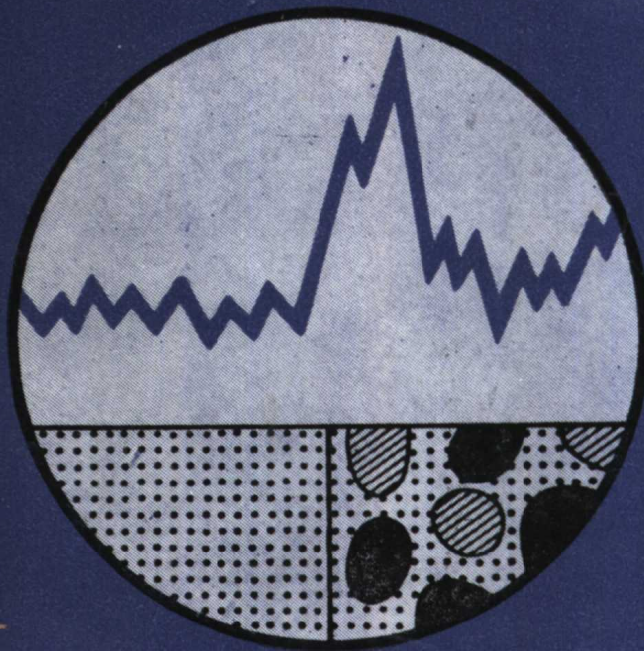


地质科技资料选编(一四三)

黄铁矿型矿床 晕内指示元素存在形态

B. C. 卡尔普欣 编著
Э. H. 巴拉诺夫



地质矿产部情报研究所
编 译



黄铁矿型矿床晕内指示元素存在形态

(地质矿产部“七五”部控项目 86117)

王贵安 邱郁文 吴传璧
陈文焕 刘成龙 译
王贵安 吴传璧 校

地质矿产部情报研究所编译

内容简介

《黄铁矿型矿床晕内指示元素存在形态》一书系根据 В.С.卡尔普欣、Д.Н.巴拉诺夫的《Формы нахождения элементов-индикаторов в ореолах колчеданных месторождениях》М.НАУКА.1983 著作编译。

本书主要介绍乌拉尔、鲁德内依阿尔泰和高加索黄铁矿型矿床内生地球化学晕内指示元素存在形态的研究成果。实践证明，黄铁矿型矿化的标型元素主要呈硫化物形态存在。描述了晕内元素存在形态的变化规律及其与矿化的矿物类型及岩石交代蚀变的关系。着重研究了黄铁矿（指示元素的主要浓集矿物）的标型特征。查明了晕内硫化物浸染的非均一性。指出了在普查和评价黄铁矿矿化中利用元素存在形态的可能性，并对元素存在形态的研究方法提出了具体的建议。

黄铁矿型矿床晕内指示元素存在形态

地质矿产部情报研究所编译

北京市怀柔县黄坎印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16

印张 6.75 字数 15 万字

印数 600 册

1991 年 4 月北京第一次印刷

定价：4.00 元

目 录

编译者的话	(1)
前言	(2)
绪论	(3)
第一章	
晕内元素存在形态研究方法	(6)
野外调查	(7)
样品加工	(8)
分析工作	(11)
结果处理	(12)
第二章	
黄铁矿型矿床晕内元素存在形态	(14)
(一) 盖伊矿床	(14)
(二) 列宁诺戈尔斯克矿田	(36)
(三) 沙姆卢格矿床	(53)
(四) 阿赫塔尔矿床	(59)
(五) 克拉斯诺乌拉尔矿田矿床	(63)
(六) 上乌拉尔成矿区的矿床	(68)
(七) 晕内元素存在形态的特点	(73)
第三章	
黄铁矿型矿床晕内元素存在形态的分布特点	(83)
(一) 晕内元素存在形态分布的分带性	(83)
(二) 黄铁矿是矿床晕的指示矿物	(85)
第四章	
利用元素存在形态查明、研究和评价矿床晕	(91)
(一) 利用元素存在形态研究晕的成因	(91)
(二) 利用元素存在形态查明和评价晕	(93)
结语	(102)

编译者的话

本译著属于部控《找矿矿物学方法研究》项目(86117)中情报研究课题成果的第四部分。这本书与以前的“找矿矿物学与矿物学填图”、“含矿区矿物学填图与方法”、“近矿晕矿物学研究与矿物学填图”三集的关系十分密切,主要着重于对金属矿床近矿晕的物质成分——晕内指示元素赋存状态的研究,它是矿物-地球化学找矿方法,也是找矿矿物学必要的组成部分。

全文译出这本书的目的在于向广大读者全面介绍采用综合的矿物-地球化学方法来发现、研究和评价晕是十分有远景的方向,是完善现代矿床普查方法的重要途径。

众所周知,国内外有关矿床的内生地球化学晕,及其在普查-工作中应用的研究,已有20—30年的历史,不仅有系统的研究资料,并且形成了一系列研究方法,在普查-勘探工作中,特别是在矿田和矿区范围内寻找隐伏矿工作中,取得了引人注目的成果。为了进一步完善这一研究方向,取得更大的效果,矿物-地球化学方向得到了迅速发展,这就是晕内指示元素存在形态的研究已经成为金属矿床内生地球化学晕调查的重要组成部分。概括地说,它具有两方面的实际意义:第一、进一步揭示原生晕分带性,从而对于研究矿化成因,选择勘探方向具有重要的意义;第二、有助于强化原生晕的衬度,从而可以扩大原生晕的规模,不仅可以使之易于发现,况且可以查明在地表反映弱的、远离矿体的外晕,据以发现较深部矿体,加大探测深度。

本书介绍了大量有关硫化物矿床实例,这并非偶然,主要是苏联近年来由于对乌拉尔、小高加索、鲁德内依阿尔泰等地区含铜黄铁矿、黄铁矿-多金属、重晶石多金属矿床晕的地球化学研究,在客观上占了多数的缘故。从这一角度出发,不难理解的是,作为矿化指示矿物的黄铁矿,由于它是近矿晕中贯穿的主导矿物,且具有极大保存信息的潜在能力(浓集化学元素的最小地质客体),因而研究它的特殊意义是显而易见的。

