

稀有、分散和稀土金属富集的 地質特点及其找矿

A. П. 拉尔欽柯 著
李 国 兴 译

地 質 出 版 社

1959·北 京

本書为苏联A. П. 拉尔欽柯专家在我国講学时講稿加以整理而成，全書約9万字，共分緒論、概論、稀有金屬的主要特性、用途和工业要求，找矿前提和找矿标志，找矿与找矿方法等五个部分。

本書在扼要叙述了稀有金屬的主要特性、用途和工业要求后，着重論述了稀有金屬矿床的成因类型、矿石共生組合等特征、介紹了找矿前提和找矿标志与找矿方法等。全書叙述清楚，为勘探教学与研究工作的地質工作者的良好参考書。

稀有、分散和稀土金屬富集的 地質特点及其找矿

著者	A. П. 拉尔欽柯
譯者	秦 国 兴
出版者	地 質 出 版 社
	北京市西四羊市大街
	北京市書刊出版業營業許可證出字第050号
发行者	新 华 書 店
印刷者	地 質 出 版 社 印 刷 厂
	北京安定門外六鋪炕40号

印数(京)1-4,000册

1959年10月北京第1版

开本 337×46¹/₃₂

1959年10月第1次印刷

字数 90,000

印张 3³/₈

定价(10) 0.55元

目 录

緒論.....	4
概論.....	4
主要特性、用途和工业要求.....	11
找矿前提和找矿标志.....	33
找矿及找矿方法.....	82

緒 論

本著作是以“稀有、分散及稀土金屬富集的地質特点及其找礦和勘探方法”為題的講稿材料。它主要根據各種文獻和作者親身的觀察寫成。本書極全面地綜合了現有的文獻及實際資料。

根據計劃，全書包括理論和描述兩個主要部分。本書是理論（方法）部分，而第二部分尚未寫出，雖然所有的資料已經收集，甚至也作了綜合。第二部分描述了稀有金屬成礦區、礦田和各種礦床，列舉了該類各個金屬的找礦和勘探的實例；舉例時也考慮到它們的地質特点以及它們在加工階段中的情況。

有些章節尚屬爭論性的，因為這些問題都是新的。今天來說，不僅這類金屬的找礦和勘探方法尚未擬訂，而且其找礦前提、各金屬的富集和遷移的理論原理也未建立。所有這些問題的詳細闡述是今後的的事情。不過有一點是明確的，即無論這些元素富集和遷移的理論原理的建立或找礦和勘探方法的擬訂，都必須有系統地來做。因為這些金屬在工業中特別在核子（原子）工業和半導體工業方面具有越來越大的意義。

概 論

稀有和分散元素的概念 關於那一些化學元素應當歸屬這一類，則還沒有一致的意見。據維諾格拉多夫的意見，以下這些化學元素可以完全有條件地稱為稀有和分散化學元素，第一，它們一般在岩石和礦物中佔少量，有一部分是類質同象混入物，並且它們很少形成其本身的礦物；第二，它們在地殼中的總量也很少。稀有、分散和稀土礦物總共包括50多種化學元素。

根据門捷列夫,稀有和分散元素属以下几类:1.这是“很少,但被研究得很清楚的”元素,2.“更少见到实践中还没有用处”。据費尔斯曼的意見,稀有元素分为3类:1.根本很稀少的,2.由于它們富集在地壳中我們能够研究到的地区以外,所以它們在地壳(即厚度等于16公里的地球表面,不仅包括岩石圈,而且也包括大气圈和水圈)中是稀少的,3.由于特殊的化学性質因而是稀少的(惰性气体,稀土元素和奇数原子序数的典型分散元素)。

据費梁德和謝苗諾娃的意見,稀有元素应了解为一类分散的、輕的、难熔的、放射性的和稀土的元素。据貝尔格的意見,稀有元素应按照它們的工业用途而划分。例如,铀、鐳、錒、鐳等。属于有色冶金业中用的一类金属,而象鋰、鉍等金属属于輕金属类;碲和碲属于非金属等等。

A.H.查瓦里茨基(地球化学家)把稀有金属分成单独的一类(第五块),其中包括:钷、稀土、铈、钷、铈和钷。象鋰、鉍、鉍等則属于岩石元素一类(第二块)。鐳、鐳等属于金属矿石元素(第七块)。放射性元素分成单独的一类。薩烏科夫指出,元素的这种地球化学分类是最合适而且最有邏輯根据的。还有其他的分类,但我們不再討論。

我們觉得,对于找矿和勘探来說,維諾格拉多夫所提出的稀有元素概念的定义最完全。

“元素”和“金属”的概念 这两个概念之間有着根本的区别。稀有元素一般了解为自然界中分布很少、克拉克值不大(少于0.001%)的元素。元素的稀有性是其特性,此决定于原子構造,即物質的地球化学、質和量的状态。这里研究一种元素时不考虑它的任何实际用途,而是从它在自然界分布程度的角度出发,即犹如元素“非物化”,沒有商品价值。

稀有金属应了解为这样一些金属,只有在生产力发展到足够高的水平时才能开始利用,而且到現在为止生产量和使用量还较少。因而,“稀有金属”的概念不同于“稀有元素”的概念,它說明,某种化学元素由于各种原因,与这种或那种化学元素、有

时甚至是自然界中分布更少量的化学元素比较起来，在工业中的使用还差。

有关稀有金属特点的一些实际资料(它们的利用和分布)把某种金属划为稀有金属,以及确定这个概念时也要用历史观点来看。

所以在解决这些问题时必须考虑如下几点。

1. 化学元素应从人类历史实践的观点来研究,即作为一种普通的物质,金属或非金属系决定于它被人类所利用的化学和物理性质。

2. 这种金属在现代技术中的作用。

3. 稀有金属的工艺发展程度,即技术上和经济上对它提炼和加工的可能性。

4. 该金属的地球化学特点。

下面我们对这些问题提出一些实际资料。

1. 人类在各个历史时代所知道的元素。

人类在各个历史时代所知道的元素

(据维尔纳茨基-费尔曼)

表 1

时 代	元 素	元 素 总 数
古 代	N, Al, Fe, Au, K, Ca, O, Si, Cu, Na, Sn, C, Hg, Pb, Ag, S, Cl, Zn, Sb	19
十八世纪前	同上+As, Mg, Bi, Co, B, Ni, P	26
十八世纪	同上+H, Pt, Ir, I	30
十九世纪	同上+Ba, Br, V, W, Cd, Mn, Mo, Os, Pd, Ra, Sr, Ta, F, 稀土, Th, U, Cr, Zr	48+稀土类的某些元素
二十世纪到1915年	同上+Ne, Li, He, Ti, Ac, Ru, Rh	55+稀土元素
到1932年	同上+Be, Ar, Ga, Se, Rb, In, Y, Nb, Te, Hf, Re, Te, Cs	68+14种稀土元素

从表 1 中可见,一系列化学元素,其中包括稀有元素,仅是最近才成为人类实际利用的对象。

所以,这个问题既需从地球化学的观点来研究,亦需从人类

历史实践的观点，即从采矿技术、工艺和实际利用的发展的观点来研究。

苏联在稀有金属及其利用方面知识的发展简况：

(1) Д.И. 門捷列夫創立了週期表后，在表中給尚未发现的元素留了位置，預言了它們的性質。这样，他好象指出了寻找这些元素的方向。后来，門捷列夫的預言証实了，所发现的元素按其性質符合于門捷列夫的預言。

(2) 在革命前的俄国对这些元素虽进行了个别的理論研究，但沒有工业利用。例如象 W.V. 等元素都是进口的。

(3) 1918年最高国民經济會議下成立了稀有金属委员会。1922年在最高国民經济會議的科学技术委员会下成立了稀有元素局，在国立莫斯科大学化学實驗室中进行了初次的研究。

(4) 1935年第六屆門捷列夫代表大会上对获得稀有金属的問題給予很大注意，例如，原料、工艺、实际利用等問題。

(5) 从30年代起，开始了这方面的系統研究，开始对稀有金属开采和加工。在科学院和各个部里組織了專門實驗室和研究所（冶金工业部，地質事业委员会等）。

2. 关于各化学元素在地壳中分布的比較材料。

由表 2 看出，只根据数量标志將这种或那种元素归属稀有类显然是不够的；例如岩石圈中銅的含量比钒的含量少一半，虽然銅大量开采（年产量数十万吨），而钒則是典型的稀有金属，年产量一千吨。鉛的含量低于鈷的含量，但我們知道鉛的产量比鈷高数倍。誰也不認為鉛是稀有金属，而鈷則認為是稀有金属。銻的含量只有鈷的数百分之一，但銻的产量却比鈷多許多倍。象鈦、钪、钽等在工业中称为稀有金属，虽然地壳中鈦是鋅的100倍，是鉛和銅的300倍。钪的量为鋅的量的1.5倍。例如，若从前把鈷看成是分散元素，則如今已有許多人不認為它是分散元素。已确定，無論在內生条件下，或在外生条件下鈷都能有相当程度的富集。这一点就存在的一百多种鈷矿物即能証明，其中一大半是內生条件下形成的。現在已发现的鈷矿床有数百个。

地壳中稀有、貴重和有色金属的含量

(地壳厚度采用16公里)

表2

金属名称	含量%	金属名称	含量%
(I) 高于0.01%			
铝	7.45	铀	5×10^{-4}
铁	2.85	钍	4×10^{-4}
锰	0.035	汞	1×10^{-4}
铬	0.025	镭	1×10^{-4}
钨	0.020	(IV) 低于0.0001%	
钼	0.010	铷	8×10^{-5}
(II) 自0.1到0.001%		铯	5×10^{-5}
钠	8×10^{-3}	碲	3.2×10^{-5}
钾	5×10^{-3}	钋	2.4×10^{-5}
铍	3×10^{-3}	铊	1.2×10^{-5}
镁	2.9×10^{-3}	铟	1×10^{-5}
钛	2×10^{-3}	铊	1×10^{-5}
锆	2×10^{-3}	铋	1×10^{-5}
锶	1.6×10^{-3}	(V) 低于0.00001%	
钡	1×10^{-3}	铂	5×10^{-6}
镉	1×10^{-3}	金	5×10^{-6}
(III) 自0.001到0.0001%		铊	3×10^{-6}
铊	9×10^{-4}	铋	3.5×10^{-7}
铋	9×10^{-4}	铊	1×10^{-7}
铊	6×10^{-4}	铋	3×10^{-100}
铋	5×10^{-4}		
铋	5×10^{-4}		

关于铝也应说一說。例如十九世紀80年代，英国科学院給門捷列夫（他曾被选为該院院士）送来一个珍貴物品——金和铝制的大杯。这說明在那时候开采铝只有实验室的規模。当然，那时把铝看作极稀有的金属。现在則任一个厨房里都可以找到铝制的食器、更不用說它的工业用途了。

因此地球化学平均含量（克拉克值）不是將某种元素归入本类的唯一准則。这种情况对于找矿也极为重要。

元素“稀罕”的原因 有三种說法，現簡單介紹如下：

1. 据費尔斯曼的看法，元素“稀罕”可以解釋为：

(1) 其原子結構的特点，由于此原因而使元素不甚稳定或不長寿。

(2) 元素堆积在地球的深部，因此它在地壳中的含量就少。

(3) 能形成富集或分散。金属富集的本領愈大，它們的矿床表現得愈明显，愈可以为工业所利用，在人类历史中的使用也愈早开始。

2. 据戈尔德施密特的意見，元素的稀罕性是它的一种特性，也象它的其他特性一样，决定于原子的構造。該元素在該宇宙体或該宇宙体某部分中的原子数量决定于原子核的構造，元素的分布則决定于外电子层的構造。这样划分的基础是：(1) 原子的电子层構造，(2) 原子体积的大小。

我們知道，自然界中分布最廣的元素的原子是具有最对称的电子系統，它們最为稳定、最長寿。元素的原子若是稳定性較差的电子系統，則元素容易受外来的各种作用，是比較稀罕的。

3. 据伽尔肯斯的看法，原子序数为偶数的元素在自然界中的数量，比周期系中在它們旁边有奇数序数的元素为多。

稀有、稀土和分散金属的一些共同特点 这些特点大致可归納如下：

1. 分散多于富集，特別在內生条件下（在地表条件下并不經常这样）。

2. 类質同象的发育很强烈。大多数分散金属和稀土金属不形成独立的矿物，而即使有这些金属的矿物，則大多数也沒有实际意义。

它們一般是在其他矿物中成为类質同象混入物。这些元素有一种伪装。它們进入遍在矿物（ZnS, PbS等）的晶格中。

3. 物質的选择性，即整个一类元素，如稀土等共存。

4. 地表条件下被吸附，即这一类元素有許多都趋向于富集，例如銻（后者一般是鉬的伴生物，內生条件下所見的量很少，而地表条件下富集显然增加）。銻等也是同样。

5. 化合价变化非常容易, 化合物多种多样又不稳定, 这一般认为是电子系统不甚稳定的结果。含稀有、分散和稀土金属的矿石成分复杂, 例如: (1) 在锆石、独居石等矿石中这些金属大量存在, (2) 钽矿石中有铅、铁、钼及其他伴生物。

6. 据纳达克的意见, 原子结构愈复杂、它愈不稳定, 分布愈少, 即地壳中元素的分布程度与其原子序数成反比。

7. 成因上主要与硷性和酸性岩漿有关(正长岩岩漿、偶而与基性岩漿有关), 特征是与花崗岩岩漿的联系主要是在残余结晶阶段, 即与偉晶岩和气体-热液有关。

地表条件下呈砂矿形式出现, 显然趋向于硷性和酸性岩石(偉晶岩等)发育的地区, 也趋向于鹽类溶液。

8. 据薩烏科夫的意见, 这些金属的电离电位很高, 因此能形成最好的ZS型原子构造, 其中占主要的是比較近似的有效半径, 这也说明这类金属的结晶格子中互相交替的本領很强, 显然这就是这里存在一系列分散元素的决定性原因。

費尔斯曼、戈尔德施密特等指出, 当元素属于同一种晶格状态, 它们的离子(或原子)半径相近时, 可以在结晶格架中互相置换。

該类各元素的原子半径

表3

元 素	Zn	Ga	Ge	Re	Au	Ag	Cd	In	Bi	Mo	Pt	Pb
半径(Å)	1.37	1.38	1.39	1.37	1.44	1.44	1.52	1.57	1.82	1.40	1.32—1.38	1.74

由上列資料可以看出鋅与錳、鍺、鎢、銻, 金与銀, 銻与鉛, 錳与鉛关系很密切, 錳与鉑和鉬共生。

这点也能说明大多数分散元素的亲硫性, 即它們与S、Se, As、Sb能形成比与氧更牢固的化合物。

这些情况是找寻和估价特別分散的金属的重要理論前提。

主要特性、用途和工业要求

由上述可見，絕大多數稀有、稀土和分散金属（元素）是从十九世末才部分地，而主要是在本世紀用于工业中，虽然这些元素中有許多元素早已发现。可以毫不夸大地指出，本世紀科学和技术发展的特点之一就是対稀有金属进行研究和掌握的規模已愈来愈大了。

它們利用的数量还不多，常以公斤論，偶然以吨論。由于它們的特殊性能，故其在許多工业部門的用途愈来愈大。个别的工业部門对这些金属簡直不可缺少（核能，半导体等）。

現今，这些金属用于下列主要工业部門：冶煉特种鋼，飞机发动机制造业，无綫电工业，原子技术，半导体等。例如象核子工业、火箭技术，遙控力学，自动机械业等工业部門，實質上是由于这些金属的使用而发展起来的。

現在歸属于本类的化学元素及它們的特性

那一些元素属于本类，目前还没有一致的意見，根据 И. А. 費梁德和 Е. И. 謝苗諾娃所著“稀有元素特性”的参考書，象鈦、錳、鉬、釩、硼等元素也都属于这一类。根据彼得罗夫所編国家儲量委员会的规范（1956年），这类元素包括鉬、鈮、鈳、鉛、铍、鋰、鈹、鈷、鈳和鐳，而象鎳、鎳、鈳、鈳、鈳等元素則未指出。冶金学家們把很多金属都归納在这一类里，其中包括錳、鉬、鈳、鈳等。

地壳中稀有元素的含量及它们的某些物理特性

(根据费梁德和谢苗诺娃)

表 4

元 素	在地壳中的含量% $n \times 10^{-4}$	原 子 量	比 重	熔 点 °C	沸 点 °C
钪	2	180.88	16.6	2098	5300
钇	10	92.91	8.57	2400	3300
铈	200	91.22	6.49	1860	2900
镧	3.2	178.6	13.31	2130	3200
铈	6	90.13	1.85	1283	2970
铈	65	6.94	0.562	180	1338
铈	7	132.91	1.9	28.5	708
铈	300	85.48	1.55	39	688
铈	6	44.96	8.1	1200	2400
铈	38	88.92	4.75	1450	4600
镧族	0.8—45	138.92 —174.99	5.15—9.74	327—1800	1400—1800
铈		69.72	5.90	29.78	2300
铈		72.60	5.3—5.36	958	2700
铈		114.76	7.3	155	2100
铈		186.31	21	3160	5870
铈		204.39	11.85	310—303	1455—1462
铈		127.61	6.2	452	1390
铈		78.96	4.8	220	680—700

本类金属工艺特点的一些概况

这些特点大致可归纳为如下几点:

1. 稀有金属的熔炼不是在大炉子里直接从矿石中提炼金属, 以获得含少量杂质的金属的过程。
2. 将原料初步焙烧、烧结或加酸溶解之后, 采用类似化学分析的方法确定相应的金属。
3. 这些过程常常不能得到纯金属。例如稀有金属添加到钢里去时用的是这些金属与铁的合金。
4. 这类金属中有许多是以盐类或氧化物的形式用于技

术中。

5. 生产规模有时不超出实验室范围（富集量小）。

6. 工艺加工过程的仪器也有其特点（从最简单水法冶金装置到最新的自动化装置）。

例如，只有发展真空技术才可能获得冶金用的钛和锆。使用了离子交换的盐类以后才可能分离锆和钍以及稀土类元素等等。

高温技术，电工技术等都起了很大的作用。利用监督生产、各种分析方法等等的物理和物理化学方法，对于掌握这些金属也有着很大的意义。例如光谱研究、伦琴-光谱分析和伦琴-构造分析、偏光学、电位测量、库仑测量等。

7. 原料加工过程中稀有元素复杂的富集过程。这些元素在矿石中的含量都很少。

8. 原料综合加工。可举多金属矿石作为例子。这种矿石的主要组成部分是锌和铅。但此矿石中除了这些主要组份外还含有镉、铊、铋、铟、锗等。这些混入物大多富集在铅锌工厂生产剩下的矿石中。

由此可见，岩石非直接是原料（矿石），而已加工过的矿石的次生矿石才是原料。

例如，（1）硫酸生产的灰和泥可能含硒、锑、铊等，（2）黑色冶金的炉渣可以成为获取钒和钛的来源，（3）某些碳和頁岩的灰份中含相当大量的锆、钒，有时含钼、铋、锗、稀土等，

（4）在钾盐和其他盐类里发现有铷、铯、锂等，（5）在矾土原料里遇有铍、铟等。

9. Cu, Pb等的熔炼比较简单，因此，很早的时候就有熔炼。获得稀有金属的情况却是另一回事。例如，要获得Mo的原料就非得预先进行浮选。这种选钼的方法只是25—30年以前才研究成功的。还应当指出，这种方法在目前还远不是万能地适用于许多类型的钼矿石。

还可以举这样的例子。只有在高温电炉上和其他完善的技术设备上才有可能获得钼铁合金或金属钼及其化合物。这种情

况对于稀有金属类也如此。但这些完善的设备仅是在19世末，而且主要是20世纪初才开始掌握。

10. 稀有金属的开采和生产成本很昂贵，而且并不始终有利，例如生产铍、钒、锆、稀土类金属、钨、锳等。

11. 还要考虑这些金属的天然化合物的“分离”特点。由于物理化学和地球化学科学的发展，这点在许多方面已经能够办到了。例如，相类似的元素的分离（锆和钨、铌和钽、稀土类、钨和钨、铂族金属等），当查明了它们具有共同的特性是由于电子构造近似、原子半径相等或相近后已成为可能。

12. 这些金属中有许多是不久前才发现的，而且，它们的工业利用和工艺提炼等都还没有足够的研究。

某些一般的工艺特性及其他特性

由上列表中可以看出，这些金属具有一系列特性，因而使它们在各种各样的技术方面获得普遍应用。它们的工艺特点也很多。

1. 温度因素。这一类元素大致有以下特点：钽、铌、钨、锆、铪等是难熔金属，而锂、铷、铯、镱、钪和某些稀土则是易熔金属。

2. 按比重来说，一部分属于重金属（钽、钨、铌、锆、铪、铯、稀土等），另一部分属于轻金属（铯、铷、钪、锳、特别是钍等）。

3. 有成为半导体的特性。

4. 做催化剂。

5. 化学安定性，特别是抗蚀性等。

6. 高度的可塑性、导电性、感光性、电子发射等特性。

7. 加入极少量的这种或那种金属能使合金的质量显著提高。

这些金属的工艺特性所具有的最重要的物理化学特点就是这样。

稀 有 元 素

关于各种金属主要特性的簡况及它們的用途①，

鈿 暗灰色的稀有金属，熔点高，可塑，易于受冷加工，常溫下在空气中不氧化，溫度为 400°C 时表层发生氧化，溫度为 $600-700^{\circ}\text{C}$ 时氧化成高价氧化物。

能吸附气体，在高溫下和气体（氢、氮、氧）一起加入化合物。鈿的碳化物的特点是熔点高（ 3800°C ）、硬度大、抗蝕性强。除氢氟酸与硝酸的混合物能溶解鈿而外，其他的酸与它的反应均很弱或根本没有反应。苛性碱热溶液对它的腐蝕很厉害，熔化了碱和苏打能氧化它。

由其各种特性所决定的鈿的用途。

1. 难熔性、抗蝕性、高度的电子发射本领，吸收气体等。这些极为宝贵的特性使得鈿在下列諸工业部門有很大的用途：电子真空管工业、电工业、无綫电工程、化学和冶金业。例如在冶金业中鈿加入鋼以提高其抵抗大气和化学腐蝕的性能。

2. 耐酸性。由于这种特性，鈿可用来制成仪器零件和腐蝕介質中用的化学器皿（蒸餾器、攪拌器、盛器、管、活門、膜片、膜等）。

3. 純鈿与鈿的合金可以用来制造阴极、阳极、电子管和巨型振盪管、无綫电探测仪器，倫琴仪和真空仪器、交流电整流器等所用的調节楓极。

4. 做“生物上用的材料”。因鈿有以上特性，故用在外科术中替换损伤的骨头、軀体的骨骼組織和連結腱。也可用以制造牙科工具和外科工具。

5. 硬度大和难熔性。用来作为鈿的碳化物以获得超硬度的合金和耐硝酸的合金。

6. 作为各种制品的鍍料。鈿也可用于这方面，例如，鍍銅、鍍鎳、鍍鉄、鍍鈿的制品、陶瓷器等。

鈿一般与鈿在一起，它們的化学性質也很近似。

①該資料引自費傑德，謝苗諾娃，彼得罗夫等。

銱 与钽不同之点主要如下：

1. 熔点和沸点较低；
2. 对热的浓酸稳定性较差。氧化的温度比钽的氧化温度要低 (2000°C)。

銱的用途。它用于以下几个主要工业部门。

1. 冶金工业是銱的主要消费者。钢里加些銱能增加它的抗蚀性，改善它的焊接本领和提高可塑性等。
2. 銱用于制造受高温和侵蚀影响的内燃机的零件。
3. 与銱做成的特种合金具有磁性。
4. 銱与铝、铬、铜等做成合金。
5. 銱的碳化物具有高硬度。
6. 銱用于制造电子管，也可用于低压交流电的整流器。

锆 它的主要特点如下：

1. 外貌象钢，可塑，具有展性，很容易轧制和压延。有杂质存在时，这些性质显著地下降。
2. 空气中稳定，加热到 $400-500^{\circ}\text{C}$ 时复盖一层氧化物薄膜， 800°C 时氧化成高价氧化物。

在温度高 $210-270^{\circ}$ 的空气中锆氧化成粉末状并放出大量热。

3. 吸附气体（氢、氮和二氧化碳），形成氢化物和坚硬难熔的氮化物和碳化物。
4. 抗蚀性超过钛，近似钽和銱。
5. 在盐酸、硝酸和硫酸中稳定（达50%），而在有机酸中则在温度 100°C 以下时稳定。在浓硫酸和磷酸以及王水中则在温度到达 100°C 时溶解。硷水溶液中稳定。

