硫化镍矿床的类型及其成矿富集作用

周作峡

建国以来，我国镍矿资源有了很大的发展，然而与飞速发展的社会主义建设事业相比，仍显得不够适应。国外镍金属消费量与钢产量之比大约是千分之一。为了迎接我国钢铁工业的更大发展，我们仍需大力寻找镍矿。

硫化镍矿是我国镍矿找矿勘探的一个主要方向。红土型镍矿在国际上虽有较大发展，但在我国尚未发现，冶炼技术要求也较复杂。硅酸镍矿由于选冶条件所限，国外发展也很慢。至于沉积型铜-镍和铂-镍矿床，虽有综合利用意义，但远不如硫化镍矿价值高。

我国基性-超基性岩带（岩区）已发现有十数个，目前找矿勘探程度很不一致，硫化镍矿找矿远景十分广阔。

硫化镍矿床的类型

为了便于找矿、研究成矿规律和探讨矿床成因，我们将硫化镍矿床分为如下六个类型（见表）。

这个类型划分，仅是一个初步尝试，随着生产和科研工作的发展，必会有所突破、修补，甚或进行根本性的改正。一个分类，除需如实反映自然界客观情况外，并应尽量简化，便于使用和记忆；自然应包括主要矿床之基本特征及其相互间的区别。现将本分类说明如下。

①本分类以岩体类型为基础，因为岩体与矿体关系密切，它们或是母子关系，或是兄弟关系，而且是找矿中首先碰到的，似比以矿体作为分类基础更优越。

②矿床按含矿岩相固然可大致分为含于橄榄岩相和含于斜方辉岩相中的矿床；按硫化物富集状况可分为深部熔离似层状矿床和深部熔离贯入单斜状、岩墙状矿床；按岩体分异作用可分为以动力为主、重力为辅和以重力为主、动力为辅的单斜状、岩墙状和似盆状矿床；但其概括均嫌过简，而达不到分类的目的，故本文只把这些作为分类特点提出。

③硫化镍矿床之地质特征皆很近似，如构造条件、矿石类型和矿物共生组合等，难于作为分类基础。而工业矿石之Ni/Cu比值、岩体之M/F比值及磁黄铁矿与镍黄铁矿含量之比值则有明显差异，并可反映矿床形成之共性与个性。对此，本分类中给予了适当注意。

④表中未提及热液矿床，如脉状含银镍钴矿床，这类矿床在我国尚不知何处有所发现。它的矿物组合是红砷镍矿、砷钴矿、砷镍矿、辉砷钴矿、辉银矿、方铅矿和黄铁矿等，脉石主要是石英、碳酸盐及重晶石等。

⑤分类表中深变质蛇纹岩-滑镁岩-石英菱镁岩型，是个新类型〔9〕，值得注意。以西北乙镍矿为例，地表已看不到超基性岩原岩形态，仅显微镜下略见残迹，如蛇纹石、绢石，可能与橄榄石和斜方辉石有关。矿体呈似层状、透镜体状，矿石呈浸染状和大斑点状，个别处发现致密块状矿石。除常见的镍矿物组合外，还有针镍矿和硫钴矿，后生的黄铁矿也很发育。岩心中可见似陨铁结构痕迹。矿化往深处有变好的趋势，一般矿石品位贫，但规模较大。

⑥东北某镍矿之一号与七号岩体特征，从深部熔离观点分析，可能是同源的，但岩体含矿类型迥然有别，为便于今后找矿，划作两个类型。

⑦此分类特征以我国已发现的典型矿床实例为基础，也适当参考了有关资料。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