在本书编译过程中,地矿部科技司曾家松、汪美凤同志和中国地质矿产信息研究院吴传璧同志审查了选题,辽宁省地质实验研究所课题组同志给予了积极协作。地矿部情报所课题组贾跃明、顾赤峰同志对前言、绪论和结语部分作了编辑工作,肖庆辉和冯钟广同志对该部分内容进行了审阅。

本书前言、绪论、结语和第一章由王贵安同志翻译,第二章由邱郁文、吴传璧同志翻译,第三章由陈文焕同志翻译,第四章由刘成龙同志翻译。全书由王贵安、吴传璧同志编定和校译。魏智如同志完成封面设计和清绘。

王贵安
一九九一年四月

前 言

由于地球化学普查方法迅速发展,迄今已经积累了大量有关各种成因类型内生矿床近矿晕中化学元素分布的资料。已查明的内生(原生)地球化学晕,在成分、构造,特别是在分带性方面呈现出的规律性,决定了在普查隐伏的深埋矿床过程中,地球化学方法占有重要的地位。

内生晕地球化学普查方法进一步完善和提高其有效性的重要前提是研究近矿晕的物质成分。研究晕内指示元素存在形态及其分布规律会有助于查明在成晕作用和成矿作用过程中,元素的迁移方向和聚集条件,有助于取得有关地球化学晕与矿体近矿交代岩之间的联系的信息,以及解决许多有关普查地球化学方面的问题。金属矿床内生地球化学晕中指示元素存在形态的研究课题:查明化学元素在岩石和矿物中的富集与分散条件,乃是地球化学最重要问题的一个组成部分。

本书主要研究了黄铁矿型矿床内生地球化学晕中元素的存在形态。书中题目系根据作者为了提高解释、评价隐伏黄铁矿化地球化学异常准则的有效性和加大普查深度,在研究晕内物质成分时所遇到的一些问题而确定的。

作者于1963—1965年期间开始研究小高加索黄铁矿型矿床晕中元素的存在形态。后来,在乌拉尔和鲁德内依阿尔泰矿床继续从事了这方面工作。在1963—1974年的工作,总共研究了11个黄铁矿型矿床晕。采集了数千个岩石样品,通过光谱分析方法作了这些样品的分析,同时对样品还进行了详细的矿物学研究,分离了单矿物和复矿物颗粒(重部分、轻部分、硫化物部分),从中测定了所要研究的元素含量。在进行元素存在形态研究之前,采用传统方法对广泛的一套元素(达30多种以上)沿点线刻槽法和快速发射光谱作了分析。在布置工作过程中,曾经考虑了Л.В.塔乌松有关花岗岩中元素存在形态的研究方法,以及后来,Г.И.罗曼斯、С.В.格里戈良、Г.Н.扎苏欣、А.А.加尔迈、Г.Л.鲁特对金属矿床内生晕中元素存在形态的研究工作。在作者工作过程中,研制和完善了有关晕中元素存在形态的研究方法。所以,针对不同矿床进行了详细程度不等的研究和利用了一套不同的化学分析方法和矿物学研究方法。在盖伊含铜-黄铁矿矿床和列宁诺戈尔斯克黄铁矿-多金属矿床晕的研究中,综合研究达到了最佳的程度。总起来看,通过研究黄铁矿型矿床内生地球化学晕中元素存在形态的工作,可以解决下列几方面问题:

1. 确定和研究指示元素的浓集矿物和携带矿物。
2. 查明晕内元素存在形态的带状分布规律。
3. 研究作为近矿晕指示矿物黄铁矿的模型特征。
4. 研究晕内元素存在形态与矿体及近矿交代岩的依从关系。
5. 对晕内元素存在形态的各种研究方法的可行性进行评价,并论证其合理的研究方法。
6. 查明和评价利用元素存在形态进行普查的实际可能性。

(以下节删。)

绪 论

黄铁矿型矿床是Cu、Zn、Pb以及Au、Ag等其它金属最重要的来源之一，同所有金属矿床一样，此类矿床也总会伴有内生地球化学晕。具有异常化学量（较背景偏高或偏低）的近矿带的生成作用，不仅可以和成矿沉积作用同时发生（与矿化同生的原生晕），也可在矿体形成后出现（后生的次生内生晕）。鉴于不进行专门的调查难于划分这些晕类，因此，下面用较通用的术语“内生晕”代表未受表生作用影响的基岩中的晕。

迄今已发表了大量有关黄铁矿型矿床内生地球化学晕的文章，因此，这里只谈一下它们的成分和结构的一般典型特征。在黄铁矿型矿床近矿岩石中已确定出30余种化学元素的异常浓度。所有的成矿元素（Fe、S、Cu、Zn、Pb、Ba）及其伴生元素（Au、Ag、As、Co、Mo、Hg等）均具有显示明显的聚集晕。岩石的混入元素（Mn、V、Cr、Sc、Ti等）会形成带出晕和堆集晕，在近矿交代作用过程中重新分配。不同矿物类型黄铁矿（硫铁矿-含铜黄铁矿、黄铁矿-多金属、多金属和重晶石-多金属）矿床晕的成分在定性上相同，但在元素浓集水平以及它们的比值上确又明显不同。黄铁矿型矿床晕的规模一般甚大（由数百米到几公里）。晕的构造-形态类型种类繁多，但其具有决定性意义的形态特征是层控性质，它既可以反映出黄铁矿成矿沉积作用的热液沉积条件，也可以反映出热液交代条件（沿地球化学障）。晕具有分带性结构，其特点是衬度很强的非对称的（顺向的）横向分带性和衬度较差的纵向分带性。黄铁矿型矿床晕内元素分布分带性的大致顺序由后往前，各带依次为W—Ba₁—Mo₁—Sn、Co、Ni—As₁—Bi—Cu₁、Au₁—Mo₂—Zn、Cd—As₂—Pb—Ag—Cu₂、As₃、Au₂—Ba₂—Hg—J。