锆的用途。锆用于下列主要工业部门：

1. 金属锆在真空技术和电工学中用以排除真空管的气体和生产电子管。
2. 化学机器制造业中——以坚固的抗蚀外膜包在钢上和铜合金上。

3. 生产机器零件——离心机、唧筒、活門、膜片和化学反应很强烈的介質中用的电容器等等。

4. 在医学技术中用以生产医学設備和牙科設備。

5. 在水力工程中生产无烟混合物。

6. 光学和照明工程中做强光源（太阳亮度的1/16）。

7. 生产不失光泽的鏡子。

8. 用于玻璃和陶器生产以增加珪琅的坚固性。

原子核技术。鋳在这方面的用途主要靠以下諸特性：良好的机械性能、抗蝕性、在吸收中子方面核效应較小等等。

鋳主要用在制造核反应堆和核技术中的其他結構。

鉛 如上所說，鉛一般是鋳的伴生物，沒有自己的矿物。它的化学特性也很近似鋳。因此，要把它們分离开来是很困难。

主要特性及工业中的用途。純粹的鉛有可塑性，易于煅冶和輾軋。常溫下复盖一层氧化物薄膜。抗蝕性比鋳要差。

用途至今仍不大。制鎢灯絲的时候加入鉛能增加灯絲寿命。

在原子核技术中要把鋳与鉛分开，因为鉛不同于鋳，具有很大的吸收中子的本領。由于这种特性，鉛可以用在核反应堆的控制系統里作为中子吸收剂。

象难熔性和大量电子发射等特性使它有希望用在无綫电工程和电工技术中。

鉍 鉍的主要特性如下：它是淺色輕金属、性脆、經不起鍛冶、輾軋和冷拉。99.99% 純的鉍具有韌性和可塑性。高溫时在真空中或惰性气体中能輾軋。

在空气和純氧中稳定，細粉在氧气中燃燒，放出亮光。即使在高溫下(1000°C)以上用氢也不能对鉍起反应，用卤素和非金属則容易反应。

在鹽酸和硫酸中溶解放出氢气。苛性硷的水溶液中也容易溶解。

工业用途。根据上述特性，鉍用于下列一些主要生产部門：

1. 有色冶金——这是主要用鉍部門，鉍可以使有色金属的

下列特性提高：强度、硬度、抗蝕性、彈性和疲乏极限。例如，鍍青銅具有銅的强度。鍍銅合金在錘击时不发火花，这有利于制造防火工具，电学仪器的零件、彈簧、接头、夾子、机械的摩擦零件等都由鍍銅合金做成。

銅的表层鍍鍍能增加它的硬度、抗酸性和抗热性。

2. 核技术中，鍍用作为：（1）結構材料，（2）中子源（主要）。在中子源方面，鍍的用途很廣。

3. 倫琴設備中做倫琴射綫管的“窗”，因为金屬鍍很易通过倫琴射綫。

4. 制造塔煉純金屬和合金用的器皿时作为耐火材料。

用于以上各方面时应用鍍的氧化物，因为它比金屬鍍的熔点高（ 2510°C ），还有很大的导热性和硬度（按摩氏硬度計为9），不具吸附本領。

由于这些特性，鍍的氧化物有廣泛的專門用途，如噴气发动机，获得热电能等。

鋰 銀白色，是自然界已知金屬中最輕的金屬，很軟，可塑，易輾軋。

在潮湿空气中氧化很快，形成氢氧化鋰，在干燥空气中，与氧的反应較慢。室溫下与水劇烈作用并放出氢。在氧气中溫度高于 200° 时燃燒，易溶于酸。

工业用途。制潤滑物質，蓄電池，冶金，制造空气調节裝置，制造桁架，陶瓷工业。

鋰在冶金工业中既可作为还原剂和去气剂，也可作为輕合金和代替其他抗磨擦的合金中的制合金元素。

鋰的加入可提高主要金屬的机械强度和韌性，增加合金的抗蝕强度。鋰用于电灯和真空仪器中作为去气剂，也用于核技术中。它是活性很大的元素，能从金屬和合金中吸收微量O, N等。由于这点而增加了合金的密度和硬度以及它的塑性，鋰可以代替抗磨擦合金中的錫。

鋰的水化物可以提供氢（从450公尺³水化物中約可取得1.3公

尺³氢)。

铯 銀白色，易熔，質軟，化学性活潑，为硷金属之一，与氧化合很激烈，室溫下在空气中能燃燒，116°C时能分解水和冰，与氮不化合。

工业用途。1. 普遍用于制造自动装置、信号设备、摄影术、电碱业等所用的光电管，因为它比起其他硷金属来，具有最大的光电效应。

2. 用来制造发光管和作为气体扑灭剂。

铷 銀白色，輕如蜡，熔点低，比重小。化学性很活潑，室溫下在空气里燃燒。与氧起激烈的反应。

用途。1. 制造光电管，因为铷具有辐射电子的能力。2. 铷的合金可在制造高度真空时用作气体吸收剂。

稀 土 元 素

概論 稀土元素位于門捷列夫周期系的第三类里。在这个名称下常常包括镧(原子序数57)及周期系中在它后面的化学元素，原子序数为58—71的所謂錒系，其中也包括釷和較少的鈾。它們又分为鈾亞組和釷亞組。鈾組研究得最詳細。

“稀有元素”或“稀土元素”的名称已属过时。現在，“稀有元素”中有許多元素(釷、鈾、錒、釷)按其在自然界的分布已超过了在技术中起重大作用的一些熟悉的元素。另一些元素(鐳、鈾、錒)則极稀少。

例如，地壳中鈾組元素的平均含量为 $11.3 \times 10^{-3}\%$ (根据維諾格拉多夫)，其中鈾 $4.5 \times 10^{-3}\%$ ，釷 $2.5 \times 10^{-3}\%$ ，錒 $1.8 \times 10^{-3}\%$ ；釷組元素 $4.4 \times 10^{-3}\%$ ，其中釷 $2.8 \times 10^{-3}\%$ ，而地壳中鉛的含量确定为 $1.6 \times 10^{-3}\%$ ，錫 $8 \times 10^{-3}\%$ 等等。由此可見，有些稀土的分布并不少于不包括在稀有元素中的鉛之类元素的分布。

这些元素有一个重要的特点，就是矿物中的稀土元素总是相互共生在一起。其性質的如此近似也就使得分离它們产生困难。

还应考虑到，自然界中原子序数为偶数的稀土元素比它们相邻的奇数元素分布较广。

地壳中的分布 地壳中分布最广的是：铈 ($45 \times 10^{-4}\%$)，钇 ($28 \times 10^{-4}\%$)，铈 ($25 \times 10^{-4}\%$)，镧 ($18 \times 10^{-4}\%$)，钕 ($10 \times 10^{-4}\%$)，钐、钕、镨 ($7 \times 10^{-4}\%$)。

较稀少的是：铷、铈、钐、镧和铈 ($1.5-0.8 \times 10^{-4}\%$)。

稀土元素及其特性 从一种镧族元素过渡到另一种时，它们的原子内、外层 (6s) 电子数不变 (等于 n)，里层电子 (主要是 4f) 增加。这时，价电子的数目不变，象镧一样，等于 3。这点也可说明，所有的镧系元素在化学性质上彼此很相似，而且也象镧和钇。

稀土元素的一般性质

表 5

名称	符号	原子序数	原子价	比重	原子量 (1952年)	熔 点 °C	发现 年代	克拉克值
镧	La	57	3	6.15	138.92	826	1841	5.5×10^{-4}
铈	Ce	58	3.4	6.0	140.13	649	1839	2.6×10^{-3}
镨	Pr	59	3.4	6.5	140.92	940	1885	4.5×10^{-4}
钕	Nd	60	3	6.9	144.27	840	1785	1.7×10^{-3}
钷	Pm	61	3	—	145	—	—	—
钐	Sm	62	2.3	7.7	150.43	1350	1879	7×10^{-4}
铕	Eu	63	2.3	—	152.00	1100-1200	1901	2×10^{-5}
钆	Gd	64	3	—	156.90	—	1879	7.5×10^{-4}
铽	Tb	65	3	5.51	888.92	1490	—	5.5×10^{-3}
铈	Tb	65	3.4	—	159.20	—	1843	1×10^{-4}
镝	Dy	66	3	—	162.46	—	1886	7×10^{-4}
钬	Ho	67	3	—	164.94	—	1886	1×10^{-4}
铒	Er	68	3	—	167.20	—	1878	6×10^{-4}
铥	Tm	69	3	—	168.9	—	1878	1×10^{-4}
镱	Yb	70	2.3	—	173.04	约1800	1907	3×10^{-4}
镱	Lu	71	3	—	175.00	—	1907	1.7×10^{-4}

本族包括16个元素 (表 5) 目前根据其产状等条件的不同，又分为两组，即元素镧—钇属于钐组，而元素铈—镱属于钇组。

1947年，从铀的分裂（核反应堆里）产物中划分出来的稀土元素钷，在地壳中呈天然化合物存在的尚未发现。关于1926年所发现原子序数为61的稀土元素釷（今名钷）的存在问题，现有资料尚未证实。

为了作比较，我们指出，钷的原子序数为56，原子量137.36，而铈的原子序数为72，原子量178.6，即稀土元素犹似处在这些元素之间。

稀土元素的主要特性 这些金属在游离状态时，在空气中能很快变暗。低温时分解水缓慢，加热时较快。它们很活泼，而且能直接与氧（在常温下）、氢（加热到200°以上）、氮（约800°）及其他非金属起相互作用。

有许多稀土元素的合金能自燃，即摩擦时能产生赤热的火花，有着实际用途（打火机等）。在化合物中一般是三价的，形成 R_2O_3 型氧化物，铈、镨和钷则除外，它们除了形成三价氢氧化物外，还形成更高价的氢氧化物 CeO_2 ， Pr_6O_{11} 和 Tb_4O_7 ，相当于 R_2O_3 型氢氧化物，氢氧化物 $R(OH)_3$ 是所有三价元素氢氧化物中最强的硷，按强度来说，是在 $Mg(OH)_2$ 和 $Al(OH)_3$ 之间。

三价稀土元素（以及钷、钆和4价铈）的氢氧化物的主要特性随着原子序数的增高而逐渐减小，这可能与这些元素的原子体积变小而电离电位逐渐增加有关。

这组元素的熔点还未完全确定。从表中可以看出，熔点最高的是镱（1800°C）、钇（1490°）、钆（1200—1400°C）、钕（1350°C）、铈（1100—1200°C）。

用途 稀土金属用于许多工业部门。

1. 作为生铁、钢、铝、镁的加料（不锈钢，镁、铝的坚韧轻合金等）。

2. 铈、钆、镨的氧化物用来褪色、染色和制造光学玻璃以及瓷器上色等。

3. 稀土元素的氧化物既可用于磨光光学玻璃的磨料，也可以作为许多化学反应中的接触剂。

4. 氟鹽可用來製造探照燈和電弧的燈蕊。某些元素(Ce, Gd, Sn, Eu)的化合物能組成特殊發光劑(發光粉末)。

5. 鈾及鈾組的其他元素(釷、鐳、鐳)在工業中的用途最大。由於鈾具有很強的順磁性，所以可在實驗室里用於獲得超低溫。

目前，對鈾組元素，其特性和開採來源很重視。暫時對這組元素研究得還不夠。

分散元素

概況

目前屬於這一類的有以下一些元素：鎘、銻、硒、銻、碲、鉛、銻和鉍。這些元素列入這類是相當有條件的。

分散元素具有下列主要特點：

1. 它們大都沒有本身的礦物。
2. 遇到的量很少，經常與有色金屬(銅、鉛、鋅、鋁、鎳、等)共生，呈類質同象混入物。所以一般都把它們叫做伴生元素或混入物。

3. 它們的提煉只是通過對有色金屬、煤、硫酸等生產的廢料進行加工，例如生產塵土、沉渣、藍鋅粉、爐渣、某些煤的灰份、工業水和礦水等。

4. 除了表現出典型金屬特性的元素(銻、鎘、鉍、銻)而外，分散元素中還有具半導體性質的元素(銻)和准金屬(硒、碲)。

作為一般情況還需指出的是，對於所有分散元素，物理和機械特性研究尚不足。例如，銻、鉍、鎘、硒、碲等研究得詳細，而銻、銻和鉛目前還研究得很不夠。現在對於它們的特性只有極片斷的了解。

各分散元素的主要特性簡述以及它們的工業用途 下面列舉關於它們的特性和用途的現有的重要資料，不過如上所說，由於其中許多元素研究還差，因此這些資料在許多方面是不完全的。描寫的次序將按它們在地殼中分布的多少來進行(根據1949年維

諾格拉多夫的資料)。主要的物理化學特性列于前表中，所以下面不再列述。

鎔 地壳中鎔的平均含量 $1.5 \times 10^{-5} \%$ (重量百分數) 而原子百分數為 4×10^{-4} ，原子序數為 31。

化學安定，常溫時在干燥空氣中穩定，潮濕空氣中發黑，不穩定 (特別在液體狀態下)，加熱時與氧、硫、碘起激烈反應，與氫不能形成水化物，不能分解水，在硝酸中溶解很慢，但在鹽酸和硫酸、王水中，以及在鹼和氨水溶液中則溶解很快。

工藝特性大致如下：能很好地充填鑄模，正常冷卻時能形成巨大晶體，室溫下可軋成薄板，溫度接近于其熔點時，硬度和脆性增長，可鍛性弱，鍛治時變脆并沿晶體分裂面裂開，錘打和用力彎曲能導至脆性破壞。自然界中沒有游離狀態的鎔。

鎔屬于液體金屬類。據埃萬斯等的意見，使我們考慮利用液體金屬以傳熱問題的主要原由，是因為它們的導熱性很高，由此傳熱系數也就高，在高溫下穩定，溫度可能變化的範圍寬廣。

鎔的熔點低，沸點高，在這方面與它相等的金屬是找不到的。例如，純的鎔在溫度 29.78° 時熔化，而它和某些金屬的合金可以在低于室溫的溫度下熔化，即是散熱液體。

鎔的腐蝕性非常強，在高溫下唯一不受它作用的金屬可以算是鎢和鉭。

能用于獲得原子能的裝置中并能降低鎔的熔點的合金元素有 Sn, Al, Zn。

用途。鎔用在許多工業部門，制高溫溫度計 (達 $1300-1500^\circ$)，真空技術中的某些儀器，電子管工業 (液體狀態)，制自動操縱的安全系統和信號系統的無線電真空管，作電工學中的止熱器，Ga 和 Cd 或 Sn 的易熔合金在許多情況下可代替汞，用在各種合金中，汞合金、牙科醫學中，做發光顏料，用在光學儀器中等等。

銻 周期系第四類元素，原子序數為 32，原子量 72.60，有五种穩定的同位素 (質量數 70, 72, 73, 74, 76)。1924 年克拉克估計它在岩石圈中的含量為 $10^{-11}-10^{-12} \%$ ，諾達克和戈爾德施

合金加料对铊的熔点的影响

表 6

金 属	影 响	富含Ga的低熔混合物	
		加 料 (%)	熔 点 (°C)
In	降低熔点	25	16
Ag	同上	5	25
Bi	不改变熔点	0	30
Pb	同上	0	30
K	同上	0	30
Na	同上	0	30
Cd	同上	0	30
Hg	同上	0	30
Cu	同上	0	330
Sn	降低熔点	8	20
Al	同上		26
Zn	同上	5	25

铊的熔点低沸点高使它能用来作为散热的液体金属介质

密特研究之后，含量增高到0.000001%。含量的增高是由于在许多矽酸盐，煤的灰份和硫化物中发现了铊。而且克拉克值也不符合以下情况，铊是偶数系列的元素，而且原子量比较小，在岩石圈中应当大量地存在。例如闪锌矿中确定的铊含量有0.0005%到0.1%之多，阿尔滕堡的闪锌矿中则达0.3%。另外还发现闪锌矿的低温变种很富含铊。

据埃恩斯特的意见，地壳的矽酸盐层里铊占 3×10^{-4} %。据维诺格拉多夫的意见为 2×10^{-4} % (原子百分数)，重量百分数为 7×10^{-4} (1949)。

铊曾被称为类硅，属未知元素之列，1870年门捷列夫根据他在1869年发现的周期律而预言了它的存在和特性。

1886年德国化学家文克列发现硫银铊矿矿物里有一种新的元素称为铊。其特性完全与类矽同。这个发现令人信服地证实了周期律的正确性。

铊是坚硬、性脆的金属，银白色，密度5.36 (20°时)，立方系晶体，常温下化学性很稳定。水和硷溶液对铊不起作用。化合

物中鍺有+2价和+4价。二价鍺的化合物（氧化物 GeO ，氯化物 GeCl ，硫化物 GeS 等）不甚稳定，易氧化，在王水中容易溶解。

Ge 与 Si , Sn , Pb 相似，能形成金属有机化合物，并易与 Pt , Sn 等金属熔合。

用途。现在用途最大的是无线电工程，特别是用在雷达和电视仪器中，这里晶体鍺的二极管代替了真空管（晶体检波器），硬铝中增加鍺能使这种金属不增加重量而提高抗断性，可用在玻璃制造业中。例如，二氧化鍺的折射系数很大，机械强度很高，也可用在医学及其他部门中。

鍺是很有用的半导体，特别是在原子晶格和共价键的半导体类中。它的用途是基于一点，即呈晶体出现的鍺与四面体中位置最近的四个质点联系，熔化时变紧密，配位数从4增加到8，变成金属。现在外国科学界提供了一些有实用价值的新方法来取得超纯鍺单晶体的半导体。

现在用这些晶体可以制成从仪器中用的小能量装置到大能量装置的整流器，放大器，“三极管”等。

苏联于1955年在工程物理学院建造了第一批功率强大的整流器。最近达到的成就已经是用半导体热电偶把热能变成有效系数为10%的电能，可是，譬如象火车头的有效系数仅是6—8%，而这些热电偶在冷藏器制造业中进行一次作用能降低温度70—80%。

鍺亦属于这些基本的半导体之列。

铟 银白色金属、原子量114.76，比重7.31，硬度1—2，熔点 162.2° ，沸点 1450° ，比热0.056。周期系第三类元素。地壳中以重量百分数计算的平均含量是 $1 \times 10^{-6}\%$ （0.1克/吨），而以原子百分数计算的平均含量是 1.5×10^{-6} 。能轧成薄片和拉成线，与各种金属熔成合金，空气中不变化，加热时激烈与氧、硼和硫起作用，易溶于盐酸，稀硫酸和硝酸中，砷溶液对铟不起作用。

铟没有本身的矿物。1863年由勒赫（Рейх）和里赫脱（Рихтер）从弗莱堡的闪锌矿中发现。

用途。銻長期以來被看作是實驗室稀有的元素。1924年以前，當還未確定有色金屬中加入銻能改善其機械性能時，沒有誰試驗過它的工業用途。

現在使用銻的主要部門如下：

1. 有色金屬加少量銻，就成為有抗蝕性的合金，可用在軍艦的各種水下部分，錐制螺旋槳等。鋼里加入銻能提高極限強度、硬度，提高抗磨損力和抗蝕力。

2. 用在半導體中（有原子晶格和共價鍵的半導體，即用鎢的同一類半導體）。

3. 催化劑。

4. 錫制的軸承中，與在很大重荷和高溫下不能耐久的Sn—Pb一起應用。軸承通常在潤滑物質等的有機酸侵蝕下會變形，但加入銻能抗蝕。

5. 牙科、外科、珠寶業中作為抗蝕金屬，治睡眠症等。

6. 銻絲可用在熱阻抗中，熱電偶中，電流計中和做遠攝鏡頭上的網絡。

銻 致密狀態下象鉑。周期系第七類元素。熔點從 3000° 到 3440°K ，原子量186.31，序數75，地殼中的平均含量（重量百分數）為 $1 \times 10^{-7}\%$ ，原子百分數為 8.5×10^{-9} 。致密的金屬銻在空氣中常溫下穩定，空氣中加熱到 1000° 時開始氧化，空氣中氧濃度等於10%，溫度為 1600° 時開始明顯地氧化，銻對氧化的穩定性超過鎢，但不如鉑，在鹽酸和氫氟酸中幾乎不溶，易溶于硝酸，直接與硫和硒化合，形成銻汞齊，與鎢形成合金等。

用途。1. 由於銻的熔點高（ 3000° 以上），機械強度大，電阻大，發射能力強及其他特性，使得銻在電工技術中有很大的用途。

2. 做電子管和陰极管燈絲的材料，因為銻合金比鎢合金更穩定。

3. 做保護層，避免海水和硫化化合物的作用。銻的表面可吸附氧，形成低价氧化物。所以許多銻合金對酸和硫的化學穩定性很

高。

4. 做热电偶測量 2000° 以上的溫度。

5. 銻的氧化物以及銻和銅的合金是未飽和碳氫化物發生氫化等作用時的催化劑，總的說來銻是很好的催化劑。

6. 做自來水鋼筆筆尖，羅盤指針及其他需要高硬度、抗蝕性、抗磨性的物件。例如做鋼筆筆尖要用的合金是：2%Re, 50—90%W和Cr, 不到30%Fe和Ni (或Co)。

近來，在專門的部門里，銻代替鎢的機會愈益增多，也能代替鉍。但根據現有的資料可能用途最大的要算是用在热电偶中了。

據諾達克的意見 (1954年)，因為銻的分布量不多，即除了爐子的鉬質爐瘤和某些含銻量最高的輝鉬礦外，顯然就沒有其他含銻多的材料 (來源) 可以獲得大量的銻，很難想象，銻在技術中能大量應用的情況。

但銻也象鉑族金屬一樣，當它的特性有用處的時候，銻就將得到應用。

碲 它的原子量是78.96，序數34，地殼中的含量 (重量百分數) 是 $6 \times 10^{-6}\%$ ，原子百分數為 $1.5 \times 10^{-6}\%$ 。其特性近似硫和鎘，處於兩者之間。常溫下不與氧起作用，而與氫、鹵素和金屬起作用，水對它不起作用，金屬碲能溶于濃硫酸中，鹽酸和稀硫酸不起作用；能溶于濃鹼中，氰化鉀能溶解它。

常溫下性脆，溫度較高 (60° 以上) 時有塑性，易壓。

用途。碲主要用在電工技術、冶金、玻璃和橡膠工業中。電工技術中用碲製造光電池是因為它有特別強的感光性，例如，碲的導電性隨入射光的強度而變化。因此，它可以用在信號設備、自動設備、信號繼電器、光度計、無線電傳真和測量光強等用的儀器。

碲也可以用在交流電的整流 (碲整流器) 裝置中，在玻璃製造業中作為混入物，中和玻璃的綠顏色，使玻璃染上玫瑰色和紅色 (0.25%Se)。加入0.6%Se能賦予玻璃以黑色，碲還可以用

在陶器业中。

冶金工业中做 18-8 型不銹鋼的加料 (0.3—0.35%)，能增强鋼的易切削性并保持它高度的抗蝕性，碲的加料能增强銅合金等的易切削性。碲还可用在橡膠工业中 (制汽車輪胎、制動帶、管帶、阻尼器等)，照相业及其他部門中。

鉍 在周期系的第三类里，硼、鋁、鎳和錒亞类里。地壳中的平均含量为 $3 \times 10^{-4}\%$ ，原子量 204.39，序数 81，鉍比鉛軟，但比鋅硬 (4:2:1)，許多物理特性都象鉛，例如，原子序数 Tl—81，Pb—82，原子量 Tl—204.39，Pb—207.21，比重 Tl—11.85，Pb—11.34，熔点 Tl—303°C，Pb—327.4°C，沸点 Tl—1460°C，Pb—1740°C，比热 Tl—0.031 卡/克，Pb—0.031 卡/克，其他特性也都很接近。

鉍是延性金属，刀可以刻划，鉛可以在鉍上刻痕，可压制；不能拉成絲。在空气中常盖上一层灰色氧化物薄膜，常溫下氧和鉍能形成 Tl_2O 和 Tl_2O_3 的化合物，不与氧形成固溶体，因此氧不能影响鉍的物理特性，潮湿的空气里氧化很快，不能与氢形成化合物，能与硫酸形成硫酸鹽。

用途。 鉍主要用于合金中，特别是制造軸承，它的质量超过錫做的優質軸承合金，某些合金具有耐蝕性，可用来作为光学玻璃里的加料，用在化学工业上作为某些有机反应的催化剂。农业中作为消灭齧齿类的毒藥。

含硫化鉍的光电管，可以用来作为半导体，它能随着入射光的数量不同而改变电阻。

近来曾提出了一系列新的用途，但主要是在冶金和技术上。

鉍的世界年产量可以达到 500 吨金属，可是对于鉍的需要量却相当少。

銻 在周期系第六类，原子序数为 52，原子量 127.61，地壳中的平均含量为 $1 \times 10^{-6}\%$ (重量百分数) 或 $4.3 \times 10^{-7}\%$ (原子百分数)。

主要的物理化学特性如下：常溫下很脆，高溫下可压制并可

期，常溫下能与氟及氯起反应，不能与氢起直接的反应；加热时与許多金属一起形成銻化物，常溫下在空气和氧中稳定，但加热时燃燒，变成二氧化銻 (TiO_2)。溶于王水、濃硫酸和硝酸中，也溶于热的濃硷溶液中。

用途。1. 冶金工业上作为生鉄和鋼（包括不銹鋼）及其合金中的加料，例如加入銻能改善生鉄和鋼的結構、性能和可加工性。

大量地用来作为銅的加料，增强它的可加工性和耐热性。

可用来制造热电偶（銻-銅，銻-鉑）以測量低溫（自 -75 到 $+90^\circ$ ），用于玻璃制造业上（棕色玻璃和珐琅質），用于橡膠业及橡膠的硫化。

工業要求

这类金属的重要特点之一就是：对于所有矿床并没有一致的要求。对于每一个矿床及每一种金属在各个不同情况下都有不同的要求。在探討这些要求的时候一般都根据以下几个主要因素：地質因素，矿床規模，品位和矿石成分的綜合利用性，矿山技术加工条件，工艺选矿过程的研究程度，金属的提煉和合金的制备，經濟地理条件等。这些因素的作用随時間而改变，主要决定于：工业上需要的程度、有否矿物原料和工艺过程的研究程度。

正如前面已經說过的，这种特点首先是由于这些金属并不是直接开采的对象，絕大多数情况下是与其他矿产一起（順便）开采的，个别情况下甚至在主要矿产利用之后再开采，例如从煤灰中取出銻等等。同时这些金属的工艺过程也有許多独特之点。因此，工业上的要求也有所不同，对于每一种金属在不同時間完全有不同的要求。

