里洞島和新克浦島）這樣不大的地方竟佔世界錫產量的50%，而幅員遼闊的地方如北美洲幾乎沒有工業價值的錫鑛床。西歐各國錫的產量也不過是2,500噸到3,000，其中2,000噸產在英國。

錫的價格和生產的財政管理 近年來錫的價格日益趨於上漲。1939年倫敦交易所1噸錫的平均價格是215—245英鎊。1940年第一季度末期上升到250英鎊，而在1946年達370英鎊。近50年來錫的價格已增加到5倍以上，根據紐約交易所的材料，1897年1磅（453.6克）

錫的價格大約是13分，1937年就為54分，而到1947年則上漲到70分。

根據戰前國外價格，一噸錫的價值相當於4.36噸銅、9.5噸鉛、10噸鋅、2噸鋁、3.5噸銻、1.25噸鎳、7.5公斤銀、930克金和大約1.0噸淨鉬或0.65噸淨鎢砂。

上述材料說明了，雖然錫的出產數量（噸數）幾乎只是銅、鉛或鋅的十分之一，但錫的整個產品價值則接近於鉛或鋅的世界產量價值，而只比銅產品價值小一半。

錫之所以有巨大作用，是因其在各種工業部門是不可缺少的，它既能滿足和平建設的需要，又能供給軍事上各種用途。例如美國，每年單是為製造軍用品而消費的錫就不下5萬噸。

大不列顛對錫的財政控制在戰前幾乎達錫世界產量的75—80%，因為馬來亞、泰國和緬甸的錫礦開採企業都屬於英國公司，而玻利維亞的淨礦又在英國工廠內熔煉。錫的生產管理握在錫的國際卡迭爾手中，它操縱着主要產錫地區淨礦出口的季度定額。

由壟斷所維持的高昂價格，給馬來亞錫礦開採公司有可能獲得50—80%甚至100%的巨額利潤。

第二章

錫的工業礦物

已發現的錫礦物有 18 種，可以分爲以下幾類：氧化物、硫錫酸鹽、硫化物、矽酸鹽、硼酸鹽、鉬酸鹽和鈳酸鹽。其中僅兩種礦物——錫石(SnO_2)和黝錫礦($\text{Cu}_2\text{S} \cdot \text{FeS} \cdot \text{SnS}_2$)具有工業價值。在玻利維亞錫礦區中常常有輝銻錫鉛礦、硫鉛錫礦、圓柱錫礦和黑硫銀錫礦。

茲將六種最重要的錫礦物的特性和判斷標誌敘述如下：

錫石 (касситерит) (SnO_2) 理論上的成分：Sn—78.52%；O—21.38%。實際上還常常有：Fe、Mn、W、Ta、Nb、 SiO_2 、In、Ge、Ga、Be、Zr，有時還有 V、Ni、Sb。錫的含量在 69—78% 之間。比重 6.8—7.1。純者無色而透明，但因含有雜質，幾乎經常呈各種不同的褐色或松脂黑色，很少有風信子紅色或葡萄黃到淺黃色的。

表面自無光澤到玻璃光澤和金剛光澤，斷口面呈脂肪光澤，條痕爲白色或棕色。硬度 6—7；性脆；斷口不平滑。正方晶系；複正方雙錐對稱型。結晶通常甚好；已知晶形超過 70 種。柱狀晶形（圖 1），往往也有針狀晶形（圖 2），複錐晶形較少。柱面通常有垂直擦痕，而錐面則有平行於錐面稜的擦痕。簡單的晶體相當稀少。而 (101) 面的雙晶最多，重複三晶（圖 3）次之。(110) 和 (100) 面解理不完全，(111) 面的解理在顯微鏡下不明顯。

一軸晶，正光性。折光率： $N_o=1.9923-1.9966$ ； $N_e=2.091-2.094$ ； $N_e-N_o=0.0968-0.0988$ 。在顯微鏡下從無色、淺黃色、淺褐色到褐色和紅色，有時有極明顯的帶狀結構。多色性顯著。

