

岩矿测试工作展望

长春地质学院

王昭宏

地质学科发展史表明,认识岩石和矿物的技术方法的变革,极大地影响着地质学科发展的速度和水平。十九世纪二十年代,光学显微镜在地质学领域中的应用,使人们对地质由宏观物理性质、几何形状和总体化学成分的观察,发展到矿物的光学性质、地质体的显微矿物成分、地质体的显微结构和构造及其与地质体宏观现象之间的相关关系的认识,为岩石学、矿相学和光性矿物学提供了有力的实验手段。二十世纪初,X射线衍射技术的应用,又开始揭示出组成地质体的基本物理单位——矿物晶体的微观结构与宏观现象之间的相关关系,把人们的认识引进矿物的原子或分子之间关系这一层次的微观特征的领域,提供了晶体构造中的微观参量,为X射线晶体结构分析、结晶化学和矿物物理学等有关学科的发展奠定了近代实验技术方法的基础。二十世纪五十年代,特别是六十年代后,可用于岩矿测试的一百四十余种技术方法中,有二十几种相继引进地质学科,使人们能够获得小至微米级单矿物颗粒的、矿物的微米级区域的或薄层的成分、结构、构造和形貌及其在空间上的变化规律等矿物物理性质和化学性质数据,还能够获得岩矿的微量及痕量元素成分数据,加深了人们对岩矿的知识。随着这一趋势的进一步发展,势必会使地质学以全新的面貌担负起四化尖兵的职责。本文试图对岩矿测试工作的概念、特征、专业理论轮廓、技术方法的种类和发展趋势作一简略的介绍,不当之处望批评指正。

岩矿测试的概念

在地质学科中,“岩矿鉴定”这一术语主要是指矿物和岩石的识别;“岩矿分析”一词则主要是指岩矿的化学成分的查定。识别岩矿或查明其化学成分,通常不是地质工作者的最终目的,而是为了探索它们所赖以形成的地质的和物理化学的条件,它们的选

冶条件以及它们本身作为工业技术材料的使用价值等等的中期目标。随着科学技术和工农业生产的发展,对岩矿探索的内容也在不断变化和发展,需要研究的样品数量急剧增加;区测、普查找矿、矿产综合评价和综合利用、矿床形成和分布规律以及地质学的其它科学研究,也需要大量的岩矿物理性质和化学性质参数。目前已知需要和近期有可能需要探测的物理性质有:与电磁波辐射有关的性质(微波学性质、红外光光学性质、可见光光学性质、紫外光光学性质、X射线学性质及 γ 射线学性质);电学性质;磁学性质;热学性质;电子结构和能量转换性质(热致发光、热释电、热激外电子发射、磷光及阴极射线发光等);晶体表面性质;声学性质(声子与电子、原子及分子的相互作用等);力学性质;受激辐射性质;实物粒子束(电子束、中子束、质子束、离子束和原子束);辐照和放射学性质(包括辐射照射后的性质变异等);高场强(高温、高压、强电场、强磁场、强电磁波场和强声场等)条件下的物理性质;岩矿的微观结构(晶体结构、晶体缺陷及有序度等)与宏观表象间的关系、宏观形态、结构构造、粒度、单体解离度、矿物包裹体性状和成分以及岩石的矿物成分等。岩矿的化学性质有:元素(主要元素和微量元素)或其氧化物含量、有益及有害元素赋存状态、原子和离子半径、氧化还原电位、离子价态、键型、晶体的价键结构、元素组态、微量元素分配系数和比值、稀土元素模式(EER patterns)以及高场强下岩矿的物理化学性质(包括热力学性质)等等。原有的“岩矿鉴定”和“岩矿分析”定义已不能全部概括上述测试内容。除地质工作外,其它学科和工农业生产部门,特别是与工业技术材料有关的部门,对天然的和人工合成的矿物及矿物集合体(人工水晶、石英纤维、红宝石、金刚石、云母、萤石、金红石、钇钽石榴石、铸石以及陶瓷等)的物理性质和化学性质有关的数据的需要,也不能包括在“岩矿鉴定”和“岩矿分析”原有范畴内。其次,为了满足各个科学技术和生产领域对“岩矿鉴定”和“岩矿分析”提出的日益增长的需求,熟悉各种仪器装置的性能,且长年运用它们进行测试工作的人员,为了多快好省地获得数据,必