下面列举各种金属最为普遍的資料。它們不很精确，因为許多国家都未公布，所以这里只是些片断資料。

鉍与鈮 这两种金属从原生矿床和砂矿中采出。

目前外国的工业矿床有：（1）含鉍自 0.05% 至 0.2% ，含

鈮自0.1到0.5%的原生矿床。(2) 每立方米砂中含量由数十克至数十公斤的砂矿床(尼日里亞)。

矿石的综合利用性。这个因素对矿床的估价也非常重要。我們知道, 鈮和鈳是一起开采的, 此外也和鈷、鉍、鋰、鉍、稀土、錫、鋁等金属一起开采。

当然, 在确定标准时还要考虑到其他所有的伴生組分。由于这种或那种組份的存在, 对于个别組份的含量要求可以降低。

矿石的类型和用途。(1) 用鈮和鈳做制品时需要最純的金属。所以对这种矿石要求有鈮鈳含量很高的精矿。(2) 当鈮和鈳的铁合金作为鋼的合金加料而利用时, 对精矿的要求稍可降低(約为10%的五氧化鈮)。

有害杂质。有害杂质包括: 磷(不超过0.05%), 矽(不超过1.5%), 錫、鈷、在有些合金中鈳也是有害杂质。百分含量沒有指出, 应在每一种具体情况下加以考虑。

鈮-鈳精矿。对于这类混合精矿的工业要求(根据外国标准)如下:

1. 在一級鉄鈮矿精矿中, 五氧化鈮不能少于60—65%, 五氧化鈳不能少于10%。美国鈳鉄矿精矿中应有50% Nb_2O_5 , 允許杂质 TiO_2 不超过7.5% 或 SnO_2 不超过5%。鈮精矿中 Ta_2O_5 不少于40%, TiO_2 或 SnO_2 不能多于3%。生产鈳鉄合金的精矿可以含有 Nb_2O_5 10%, 含P不超过0.05%, 含 SiO_2 不超过1.5%。

2. 二級精矿中五氧化鈮不能少于40%。

3. 在个别情况下級別是根据 $Ta:Nb$ 的比而确定的。一級精矿中, 在鈮和鈳的总含量不低于50—60%的情况下, 其比例应是2.5, 对于二級精矿比值大于1, 三級精矿比值大于0.5。

4. 一級鈳(鈳)精矿中五氧化鈳的含量不应少于60%, 二級精矿不应少于50%。

5. 燒綠石精矿中五氧化鈳的标准降低到30%。

6. 鈳鈳鈣鈳矿因矿物本身五氧化鈳的含量低, 所以要求降低到8%。

7. 对杂质含量的要求也取决于精矿的等级 (SiO_2 、 TiO_2 和 SNO_2 从2%到5%) 和矿石的种类, 例如, 烧绿石精矿中允许含较多的 SiO_2 和 P_2O_5 , 钛铈钙铈矿中允许含较多的 TiO_2 ,

选矿。铈和铈的原生矿石和砂矿石要经过选矿。主要的方法是重力法, 但最后集中起来的精矿要进行磁力和静电分离以及浮选。

铈 国外主要从海成砂矿中开采。与独居石、钛铁矿和金红石在一起。

这类砂矿的富矿层里, 含量一般是从3—5% (特拉凡科尔) 到15—20%。冲积型和冲积-坡积型砂矿中以及残余矿床中铈含量为0.5—1%, 即每立方米砂中含铈数百克就开采。

斜锆石矿 有时几乎是纯的氧化锆 (巴西)。这种矿石要经过粉碎和淘洗, 最后得到含70—80% 氧化锆的精矿。

斜锆石原生矿床一般都伴随着冲积-坡积砂矿和海成砂矿。

有害杂质。一般把钛、铁、氧化铝等当作有害杂质。为了去除这些有害杂质, 要把精矿用化学方法处理, 这时含量可以增高到90%。

用在原子能技术中的锆要与杂质铅分开。

用在不经过初步化学处理的陶瓷器和耐火材料上, 含量应该不低于98—99%。

铈精矿 氧化铈含量在28%以下时, 用手选方法开采含铈锆石的伟晶岩。但依靠铈锆石而采得的量并不多, 铈和铈主要是在化学工厂里, 在处理光卤石或铈精矿 (铁铈云母精矿等) 的时候顺便提取。

铈矿石 工业对这些矿石含量的要求变动范围很大。

1. 北部加罗林的伟晶岩中铈辉石的含量达20—23% (约1.5% 氧化铈)。

2. 锡-铈矿石中铈辉石的含量允许达5—10% (0.2—0.5% 氧化铈)。

3. 鉄鋰云母矿石中含量变化范围自20到6% (0.2—0.06% 氯化鋰)。

4. 鉄鋰云母矿石中氯化鋰含量約 1%。

5. 湖的鹽水里氯化鋰的含量达0.02—0.03% (加利福尼亞的西尔洛湖)。

选矿。进行的过程为：(1) 分选，(2) 手选，(3) 在选矿装置上进行浮选或在重液中分离，(4) 热处理(燒爆)等。

精矿分：(1) 鋰輝石矿石的精矿，含氯化鋰4—6%以上，(2) 磷鋁石矿石的精矿，含氯化鋰达8%，(3) 鋰云母矿石的精矿，含氯化鋰达3%。

陶瓷工业上用的鋰矿石应去除有害杂质和氧化鉄 (不能超过0.2—0.5%)，鈦和鉻。

錳 选矿时錳进入鋅精矿中，在电解室中把精矿加工时，錳就积聚在氧化物中和錳的产物中。含量为0.02%时就具有实用意义。

原始矿石中0.0002%的含量就足以提炼。

鍍 矿石中含量为0.001%时就提炼。鋁矾土和霞石中鍍含量为0.001%时就具有工业意义，可作为开采时的副产品。

錳 閃鋅矿中0.001%，煤中0.0001%的含量即具有实用意义。

鉍 在方鉛矿、閃鋅矿和白鉄矿中作为杂质，当每吨矿石含数十克，即0.001%时便具有实用意义。

精矿加工时，鉍集中在煉鉛厂的灰里，以及在錳产物里。两种情况都可以作为工业上提取鉍的来源。

碲 碲在某些多金属矿石中含量为0.004%，在 Pb-Cu精矿中含量达0.031%，可以从中提取碲。含量在0.001%以上即有实用意义。

鎘 在閃鋅矿中的含量自0.08到0.55%，大部分煉出的Cd都集中在鋅精矿里，含量为0.1—0.5%，但是某些鉛精矿也含鎘0.02—0.3%。在鉛精矿里鎘集中在这些工厂的灰里，含量达3.5%，

也可以把它从灰中取出来。

钨、钼、铋 钨、钼、铋等在矿石中不管含量多少都可提取，只要研究出从该种原料里提取出以上金属的工艺方法就行。这是因为这些元素没有它们本身的矿物，而是其他矿物的杂质，所以选矿时能进入精矿，然后再从精矿中提取。

由上述资料可以看出，稀有和分散元素大部分在矿产中含量达0.001%时即有意义，也就是矿石中的含量近于克拉克值时(铋的克拉克值为 7×10^{-4}) 即有意义。

找矿前提和找矿标志

本类金属不论在原生和次生条件下比之其他许多种有用矿物具有许多独特的富集和迁移的地球化学特点，所以它们的找矿前提和找矿标志也有很多与众不同之点。

如以上所指出，这些地球化学特点大体如下：

1. 分散性、类质同象，选择性以及地表条件下的吸附作用等。

2. 这些金属大多同其他有用矿物综合开采，因为它们自然界中不造成大型的单矿物体，也就是不能够成为工业上单独从其本身的矿物中进行提炼的对象。它们常呈类质同象或机械混入物存在于其他矿物形态中，或者也呈本身特有的矿物形态出现，不过其数量很少。

3. 在大多数情况下，自然界中的找矿主要在于查明能用于实际的、最有利的质与量的前提。这已不是指自然界中的天然富集，而是指矿石本身加工后的富集。所以这个阶段的找矿就是一种特殊的初步找矿。

总之，这些金属多半只在一种特殊的人工富集，即加工处理的条件下才能达到实际上有用的富集。

根据上面所述，找矿前提和找矿标志应分成二类。

1. 自然地質条件下的找矿前提和找矿标志。在这些条件下一般基本的地質和地球化学前提实际上与主矿石*相一致。主要的区别在于了解其迁移和富集的地質化学特点以及它們在自然界中呈类質同象和分散的原因。各元素的这种习性目前认为是由于这些元素的原子半徑相似所致。地質前提是經驗性的，其基础首先是类比原則。

基于这点，这些金属大多跟一定的主元素以及它們在自然界富集的地質特点有着十分一定的联系。

2. 地質条件下次生富集阶段的找矿前提和找矿标志，这些規律根本未作过研究，就全世界講，这一阶段的找矿和开采尚属試驗性的，关于这些金属在某一加工阶段中的富集原因尚无理論上的論証。

同时須要指出这点，即对于这类金属，特別对于分散金属来說，“矿床”的概念本身是不完全精确的，它未反映出它們的地質特点。例如，冶金工厂的矿尘、矿渣，煤的灰份以及其他各种次生和原生的堆积体很难將它跟所采用的矿床概念等量齐观。

这同样也可对矿石的概念而言。

总之，我們認為，該类有用矿产应当采用稍許不同的术语。

例如，应当以“富集体”取代“矿床”这一术语。而“矿石”一詞則用“金属”代替。我們主張采用的术语也能反映出这些金属的地質和地球化学特点，因而也就更能正确地指导这类金属的找矿工作。

下面引述自然地質条件下的基本找矿前提和找矿标志。

用于为找矿和勘探工作的本类金属分类的一些原理 目前这方面的分类还没有，但这种分类对于找矿勘探方法的制訂及估价却是特別必要的，其次即使就一般性的概略找矿来說，也是異常需要的。

* 主矿石，原文 Руда-Хозяева，是指作为主要开采对象的矿石，例如鉛鋅矿石，主要开采鉛和鋅，相对于其中可能含有的伴生金属来說，它便是主矿石——譯者注。

1956年全苏矿产储量委员会采用的形态成因分类未反映出象这样一大类地球化学复杂的金属里的各金属和各金属组的特点；包括在该类中的许多金属也未提及，例如，分散元素一类中仅指明少数个别金属，事实上这组元素等于未谈。

对于这一类地球化学复杂的金属来说，这一分类在成因特征和矿床的勘探和取样等的分类上还是做得不够的，作为找矿勘探工作的一般指导，它无疑是有益的，而且有其实意义。

这里尚应当指出下列几点：（1）未表明最近所发现的某些稀土元素矿床的成因类型，例如铁——萤石——稀土型（中国内蒙某地和图瓦的卡拉苏格等）；（2）未表明作为实际开采主要来源的分散元素次生富集体的特点（尾矿、矿渣和灰份等）。这种特殊的工业次生富集体本身应当有所表明，否则便很难得到关于这些元素的地球化学特点的完整概念，而没有这些知识，即难于制订它们的找矿和研究的方法，也就是说难于进行它们的找矿工作。

金兹堡的分类（莫斯科地质勘探学院找矿勘探教研室的报告录）与此种按成因的矿床分类相似，他将其分成下列几种类型：正岩浆的、伟晶岩的、气成热液的以及表生（沉积）的。

1. 正岩浆矿床 这类矿床又分为早期岩浆矿床，晚期岩浆矿床和碳酸岩矿床。所有正岩浆矿床的共同点是：（i）矿石均为铌、钽和稀土类的副矿物；（ii）不造成单独的矿床，而与其他元素组合，直接富集在岩石中。

（1）**早期岩浆矿床**。它们主要产于钠质火成岩类及奥长刚玉岩类的霞石正长岩中。象钛磁铁矿和含钛铌钙钽矿（钙钛矿的变种）的锆磁铁矿这样一些矿物组合，经常形成似层状侵入体，特别在底部或边缘部份，更为常见。

这些矿床所含的金属组份一般很贫。但考虑到这些矿床的规模很大，它们无疑是具有很大的价值。

这类矿床的特点是，按工艺性质来说，铌的原料一般因含大量的钛，质量不高，原因钛与铌不易分离。

铌原料的重要来源之一就是希宾山的磷灰石矿的尾矿。尾矿

<p>7. 钠长岩和硷性岩中的矿化带</p>	<p>透镜体、矿脉粗、拉长状矿带</p>	<p>数百公尺到数公里</p>	<p>数十公尺到数十公尺</p>	<p>萤、铅、钨、稀土、钷</p>
<p>Ⅲ. 气成热液矿床</p>				
<p>8. 石英、石英黄玉和石英云母的石英岩</p>	<p>呈线状延伸的矿带、不规则状矿体</p>	<p>数百公尺到一公里</p>	<p>数十公分到数公尺 偶而达数十公尺</p>	<p>绿柱石、黑钨矿、辉钼矿、似晶石、日光榴石、微榴石</p>
<p>9. 常具石英岩边的长石—石英脉、石英脉、石英云母脉和萤石脉</p>	<p>矿脉、透镜体网状脉</p>	<p>数十到数百公尺</p>	<p>数十公分到数公尺</p>	<p>绿柱石、日光榴石、似晶石、萤石、钒铁矿、锡石</p>
<p>10. 气成萤石及热液碳酸盐岩</p>	<p>不规则状矿体</p>	<p>数百平方公尺</p>	<p>—</p>	<p>似晶石、金绿宝石、(锡石)敏(锡)</p>
<p>Ⅳ. 接触交代矿床</p>				
<p>11. 硅质岩</p>	<p>不规则状矿体</p>	<p>数十和数百公尺不等</p>	<p>—</p>	<p>日光榴石、钨榴石、(含微敏、符山石)</p>
<p>B. 表生矿床</p>				
<p>I. 风化矿床</p>				
<p>12. 产在霞石正长岩、钠长岩及其他硷性岩的风化壳中</p>	<p>呈面状分布，呈线状延伸的矿带</p>	<p>数十万平方公尺面积</p>	<p>数十公尺到数十公尺</p>	<p>钻石(烧绿石)、斜锆石、钨、钼、钽、钽铁矿</p>
<p>I. 砂矿床</p>				
<p>13. 海滨的</p>	<p>呈线状延伸的矿体</p>	<p>数公里</p>	<p>数十公分到数公尺</p>	<p>锆石、独居石、(钽铁矿)锆、稀土、钽、钽铁矿、钽铁金红石、(锡石)钽、钽、钽、锡</p>
<p>14. 冲积的</p>	<p>呈线状延伸的矿体</p>	<p>数百公尺到数公里</p>	<p>数公尺</p>	<p>同上</p>
<p>15. 冲积—坡积的</p>	<p>呈面状和线状延伸的矿体</p>	<p>数千平方公尺，数公里</p>	<p>数公尺</p>	<p>同上</p>

矿床成因类型	矿体形状	矿体大小		主要及伴生的有用组分		
		长度	厚度	矿物	元素	聚
Ⅳ. 盐类矿体 16. 钾盐矿体	盐丘、层状体和似透翼数丘、数百和数千 体	数十、数百和数千 平方公里面积	数十到数百公尺	光卤石、钾石盐	钾、钠、镁、钾盐	钾盐
Ⅳ. 现代盐湖及矿泉	—	—	—	—	钾、钠、镁、钾盐	—

富含鈦銻鈣鈾礦，它今天成為銻的極重要的原料。

由於螢石正長岩能用作銻的原料，因而從其中提取稀有元素（鈦銻鈣鈾礦）的可能性越來越大了。現在蘇聯東部正在大規模建設發電站以及冶鋁廠，這一工作完全可以付諸實現。

(2) 晚期岩漿礦床。大家知道，在鹼性侵入體中，自氣成作用顯為發育，結果常形成含沸石等的鈉長石化了的大型侵入體。鈾石及其他稀有元素的聚集也與這些作用有關。鈉長岩（含80%的鈉長石）的意義最大，因晚期的霞石、沸石以及有時的螢石都跟它有關。

鈾與曲晶石或水鈾石富集在一起。與它們同時分出的尚有銻酸鹽。燒綠石——鈾石礦最為重要。找礦時必須考慮到，由於燒綠石變化多端，而稀有元素被帶出，容易被它漏過去。總的說，必須指出稀有元素在次生作用的影響下容易發生遷移。

鈉長石化作用在純正長岩侵入體中發育也相當廣泛。由於這些作用，燒綠石被粗鈾礦——黑稀金礦（Y, Ca, Ce, U, Th）(Nb, Ta, Ti)₂O₃和水鈾石所置換。

在花崗岩侵入體中，受到鈉長石化的地段異常少見。這裡的特点是它們常與鈾鐵礦（Fe, Mn）(Ta, Nb)₂O₃伴生——這一作用跟這類礦物的富集作用具有同樣的意義。

(3) 碳酸岩礦床。這類礦床產在紫蘇岩和鹼性正長岩的接觸帶中，在這裡常形成碳酸岩，有時也形成白云岩。它們一般富含燒綠石和斜鈾石，與此同時還見到磷灰石、金雲母和透輝石等。碳酸岩呈大小不同的渾圓形或橢圓形的岩體，其直徑達數公里。從岩性上講，這些岩石以前被認為是角礫雲母橄欖岩型的火山口，但現在，它們多半算為由基性岩變種交代生成的產物，因為霞石可以由輝石形成。

這類岩石（筒狀體）的發現還剛剛不久，最初得知於北羅得西亞（非洲）在最近的二、三年中，蘇聯也陸續發現了若干這種類型的礦床。頗有意思的是，這類岩石以前都誤認為石灰岩。碳酸岩一般具有較高的伽瑪放射性強度。

2. 伟晶岩 本类矿床的共同点是 (i) 这些金属富集的规模较小, 因此它不是主要的工业开采对象; (ii) 各组份的含量常很高并组合在一起; (iii) 所有各种伟晶岩中最有远景的是花岗岩伟晶岩, 与它有关的有铯、铍和稀土等工业矿床。

伟晶岩的分类 (根据金兹堡)。关于伟晶岩分类的问题存在着很多的观点。这因为伟晶岩的成因复杂和研究得不够的缘故。

根据金兹堡, 暂可分出下列的稀有金属矿床的工业类型。

(1) 含钽的铀—稀有金属伟晶岩。它们的岩性主要为斜长石、微斜长石和石英。这类伟晶岩具环带构造。第一带的成分一般是斜长石黑云母并富含钽榍石 (含钽的榍石)、褐帘石和铀矿等。此带具有工业价值。A. E. 费尔曼曾对它们作过描述。它们见于加拿大、卡累利阿等地; 在瑞典、挪威和中国等产有富含 Ta—Nb (黑稀金矿、褐钽铀矿、富铀黄绿石等) 的矿床; 其次, 在挪威和马达加斯加岛等也见有富含钽矽酸鹽的矿床。

(2) 铍矿型。它通常为含铍和铯辉石的白云母伟晶岩。大部份绿柱石系从白云母矿床中采取的 (印度等)。有时, 与此同时也遇到钨铁矿和晶质铀矿。

(3) 钠—铍—钽矿型。本类也产于白云母伟晶岩中, 但受到强烈的钠长石化作用。矿化发生在断块带内, 那里石英块四周圍着含稀有元素和放射性矿物的绿柱石。由于放射性矿物的存在, 因此使石英呈黑色, 这是一个找寻稀有元素的很好的标志。

第二世代的绿柱石常与锡石和细粒钽矿物一起呈细小的浸染体 (1至1.5公厘)。这种绿柱石很难精选, 可是现在已经发明了这类绿柱石的选矿方法, 所以 K. A. 符拉索夫关于只是粗粒绿柱石才具特殊价值的说法已被现实所駁倒。

既然细粒绿柱石有工业价值, 那末有必要对所有的白云母矿床作一番检查。

上述三类伟晶岩矿床的一般基本找矿标志乃是花岗岩和伟晶岩本身的钠长石化现象。

(4) 含铯伟晶岩 (根据金兹堡)。含铯伟晶岩又可细分为

二亞类:

(i) **鋰輝石偉晶岩**。本亞类的特点是，鋰輝石为主要的造岩矿物，它占全部物質的20—25%。按形狀，它为大型似脉狀矿体，沿走向沿長达4—5公里，厚度为10—15至30—35公尺。

此类矿床相当多見，全世界已知有十多个矿床，其儲量約数百万吨。其中規模最大的产在加拿大（沿加拿大地盾的大型偉晶岩区），美国（卡罗萊納州）及其他等地。

(ii) **鋰輝石——鋰云母偉晶岩**。此亞类的特点是，鋰云母化作用是比较晚期的，且与此有关有鉍矿物、鉍榴石和杂色电气石。矿床規模一般不大，但从中开采鉍。

(5) **混合偉晶岩**。本类特点是：(i) 它們常出現在花崗岩漿侵入到基性岩(蛇紋岩)中的情况下，此时可能形成含純綠寶石的地帶（綠柱石被鉻染色并形成純綠寶石）；(ii) 当氧化矽缺乏，即形成似晶石和金綠寶石；(iii) 此时不生成白云母，而形成珍珠云母（富鈣的）。一般在珍珠云母中含2%的綠柱石。这类矿床的工业价值不明。

3. **气成热液型** 稀有金属矿常与高溫的鎢—錫矿床伴生。其矿化呈下列形式出現：

(1) 沿着黑鎢矿脉呈鉄鋰云母窄帶并含綠柱石細晶，有时这种細边純粹由綠柱石組成。窄帶寬达1—2公分，在岩枝中稍寬些。这些窄帶具有工业价值（含鉄鋰云母非常富的一公分寬的矿脉，它和十公尺寬、但矿化星散分布的偉晶岩帶具有相同价值）。

在实际工作中必須对 W、Sn、Mo 等矿床中的綠柱石进行檢查并作初步估价。

(2) 在所有这些矿床中，黑鎢矿和錫石还富含鈳。例如秦瓦德矿床（捷克），它实际上为冶鋰工业打下了基础。

(3) 这类矿床常发现在石灰岩中，矿石富含螢石和似晶石故在实际工作中应对所有的螢石矿床进行檢查。

4. **硅嘎岩矿床** 硅嘎岩型綠柱石矿床在苏联剛发现不久。它的特征是：

(1) 矿化产在含铁硅酸盐岩（磁铁矿—符山石）中，为日光榴石，其外表与石榴石相似（呈四面体，均质的）。铍色常在日光榴石和符山石的成分中。

按符山石中铍的含量可对整个矿床进行估价，因为符山石本身若能含铍1%以上，此时就成为稀有金属矿床的矿石了。

(2) 在这些情况下，铍常以金绿宝石出现。

(3) 硅酸盐岩中氟的存在常是可能存在铍的很好标志。无论如何，氟的存在总表明任何类型矿床的矿石有富含铍的可能。

5. 热液矿床 这类矿床以含铯、锶、铷和其他的稀有分散元素为特征。

为了更具体起见，我们指出下列几点：（1）铯常出现在辉钼矿中（离子半径相近）；（2）含金及黝铜矿的多金属矿脉有时含40%的锶；（3）雄黄——雌黄矿床（有时有辉铋矿）含有红铊矿，后者常与雄黄难以区别（红铊矿是一种纯质的铊矿）。

总之在估价这类矿床时，最重要的是查明它们的地球化学区及其边界线和个别最富含这类的某种元素的矿床。同时也要注意这点，即原生矿石中的富集体仅在个别情况下才具有实际价值，世界各国一般都是从尾矿中采取的。但查明地球化学区及其边界线是有很大大意义的，因它可作为进行这类矿床初步找矿——检查——的依据。

6. 沉积矿床 在多种多样的沉积矿床中可分出下列几种：铝土矿（铯和钽）、煤（铈等）、磷块岩（铀、锶、稀土、钼以及其他在获取酸性磷酸盐时能获得的元素）、含铜砂岩（研究得很差，例如，曼斯费尔得砂岩含有微量的 Mo、Zn、Pb、Ge等），盐湖（锂、铷、铯等）。

各种金属的主要找矿前提和找矿标志

它们的产量和经济情况

上述的成因分类对于此类金属富集的地球化学特点提供了十分完整的概念，也就是说，提供了有关这类金属的找矿前提的整

个概念。

所有这些情况乃是概略找矿，初步找矿以及个别场合中的詳細找矿的理論依据。如果从一般所采納的找矿阶段來說，則我們認為，大部分稀有和分散金属只是在主矿石的詳細勘探，开采和加工阶段中才能够采用詳細找矿。

根据这类金属总的以及每一金属的富集特点，我們認為，为了深入了解它們的富集特点必須对每一金属的情况作一番介紹。这点是十分重要的，因为它們中的每一金属具有本身的成因特征、矿物特征以及在自然条件下的富集和在次生富集（即主矿石加工阶段）中的特点。論述时系依据下列各因素：与一定种类的岩石和矿物（金属和非金属）的成因联系、矿物外形、开采的直接来源以及原生和次生条件下的富集形式。

