

金 属 矿床工业类型

П. Д. 雅柯甫列夫 著

彭 万 志 译



地矿部郑州矿产综合利用研究所

PDG

目 录

引 言	(1)
-----------	-----

第一篇 黑色金属 (铁、锰、铬)

第一章 铁矿床	(5)
第二章 锰矿床	(30)
第三章 铬矿床	(43)

第二篇 制合金金属 (钛、钒、镍、钴、钼、钨)

第四章 钛矿床	(52)
第五章 钒矿床	(60)
第六章 镍矿床	(65)
第七章 钴矿床	(79)
第八章 钼矿床	(89)
第九章 钨矿床	(101)

第三篇 有色金属

(铝、镁、铜、铅、锌、锡、汞、锑、铋)

第十章 铝矿床	(116)
第十一章 镁矿床	(131)
第十二章 铜矿床	(135)
第十三章 铅和锌矿床	(155)
第十四章 锡矿床	(175)
第十五章 汞矿床	(191)
第十六章 锑矿床	(202)
第十七章 铋矿床	(212)

第四篇 贵金属 (金、银、铂族金属)

第十八章 金矿床	(217)
----------------	-------

第十九章	银矿床.....	(239)
第二十章	铂族金属矿床.....	(244)
	第五篇 放射性金属 (铀、钍)	
第二十一章	铀矿床.....	(252)
第二十二章	钍矿床.....	(275)

第六篇 稀有金属

(锂、铷、铯、铍、锶、钇、铈土、锆、铌、钽、伴生矿物元素)

第二十三章	锂矿床.....	(279)
第二十四章	铷和铯矿床.....	(287)
第二十五章	铍矿床.....	(290)
第二十六章	锶矿床.....	(301)
第二十七章	钇和镧族元素矿床.....	(305)
第二十八章	锆矿床.....	(312)
第二十九章	铌矿床.....	(317)
第三十章	钽矿床.....	(325)
第三十一章	稀有伴生矿物元素及其制取的来源.....	(332)
结 语		(351)

引 言

在人类的历史长河中，人们开发了各种不同的矿产，尤其是开发了金属矿产。其中有七种金属——金、银、铜、锡、铁、铅和汞，从古代起就是众所周知的，通常称它们为史前金属。

金是人类认识的第一种金属，可用于制造货币和制作装饰品。后来，人们开始使用铜；铜在人类文化的形成中起了特殊的作用。用自然铜制造出最初的金属劳动工具，因此由石器时代进入了铜器时代。锡的利用和青铜器的出现，开始进入了青铜器时代。然后开始了迄今的铁器时代。

随着科学技术的发展，新元素的发现，钢和合金的制造，越来越多的金属被利用了。目前，在巨大的范围内开采着铁、锰、铝、铜、铅、锌、镍等矿石。在科学技术革命的现代时期，在电气化、原子能、核技术和宇航技术的时期，也广泛地使用放射性和稀有金属。但是，未来放射性和稀有金属的远景需要量还会更大规模地增加。

在苏联发展社会主义和建设共产主义的物质—技术基础的过程中，金属矿产所起的作用是无法比拟的。要实现苏联政策中的主要战略路线——最大限度地提高苏联人民的生活水平，只有在有可靠的金属矿物原料基地及其增加产量和生产的情况下才有可能实现。

巨大的工作是由苏联地质工作者完成的。在发展苏联金属矿床科学和建立可靠的金属原料基地方面，В. А. 奥勃鲁契夫、А. Е. 费尔斯曼、С. С. 斯米尔诺夫、А. Н. 查瓦里茨基、А. Г. 别捷赫琴、Д. С. 科尔仁斯基、В. И. 斯米尔诺夫院士都作出了巨大的贡献。

最近10年内，有许多研究者对矿床的工业分类进行了详细的研究。但是，全苏矿物原料科学研究所的工作人员对铁、铬、镍、钴、钨、钼、铜、铅、锌、锡、锑、汞、铍和其它金属的矿床工业类型作出了卓有成效的划分和分类。