内生地球化学晕在化学元素“水平”上反映了近矿晕的成分特征。就研究工作而言，对不同层次物质结构的客体—化学元素（地球化学晕）—矿物（金属矿物和副矿物浸染晕）—共生矿物（近矿交代岩）的结合或共生组合的研究，只是在近矿晕总体研究任务其中的一个组成部分。交代晕、矿物学晕和地球化学晕不过是我们主观想像它们是独立分开的，这种认识不仅与它们的定性方法有别有关，并且也与它们的划分和研究方法有关。近矿交代岩的晕圈通常用肉眼和岩石-矿物学方法以及岩石-化学方法加以研究，这时，根据矿物组合的热力学分析可建立交代作用模式。地球化学晕是通过对近矿岩石采样，随后分析化学元素异常浓度空间分布的方法圈出的。在矿物学晕中，用肉眼只能对某些指示矿物（如黄铁矿型矿床晕中黄铁矿）予以划分，一般要在镜下划分。通常，为了进行矿物晕的划分和填图，必须采用专门的工艺学方法分离和富集矿物。因此，近矿矿物晕的研究程度较之交代晕和地球化学晕的研究程度要差许多。

虽然，对近矿晕已进行了大量研究，但实际上并未做过综合性的工作，即没有将交代晕、矿物学晕和地球化学晕结合在一起进行探讨。研究地球化学晕时，通常测量的是岩石中杂质元素的总量，即只是在岩石地球化学水平上进行研究的，在许多文章中探讨了交代岩和地球化学晕间相应的空间和成因关系。如果不能将生晕元素的总浓度划分为与其在岩石中存在的一定形态所对应的分量，就无法阐明地球化学晕的性质，尤其是它们的分带结构及其形成的运动学

和动力学特征，进而完善地球化学方法。现已确认，元素在近矿晕中存在的主要形态是矿物（固相）。所以，研究地球化学晕时，在矿物（浓集化学元素的最小地质目标）-地球化学水平上进行研究有着十分重要的意义。毫无疑问，将岩石地球化学研究（同时研究造晕元素的存在形态）与矿物晕研究综合进行是绝对必要的。

已知，化学元素“存在形态”一词是在1921年由B.И. 维尔纳得茨基提出的，他提道：“存在形态是用纯实验方法划分出来的，同时，每种形态都以其中原子的特殊状态为特点。实质上，这是原子系统不同状态的领域”。他划分出了如下一些地壳中化学元素的存在形态：1) 矿物、岩石、液体和气体中分子及其化合物；2) 生物机体中元素；3) 硅铝岩浆中元素；4) 元素的分散状态（微观的）。在多数研究者的心目中，元素存在形态迥异，但总的来说，反映了元素在各种具体物理-化学环境中的状态。Л.В. 安德鲁波娃分析了在这一问题上现有的各种观点，并考虑到B.И. 维尔纳得茨基做出的一般性定义，她得出了如下的结论：“存在形态”可以定义为依周围介质的物理-化学条件而定的元素状态。

元素存在的矿物形态在岩石圈中占主导地位，以致给人们的印象是，对所有元素来说，矿物形态几乎是唯一性的。所以，许多研究者的工作均以研究岩石中微量元素的存在形态为重点。现已查明，呈微量存在于岩石中的元素（一般不高于千分之一）构成副矿物，或呈类质同像，或呈非结构杂质进入其它矿物和存在于气-液包裹体成分中。

在长时期内形成的概念是杂质元素多以类质同像形态进入矿物。近十年来，由于广泛采用高束聚焦的X-射线光谱和激光显微分析方法，以及新的物理-化学方法的结果，证明了矿物中显微包裹体原来是微量杂质元素在载体矿物中的分布上起了重大的作用。现代矿物学的最重要成就乃是确定了矿物成分和结构的非均一性是其在不同水平（由宏观、微观到原子）上表现的共同性质。研究矿物的非均一性导致了重新审定对矿物中类质同像交代作用范围的认识，从而为查明微量元素存在形态开辟了新的可能性。

研究近矿晕中成矿元素及其伴生元素的存在形态，基本上是近二十年开始的，这方面的研究工作与研究地球化学方法找隐伏矿，即与揭露和研究内生地球化学晕有关。H.И. 萨夫罗诺夫对晕中元素的存在形态做了总的说明，他强调存在形态的多样性。

A.И. 金兹堡指出，有可能利用元素存在的矿物形态——造岩矿物和副矿物以及其中存在的杂质元素作为矿化标志。

尽管利用矿化指示元素存在形态在理论与实际方面有明显的远景，但对它们的利用范围却十分可怜，与内生地球化学晕研究工作的广泛程度相比，真是不可同日而语。既然指示元素在晕中并非孤立分布，而是呈自身矿物、矿物中结构或非结构性杂质形式分布（在近矿晕内，呈原子、分子和水溶性形式出现的意义甚小），那么，研究元素存在形态便可作为说明晕的形成过程，从而解决地球化学解释任务，取得信息的主要方法。

在地球化学晕中，元素的存在形态显然具有本身的特点，而不同于在矿石和未蚀变岩石中的特点。由于晕中成矿元素的绝对浓度与其矿石中的浓度相比较低，因此，它们的分布和存在形态大都取决于宏量元素——主宰元素在新产物（矿物）中的分布特征（据A.И. 佩雷尔曼）。对亲铜元素来说，硫化物的硫便是这种主宰元素，其在晕中，和在整个地壳中一样，都与铁的硫化物有关。所以，黄铁矿是以硫化物为基础的内生矿床近矿晕内主导性贯穿式矿物。黄铁矿——亲铜元素浓集矿物的分布，在很大程度上决定了这些元素的分布特点及其在晕中矿物-

地球化学显示形态。在近矿蚀变岩石中元素的原始分布状态，由于元素的加入和析出作用而遭到破坏，与未蚀变的岩石相较，它们具有更多种副矿物的特点，这些副矿物浓集了杂质元素。这一点，正如 B.B. 谢尔比纳所指出的，是由于岩石的交代改造作用不完全，尤其是在晕的外带，以及在未蚀变的岩石上叠加了显示弱的成矿作用造成的结果。

下述内容阐明了关于黄铁矿型矿床内生地球化学晕中元素存在形态的多年来的系统研究结果。着重研究了黄铁矿矿化主要指示元素 Cu、Zn、Pb、Ag、Ba、Co、Mo 和 As 的存在形态。此外，还探讨了 Bi、Hg、Ni、V 的存在形态。对这些或另一些元素研究的完善程度和深度，一方面取决于它们在晕中的浓集水平，另一方面，也取决于分析可能性。