我們認為，这些因素应当成为此类中每种金属的找矿标志的依据，因而也是拟訂它們的找矿、估价及其他研究方法的依据。

稀有金属

鉭和鈮● 通常它們一起出現。从地球化学方面看，它們与花崗岩漿和霞石正長岩漿有关，但也見于其他岩石中。最大的富集出現于下列条件中。

鈮鉄矿和鉭鉄矿。它們常产在花崗偉晶岩脉和霞石正長偉晶岩脉中并与鈉長石、石英、白云母、电气石、鋯石、鉍鈷矿、黑鎢矿和錫石等共生。

在許多国家中都可見到这类大小不等的矿床。

鈦鉍鈣鈾矿。它是一种早期的造岩矿物，常出現在层理化的霞石正長岩及偉晶岩脉中。鈦鉍鈣鈾矿也常在長石及異性石中富集成染浸体或不大的晶体包裹体并与霓石和榍石等共生。

燒綠石。它也是岩漿岩所特有的，而且对于碳酸岩体尤为特征，不过在霞石正長偉晶岩中也与鈦鉄金紅石一起出現。燒綠石

●鈮又称为鈮——譯者

中Nb和Ta的含量相当可观,例如,普德维尔矿床(瑞典)中的燒綠石即含30.7% Nb_2O_5 和33.03% Ta_2O_5 。

除此之外,Ta-Nb在霞石正長岩与石灰岩的接触带也见到,至于在气成阶段,则极少见。

此类矿物在地表条件下是稳定的,比重大,所有这些均有利于它们在砂矿中积聚。工业价值很大。

鈮和鈳的主要矿物。就现在所知,含这二元素的矿物将近120种之多。从表8可看到,矿物是一些复杂的化合物。

鈮和鈳的主要矿物

表8

矿物名称	比重	百分含量		
		Ta	Nb	混入物
鉭铁矿(鉭鈳铁矿) (Fe,Mn)(Nb,Ta) $_2O_6$	5.15—8.20	41.0—86.1	2.0—40.0	稀土, UO_2
鈳铁矿(鈳鉭铁矿) (Fe,Mn)(Nb,Ta) $_2O_6$	5.15—8.20	1.0—40.0	40.0—82.7	稀土, SnO_2
細晶石 $(Ca,Nb)_2$ $(Ta,Nb)_2O_6(F,OH)$	5.5	68.43—74.67	3.56—7.74	稀土, SnO_2
燒綠石 $(Na,Ca)_2$ $(Nb,Ta)_2O_6(F,OH)$	4.03—4.36	0.0—33.0	26.2—55.6	稀土 UO_2
等轴鉭鈳矿(与燒綠石相似)	4.56	0.0—3.0	35.0—61.9	VO_3, ThO_2 稀土, ZrO_2
鈳鉭鈳鈳矿 (Na,Ca,Cl) $(Ta,Ti,Nb)O_2$	4.75—4.89	0.42—1.22	9.49—11.06	稀土, TiO_2
鈳鉄金紅石 $(Ti,Nb,Ta,Fe)O_2$	4.2—5.6	0.4—15.4	0.0—40.0	SrO SnO_2, TOi_2

鈳鉭铁矿矿床的成因类型:

1. 产在硷性正長岩中的鈳鈳鈳鈳矿的岩漿矿床(苏联);
2. 产有鈳鈳鈳鈳矿、鈳铁矿和燒綠石的硷性偉晶岩(苏联);
3. 产有鉭铁矿及鈳铁矿的花崗偉晶岩(巴西、阿根廷、美国);
4. 产在硷性岩与石灰岩接触带的等轴鉭鈳矿及磷灰石的砂礦岩矿床(德国);
5. 产有鉭铁矿、鈳铁矿和錫石的气成到高温热液的石英脉

(尼日利亞)：

6. 殘積、坡積和沖積砂礦床(尼日利亞, 比屬剛果、巴西)。

几点概況：

1. 1940到1944年鉬的產量增高11倍。

2. 1956年鉬礦石及其精礦的採購數達6800噸(這些礦石含Nb, 其需求量與鉬相等)。

3. 鉬與貴金屬的比較：(i) 0.381公厘厚的鉬片每公斤值110美元, 而同樣厚的銀片每公斤僅值23.8美元; 金片每公斤為926美元, 鉑片每公斤是5,335美元; (ii) 1941年起鉬的價格降低了30%。這是因為改進了提煉金屬的技術操作, 單位產量所耗的勞動也相應減低。例如, 在1941年, 每八小時工作(燒結消耗的工作時間)能得2.72公斤金屬, 而現在用同樣的勞動時間, 可得金屬44.5公斤。

開采的主要來源。現在獲取這些金屬的主要來源是砂礦。鉬鉍酸鹽幾乎全取自鈷鉍鐵礦組的礦物(比屬剛果的鉬礦也順便開采霞斜石—— $\text{SnO}_2 \cdot \text{Ta}_2\text{O}_5$)。國外鉬鉍精礦有80%取自砂礦。規模最大的礦床位在尼日利亞, 比屬剛果, 澳大利亞和巴西。按鉬鐵礦的產量和輸出量, 比屬剛果居于首位(1938年為135噸), 而鈷鐵礦, 尼日利亞占第一位。這裡鈷鐵礦與錫一起開采, 其產量占資本主義國家總產量的80—85%。現可以舉出尼日利亞開采鉍礦歷史中的一個頗有趣的例子, 在尼日利亞的礦石中含有大量的Nb。它長期未被利用並在提取錫的精礦以後, 被棄之于廢石堆。1935年煉鋼業開始需用Nb, 故這些廢石堆重又煉取Nb并得到420噸Nb的精礦。尼日利亞于20年中開采了15000多噸的鉍精礦, 在1940—1944年期間, 輸往美國將達5000噸的鈷鐵礦。

巴西1937年的產量為38噸, 1944年達254噸。在澳大利亞, 鉬鐵礦既采自砂礦, 也采自原生的鐵礦床。

鉬和鉍的次要來源。

1. 煉錫工廠的爐渣;

2. 某些鈷的精礦加工後的尾礦;

3. 鋁土矿。例如，美国阿肯色州的鋁土矿含五氧化鋁，其含量达0.05%，而在加工后的尾矿中，含量达0.86%。含鈾的鈦鋁鐵矿構成一小类。

总产量。第二次世界大战以前产量为1000吨左右，战时达2700吨。1950年鋁矿石的产量为877吨，1951年是1045吨。

价格。鋁精矿的每一五氧化鋁鋁單位在1948年价值65先令，但1952年初提高到320先令。这一价格相当于尼日里亞的鋁矿石每吨值1040英磅的价格。

1952年5月美国政府为了鼓励在非洲勘探和开采鋁和鋁，曾規定在三年內給予出售精矿者100%的獎金。

鋁 鋁产于花崗岩漿和硷性岩漿以及它們的偉晶岩中。它主要在下列矿物中能达到具有实价价值的富集。

鋁石 ($ZrSiO_4$)。是Zr和Si的氧化物，含55.3—67% ZrO_2 、0到3% ThO_2 、0到3% Rt_2O_3 以及鉛。比重4.68—4.7硬度7.5。它常見于結晶岩中，在粒狀石灰岩、綠泥石、各种片岩、片麻岩、正長岩以及砂子中更为常見，但积聚原生鋁英石的最典型岩石则为过渡型正長岩或缺少霞石甚至不含霞石的正長岩。鋁英石主要采自砂矿中，因这里有巨大的堆积。根据費尔斯曼的見解，鋁英石可能有下列几个积聚的地方：(1) 規模巨大的原生矿床（正長岩等）；(2) 各类砂矿或冲积层；(3) 殘积层，有的地方变为岩石碎屑。砂矿中的鋁英石是在开采金、錫和其他稀有矿物时順便采得。

異性石 $(Na, Ca)_2ZrSi_2O_7(OH, Cl)$ 。成分中含 ZrO_2 11—17%、 Ca_2O_3 2—3%、 TiO_2 2—3%、 Rt_2O_3 0—2%、Hf和其他。比重5.5—6.0。費尔斯曼認為，此种矿物應該在鈉質岩漿的偉晶岩中去找，其次較富集的地方是長石脉狀分異体以及富含霞石和作为造岩矿物之一的異性石的綠岩堆积体。

許多国家都有这类矿床。

斜鋁矿（巴西石、Циркит）。成分为 ZrO_2 ，比重5.5—6.0，含鋁80—98.9%。斜鋁矿由于它的特性不显明找寻困难，它常常

呈黑色細晶在硷性花崗岩的砂矿中跟鋇石、磷酸鉍矿和錫石一起出現。在原生条件下，它通常形成在硷性岩石中，与鈦鉄矿、鈦鋇鈦矿、磷灰石和磁鉄矿等共生。在缺少 SiO_2 的岩石和砂矿中它的堆积最大。在巴西、錫蘭及其他等地产有較大規模的砂矿。本矿物含鉛，偶而含鈾（达1%）和鈾（达0.2%）。

上述的矿物是开采的主要来源。其余的矿物都只具次要的意义。例如鈉鈣角閃石（含 ZrO_2 1—7%）常在黑色含鈉普通角閃石晶体中，跟方鈉石、異性石和長石一起（格陵蘭、馬达加斯加島和科罗拉多州等），鈦鋇鈦矿 $[(\text{Ca}, \text{Fe})(\text{Zr}, \text{Ti}, \text{Th})_2\text{O}_5]$ ，含 ZrO_2 50—53%， Ce_2O_3 2—3%， TiO_2 2—3%， Rt_2O_3 达3%，并常跟斜鋇矿、鈣鈦矿等一起产在破碎的磁鉄輝岩（巴西）和寶石砂矿（錫蘭）中等。其次尚有橙針鈉鈣石 $[6(\text{Ca}, \text{Na})(\text{O}, \text{F}) \cdot 2(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_2 \cdot 4\text{SiO}]$ 等。

鋇矿石中常見的混入物有鉛，后者沒有本身所組成的矿物，除此以外，尚有稀土、鈾和鈾等。

从上述中可知，所包括的矿物有氧化物、硅酸鹽、鋇硅酸鹽以及少量燧石。

鋇的开采区：

1. 在挪威、格陵蘭和馬达加斯加島等产有異性石堆积体。
2. 鋇的精矿世界年产量（不包括苏联）达15000—20000吨。
3. 世界各国規模最大的矿床是在澳大利亞，該处在1937年所获得的鋇占世界产量58%。矿产于濱海砂矿中，估計儲量有一百万吨。1947年，从澳大利亞的“黑色砂”中采得 21576 吨鋇和 13194吨金紅石。

印度占第二位，那里鋇是在采鈦鉄矿和金紅石时順便采得的，它們取自特拉凡科尔的濱海鈦-鋇矿砂。砂的成分为：鈦鉄矿60—62%、鋇石和金紅石8—10%。

巴西居第三位，1937年，采得2300吨。

4. 美国由于大战期間发现了一些矿床，到1948年，能滿足自己需要的30%，而70%依靠从别国的进口。例如，1940年曾輸入

鋨精矿15,300吨, 1943年25,900吨。鋨精矿主要从巴西(1942年美国曾向巴西购买13,800吨)输入。

鋨的世界产量
(精矿, 以千吨计)

表9

1925	1930	1935	1940	1945
1.5	5.0	9.0	15	20.0

鋨 关于此种金属现有大量文献加以记述, 同时在前一节中也谈了很多, 因此这里只作简单讨论。

实际上成为工业矿物的就是綠柱石和它的变种, 至于其余的矿物则具从属的意义。

成因特点。鋨常产在以下许多成因类型中。

1. 花崗偉晶岩;
2. 在金云母—黑云母、阳起石和滑石片岩中的去硅長石脉中;
3. 云英岩;
4. 气成热液矿脉;
5. 含鉄硅嘎岩。

目前开采的主要来源是花崗偉晶岩和去硅長石脉。今天, 产在气成热液云英岩矿床中的鋨的細粒变种也有巨大的实际意义。

矿物。含鋨的矿物已知有36种。这些矿物中鋨的含量一般在2.5—15%之間, 偶而高些。

工业鋨矿床的主要矿物

表10

矿物名称	比重	百分含量	
		重量	混入物
綠柱石 $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{Si}_6\text{O}_{18})$	2.63—2.91	9.26—14.4	絕
硅鋨矿 Be_2SiO_4	2.96—3	43.67—45.47	—
金綠宝石 BeAl_2O_4	3.5—3.84	19.5	—
日光榴石 $\text{Mn}_3(\text{BeSiO}_4)_6$	3.16—3.36	8.0—14.9	—
鋨榴石 $\text{Fe}_3(\text{BeSiO}_4)_6$	3.35—3.43	8.0—14.9	—

产量。近来鋨的产量急剧增长。

铍精矿的产量

(以吨计)

表11

国 家	1939	1947	1951	1953
资本主义国家总产量	904	1430	5720	9250
巴西 (输出量)	504	1027	1533	3000
阿根廷	299	10	—	1365
美国 (装运量)	86	132	439	681
南罗得西亚	—	—	1007	1596
马达加斯加岛	—	—	530	312
西南非洲	—	—	593	478
葡萄牙	—	—	102	378
澳大利亚	6	54	114	127
莫三鼻给	—	81	230	218

美国铍矿储量及其价格的统计数字

(以吨计)

表12

	1936—1940	1941—1945	1946—1950	1951	1952
美国本国的储量	312	1097	1249	439	467
输入量	1595	12582	11198	3914	5422
输出量	9	133	390	86	180
美国本身的消耗	1632	9545	7838	3073	3153
美国价格 (美元)	2.84	11.26	18.83	33.34	38.55
国外价格 (美元)	3.76	8.01	17.84	31.67	38.55
(每千公斤BeO为一单位)					

目前铍的主要 (唯一) 工业来源是伟晶岩矿床。其他类型矿床中的铍能否利用此刻尚在研究中。

直接标志。铍的直接找矿标志有：含这些矿物的重砂、伟晶岩矿床的存在、原生矿床或山麓堆积物中铍或钽铌矿物的存在，特别是铍矿物的存在。区域内云英岩矿床或热液矿床的广泛分布是不利的找矿前提，因为这些矿床一般很少与伟晶岩矿田一起出现。

对于找寻非伟晶岩类型矿床来说，也就是在气成热液和接触

交代矿床中进行找矿，其有利的前提自然是这些矿床的存在以及有某些与铍共生的矿物（黄玉、萤石、白云母、黑钨、锡石、辉钼矿、钨华和钼华等）。硅嘎岩矿床的有利标志乃是出现萤石，符山石富含的情况常不利于铍在硅嘎岩中的高度堆积。

锂 锂常在下列各种地质条件中达到具有实际价值的富集，

1. 花岗伟晶岩；
2. 云英岩和气成热液矿床；
3. 在表生条件下作为个别岩盐矿床、矿泉和盐湖的伴生组份。

目前，它们之中以花岗伟晶岩的价值最大，那里锂实际上由锂云母、锂辉石、锂的磷酸盐以及部分的透锂长石中取得。含锂伟晶岩属于钠-锂类型。锂一般与锡、铍、铌、钽、碲和玫瑰色电气石等富集在一起。

云英岩和各种气成热液矿床则具有较小的意义。锂一般在开采锡时顺便采出（捷克斯洛伐克的泰瓦尔德等）。

湖的卤水和富钠的矿泉仅是个别国家加以利用，然而量相当大。

例如，在干涸的瑟斯兰湖（美国加利福尼亚州）的卤水中含0.02—0.03%氯化锂（按重量）。自1938年开始这里在大规模开采钾盐、硼砂和其他各种盐类时顺便采得大量的锂，后者呈含20%左右氧化锂的磷酸盐 $[Li-Na(Li_2NaPO_4)]$ 的精矿。

维希（法国）矿泉乃是矿泉中的一个典型例子。

根据费尔曼，部分锂在岩浆作用阶段中未被伟晶岩矿物的铝硅晶格所捕捉，而变为残余溶液进入到矿泉（维希等）。在表生条件下，它象奇数元素一样地分散，在初期阶段，它跟铁和镁一起迁移，但后来氧化亚铁变为氧化铁，此时锂便分离出来。

在原生条件下，找矿首先集中在锂云母、锂辉石以及部分的透锂长石或者伟晶岩脉中的磷铝石。在工业上炼取锂的初期，锂云母曾是一种主要的原料。目前锂辉石也具有很大的价值。纯的锂辉石为最富含锂的矿石，它含锂达8%。伟晶岩中锂辉石的含

量在15—25%之間，但在一般所采的矿石中則为1—3%，若采用泡沫浮选或手选，品位可增高至5—6%。

具有工业价值的主要鋰矿物，目前已知的共約45种矿物，主要是鋁硅酸鹽和磷酸鹽，但其中只有少数的矿物具有工业价值。

1. 鋰輝石 [$\text{LiAl}(\text{Si}_2\text{O}_6)$]。比重3.13—3.2，含 Li_2O 4.5—8%，混入物为稀土、铯、銻、鉍。因所含的混入物不同，顏色会有变化。它产在：（1）花崗偉晶岩中，与石英、長石、鋰云母、电气石和綠柱石等共生；（2）在风化作用中，它常变为鋰的泥質产物，此时它很貧。

2. 鋰云母 [$\text{KLi}_2\text{Al}(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{F}, \text{OH})_2$]。比重2.8—2.9，含 Li_2O 1.2—5.8%；在混入物中含 Cs_2O 0.2—0.7%，含 Rb_2O 达0.7%。它常产在下列各处：（1）在气成变質花崗岩（云英岩）中；（2）在偉晶岩中；（3）有时在高温热液矿脉中，此时它与長石、石英、白云母、鋰輝石、电气石、黃玉、錫石和螢石等生在一起。

3. 鉄鋰云母 [$\text{KLiFeAl}(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})(\text{F}, \text{OH})$]。比重2.9—3.2，含量占1.1—5%，賦存条件和鋰云母一样。

4. 磷鋁石 [$\text{LiAl}(\text{PO}_3)\text{F}$]。比重2.98—3.15，含量7.1—9.9%，产在偉晶岩脉中。

其他矿物不再列举，因为它们沒有很大的实际价值。

某些找矿标志。含鋰偉晶岩的特征是：白色，存在紫色或玫瑰紅色鋰云母，伴生矿物为鋇酸鹽、褐色錫石、白色或蔚藍色鈉長石以及十分稀少的类似冰的鉍的硅酸鹽——鉍榴石。

某些有关开采的資料。这方面还没有非常完整的資料，只有关于鋰的产量和儲量的片断資料。

美国鋰主要采自鋰輝石，但也利用磷鋁石和鋰云母。根据現有資料，美国鋰輝石的儲量將近150万吨。北卡罗萊納州的矿床構成最具工业价值的矿区。那里据計算在錫—鋰輝石矿床（北卡罗萊納和南卡罗萊納州）中产有430万吨偉晶岩矿石，其中鋰輝石的平均含量达15%（Li近2万吨）。

鋰的产量 (矿石)

表13

	1938	1942	1945	1947	1948
美国	809	4904	2219	2214	2895
西南非洲	776	439	1153	3130	1557

1938年, 德国开采了700吨含Li 1.2—14%的鋰矿石。

资本主义各国的鋰矿石产量

表14

国	家	1938	1943	1944	1948
美国		809	7397	12084	2895
西南非洲		776	731	1671	1557
瑞典		—	396	258	—
葡萄牙		—	90	100	—
阿根廷		—	75	—	—
巴西		—	—	600	—

二十世紀初鋰的生产集中在美国和德国。

鋰 它是一种分散元素。在地球化学上趋向于富鉀的鋁硅酸鹽, 并呈类質同象置換它們, 它常产于: (1) 在殘余花崗岩漿的偉晶岩中; (2) 呈鉀質岩漿的火山揮发性噴气中, 因此在勘察加和中央哈薩克根据岩漿分異体找矿是有意义的, 这里呈多种矿物(氟硼鉀石)出現; (3) 在殘余的硷性鹽类溶液中。它可以 from 含CaCl 0.005%的鉀鹽矿床(光鹵石)中的硷液內获取。

矿物。在鋰矿物中只有鋰榴石具有实际价值, 其余的則具次要意义(例如鉄鋰云母为0.007%, 天河石0.003—0.15%, 鋰云母0.0014—0.72%, Родочит等)。

鋰榴石 $[(Ca, Na)_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 5SiO_2 \cdot H_2O]$ 。它是鋰、鈉和鋁的含水硅酸鹽, 含 Ca_2O 21.5—36.8%, 常产在花崗岩及偉晶岩中, 跟鋰矿物(透輝石、鋰云母、磷鋁石)和石英共生。

鋰同样也見之于某些綠柱石中, 有时其含量可达3.6%, 此

鉍榴石的平均化学成分 (%)

表15

矿床	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	Cs ₂ O	H ₂ O
埃尔勃岛	44.03	15.97	0.68	0.68	3.88	34.07	3.4
格勃朗岛 (美国)	43.48	16.41	—	0.21	1.72	36.77	1.53

时以稀少的所谓铯绿柱石而著称。第二种铯所固有的矿物是 по-
бочит (含水的铝、铍和硷金属的硼酸盐)。它极少见到, 无实际价值。

关于铯产量的可靠数字未知。

铷不造成本身所固有的矿物, 它主要处于分散状态。根据费尔斯曼的意见, 它常呈类质同象混入物出现在所有含钾矿物中, 例如白榴石、云母、长石、天河石 (微斜长石变种) 及其他等。在某些铯云母中, Rb达3%。

铷显然富集于岩浆分异的后期阶段中, 即在伟晶岩和气成产物中, 那里铷和钾一起析出, 虽然其本身没有造成矿物。年青的花岗岩比片麻状花岗岩或白粒岩更富含铷。

基性和超基性岩中铷的含量很小。

其次, 铷在云母中比钾长石中更为发育。伊尔明山的微斜长石 (天河石) 含铷3.12%。

许多矿水和盐盆地中的残留硷液含铷。按戈尔德施密特的意见, 铷善于被风化的水解产物从海水中吸附。这可能由于在个别场合中细粒变片岩及与其相近的片岩含有大量铷的缘故。

在烟灰和某些象甜菜、茶等的植物以及生长在基性土壤上的咖啡、橡树和山毛榉中也含有铷。作为一般意见的补充, 铷似乎不是取代钾的植物的营养源泉, 而铯显然对植物是有毒的。例如, 在红葡萄酒中铷的含量达1.1毫克/升, 在白葡萄酒中则含0.5毫克/升。

在海中也有少量的铷, 它在深水淤泥中较为富集, 有时在温泉和硝石中也见有铷。

銣主要跟鉍同时开采，因为銣和鉍含于同一些矿物内，例如，鉍榴石含 Rb_2O 达3.5%，矿石山的铁鋰云母含0.2%，鋰云母含0.24—3.73%，天河石含0.1—3.12%，光鹵石含0.015—0.03%。已知矿物为硼鉍銣矿 ($Rb_2O \cdot 2Al_2O_3 \cdot 2B_2O_3$)，它常呈极小的晶体出现在偉晶岩中的电气石之上（烏拉尔，馬达加斯加島等）。

从工艺上講，銣是在鋰云母中的鋰被提取后才进行煉取。

整个說来，銣和鉍这二种金属和鉀极相似，故用簡單的化学方法不能把它們和鉀区别开来。若用光譜分析則很易区分。銣和鉍是在自然界中分布十分普遍的金属，它們常是鉀和鈉的伴生物但量很小，銣的总含量与鋰近乎相同。

产量数字不明，根据所有的資料看，它跟鋰和鉍的产量相近，但这不是确实可靠的資料。

分散金属

正象上面所述，把各金属划入本类也是假定的，实际上，象銣和鉍等同样可以归入分散金属类，因为它们們大多数都在其他矿物里呈类質同象混入物并且出現的量极少。同时象銣这样的金属也沒有其自己的矿物，但却归属稀有金属，而鍳虽有其本身的矿物，却被列入分散金属类。其次本类金属常常出现在与稀有金属相似的地球化学条件下。

为了找矿的目的，我們把下列因素作为划分金属的依据：某金属在自然条件中是否有能达到工业堆积的本身的矿物以及某金属在矿石加工阶段中能否富集到工业堆积。

我們認為，这些因素对制訂找矿及各种地質勘探工作（取样勘探、儲量計算等）的方法有着首要的意义。由上所述，这些金属分为单独一类，因为它们們不造成能达到工业堆积的独立矿物，而且它們的开采是在矿石加工阶段中进行的。因此在分析其找矿前提和找矿标志时，必須要考虑到它們的这种双重性質。对于它們在自然条件下的地球化学規律的研究，就是一种在再次精选阶

段中組織更詳細研究的初步工作阶段。其实，每个阶段的研究方法都有本身的特点。

锗 常作为一种混入物出现在硅酸盐、碳酸盐、铋-钽铁矿（铋钽矿、黑稀金矿、钽铁矿、硅铋钽矿）和硫化物中，在表生条件下，它则赋存于煤及其加工后的产物（灰份、煤尘、煤烟、煤焦油等）。

从地球化学上看。锗在岩浆条件下与 SiO_2 同时积聚，例如，辉长岩中含 GeO_2 0.0002%和 SiO_2 49%，花岗岩中 GeO_2 为0.005%， SiO_2 则是70%，云英岩中 GeO_2 占0.005% SiO_2 则为80—90%。锗也出现在所有各种的伟晶岩矿物、矿水及矿井水中（例如，在維希矿泉中，250,000升水含0.06克锗），其次它也见之于带状藻类以及隕石中，据计算，岩石圈所含的锗为4—7克/吨。它的分布量与Pb和Zn相当，但是象铅那样类型的锗矿床却未曾见过。

矿物。锗已知有本身的矿物，但是它们极其稀少，而且不造成具有实际价值的堆积。分布最普遍的有下列一些，

硫银锗矿 (Ag_3GeS_3)、锗石 (Cu_3GeS_4)。仅发现于西南非洲，含锗各为5—10%及0.3—0.8%；Фанкеит、Pb、Sn和Sb的硫化物，含锗约1%；铋钽矿含 GeO_2 达1.5%；黑硫银锡矿 ($4\text{Ag}_2\text{S}(\text{Sn}, \text{Ge})\text{S}_2$)；кайекиет (喀尔巴阡山脉下白垩纪泥质沉积物中的结核) 含Ge 7.16%。

在低温闪锌矿中（中低温条件下）Ge高度和聚，达0.01—0.1。个别矿物（鐵闪锌矿）的Ge的含量达0.3%。在许多矿床里曾经查明，锗在交代矿床的铁闪锌矿和闪锌矿里最为富集。闪锌矿为淡色，有时为深色，有时锗出现在高温热液矿床所典型的闪锌矿内。例如，业经确定，氧化锌（密苏里和威斯康辛州的闪锌矿）含锗0.25%左右，阿尔敦貝克綜合矿石含锗0.3%，其中除闪锌矿外，还有Bi、Sn、Mo和W。为了证实以上所说，补充一下，即现在美国绝大部分的锗是从冶炼密苏里、俄克拉何馬和堪薩斯三州的锌矿石时所得的副产品中获取的。