须进行技术革新、仪器研制和方法研究、数据的综合处理和解释,以及为了做好上述工作所进行的有关专业理论的研究等,也不属原有“岩矿鉴定”及“岩矿分析”概念的范畴。此外,岩矿物理和化学性质数据都是用于认识同一个对象——岩矿,只有综合性地和全面地进行分析所有的数据,才能得到比较正确反映岩矿本质的认识。而且,近代“岩矿鉴定”和“岩矿分析”仪器装置的多种单机的联机化趋势,使得一个整机往往既能用以测试某些岩矿物理性质,又能用以测试岩矿化学性质,这就不能再把有关的设备和人员机械地分成“岩矿鉴定”和“岩矿分析”两个独立的部分。基于此,可否把上述所有这些相互间存在着密切联系而又不能为原有“岩矿鉴定”及“岩矿分析”的概念所完全概括在内的工作称为“岩矿物理性质和化学性质测试”,或简称之为“岩矿测试”。综上所述,“岩矿测试”就是研究取得岩矿物理性质和化学性质的数据的理论、技术和方法,并对所取得的数据进行处理和解释的科学。

岩矿测试的专业特征

地质学的“岩矿鉴定”和“岩矿分析”技术的发展过程表明,它们都是来源于其它学科,而又应用于具有千差万别的物理性质和多种多样化学性质的岩矿这一对象,在应用过程中加以发展并形成自己的特色。

例如,光学显微镜技术方法,在1927年,苏格兰地质学家William Nicol应用显微镜研究硅化木之前,它是物理学的一种光学仪器,用于生物等对象的研究。那是一种无偏光装置的“生物显微镜”。Nicol为了研究矿物,首创了上、下偏光装置,至今还被称之为Nicol's或Nicol Prisms,由此就构成了偏光显微镜。1850年,英国的梭贝(Henry Chifton Sorby)用于研究岩石。1862年起,德国的泽柯尔(F.Zirkel)收集了世界某些地方的岩石标本制成薄片,用偏光显微镜加以较系统的研究,于1866年出版了内容较丰富的岩石教科书,1873年发表了《岩矿显微镜研究法》一书。同年,罗森布什(H.Rosenbush)发表了《造岩矿物显微镜研究》一书,他还把显微镜与旋转台组装在一起,研究了矿物晶体的双折射性质,区分一轴晶和二轴晶矿物晶体。1877年又发表

了《块状岩石显微镜研究法》。至此,显微镜用于岩矿研究的技术方法格架基本形成。

又例如,1962年研制出的激光显微发射光谱仪,次年马克斯威尔(J.A.Maxwell)就用于岩矿样品的测试。虽然该技术方法在其它科学技术和生产部门获得较广泛地应用,但最初应用于地质学科领域就遇到了岩矿样品种类繁多及其物理和化学性质极为复杂的特点,缺少行之有效的半定量和定量分析方法,使其应用一直受到一定的限制。1973年原国家地质总局实验管理处在南京召开的激光显微发射光谱分析技术方法专业会议上,提出加强这一课题的研究工作。此后,地质局系统有关单位展开了岩矿样品的半定量或定量分析方法的研究。先后提出“双谱线法”、“元素含量比法”和“基线换算法”等,取得了一定的成效。

岩矿测试领域还引进红外光谱法、拉曼光谱法、穆斯堡尔波谱法、电子顺磁共振波谱法、晶体光谱法、原子吸收光谱法、发光分析法、X射线荧光光谱法、电子探针法、离子探针法、电子显微镜法、干涉显微镜法、红外光显微镜法和中子活化分析法,还有核磁共振波谱法、核电四极矩共振波谱法、电子能谱法、电子衍射法以及多用双变折射率测定法等二十几种测试技术方法。它们都是经过简单地引进移植、或多或少地适应性地改进、不同程度地完善成熟三个阶段。虽然总的说来,在适应岩矿特性这个相当重要的方面做的工作还不多,但岩矿测试技术方法的特色已初见端倪。归纳起来,其特征包括如下三个方面:在技术上,功能宽,灵敏度和精确度高,有的为了适应野外就地及时地测试工作,还要具备轻便、稳定和坚固的特点;在方法上具有普适性的特点;在专业理论和数据解释方面侧重于阐明所获得数据与岩矿形成及演变过程中的物理化学条件的相关关系。