硫化镍矿床类型

矿床类型＼项目	岩体形态规模	矿体形态和产状	主要工业矿石类型	矿物共生组合：磁黄铁矿与镍黄铁矿含量比值	镍品位及Ni/Cu	岩体M/F	构造特征及围岩	岩浆分异作用	硫化物富集形式	典型实例	类似实例
(一)橄榄岩—二辉橄榄岩型	单斜状岩墙状长数千米宽数百米	似层状和透镜体状	陨铁结构和稠密浸染状、浸染状、块状	镍黄铁矿或紫硫镍铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿 1.8～2.5	>1% 1:2	3.5～5	两构造单元之间大断裂有关次级断裂附近。片麻岩大理岩	动力分异作用为主	深部岩浆熔离作用	西北甲镍矿	—
(二)橄榄岩—辉长岩—闪长岩型	单斜状似盆状长千余米宽数十至数百米	似层状透镜体状	陨铁结构、浸染状、斑杂状及块状	镍黄铁矿磁黄铁矿黄铜矿 3.5	>1% 1:2	1.5	稳定地盾边缘大断裂有关次一级裂隙附近。片岩、石英岩和大理岩。	动力分异作用为主	深部岩浆熔离作用	西南某镍矿	新疆某矿点、滇西某矿、滇西南矿点、滇桂矿点。
(三)橄辉岩—橄榄岩—辉长岩型	似盆状长千余米宽数十米至数百米	似层状透镜状	陨铁结构及浸染状	镍黄铁矿磁黄铁矿黄铜矿 1.7～2	<1% 1:4～5	4～6	两构造单元间大断裂有关次级裂隙附近。片麻岩	重力分异作用为主	深部岩浆熔离作用	东北某镍矿（1号岩体）	—
(四)斜方辉岩型	岩墙状长数百米宽数十米	似层状透镜状	陨铁结构、稠密浸染状及块状	镍黄铁矿磁黄铁矿黄铜矿 1.5～1.7	>1% 4.8:1	4.8～5.7	两构造单元间大断裂有关次一级裂隙附近。片麻岩	动力分异作用为主	深部岩浆熔离作用	东北某镍矿（7号岩体）	川西南某矿点等。
(五)未分异辉长岩型	岩墙状长数百米宽数十米	柱状脉状	块状、角砾状及浸染状	镍黄铁矿辉镍矿及紫硫镍铁矿磁黄铁矿黄铜矿 20～23	<1% 1:2	0.6	稳定地盾边缘。片麻岩	不明显	深部岩浆熔离贯入式	河北香山	辽宁某矿化点陕西某矿化点。
(六)深变质蛇纹岩—滑镁岩—石英菱镁岩型	板状不规则状长数千米宽数十至数百米	似层状	浸染状斑点状	磁黄铁矿镍黄铁矿黄铁矿黄铜矿针镍矿硫钴矿 9.2～21	<1% 10:1	7～8:1（最高10:1）	与大断裂有关	不清楚	不明	西北乙镍矿	—

硫化镍矿床的成矿富集作用

（一）历史回忆

硫化镍矿床的成因争论已有几十年了。1883年加拿大肖德贝里矿区发现后，Coleman和Callins〔4〕先后提出岩浆分异假说；同时，与其相对立的热液交代假说由Knight、Phemister和Yates等人提出。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

在苏联，Елисеев父子主张热液说，而其他人多支持岩浆说〔5〕。近年来，A.J.Naldrett等人〔6〕提出硫化作用成矿说，实际是热液说的一个变种。矿床成因的研究，有助于评价矿床和指示找矿方向，因而为广大地质人员所重视。

（二）问题产生

在我国若干镍矿床的找矿、勘探、生产和科研工作中，不少地质工作者对硫化镍矿的成矿作用提出过许多看法。我们在科研工作中也碰到一些问题，如硫化物是岩浆熔离的，但是否是直接从伴生岩体中熔离出来的？以矿体与岩体之体积比计算结果表明：西南某镍矿矿体约占20%，西北甲镍矿估计为33～50%，而东北某镍矿七号岩体几乎100%为矿体。这样多的硫化物是从较小的伴生岩体中分异或熔离出来的吗？值得怀疑。

根据不同岩相求出岩体总重量，再与所得镍金属量之比求出单位重量中镍含量（克/吨值，称为含矿特征）。用此方式计算了西南某矿与肖德贝里岩体的含矿特征，则前者竟比后者高达180倍。同样，前述我国几个镍矿的硫化物含量亦高，而伴生岩体相对较小。可以认为，这些硫化物是深部熔离的，即在深部更大范围内熔离、富集，而后与岩浆一起上升到近地表的岩浆室（有人这样称呼岩体存在部位）赋存下来。硫化物与其伴生岩体在深部至少部分属母子关系，而上升后它们仅能称为兄弟关系。