在选择这些或另一些矿床作为研究目标时，曾考虑到必须包括主要的建造类型矿床——含铜黄铁矿矿床、黄铁矿-多金属矿床，其特点为矿体的赋存条件不同，并遭受过不同强度黄铁矿化改造作用。在苏联南乌拉尔的盖伊含铜黄铁矿矿床上和在鲁德内依阿尔泰的列宁诺格尔矿田的黄铁矿-多金属矿床上，已经作了最全面和详细的工作。研究工作还包括小高加索沙姆鲁格含铜黄铁矿和阿赫塔尔重晶石-多金属矿床，中乌拉尔的克拉斯诺格瓦尔杰、新安德烈耶夫斯基含铜黄铁矿矿床和南乌拉尔的乌泽尔金、奥泽尔、莫洛杰日含铜黄铁矿等矿床晕。在已研究的小高加索阿尔卑斯黄铁矿类矿床上，实际上未显示出任何黄铁矿后的改造作用。乌拉尔矿床受到过葡萄石、绿帘石和部分绿片岩相区域变质作用。南乌拉尔矿床未遭受过明显的改造作用，而中乌拉尔矿床的容矿岩层发生过强烈的断裂作用，矿脉的外貌受到了强烈的改造作用。

无论是按矿物成分，还是按黄铁矿期后的改造作用强度，所研究的矿床显示出的多样性使人们确信，已揭露出的指示元素存在形态的规律性，对黄铁矿型矿床来说，是足够典型的，既可反映晕内成矿物质的同交代作用、同成矿作用，也能反映黄铁矿期后的后生沉积和再沉积作用。所研究元素的宽广性（按化学和地球化学特征截然不同），使人们有根据设想，对以硫化物为基础的其它类型矿床的内生晕来说，元素存在形态的规律性将是共同的。

第一章

晕内元素存在形态研究方法

在利用次生叠加（后生）晕进行掩覆矿床地球化学普查工作中，研究元素存在形态已经得到了广泛的应用。由于指示元素的浓度异常低，呈非矿物形式（吸附、金属有机质、间隙溶液）出现，为揭露叠加晕通常采用了能保证选择提取浓集元素某种存在形态的不同相（示构）化学分析方法。Ю.Е. 萨耶特和Н.И. 涅斯维日斯卡娅依据次生地球化学晕内元素存在形态的划分方法，对资料进行了归纳总结，并对其示构分析研究方法作出了论证。

研究内生地球化学晕内元素的存在形态，在开始本著作中提出的研究工作时期（1963—1965）当处于起步阶段，只是在这以后，才出现了一系列专门探讨各种研究内生地球化学晕内元素存在形态的方法和实际应用方面的著作。总的来说，对研究元素在内生晕中存在形态的方法的开发，明显落后于对在表生晕中研究方法的开发。

回顾已进行过的研究工作表明，研究元素在内生晕中存在形态的工作可以划分出两个工作方法方向，矿物学的和化学的。矿物学研究方法建立在区分浓集矿物或富含浓集矿物的粒级（重矿物部分，复合硫化物部分）基础之上，这种方法一般在研究含较高（百分之零点几）元素浓度的晕带时具有决定性意义。如元素浓度较低利用这种方法只能得出有关存在形态的定性概念。化学方法，是以利用相（示构）化学分析方法为基础，它能分离出（解吸、浸提、选择溶解）以一定的形态存在于岩石中的微量元素。在研究含低异常元素浓度（万分之几或更少）的晕带时，这类方法最有效。其优点是能对岩石中元素存在形态做出定量评价。

由于必须用定量的办法测定元素在各晕带中的存在形态，以及在测定矿物中微量元素存在形态时需采用相分析方法，矿物学和化学方法应当紧密配合。但是在有些研究工作中，往往分别采用一种或另一种方法。一般只查明和研究各浓集矿物，而对它们在不同晕带内元素分布平衡中所起的作用不做定量评价。在这方面，专门从事黄铁矿研究的一些著作颇为有代表性。相化学分析方法用于分析易提取的“活动”元素的形态，以增大隐伏矿的普查深度。但不论在何种情况下，研究工作均带有局部性质，所获得的资料很难加以对比。

显而易见，在研究晕中，以及整体岩石中元素存在形态的现代水平上，要求采用综合的矿物学-地球化学方法。Л.В. 塔乌松为研究微量元素在岩石中存在形态的现代矿物学-地球化学方法奠定了基础。他以在似花岗岩中的稀有元素为例，探讨了元素在岩石中存在形态的定量测定途径，并指出，必须研究元素分布的矿物平衡状态和查明它们的浓集矿物与载体矿物。他论证了选择浸取方法对测定元素存在形态的重要作用。作者在提出和研究黄铁矿型矿床晕时，曾考虑了Л.В. 塔乌松的工作方法和研究结果。

晕内元素存在形态的研究方法由下述一系列部分组成：野外地质-矿物学观察和采样、样品加工、室内研究、分析取得的资料。最后的研究结果应对元素的主要存在形态

及其在晕内的分布规律作出结论，并且将其应用于解释成晕过程及其它方面。

在探讨工作方法时，必须估计到在标准地质体上进行方法实验研究和利用其存在形态来解决普查任务二者之间有明显不同。下面说明的是进行方法实验研究时的工作方法，而在地球化学普查中建议采用的研究晕内元素存在形态的合理流程，将在本书的最后一章予以论述。

野 外 调 查

野外地球化学调查的首要任务是采样，所得地球化学信息的代表性取决于采样方法，水平及其质量。研究黄铁矿型矿床内生地球化学晕时，作为合理的方法，建议采用沿线方格取样法-点线刻槽法，以保证为达到地球化学普查目的，资料具有足够的代表性和再现性以及较高的生产效率。视同类地质产物规模之不同，点线刻槽长度平均可取5—15米。岩石地球化学样的重量（150—200克）要求保证能够用快速近似定量的发射光谱分析方法测定广泛元素（40余种），以及用各种高精度方法分析一系列元素，但这一重量还不足以为研究晕中元素赋存形态所要进行的矿物学-地球化学研究。因此为究研后者还必须采集大重量（由0.5到10公斤）的专门“矿物学”样品。在这样做之前应了解矿床的近矿晕，进行地质-矿物学观察和近矿岩石剖面的编录工作。