在不同礦床的許多錫石標本中，戈特曼 (Я. Д. Готман) 發現了礦物的光性異常。帶狀結構錫石的異常 (аномальная) 二軸性，在個別帶



圖1. 石英中的柱狀錫石 ($\times 90$, 平行偏光)

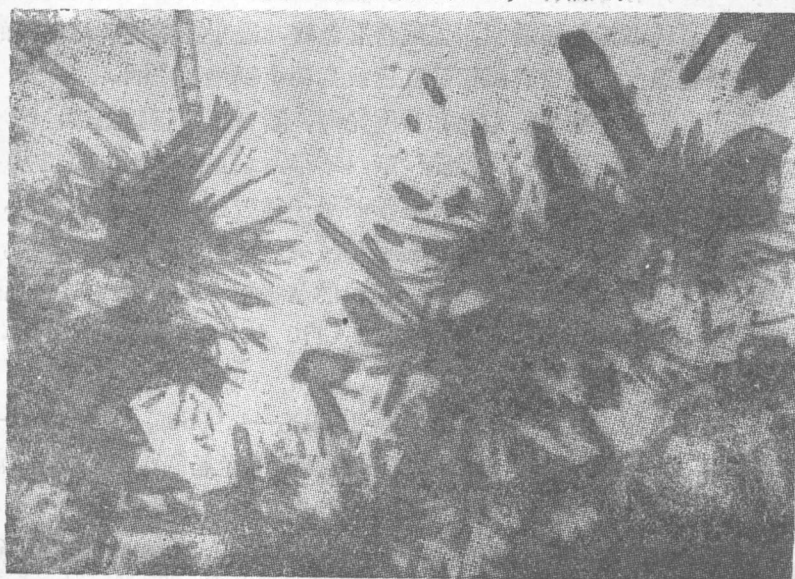
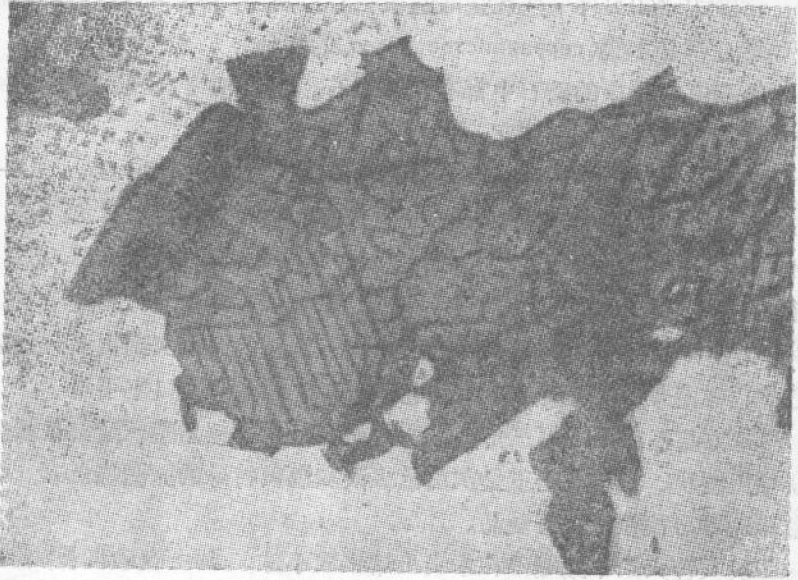


圖2. 針狀錫石 ($\times 90$, 平行偏光)

圖3. 曲形錫石雙晶 ($\times 90$, 平行偏光)

中達 $2V = 7-15^\circ$ 。

在吹管火焰下沒有熔劑時，錫石不發生變化。在有碳酸鈉的木炭上還原成金屬錫，並產生白色沉澱。加上鹽酸和金屬鋅則形成“錫鏡”(оловянное зеркало)——錫的沉澱。擦後發亮，這乃是分解出的氫所還原的錫。薄片非均質性明顯，內部反射從無色到黑褐色。不被任何一種試劑所腐蝕。