弗格特曾指出〔7〕，镍铜硫化物矿床的大小与侵入体大小之间存在着某种关系。他发现较大的挪威矿床产于较大的侵入体中，小的矿床产于小的苏长岩体中。这种看法曾经束缚了一些地质工作者。现在逐步认识到事实并非如此。如上所述，小岩体有时亦含大矿。这就打开了找矿和勘探的眼界。

既然硫化物是深部熔离的，与其伴生的岩体是兄弟关系，那么，就可能出现：岩体小而矿大、岩体大而矿小或无矿等各种情况。总之，岩体与矿体规模间并无一定比例关系。因此，不但要研究矿体与岩体的关系，而且要研究岩浆和硫化物同时上升过程中的关系。尽管伴生岩体与矿体之间不完全是母子关系，但它们在深部有同源联系，故其间规律的研究，对找矿和勘探是有指导意义的。

（三）通道

基性-超基性岩体的分布与深断裂及其旁侧的次一级裂隙形态密切相关。一般来说，岩浆沿裂隙上升并不是平衡的，而是有重点突破；不过突破点有时是一点，有时是数点，此即所谓通道。通道的特点，不但控制岩体形态，而且影响矿体的分布。例如，西南某岩体的通道，即在岩体的中部偏南，岩浆上升后沿裂隙向南北两方向流动，矿体赋存于通道附近及其运动方向上（图1）。

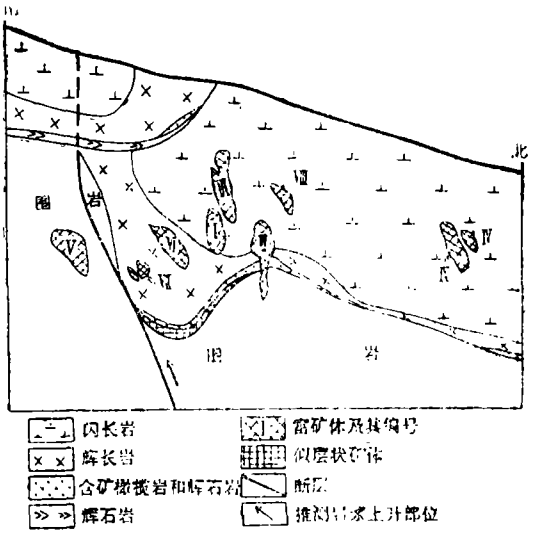

图1　西南某镍矿致密富矿体纵投影示意图

岩浆沿断层上升，在靠近通道的岩体中橄榄岩相（Б）含矿，而向南、北两个方向，距通道越远矿化越弱。而由致密矿石组成的富矿体，几乎都分布在通道附近。矿体呈透镜体状，产状陡立，延深大于厚度2～4倍。远离通道端，矿体产状变缓。说明富矿体本身也是伴随岩浆从深部上来的。

此外，西北甲镍矿Ⅱ矿区亦见矿体延深达千余米，矿也最富，其形成同样可能与通道有关，但有待进一步研究。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

（四）岩体形态、产状及矿体赋存部位

根据形态和产状，岩体大致可以分为两类：一种是似盆状，岩体横剖面两侧几乎对称，矿体赋存于岩盆底部，岩体上部仅见上悬贫矿体。如东北某矿一号岩体（图2）。该岩体分相清楚，从下而上为含矿橄辉岩相（占4％），橄榄岩相（89％）、古铜辉岩相（6％）和辉长岩相（1％）。另一种为单斜状、板状、岩墙状岩体（图3）。岩体分异现象亦很明显。西南某镍矿岩体从下向上，或从左而右分别为含矿橄榄岩相、辉长岩相和闪长岩相。矿体多沿岩体一侧富集。据统计，我国目前已发现的含矿岩体以后者居多。

（五）动力分异作用

恩格斯说：**“宇宙中的一切吸引运动和一切排斥运动，一定是互相平衡的。”“所以一切运动的基本形式都是接近和分离、收缩和膨胀，——一句话，是吸引和排斥这一古老的两极对立。”**上述岩体形态的产生，恰是岩浆活动的吸引、排斥运动平衡的反映，是重力（即吸引）和动力（即排斥）作用的结果。否定了重力不会有岩浆活动，否定了动力也不会有岩浆活动。如肯定重力作用对岩浆分异有影响（这一点早已被人们肯定），那么，也必须承认动力作用在岩浆分异中的重要意义（这一点尚未为所有人所接受）。

