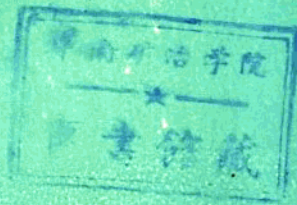


514112

金属矿床地质与勘查译丛

第2辑 成矿作用问题



冶金工业部地质研究所编

桂林·1983



编 者 的 话

世界采矿工业统计资料表明,矿物原料的工业需求每12—15年翻一番。

美国和加拿大金属矿床勘查统计资料表明,在七十年代大体要付出相当于五十年代三倍的投资,才能获得数量相等的储量。

我国现有的有色金属统配矿山中,到1985年将有63个矿山(坑口)消失能力12.5万吨;到1990年前,还将有1/4的矿山(坑口)面临闭坑的危急。估计到2000年前绝大部分现有有色金属矿山迟早会出现资源短缺之类的问题。

从上述资料可以看出,无论在外国,还是在国内,矿山资源特别是金属矿产资源的长期稳定供应是一个紧迫的问题;找矿难度增大是世界范围内普遍存在的问题。找矿到底“难”在哪里?其最基本的原因在于,找矿对象变了,而现有的理论水平、预测能力和方法手段还远不能满足这种变化的要求。所谓找矿对象变了,是指现阶段整个找矿对象的主体不再是地表易于寻找的矿体,而是未出露地表或地表成矿信息显示微弱的盲矿和掩埋矿,以及难于辨认的矿。像日本、西欧国家,早就出现了这样的问题,自不必说;其他工业发达国家(如美国和加拿大等),亦先后面临这种问题;即使像澳大利亚这样幅员辽阔、现代地质工作开展较晚的国家,靠铁帽过日子的局面也不会长久了,“埃卢腊铅锌矿床和奥林匹克坎铜钼矿床的发现也许是(寻找隐伏矿床)新纪元的开始”。总之,表层矿产日趋“枯竭”是不以人的意志为转移的;寻找埋藏更深的矿产是当今矿产地质工作者面临的严峻的挑战。对此估计不足,从而放松这方面的努力,将会贻误我们的工作。

最近二、三十年来,工业发达的国家越来越自觉地探索隐伏矿床成矿预测问题,有了良好的开端,陆续取得一定的成就,积累了不少经验。“他山之石,可以攻玉”。因此,我们打算将隐伏矿床成矿预测作为我们在比较长时间内注意的中心,选择国外金属矿床地质学和找矿勘探方面的有关文献进行编译,并按专题不定期汇编成册,定名《金属矿床地质与勘查译丛》,以促进盲矿、掩埋矿和地表难以辨认的矿的普查和勘探。

我们热忱地期待生产、科研和教学单位的同行们对我们工作多提宝贵意见,以便在选材、翻译、编辑、出版诸方面改善我们的工作,更好地为金属矿床的普查和勘探服务。

前 言

本文集汇编了成矿作用研究方面的论文共16篇,大约20多万字。我们的目的在于,为从事找矿勘探的同行提供一点有助于开阔思路的实际资料,并且引起大家对成矿理论研究更进一步的关注和兴趣。事实上,矿产勘查的突破与成矿理论的发展可以说是互为因果,相互促进的,没有五十年代以来西半球等地斑岩铜矿勘查活动的广泛开展,便没有斑岩铜矿成矿理论的形成和发展;反之,正是由于较为完善的斑岩铜矿成矿理论,才导致世界范围内斑岩铜矿床找矿勘探的许多重大突破,有关的理论又在实践中丰富和提高。同样地,密西西比型铅锌矿床、贱金属块状硫化物矿床、太古代绿岩带金矿床以及硫化物铜镍矿床等成矿理论也就是这样在找矿实践中不断完善,从而促进了有关矿产的勘查活动。

《锡的分布型式》一文,出自在英国和东南亚长期从事锡矿研究的高手,较为全面地评述了锡矿床地质的一些基本问题,是一篇材料丰富、有分析、有见解的背景材料。此外,我们还从刚刚问世的《与酸性岩浆活动有关的成矿作用》(第六卷)一书中选译了几篇与锡的成矿作用、含锡岩体的评价和酸性岩浆成矿分带性有关的论文。“含锡喷气岩赋存于何处?”,随着对斑岩锡矿类型的确认和普遍接受,一个新的课题又提出来了,值得我们注意和研究。无疑,这对扩大寻找锡矿的途径有好处。

国外夕卡岩矿床研究方面的成果,在《经济地质》第77卷、第4期中有集中的反映。这里选译的D.M.Burt的《夕卡岩矿床的矿物学与岩石学》一文,作者对夕卡岩矿床的一些基本概念有清晰的表述,并用拓扑相图研究了夕卡岩矿物相平衡问题。有关拓扑相图的方法问题请参阅林传仙的《相图的构筑和应用》一文(《地质与勘探》,1982年第6期)。在另一篇文章中,提出了鉴别镁夕卡岩和钙夕卡岩的问题,并阐述了可以用作普查准则的不同组合夕卡岩矿床的某些特征,有一定参考价值。

成矿流体的研究是国内外矿床地质学界的一个热门课题,在这方面发表了许多有价值的文章。对大陆地热区和海底水热系统的直接调查,有助于揭示许多矿床的成因,最近刚发表的《海底热液矿床》,是对现有的海底现代成矿作用调查资料比较全面的归纳,较为清楚地说明了海底热液矿床研究的现状。此外,还有几篇文章从不同的角度探讨了成矿流体及其中成矿物质的来源问题。

成矿模式的研究,现在已经不是什么赶时髦,而是东、西方矿产勘查界越来越普遍采用的一种工作方法。所谓成矿模式,是对成矿环境、成矿机制、矿体在空间和时间上分布规律的辩证综合或抽象图式,是正确选区的依据,也是合理使用找矿方法的指南。成矿模式研究是成矿规律研究深入的标志之一。尽管现有的各种模式远非精密,有些问题尚待解决,但是大量事实证明,只要运用得当,而不是死抱住模式不放,它们是有助于提高找矿勘探效果的。本文集也搜集了几个模式,以飨读者。其中有西方的,也有苏联的,但都是区域性或地区性的。显然,它们较之那种建立在全球性对比基础上的成矿模式,就更欠完善,适用范围更有限。