在查密貝矿山（西南非洲，是第一次世界大战以后发现的）的銅矿石里，曾确定有达到工业含量的鍺的原生富集体，在该矿山，鍺見于鍺石和硫鍺鉄銅矿二矿物里，其含量在3%到8%之間，然根据現有的材料，这二矿物中的鍺是一种次生金属，同样查明，硫鍺鉄銅矿（比屏剛果）所見之量也足以达到具工业价值的程度。这是目前世界上唯一已知的矿床。

也曾确定，某些Ag矿、Sn矿、Cu矿Zn矿和Fe矿含有少量的鍺，即从0.01%到0.1%。其次，在異极矿、菱鋅矿以及氧化帶的其他次生矿物中也見到鍺（科罗拉多州等）。

鍺对硫化物具地球化学亲合力是因它們的原子半徑相近的緣故。例如表16所示：

表16

元 素	Fe	Cu	Mn	Zn	Ga	Ge	As	Ag	Cd	Hg	In	Sn	Te	Pb
R (Å)	1.27	1.28	1.30	1.37	1.38	1.39	1.40	1.44	1.52	1.55	1.57	1.58	1.71	1.47

鍺在表生条件下也是一个分布很廣的元素。它存在于沉积岩、煤和植物等內。但总的說来，鍺主要含在殘余岩漿、錫石的共生矿物、閃鋅矿和煤里。現时，鍺不是直接由矿石里提出，而是从主要是煤和硫化物矿石的加工过程中富集了鍺的中間产物中提取。

1. 煤。煤的加工产物在許多国家中都是获得鍺的唯一来源，在英国鍺几乎全由煤的灰份經過加工而获取的，在苏联，获取鍺的主要来源之一是煉焦化工厂的氨水。鍺在氨水中的含量不超过0.001%，然当拥有大量氨水时，將氨水进行加工还是有利可图的。美国現在也开始从煤的加工产物中提取鍺，而过去几乎全从硫化物矿石中取得。至于其他国家，鍺的开采也都依靠上述两种来源之一。价值最大的是煤的加工产物，而不是硫化物矿石，因为煤的加工后的尾矿的数量比起硫化物矿石加工后的尾矿来要多得多。

目前从煤中获得鍺的来源有：

- (1) 煉焦时的氨水；
- (2) 动力用煤（其灰份）；
- (3) 經過化学加工的煤。

煤中銻的含量。在煤的灰份中，銻的含量大約为0.001—1%，在个别情况下可达1.6%。考虑到煤加工的巨大規模，从而也考虑到加工后的产物（灰份和煤尘等），显然煤在数量上是銻的一个最有远景的来源。

根据戈尔德施密特，煤与其他岩石中所含的 GeO_2 的量比如下：正常火成岩为0.01%，煤0.01%，煤的灰份达1.6%。一般在煤燃燒后的灰份中，銻能富集到0.01%，有时达0.5%。

在煤的所有加工产物中，銻在煤气厂所放出的煤尘中含量最高。据查知，在用含0.003% 銻的煤燃燒的煤气发生爐的烟道里可以获得含銻达1%的煤尘。

在煤气发生爐中也曾发现某些煤尘，其銻的含量达到經濟上有利于提取的程度（含銻达0.5%）。如果气体冷却，則煤尘在烟道冷却部分聚集起来。如果气体在冷却前是燒熱的話，那么銻便聚集在爐道的冷却部分。由于这些煤尘相当少，所以由此提取銻的总量是不大的，这不过是从煤的廢物中提取銻的一种来源而已。

根据英国現有的見解，从煤的各种廢物中提取銻的最好方法就是选出專門爐装置中的富含銻的低灰份的煤，因为在这种装置中随着煤烟一起逸走的銻的量最少。現時由于煤的加工而損失的銻估計为百分之几到70%。如果采用專門装置获取煤中的銻，則在煤中可以加入其他的化合物，以便使銻大部分留在灰份中。

总之，从煤中提取銻乃是一件化时長而又要細心对待的工作。由于用于电气器材（半导体等）的銻必須非常純淨，所以这工作显得更加复杂了。

我們列举了煤及其廢物中銻含量的大致情况，因为在不同的煤中，銻的含量也不同，因此在每一个別場合下应加以分別考虑。

某些有关煤中锶的习性与煤组份的关系的材料。根据英国的研究，可指出以下一些规律：

(1) 淘洗时，片岩残余不含有显著数量的锶。

(2) 灰份中锶的含量与煤中灰份的含量成反比。“无灰分”煤中锶的含量几乎是固定的。

(3) 锶可能含在煤的有机质部分中。在煤没有烧失以前尽量地除去灰份，这能使锶在极少量灰份中富集。因为灰份含量最小的组也就是灰份中锶含量最高的组。

(4) 淘洗是除去煤中矿物质的一种有效方法，而且能使锶集中在煤燃烧后的最少量灰份中。

(5) 煤中锶的含量可能与其中之挥发物质的含量成比例，据说明，低级煤中锶的含量减低，这就是说，低灰份的煤显然最富集锶，否则情况相反。

锶在煤层中的习性。根据英国个别矿床中所做的实验工作证明，锶一般集中在煤层的上下部，在大多数情况下，最上部与最下部所集中的锶最多，例如，在一个煤层里，在25.4公尺深的地方，灰份含量为14.6%，锶为0.017%，在533.4公尺深处，灰份含量达79.1%，锶是0.005%，在914.4公尺深处灰份含量为23.1%，锶达0.005%，而在1371.6公尺深处，灰份含量为28.0%，锶则为0.033%。

锶在盆地中的空间分布状况。到处可查明，锶在盆地边缘较之盆地中部更为富集（顿巴斯等处，参阅附录），也就是说盆地中部较为贫乏。

锶的富集与煤的类型，根据苏联及国外的研究确定，锶在变质弱的褐煤里比在无烟煤中要富集得多。例如，在苏联最有工业价值的是下列一些煤田：莫斯科近郊盆地（耶尔尼亚、多罗戈布日和斯科平等煤田），大顿巴斯盆地中的新莫斯科和彼特里科夫煤田、乌拉尔东西两坡的某些煤田以及中亚细亚的少数煤田。

关于煤中锶的成因的主要观点。对于这一问题存在有几种不同的观点，下面介绍一下几种最熟悉的。

(1) 戈尔德施密特认为，锱在煤中的积聚是由于植物生命活动的结果，其富集的原因是 (i) 死亡植物的腐烂与分解；(ii) 水溶液在炭质物质中的流动。

(2) 根据拉迪斯基，锱的积聚是由于腐植酸的凝胶攫取行逆中的锱所致，因而锱大部分集中在煤的轻组里。

对上述的批评意见大致归结如下：如果同意戈尔德施密特的观点，则锱在煤层中应当均匀分布，但事实上所见的却不是如此。在煤盆地里锱的富集程度几乎到处由边缘到中央而减弱，而且，煤中灰份越多锱也就越少。

有些人认为，煤是从含锱盐的水，或挥发化合物的气体中吸附锱的。

苏联开采锱的来源，目前获取锱的唯一的原料是炼焦化工厂的氨水，氨水中锱的含量不超过0.001%。

当煤炼焦时，原配料中的锱只有7%进入到挥发馏出物中，而其中之一部分能用以生产锱，其余的93%则留于焦炭中，今天还不能加以利用。动力用煤还完全不用作为提取锱的原料，可是其灰份中锱的含量却达到工业富集。

当煤烧失或炼焦时，大部分锱呈氧化物和硫化物变成挥发性灰份或者稠的煤焦油。

2. 硫化物矿石。前面曾指出，在原生条件下，锱主要集中于：(1) 含锱的硫化物（硫银锱矿、锱石、黑硫银锡矿等）；(2) 残余硅酸盐熔融体（伟晶岩）；(3) 火成岩，但其集中的程度不大；(4) 其他硫化矿物（闪锌矿、硫砷铜矿、黄锡矿、黝铜矿、黄铜矿和黄铁矿等）。

在上述可能的来源中，锱高度集中（到1.8—10%）在含锱硫化物中，即在其本身矿物中。但需要考虑到这点，即这些矿物十分稀少，除西南非洲（查密贝）外，它们不能作为工业开采的对象。目前使伟晶岩和火成岩成为开采来源的可能性也是极小的，因为这些岩石里锱集中不多。根据大量的分析确定，在多金属矿石中，主要在闪锌矿中，锱达到最大的富集，为0.005到0.01%，

在个别情况下可达 0.3% (阿尔敦貝格等)。由此可见, 該类矿床加工后的矿石廢物, 就是采取鍺的主要来源。例如, 业經查明, 密苏里、俄克拉何馬和堪薩斯三州的氯化鋅矿石里含有 0.25% 的鍺, 根据現有資料, 美国每年从鋅的尾矿中获得 1—1.5 吨鍺。

美国大規模地从硫化矿的矽石中采取鍺系依靠这三州的多金属矿, 实际上, 目前美国鍺的产量主要取自这一来源。在 1948 年从这类矿床的矿石中获得 450 公斤鍺。根据現有的資料来看, 要获取更多量的鍺是困难的, 因此現在美国正在研究如何从煤中开采鍺, 推测 1956 年获得 18 吨鍺, 可能已非全来自硫化矿石, 而也有来自煤的。

其他各国开采鍺的情况不明。最后应指出, 如果說英国鍺的开采完全依靠煤的加工, 那末美国直到最近以前尚从硫化物矿石中取得鍺, 直到今天才开始从煤中采取鍺。其原因是:

(1) 需求量增大, (2) 多金属硫化物矿石中采取鍺的可能性有限。

矿水。大規模从矿水中采取鍺的情况尚不清楚。

鍺的价值。鍺的經濟情况也象其他一些金属一样, 系取决于它的需求量、产量、开采的可能性以及获取鍺的工艺情况。这也许就是决定其价值的一些因素。

如果說鍺在不久之前还是一无用处, 那末在最近的极短时期由于現代技术以及半导体二极管和三极管的先进技术的发展, 已成为一种极其重要的金属。

在半导体技术上 (是鍺最重要的而且在目前实际上是唯一的用途, 鍺几乎全用来作为超高频率的單晶块。根据技术的要求, 这种鍺所含的杂质必須只佔亿分之几。因此, 鍺唯有当完全除去了杂质后, 才能被应用。

除了所有各种决定鍺的价值的因素以外, 这一因素 (金属的純淨和單晶块) 也在好多地方决定着鍺的价值。

作为一般性的意見提出, 即今天在鍺的利用方面要解决二个

基本而又十分复杂的問題：

1. 清除雜質，因为最微小的雜質的存在会使电性改变；
2. 鍺的冶制合金。这一問題以前一原則为基础。因为鍺的性質既然依其雜質而轉变，所以自然而然会产生这一問題，即在鍺的合金里人工地添加某些混入物来控制这些性質（控制这些混入物、研究这些混入物相互之間以及它們与鍺之間的作用）。

目前的价格：1. 鍺的二极管价值1.25美元，虽其中所含的鍺只是百分之几。目前二极管的年产量为7—8百万只。

2. 二氧化鍺售价为每公斤31美元。

3. 含0.2% 鍺的灰份每吨值82.5美元。值得注意的，最近以来灰份制备的技术大大向前推进，以致大多灰份的制备每吨只化27.5美元，而且此时的灰份中适于提取的鍺的最低含量是0.05%。

鍍 鍍是一种典型的分散元素，未知有否本身的矿物。

在自然界，它最富集在残余的硫化物溶液或偉晶岩中，在純岩漿作用的条件以及部分的表生条件下，它是分散的。

鍍常呈类質同象混入物跟下列的矿物一起出現，例如鉄矿、鋅矿、錳矿、鋁土矿、高嶺石，除此之外，也出現在矿水和某些煤的灰份中。在硫化物矿石以及鍺石（西南非洲）和某些閃鋅矿中，它的含量最大，达到1.80%。在偉晶岩中，它明显地趋向硷性偉晶岩。其次，在長石、电气石、云母（在白云母中含0.1%——阿尔提—托普坎）、鉍云母和鉄鉍云母中也确定有鍍的存在。鍍到处都是Al的伴生体，而且在鋁土矿中它尤为富集，其原因是这二元素的原子半徑相似，因此之故，鍍常为Al所隐蔽。

注：二极管的概念。二极管是由經過适当制备的鍺金屬制成的細小的須管，它紧按着薄片。二极管长约25公厘（无导线的），大致象玉米粒大小。須管和薄片都焊接有导电体，它們一起装在灯头上。二极管代替无綫电工程等的真空管。它的优点是体积小，能立刻开始工作，不須事先加热，較牢固、放热多以及其他等。二极管是在1948年由巴丁和勃列敦发明的。

費爾斯曼認為，鎘跟高溫的偉晶岩、氣成作用有關，故它常見于白云母和閃鋅礦等礦物中。也有人認為，鎘產在閃鋅礦中由其親硫性引起，閃鋅礦含0.01%鎘。

鎘與鋁和鐵親合的原因是由它們的離子半徑相似 ($Al-0.57 \text{ \AA}$, $Ga-0.63 \text{ \AA}$, $Fe-0.67 \text{ \AA}$)。照戈爾德施密特的見解，鎘存在閃鋅礦中可能与 GaP ($a-5.44 \text{ \AA}$) 或 $GaAl$ ($a-5.63 \text{ \AA}$) 同 ZnS ($a-5.418 \text{ \AA}$) 的結晶參數的近似有關。

ZnS 和 $GaAs$ 的晶格的近似以及 Ga 和 Fe 的性質的異常類似遂使鎘不僅位在鋅礦中，而且也能位在鐵礦中。

根據現有資料， Ga 明顯地趨向于霞石正長岩、鋁土礦、黃鐵礦和多金屬礦床；例如希賓山、洛伏澤羅和阿美尼亞（霞石正長岩）烏拉爾（鋁土礦、黃鐵礦）中央哈薩克（鋁土礦）、高加索（黃鐵礦），不過，鎘只采自希賓的霞石中。

按照戈爾德施密特，各種岩石的鎘的含量如下：輝長岩含0.001%，花崗岩0.0025%，霞石正長岩從0.002—0.1%，云英岩0.007%，泥質頁岩0.002%。

在地表條件下發生沉積作用時， Ga 似乎是分成二部分：一部分留在硫化物中（曼斯菲爾德），另一部分則集中在 Al 的化合物內。在地球化學上， Ga 是下列分布很廣的元素的伴生體： Zn 、 Al 、 Fe 、 Cu 。除此之外，與鎘伴生的有 In 、 Tl 、 Re 、 Ge 等稀有元素和分散元素。同時；鎘在自然界中頗為普遍，它在地殼中的含量不少於15克/噸，即幾乎與 Pb （16克/噸）或 Mo （15克/噸）相等，而比 As （5克/噸）大二倍，比 Hg （0.5克/噸）大12倍。

主要的富集來源。總的說來，鎘富集在下列的礦物里：閃鋅礦、鉛石（其中鉛的含量高達0.75%），鋁土礦及其他各種鋁礦，（此時它很象鋁）、雲母、鐵礦、錳礦；此外，它也含在海水、某些煤的灰份（達1.5%）、低級植物、生物以及含銅頁岩中等。

鎘一般跟 Re 同時從含銅頁岩和閃鋅礦加工處理過程中形成

的爐膜和爐垢中采得。

主要的开采来源。在上面引列的镓富集的可能条件中，目前价值最大的是Al的原料，这里首先是铝土矿；佔第二位的是硫化物矿石和煤。

1. Ga在所有铝矿物中都跟Al伴生。例如，在法国的铝土矿中，镓的含量达25克/吨。在美国，用于生产铝的铝土矿也含28克/吨镓。其次，英国、德国、美国和日本的研究家们，在研究本国的样品时，也发现镓在其中的含量大致相等。

2. 镓直接从闪锌矿中提取在今天只有历史意义。同样的，相当稀少的锗石今天也是一种获取镓的原料，不过这并非意味着不能从硫化物矿石加工后的尾矿中采取镓。

镓也含在硫化物矿石（Zn、Pb）和铁矿石中，然其量比在铝矿石中要少得多。

3. 在煤燃烧后的灰份里也发现有镓。特征的是：这些灰份比低灰份煤的本身更富含Ga。曾经查明，有时在煤燃烧过程中镓常呈低价的氧化物和硫化物挥发并在烟道中积聚起来，这里它的含量可达1.58%。

4. Ga也发现于其他许多种的矿石里，在温泉和海水中，但这些来源均无工业价值。

5. 现在国外的工作集中在从生产Zn和Al的尾矿和中间产物中获取Ga。例如，英国为了从煤的灰份中提取Ga，正努力地进行着研究。据悉，英国用实验法已经从某些品种的煤燃烧时积聚在烟道内的煤尘中采取镓。

6. 曼斯菲尔德含铜页岩的加工中间产物也产镓，而这些页岩仅含镓的痕迹（0.00002%）。1932年德国曾从这些页岩的加工产物中采得将近50公斤的镓。

7. 近来美国镓的生产也大大发展。这里镓采自：（1）含Cd的Pb和Zn矿的尾矿；（2）工厂中的铝酸钡白色溶液。1948年美国镓的总产量约为90公斤。

8. 法国从1937年起开始从铝土矿中生产镓。根据所有资料，

今天法国是欧洲唯一供应镓的国家。

1951年，法国开采了40万吨铝土矿，其中镓的含量为25克/吨。这就是说，法国的工厂用貝叶法 (Способ Байера) 每年可获得10吨镓。

9. 下列数字为可能的总储量和总产量：如果说1951年铝的世界产量约为150万吨，则在理论上，从这些尾矿中可获取200吨镓。

10. 最后说明一下，1916年开始小规模地从Zn蒸馏时的尾矿中提取镓，而1922年，通过南非各矿山的锑石的加工取得较多数量的镓。可是目前这二个来源已只具有历史性的意义了。

所引举的材料对于该金属的找矿具有十分重大的意义。如果过去大约在本世纪30年代里，所进行的研究主要是研究个别的矿物，例如閃鋅矿等(苏联科学院和全苏矿物原料科学研究所等)，那么今天这只是工作之一部分，而且这项工作所具之地球化学意义比之实际意义更大。从上述中可知，在现代规模的条件，镓主要不是采自个别的矿物，而采自那些大量加工的矿产(铝土矿、煤、多金属矿等)。这点也正是所有其他的稀有、稀土和分散金属所特征的。矿石的综合加工能够保证现代工业的需要。

产量。镓每年产量为数十公斤。价格比金贵。其原因是分离Ga的技术复杂，而且不易取得极纯的镓。

铊 在地球化学上，它集中在气成和热液以及残余的偉晶岩阶段。在残余偉晶岩中，它呈勉强可以觉察的混入物出现在云母和长石中。在气成热液阶段，它跟砷、锑、白铁矿、雌黄、硫化物矿石(锌和铅)和铝等金属富集在一起。在原生条件下，它主要伴随着方铅矿和其他多金属矿，这里它占万分之几和十万分之几。由于铊和铟金属十分相似，故它常位在云母和锂云母中，并置换其中之钾。

铊常呈含量很高的鹽类出现于鹽类综合体的强硷液中，与鉀鹽，特别与鉍鹽以及部分与铯和銻鹽共生。这对于产在沙漠气候条件下的鹽类矿床尤为特征。

主要的矿物。硫砷铊铅矿 $[PbS \cdot (Tl, Al)_2S]$ ，含铊 1.8—25%；红铊矿 $(Tl_2S \cdot AS_2S_3)$ ，含铊 60%；辉铊铋矿 $[Tl_2S (As, Sb)_2S_3]$ 。可是其中没有一个矿物是具有工业价值的。铊在 Fe、Cu、Zn 的硫化物中以类质同象混入物存在；红铊矿和辉铊铋矿常与雄黄和自然砷一起产出（阿尔霍尔、马盖多尼亚），而硫砷铊铅矿则与脆硫砷铅矿一起产在白云岩中（瑞典）。

开采的来源。获取铊的主要来源是：（1）制造硫酸时焙烧黄铁矿而获得的尾矿和半成品；（2）Pb和Zn的冶炼。

根据现有的资料，美国在科罗拉多州从含镉矿石的灰尘中采取铊。最近美国铊的产量已经增长。例如，为了消灭侵蚀性溃疡，1942年约需1.5吨铊，1946年约需3.4吨。在战前，美国的铊是从欧洲（比利时、法国、德国、波兰）输入。

最近以前，黄铁矿的灰渣曾是开采铊的主要来源，但今天也从精炼镉时所获的尾矿中提取铊（美国）。有些人认为，在焙烧黄铁矿时从烟道出来的尘灰也是取得铊的一种重要来源，因为其中约含铊 0.5%，在个别情况中达 0.7%。

铊的世界年产量可达 500 吨金属，铊虽然在合金中的用途很广，然它的需要量目前仍不大。

关于铊的工艺情况的一些资料。铊的提取是基于铊本身及其化合物（氧化物和硫化物）在热水中的溶解性。

在铅矿和铋矿加工冶炼过程中，包括 Ga 和 Tl 在内的稀有元素都集中在中间产物中。Ga 包含在矿石成分中成为闪锌矿的附属组份，而 Tl 可能跟硫化铁结合。这二个元素构成挥发化合物，呈金属的蒸汽和硫化物及氧化物。这些生成物起初集中在焙烧过程中尘灰内，然后在冶炼时部分地集中在竖筒炉的尘灰中。竖筒炉的尘灰除了少量的金属化合物以外，尚含 Pb、Zn、Cd、As 的硫化物以及数量不多的 Cu、Sb、Tl 和 Fe 的硫化物。作分析的尘灰的成分大致如下（以%计）：Pb 36—45；Cd 7—14，Zn 10—20，Cl 2—8，S 4—9，As 0.8—2.0，Tl 0.3—1.0，Cu 0.5 以下，Fe 0.2—0.8。

黃鐵礦焙燒後的含 Tl 塵灰和沉淀在制硫酸槽內的含 Tl 塵灰，用沸水進行加工處理，後者能溶解塵灰中的氧化銻和硫酸銻。此後，通過電解進行沉淀，使氧化銻成氯化銻還原。

銻 銻有否獨立的礦物未明。它是一種典型的親硫元素，並主要以類質同象混入物出現在鋅、鉛、錫和銅等硫化礦物中（閃鋅礦、鋅鐵尖晶石、矽灰石、異極礦、蒼黃輝石、磁黃鐵礦、錫石、錫鐵礦、黑錫礦等）。它在各礦物中的含量很少超過 0.1%。銻按照化學性質與鋅和錫最為相似，因此，從地球化學方面銻在自然界可能跟這二種金屬結合，尤其集中在硫黃錫礦、閃鋅礦和黃銅礦中。例如，在玻利維亞的含 Pb、Sb 的硫黃錫礦中，銻的含量達 0.1—1.0%。這些元素的離子半徑是：Zn 1.37, Sn 1.58, In 1.57。

在酸性岩、中性岩和鹼性岩中，它的量相近於它的克拉克值。根據 H. B. 李祖諾夫，在大多數發現有銻的礦石和礦物里，銻的含量在 0.001% 到 0.01% 之間，極少達千分之幾，偶而為 0.3—1%。銻最高的含量是在下列各地的礦物中，例如，阿克秋茲的鐵閃鋅礦（0.3%），外貝加爾斯米爾諾夫礦床的鋁—鋅礦（0.5%），哈巴羅夫斯克邊區吉林達的膠狀錫石（達 1%），其次，它也見於薩頓的礦石和其他各國的許多礦床（弗萊堡和拉麥斯堡等）里。最富含 In 的閃鋅礦（鐵閃鋅礦）一般都屬結晶作用的早期階段。同時查明，含 Ge 和 Ga 貧的閃鋅礦常含 In 較富。在自然界中，In 與 Ge 具有一定的聯繫。銻也出現在鉻鐵礦以及偉晶岩殘余結晶作用的礦物里，這裡它跟被它所置換的那些三價元素在一起。費爾斯曼認為，銻與半噴出型酸性岩漿有關的可能性最大。

在表生條件下，銻常常是分散的，有時積聚在異極礦、黃鉀鐵矾，赭石以及次生鋁化物和氧化鐵中。

主要的找礦標誌：

1. 原生條件：（1）酸性侵入體以及少量的中酸性侵入體；
（2）多金屬礦床（鋅和錫的硫化物）。

2. 次生條件：（1）多金屬礦石（主要是鋅礦）焙燒時獲得

的尘灰；（2）阳极沉渣等。

获取镉的来源。它是一些用电解水溶液来熔炼锌矿石或通过加热使氢把氧化镉还原而获得的副产品。用这种方法获得的金属镉的纯度为99.0—99.9%。照现在的情况，这一数量完全可以满足对镉的要求。

矿石加工过程中镉存在的一些情况（国外的实际材料）。

1. 克拉乌斯达尔冶金工厂的鲜尘——0.2%；
2. 奥盖尔厂的镉铜（拉麦斯堡）——0.3%；
3. 格尔佐格—尤利乌斯钢铁厂的通烟室的尘灰——0.2—0.3%；
4. 伊达瓦依赫工厂的尘灰（上西列集里）——0.01%

镉在中间产物中的富集程度。下面所引列的是拉麦斯堡矿床的矿石加工的資料。

1. 该矿床的矿物成分：主要的——Pb、Zn、Cu、Ag、Fe，微量的——镉（0.0008—0.0018%）；

2. 浮选时，80%以上的镉进入锌的精矿中，10%左右进入到Pb、Cu和Fe的精矿中，大约5%留在尾矿内。

各加工阶段中的镉的富集

表17

精矿等级	阶 段	产 物	含 量 (以%計)
1	矿 山	原材料	0.0008—0.001
2	选矿厂	Zn精矿	0.003—0.0045
3	焙烧与还原	蒸馏Zn	0.009—0.018
4	精 練	熔析Pb	0.6—1.2
5	熔析Pb的灰皿	含镉的氧化铅	1.5—12.0
6	氧化铅的溶解和工业用镉的获取	工业用锌	88—97
7	工业用镉的净化	純镉	99.99以上