在开始研究某一矿床晕内元素赋存形态时，必须首先选择晕剖面（断面），这时的研究工作应能保证晕内各带的（矿下、矿上、侧翼）代表性。鉴于这类工作的实际目标是增大地球化学普查隐伏矿的深度，因此要首先选择具有深埋矿体的剖面。在大多数情况下对晕剖面的研究是按钻孔岩芯进行的，很少采用地下或露头坑道。

在研究元素赋存形态时，野外地质-矿物学围岩调查的首要任务是划分出岩石的交代蚀变带，确定它们的分布规律性，取得有关晕的矿物学和指示矿物分布的第一手概略资料。

在黄铁矿型矿床近矿岩石中，用肉眼能清楚地分出下述三个带：1)强烈近矿交代作用带，包括次生石英岩、绢云母-石英、绿泥石-绢云母-石英和绿泥石交代岩；2)部分蚀变岩石带，硅化，绢云母化，绿泥石化，钠长石化，绿帘石化，碳酸盐化和赤铁矿化岩石带；3)“未蚀变岩石带，其中肉眼可见的后成热液矿化只是分散细脉状的和细脉浸染状的析离体。后一个带从属于近矿晕是因在其范围内有地球化学晕分布而得到证实。

黄铁矿型矿床近矿晕的标型指示矿物是黄铁矿，黄铁矿浸染和细脉的存在几乎总能用肉眼识别出来。在晕中，黄铁矿数量可达2—10%，而在未蚀变岩中，其含量不会超过0.1%。其他硫化物（黄铜矿、闪锌矿等）、赤铁矿、硫酸盐，重晶石、硬石膏、深成石膏、沸石也可作为晕的指示矿物。这些矿物一般存在于石英-碳酸盐细脉中，用肉眼或在双目镜下均可加以识别。在野外观察过程中就有可能对黄铁矿晕和其他肉眼可见的指示矿物晕进行矿物学填图。

矿物晕野外填图的基础是对指示矿物的空间分布及其性质在空间上的更迭作出评价。矿物量按3-5级制评价。属于肉眼可观察的矿物特性首先是析离体的大小和形态。划分近矿岩中发育的后生矿物组合以及确定其空间-时间的结合特点（细脉、巢状析出物，杏仁体，假像等）也是矿物学填图的自然组成部分。正如工作经验所表明的那样，黄铁矿、碳酸盐类和其他指示矿物晕的填图工作，不仅在有目的性的研究晕的物质成份中，而且在例行的岩石地球化学采样中，都是野外地质-矿物学观察所不可缺少的组成部分。利用矿物晕信息能显著提

高划分、解释和评价地球化学异常的可靠性。矿物学填图作业的高效率性也具有不小的重要意义，在野外工作阶段就能揭示出某些找矿标志并根据这些标志预测矿化。

根据近矿岩石的地质-矿物学编录结果确定了矿物样的采样地点以及样品的必要重量。问题是，正如经验所表明的那样，绝不允许按“网格”采集这类样品，否则不是造成不必要地增加样品数量（加工和研究这些样品十分繁重），就会导致漏掉某些晕带，而这些晕带的物质特性资料是必不可少的。因此，必须考虑到，地质-矿物学观察资料虽是主要的，但对划分采样地段它又是不够用的准则。近矿晕的“目视分带性”虽然能大致反映出其交代矿物学分带性，但却不能划分出具有一定指示元素组合，而强度又不等的地球化学晕带。不采用地球化学资料实际上不可能确定近矿晕的边界，将其外带的“未蚀变”岩石与实际上未蚀变的，即近矿蚀变作用未触及的那些背景岩石区分开来。所以，为了划分出矿物学采样地段，必须利用有关地球化学晕的规模和分带性的资料。因此，研究元素存在形态时，在方法上不适合于将矿物学和一般岩石地球化学采样同时并行的作法。相反，在利用元素存在形态解决地球化学普查任务时，必须将这两种采样工作一起结合起来，这一点将在本书的最后一章加以说明。

采集矿物学样品时，首先必需遵照在主要交代带中元素存在的形态特征，然后考虑其中所研究元素组合和含量水平。地球化学和矿物学带与交代带的空间共轭性有助于采样地段的选择。

通常选取了在用途、总体设计研究及重量上各异的两组样品。一组是基准样，用于详细研究主要交代岩类型和未蚀变岩石中的元素存在形态。用这类样品研究元素所有可能的存在形态，根据矿物平衡测定和相化学分析数据对其分布作出定量评价。此类样品重量达5—10公斤。重量确定主要取决于岩石中硫化物（黄铁矿）浸染的数量，并按地质-矿物学观察结果，以及考虑必需保证所需的分离矿物量加以确定。例如，当肉眼可见的黄铁矿（大小在0.1 mm以上）浸染占岩石体积0.5%时，若回收率为50%，加工4公斤样品便可保证分离出10克黄铁矿。每种岩石类型都要取1—2块基准样。故研究某个矿床晕时，基准样数量一般不超过10—15块。

另一组样品是为了取得近矿晕中指示元素主要存在形态空间分布特性的资料。要从这类样品中分离出主要的浓集矿物或富含这类矿物的具有代表性的矿物粒级。样品重量一般不超过1—2公斤。采样频数取决于近矿晕的分带结构特征以及对所有在矿物学和地球化学标志上不同的带进行采样分析的必要性，而分带结构特征是根据地质-矿物学编录和地球化学晕结构的分析结果所揭示出的。样品间距的变化范围为5—50米。这类样品的数量要比基准样多得多，在研究某一矿床晕时可达数十—数百个。

取矿物学样品时可利用最可靠的和最简单的拣块取样法。但是取岩心样品时，考虑到岩芯需要保存，因此最好在1—5米间隔上取重50—200克碎片，碎屑和由它们组成的必要重量的混合样。在采集每个矿物学样品时，同时要采集用于制备薄片的标本。此外，最好还补充选取能表征后生矿化作用的标本（含细脉、碳酸盐类和其它指示矿物者）。

样 品 加 工

矿物学样品加工和为研究目的从事的样品制备工作有其本身特点，这是由必须分离出在

数量上足以进行综合矿物学-地球化学研究的成晕元素的浓集矿物所决定的。为了利用发射光谱分析法测定待研究杂质元素组合,必要矿物量最少为2克。考虑到有可能用其它方法(原子吸收、X射线光谱、化学)进行分析和作矿物学研究,矿物量需要增大1—2倍。在苏联,在实际工作中研究矿物的最佳数量规定为10克。