现代成矿理论研究,涉及的领域更加广阔,运用的手段更加先进,思维方法更加注重全

面性和事物的关联，因而工作中能够做到综合研究岩石与矿石，内生成矿作用、外生成矿作用和变质成矿作用，矿床的发生、演化和消亡，单个矿床与矿床系列，乃至矿床在全球范围内、整个地质历史上的分布，从而在实践中显示较强的生命力。因此，这种现代成矿理论研究的鲜明特点，尤其值得发扬。

限于篇幅，论文所附的参考文献一律从略。

我们的语言、业务水平有限，错误之处在所难免，欢迎读者批评指正。

金属矿床地质与勘查译丛

第二辑 成矿作用问题

目 录

前言	
锡的分布型式.....	(1)
评价花岗岩类杂岩体含锡远景的岩石学准则.....	(52)
锡矿床成因的流体包裹体证据.....	(58)
长英质火成岩类中锡和铜矿化作用的比较—含锡喷气岩赋存于何处?	(65)
加拿大新斯科舍某含锡花岗岩类深成岩体的固结作用和结晶作用.....	(71)
与酸性岩浆作用有关的矿化分带性.....	(91)
夕卡岩矿床的矿物学与岩石学.....	(102)
镁夕卡岩和钙夕卡岩矿床的预测—评价和普查准则.....	(112)
富氟火山岩中铀/钍元素矿床成矿模式.....	(122)
澳大利亚元古代主要层状贱金属矿床.....	(131)
乌多坎型含铜砂岩矿床的成因模式.....	(160)
与非岩浆成因水有关的成矿模式.....	(163)
来自正在结晶的岩浆的超临界流体对成矿金属的活化.....	(175)
地热系统与热液矿床的形成.....	(181)
海底热液矿床.....	(185)
地应力与成矿—以斑岩铜矿的形成为例.....	(208)

锡 的 分 布 型 式

K.F.G. Hosking

“这个故事有七种说法，时间短了讲不完。”

——Holmes引用的东非谚语

摘要：作者写作本文是希望为这次学术讨论会将要发表的一些专论提供一分总的背景材料；同时还因为考虑到这个题目无论对关心锡矿床成因的，还是对根本兴趣在于寻找和勘探这种矿床的，都是十分重要的。

冒着引起严重的不协调的风险，作者在这篇论文中只要有可能便大量地利用了他本人的经验；并且相信，通过这样做他能作出最有益的贡献。

一般说来，从全球范围到光、薄片下锡的分布型式(distribution pattern)本文均作了评述；当前特别感兴趣的某些课题，以及看来值得特别注意的其他课题也得到强调。具体说来，所涉及到的主要项目如下：

I. 普通岩石、土壤、生物物质和天然水中锡的一般分布型式。

II. 锡矿床在全世界和大陆上的分布型式。

锡矿床类型与其年龄之间的关系。同一锡矿省年龄明显不同的锡矿床的意义。世界的锡矿带。锡的分布型式与板块构造。

III. 锡矿省内锡的分布型式

A、含锡种类：进一步研究

B、锡矿床的分类

C、原生锡矿床型式的矿物学问题

D、锡的分布型式与火成岩之间的关系

E、在锡矿省的地表和近地表环境中，锡的分布型式。

从这篇评论得出的主要结论是，我们仍然要做很多工作才能真正理解锡矿床的成因和分布；我们仍然没有普遍公认的适用于任一锡矿省的板块构造模式，尽管在这个正确的方向上大有进步；有关花岗岩/锡的许多问题仍然有待解决；原生矿床中锡的来源仍然是一件有争议的事，如锡搬运和沉淀系统的化学问题就是如此。不足之处还可以列出一些。

也许最令人满意的结果是，我们现在更加认识到为了进一步了解锡矿床所需要认真对付的问题，而觉察到这种问题便是成功的一半。

前 言

英国科尔尼什的矿工在谈到锡时惯常说：“锡矿产在它长的那个地方”，对他们说来，锡的分布是个“谜中之谜”。如今，尽管作了努力，这个谜团还没有解开，但是我们正在接

近解决，或者可能解决。如果仅仅因为我们永远也无法获得锡的来源的直接证据，就认为始终不会得到极好的解答，这是难以理解的。本文的目标在于叙述并讨论各种规模的锡的分布型式，包括从占平装书一页纸那么大的世界图上便于表示的分布型式，到一定的锡矿手标本上出现的分布型式，而手标本上非常小的范围内锡的分布则要求借助于电子探针来确定。对于这些分布型式的某种特征的解释所作过的某些努力，我也要加以记载和评论。

在普通岩石、土壤、生物物质和天然水中锡的一般分布型式

与许多其他的元素一样，某些锡可能常以低浓度存在于地球上所有能够得到研究的固态和熔融的单元中，以及地球上的水体和气体中，聚居于这个行星上的植物和动物中。然而，除了局部的锡矿田之外，锡在任何天然产出的介质中的浓度通常是非常低的，其克拉克值仅为 2—3 ppm (Wedepohl, 1969)。

当研究现在具有经济意义，或不久的将来可能具有经济意义的那些锡矿床的分布时，有必要研究这些矿床中锡的所有可能来源。因此，在这里扼要地提出有地质意义的天然产出的物体中锡丰度的某些数据是恰当的。如欲更详尽地了解这一课题，读者可以参考 Wedepohl (1969)、Hamaguchi 等 (1964) 和 Mulligan (1975) 等人的文章。

岩石中锡的丰度如表 1 所示。

岩石中锡的丰度 (ppm) (据 Wedepohl, 1969) 表 1

岩石类型	作者		
	Onishi, Sandell (1957)	Hamaguchi et al (1964)	Horn, Adams (1966)
火成岩			
富硅质岩	3.5	3.6	
中性岩	1.3	1.5	2.5
镁铁质岩	1.2	0.9	
超镁铁质岩	0.5	0.35	
沉积岩			
页岩	4		4.12
砂岩			0.115
碳酸盐岩			0.166
大洋色粘土			0.5
红粘土(太平洋)		4.9	
红色粘土(日本海)		4.	