镉的产量。镉的产量以吨計。例如，美国在1942年获得2吨金属镉，1943年获得6吨。在获得数公斤純的金属镉以后，镉的价格曾骤然下降。照现有的資料，1948年镉的价格又上升，这說

錳在富集产物中的分布

表18

	每1000公斤的 实收率	富集的百分数	錳在精矿中的含量	
			克	%
鉛、鋅精矿	126	0.0008	1.0	6.2
鋅精矿	400	0.0035	14.0	36.4
鉄精矿	100	0.0005	0.5	3.2
尾矿	374	0.0002	0.7	4.2

几年来工业用錳的平均成分 (以%計)

表19

Ag 0.01	Cd 0.5
Sb 0.02—0.1	Fe 0.01
Bi 0.005	Zn 0.2—1.5
Cu 0.005—0.08	In 一所有余下的部分
As 0.01	
Pb 3.0	
Sn 0.3—1.5	
Tl 0.2—1.0	

明它的需求增長。至于比較精确的数字，目前尚不知道。

銻 銻的单独矿物，也未曾見到。根据費尔斯曼的意見，銻不含在鉻鉄矿、菱錳矿和橄欖石中，根据所有材料，它积聚在殘余的花崗岩熔融体（輝鉬矿和偉晶岩矿物——硅鉍鉭矿）以及錳土，鉍土和鈉長石中，也常常出現极高溫的，特别是岩漿型的硫化物內，而且随着溫度的下降而減少。Re 在表生条件下沒有发现（可能呈溶解状态被帶到海洋中或被土壤所吸收）。找寻錳應該在高溫矿床中，特別在那些有輝鉬矿的矿床中。

銻在輝鉬矿中比較富集（0.0004到0.034%）。这可能是由于它們的离子半徑一致的緣故（0.68 Å）。

根据皮皮柯娃和科列諾夫的意見，各类鉬矿床中銻的含量大致如下：

1. 偉晶岩型和硅矽岩型（阿拉薩依，詹格雷克，达尔戈尔，迪尔璠茲、梁戈尔、奇姆干等），銻的含量为0.0004到0.0008%以至于痕跡。

2. 云英岩型和石英—云英岩型（阿克恰套、治达、尤戈德兹尔），铼的含量为0.0010到0.0015%；

3. 石英—黄铁矿型（沙赫塔玛、达文达、沙尔吉亚和索尔等），铼的含量为0.0010到0.002%，个别情况下为0.008%（达文达）；

4. 铜—钼型（科恩拉德、博歇库尔、阿尔马雷克，阿加拉克、卡德查兰和季斯基盖尔特等），铼的含量为0.03到0.04%，即比一般增加49—99倍（科恩拉德）。

在科恩拉德和卡德查兰矿床，铼富集得最好。例如，在科恩拉德的石英—黑钨矿脉中，它的含量为0.02%，而在派尔加恰依石英—钼矿床（亚美尼亚苏维埃社会主义共和国），含量为0.02—0.03%。

从上述可见，有二个成矿区，即科恩拉德和卡德查兰，这里各类矿石中的铼的含量很高。

业经查明，大多数的矿物和矿石含铼为 10^{-9} 到 10^{-8} ，只有辉钼矿含铼较富（1.10—5%），但从其中获取一克Re需化费很贵。为了对比起见，我们引列关于铼在地壳中分布的一些数字。地壳中Re的含量大致等于钼的7000分之一，等于铀的十分之一。例如，Re为 1×10^{-9} ，Mo 7×10^{-16} ，W 5×10^{-9} ，Ru 5×10^{-8} ，Os 5×10^{-8} ，Ir 1×10^{-8} ，Pt 2×10^{-7} 。

获取铼的来源。目前工业上获取铼及其化合物的来源是：

（1）辉钼矿；（2）铜—钼矿（高温的）。当对这些矿石加工时，Re和其他一些矿物集中在尾矿里。

从600公斤纯的辉钼矿中可获得1克Re。

工艺情况。只是在曼斯菲尔德的钼板中发现了Re以后，才能获得足以供工业应用的铼。当辉钼矿焙烧时，因为 Re_2O_7 比 MoO_3 具有更大的挥发性，故Re在尘灰中富集起来。目前美国从某些辉钼矿的尘灰中获取少量的Re。Re能很好地与砷类组成合金并在酸性溶液中通硫化氢后发生沉淀。把氧化物或硫化物加热后能从其中分出游离Re。

获取致密的 Re 的方式如下：（1）在带有电极的直流电弧中熔合凝結而又压紧的金属 Re；（2）分解炙热表面上的铈的挥发物以增加金属 Re；（3）在真空爐（类似 W 字）中輪番地加以压紧和凝結。

关于所采的 Re 的价格和数量未明。Re 在各專門用途方面越来越多地取代 W。正如上所述，当估計 Re 的产量时，必須从这一情况出发，即能获得大量 Re 的含 Re 极富的物質此刻还不知道，而且似乎并不存在。所以很难設想，Re 的产量会超过数吨。

鈳 它只在鈳矿物中发现，这里它与鈳構成类質同象化合物。至于其他的来源，目前尚不知道，同样也沒有发现过鈳占主要組成部分的矿物。在鈳矿物里，氧化鈳的含量从 0.2% 到 90%。含鈳量最高的是在鈳長石（4.6%）和鈳鈳鈳矿（5.5%）。在这二种矿物中，鈳与鈳的含量比例为 1:10。稀土元素也含大量的鈳。某些 Hf 与 Zr 比值很高的样品也高度富集稀土 U 和 Th，不过在大多数的鈳石中沒有見到放射性强度与 Hf 含量之間的紧密关系。

鈳按其本身的性質不單相似于 Zr，而且也与 Ti 相象。这三种金属的外貌酷似鋼，在淨純的状态十分柔軟。由于这些元素的化学活潑性很强，故很难取得純的金属。

Ti、Zr 和 Hf 的物理常数

表 20

元 素	原子序数	原子量	比 重	熔 点	原子半径 Å	电 导 率
鈳	22	47.90	4.5	1560	1.45	1
鈳	40	91.22	6.5	1930	1.60	2
鈳	72	178.6	13.31	2230	1.59	3

Ti、Zr 和 Hf 的二氧化物实际上不溶于水。

照費尔斯曼的見解，Hf 的地球化学性質与 Zr 相似，它伴生在 Zr 的所有化合物中。它主要积聚在富含 SiO₂ 的花崗偉晶岩矿物——曲晶石、鈳長石和水鈳石中；在霞石正長岩和原生鈳石（700:1）、霞石正長偉晶岩（80:1）、花崗偉晶岩（40:1）、

最晚期的鈉長石和曲晶石（花崗偉晶岩——6:1）中也見少量的鈳。例如，在鈉霞正長岩的鈳石中， HfO_2 的含量為0.5%，在希賓凍土帶的鈳鈳石中，它是0.6%。

Hf比Ti和Zr的分布少，但雖然如此，它不是一種特別稀少的元素。地殼中鈳的含量大致象Sn、W、Hg，比Ag、Nb、Ta和其他許多金屬大。

雖然這樣，它仍不以獨立的礦物出現；而實際上都成為Zr的伴生體。其原因是它們的離子半徑相近（Zr為0.74 Å，而Hf是0.75 Å）以及化學性質的類似。

Hf在某些鈳礦物中含量最高。

開采的來源。開采的主要來源是：（1）鈳的精礦；（2）鈳的產品和半成品。

工藝情況。正如上面所述，Hf和Zr的性質十分近似，所以分離它們是一項頗為復雜的事，分離的依據是含鈳金屬的Zr和Hf的絡氟鹽和復草酸鹽的不同溶解度。Zr鹽的溶解度較小，所以在分離結晶時，母液富集了Hf。

純的金屬是通過碘化鈳在燒紅的鎢絲上發生熱分解而獲得。鈳的價格和產量未知。

有關Hf礦床的某些資料。既然Hf常跟Zr一同出現，那末所有的鈳礦床自然也是Hf礦床了。目前產鈳最多的國家是巴西，這里產有富含Hf的斜鈳石礦床。

在印度、馬達加斯加、意大利、瑞典和加拿大等地也產有Hf礦床。所有這些皆為鈳礦床，然含鈳很高。烏拉爾（米阿薩）也有鈳，它在鈳石中達1.1%。異性石（希賓山）含Hf達0.1%，該區Hf的儲量很大，但跟其他一些金屬（Ta和Nb等）組合。

釷 釷這一元素是異常稀少和分散的。它分布在火成岩中，主要在前寒武紀岩石的黑雲母內，其含量從基性岩的高溫黑雲母向年輕花崗岩的黑雲母遞增。

根據戈爾德施密特，各種岩石中 Sc_2O_3 的含量如下：輝長岩中為0.003%，花崗岩中是0.0002%，而在霞石正長岩中却未見

到；其次，云英岩中含0.0015%，泥質頁岩中含0.001%。从上述可見，釷显然偏愛在輝長石中，例如在輝岩中，它达0.01%，釷跟Fe和Mg矿物組合生的原因是Fe、Mg和Sc的离子半徑相似。根据所有材料，基性岩中的Sc主要为輝石和普通角閃石所攫取，而在黑云母中已存下不多。在酸性花崗岩里，Sc被低溫下結晶的黑云母所攫取。

矿物。Sc高度富集在下列矿物里：釷钇矿、硅钹钇矿、褐帘矿、黑稀金矿、黑鎢矿和錫石等。它們之中唯有釷钇矿 $[(Sc, Y)_2Si_2O_7]$ 具有最大的实际价值。經查明，該矿物含Sc达25%。釷钇矿常与黑稀金矿、独居石，綠柱石等一起产在花崗偉晶岩中，組成淡綠黄色的矿物。

在所有的鎢矿物中几乎都有Sc的痕跡的存在（秦瓦德和阿尔敦堡等）。其次，它也少量地存在于下列各矿物中：硅鈾石、独居石、黑稀金矿、等軸鈾鈣石、燒綠石、鈾石、硅钹钇矿等。在鈾矿物的殘体中也找到过釷。

下面引述釷的成因类型簡表

釷的成因类型（根卡列諾夫）

表21

类 型	含 釷 矿 物	矿 床
伟晶岩	1. 釷钇矿 2. 褐帘矿 3. 赫洛宾矿和BHHKHT 4. 釷钇矿、硅钹钇矿	席达加斯加、挪威 阿拉庫尔特，奧卡洛夫 查爾普奈和拉多加湖 伊尔明山
硅质岩 云英岩、石英云英岩 石英和石英长石 石英磷化物型	高铁白云母 黑鎢矿 錫石、黑鎢矿 黑鎢矿	卡罗札尔 尤戈德兹尔和阿卡恰查 埃德加、摩庫尔、摩查特 摩庫尔

釷无大的实际意义，研究得也很差。它的价格和产量不明。

硒 虽然大約有36种独立的硒矿物，但硒本身是否有能成为矿物的化合物，却不清楚。拜尔斯曼認為，最有希望的是富含Ag、Au、As和Sb的未分異的多金屬硫化物。硒往往与碲結合，虽然其化合物的生成溫度一般比碲化合物稍高。

硒常呈自然硒和硫化硒产在火山薄膜（达5%）中，呈黄褐色；石膏中的硫不含Se。硒是在1917年研究黄铁矿矿渣时发现的。

在表生条件下，硒产生在黄钾铁矾（硒黄钾铁矾）中，后者形成于黄铁矿类矿床的铁帽里。

矿物。硒矿物有硒铜矿（ Cu_2Se ）、硒铊银铜矿〔 $(\text{Cu}, \text{Tl}, \text{Ag})_2\text{Se}$ 〕、硒铅矿（ PbSe ）等。所有这些矿物都很稀少；由于Se的含量不高，故没有实际价值。

产量。硒的主要开采来源为硫化物矿石（黄铁矿、黄铜矿和闪锌矿等）加工后的尾矿。例如，硒常从制硫酸厂和炼铜厂的尾矿（尘灰、通道、尘室、洗塔以及精选铜的矿渣等）中取得。

美国和加拿大曾是主要的产硒国。第二次大战以前，这两个国家占居首位。硒是从有色金属冶炼后的尾矿中采得，产量为160—180吨。

硒的世界年产量达数百吨。

碲 碲这一金属长期以来曾被叫做可疑之金属（*metallum problematicum*），即“神秘之金属”。它常产在硫化物矿石中，是1782年发现的，而在1798年（克拉普罗特）才证实，这一可疑金属是一种新元素，并称它为碲。

碲在化学上跟S和Se相似，外形和晶态与锑类似。也存在碲的非晶质和胶体变种。

碲在地球化学上趋向于Au、Ag、Pb和Bi的化合物，此外，它也出现在黄铁矿等的矿床里，然其量比Se少得多。

矿物。碲出现在许多矿物内，主要跟Ag、Cu、Pb和Bi在一起。下面引列的是最重要的矿物。

(1) 自然碲（Te 93—97%，Se 6—7%）。它跟黄铁矿和铜产在许多矿床里（德兰士瓦、中欧和美国的科罗拉多州等）。

(2) 碲银矿（ Ag_2Te ）。它是碲金银矿的变种，其中Te占37—44%，常产在许多国家的矿床里，与黄铁矿，闪锌矿和黄铜

矿共生。

(3) 碲鉛矿 ($PbTe$)。它与碲銀矿和針碲金矿产在一起 (阿尔泰山, 查維丁矿山)。

(4) 碲銀金矿 ($Au, Ag)_2Te_2$, 輝碲鉍矿 ($BiTe_2S$) 針碲金矿 (Au, Ag, Te_4) 以及其他等。

所有上述的矿物都是很稀少的, 不造成单独的矿床。

开采的来源和找矿前提。費尔斯曼認為, 富含碲的区域的规律性还不清楚。往往在实际观察中, 可以見到碲化物与复生矿脉及花崗岩或花崗閃長岩体的岩漿源有关。找矿的方式是檢查产有多金属的含銅黄鉄矿体和黄鉄矿体中的分散狀碲。目前希望最大的是: (1) 交代的砂嘎岩和多金属矿床, 这里首先是阿尔泰山和中央哈薩克的矿床; (2) 南烏拉尔的鉄帽型矿床及其廢石堆 (斯捷普尼亞克、迈卡什等); (3) 达拉松矿床; (4) 科罗夫矿床 (阿穆尔省); (5) 銅—鎳矿 (苏联西北部的彼汗加、蒙契戈尔斯克等)。

所有这些矿床对于开采 Te 和 Se 都是有利的。

开采碲的直接来源是: 1. 制硫酸的尾矿; 2. 电解精选銅时的矿渣。

从尾矿中提煉碲的技术系基于使 Te 和 Se 变成四价, 然后用气体使之还原。还原过程最初在濃鹽酸中进行, 此时只析出硒, 然后用水把溶液变得十分稀釋, 碲于是析出。

碲的世界年产量总共只有数十吨。在資本主义国家里, 美国为主要产碲的国家。

史乃德洪的分类。底下我們引列了德国的金属矿床的成因分类表 (根据史乃德洪, 1932年), 其目的是: (1) 最全面地了解这些金属富集的地球化学特点; (2) 介紹一下現有的有关这些问题的观点。

分析了下面史乃德洪的分类表后大致可以作出下列結論。

1. 在偉晶岩—气成矿床中稀有元素所起的作用很大。从表中可見, 这类矿床中产有 Zr 、 Th 、 V 、 Ta 、 Nb 、稀土等。这一成

因組数量最多。

2. 在热液矿床形成阶段中, 这类元素中只有个别金属发生单独富集。它們在本阶段中多半跟其他金属組成类質同象混入物而存在。这里須要說明几点: (1) 稀有元素在象金、銅、鉄和砷这样一些矿石里的作用, 研究得还很差; (2) 鉛矿、銀矿和鋅矿除了含主要的金属以外, 尚含象 Tl, Ga, Bi, Cd, V, Se, Th 等的分散稀有元素; (3) 作为分散稀有元素“聚集室”的銀矿、鋅矿、鎳矿、鈮矿和砷矿也未做过研究。

分散元素矿床的成因分类 (据史乃德洪) 表22

矿床类别	主 列							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. 火成岩	Rb		Sc					
2. 岩浆熔离矿床	Cs			Th	V		Re	Co, Pb, Os, Ir, Pt
3. 伟晶岩-气成矿床	Li	Be, V La		Zr, Th	Nb, Ta	Mo, W V, U	Re	
4. 热液矿床						U		Co, Pb

矿床类别	副 列							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. 火成岩								
2. 岩浆熔离矿床								
3. 伟晶岩-气成矿床				Ge	Bi			
4. 热液矿床		Cd	Ga, In, Tl	Ge	Bi	Se Tl		

备注: 1. 也包括“稀土”

2. 史洪乃德的岩浆熔离矿床相当于奥勃魯契夫的“外岩浆”和“貫入”矿床。

3. 伟晶岩-气成矿床相当于伟晶岩矿床和噴气矿床

史乃德洪認為, 沉积和淋濾矿床对稀土也具有实际价值。富含氧化鋁的陆成风化矿床的价值更大。鋁土矿和鉄-錳风化矿床也常含数量显著的稀有元素。

对于风化富集矿床和硫矿床也有同样情况。

稀 土 金 属

这类金属的一个主要特点是他們在自然界里大都一起出現。这一事实对于找寻这些金属來說是非常重要的。

稀土元素主要出現于下列的自然条件中：

1. 独居石 直到最近为止，独居石乃是开采稀土金属的主要来源。它的成分为 $(Ce, La, \dots)PO_4$ ，也就是稀土金属的磷酸鹽。独居石中稀土的含量从54%到64%。根据現有的資料，目前全部稀土金属中有99%是从独居石中取得的。

获得独居石的来源是：（1）花崗岩和片麻岩，（2）海成及河成砂矿。砂矿中的独居石是古老花崗岩和片麻岩的破坏产物。在这些条件中独居石有大規模的积聚（印度特拉凡科尔、巴西、錫蘭等）。在砂矿中它常常与金、錫石、鋳石和磁铁矿共生。由于砂矿的大量分布和砂矿中独居石的含量較高，所以独居石成为开采稀土金属的最便宜的原料。

至于从原生花崗岩和片麻岩中开采独居石，目前尚不知悉。

2. 霞石正長岩（霞石正長岩） 根据所有的資料，这种岩石最近以来已成为获得稀土金属的主要来源，这对于鈾矿石來講尤为特征。鈾組元素通常在下列各矿物中：（1）磷灰石，（2）鉍榴石、硅鈾鈦矿和鈦鉍鈣鈾矿。

如果考虑到霞石正長岩体的巨大規模，那末稀土金属在霞石正長岩中的量的規模如何自然就可以明白了，而且即使在其含量很低的情况下（罗沃泽洛、希賓山等）。

今天这一因素在找寻这組金属时开始具有主要意义。

霞石正長岩与石灰岩的接触处特别有利于稀土金属的集中。

3. 偉晶岩 偉晶岩特别有利于鉍組稀土金属集中。这一部分的稀土通常产于下列岩石中：（1）典型的花崗偉晶岩，（2）花崗偉晶岩的变种。在这些岩石里，它們可能来自：（1）含鉍的鈾鈦鈳酸鹽或磷酸鹽，（2）磷鉍矿（鉍的磷酸鹽）。

第一种情况是其他稀有元素的开采来源，而鉍只是附帶开

采。这一组合的特点是这些矿物很少在砂矿中聚集，有实际价值的通常是原生矿床。

第二种（磷钇矿）也集中于花岗岩伟晶岩中，但其习性和独居石相似。其特征是：原生岩石遭到破坏后磷钇矿大量地积聚在砂矿中，因此含量达到很高。在砂矿中，它或是和独居石一起富集，或是单独出现。

4. 气成热液型 气成热液条件下大量集中稀土元素还是最近才查明的。这类金属通常产于铁-萤石型矿床中。其矿化形式为铁矿物和萤石中的黄色薄膜或大小不同的斑点。含量达0.5—1%，例如内蒙某地（中国）卡拉苏格（图瓦）。前者矿石是磁铁矿，后者是菱铁矿（碳酸盐）。矿床规模很大。

这类矿床目前尚未进行开采，因为它们如何加以利用问题还未解决，现正在研究提取氟和稀土金属的工艺问题。

5. 稀土元素的次要来源 次要来源有植物灰，特别是羽扇豆和甜菜叶。在这些植物中，稀土元素的含量很高。

这些元素在许多矿物和岩石中有时也有少量出现，但是作为找矿前提来说，它们没有重要的意义。

总之，稀土元素矿物是酸性和硷性岩浆的组成部分，并通常产在花岗岩、花岗岩伟晶岩、片麻岩和霞石正长岩等中。

矿物 已知的含有不同数量的稀土元素的矿物共约五十种。

根据矿物中所含的各种稀土元素的数量可分出下列几类主要矿物：

1. 含全部稀土元素（从镧到镨）的矿物，而其中没有任何一族居于显著的优势；这类矿物是硅铈钆矿和褐帘石等。

2. 铈族占优势的矿物——独居石、铈铈钙铈矿、硅铈石、氟铈镧矿。

3. 钇族矿物——磷钇矿、铈钇矿、硅铈钇矿等。

下面引列主要矿物的一些材料。

独居石。独居石的成分大致如下（以%计）：

MgO	0.4	La ₂ O ₃	14.0—30.8
-----	-----	--------------------------------	-----------

CaO	1.8	Dy ₂ O ₃	24.4
PbO	4.9	Cl ₂ O ₃	16.3—45.4
MnO	0.6	Tb	28
Fe ₂ O ₃	5.6	SiO ₂	9.7
FeO	5.6	TiO ₂	1.4
Al ₂ O ₃	2.9	(Ta, Nb) ₂ O ₅	6.4
Y ₂ O ₃	0.4—7.7	SnO ₂	3.3
P ₂ O ₅	18.9—29.9		

根据别捷赫琴的材料，独居石的成分如下：主要是铈和镧的稀土元素氧化物占 50—68%，呈类质同象混入物的氧化钇达 5%，常见的也呈类质同象混入物的氧化钕为 5—10%（有时为 28%），偶而见到的氧化铊达 7%，SiO₂ 达 6%，有时也见有 CaO 和 SO₂。

独居石的成分中含有不同电价的元素，因此独居石乃是“异价类质同象”的范例，下面是国外某些矿床的独居石精矿的分析（以%计，李伯曼）。

表23

各元素的氧化物	巴西精矿的大量样品分析	粗粒深褐色晶质独居石的大量工业样品分析（美国）	特拉凡科尔的典型独居石样品分析
Ce ₂ O ₃	20—25	21.4	30.6
La ₂ O ₃	15—25	14	15.7
Nd ₂ O ₃	3—4	28.8	10.5
Pr ₂ O ₃	1—4		2.9
Sm ₂ O ₃	0.2—2.0	无可据数字	1.0
Y ₂ O ₃	1.5	1.5	0.4
Gd ₂ O ₃	小于0.5	无可据数字	0.7
(Dy, Ho, Er, Yb, Tm, Lu) ₂ O ₃	无可据数字	无可据数字	0.1

此外，尚须指出下列一些含稀土元素的矿物：褐帘石 (Ca, Ce)₂(Al, Fe)₃(OH)(SiO₄)₃、铈铈钙铈矿 (Na, Ce, Ca)₂(Ti, Nb)₂O₆、硅铈铈矿 10(Ca)SiO₂·Ce₂(TiO₃)₃·3CaF₂、氟碳钙铈矿 [(Ce, La, Dy)F]₂Ca(CO₃)₃、硅铈铈矿 Be₂Fe Y₂Si₂O₁₀

(是硅酸鈹，成分十分复杂：富含钷族元素)、铈钇矿 $(Fe, Ca)(Y, Er, Ce)_2(Nb, Ta)_4O_{14}$

某些外国的褐帘石的分析

(以%計，根据李伯曼)

表24

矿床	德克薩斯州的巴林哲、希辽、阿尔揚諾、康特	紐約州的特特弄斯山	馬薩諸塞州的勃雷利山
Na ₂ O	0.16	0.17	—
K ₂ O	0.08	1.26	1.76
MgO	0.15	0.44	0.06
CaO	8.48	11.28	8.94
SrO	—	0.14	—
MnO	—	0.63	—
FeO	8.49	5.42	—
Fe ₂ O ₃	6.41	8.36	13.64
Al ₂ O ₃	19.09	18.23	11.46
Ce ₂ O ₃	10.58	3.73	18.95
La ₂ O ₃	11.79	15.46	—
V ₂ O ₅	0.81	0.12	3.32
SiO ₂	29.89	32.72	35.81
TiO ₂	0.89	0.64	—
ZrO ₂	—	0.13	—
SnO ₂	0.33	—	—
ThO ₂	9.82	1.20	1.92
U ₂ O ₈	0.04	0.08	0.46
Pb	0.12	0.03	0.037
H ₂ O ⁺	1.48	0.41	4.94
H ₂ O ⁻	0.22	0.29	0.36
总計	100.37	99.84	101.25

铈钇钙钇矿的百分成分 (哥倫比亞的穆巽)

CO ₂ ——23.48	Cz——9.22
Ce——37.35	F——5.55
La——6.86	O——10.93
Dy——8.21	

目前开采这类元素的主要矿床 上面已經說明，本組元素的开采主要是依靠独居石。独居石的来源有：1. 原生矿床；2. 砂矿

铌钽矿的分析

(以 % 計)

表25

矿床	Ce ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	U ₂ O ₂	Nb ₂ O ₅	Ta ₂ O ₅	UO ₂
朝鮮的黑烏波明	9.75	24.26	—	32.42	16.14	0.36
同上	2.23—5.93	22.86	1.91	33.55	16.49	0.35
美国新墨西哥州佩塔卡	0.31—17.64	4.85	1.58	41.39	7.27	7.67

床。

原生矿床。它們实际上并无工业价值，而今天只是具有較大的历史性意义。在这类矿床中，独居石呈分散的細粒产在片麻岩、花崗岩和偉晶岩脉中。在上世紀末，美国曾嘗試过从含0.2%独居石的花崗片麻岩中开采独居石，但是經濟上是不合算的，因为开采独居石砂矿要便宜得多。