对许多金属的工业类型分类研究得很不够，今后应该对其修改完善。在制定分类时，必须针对在现代技术条件下经济上合理开采的那种表内储量的工业矿床。矿床工业类型，首先由矿体的形态和地质埋藏条件、矿石的矿物成分和物质组成来确定。矿床的开采方法和制取金属的工艺均取决于上述条件。

根据矿床金属储量的多少，划分为大型、中型和小型三种矿床。世界的实践表明，大型矿床在已探明储量和金属产量中起着很大的作用。例如，仅已探明铜矿床总量的6%就占铜储量的70%，已探明锡矿床总量的8.3%就占锡储量的69%，已探明铅和锌矿床总量的6%就分别占这两种金属储量的51%和42%。根据近期设计的矿物原料开采规模，中、小型储量的矿床对国民经济增长需求的保证程度不能起到实质性的影响。矿床勘探和开采的效益取决于矿床的规模。所以最好是，在新矿区开发和勘探的矿床是大型矿床。

矿石的质量应该符合所规定的主要金属含量和有害元素允许含量的要求。还必须考虑到矿石中存在的有价伴生元素。矿石可能是单金属矿石，也可能是复合矿石（两种和三种金属以上）。根据矿石中主要组分的含量可分为富矿石、中等矿石和贫矿石。最有价值的是富矿石，不必进行预选，就可从中制取金属。但是，由于金属开采量的增长和工艺加工方法的完善，贫矿石的开采规模越来越大。

矿石加工工艺是由矿石的矿物成分和物质组成决定的。必须确定矿石的定量矿物成分，并查明主要组分和伴生组分，确定主要金属矿物，研究在成分和可选性方面有特点的金属矿物的变种和世代。还必须研究金属矿物的空间分布，并编制矿物—工艺图，对比矿物的金属元素分布平衡表，查明矿物进入矿石成分的形式，研究矿石的表生蚀变，并解决其它许多问题。此后应该制定矿石工艺加工流程。此流程应当规定不仅要回收主要组分，而且还要回收伴生组分。目前，从铜镍硫化物矿石和黄铁矿—多金属硫化物矿石中回收10~15种元素。稀有金属矿石的加工是最复杂的。

从矿石中回收所有的元素，不仅是重要的，而且在经济上是有利的。

开发工作的矿山地质条件也应该保证矿床有利润和高效开采。用露天法开采矿床是最有效的，此法所占的比重越来越大，尤其是在开采铁、镍、钼、钨、锡、铀和一些稀有金属矿石时更是如此。在许多情况下，在开采铀和铜矿石时采用地下淋滤法是有效的。在地质或水文地质条件比较复杂的情况下，金属品位高的大型矿床是很难开采的矿床。但是，在现代技术完善的条件下这个问题就不难解决。

在许多情况下，矿床的地理-经济位置也对矿床的经济评价产生重要影响。工业矿床应该符合下列要求：储量大，矿石质量高，易于开采，矿山地质条件好，所处的地理-经济区有利。但是，随着科学和技术的发展，尤其是在科学-技术革命的时代，所有这些要求不是一成不变的，工业矿床的概念也在改变。不久前还认为是无工业意义的那些新矿床都被纳入开采之列。

为了叙述方便起见，对金属矿床进行精确分类是必要的。根据工业用途对矿床所作的分类是最易于人们所接受的，尽管对其个别金属的产地还有争论。首先应该划分出黑色金属（铁、锰、铬）和制合金的金属（钛、钒、镍、钴、钼、钨）。它们用作产生铁、钢和各种合金，偶尔也作为纯金属（铬、镍、钨）使用。有色金属（铝、镁、铜、锌、铅、锡、汞、铋、铟）是最明确的，它们以各种合金的形式获得广泛的应用，以及用作纯金属（铜、锡、锌、汞、铝）。