关于火成岩中锡的丰度，要注意的最重要的事实是，从超基性到富硅质（花岗质）岩石，其丰度逐渐增加。要注意这种趋势主要是根据侵入岩的分析结果得出的，但是亦考虑到数量颇有限的相应的喷发岩组合的分析结果。这种趋势，正如 Mulligan (1975, p. 9) 所说，“连同世界范围内锡与花岗质岩石的伴生现象，便成为锡富集在岩浆分异作用晚期产物中这一结论的主要证据”。为了方便起见，锡与花岗岩之间关系的地球化学和其他方面将在稍后的章节中叙述。

当研究锡矿床的成因和分布这样一些课题时，最好记住，锡矿点可能出于碱性岩石中，尽管这种情况罕见。这种产于碱性岩中的锡，可能完全保存在碱性铁镁矿物中，特别是在钠闪石、霓石，以及星叶石和一些副矿物中。这种岩石偶尔可能含有锡为主要成分的矿物。譬如，挪威霞石正长伟晶岩中首次报导有硼钙锡矿 $[\text{CaSn}(\text{BO}_3)_2]$ ，而在格陵兰的 Ilimaussaq 碱性杂岩体中发现一种“热液矿物”Sorensenite $[\text{Na}_4\text{SnBe}_2\text{Si}_8(\text{OH})_4]$ 。据 Gerasimovskiy 和 Borisenok (1938) 的资料，格陵兰的这个碱性杂岩体锡含量区间为 35—370ppm（平均值为 112ppm），而其邻近的碱性花岗岩锡含量平均值仅为 49ppm。这也是值得注意的。据 Mulligan (1975) 报导，加拿大育空的 Teslin 地区提供了类似的情况，那里正长质岩石含锡量为 25ppm，而附近的花岗岩体含锡量只有 5ppm。

有关沉积岩和变质沉积岩锡含量的资料不多。表 1 提供了与锡矿区有着联系的某些地区在所讨论的这类岩石中可望发现的锡的浓度方面的一些概念。在我看来，有理由预料那些从锡矿省排出的碎屑生成的页岩和其他沉积岩间或明显地含锡。古老的和现代的含锡砂矿，乃是沉积矿床按其锡含量进行分类的端员组分。那种不配叫含锡砂矿的其他沉积物所含的锡，有时必定足以使它们通过某种变质作用，或者通过岩浆侵入转变为具有经济价值的锡矿床。我不能相信通过表生作用分离到水系的锡一点儿也不能参予造成新的硬岩锡矿床的地球化学合成作用。只有以分离出的锡和硬岩中浓度异常的锡的活化为前提，才能为在一定的锡矿省内存在着两个或更多时代不大相同的原生锡矿床找到公认的解释。这个问题后面还要谈到。

Hawkes 和 Webb (1932) 指出，土壤中锡的平均含量为 10ppm。我认为，这个数字意味着土壤一般并不特别富于锡。在含锡省，当接近准出露或出露的原生锡矿床时，该区土壤的锡含量可能迅速升高，从很低的数字到百分之一以上。同样在这样的环境中，特别是准出露硬岩矿床附近，已知采样点锡含量从一层位到另一层位会变化很大。

即使生长植物的土壤具有较好的含锡性，植物中的锡通常也是低浓度的（尽管，正如后面将要看到的，有着某些明显的例外）。譬如，在英国西南部的 Gunnislake 地区，Millman (1957) 发现，生长在锡含量高达 250ppm 的土壤中的树木 *Quercus*, *Betula*, *Fagus* 和 *Saxifraga*，仅含 1ppm 的锡。Millman 认为，这种有限制的吸收现象是由于锡石至多不过是表生环境所能得到的溶剂中可溶性很小的一种矿物；在溶解度大得多的含锡硫化物明显增多的地区，植物含锡量会比已研究过的这些植物中的高得多。许多研究者已经证实，一些植物的含锡量比 Millman 研究过的那些植物高得多。譬如，据 Ivashov 和 Bardyuk (1937) 报导，矿体上方生长的某些种类的植物灰含锡量高达 0.3%，这个数字为异常土壤中发现的数量 的 5 倍以上。据 Sarosiek 和 Klys (1962) 等人资料，有一些植物积聚锡金属，在它们的灰中锡平均含量为 46ppm，这些植物是 *Calluna vulgaris*, *Gnaphalium Sylvaticum*, *Sempe-*

rvivum Soboliferum, silene inflata, Tanacetum vulgare和Quercus sessilis。

鉴于上述观察结果, Goldschmidt (1954) 发现的在某些森林碎屑物和煤灰中富集锡的现象就不奇怪了。当然, 这类物质中的锡含量, 在某些环境中也许是由于冲刷到堆积带的, 或吹到正在生长的植物上的分散的颗粒所致。毫无疑问, 植物可以为尘埃和雨水溅落物严重污染, 而在分析之前充分地清除这些物质是十分困难的。正因为如此, 任何有关开采矿山、出露的锡矿床和锡冶炼厂附近地区的植物中的锡含量的报导都是成问题的。

至于海洋, 据Nichols (1959) 的资料, 某些海洋浮游生物灰含锡 1—90ppm。

在天然水体中锡的浓度, 据Wedepohl (1969) 的资料, 变化于0.03到0.09ppb之间。然而, Udodv和Parilov (1961) 分析了4278个水样 (其中包括采自西伯利亚矿床中的某些水样), 发现其中有340个样品含锡, 其平均含量为0.09ppb。他们将水中锡的平均含量 (重量百分数) 除以岩石克拉克值 (他们取值为0.0003% (重量)), 所得的数字为 $3 \cdot 10^{-5}$ 。对他们说来, 这个数字表明, 在所研究的环境中锡的迁移能力是非常小的。说到这一点, 值得注意的是, 按照Schuiling (1968) 的意见, 锡石这个原生含锡种类中最常见的矿物, 在通常天然地表水中仅有极小的可溶性, 在25℃、一个大气压条件下其溶解度为 $3 \cdot 10^{-15}$ 。Schuiling推测, 在这种体系中的变化, 例如氯化物离子增加, 也许会由于络离子的形成而引起水中锡的总溶解度升高。

土壤中存在有机络合物对于锡石或者其他更为罕见的原生和次生锡矿物作用的程度如何, 目前还不清楚; 我也不知道任何锡矿物如果处于非常酸性的环境 (譬如借助于磁黄铁矿的氧化也许会形成这样的环境) 会出现什么样的情况。但是, 我的确了解, 距吉隆坡不远的一些矿山中出露的、正在经受强烈氧化作用的磁黄铁矿脉中产出的粗粒锡石并没有显示受到明显作用的迹象。