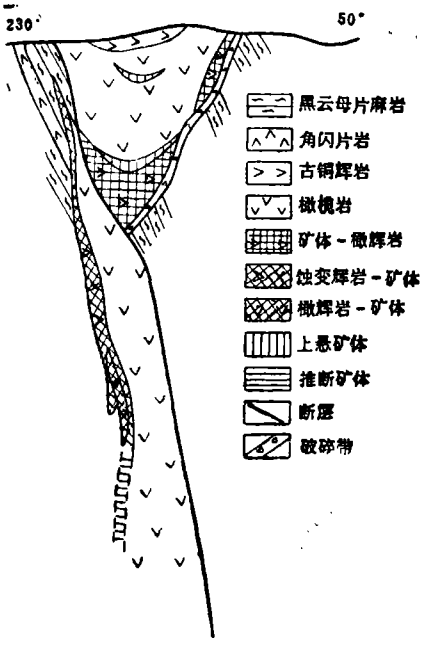

图2　东北某镍矿1号岩体22线剖面图

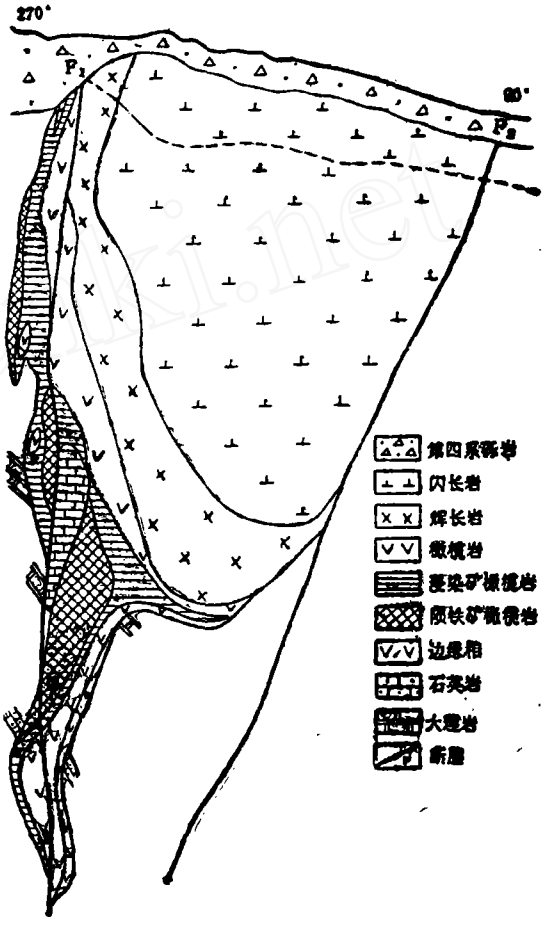

图3　西南某镍矿1线横剖面示意图

著名的鲍文反应系列特别强调了重力作用，而П.Н.克鲁鲍特金认为，岩浆在极深处粘度大，重力分异不可能，有决定意义的是动力分异作用〔8〕。其实，岩浆活动从一开始，重力和动力作用也就开始了。不过某一阶段是重力作用为主，而另一阶段转变为动力作用为主，即作用的主要方面在不同阶段有所侧重而已。

一般来说，似盆状构造的岩体，由于其形成的地质环境比较稳定，岩浆上升后。在较长的时间内并未凝固，受重力作用影响较充分，故最后凝固成岩盆状岩体。而单斜

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

状、岩墙状、板状岩体，则是在地质环境不甚稳定的条件下，重力作用不明显，而是动力（即上升的排斥力）为主的情况下并迅速凝固的结果。加拿大肖德贝里岩盆和我国东北某镍矿一号岩体是重力作用为主的情况下形成的，而我国西北甲镍矿的似板状、单斜状岩体，西南某镍矿的单斜状岩体，是动力作用为主的条件下形成的。

（六）基性岩浆中硫化物的熔离与橄榄石

奥尔善斯基、弗格特等人〔8〕根据实验室研究结果认为，硫化物在相当于基性-超基性岩成分的硅酸盐内有熔离现象。但在自然界中岩浆深部硫化物是如何熔离的？有待进一步分析研究。