贵金属（金、银、铂及铂族金属）单独划分出来是毫无疑问的。贵金属可作货币使用，并可用于珠宝业，以及用于生产的目的。

放射性金属（铀和钍）是动力原料。目前对钍的利用还受到限制。

稀有元素有锂、铷、铯、铍、锶、钇、镧、铈、钕、钆，以及镨、钷、镱、铟、铊、铋、铪、铌、钽、钨、钼、铀、钍、镤、钒。

金，也可作纯金属使用。上述金属在核动力、电力工业、火箭和宇航技术方面获得广泛的应用。铌、钽、铍、锆列入此类在很大程度上是有条件限制的，它们也可作为第一类和第二类的金属来研究。

习惯地列入于稀有元素之列的分散元素，尚未能成功地划分出来，目前称它们为伴生矿物元素较为妥当些。

本书的主要目的是评述每种金属的最主要的工业类型，主要描述苏联和国外最著名和最有价值的矿床。

第一篇 黑色金属(铁、锰、铬)

第一章 铁矿床

1. 铁的性质和用途

铁的名称来自拉丁语“费鲁姆”(ФЕРРУМ)。铁呈浅灰色，有展性，是一种高磁性金属。纯铁的熔化温度为 1534°C ，沸腾温度为 3200°C ，密度为 7.88克/厘米^3 。铁可同许多金属一起制成合金。这种合金具有强度、可塑性、可加工成任意形状的特殊和抗冲击的性能，在高温和低温下均可使用。钢和生铁在国民经济的各个部门中均获得广泛的利用。

人类开采和加工使用铁，大约有三千年的历史。在这段时间内全世界共熔炼出大约200亿吨铁，而且其绝大部分是在最近两年内生产的。一百年以前世界钢的年产量不超过50万吨。现在钢年产量已超过5亿吨。铁不仅是全世界的基础，人类周围环境最主要的金属，而且还是工业和文化的基础，和平劳动和战争的工具。在门捷列夫元素周期表中还没有另外一种能像过去、现在和将来与人类命运休戚相关的这种铁元素。

2. 铁的地球化学特性

铁在Д.И. 门捷列夫元素周期表中居第八族，原子序数为26，原子量为55.85；铁在原子序数22~28的许多元素(钛、钒、铬、锰、铁、钴和镍)中间是主要的。由于原子的电子层结构的特点，铁族元素具有化学同属性。

铁有四种稳定的同位素存在，其中 ^{56}Fe 分布最广。 ^{56}Fe 占自然铁的91.68%。自然铁在自然界中很少见到。在大多数矿物中，铁呈现出+2离子半径为0.074纳米或+3离子半径为0.064纳米的氧化值。

铁既是亲铜元素，也是亲石元素。铁还显示出亲铁的趋势。

铁在地壳中的含量，根据А.П. 维诺格拉多夫的资料，为4.65%，在花岗岩中为2.7%，而在基性岩类中为8.56%。随着深

度变化铁的含量在增加。如果根据地球核心是由铁和铁族元素所组成的这一概念，则地球的铁含量应为37.04%。大气圈中的铁含量不高，水圈中的铁含量亦不高—— $5 \cdot 10^{-6}\%$ 。

在岩浆熔融体中铁以二价形式赋存。在基性和超基性熔融体冷却和结晶时，铁和铁族元素首先沉淀在像橄榄石、辉石、角闪石类的那种矿物中。在这种情况下，元素的类质同像起着很大的作用，尤其是铁和锰，其离子半径为0.066纳米。

在岩浆晚期阶段，可形成大型工业铁矿床。

在与花岗岩类有关的岩浆期后残余溶液中，铁开始富集、运移，而后形成砂卡岩矿床和热液矿床，铁矿石储量10亿吨以上的砂卡岩型赤铁矿-磁铁矿矿床是特大型矿床。推测，在这种情况下铁的运移是以溶解性很好的氯化铁或以更复杂的铁络合物形式进行的。热液型菱铁矿矿床也具有工业意义。