尽管如前所述, 土壤中锡的活化有时似乎达到相当惊人的程度。但是据我了解, 还没有工作证明, 在一定的情况下活化的锡肯定地来自某一种或某一些矿物。

水锡石或其类似物, 通常是锡作为主要组分的硫化物经氧化造成的含锡产物; 它也可以是其他含锡矿物氧化带分解而成的锡的端员组分, 而不论锡是否为主要成分。水锡石在HCl和H₂SO₄中的可溶性肯定大于锡石; 在某些或所有有机质土壤溶剂中水锡石的溶解度明显地大于锡石。某些锡石也许由于其化学组成的差异, 在表生环境天然产出的溶剂中较其他锡石溶解度高; 而据我了解, 支持这一点的证据恰恰是Jones (1937) 所列举的事实: 泰国 Pinyok 矿山矿石中有比例相当大的一部分锡石可溶于酸。按照Jones的意见, 可溶的这一部分是呈非常细小的晶体产出的那一部分。我感到这种看法是难于接受的。我倾向于认为, 溶解度的任何差异是由于成分的差异所致, 所谓可溶的锡石其实可能是由马来亚石分解而来的水锡石。而Jones在从事写作时, 并不知道Pinyok矿山的矿石中产出马来亚石或水锡石。

现在来谈地表水搬运锡石的问题。很久以前认为, 在有利的环境中锡石可以从河水中沉淀出来。Collins (1881) 报导, 在Pentewan (康沃尔) 的含锡砂矿中发现的部分鹿角, 据分析, 含有2.62%的SnO₂, 他认为这种锡是从溶液中呈氧化物沉积的。后来, 我检验了鹿角的剩余部分, 发现其中仅有痕量的锡。尽管两个表层样品含锡量为296ppm, 但是所分析的大部分样品含锡小于10ppm, 此外, 鹿角部分的光、薄片检查亦未揭示出锡石或任何其他形式的锡的存在。所得出的结论是, Collins所报导的锡很可能呈锡石颗粒从风化破碎

处冲刷了有限的一段距离到达Haversian渠道的,被这种锡石污染的部分正是Collins所分析的部分(Hosking, 1957—8)。

尽管几乎毫无疑问,天然水系的水体中可溶锡的含量通常是,也可能总是很低的,但是在这种水系中锡可能呈胶体颗粒的组分搬运。除了通过风化带进行的化学作用产生这种胶体之外,含锡胶体还可能通过机械方式产生。这一点已为我的记载所证实(Hosking, 1965):将Ayer Hitam(马来西亚雪兰莪)的白色锡石晶体置于若干层报纸之间,用铁锤击碎成粉末,然后将粉末放入蒸馏水中,结果产生一部分细微颗粒,保持悬浮状态达几天之久,最后通过加入硫酸铝才被絮凝。在我看来,这一部分是呈胶体状态的。我想,类似的细微颗粒可能是由于含有大小砾石、卵石的河流中的磨蚀作用产生的,那些表面露出锡石的砾石在河流中运动着,并为砂石所磨蚀。我不知道这样的胶体在水系环境中稳定的程度如何,但是我想它们有时会成为稳定状态。我认为,红河水中所含的12—16ppb的Sn(Hosking, 未公布的研究成果)的大部分是呈胶体颗粒出现的。红河位于康沃尔南Crofty锡矿山选矿厂以下两英里,选矿厂排放的细粒尾矿流入河水中,分析的样品即为这种河水。

尽管Boyle(1969)认为水样调查不适于锡矿末的地球化学找矿,因为水中可能遇到的锡的浓度低,但是他提出泉水口中的锰土、褐铁矿、腐殖质和其他沉淀物可能富含锡;而且由于这些沉积物有助于某些地区寻找锡矿床,所以应当分析其中的Sn和其他探途元素(如W和Li)。可惜Boyle没有提出这种沉积物中锡含量的细节,我也不知道有关这方面的任何已公布的资料。在我看来,这是一个值得进一步研究的课题;可能最富于锡的沉积物是含锡省中与热泉伴生的沉积物,特别是产于活动的或现代活动的火山区的沉积物。据了解,在某些火山区锡呈气态搬运,呈凝华物沉积下来。据White和Waring(1963)报导,在日本北海道的昭和新山,在西西里的Etna和阿拉斯加的万烟谷都有这种实例。此外,据悉在北苏门答腊热泉的沉积物中含锡100ppm。尚未得到这种热泉水中锡含量的记录,但有趣的是日本热泉的锡含量为0.1—0.5ppb。

海水的含锡浓度平均为0.72ppb(Mulligan, 1975),按Goldschmidt(1954)的意见,锡可能呈氯锡酸盐离子的形式存在;从地表水和海水吸附锡,可能是细粒沉积岩中或多或少含锡的原因所在。关于这个问题,Durasova(1967)的看法是,在海洋环境伊利石能吸附锡。

最后,在研究这种锡的“背景”分布型式时,岩石中的锡如何存在是值得考虑的。

含锡矿物可分为两大类。第一类,锡为主要组分的矿物种类;第二类,锡为非主要组分的那些矿物。在前一类中包括现在具有经济意义的、作为锡的来源的所有种类,其中锡石极其重要。目前,含锡硫化物的意义非常有限,但是它们在将来会变得更重要。在含锡硫化物中,不严格地称为黝锡矿族的矿物最常见,就经济意义而言,它们在含锡硫化物中占有头等重要的位置。马来亚石($\text{CaO} \cdot \text{SnO}_2 \cdot \text{SiO}_2$)也属第一类之列,至少在泰国Pinyok可能成为锡的次要来源。这一类的其他原生矿物只有学术价值,往往含量甚低,产地罕见。例如,Pabsite($\text{BaO} \cdot \text{SnO}_2 \cdot \text{SiO}_2$)仅在加利福尼亚的圣贝尼托具有记载。往往产于夕卡岩环境的含锡硅酸盐、硼酸盐,一般似乎要求特殊的发育环境。

水锡石可能基本上为水化的锡的氧化物,它是一种由其他的含锡矿物分解而来的“矿物”。有关问题下面还要谈到。

在这类矿物中，还发现有较为罕见而学术意义颇大的、含铂族金属的黝锡矿，它们产于铜、镍、铂族金属矿床中，在空间上、可能还在成因上与基性火成岩有关。譬如，它们产于布什维尔德火成杂岩体的麦伦斯基层、南非的因西兹瓦矿床和苏联的诺里尔斯克。自然锡是所发现的另一种非常罕见的种属，但是并非仅仅产于这样的矿床中。