海绵陨铁结构矿石是岩浆熔离矿床的典型矿石；主要表现为硫化物包围橄榄石，硫化物联接起来，橄榄石成孤岛状。其特点是：①这种结构中，未见到橄榄石集中并被包围在硫化物里的现象，而总是比较均匀地分布于硫化物中。这说明先熔离出来的硫化物，把后结晶的橄榄石逐渐包围起来。②硫化物与辉石、斜长石的含量呈反消长关系，而与橄榄石呈正消长关系。在西北甲镍矿、西南某镍矿都有这种现象。

当然，由于硅酸盐酸度的增加，也有橄榄石先结晶，而使硫化物富集起来的情况。例如我国东北某镍矿一号岩体中的上悬矿体即可能是这样形成的，但多属贫矿；较酸性岩相中之矿化亦多属此类，但都需进一步研究才能肯定。

总之，橄榄石的结晶与硫化物的熔离密切相关。橄榄石也是在岩浆由深部上升前结晶的，由于上升过程中长距离的运移和溶蚀，而使其边缘圆化，有时在矿体边部可见流线构造。所以，橄榄岩相与矿体总是比较密切的共生。苏联Годлевский曾经指出〔3〕，硫化物溶离与橄榄石结晶是同时的。

应当指出，上述现象绝不能认为所有橄榄石或其形成的岩相都有矿化，事实并非如此，这主要看岩浆中硫化物熔离条件及所含硫化物的浓度。肖德贝里是苏长岩含矿、东北某矿一号岩体是橄辉岩含矿、七号岩体是顽火辉岩含矿，显然，硫化物熔离还有另一情况，即橄榄石结晶后，或根本不存在橄榄石结晶条件只有斜方辉石结晶的情况下，硫化物熔离与斜方辉石相伴生，这是与前一情况大有区别的。

（七）基性岩浆中硫化物熔离与氧化作用

氧化作用在硫化物熔离过程中起着很大的作用。Richardson，Fincham和Nockold指出〔2〕：（FeO）是岩浆中影响硫化物溶解度的主要成分。Nockold计算了地壳中普通元素的金属氧化物和硫化物键能比率（Me-O/Me-S），表明Fe^{+2}离子的键能比低于其他主要阳离子。他指出，岩浆中S^{-2}优先置换与Fe^{+2}结合的O^{-2}。Richardson和Fincham研究炉渣中S^{-2}的活动性能时，也得出了相同的结论。由此我们可以归纳出如下两点：①Fe^{+2}键能比率低于Mg^{+2}，因而Mg^{+2}不如Fe^{+2}易置换；②FeS键能比率高于FeO，因而FeO又较易于被置换成FeS。

由此设想基性岩浆硫化物熔离条件可能有如下简单的反应式：$4FeO+S^{-2}-2e\rightarrow Fe_3O_4+FeS$。必须肯定，岩浆中的化学反应是很复杂的，并且受各种因素控制。现在既不能对那种化学反应全部了解，又不能对各种控制因素给予确切回答。但是，岩浆的演化过程必然会在整个岩浆岩形成过程中有所反映。上述简单反应式，应该认为是岩浆演化到一定阶段，S^{-2}离子浓度逐渐增加，增加的S^{-2}浓度有可能替换O^{-2}，从而开始形成FeS与硅酸盐氧化物的不混溶体。与此同时，在氧化条件下有磁铁矿产生。早期自形磁铁矿的形成与橄榄石几乎是同时的，这在一些镍矿床中是最常见的。Emslie和Hoore指出过[2]：Lynnlake，Manitoba铁镍硫化矿床分离过程，氧化作用十分迅速。很明显，在上述反应式的条件下，若Ni离子达到一定浓度，即可形成镍黄铁矿；否则，只能产生磁黄铁矿或含镍磁黄铁矿。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