在地表上当岩浆岩和岩浆矿床受到破坏时，铁原子完成了各种各样的和极复杂的运移。部分铁以氢氧化物形式沉积于原地，并形成风化壳矿床。而另一部分铁被运移出去。

在岩层的硅酸盐受到破坏时， Fe^{2+} 在碳酸和水的作用下以重碳酸盐形式过渡为溶液，并被水所搬运。但是，在氧的作用下 Fe^{2+} 很容易过渡为具有另一些化学性质的 Fe^{3+} 。铁也可以腐植化合物、胶体溶液和含铁矿物的机械悬浮物形式运移。在湖泊、沼泽、海滨地区可形成沉积铁矿床。同时应当指出， E_h 和 pH 介质对铁的溶解、运移和沉积有重要的影响。 E_h 和 pH 值在表生作用带内析出铁族金属（铁和锰，以及铁、镍和钴）也是有决定性意义的。

在沉积过程中，在水盆地地区形成大型氢氧化物矿、菱铁矿和鲕绿泥石-磷绿泥石矿床，这些矿床具有重要的工业意义。有时，在海洋地区内海底火山活动过程中铁被热水溶液和喷气带出。因此形成大型火山-沉积矿床。

在水盆地地区铁的富集，根据许多研究者的意见，是由生物（细菌和海藻）促成的，这种生物可将 Fe^{2+} 变成不溶解的 Fe^{3+} 。

铁是重要的生物元素，以不同的数量存在于所有的有机体中。

铁参与了在有机体内发生的所有的氧化-还原过程。在铁的参加下，在人体和动物的血液中进行氧的运移，也形成绿色植物的叶绿素。在每个成年人的血液中都有3~4克的铁，铁是人们生活中不可缺少的。在岩石和内生矿床风化时释放出的铁运移到地表。在这种情况下，大部分铁未达到海洋中。但是，进入水盆地的铁量对于形成大型沉积矿床是足够的。

在前寒武纪沉积和火山-沉积矿床的变质作用过程中，矿体的形态、构造和矿石的矿物成分都发生了变化。铁进一步运移，就产生了矿石更富的矿体。在这种情况下 Fe^{3+} 恢复到 Fe^{2+} 。

由于简要地研究了铁的地球化学历史作出结论，应当指出，铁的地球化学历史是很复杂的，也是很有意义的。铁矿物及其工业富集是由于岩浆熔融体的结晶作用、岩浆期后作用、在表生作用带中即在风化壳中以沉积的方式，以及由于变质作用的结果而产生的。在岩浆（由于基性岩）、岩浆期后-矽卡岩（由于花岗岩类）、外生（残余风化壳和沉积矿床）和铁的地球化学循环的变质阶段形成了铁的大型富集。

3. 工业矿物和矿石类型

已知铁矿物有170多种，作为类质同像杂质的铁矿物未计算在内。但是工业矿物不多，仅有以下几种：磁铁矿- Fe_3O_4 、镁磁铁矿- $(\text{Mg} \cdot \text{Fe})\text{Fe}_2\text{O}_4$ 、赤铁矿- Fe_2O_3 、针铁矿- HFeO_2 、含水针铁矿- $\text{HFeO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 、纤铁矿- FeOOH 、菱铁矿- FeCO_3 、鲕绿泥石- $\text{Fe}_4\text{Al}[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}][\text{OH}]_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 、磷绿泥石- $\text{Fe}_{3.5} - (\text{Al}_3\text{Fe})_{1.5}[\text{Si}_{2.5}\text{Al}_{1.5}\text{O}_{10}][\text{OH}]_6 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。根据矿物成分，矿石划分为磁铁矿、磁铁-含铁石英岩、磷灰石-磁铁矿、镁磁铁矿、赤铁矿-假赤铁矿、氢氧化物、氢氧化物-菱铁矿、菱铁矿、氢氧化物-菱铁矿-鲕绿泥石矿。