第二类（其中锡作为非主要组分存在）可以划分为两个亚类。第一亚类包括氧化物和硅酸盐，其中的锡具有亲石元素的性质，第二亚类由硫化物组成，其中的锡具有亲铜元素的性质。就硅酸盐和氧化物类矿物而言，离子键是极其重要的；而对硫化物说来，共价键则占主导地位。Goldschmidt (1937)、Ringwood (1955) 和 Nockolds (1966) 等人的定律逐渐提高了人们预测和了解矿物中出现的非主要元素的能力。由于篇幅的原因，同时由于在文献中很容易找到它们，这些定律就不在这里赘述了。有足够的理由说，运用这些定律大大有助于了解为什么石英贫锡，为什么长石中锡的含量总是非常低，为什么黑云母和闪石，特别是晚期形成者，诸如磁铁矿、钛铁矿、金红石、磷灰石和褐帘石之类的火成岩副矿物以及铌铁矿/钽铁矿、黑钨矿、方铅矿、闪锌矿和黄铜矿之类的矿石矿物，可以含有较高含量的锡。在上面刚刚提到的许多矿物中，超出了主矿物晶格所能容纳的锡，以分散的含锡矿物类的出溶体的形式存在。譬如，锡石出溶体可产于磁铁矿、铌铁矿/钽铁矿和钛铁矿中，而“黝锡矿”出溶体可以在闪锌矿和黄铜矿中找到。

在氧化带，不稳定的含锡矿物（其中的锡可以是晶格中主要组分或非主要组分，和/或为锡矿物的出溶体）也许会受到或多或少的分解。这类矿物被破坏的历程受到相当多变化因素的影响，并取决于诸如气候，地貌，含锡矿物种类与其伴生矿物之间的结构关系和成分之类的因素。据报导，在接近分解的最佳条件下，黝锡矿族矿物中的锡至少部分地经历了中间阶段的水锡石产出，至少在有些情况下呈 berndite (SnS_2) (Clark, 1939) 产出。也许某些由“黝锡矿”释放的锡可从溶液系统中逃离出去，但是我认为这尚未得到证实。据报导，某些离解的锡有时呈锡石状态，Sardine 钨矿就有这种情况 (Edwara 和 Baker, 1954)。

氧化带的其他不稳定含锡矿物的详细的习性，了解得就更少，但是似乎有理由认为，某些锡转化为水锡石或其类似物，而有一些则呈锡石固定下来，可能还有一些呈溶解状态迁移到土壤和/或水系中去了。必定存在于某些土壤中的活化部分，可能主要是由于水锡石的溶解所致。

在我看来，在表生环境中，锡石不可能受到明显的化学作用；在某种情况下，或多或少的锡也许最终从其原生载体中释放出来。

然而，毫无疑问，锡石，特别是当它在主要由比重小的稳定的矿物种类（如石英、白云母）构成的连晶中呈少量组分出现的情况下，可能甚至经过很长的水系搬运到海洋。因此，在自然界中存在着锡从固结的岩石（火成岩等）往未固结的地表和海底岩石复盖层逐渐转化的趋势。有一些解离出来的锡石可能富集于有经济价值的砂矿中，有一些则以低浓度分散到其他沉积岩中。这种锡石可以经历一个以上的沉积旋回而保存下来。但是，对锡石说来，所发生的变化就只有这些了吗？

锡矿床在全世界和大陆上的分布型式

在考察了全世界锡分布的背景型式之后，人们可以把注意力转到那些具有经济意义的锡

矿床在全世界和大陆上的分布型式方面。作为开头，有必要首先研究这个题目的广表的时间方面。

从前寒武纪到第三纪都有原生锡矿床的发育。作为一项统计研究的结果，Pereira和Dixon (1965) 认为，随着地质年代从前寒纪演进到第三纪，已知锡矿床的数量逐渐变得越来越多，经济上越来越重要。在他们看来，这意味着锡是“通过花岗岩化作用逐渐富集的”。Watson (1973) 大体上同意Pereira和Dixon的上述观点，并指出，“尽管锡石在西非和罗得西亚的时代为26—27亿年的伟晶岩中呈副矿物产出，构成南非时代为27—28亿年的Dominion Reef组的碎屑颗粒，并同年龄大约为19亿年的布什维尔得的花岗岩伴生，但是具有经济意义的锡矿化仅限于较为年轻的地质时期。”Watson进一步评述道，“大约在十亿年以前，在两个颇不相同的环境中的矿化，标志着锡、钨及其伴生元素的大量到来。非洲的Karagwe—Ankole或Kibaran活动带在这个时候达到造山活动的末期，其特征是大量的花岗岩活动以及通常由高地热梯度效应引起的低压相系列的变质作用。锡—钨矿床与乌干达到西南非洲各地晚期造山带(9亿年)的花岗岩伴生。在巴西西部的朗多尼亚(Rondonia)地区，在一群年龄为9亿年、侵位于花岗岩和片麻岩中的非造山带高位花岗岩体附近，锡矿床成群出现”。

“这种含锡组合亦具有年轻锡矿床的许多特征。Karagwe—Ankole活动带，与西欧的海西含锡带一样，是一个地热梯度陡的地带。这个带没有地幔来源的花岗岩的大量注入，至少某些矿化花岗岩看来代表了再活化的基底花岗岩。朗多尼亚花岗岩与尼日利亚中生代年轻的花岗岩有许多共同的特征，是侵位于花岗岩和片麻岩基底的、强烈分馏的高温侵入体。这种关系显示，十亿年以前出现的锡、钨及有关金属的富集，未必与地幔物质的注入有直接关联”。

“诸如众所周知的尼日利亚和西南非洲之类的锡矿省反复矿化证据表明，晚期岩相一般比早期富于锡……极晚期才开始出现有效的锡矿化，这种证据说明地壳内部的再循环是一种低效过程，这一过程在先前富含锡矿的地带的发育最好”。