已有的岩矿测试技术方法都是来源于其它学科,甚至开始引进阶段是基本相同的。但随着应用的不断发展,它必将形成某些本学科独有的内容。

岩矿测试技术方法的专业理论—— 岩矿信息理论

目前尚未建立较系统的岩矿测试专业理

论。正如岩矿测试技术方法是来源于其它学科的情况相似,现有的各类岩矿测试技术方法的专业理论,基本上也是来源于其它学科。因不同学科测试内容不尽相同,所用的测试技术方法也不完全一样,有关人员所关心的专业理论的侧重点也不一致。所以,虽然应用于一定范围(如固体表面相的研究)的某些仪器装置,有的已组装成一个整体联机使用(如英国的ESCA—3型电子能谱仪等)、专业理论趋向于统一(如电子能谱理论、凝聚态物质表面相理论等),创办专业刊物*、专著和文集也陆续出版**。但更大范围的能概括各类测试技术方法的专业理论的著述尚未见报道。而现代岩矿工作,几乎可以用得上已有的各种测试技术方法,但因岩矿样品的物理性质和化学性质极为复杂,简单地移植使用效果并非总是理想的。为了充分利用已引进岩矿测试领域的各种技术方法的功能以提供更多信息,为了对各种信息进行地质解释以及为了适应日益增高的地质工作的要求而进行技术革新和方法研究,甚至仅仅为了引进更多的新技术方法,应该加强岩矿测试专业理论工作。我们概略地分析一百四十余种测试技术方法的专业理论,初步认识到其中一百二十多种的专业理论可概括于一个在理论上紧密相关的范畴之中,暂称之为“岩矿信息理论”。所谓岩矿信息是指人们预先不知或不全知的地质作用最终产物——岩矿的物质成分和岩矿的各层次的结构(原子核与受其约束的一群电子之间的静电力和电子被模式的组合方式、离子或原子间的空间分布方式以及各相之间的组合方式)等物理的及化学的性质,以及它们所能反映的地质作用的物理化学条件。也可以说人们事前不知或不全知的地质作用的“史料”——岩矿信息被“记录”在岩矿这一“介质”之中,岩矿就是一种地质作用的信息源。这些信息源有的可以自发地发出信息,如放射性元素的各种射线以及磁性矿物的磁场等,这类信息是较少的;另一种则需要通过一定手段使之转变为能被某种换能器转换为易于加工处理的物理量,即岩矿信息的激活,这类需要激活才能被人们探测的信息是大量的。信息由其载体(如实物粒子束、电磁波、声波和磁场等)输送到检测器中去,即信息的传输;而后通过一定的物理

或化学过程,把已由换能器等所转换的物理量用某种检测器接收下来,即信息的检测;而后通过一定的显示器把信息以图象、编码或字符的形式输送出来,即信息的显示;而后对所显示出的数据进行处理、解释和存储,从而完成岩矿物理性质和化学性质测试的整个程序。所以岩矿信息理论包括三个基本部分:物质结构、信息的激活和数据处理、解释及存储。至于信息的探测则属技术方法的范畴。

物质结构:包括岩矿各层次的构成及其与岩矿宏观表象之间的关系。可按照“几何学”的观点用物质的静态特性——分子、原子或离子之间的空间分布去描述;还可按照“动力学”的观点,用动态特性——粒子间作用力和电子云分布及能级结构去描述。根据地质科学的内容,则可以把岩矿形成时和形成后演变过程中的岩矿静态特性及动态特性的信息看作是被“记录”在岩矿的三个范畴内,即承载于三个岩矿的层次里:原子核、离子或原子,分子或矿物晶体,矿物集合体——岩石(包括矿石)。

信息的激活:包括射束的性质及其与物质的相互作用。虽然由于岩矿信息隶属于不同的三个层次,其激活方式也不尽相同,但信息的激活基本都是射束与各层次物质相互作用的结果。射束可划分为三类:实物粒子束,即分子束、原子束、离子束、质子束、中子束和电子束等;电磁波束,即 γ 射线束、X射线束、紫外光束、可见光束、红外光束和微波束等;声波束,即特超声束、超声束和声束。原子核承载的信息能被离子束、质子束、中子束和 γ 射线束等激活;自由离子或自由原子以及含有部分充填的d壳层或f壳层的元素的晶体的能级结构是分立的,通常能为电子束、X射线束、紫外光束和可见光光束以及高频电磁波等激活;自由离子承载的信息还能为静磁场或静电场激活;分子或晶体的离子和原子(含有部分充填的d壳层或f壳层的元素除外)的外层电子