随着高聚焦微探针研究方法的发展,近年来,出现了无需事先分离单矿物,就能研究标本中矿物成分的可能性。遗罕的是,作者只是在工作结尾阶段才用上了此类方法。从发展远景上看,利用能进行微量物质分析的电子探针和激光显微分析法,以及核子物理学方法即可在重量为几百克的岩样中研究元素存在形态,而无需采用更大重量的专门矿物学样品。然而,鉴于当前研究晕内元素存在形态具有明确的实用意义和它们可被普遍采纳的特点,以及地质勘探部门分析基地的目前现状,我们必须承认,采集矿物学样品和对其进行样品加工,从中分离出浓集矿物,在较长时期内,仍然会保持它的主导地位。

鉴于晕内黄铁矿和其它硫化物拥有浓集黄铁矿矿化大量指示元素的明显重要作用,矿物学样品的加工流程规定首先要分离出富含上述矿物的粒级,可按下列的顺序实施:1,碎样;2,将富含和贫化黄铁矿及其它硫化物粒级分开;3,分离出单矿物粒级(图1)。根据不同的研究任务,矿物学基准样和一般样的加工有明显的差别。

在研究小高加索和乌拉尔矿床晕时,工作开始阶段,样品加工包括碎样到0.25mm,在选矿盘上,将样品物质分为重粒级部分和轻粒级部分。重部分的回收率通常占样品初始重量的0.5—5%。

在从重部分中分离出硫化物单矿物之前,需用重选(除去造岩矿物)、磁选和电磁选方法(将磁铁矿和其它弱磁性杂质矿物分出)进一步富集重粒级部分,对一部分样品还可用浮选法。结果得出复合硫化物精矿,纯度为80—95%。

鉴于复合硫化物精矿的颗粒度细小,因此,用浮选法将复合硫化物精矿分选为各矿物部分(黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿和方铅矿)。这类单矿物精矿的纯度达95—98%。由于在绝大多数复合精矿中黄铁矿占明显的优势,因此,黄铜矿、闪锌矿、方铅矿的单硫化物部分只在少部分样品中被分离了出来。

造岩矿物是从轻部分中用电磁分选法和用不同密度的重液分选方法分离出来的。为了获得纯度为95—98%的各矿物粒级,对样品进行了多次精选,这时分离10克矿物一般要求加工处理1—2千克轻粒级部分。由于在蚀变的近矿岩石中造岩矿物为细小的连生体,利用现有的方法实际上常常无法将它们分离出来。所以,在部分样品中,只有分离出绢云母-绿泥石和石英-绢云母成分的复合粒级。

如果是较大的析离体(如在近矿交代岩中黄铁浸染大于1mm)时和当研究后生细脉矿化时,矿物可在双目镜下挑选。

由于硫化物进入重粒级中的回收率取决于其斑晶大小,当细浸染占据主导地位时,大部分硫化物可能落入轻粒级和尾砂中。所以,在盖伊矿床工作时,将样品物质磨碎到了0.1—0.14mm,然后,从分离出来的重部分中用浮选法获得了复合硫化物精矿。对比重部分中和硫化物精矿中元素回收度,证实了后者作为基本数量指示元素浓集物的优越性。如果样品磨碎到0.25mm,在重部分中可浓集达岩石中元素总量的40%,那么,磨碎到0.1—0.14mm,一般便会高于85%。所以,后来在列宁诺戈尔斯克、“青年”、奥泽尔和乌泽尔庚矿床工作时,