Routhier (1973) 亦是再循环观点的维护者。他认为，“某种金属的富集过程在不同的时期，以不同的形式在一个地区，确切地说在地壳的一块“棱柱体”中反复地出现。每一次富集都继承了较早时期或多或少分散的或富集的地球化学贮存。这便造成了在有关金属含量较克拉克值高的地壳“棱柱体”中这些金属存在的持久性或稳定性”。在支持这一论点的许多实例中，他提到了玻利维亚锡矿带。关于这个问题他写道：“大家都知道玻利维亚型的锡矿床与第三纪火山作用和次火山作用有关。然而，几乎没有注意到……在玻利维亚……在与早侏罗世深成火成活动有关的早白垩世砂岩中，在泥盆纪石英岩等时代极不相同的岩石中出现的其他锡的富集现象”。

“此外，玻利维亚北部、巴西朗多尼亚州的矿床与环状岩墙有关，它们与尼日利亚的矿床非常类似，但是可能要老得多(9.5亿年)”。

Ronther的结论是，“最后，追溯到时间上，这种继承性和持久性非常经常地、必然地使我们得到这样的认识：地壳和地幔的许多部分甚至从其生成伊始在地球化学上就是经过分异的。”

Schuiling (1968) 认为，“如果将锡矿床划分五类，即与火山岩伴生的矿床，与次火

山岩墙和岩颈有关的矿床,近花岗岩顶部带(云英岩和夕卡岩)矿床,花岗岩中的矿床和伟晶岩中的矿床,那么便可以看出矿床出现的频率随地质时代而显著地增加。在第三纪锡矿床或锡矿床类与火山岩的联系最密切,而到中生代便转变为以云英岩、夕卡岩和其他接触矿床为主,到古生代和前寒武纪则分别以花岗岩中的矿床和伟晶岩矿床占优势。”这种差异,在Schuiling看来,可以极其简单地依据剥蚀深度来解释。这至少说明,各种类型的锡矿床在其最初生成时可能发育的程度都是相同的。肯定有理由推测,一般说来近地表发育的矿床可能寿命最短;因此在某一锡矿省内,很可能所有Schuiling划分的五类矿床都存在,而且所有这些类型的矿床都大致是同时代的,这样首先被破坏的将是与火山岩有关的矿床,而含锡伟晶岩将属于最后剥蚀之列。如果假以时日,所有的原生矿床都会被破坏。因此,前面提到的、由Pereira、Nixon和Watson分析过的,认为锡的沉淀在整个地质历史上是演化着的那种分布型式,实际上并不是原始的分布型式,而仅仅是在剥蚀作用使之失去若干部分之后的残留部分。尽管如此,Watson的观点也许基本上仍然是正确的,但是无论是他们,还是上面提到的Rourhier的观点都没有为试图用板块构造观点解释锡的分布的某些人所接受。譬如,Halls(1974)评述道:“地质学家们用地质历史的早期一种未知的作用造成陆壳某些部分锡的原始富集来解释锡矿床分布的局限性,进而设想地壳的这些部分在其地质演化的随后阶段保持了其富锡的特征。但是,在认识上近来的发展导致在锡矿成因方面出现更加完善的主张,这种主张使矿床成因与其他地质作用正确地联系起来了。”

因此,考虑考虑板块构造学家(Halls便是其中之一)提出的多种多样锡矿床成因观点是恰当的;但是在这样做之前,有必要提一提锡矿床的全球空间分布型式。

图1(据Sainsbury,1969)表明,世界的锡矿床的分布相当不均一。至少世界锡储量的四分之三与分布在造山带的花岗岩类有密切的关系。在这些带中最主要的有毗邻太平洋的、美洲西部山脉附近形成的矿床,从阿拉斯加到阿根廷某些地方星罗棋布的锡矿床,以及亚洲诸带。就经济意义而言,其中最重要的是从泰国西北部(甚至还要往北)经由勿里洞,可能向婆罗洲延伸的这个带的矿床。这些造山带的矿床平行于,或不平行于现代海岸线,并紧靠海岸线分布;而在某一个锡矿带内,可能产出许多类型不同和时代明显地不同的锡矿床。并不奇怪,在某一含锡带中也许还产出许多时代明显不同的花岗岩类。在这些花岗岩类中,仅有一定年龄和组分的花岗岩类才具有空间上与之关系如此密切的锡矿床,以致有理由认为在矿体与花岗岩类之间可能存在着成因关系。有时锡矿带平行于以其他金属为主的成矿省,平行并紧靠太平洋的美洲海岸造山带可以说是最好的一个实例。在那些地方,正如Sillitoe(1972)所记载的,“金属省的排列大致平行于大陆边缘,尽管不规则;金属省的一般型式从西向东由以下的系列构成:Fe;Cu(含一些Au和Mo);Pb、Zn和Ag;以及在某些地区出现的Sn或Mo”。

非造山带的矿床与造山带的矿床适成鲜明对照。非造山带的矿床及空间上与之密切相关的花岗岩类,与造山作用无关。巴西的朗多尼亚锡矿床属于这类;可能如Halls(1974)所提出的,还有苏联的外贝加尔和蒙古的矿床也属于这一类。然而,已知的非造山带矿床的大部分产于非洲,正如Halls(1974)所说,“它们分布在从摩洛哥南部和阿尔及利亚南部的Hoggar地块到马里的Adrar des Iforas,从尼日尔的Air和Zinder地区到尼日利亚乔斯高原的主要矿床所在的广大地区。它们还产于苏丹北部的Sabaloka、埃及的东南部和西南非洲

的达马拉兰省”。

正如Halls进一步指出的，“在巴西、非洲、苏联，可能还有澳大利亚内部地区和印度出露不好的前寒武纪……地带也许还有非造山带矿床，但到目前为止还没有发现，而这种可能性是存在的。”

通过将美洲、欧洲和非洲所有已知的经济的或临界的和非经济的锡矿点标绘到图上，Schuiling (1968) 以非常令人信服的方式证明“大陆上的锡矿点分布是不均匀的，它们集中于称之为锡矿带的狭长带中”。他指出，“画边界是颇带主观性的；供给同一套资料给不同的人可能得出略微不同的型式……”。他还评述道，Burnham (1959) 所从事的那类地球化学研究（他通过测定许多地方黄铜矿样品中包括锡在内的许多痕量元素的浓度来估计美国西南部和墨西哥北部成矿省的界线）会有助于改善成矿带的圈定。通过将锡矿带重新标绘到大西洋两边拟合得很好的大陆图上（该图为Bullard等(1965)所作），Schuiling揭示出来许多他所谓的显著的一致性。其中，最明显的一致性也许是，东巴西带与西南非洲—尼日利亚带似乎起初为统一单元的、但发生过变位的两个部分，而这种再造图上更有趣的是，正如Schuiling (1968) 所指出的，“在成矿带深入到大洋的各点，显然有证据表明它们也许是按次序地延伸过去的”。