除結晶錫石外，在自然界中還有錫石的膠狀隱晶和微晶變種，稱為“木錫”。木錫是梨形和水滴狀的泉華生成物，並具有硬化凝膠的放射狀同心結構，為淡灰綠色、黃紅色、褐色和棕色等。在蘇聯柯普琴諾娃(E. B. Копченова)曾詳細研究過木錫，她根據化學成分而確定木錫與各種普通錫石有些不同。經常發現其中 Fe_2O_3 、 SiO_2 、 BeO 、 Al_2O_3 、 As_2O_3 、 Sb_2O_3 以及 Ag、Zn、Pb、Mo、Ge、B 的含量有所增高。

當黝錫礦和另外一些硫錫酸鹽氧化時，所生成的海棉狀、土狀錫石(SnO_2)都是木錫(деревянистое олово)的變種。

在所有錫礦床的礦石中都有結晶錫石。木錫雖較少，然而無論在生根礦床或砂礦中都遇到它。

黝錫礦(станнин)($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$)理論上的成分： Cu —29.6%； Fe —13%； Sn —27.6%； S —29.8%。而實際上錫的含量是 24.08—29.08%； Cu 26.43—31.52%； S 28.26—30.50%； Fe 6.83—13.95%。通常還有： Zn —8.71% 以下、 Cd —0.83% 以下； Bi —0.20% 以下， Sb —0.25%，有時有 Pb 、 Ag 。比重4.3—5.2。顏色由鋼灰到黃黑；金屬光澤；不透明；條痕暗灰色。硬度3—4；性脆；斷口不平滑。

正方晶系，正方偏三角面體對稱族。很少有結晶體。通常是緻密狀和顆粒狀。在反射光下呈灰白色或淡灰色與特殊的橄欖綠色彩。微呈非均質，往往發現有雙晶。

於吹管火焰下黝錫礦在木炭上熔化成小珠。加上硼砂再鍛燒礦物，即發生 Fe 和 Cu 的反應。溶於 HNO_3 ，成藍色溶液並分解出 S 和 SnO_2 。

黝錫礦是錫石硫化物礦床組的代表礦物。在淺處生成的礦床特別富含黝錫礦，例如玻利維亞的某些礦床即是。那裏的黝錫礦是與方鉛礦、閃鋅礦或纖維鋅礦、針狀錫石和其他某些硫錫酸鹽共生在一起。在錫石石英礦床和含錫偉晶岩中黝錫礦特別少，但有時也成為大的結晶。

輝銻錫鉛礦(франкеит)($\text{Pb}_5\text{Sn}_3\text{Sb}_2\text{S}_{14}$)化學成分不定。錫的含量 9.48—17.36%、 Pb 39.50—50.57%、 Sb 8.55—13.06%、 S 19.28—25.10%。此外，還經常有： Fe 2.5—5%； Zn 0.75—2%； Ag 1% 以下； Ge 0.1—0.3%。

比重3.5—5.5。顏色鉛灰到暗黑和黑色，金屬光澤。不透明。硬度2.5；礦物為軟性至有延展性；具滑感；在紙上呈不明顯的黑色條

痕。

晶系未確定。板狀晶體。礦物成放射葉片狀堆積體，腎狀集合體，有時成小球狀組成物。(001)面的解理非常清楚。用吹管分析在木炭上時，礦物的附近產生鉛的黃色薄膜，較遠為銻的薄膜和少量鋅的氧化物。在木炭板上與碳酸鈉熔合時，生成紅棕色礦滓和鉛的小珠。易溶於王水，同時分出硫。當加熱時能溶於硝酸，產生由銻、錫和銨的氧化物組成的白色粉末。在放射光下，礦物呈類似方鉛礦白淺灰色。非均質性非常明顯。