样品加工的基本方法采用了重部分浮选法，同时分离出复合硫化物精矿（见图1）。

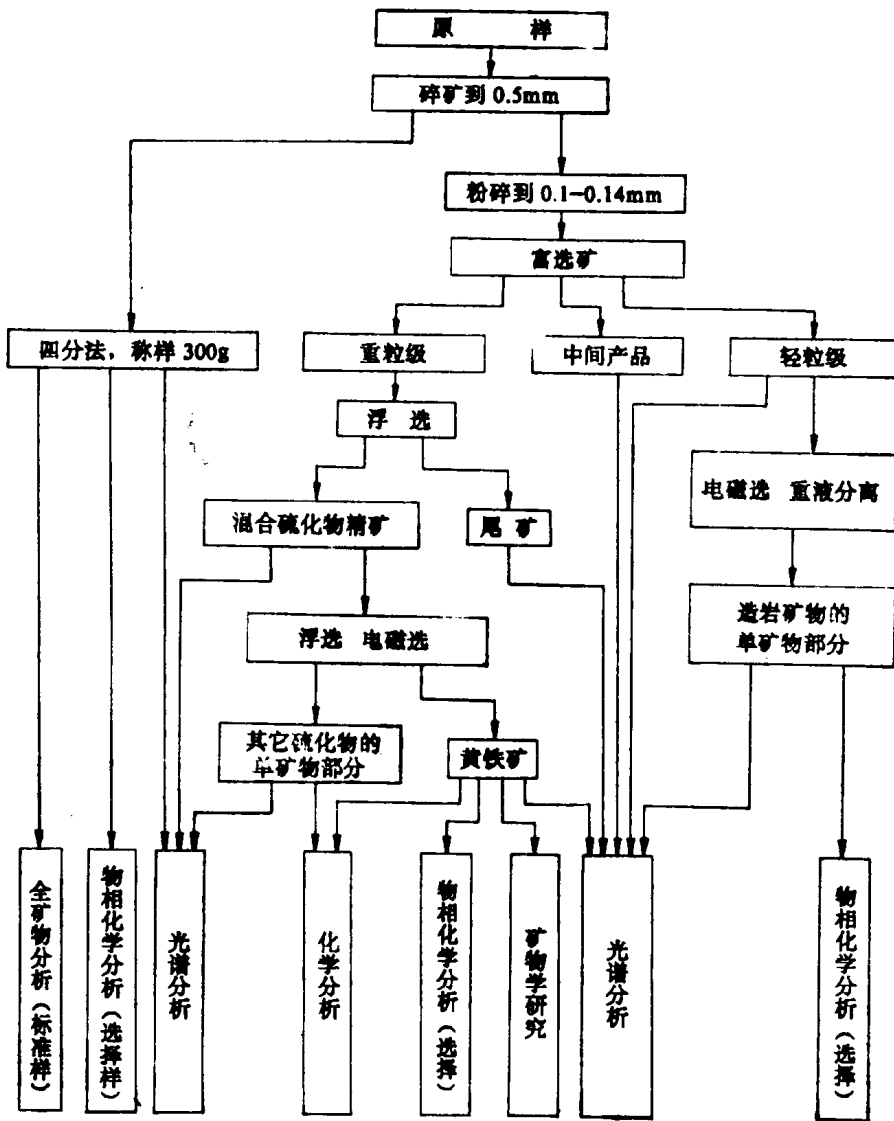


图1 研究晕内元素存在形态时矿物学样品的加工流程

由于分离单矿物工作十分繁重，因此，从经济角度看，最好只在基准样品中分离和研究存在于岩石中的所有主要矿物的形态。在一般样品中，通常只限于分离和研究重部分、复合硫化物精矿、黄铁矿。在利用元素存在形态从事普查工作时，如下所述，只要分离并研究复合硫化物精矿就可以了。

在进行上述研究工作过程中，样品加工是在室内工作阶段进行的，这种作法很难认为是合理的。正如经验所表明，当在开采和勘探矿区进行工作时，在这里一般均具备碎样和对其初步分选的必要条件。既使对所研究地质体的样品进行选择性的处理，也会发现晕内浓集矿物的主要分布规律，从而落实样品的必要数量。这样的工作组织方法能够加速研究工作进程，并有助于提高工作质量。

分 析 工 作

工作中所用的分析数据，基本上是在苏联的矿物学、地球化学、稀有元素结晶学研究所的地质-地球化学大队物理方法实验室用发射光谱分析法作的。对研究的所有岩石、不同粒级和各矿物样品，均采用近似-定量法对研究元素组合(Cu、Zn、Pb、Ag、Ba、Co、Mo、As、Bi、Ni、V)作了分析，对大量硫化物精矿和黄铁矿单矿物样用定量法作了Cu、Zn、Pb、Ag、Mo、Co、Ni、V、Bi分析。近似定量分析是在ДФС-13光谱仪上用向强电流三相电弧(30Å)吹入撒样方法完成的。读谱按一级近似进行。工作范围为2500—3500Å，光栅600线/米，曝光时间为20秒。为测定元素利用了获取对比光谱法，在每张软片上，撮下了标准光谱。藉助测微光度计按图象测量标准线和背景黑度办法确定出元素含量。分析结果以统一的连续序列数码表示，近似-定量分析的灵敏度最低限度为(%)：Ba、As $1 \cdot 10^{-2}$ ；Zn $1 \cdot 10^{-3}$ ；Cu、Pb、Bi、Ni、V $1 \cdot 10^{-4}$ ；Co、Mo $3 \cdot 5 \cdot 10^{-5}$ ；Ag $5 \cdot 10^{-6}$ 。

通过这类工作条件进行的定量光谱分析的主要特点是利用了缓冲混合物，这种混合物含有低电离电位的元素，并可以对各元素或元素组合用实验方法予以选配(在组合定量分析Zn、Pb、Co、Ni、Mo、Sn、Bi、V、Cr时候)。往强电弧放电中投入事先混有缓冲物的细粉末样品，能保证放电的稳定性和减小近似定量分析所固有的系统误差。这样做时要注意选择与待分析样总成分近似的标样。定量光谱分析灵敏度下限为(%)：Ba 10^{-2} ；Cu、Zn $1 \cdot 3 \cdot 10^{-3}$ ；Pb、Mo、Co、Ni、Bi、V $2 \cdot 5 \cdot 10^{-4}$ ；Ag $5 \cdot 10^{-5}$ 。内检表明了光谱分析有很高的再现性。就所研究的元素来说，分析的相对平均随机误差介于12-84%之间，在该法允许范围内。

汞的测定是用灵敏度为 $1 \cdot 3 \cdot 10^{-8}$ % 的原子吸收方法进行的。

由于在确定元素分布的矿物平衡时必须利用高精度的分析数据，原岩和基准样矿物中Cu、Zn、Pb和Mo含量要用化学方法测定：Cu⁺用联奎啉方法(灵敏度为 $2 \cdot 10^{-4}$ %)，Zn⁺用双苯硫脲法(灵敏度为 $2.5 \cdot 10^{-4}$ %)，Pb⁺用加硫胺嘧啶的光谱摄像法，并按与烷基铅的反应($2 \cdot 5 \cdot 10^{-4}$ %)和Mo—按与Zn二硫羟的反应($2 \cdot 10^{-4}$ %)。用化学分析数据核查光谱分析，结果证明了后者的可靠性高。用两种方法测定的含量差异起落一般不会超出光谱分析的随机误差范围。Cu、Zn的分析结果表现了很高的一致性，Pb、Mo较差。

如上所述，为了研究元素在岩石和矿物中的存在形态，广泛应用了物相(示构)化学分析法。由于现有的金属元素物相分析方法主要是针对元素的总含量大于1%的情况研制出来的，因此，B.A.布哈洛娃提出了含微量(>0.0001 %)Cu、Zn、Pb、Mo的专门物相分析方法，这些方法从作者的资料中得到了验证。在分析过程中，划分并确定了晕内占主导地位的矿物形态：硫化物、氧化物和难提取的假定与类质同像有关的“化合”形式。有关微量Cu、Zn、Pb和Mo的物相分析的大致作法可详见原文参考文献[14]。

为了选择提取在黄铁矿中以其微包裹体形式存在的Cu、Zn、Pb、以及Mo、Co、Ni，采用了由Г.Н.扎苏欣提出的方法[32]。利用10% HCl和王水作选择溶液。Cu、Zn、Pb矿物和黄铁矿在萃取条件下的溶解度是在矿物+黄铁矿，并含待研究元素0.00n—0.0n%的人工混合物中做了检查。第一析出物—10% HCl，煮沸30分钟后—闪锌矿、方铅矿以及白铅矿、铅矾，赤铁矿和金属铜实际上完全溶解。这时，黄铁矿部分溶解—平均占总量的22%，