近年来，在按板块构造观点研究这个问题以更好地了解矿床的成因方面取得了很大的进展。在这样的一篇论文中，是不可能提供世界各个锡矿省不同的板块构造模式的细节的。人们仅能扼要地涉及到那些提出来解释这类锡矿省的锡分布的某些机制。

Sillitoe (1972) 提出了下列极好的理论解释相互平行的锡矿省和其他金属省，以及在本论文前面涉及过的美洲西部的大陆边缘的成因。简单地说，他认为该区古生代以后的金属省与消减带有关，该消减带在中生代和新生代的早期和中期处于活动状态，该带的局部地区至今仍然是活动的。他认为，“美洲西部古生代之后的岩浆成因矿床所含的金属的大部分，在大洋岩石圈中从它们生成的东太平洋海隆向东迁移，并沿着倾斜的贝尼奥夫带潜没到大陆之下。消亡着的板块及其所负荷的未固结的沉积物经受了部分熔融作用；这样一来，在不同的深度便有不同的金属得以释放出来，安山岩的钾/硅比值从环太平洋大陆边缘往东递增这一事实导致上述看法。

在Sillitoe看来，由部分熔融所释放的金属包含在上升着的钙碱性岩浆体系中。“这些金属作为岩浆的组分到达地壳上部，最后富集于与侵入体顶部带以及同源岩浆喷发岩有关的流体相中。” Sillitoe之所以持这种观点，是因为该带已确定的各种矿床与火成岩之间有着密切的时间和空间关系。

沿着这个带矿化程度的变化，被认为是与大洋中脊处提供给岩石圈板块的金属数量的变化有直接的关系。

Sillitoe指出，他的成矿理论不像其他的成矿理论那样，要以存在富含一种或多种金属为特征的、彼此平行且与大陆边缘相平行的长带状的上地幔或地壳为前提。他还指出，尽管玻利维亚存在着不止一个时代的锡矿床，但是这一事实对他的模式说来并不是不利的，因为他认为压缩板块汇聚处相对稳定的。

有一段时间，许多地质学家认为，通过引进或多或少与Sillitoe所提出模式相同的模式，或许有可能解释造山带锡矿省绝大多数锡矿床的成因。Mitchell和Garson (1976)

指明, 泰国半岛攀牙地区的锡石/钽云母伟晶岩可能是个例外。这些矿床沿着被视为转换断层系一部分的攀牙断层带排列成行。据认为, 造成伟晶岩的介质是经由断裂系上升的。

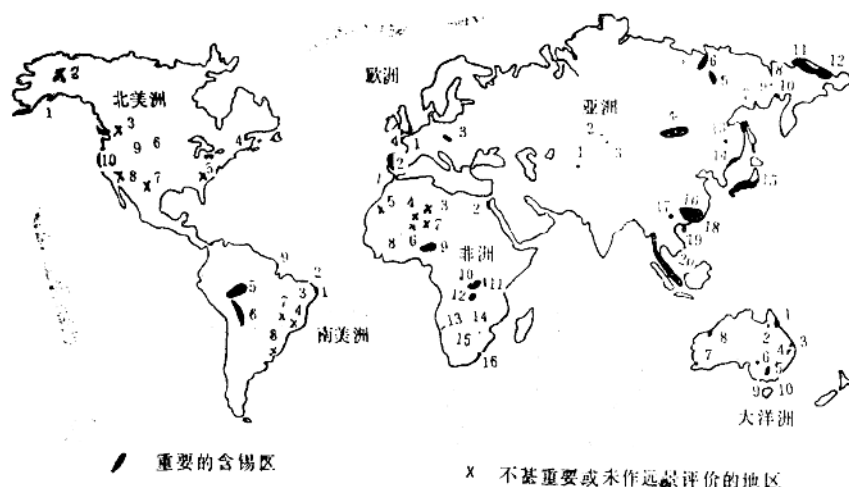


图1 世界主要含锡区域 (据Sainsbury, 1969)

北 美 欧 洲

1. 阿拉斯加, 西沃德半岛
2. 阿拉斯加, 曼利热泉
3. 加拿大, 不列颠哥伦比亚沙利文矿山
4. 加拿大, 新不伦瑞克地区
5. 南阿巴拉契亚地区
6. 南达科他, 黑山地区
7. 得克萨斯, 弗兰克林山
8. 新墨西哥, 布莱克山脉区
9. 科罗拉多, 克莱梅克斯矿山
10. 加利福尼亚, 杰尔曼地区

南 美

1. 巴西, Rio Grande do Norte—Parafba
2. 巴西, 西阿拉东北部
3. 巴西, 西阿拉中部
4. 巴西, 米纳斯吉拉斯东部
5. 巴西, 郎多尼亚—塔帕若斯
6. 玻利维亚锡矿带
7. 巴西, 戈亚斯, Ipameri

1. 英国, 康沃尔
2. 葡萄牙和西班牙
3. 埃尔茨山脉, 东德和捷克
4. 法国

非 洲

1. 摩洛哥, El Karit地区
2. 埃及, Iqla, Nuweibeh Abu, and Dabbab el Mueilha
3. 阿尔及利亚, Djilouet地区
4. 阿尔及利亚, 塔曼拉塞特地区
5. 毛里塔尼亚, Bir Oumgreine地区
6. 马里, 伊福拉地区
7. 尼日尔, 阿伊尔区
8. 塞拉利昂, Tawalafa地区
9. 尼日利亚, 乔斯高原
10. 刚果锡矿带, 马涅马地区
11. 卢旺达, 布隆迪, 乌干达和坦桑尼亚
12. 刚果, 加丹加, Manono—Kitololo
13. 西南非洲