从偉晶岩脉中开采長石时可順便开采少量独居石（挪威、瑞典）。

砂矿床。这类矿床是开采独居石，即稀土金属的主要来源。目前已知的最大砂矿分布在印度（特拉凡戈尔、奥里薩）、錫蘭、巴西、美国、馬來半島、加里曼丹和苏門答腊、馬达加斯加島部分地区（西南非洲的塞內加尔河岸）、尼日利亞北部、澳大利亞（斯傑利河流域的庫翁茄脫和庫利賓的岸成砂矿等）。其次，在欧洲的挪威也产有数量不多的砂矿。

各矿床的簡况列在附录內。

找矿前提 在解决找矿前提問題时最宜把它們分为二个主要类别：1. 产在独居石中的稀土金属的找矿前提，2. 产在其他天然产物（霞石正長岩、气成热液等）中的稀土金属的找矿前提（非独居石型）。我們觉得，这样划分找矿前提能最正确地指导找矿工作，因为这里考虑到了这类矿物原料富集的具体特点。

I. 独居石型稀土金属的找矿前提。上面已經說过独居石可以在原生和次生矿床中看到，因而稀土金属应当在这二种条件下找

寻。

1. 原生矿床。对这类矿床有利的是广泛地分布着前寒武纪花岗岩体，特别是老花岗岩片麻岩体的区域以及存在伟晶岩脉的地区（挪威、美国等）。

2. 次生矿床（砂矿）。这类矿床的有利地质条件和原生矿床的一样，所不同的只是这些区域还存在长期的强烈的侵蚀作用和有利的地貌条件。产有这类矿床的绝大多数区域的地质特点如下：

(1) 它们常由太古代岩石组成。

(2) 太古代岩石中大量地分布着伟晶岩脉。

(3) 太古代岩石上复有薄层次生沉积物。

(4) 滨海地带由于拍岸浪的作用而造成砂矿的不断富集。

(5) 砂丘的存在，这些砂丘是在强烈的风的作用下形成并在离岸不远处积聚了大量的砂子和金属矿物。

(6) 河系的广泛发育，因为在大多数情况下，不是在整个海岸带范围内的砂矿中都有很富的独居石，而只是在个别地段，即通常在毗邻河床的地带内独居石的含量较高。因此既从海岸的砂丘中，也从离海岸不远处的河床沉积物中开采独居石。例如在巴西离岸较远的穆里艾和庸巴河谷区的砂子中都产有大量的独居石。

(7) 沿着分布有大量伟晶岩脉的山麓（美国北卡罗莱纳州和南卡罗莱纳州的勃鲁里德山嶺）以及沿河流的河谷。

(8) 金、锡石和金剛石等砂矿。

(9) 分布在与上述类似的地质条件中的河成和湖成沉积物（加拿大的维尔涅斯区、屋太华区和魁北克区）。

II. 非独居石型稀土金属的找矿前提。此类矿床有如下的前提：1. 在找矿区域中分布有硷性岩及其伟晶岩变种；2. 含萤石—重晶石的铁矿床的存在，象卡拉苏克（图瓦）型。这类矿床将在附录中详细描述。

产量和价值。目前还没有关于各国产量的非常精确的材料。这首先是因为砂矿中开采稀土金属是跟开采放射性元素（铀等）

同时进行的。

因此之故，有关开采规模的情况当然不会完全公开的。

找矿及找矿方法

这类金属的找矿阶段和方法首先决定于它们的富集特点。这些特点基本上可归纳如下：

1. 这类金属在自然条件下大多不能富集到可以直接作为工业利用对象的程度。它们可综合和分别地出现。

2. 这些金属大都在加工阶段，即在非地质条件下才达到工业富集。

3. 在各种各样地质条件下都有（原生矿床、砂矿、泉水、盐矿、煤矿等等）。有几种原始矿物原料要经过选矿，另外几种不作预先选矿，开采后即加工。

4. 一般都成为在地球化学上与其相近的矿物的伴生物。

5. 找矿由地质人员，各工业部门的人员或地质人员与工业部门的工作人员一起进行。

当然，这些因素以及其他一系列因素使得找这些金属比找其他许多矿产要复杂，并且需要采用辅助的，常常是很特殊的找矿方法。

1. 天然条件下的勘探方法及其特点。在大多数情况下，勘探分散金属、稀土及部分稀有金属的方法，与勘探原生主矿石的方法是一致的，除了采用适合于该类某种金属的附加工作和调查而外，各种勘探工作及附带的调查，实质上类似。

这一阶段勘探方法的主要特点就是整套勘探工作中，最有意义的是取样和矿物研究以及物理化学研究法。开发勘探和原生矿石的开采亦包括在这一阶段中。

2. 原生主矿石的加工及矿石伴生物的次生富集阶段。在这个阶段，一般采用的方法不适用，象山地勘探工作就用不上，因此，诸如选择勘探坑道间的距离，坑道深度等等的方法问题也就

不再存在。主要的一种工作是取样和取样时的研究。

这一阶段的特点如下：

1. 这一阶段中取样的主要特点就是，它应当与工艺和冶炼过程以及它们的各个阶段（选矿，冶炼等）紧密联系。如果说在一般的勘探阶段取样主要是伴随着山地工作和鑽探工作，則在此阶段取样是伴随工艺和冶炼过程。

2. 有用成分的研究是在地质环境以外进行的，所以与勘探工作同时的地质研究（制图、岩石学、一部分矿物学等）也就用不上。

3. 储量计算亦有其特点。这些特点大致如下：（1）储量应与主矿石一起计算，即在自然条件下计算，要计算整个矿床、矿体及部分矿体等等的总储量，（2）对于主矿石要分别计算矿物，并考虑到杂质属于这些矿石的那些组份（属于某矿物，属于某一类矿物），（3）在工艺和冶炼过程的各阶段，从原生主矿石这一或那一加工阶段内的数量富集出发。

4. 在一般条件下对选择勘探方法有着重要意义的采矿技术等因素，在此不起作用。

我們只列出了勘探这类金属的方法的最重要特点。这些问题将在相应的章节里作更详细的分析。

根据上述情况，我們觉得，国家矿产储量委员会规范（1955）在“勘探方法”一节中只提供了关于勘探特点的一般概念，而且实际上只是对个别具有独自的矿物外形，在自然条件下达到可供实际利用的堆积的金属（Nb, Ta, Be等）。分散金属，稀土及部分稀有金属的勘探方法特点并没有指出，这些金属在主矿石加工阶段才能达到实际有用的富集，而在原始条件下成为杂质。我們觉得必需提出这些意见，以便更正确地理解国家矿产储量委员会规范的基本情况。

对勘探方法的要求

下面根据国家矿产储量委员会规范（1955年），举出对这类金属的勘探方法的主要要求。

1. 对于产在砂矿、鹽层、现代鹽湖和矿泉中的这类金属还没

有制定專門的勘探方法，一般都在調查和勘探這些礦床特有的礦產的同時，研究和勘探這類金屬。

2. 風化礦床和岩漿礦床。這些礦床研究得較詳細。主要的要求在於：在大區域和礦區內應當研究地層、岩漿岩和構造特點。無論在這個地區進行制圖，或進行山地工作和鑽探工作時都要做這類研究，而且要研究得盡量詳細。主要的構造單元填在地質圖、平面圖和剖面圖上。

3. 研究一個礦床的時候，需要詳細調查下列基本規律：

(1) 礦體的形態和產狀；

(2) 成礦前、成礦時和成礦後斷層的性質和規模；

(3) 礦體各部分的錯動幅度和方向；

(4) 水平分帶和垂直分帶，特別是在偉晶岩礦床上，若在風化礦床上，則必需詳細研究岩石的崩解程度，崩解帶的深度及其外貌；

(5) 研究礦體時，也應當注意它們的如下特點：礦體的內部構造，礦石的構造和結構（структуре），礦物的分布，原生和次生礦帶，共生組合及其相互時代關係，顆粒的形狀和大小、礦旁蝕變等；

(6) 鉀輝石礦床上要研究鉀輝石在地表帶和構造破碎地段的风化程度。

地質制圖及其他編錄 在地形底圖上進行如下比例尺的制圖：

1. 礦區 1:100 000—1:200 000；

2. 礦田（地質構造圖） 1:5000—1:10 000（很大的礦床用 1:25 000）；

3. 勘探地段 1:500—1:5000；

4. 礦山坑道和取樣平面圖 1:200—1:1000（在礦山測量底圖上進行）。

5. 還要編制比例尺與地質圖相當的橫剖面圖和縱剖面圖。將所有坑道和鑽孔用儀器定在地質圖、平面圖和剖面圖上。在選擇平面圖及剖面圖的比例尺時，建議遵循下列原則：主要坑道的分布

距离，在图上应当能足够精确地加以测定。测量的誤差不应超过 2—3%，要保証做到这点，測量地段不能小于 30—50 公厘。

如果已进行过物探工作則应提供異常图及其他物探資料。

勘 探 工 作

通常采用山地工作和鑽探。决定以那种工作为主以及这些工作之間的比例时，首先根据地質因素。

“a”类：工业等級以下的勘探用矿山坑道和鑽探，但通常以鑽探为主。远景地区用个别坑道或鑽孔进行勘探，儲量計算用外推法。

“b”类：用山地工作和鑽探，以矿山坑道为主。在勘探深层位和側面时才有意义。

“B”类：这类矿床勘探到B級，主要应用矿山坑道。根据鑽探資料計算C級儲量，要研究矿床的構造和总的远景，尤其是矿床的深部和側翼部分。

“r”类：这类矿床用山地工作勘探到C級，鑽探用来找寻、查明有利的構造，对矿床作一般的远景評价，有时也用来确定C級儲量。

工作种类 如果有浮土存在，从地表用探槽或淺井揭露矿体。应用推土机及其他机械。在揭露的地方預先清土以便取样和編录。为了追索接触帶，要从淺井处开掘穿脉。坑道应当按系統分布，便于作剖面。

深层位用鑽探和矿山坑道勘探。对于界限內的勘探要求較严格。

測定孔斜应系統的进行。当孔深超过 100 公尺时，測量間隔不能大于 25 公尺，如孔深超过 200 公尺时，則每隔 50 公尺測一次。

鑽孔穿过矿体时，岩心的采取率不应低于 70%。若岩心有一部分被磨碎，則岩心与岩粉一同取出。当对帶有細脉矿化的网脉狀矿体和矿帶进行勘探时，应当有最完全的岩心，而且細脉不能

有磨碎部分，假如岩心采取率低，必須用人工弯曲从那里再度鑽近。岩心采取率低时，必須做淘井，并将这些资料附在报告中。

求A級和B級儲量的鑽孔資料，需用5—10%的矿山坑道來檢查，尤其是在勘探初期。

地下矿山坑道：进行詳細勘探时用。当鑽探确定了深处有矿化后，根据地質資料以及地表勘探而开掘坑道。勘探筒狀矿体时鑽探不一定都适用。

勘探原生稀有金屬矿床的勘探网的密度（国家矿产儲量委员会规范）这密度决定于矿床和矿体的地質特点（矿体大小和形状、产狀、矿石类型的稳定性及其分布的均匀性等）。

对于作过詳細勘探并正在开采的矿床，勘探网密度应当根据实际勘探資料的分析，和开采資料与勘探資料的对比来加以証实。

表26

矿床类型	勘探坑道种类	鑽孔和矿山坑道之間的距离 (以公尺計)					
		A ₂ 級		B級		C級	
		沿走向	沿倾向	沿走向	沿倾向	沿走向	沿倾向
"A"	1. 鑽孔	—	—	75—100	50—100	150—200	100—200
	2. 主要的地下坑道 (平巷、天井等)	40—60	30—50	80—120	60—100	—	—
	3. 穿脉或地下鑽	20—40	—	20—40	—	—	—
"B"	1. 鑽孔	—	—	50—100	50	100—200	50
	2. 主要的地下坑道 (平巷、天井等)	40—60	30—50	80—120	30—50	80—120	60—100
	3. 穿脉或地下鑽	20	—	20	—	20—40	30—50
"B"	1. 鑽孔	—	—	20—30	20—30	50—80	30—50
	2. 主要的地下坑道 (平巷、天井等)	—	—	40—60	30—50	60—80	30—50
	3. 穿脉或地下鑽	—	—	10—20	—	10—20	—
"T"	1. 鑽孔	—	—	—	—	20—30	20—30
	2. 主要的地下坑道 (平巷、天井等)	—	—	30—40	15—20	40—60	30—40
	3. 穿脉或地下鑽	—	—	10	—	10—15	10—15

矿石組份的研究 矿石应当作矿物分析，化学全分析和光谱分析，目的是評定矿石質量，并論証选矿的工藝特点。

鉍-鋇矿石要分別研究（鉍和鋇）。在鉍矿石內要求确定細浸染狀綠柱石以及其他鉍矿物的含量。在鐮輝石矿石內应当确定氧化鉍在新鮮的和各种蝕变鐮輝石內的含量。

估計各种矿石內存在的雜質（混入物），包括稀土和鈦，而在鈦鉍鈣鈾矿內估計鉍，在銻石和異性石矿石內估計鉛和鉍，在含鉍和鈦的偉晶岩內估計鉍、鈷、鈷、稀土、鋇、鉍和錫，在含鉍云英岩內估計鎢、鉛、鋇、鉍、鈷。在陶瓷工業上也要研究偉晶岩。

有害雜質：鉍矿石的有害雜質乃是氟，銻矿石是鉛，鈦和銻矿石中的有害雜質乃是鐵、鉻、錳和鈦。当精矿沒有預先进行化学处理而用于生产时这些雜質是有害的（陶器等）。

研究矿石时必须考虑到下列兩点：

1. 矿产分布量尽可能按矿物計算；
2. 把矿物分組研究。

要求做到这点，是为了計算矿石內該元素有多少量位在进入精矿的矿物中，以及有多少量呈雜質存在于其他矿物中作为尾矿。附属成分同样要考虑。

矿石的类型和品种 必须分出矿体内的矿石类型和品种。同时应当考虑到矿石的工藝特点和其中不同的金属以便分別地采矿和进行技术加工。

取样 在所有穿过矿体的勘探坑道中都要进行取样，既要在原生矿体露头上取样，又要在风化帶及其产物中取样。

应用全巷法、剝层法、剝槽法等取样。样品間的距离，样品的面积和体积，系数“K”等用实验确定，或者根据对比确定。通常“K”采用0.2，剝层和剝槽取样适用于所有类型的稀有金属矿床。根据取样資料确定了矿体的界限和当矿体很厚时，宜用分段取样。

样品的間距：假如矿体不厚，則沿走向的間隔長为2—3公

尺，当矿体厚度在 5—10 公尺时，间距通常不大于穿脉之间的距离。

至于矿化不均匀的厚矿体，则以 1 公尺的间断进行取样，矿化均匀时，间断为 2—3 公尺，刻槽和剥层的深度从 3 到 20 公分，宽从 5 公分到 10 公分（考虑到矿体的厚度）。

厚度不大的铍铜钙钛矿矿体用 10×5 公分，或者 10×3 公分的刻槽进行取样。此外还应用綫-块（пинеико-штуфное）取样，矿块不小于 $5 \times 5 \times 2$ 公分。

这类矿石的取样特点：残余锆矿床用刻槽法取样，样品放在盘内淘洗，这样来检查取样结果。重砂取样会使锆的含量缩减，然而近于选矿后的含量。

锂辉石伟晶岩、综合的锂辉石——锡石伟晶岩、霞石正长伟晶岩、含铍云英岩脉和石英——云英岩脉的取样用刻槽法，槽的断面 10×5 公分。含铍伟晶岩、综合的铍——钽伟晶岩和铍榴石伟晶岩，常用剥层法和全巷法取样，因为必须获得关于用手选取得的大绿柱石晶体的采取率的资料。剥层的深度从 5 到 20 公分，样品重量从 50 到 200 公斤以上，掘取用浅的炮眼（40 公分以下）爆破的方法进行。

全巷法取样常是检查性的，样品重从 1 到 3 吨以上。取样技术是取出爆破后的全部物质，或者 5 罐、10 罐等等。全巷法取样的结果比较精确。样品不能被岩石掺杂。

样品处理。样品处理有其本身特点，这些特点可归纳如下：

1. 开始先用手选出巨大的绿柱石和铍榴石晶体；
2. 残余部分粉碎到 15—25 公厘；
3. 将这部分样品过筛；
4. 再行手选，矿物的采取率以公斤/吨矿石计算；
5. 余下的尾矿与细末拌匀后再粉碎；
6. 缩减；
7. 样品重量缩减到一公斤，以后把它送到实验室作分析；
8. 在手选后得到的绿柱石和铍榴石精矿中，确定铍和铍的

含量：

正長偉晶岩的取样用相似的方法。

鑽孔取样：0.5 公尺岩心組成一个样品，很厚的矿体取样間隔为 1 公尺，甚至 1 公尺以上。

在开采的矿床，定期地把开采結果与取样結果作比較，以便檢查取样工作。

所有情况下，既要在本实验室內，又要在其他的实验室內进行总的檢查。要系統地进行檢查分析。

若在一年之中采1500—2000个样，則每月应有10—15个样送到其他实验室去，同时在做主要分析的实验室中也应进行同样数量的檢查分析。

在較小的矿体上从样品总数中抽出 5—10%作檢查，但一年內不能少于50—60个样品。

分析的偶然誤差的平均允許範圍

表27

元 素	矿石中的含量(%)	允許的最大平均偶然相对誤差(以%計)
鋁	10以上	3—5
	10—1	5—10
	1—0.1	10—20
	0.1以下	20—25
鈹	10—5	3—5
	5—0.1	5—10
	0.1—0.01	10—30
銻	3以上	2—5
	3—1	5—10
	1—0.1	10—15
	0.1以下	15—25

对于鋰、鉍等稀有元素（把它們与其他元素比較），当含量不超过0.01%时，平均偏差不应超过15—20%，当元素的含量为千分之几时，偏差不超过10—15%；含量为百分之几时，偏差不超过 5—10%。

次要及附属組份的取样根据分組 样品 进行（根据整个的鑽

孔、穿脉和石門)，此时通常把各副样合并（样品的分量与其大小成比例）。

对于每个样品作一个卡片。

工艺样品由矿床的不同地段所采的各个样品組成，但每个地段均属于同一类或同一种矿石。这些样品应当反映分别开采时的矿石的类型和品种。

取这些样品的同时也要采集供研究物質成分和矿石物理性質的标本。

矿石品位的确定 通常用化学分析和矿物分析确定。例如对鉄鈮鈣鈾矿，也应用定量矿物分析方法，主要是在显微镜下按透明薄片或光片計算鉄鈮鈣鈾矿的顆粒。

也应用重液中的机械分析并配合用磁性分离。对于含錯样品除化学分析外，还应用重砂分析。

无论怎样，化学分析都是主要的或者是做檢查的。

体重用回采支柱和实验室方法确定。

确定溫度是必要的。

图表資料。进行下列比例尺的地形測量乃是必須的：

1. 小矿床—1:500到1:1000
2. 巨大和中等的矿床—1:2000到1:5000
3. 对于区域从1:5000到1:25 000

所有的勘探坑道和鑽孔应当用相应的图例描在图上，計算出坐标并载入專門的記錄簿內。

对于地下坑道要編制矿山測量平面图。編制綜合的地下坑道平面图和各层位的坑道平面图。

矿山測量底图的比例尺应比地面地形图的比例尺为大。

找矿的某些一般性前提

找矿时，特別在找矿初期，应从以下几个主要前提出发：

1. 类比原則，即与已知的矿床做比較；
2. 各成矿区、区域、矿田的地球化学特点和成矿特点；

3. 在矿床上詳細地研究原始的矿物原料、精矿、选矿后的矸石（尾矿、廢石堆）及該矿物原料各加工阶段中的产品；

4. 找矿时，始終要注意，这些元素的富集見于：

（1）內生和外生的原生矿床中，包括直接在岩石中而不与其他金属有关的；

（2）砂矿床中；

（3）泉水中（深成水和地表水）；

（4）与各种鹽类在一起；

（5）上述矿物原料加工后的矸石中。

这些金属以不同数量出現的主要地質条件即是如此。

找矿的主要种类 根据上面所說，全部找矿工作最好分为如下几种：

1. 地質的；
2. 分析的；
3. 两种同时进行的。

我們認為，这样的划分既反映了找矿工作及方法的特点，又反映了这些元素富集到工业堆积的特点，即反映出他們从工业富集观点上看来是有效的行为（天然地質条件下和矿物原料在非地質条件的加工阶段）。

下面簡述各种找矿。

地質找矿和找矿方法 地質找矿应了解为自然条件下找寻这些金属时进行的一整套工作（無論是与找寻其他矿产同时，抑或在开采的矿山和新地区作为專門的工作而单独进行）。

如果不是專門找矿，則其实这就是在一定地区，用普通地質方法进行的普通找矿，此时考虑到主矿石和伴生金属富集的地質、地球化学等特点，不过对某种矿产的伴生金属或个别岩层要作附加的調查。

初步和詳細找矿：地質找矿范围内的全部找矿工作最好分为初步找矿和詳細找矿，因为在各阶段这些金属的找矿方法有着显著的区别，为了更順利地工作，最好知道这种特点。这样的划分

有相当的假定性；但重要的是它能够某种程度上反映本类金属的富集特点。

初步找矿 此阶段找矿限于：

1. 找主矿石；
2. 确定是否存在某些伴生金属；
3. 对这些金属作一般的质和量的鉴定；
4. 查明成矿区、矿田、各矿床及其矿化特点。

在此阶段很难详细决定这些金属富集的全部特点，例如有那些矿物，数量如何，在什么层位等。

此阶段的特点是：找矿在大区域内进行，研究所有可能有的矿石、岩石、泉水、砂矿等。该阶段的主要找矿方法与找主矿石方法的区别在于，进行附加的，较详细的调查，并且通常应用很灵敏的方法，因为伴生金属的含量极低（0.001%，0.0001%），所以用普通方法很难确定它们是否存在，有时根本不可能确定。在其他方面，找矿方法则基本上仍旧一样。

附加的方法大致有如下几项：

1. 分析方法——对各种各样的矿石、岩石等用最灵敏的方法进行一切可能的分析。

2. 真正的地球化学方法——研究迁移和富集作用，特别是从本类金属与其他元素、矿物、岩石等等的关系方面来看，应用的方法：（1）附加的地球化学制图（随地质制图同时），（2）编制矿体矿床的地球化学剖面图及进行剖面图的对比，（3）编制预测图，（4）编制图表、曲线等。

3. 在走路线，进行取样和勘探等等时，对于这些元素进行矿物取样和研究各种岩石、矿石和矿物。

4. 对岩石、原生矿石和氧化矿石等进行地球化学取样（碾碎、人工重砂等）。

5. 编制类似金属量测量的专门图，或与金属量测量图编在一起。但这并不经常完全符合，例如找煤、粘土、泉水等。

6. 水化学法。

7. 生物化学法、地植物法等。

我們只列出了最重要的几种工作，这几种工作当然不能概括找寻这类金属时所采用的方法的多种多样性。

本阶段的找矿与比例尺为 1:200 000—1:50 000 的地質測量相当。

本阶段找矿的目的是，（1）研究区域和矿田，（2）确定各种矿产及其中是否存在这类金属，它們的总量，（3）区分出各个最富的矿床，（4）論証是否需要在較有远景的矿床（地段）布置較詳細的找矿，以便查明含量較高的矿体、矿帶等，及論証是否有必要进行其他更詳細的調查，以便供实际利用。

总的說来，这一阶段找矿的任务是查明矿田（有时是成矿区）和个别最富集的矿床。

找矿应与其他各种地質工作結合进行，但在地質队（勘探队）中最好指定專門找这些金属的地質人員。

这一阶段的全部分析方法中用得最廣的是光谱分析，并用更精確的方法作补充檢查。

詳細找矿也是与找主矿石同时进行，只不过是在矿床的詳細勘探、开采和主矿石的加工阶段进行。

詳細找矿的目的：（1）得到詳細的定性和定量鑑定，（2）查明这些金属高度富集的地段（矿体），（3）确定这些金属与各类型的矿石、矿物（世代）的直接共生及它們的数量比例，（4）主矿石富选阶段这些金属的狀况（留在精矿里，跑到尾矿里，与什么矿物一起，数量多少），（5）研究主矿石各加工阶段这些金属的习性，（6）計算儲量和估价。这一阶段找矿的主要目的是确定伴生金属富集的形式及其在天然条件下和改造阶段的空間习性。

本阶段找矿的主要方法：描写各类主矿石矿床內的这些金属时，將更詳細地叙述找矿方法，这里仅提一提此找矿阶段找矿方法特点的一般情况。大致可归納为如下几种調查：

1. 对所有矿体和各层位应用各种采样种类（矿物取样、化学取样、工艺取样）进行系統取样。取样方法可以几种配合进行

(可以同时利用若干种方法,例如刻槽法和拣块法,全巷法和拣块法等等)。

进行整个主矿石的取样和单矿取样。这两种取样一定要进行。

2. 按层位和各个矿体对所有主要类型的原生矿石、各种矿物及其世代进行系统分析。做这些价格昂贵的工作时,必须经常考虑到主矿石的数量因素。首先为了实用目的研究那些具有大规模堆积的主矿石。

如果主矿石是不大的矿体,则甚至当有很富集的伴生金属时,实际提炼出来的量还是微少,只有地球化学意义,而没有实用意义。在此找矿阶段一定要考虑到主矿石的数量。

3. 在主矿石富选阶段进行系统取样。

4. 对化学元素的一切共生组合的规律性,要以综合已有的分析的方法,进行详细和系统的地球化学研究,无论对整个主矿石,或是对各矿物、世代等中的个别元素,或各组合元素都要进行专门的分析,并考虑它们在空间和数量上的变化。一定要研究一般样品和单矿样品的地球化学。