在水浴中加热，从强烈硫化氢发泡起 20 秒时间内余量成为第二析出物。黄铁矿溶解度在 1.0% HCl 中—1.5%，在王水 I 中—10%。难提取的“类质同像”形态的称样残留物用王水在水浴中处理 30 分钟（王水 II），这样做一般足以完全分解黄铁矿。分析了重 1—3 克，磨碎到 200—300 目（0.07—0.01mm）的黄铁矿样品。进行物相分析时用上述的化学分析方法测定了 Cu、Zn、Pb、Mo 的含量，而钴一则是按与硝基 -P- 盐的反应，镍—按与丁 = 肟的反应。

有关元素在黄铁矿和造岩矿物中的分布和存在形态，是在日立公司 XMA-5B 微探针上进行鉴定的（15KV 和 40KA）（微区为 1 微米）。测定了黄铁矿中 Cu、Zn、Pb、Ag、As、Co、Ni、Mo、Fe 和 S 的分布状态，在造岩矿物中，则测定了 Cu、Zn、Pb、S、Fe、Ba 的分布状态。拍下了各颗粒的光栅图象和浓度曲线。

样品的矿物-岩石学研究是矿物学样品研究的组成部分。根据镜下研究，对矿物共生组合进行了定性的和定量的分析，鉴定了矿物。采用矿相学方法在光片-块状试样上研究了黄铁矿和硫化物混合精矿。为了揭示出黄铁矿的标型特征还利用了电子显微镜法和进行了热电性研究。

结 果 处 理

研究晕内指示元素存在形态以及这时要解决的任务的特殊性决定了在处理获得的分析数据时，除了通用的方法外，还必须采用一系列这类工作所固有的技术方法。

资料处理的首要任务是确定岩石中浓集矿物和携带矿物。元素在给定矿物或粒级中的浓度指数为富集系数（KO），这一系数可定义为矿物或粒级中元素含量与其在整个原岩中含量之比。对浓集矿物来说，富集系数应当大于单位值。所分析矿物的和各粒级的富集系数，可揭示出许多分布规律性，并可确定这种或那种元素在岩石中存在形态。例如，硫化物精矿或重粒级矿物较之黄铁矿的富集系数值高的情况说明在岩石中固有矿物形态的重要作用，而其较低值则证明元素以在黄铁矿中富集为主。研究黄铁矿、硫化物精矿、重粒级和轻粒级矿物富集度与元素在原岩中含量的关系，研究岩石的热液蚀变类型与强度均有助于追索在近矿空间内元素赋存形态的变化。

为了查明所要研究的元素在岩石各矿物中分布状况和确定其携带矿物，采用了岩石中元素的矿物平衡算法。这一方法的实质如下，在已确定的岩石中和构成岩石的各矿物中所研究元素的含量以及矿物的定量关系（根据岩石的矿物全分析数据）基础上，求出元素在各矿物中所占份额。凡岩石中与元素的基本数量（高于其总含量 40%）有关的矿物便是该元素的携带矿物。为了说明上述的定义，现援引由列宁诺戈尔矿田贝斯特鲁申矿层晕的外带蚀变块集凝灰岩中矿物得出的铅分布平衡表（表 1）如下。

元素分布的矿物平衡构成达到平衡前作用的内部控制。考虑到矿物学分析和测定岩石及各矿物中元素微含量方法的精度（达 30%），平衡计算时，岩石中元素总含量 60% 的偏差是允许误差。在上面援引的平衡表中偏差为 11.5%，令人十分满意。但是，必须指出，对各别元素来说，偏差有时可达 100%。即使在这种情况下，也能清楚地揭示出元素在岩石各矿物中的分布规律性。

表1 贝斯特鲁申矿层蚀变块集凝灰岩中铅矿物平衡表

矿物	岩石中矿物含量,重量%	矿物中Pb含量 $n \cdot 10^{-4}$	换算成相当于1克岩石的矿物中含Pb量, γ	进入岩石中矿物的Pb %
绢云母	51.2	80	41.0	51.2
石英	35.5	3	1.1	1.4
绿泥石	7.0	60	4.2	5.2
碳酸盐	3.5	2	0.1	0.1
黄铁矿	2.5	820	24.5	30.6
合计	99.7		70.5	88.5

注: 岩石中Pb总含量为0.008%

必须把查明所研究元素的矿物平衡看成是确定元素赋存形态的一个极重要的组成部分。遗憾的是,在许多专门研究晕内元素存在形态的论文中,甚至没能列出近似的平衡表,因此,它们的主要成果只是揭示出某些浓集矿物,其结果是对元素在近矿岩石中的分布缺乏定量评价。由以上例子可见(参见表1),铅的浓集矿物是黄铁矿(富集系数=10),但岩石中Pb的主要数量(51.2%)与绢云母有关,绢云母正是携带矿物,而与黄铁矿无关(只含岩石中Pb的1/4)。元素在各粒级矿物中的分布平衡同样携带有关岩石中元素分布的主要特征的大量信息,这种平衡被认为与矿物平衡有同样的作用。

在研究近矿岩石中元素的矿物平衡时,应当考虑到,在造岩的携带矿物中,金属矿物主要以细分散硫化物浸染形式存在。这时为了确定岩石中矿物的元素分布的真实情况,计算平衡表时,利用了矿物的物相分析数据。

在处理所获得的数据时,对比研究按照岩石中总含量、重粒级中含量、硫化物精矿和黄铁矿中含量圈定的指示元素晕占有重要的地位。晕的划分和图示,以及研究它们的分带性,均利用在地球化学普查实践中惯用的方法进行。

为了说明晕内元素的浓集异常水平(晕的强度),在本书中利用的主要是各种概率的矿物异常含量值:低异常—在 Ca_1 — Ca_2 范围,中等异常—在 Ca_2 — Ca_3 范围和高异常—大于 Ca_3 , 其中, $Ca_1 = C_0 \cdot \epsilon^1$ (或者 $C_0 + S$)—概率为 84.1% 的矿物异常含量; $Ca_2 = C_0 \cdot \epsilon^2$ (或者 $C_0 + 2s$)—概率为 97.7%, $Ca_3 = C_0 \cdot \epsilon^3$ (或 $C_0 + 3s$)—概率为 99.9%。

考虑到标准偏差值,可以认为, Ca_1 一般超过背景含量 (C_0) 1.5-2 倍, Ca_2 —3-5 倍, Ca_3 —5—10 倍。

在这里还必需指出,本书中所讲的黄铁矿型矿床地球化学晕,乃是从 Ca_2 范围内划分出来的。