輝銻錫鉛礦在顯微鏡下的構造特徵是散亂的薄片狀集合體。各個薄片都是無次序地相互生長着。薄片具有彎曲性。這種揉縐的薄片往往垂直(001)面，在交叉偏光下易識別，而且可作為區別輝銻錫鉛礦和硫鉛錫礦的標誌。用硝酸腐蝕輝銻錫鉛礦時，即迅速地生成雜色不能拭掉的薄膜。加王水生虹彩薄膜 (ирризирующий налет)。FeCl₃、KCN、KOH 與輝銻錫鉛礦不起作用。HCl 通常也不起作用，但有時在礦物的個別地方能生成淺灰色或淺褐色薄膜。

在玻利維亞含錫礦床中，經常發現輝銻錫鉛礦與黝錫礦和其他的硫錫酸鹽以及黃鐵礦、白鐵礦和閃鋅礦相伴生。

硫鉛錫礦 (тиллит) (PbSnS_2) 化學成分：Pb—53.2%，Sn—30.4%，S—16.4%。比重 6.36。淺灰色；金屬光澤；不透明。硬度 2.0。斜方晶系。(001)面解理完全。在反射光下呈白色，並帶乳酪玫瑰色。非均質性明顯。在交叉偏光下呈現雙晶結構。雙晶由窄長薄片組成。連晶面常為(001)面。

硫鉛錫礦是玻利維亞波多西 (Потоши) 型熱液硫化物錫石礦脈中分佈相當廣泛的硫錫酸鹽；它的共生礦物有黃鐵礦、毒砂、閃鋅礦、纖維鋅礦、黃銅礦、針狀錫石、石英、碳酸鹽。

圓柱錫礦 (килиндрит) ($\text{Pb}_3\text{Sn}_4\text{Sb}_2\text{S}_{14}$) 化學成分：Pb—34.80%，Sb—13.45%，Sn—26.63%，S—25.12%。此外還常含有 Fe—3.0%

以下，Ag 約 0.5%；少許 Cu、Ge、Bi。比重 5.4。暗鉛灰色，新鮮斷口面呈淺灰白色；新鮮斷口面的光澤為強金屬光澤；條痕黑色。硬度 2.5—3。晶系不明。常呈圓柱形甲殼體。無解理。在磨光的薄片中呈方鉛礦白色。在玻利維亞含錫礦脈中常與黝錫礦、輝銻錫鉛礦、錫石等礦物在一起。

黑硫銀錫礦 (канфилдит) (Ag_8SnS_6) 是 Ag_8SnS_6 — Ag_8GeS_6 (硫銀銻礦) 類質同像系的邊際礦物，並經常含有置換 Sn 的一定量的 Ge。該系中每種礦物的物理性質相近。比重 6.28。黑色，並有藍或紫的色彩；強金屬光澤。斷口不平，呈貝殼狀；性極脆。等軸晶系。常呈八面體、緻密體或葡萄狀集合體。雙晶往往與尖晶石規律相同。無解理。

在木炭上用吹管分析易熔，同時生成雜有 Sn 和 Ge 氧化物的薄膜。再繼續加熱，則產生塗有氧化錫的鱗殼的銀珠。

加 KCN 和 HgCl_2 於礦物的磨光面上，則起腐蝕作用；HCl 不起作用。在 HNO_3 的長期（一分鐘以上）作用下，礦物逐漸變為棕色。加 KOH 則失去光澤，並產生氯化鐵薄膜。在顯微鏡下觀察其顆粒時，常發現成層狀，有時為帶狀結構。

在波多西（玻利維亞）的某些礦山中和薩克森（Саксония）的弗萊別爾格（Фрейберг）礦床中都發現有黑硫銀錫礦。而在以上兩種情形下，黑硫銀錫礦都與富含銀礦物的熱液礦脈有聯系。它的典型伴生礦物是自然銀、斜方輝銻銀礦、硫銻銀礦、黝銅礦、黝錫礦等。