5. 水化学法——分析下降水和深处矿井水。

6. 在各详细找矿阶段对矿体、矿石类型进行系统的制图,查明各个矿物组合及其世代。

这些特点及其他特点全部要做素描,中段取样平面图及其他各种编录。

7. 定期地进行放射性测量研究。

制图比例尺:地表为 1:2000—1:1000,坑道和钻孔 1:10—1:200,有时 1:500(也包括素描图;各矿物及其世代的原来大小的素描图采用很普遍)。

作为一般的意见,我们要指出,知道它们无论在天然条件,或在富选和加工阶段的富集形式及空间习性是很重要的。

根据这点: 1. 无论在天然条件下,抑或在加工阶段可以作定性和定量鉴定。

2. 有可能采用矿石的开采程序和加工程序(选择性的开采

或是整个一起开采、选矿程序、按矿石类型分别加工等)。

3. 可能在开采、富选、加工的一定阶段提炼伴生金属。

只有在某一个别(或一组)矿床内详细调查的阶段才能得到所有上述资料。这些调查也就是详细找矿的基础。

含稀有、分散和稀土金属的矿床的 主要成因类型及其找矿方法

正如上面已经指出,这类金属见于各种各样的地质条件下,并且有各种不同的矿床成因类型。关于它们的成因特点,上面已有较详细的叙述。这里为了说明找矿方法的特点,把矿床分成如下几个主要的成因类型(各类矿床个别成因类型的找矿和找矿方法在第二部分各论中叙述。

1. 原生的;
2. 砂矿;
3. 泉水。

下面分别介绍详细找矿阶段每一成因类型的找矿和找矿方法的特点。

原生矿床 因为这些金属的富集形状及本类矿床富集时的条件是多种多样的,故最好分为:1.深处的和2.地表的。

深处矿床组中包括内生矿床,地表矿床组主要是煤、粘土、盐类等矿床。我们知道,在这些矿床内本类金属的含量较高。如此的划分很重要,因为这些金属富集的形状有着某些矿物特点和空间特点。例如,大多数地表矿床中这些金属在整个矿体(煤、粘土、盐等)内的分布几乎是均匀的,这些金属通常都没有一定的矿物形状(很少有),但同时大多数深处矿床中,这些金属明显地属于一定的矿物,甚至只属于一定的世代,层位等等,在个别情况下有其本身的矿物形态,它们在矿体中的空间分布不均匀。自然,这些特点及一系列其他特点就使我们在深处矿床中找寻这些金属更为困难,因而需要采用附加的调查方法,特别在天然条件下,即原始富集条件下找这些金属时。

深处矿床 这类矿床中伴生金属富集的形式有如下几种：

1. 对整个矿体是均匀分布的。这通常出现于下列矿床中，即組成其矿体的是：（1）單矿矿石，（2）一个世代的矿物或化学成分相近的若干世代的矿物，（3）在数量上某种組份的矿物显然居多数，組成矿石的主要部分，而其余的組份及它們的矿物形式作为工业矿石来講只有微小的数量意义。这种富集形式虽是最能代表地表成因，但也見于深处条件下。

2. 在矿体中分布不均匀的。这样的富集形式一般見于下列矿床：（1）有多矿物成分，即矿物是多种多样的，化学成分复杂的矿石，（2）每一种組份的矿物形式又可分为化学成分稍有不同的一系列世代，（3）在空間（沿傾向和走向）矿石的組份和矿物分布不均匀（矿巢、矿囊、矿柱），（4）沒有明显的分帶性。

一般在这些矿床范围内的伴生金属不仅属于各組份中的各个矿物，而且甚至属于各世代。

在这类成分复杂的矿床中寻找伴生金属就需要附加的，往往是极为詳細的調查。

下面分別举出各类矿床的找矿及找矿方法特点的主要情况。

与各种矿物或矿物組有关的这些金属的找矿方法。如果說在初步找矿阶段查明了各矿田、矿床并甚至是矿体，而对这些金属的具体富集形式只了解大概輪廓，則在詳細工作阶段应该对这些金属的富集形式作出最完全的鑑定。

一般用以下方法解决这样的問題。

1. 在选矿阶段进行取样并研究其矿物成分（精矿、尾矿和廢石堆）。

2. 从原生矿石中取出單矿样品并研究这些样品（單个的矿体，成組的矿体等）。

3. 对各种矿物或各类矿石进行对比并确定伴生金属的含量以便作儲量計算。

选矿阶段的取样及其矿物成分的研究。这些工作在开采矿床及詳細勘探阶段进行（工艺試驗等）为了进行这些工作应有如下的

初步資料。

1. 关于矿石中是否有伴生金属存在（在矿床范围内的定性和半定量鑑定以及它們在空間的大致分布）。

2. 已确定，这些元素显然属于一定的矿物，选矿时这些矿物即成为精矿。

找矿方法大致归纳如下：

1. 确定送到选矿厂的矿石是从怎样的矿床或矿体中采取的，凡在許多矿床中只有一个矿床的矿石送去选矿，则要研究从那些矿体或那部分矿体中的矿石在該时刻（即取样时刻）送到选矿厂。

2. 如果同时送到选矿厂的矿石是几个矿床的矿石，則需对每个矿床的矿石分別研究（精矿的取样），若有可能，还可以按各个矿体分別研究。

不仅必需分別研究（取样）各矿床、各矿体，而且要研究矿体各部分，这是因为分散金属的含量变化一般都很大，甚至在同一个矿体范围内也如此。考虑到这些特点，故必須在采样的时候仔細地确定，送到选矿厂的矿石是从那里来的（从怎样的矿床矿体等等），

3. 精矿的取样不应限于1—2个样品，而應該在某一段时间連續进行，同时也是为了查明各矿体和整个矿床，甚至一定的矿物内，伴生金属富集形式的特点。

取样和尾矿、淤泥及岩粉的研究：

1. 当預先确定了与这些元素有关的各矿物或各組矿物在选矿后变成尾矿等时，要对上述矿石进行詳細和系統的研究。

2. 研究尾矿等时，始終应当考虑整个矿石以及进入尾矿的各矿物（伴生金属与它們有关）的数量。如果含这些元素的矿石数量很多，而且可以成为实际利用的对象，則一定要对它們进行取样和研究。

选矿后的矿石应当研究以便确定。

1. 沒有本身固有矿物的稀有金属和分散金属，类质同象混

合物。

2. 稀有元素矿物，但选矿时变为尾矿者，在数量上具有实用意义，而可能是选矿以前没有研究的遗漏的元素。例如与云英岩有关的矿石加工时，能变成尾矿的有锡石、宝石、铍、锂等。

因为研究尾矿是很费事的过程，所以最好首先研究稀有金属矿物，那时再研究而分散金属的研究并不经常有效。

研究方法：归纳起来有如下几个主要步骤：

1. 确定该尾矿、废石堆等是从什么样的矿石（矿体、矿床）来的。这一点要以最大的精细程度来确定。

2. 样品应在10—15个地点采集，这些地点要尽量均匀地分布在尾矿，废石堆的整个地区内。

3. 样品用小手钻或抽筒提取。

4. 所有的样品合并成2—3组样品，仔细地混匀，缩减，一部分送到化验室，另部分留作副样。

5. 最好与选矿人员一起按照共同拟订的计划采样。一般都按照取作检查选矿质量的样品的类型进行此一工作。

6. 还必须确定这些样品中主矿石的主要组份的含量。这是为了查明伴生金属与主要组份间的关系及它们的数量比例，也是为了确定选矿质量。

精矿和尾矿的取样和研究的目的，目的在于得到有关一定矿体（其一部分）或整个矿床范围内伴生金属的性质和数量的概念。

此项任务意义极为重大，但这仅是研究分散金属富集形式的全部工作中的一个阶段。

我们知道，稀有、分散和稀土金属一般与一定的元素（也可能与元素组）一起富集，呈类质同象混合物，参加到它们的矿物中去，甚至在个别情况下，它们在时间上有着严格一定的析出阶段，即只与这些矿物的一定世代有关。

很显然，精矿石和尾矿取样时，无论对它们的矿物成分，还是选矿前对矿石的矿物成分不作详细研究的话，这些规律性就根本不能确定，即不能确定原生条件下一定的伴生金属与这些或那

些矿物的关系。

所以为了詳細研究分散金属富集的形式，还必需进行如下的工作：

1. 对組成矿体的主矿石，按組份进行最仔細的矿物研究。
2. 分別地研究每种組份的矿物世代，即該組份中的矿物形态，各世代矿物之間的年代关系等等。

研究的結果应当确定。

1. 分散金属与那些組成矿体的矿物有关。
2. 分散金属与矿石一定組分內的什么矿物有关。
3. 分散金属属于这些矿物的什么世代。

为了确定矿体内，矿体的一部分，以及整个矿床內的总儲量，必須具备所有这些資料。計算儲量一般都按矿石、矿物、矿物世代进行，然后再相加。由此很显然、把精矿或各类矿石的取样結果机械地用到整个矿床上去并不始終正确，会有大錯誤，因为分散金属不仅能与一定类型的矿石共生，而且也能与呈一定矿物出現的矿石世代共生，这些矿物可能不在精矿中。

找矿时矿石数量的意义：当詳細研究矿石、矿物組合及进行查明分散金属的其他工作时，还始終应当考虑其数量的分布。

1. 編录时可以区分矿物及其世代的情况下。最好分別地、仔細地研究矿石的矿物成分，这些矿物的各个世代的成分等，即这些矿石所組成的地段具有实际意义，在这些地段範圍內，可以分別計算所研究矿体内每一世代的矿物的儲量。

如果不可能办到，則显然失去实际意义，而这些資料只是对科学研究有价值。

2. 研究若干世代的矿物及它們的相互关系有时是适宜的，不过这也仅是在可以确定矿体，矿体的一部分或整个矿床总儲量中，每种矿物的量的时候

3. 当矿石某一組份的矿物佔精矿的 $1/3$ 以上时，分別研究精矿的矿物成分对于实用目的來說是不适宜的。这种情况下分別作矿物研究，則很少改变，或根本不改变整个精矿的取样資料。

4. 凡数过不多的矿物，最好进行单矿物研究以查明精矿的分散金属，因为在研究矿体时它们可以被遗漏。一般都把这些分布少的矿物做成样品进行研究。

单矿物样品：一般在找矿时这类样品取自：

1. 精矿；
2. 整个矿体中的矿石堆积；
3. 矿体内的各矿物世代；
4. 脉壁、云英岩类、围岩等。

下面简述以取单矿样品及其研究的方法进行找矿的特点。

精矿：取自精矿的样品按矿物进行研究，并考虑每种组份的矿物变种的各个世代：

缺点有以下几点：（1）这些样品只能代表矿体某一部分的平均含量，因为此刻只对一定地段采来选矿的矿石进行取样。当然样品反映的是矿体的这一部分，而不是整个矿体。所以这一样品的平均含量并不符合整个矿体的平均含量。（2）矿石中可能有一个世代的矿物占主要，代表该地段，但不代表整个矿体。

整个矿体：当矿体由一个世代的矿物组成或该世代的矿物显然占大多数，是矿体的主要组成部分，而所有的其余世代的矿物只有次要意义或难以将它们分出来的时候，就取此类单样品。

研究矿体时的采样方法：大致为：（1）在矿体内若干个最有特征性矿物成分的地段采取样品，（2）在不同的深度（3）把采得的物质混合并加工处理成为一个样品，（4）组合样品的物质最好从该矿体内的8—10个地点取得，（5）如果研究大矿床，有若干个中段或由鑽孔追索矿体很深，则最好在同一些矿体的不同中段中取出样品。这样就有可能确定该矿物或该矿物各世代的带状分布。

当某一种矿物占绝大多数时，可用精矿样品来代替这些样品。

个别世代矿物的单矿样品：当矿体内个别世代的矿物量较多，而且显得很清楚，以至可以在矿体编录过程中把它们区分出

来的时候，就取这种样品。此时可能每一个矿物世代都有实际意义。

取样方式与以上情况相同，即从若干个地段采得样品，但对于每个世代需要分别地和在不同中段采样。样品加工原则相同。

单矿样品的加工技术。大致归纳如下：

1. 把样品中所要研究的矿物小心地捣碎到一定数量和一定大小的颗粒。
2. 在双筒镜下挑出尽可能没有杂质、连晶等的颗粒。
3. 建议把矿物样品碎成一小份一小份，碎矿过程中，用有适当孔眼的筛子定期过筛。
4. 捣碎后矿物过筛，选出筛子里留下的该矿物的颗粒。
5. 挑选时：
 - (1) 在双筒镜下，用手选；
 - (2) 用重力分选法，在重液中或用离心机；
 - (3) 用磁力分选。

但不管挑选颗粒的方法怎样，全部被挑出的矿物都要在双筒镜下检查。

精矿中取得的样品加工时必须考虑下列各点：

- (1) 不需要捣碎；
- (2) 将样品上所有的试剂都要仔细地洗掉；
- (3) 等样品乾后过筛并除去不相干的杂质和很细的物质；
- (4) 在双筒镜下检查；
- (5) 此后，用上述方法之一选出这种或那种矿物的最乾淨的颗粒。

无论怎样，都是最好从刚选过的物质中取样品，否则过一个时期颗粒表面会盖上一层氧化物的薄膜。这样就难以挑选颗粒而会发生错误。

送去做分析的样品，重量不能少于10克，否则难以确定分散金属的含量，因为它们的富集程度太低。

脉壁：研究的方法实质上与上述方法相同。此时，尤其是找

鏡，需特別注意云英岩脈壁，因為云英岩脈壁鏡的細小侵染物可能有很大的工業意義，甚至比偉晶岩脈的意義更大。

對比：確定了有分散金屬之後，最好調查這些金屬，對於整個礦體和各種礦物（這些金屬與它們有關）的數量關係。

確定數量關係的方法如下：

1. 普通的樣品按含量（可能與該礦床所分的礦石種類相適應）分成若干等級（貧的、富的、中等的精礦）。

2. 最好每一等級中至少包括20個單個樣品（對於精礦則無此必要）。如果該等級中包括大量單個樣品，則最好減少至35—45個樣品，減少的方法（根據取樣記錄簿或用其他方法）是取2、4、6、或3、5、7等，但所有這些樣品都應當是本等級的礦石。

根據加爾金的意見，如果沒有確定主要元素的含量與礦體厚度之間的關係；則單個樣品副樣做成的樣品需取相等重量；如果相互關係已確定，則取的重量與厚度成比例。

3. 配制該等級的集合樣品，把它混合，四分，一部分送化驗室，另一部分留作副樣。

集合樣品：總重量應比化驗室樣品的重量大6—8倍。

4. 化驗室中要確定：（1）主要元素的含量；（2）確定礦床上，普通礦石中所有其他元素的含量，（3）稀有和分散元素的含量，主要是該礦床上所研究的元素。

5. 集合樣品的配制需具備如下條件：（1）地質上同一類型的礦石，即礦物成分、成因等相近的礦石。例如，存在原生礦石和氧化礦石時，樣品要分別取，集合樣品也分別配制。但如果每一種礦石的地段不大，則最好不分別地研究它們，因為沒有實際意義。

6. 樣品一般不多，所以應當用很靈敏的方法研究樣品，對於貧礦來講，誤差不能超過±50%，對於富礦和精礦不能超過±20%。

7. 最好根據已獲得的資料，用以下方法作圖。橫坐標表示一個等級中主要元素的平均含量，縱坐標為所研究的每一元素的

含量。

这种形式使人一目了然被研究元素与一定的矿石和矿物之间的关系和比例。

8. 如果确定了这些元素不是与一种，而是与几种主要矿物有关时，则同时研究这几种主要矿物。研究的方法也相类似。对于这些矿物中的每一种矿物都挑出40—50样品，按照第二种主要元素的含量分成2—3等级，再按等级配制集合样品。作图的方法类似。

不与一定组份（矿物）有关的伴生金属的找寻。此时分为：

1. 要经过选矿的矿产；
2. 不要经过选矿的矿产。

这两种矿产各有其找矿方法特点和研究的特点。

要经过选矿的矿产。这一类包括的矿产有黄铁矿类矿石，含硫的铁矿石，作为陶瓷原料而开采的伟晶岩，某些锰矿石以及煤等。

这些矿石内找寻伴生金属的方法大致如下：

1. 不需要取单矿样品。
2. 选矿时主要是取精矿和工业产品的样品。
3. 勘探阶段（不进行开采）研究选过的样品。为此要取岩心，如果有坑道，则取掌子面上的矿石。把取得的全部物质磨碎，在勺里淘洗，以便把矿石和岩石分开，准备好的样品（选过的部分）送去分析。

但此时必须既称选过的一部分样品，又称剩余部分。发现伴生金属之后进行储量计算时，必须要有关于样品体积、重量的资料。

4. 当矿物或矿体含矿部分组成占矿石总重量的40—45%的精矿时，则不需取选过的样品，而直接分析普通的样品（例如黄铁矿类矿石等）。

5. 用浮游选矿法富选的含硫铁矿石的矿床上，首先应研究硫化物精矿，因为，象锌、铜等杂质能分离成独立的精矿（伴生

金属通常都产在其中)。

6. 开采陶瓷原料的偉晶岩时，要研究長石的矽石。最好还用人工重砂法研究。長石，特别是天河石，可分析其中的鉍和鉍。

7. 若有原生矿石，氧化矿石和其他矿石时，最好分别进行研究。

8. 在用淘选法选矿的矿床上，首先要研究淘洗过的物質所組成的样品。但此时需要注意，使这种物質反应出整个矿床的特点（錳、鉄和煤等矿床）。

不需要經過选矿的矿石中寻找此类金属：这組矿产包括油頁岩、煤、泥炭、瀝青岩等。

找寻方法大致如下：

1. 取作分析的样品燒成灰再分析。燃燒这样品的同时，要对物質燃烧过程中形成的揮发性化合物的全部产物进行研究，通常与揮发份一起堆积有分散金属（銻、銻鉍等）。所以必需分析揮发份，以免漏掉該类元素中的某种元素。

2. 无论怎样的情况，都需要称原始样品和得到的灰份。潮湿的样品要預先弄乾。

3. 有若干矿层的矿床上，每一矿层要分別研究。

4. 采样一般是用刻槽法，槽子刻在岩层的整个厚度上。

必要时，把若干个样品合併成一个。样品之間的距离一般为50—200公尺，此外还有一些其他的取样方法。采过样品的地点要做編录。

砂矿床 对于这类矿床的找寻方法如下：

1. 仔細地研究黑色和灰色重砂的矿物成分，因为可能在原始的重砂物質加工的时候，含有这些元素的矿物会被洗掉。

2. 凡是某些矿物的数量相当多，而且里面有伴生金属，則把这些矿物的單矿样品挑出来。在重砂中鑑定这些矿物并加以分析。

3. 一定要考虑被淘选物質（原始重砂）的体积（重量）和重砂的平均获得率。若发现伴生金属时，为了計算儲量必須办到这一点。

4. 在新发现的矿床上，最好在整個砂矿面积（或工业可采部分）內比較均匀地采取样品。每个样品的矿物成分都要分別加以研究，各样品中取出的同一类的矿物可以合併。这样可以不化費多余的錢做分析。

5. 正在进行开采的矿床上，一般要研究挖掘機所得的重砂。最好采若干个样品，而且時間要長些，大約2—3个月，每隔5—10天采一个。这是因为含这些元素的矿物，常常不是平均地积累的。一个样品不可能提供关于砂矿的平均数据。

6. 凡在沒有保留下灰色重砂的矿床上，必要时开凿專門的勘探坑道以便取重砂。

砂矿中含伴生金屬的矿物的某些富集特点。在砂矿中找寻这些金屬时，需考虑以下一些它們在砂矿中富集的特点。

1. 含伴生金屬的矿物所富集的一些地段內，不見得总有金、錳石、黑鎢等重矿物富集。因为，它們的比重和顆粒大小有显著的差別，这些矿物一般都是比較輕的。

2. 由于它們的重量較輕，所以：（1）它們被帶到較低的地方，（2）堆积在靠近砂矿的边緣，而重矿物趋向較中心部分，而边緣部分則沒有或只有极少量。

3. 为了正确找矿，始終必須考虑这些特点，即砂样的取样和結構，特别是矿物按比重和顆粒大小的空間分佈。

水化学找矿 此时找矿必須研究矿井水和天然泉。

矿井水：研究方法大致如下：把收集的水样過濾，蒸发，蒸发后的乾的残余拿来分析。過濾后的残余也应该分析。开始的阶段一般要进行光譜分析。

研究矿井的时候，需考虑它們的成因特点。一般都分別研究深处水和地表水。

無論如何，最重要的是深处水，因为它能携帶这类元素。地表产生的水渗透过矿体和岩石，这些元素在水中可以有不同程度的富集。

天然泉水：所有这些找矿对象中最有价值的是矿化很强的泉

水。

最好也同时研究这些泉水周围的圍岩（石灰岩，凝灰岩等）。圍岩也可能有实际意义。研究的方法与研究矿井水的方法类似。

鹽湖水及其沉积物。我們已說过，这种湖水和沉积物里有一系列稀有、分散和稀土金属（鋰等）。所以一定要研究鹽湖的水和沉积物。找矿时需考虑季节。一般是有最多物質进入湖中的季节找矿結果最好。研究方法与水化学找矿方法类似。

分析找矿：矿物原料加工的各个阶段都可进行这种找矿。其主要特点如下：

1. 地質方法具次要意义或根本用不着。全部地質方法中最主要的是地球化学法。

2. 找矿工作一般由加工該矿物原料的工业部門的工作人員进行。偶然也与地質人員一起进行。地質研究資料一般用来作为該阶段找矿的根据。

3. 找矿方法主要是系統地取該矿物原料各加工阶段的研石的样品，并作样品分析，还要查明适宜于这些元素富集的物理化学条件（熔点，比重，反应等）。

4. 无论怎样都必需考虑：（1）研石的數量及伴生金属在其中的含量，（2）原始物質（被加工的原料）的數量。只有根据这些資料的对比，才能算出这些金属可能富集的总儲量，以及一定阶段（加工阶段）內的富集量。

5. 取样方法和儲量計算都有着与原生矿石不同的特点，这点应当考虑到。

6. 分析研究显然是一种主要的找矿方法。因为这些金属的含量不大，故分析研石样品时，一般最好用最灵敏的方法。

无论怎样，地質人員和工业部門的工作人員同时进行地質的和分析的分析，則效果最大。

找矿时分析研究方法的选择。这个問題有着重要的意义。选择分析研究方法时始終应考虑如下特点：

1. 分析方法应当有极高灵敏度的，因为，矿石中这些金属

的含量不大。一般当这些金属的含量在 0.001—0.0001% 范围内时即要确定其存在。

2. 誤差若有系統性，則允許誤差为±30—50%。在任何情况下，誤差應該由地質人員和分析人員共同考虑。

3. 分析的方法由地質人員和化学人員事先共同选择；

4. 無論如何，在找矿开始的阶段必須做光譜分析。光譜分析結果一般能比較充分地鑑定各种元素是否存在以及它們的数量关系。确定了这些元素的存在以后即进行化学分析。

5. 檢查是一定要的，不能少于20个样品，而且要用同一种方法。

研究計劃及其根据 在任何情况下，都要制訂找矿工作的計劃，确定宗旨及論証找矿区域和找矿对象，論証找矿和研究方法。制訂計劃时应当考虑下列主要問題，簡述区域、矿床、矿石类型或其他矿物原料，找个别金属还是找某一組金属，在原生矿石范围内找还是在选矿和加工阶段找。可能几項要同时考虑。

此外，还应该反映以前調查的資料，簡述这类金属中某种金属在原始条件和加工阶段的富集情况（根据国内外文献資料），工业中的用途，該矿床上是否有这类金属及其与一定类型矿石的关系等等。

根据上述論証編制預算。

工作總結 編写报告，报告中举出区域地質的主要情况，較詳細地叙述矿床的地質特点。对于这些元素所在的矿体，則更需詳細叙述。描写矿体时应当指出富集地段、矿石种类、其矿物成分以及这些元素在怎样的矿物中或世代中，鑑定它們的空間分佈，对矿体、矿石类型、矿物及其世代分別进行質和量的鑑定，說明与圍岩的关系等。此外，还要詳細地叙述这些元素在富选阶段的情况（精矿、尾矿、廢石堆）。如果在矿床内进行矿石加工，則举出矿石加工的一定阶段內这些元素富集情况的現有資料。

必須列出关于找矿方法、分析方法和取样方法的資料以及图表和分析材料。

列出各矿体、矿石类型以及整个矿床的储量计算的资料。如果有矿石各加工阶段和整个过程中数量富集的资料，则也应该引列。

作出原生矿石内储量的远景估计以及选矿和加工阶段可能堆积中储量的远景估计，这些情况应该有最充分的地质资料和分析资料作根据。在任何情况下都要考虑原生矿石的数量因素，而不仅仅是考虑这些元素。

列出各矿体、矿石类型以及整个矿床的储量计算的资料。如果有矿石各加工阶段和整个过程中数量富集的资料，则也应该引列。

作出原生矿石内储量的远景估计以及选矿和加工阶段可能堆积中储量的远景估计，这些情况应该有最充分的地质资料和分析资料作根据。在任何情况下都要考虑原生矿石的数量因素，而不仅仅是考虑这些元素。

列出各矿体、矿石类型以及整个矿床的储量计算的资料。如果有矿石各加工阶段和整个过程中数量富集的资料，则也应该引列。

作出原生矿石内储量的远景估计以及选矿和加工阶段可能堆积中储量的远景估计，这些情况应该有最充分的地质资料和分析资料作根据。在任何情况下都要考虑原生矿石的数量因素，而不仅仅是考虑这些元素。