南 美

8. 巴西, Eneruzilhald

9. 巴西, Amapa地区

澳 大 利 亚

1. Herberton—Cooktown

2. 克罗伊顿地区

3. Stanthorpe—Ballandean区

4. 新英格兰区

5. Mount Tallienburg—Albury—Eldorado矿带

6. Barrier Range

7. 西澳大利亚西南部

8. 西澳大利亚西北部

9. 塔斯马尼亚西北部

10. 塔斯马尼亚东北部

亚 洲

1—14. 苏联, 西伯利亚

1. 阿尔泰山

2. 哈萨克斯坦地区, Naryn

3. 东哈萨克斯坦, Kallba

4. 外贝加尔地区

非 洲

14. 津巴布韦

15. 南非, Rooiberg—Leeuwpport

16. 南非, Warmbad地区

亚 州

5. Xana—Adycha地区

6. Ege—Khaya—Deputatskiy区域

7. Ust—Omchug, Batugychag地区

8. Bilibina地区

9. Kolyma地区

10. Galimyy地区

11. Krasnoarmeyskoye地区

12. Iultin地区

13. Kbingansk地区

14. Lifudzin—Khrustalnyy地区

15. 日本、本州岛

16. 中国、湘桂粤

17. 中国, 个旧地区

18. 中国, 海岸带

19. 中国, 海南岛

20. 马来半岛

有时人们认为, 必须以存在若干时代明显不同的消减带, 或者同时活动但倾斜方向相反的两个消减带为前提, 以提供足够的溶液。这种模式是Katili(1973)和Hutchison(1973)为东南亚部分锡矿床提出来的。Mitchell(1973)指出, 在某些情况下, 锡矿床的发育在成因上也许与边缘海的张开有关。

近年来, 按照板块构造模式解释锡矿省的发展的一些人开始认识到, 至少大部分原生矿床中的锡可能来自地壳。因此, Mitchell和Garson(1976)认为, 缺少出露的前中生代岩石的大多数岛弧亦缺乏锡这一事实“提供证据表明, 可能具有大陆前寒武纪岩石所特有的高级变质岩下部层位的大陆地壳, 是生成含锡岩浆所必须的。这种对地壳作为金属来源的重要性的认识, 使得Mitchell(1973)对平行的安第斯诸成矿省提出了与前面讨论过的Sillitoe模式相当不同的一个模式, 从而克服了解释这些成矿省为什么时代不同的困难。按照Mitchell和Garson(1976)论文中的说明, Mitchell模式要求, “矿化与沿着贝尼奥夫带的深度大致固定的热源有关; 贝尼奥夫带的倾斜随着时间而发生变化, 造成地壳厚度, 可能还有组分变化不定, 在这样的, 地壳下面的这种热源会逐渐侧向位移。”

某些锡矿省, 如埃尔茨山脉的海西锡矿省、英国的西南部和马来西亚Main山脉锡矿带发育于大陆碰撞岩浆带。这一设想进一步促进了锡矿省生成期间锡主要来自壳源的想法。因此, Mitchell和Garson(1976)认为, 英国西南部的锡花岗岩发育于大陆碰撞造成的俯冲大陆板块中, 这种环境与喜马拉雅晚第三纪Malarkchung花岗岩的环境相类似。Mitc-

hell认为,这种大陆碰撞环境的花岗岩和锡可能来自下部陆壳,因为可能作为来源的俯冲洋壳不可能产于碰撞带之下,还因为花岗岩 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值高,说明它们为地壳成因。

并非所有大陆碰撞所产生的花岗岩都具有与之伴生的锡矿床(上面谈到的喜马拉雅的例子就是无锡的),这可能是由于锡矿床仅仅从原来有锡富集的地壳发育而来。

现在再来谈一谈前已述及的非造山带锡矿床,譬如巴西朗多尼亚和尼日利亚所发育的矿床。这些矿床与环状杂岩体的钠质花岗岩伴生。现在一般认为,它们在洋壳创生及大陆分离之前发生的“裂谷作用和地壳拉张”之前,发育于热点的上方。Dmitrier等(1971)提出证据说明,与热点毗邻的年轻的大洋火成岩具有高含量的痕量元素;因此非造山带矿床的某些或全部锡也许为地幔来源的。另一方面,尼日利亚年轻的花岗岩的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值说明至少某些花岗岩来自陆壳,因此与这些花岗岩伴生的部分或全部锡和铌也许恰好主要地或完全地来自同一来源[Bowden和Van Breemen(1972)]。产于尼日利亚年轻花岗岩中的锡石和铌铁矿来源于较老花岗岩的看法并未为大家公认,部分地是由于这两种花岗岩的相对范围和分布问题,还因为较老的花岗岩富铌并非富锡。

在结束这一部分的时候,人们可以肯定,近年来按照板块构造观点研究锡矿省的分布和成因是成效卓著的,其结果是极其令人鼓舞的。然而,对特定的锡矿省说来,哪一种模式最接近正确,至今仍有极不相同的看法,这一事实突出说明我们仍然处于这一研究的初步阶段。到目前为止所能得到的资料还极其有限,某些最重要的资料尚未获得。譬如说,马来西亚的锡矿化至少产于三种不同的时期:晚石炭纪,三叠纪和晚白垩纪/早第三纪。如果这种看法是正确的,那么一种公认的板块构造模式就必须考虑到这一点;但是到目前为止我们还不能绝对肯定这种看法是正确的。因此,急需尽可能地对原生锡矿床的组分用放射性方法测定年龄。可惜在马来亚的锡矿脉中钾长石罕见,实际上就我所知这种矿物仅产于Pelepah Kanan的矿脉中,而云母和电气石这些可能测定年代的矿物则出现于其他地区。在康沃尔,关于矿化年龄同样有许多需要了解。在那里由于钾长石是矿脉中相当常见的组分,所以这个问题比较容易解决(Hosking, 1967),而且在许多采矿的废石堆上可以找到足够测定年代的试料,这可对原地采集的试样起到补充作用。沥青铀矿和其他可用于测定年龄的矿物亦有出现。

锡矿省内锡的分布型式

在这一部分,为了方便起见,拟以如下的顺序讨论下列问题,

- A. 含锡矿物种类:进一步研究
- B. 锡矿床的分类
- C. 原生锡矿床型式的矿物学问题
- D. 锡分布型式与火成岩之间的关系
- E. 在锡矿省的地表和近地表环境中锡的分布型式

A. 含锡矿物种类:进一步研究

前已述及,含锡矿物种类可以按其中锡含量是否为主要组分划分为两类,并且对这两大