在上述六種錫礦物中，以錫石和黝錫礦分佈最廣，除此六種礦物外，還發現有下列 12 種比較稀有的含錫礦物：

硫錫礦 (кольбокин 或 горценбергит) SnS

含錫砷硫化銅鈳礦 (колюзит) $(\text{Cu}, \text{Fe}, \text{Sn}, \text{Mo}, \text{Zn})_4(\text{S}, \text{As}, \text{Fe}, \text{Sb})_{8-9}$

鋅硫鉛錫礦 (пуфалит) $3\text{PbSnS}_2 \cdot 2\text{ZnSnS}_2$

矽酸鈣錫礦 (стокэзит) $\text{H}_4\text{CaSnSi}_3\text{O}_{11}$

矽酸錫礦 (силэзит) — 含錫矽酸鹽

含水矽酸錫礦 (арандизит) $3\text{SnSi}_4 \cdot 2\text{SnO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$

硼酸鈣錫礦 (нонденшльдит) $\text{CaSn}(\text{BO}_3)_2$

黑硼酸錫鐵礦 (гульсит) $12(\text{Fe}, \text{Mg})\text{O} \cdot 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Sn}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

錫鉬礦 (тсролит) $\text{Ta}_2\text{O}_5 \cdot \text{SnO}_2$

鈣鉬鉬礦 (хвольбит) Y、Fe、Mn、和 Ca 的含錫鉬酸鹽 (和鉬酸鹽)

磁鐵錫鋅礦 (нигорит) $(\text{Zn}, \text{Mg}, \text{Fe}'')(\text{Sn}, \text{Zn})_2(\text{Al}, \text{Fe}''')_{12}\text{O}_{22}(\text{OH})_2$

多水硼酸錫鐵礦 (полгент) $36\text{FeO} \cdot 5\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{SnO}_2 \cdot 6\text{B}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

這些礦物的性質和特徵，具載於礦物參考書和專門著作中。

第 三 章

錫礦生成的條件

錫礦的成因問題在斯米爾諾夫 (С. С. Смирнов)、列維茨基 (О. Д. Левицкий)、拉德刻維奇 (Е. А. Радкевич)、舍爾賓娜 (В. В. Шербина) 等的專門地球化學和地質學的著作中已作了全面而詳細的闡述。

錫在地球化學上的主要特徵

在地殼內錫的重量克拉克值是 6×10^{-4} ，因此說明錫是分佈相當廣泛的元素。然而與另外一些重金屬的克拉克值相比較，則錫的分佈就不算廣，只有鋅的三十五分之一、銅的十七分之一、鉛的三分之一。

這種情況，主要是錫的地球化學特性而影響到錫很少有機會形成工業礦床。在礦床的礦石中，錫的最低工業含量通常為其重量克拉克值的 200—500 倍，而在砂礦中則為 10—20 倍。

根據原子結構錫是屬於親銅 (халькофильный) 元素組，因此就決定着錫和硫之間有着大的親和力，錫能形成硫鹽、以及錫的白色衍生物的反磁性。如像其他親銅元素一樣，錫容易與氧化合，因為氧是比硫活潑的元素。錫的這種性質非常重要，因為錫有順磁性衍生物“灰錫”存在時，氧化物 SnO_2 是在地殼上帶最穩定的化合物，因此也是分佈最廣的錫化合物。所以，下列錫的氧化物的性質，對於錫在一般條件下轉移和集中的作用有很大的意義：

1. 兩性 (амфотерность), 能够生成 Sn^{4+} 為陽離子的鹽, 錫為 $(\text{SnO}_3)^{2-}$ 、 $(\text{SnO}_4)^{4-}$ 的陰性絡離子的錫酸鹽以及 $(\text{SnS}_3)^{2-}$ 、 $(\text{SnS}_4)^{4-}$ 和 $(\text{SnS}_6)^{8-}$