我国西南某镍矿金属矿物结晶顺序由早到晚，大致可分为五个阶段：①磁铁矿（Fe_3O_4）自形晶体；②磁黄铁矿（$Fe_{1-x}S$）和镍黄铁矿〔$(Fe, Ni)_9S_8$〕、黄铜矿（$CuFeS_2$）；③黄铁矿（FeS_2）；④方铅矿（PbS）、淡红辉铁镍矿（$FeS \cdot Ni_2S_3$）；⑤磁铁矿细脉。不难看出，其结晶过程乃是氧化与还原交替进行的过程，上述各阶段的氧化还原情况是：①Fe^{+3}→②Fe^{+2}；②S^{-2}→③S^{-1}；③S^{-1}→④S^{-2}；④Fe^{+2}→⑤Fe^{+3}，由此可见，不但硫化物熔离需要氧化条件，结晶过程也很需要。

（八）构造对岩体群的控制

岩浆深部硫化物的熔离作用，不但是在动力作用下进行，而且也是在氧化条件下发生的。因此，基性-超基性岩成矿带几乎都与构造运动及大断裂的形成有关。伴随构造运动的多次岩浆活动以及深大断裂的多次复活，是出现上述成矿有利条件的基本因素。

我国的几个含镍矿床之岩体，也说明了上述认识。东北某镍矿岩体的分布与辉×河大断裂的次一级裂隙有关（图4），西南某镍矿岩体分布与安×河大断裂的次一级裂隙有关；西北甲镍矿岩体分布与××山大断裂的次一级裂隙有关。

含矿岩体的分布与构造的关系，可以归纳为如下几点：

①含矿性较好的岩体多半分布在两个性质不同的区域性构造单元的接触带附近，一般在大断裂的一侧，并与较稳定地块的次一级断裂有关。

②含矿岩体分布在稳定地台的内部，离深断裂越远，矿化越差。

③成群出现几个岩带时，矿化好的岩体往往基性程度高、分异好。这些岩体常有规律地出现在一个构造带上。

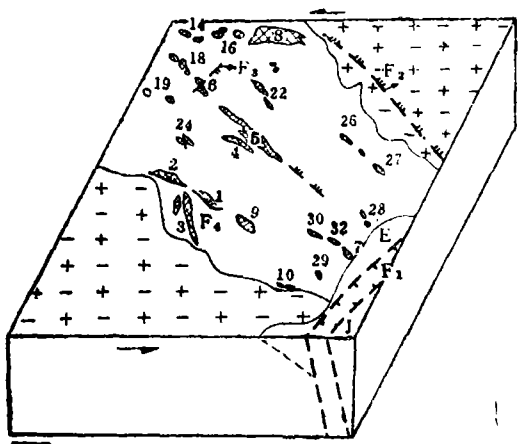

图4　东北某矿构造图

至于岩浆如何形成似乎超出了本文讨论的范围。基性-超基性岩带的分布似与板块中岛弧有关。上田诚也、Oxburgh和Turcotte〔1〕提到"俯冲下去的板块和另一个被带动下沉的板块发生摩擦是产生高的地壳热流量和岩浆的原因。"Wallace H.Maclen〔2〕提到基性岩浆形成是在地幔深30～400公里处，各种超基性岩物质部分熔解产生的。这两种看法结合起来，作深一步研究是可取的。

结　论

本文所讨论的问题中心，认为硫化物是岩浆深部熔离的产物。因此，与硫化矿体伴生的岩体并不是直接分异和熔离矿体的母岩体。由此得出结论：硫化矿体的大小与其伴生岩体的规模并没有一个固定的比例关系，即小岩体可伴生大矿，大岩体也可伴生小矿，当然也可伴生大矿。这一点已为许多事实所证明。

但是，与岩浆深部熔离有关的其他一些问题，这里只是提出一些不成熟的看法，供作讨论。

参考文献

（1）上田诚也，"国外地质科技动态"，1972
（2）Wallace H.Maclean，"Econ.Geol."，1969，№.8
（3）Голлевский М.Н. "Геол.рудн.м-ий"，1969，№2
（4）Souch B.E.etc. "Magmatic Ore Deposits"，1968
（5）Зонтов Н.С. "Геол. рудн.м-ий"，1959，№5
（6）Naldrett A.J. "Magmatic Ore Deposits"，1969
（7）威尔逊，"地球化学专辑"，第一辑，1958
（8）别列捷里也夫 B.A.，"矿床学原理"，1954
（9）711队和地研所地质室，"冶金地质科技情报"，1972，№1

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net