*如Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena及Journal of Vacuum Science and Technology, Devoted to Vacuum, Surface, Thin Film and Interface Science and Technology等。

**如A. Van Oostrom, 1977, The Solid-Vacuum Interface V (North-Holland Press)等。

受周围配位体及凝聚态物质整体电场和热扰动的影响,其能级结构往往不再是分立的。其中具有带状能级结构的分子和部分晶体,能为红外光束或微波束激活,其离子或原子所承载的信息以及离子或原子的内部壳层的电子所承载的信息可被离子束、中子束、质子束、电子束、 γ 射线束、X射线束、紫外光束以及特超声束等激活。

由于岩矿的性质不同和用以激活信息的手段的差异,信息的载体和信息的传输方式也不尽相同。例如,以离子束为激发手段,可激发出携带着信息的一次散射离子、二次离子、俄歇(Auger)电子和X射线等;电子束可激发出携带着信息的一次电子、二次电子、背散射电子、透射电子、衍射电子、俄歇电子、 α 射线、紫外光和可见光等;质子束可激发出携带着信息的散射质子、透射质子、X射线和活化原子核等;中子束可激发出携带着信息的散射中子、衍射中子以及活化原子核等;光子可激发出携带着信息的光子、光电子和俄歇电子等;声子束可激发出携带着信息(形貌、密度、应变模量及晶体结构等等)的声子及被调制的光子。信息的载体不同,换能器也不一样,但主要是光电换能器。检测器和显示器是一些机械的、化学的、液晶的和电子的显示器及一些成象放大装置。

数据处理和数据解释。显示器输出的图象、字符和编码等资料可分为能直接应用的和需要进一步加工处理的两种。前者从测试仪器终端装置取出即可用来表示样品的某些特征,如元素或化合物的百分含量,光学显微镜测出的矿物含量和矿物几何形态等;后者则必需通过计算和对比等程序进一步加工后方可用以表明岩矿的一些性质,如X射线衍射图象,需要换算成晶格结构参数等。此外,还要阐明这两类数据与岩矿样品及有关的地质体形成过程的物理化学条件的关系。

岩矿信息理论的研究,既是我们多快好省地引进、掌握和改进研制各种新技术方法的基础,也是我们对所获得的原始数据进行加工处理和地质解释的基础。目前分散于各个技术方法领域的专业理论,有的较为成熟,有的正在探索,有待于今后大力加强这方面的研究工作。

岩矿测试技术方法的种类

近二十多年来,物质性质的测试技术的发展极为迅速,原有的技术方法也有很大改进。就目前已知的有可能用于岩矿工作的单机测试技术方法(即非多种仪器装置的联机)约有一百四十余种。为便于了解、引进、掌握并使之适应岩矿测试工作的要求,我们有必要对它们加以分门别类。分类的基本原则是依据各个技术方法的信息激活的机理、主要信息的性质和测试技术的主要特征等方面的个性和共性。据此初步划分为五类。

1. 能谱(或波谱)技术方法类

(1)共振能谱法亚类:主要是基于物质与入射射束间的共振效应所反映的物质的能级(或能带)结构,以观测物质的化学性质和结构构造等特征。

本亚类分为电子顺磁共振波谱法、核磁共振波谱法、核电四极矩共振波谱法、电子自旋共振波谱法、激光-微波波谱法、红外吸收光谱法、晶体光谱法、光声光谱法、原子吸收光谱法、共振荧光光谱法、X射线吸收光谱法、 γ 射线共振波谱法、声子谱法(Acoustic Phonon Spectroscopy)、调制激子谱法(Modulation Exciton Spectroscopy)以及共振电离光谱法等15种31个技术方法。

(2)发射能谱法亚类:主要是用各种激发手段使物质的能级发生跃迁产生相关辐射等,以观测物质的化学成份和结构。

本亚类又分为11种38个技术方法。如红外光发射光谱法、可见光-紫外光荧光和磷光光谱法、可见光-紫外光发射光谱法、X射线发射光谱法(包括电子探针等9个技术方法)、软X射线显现电势法、质谱法(包括二次离子探针和光解离谱法等7个技术方法)、电子能谱法(包括俄歇电子能谱法和场电子能谱法等6个技术方法)、热发光法、饱和无共振发射光谱法、自动快扫描发射光谱法及快扫描干涉分光光度法等。

(3)散射能谱法亚类:主要是根据射束在和物质相互作用中发生非弹性散射效应的能量变化与其能级结构的相关关系,探测物质的结构及成份等物理性质和化学性质。

本亚类共分6种11个技术方法。如拉曼

光谱法(包括拉曼探针法、相干反斯托克拉曼光谱法及波长调制拉曼光谱法等6个技术方法)、布里渊散射光谱法、中子散射能谱法、一次离子散射能谱法和X射线散射能谱法等。

2. 射束衍射技术方法类

主要是利用晶体对X射线束、电子束和中子束等的衍射效应以观测晶体的结构。包括三个亚类。

3. 显微成像技术方法类

(1)常规光学显微镜法亚类:借助于光学透镜成像技术以观测物质的形貌和结构构造等物理性质,又分为多用双变折射率测定法、干涉显微镜法和费氏台法等13种16个技术方法。

(2)扫描光学显微镜法亚类:应用电磁波束的反射、散射和光电效应等以观测物质的微细颗粒的物理性质。包括扫描光学显微镜法、光电子显微镜法和热释电激光扫描显微镜法3种5个技术方法。

(3)光学全息显微镜法亚类:基于相干光全息照象和全息干涉技术以观测物质的三维形貌、折光率和光弹性特征等,X射线激光和相干电子束的出现有可能用于晶体三维结构的直接观测。本亚类包括激光全息显微镜法、激光全息干涉法、X射线干涉法和电子全息显微镜法等4种5个技术方法。

(4)带电粒子束显微镜法亚类:用电子透镜成像技术或单独的带电粒束成像技术以观测物质的形貌及结构构造。本亚类又分为电子显微镜法、质子显微镜法、场电子显微镜法、激光一离子显微镜法和场离子显微镜法等5种7个技术方法。

(5)声学显微镜法亚类:主要是基于物质的弹性常数等的差异及声束聚焦成像技术以探测物质的力学性质及结构等。本亚类包括声全息显微镜法和声显微镜法两种技术方法。

4. 放射性元素分析技术方法类

(1)活化分析技术方法亚类:用中子、带电粒子和光子辐照样品,使之成为放射性同位素,按照其半衰期和所辐射的光子等的能谱以探测其化学成份。本亚类包括中子活化法、带电粒子活化法和光子活化法3种技术方法。

(2)辐射损伤法亚类:包括裂变径迹

法、脱晶法和多色晕法等3种技术方法。

5. 其它测试技术方法类

包括色谱分析法亚类、电化学分析法亚类、经典化学分析法亚类和热分析法亚类等13种技术方法。

以上所列单机测试技术方法中,有一些还可互相组装成联机,有的还在革新改进之中,此外,随着科学技术的进展,新的测试技术方法也在不断的出现,所以上述分类在变更之中。

发展趋势简介

岩矿测试工作发展趋势可概括为测试学科的和具体技术方法的两个方面,简述于下。

根据已查阅到的文献可知,近20多年来已出版几十部有关仪器装置、测试方法和专业理论方面的综合性专著,发行十几种综合性刊物,出现了早期是分立的一些技术方法的专业理论和仪器装置相结合的趋势,应用于岩矿测试工作中的一些技术方法已取得良好的成效,今后必将引进更多的新测试技术方法,以满足地质部门及其他工农业生产部门等对我们提出的日益增高的要求。

在国内,一些地质生产单位已建立岩矿分析和岩矿鉴定中心实验室,一些教学单位已设岩矿分析专业或开办岩矿鉴定培训班,有的正在筹建岩矿测试专业,科研单位和个别高等院校设立了岩矿测试研究所或研究室,1980年成立了中国地质学会岩矿测试专业委员会,全国已初步形成岩矿测试方面的专业队伍,有专有的研究对象一岩矿,已陆续出现了一些仪器装备系列(如电子显微镜一电子探针一电子衍射仪等微电子束测试装置系列等);虽然就已引进岩矿测试领域的每个技术方法而言,在形成本专业特色的程度方面有所不同,但都或多或少地积累了一些资料,有的已形成自己的体系(如岩矿光学显微镜测试技术方法等);即使目前还没有统一、完整和成熟的具有本专业特色的专业理论,而成因矿物学、矿物物理学、原子物理学、光学物理学、材料科学、结构化学、晶体场理论、分子轨道理论以及分析化学等学科的基本理论可资引用作为基础。所以,目前已显现出地质学科的一个分枝学科一“岩矿测试学”的苗头。

岩矿测试仪器装置的整机基本上沿着三个方向发展：一是发展轻便—遥感或就地—适时地获得数据的测试技术方法；二是研制生产优质（高灵敏度、高精度、高准确度、高分辨率和多功能）—快速—自动化地获得数据的技术方法；三是把一些技术上相关的仪器装置组装成一个整机，多机联用。

电子计算机的应用日益广泛，极大地促进了测试工作发展。例如，它可用以进行操作参数和操作程序的控制、背景的扣除、干扰因素的修正以及标样校准等；可用于波谱分析的傅里叶变换和哈达马德变换等进行快速复杂的运算；可用于数据存储、检索、对比和图形辨认等。例如，美国加州大学劳伦斯—伯克利实验室的中子活化分析仪，利用电子计算机进行程序控制，实现自动进样和连续分析，每批可做300多个样品。

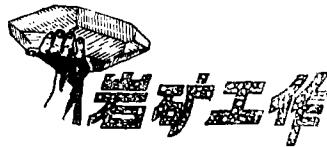
广泛地引进物理学、化学、电子学和数学的新理论和新技术。例如，红外光谱和核共振波谱采用傅里叶变换系统和哈达马德变换系统使分析灵敏度提高2~3个数量级，测试速率提高几千倍，样品量减少到毫克级，能一次获得多至五种组分的混合物中每个组分的相应光谱数据；可调谐激光器用于红外吸收光谱法把分辨率提高了几个数量级。

标样的制备及其研究工作受到了重视，随着新技术方法的日益广泛地应用和仪器分析法所分析的样品数量的增大，需要标准样品对各个技术方法进行检验和校准。此外，逐渐增多的微区和微粒样品的测试也需要物理性质及化学性质充分均匀的标样。所以，标样的制备确是相当重要的。

综上所述可知，岩矿测试工作正在受到人们更大的关注，正在发展测试工作的仪器化和仪器的自动化。我们应尽快创办岩矿测试学术刊物，还应加强物理性质及化学性质变化幅度大的岩矿微区和微粒样品的测试技术方法的研究工作，特别应加强岩矿测试专业理论的研究工作。

主要参考文献

- (1) 中国科学技术情报研究所，出国参观考察报告—美国化学（催化、分析化学、高分子物理）研究情况，(77)016
- (2) Anderson, C.A., Microprobe Analysis, John Wiley & Sons, New York, 1973
- (3) Faliev, L.M., Light Scattering in Solids, Paris, Flammarion, 1976
- (4) Marton, L., Methods of Experimental Physics, Academic Press, New York and London, 1974
- (5) Modern Instrument Methods of Surface Analysis 29th Annual Summer Symposium on Analytical Chemistry, Arizona State University Tempe-photoenix, Ariz. June, 3—5(1976)
- (6) Nicol, A. W., Physical-chemical Methods of Minerals Analysis, New York Plenum press, (1975)
- (7) Anal. Chem. Fundamental Reviews, v. 48, No. 5, 1976; v. 50, No. 5, 1978, v. 52, No. 5, 1980
- (8) Аманназаров А., Классификация аналитических методов и анализаторов, Проб. Сист. упр. т.20, №10, 15—17, 1975



加工红土型镍矿石的新技术

1980年美国矿业局的冶金中心拟定了一套熔化和精炼红土型镍矿石的新技术。其操作步骤是：将混有少量黄铁矿的红土镍矿烘干，然后焙烧。接着在温度为550~650°C的条件下通CO加工产品，以选择还原镍、钴和少量的铁。冷却之后材料氧化以使铁分离出来，并用含氮溶液进行处理。最后通过化学方法从所得到的溶液中提取钴，而剩余的镍则用电解分离。

余传菁译自：《Экспресс-информация》，
Вып. 6, 1981, стр. 10~11

萨得伯里炉渣中的钴

加拿大研究出一种从炉渣中提取钴的技术，而这些炉渣都是从处理萨得伯里含镍矿石的过程中获得的，过去一向被视为废物。如果半工业装置试验得以成功，那么就要建立炉渣电熔车间。据说，这项新技术可以使INCO公司钴的产量增加到1360吨/年。

余传菁译自：《Экспресс-информация》，
Вып. 6, 1981, стр. 12