矿石划分为富矿(50%以上Fe)、中矿(40~50%Fe)、贫矿(20~40%Fe)和表外矿(不超过17%Fe)。

对无须进行预选而利用的铁矿石中的铁和有益组分及有害组分含量的要求，每种企业都是根据许多因素确定的。赤铁矿-假

像赤铁矿成分的高炉矿石中的铁含量，一般应不少于45~50%，磁铁矿和赤铁矿-磁铁矿矿石中的铁含量为52~54%。高炉矿石中的硫含量不应超过0.3~0.5%，磷为0.2%。对于烧结矿来说，硫的含量未作规定，因为在烧结时硫已脱除。

铁矿石中的有害杂质，除硫和磷外，还有锌、铅、砷和铜。高炉配料中的砷含量不应超过0.07%，锌和铅为0.1%，铜为0.2%。如果含水针铁矿和含水针铁矿-磷绿泥石矿石中的磷含量超过0.8%，则这些矿石可用于高炉熔炼，并获得磷渣，它们是生产肥料的原料。有价元素杂质为镍、钴、锰、钛、铬、钒。

磁铁矿选矿是采用磁选法，磁铁矿-赤铁矿选矿是使用磁选-浮选法进行的。如果矿石中含有磷灰石或硫化物，则可用浮选法从浮选尾矿中将其回收。使用重选法可从钛磁铁矿的磁选尾矿中获得钛铁矿精矿。从含铁64~66%的金属精矿中可制备球团矿。苏联根据储量的大小、埋藏条件、矿石的质量、所使用的开采和选矿方法，所开采的矿石含铁量由14%到65%（矽卡岩-磁铁矿—20~25%，镁磁铁矿—15%，磁铁矿含铁石英岩—16~25%，氢氧化物-磷绿泥石矿—30~32%，菱铁矿—30~35%）。

4. 矿床成因

在后地槽区，铁矿床是在地槽本身的最初阶段形成的。还形成与火山-硅质建造有关的沉积和火山-沉积矿床、辉长岩类中岩浆晚期钛磁铁矿矿床，以及形成与辉长岩-闪长岩-花岗闪长岩和辉长岩-二长岩-正长岩系列的火山深成复合组分有关的矽卡岩-磁铁矿矿床。

在地台区风化壳内，也形成沉积型矿床，以及与暗色岩岩浆作用有关的岩浆期后矿床。

在太古代-早元古代成矿阶段，形成加拿大地盾（上湖地区）、巴西地盾（米纳斯-热拉斯地区）、克里沃罗格和库尔斯克磁力异常区（苏联）的大型含铁石英岩矿床，以及印度、西澳大利亚、西非和其它地区的矿床。

在元古代晚期阶段，形成安加拉-比得盆地（苏联）和加里福尼

亚(美国)等的海滨沉积矿床。

乌拉尔、北哈萨克斯坦、西西伯利亚大型钛磁铁矿和矽卡岩-磁铁矿矿床是构造成矿的加里东期和海西期特有的。

在中生代-新生代地台区,形成大型海洋沉积和陆相河流和湖泊矿床:苏联的阿亚特和刻赤盆地和法国的洛塔林格盆地。

世界上主要的铁矿省和铁矿区是西澳大利亚、巴西、上湖地区、西非、法国的洛林盆地。苏联的主要铁矿盆地和地区有克里沃罗格、库尔斯克磁力异常区、库尔斯(库斯坦奈地区)、安加拉-伊黎姆斯克。在贝加尔-阿穆尔干线的塔累纳赫斯克地区已探明大型铁矿床。

5. 矿床工业类型

铁矿床工业类型的地质-经济对比特征,在B. C.比留科、Г. C.波罗托夫和E. B.维谢洛夫的著作中作了描述。

铁矿床主要类型如下:

1) 含铁石英岩型及其所形成的富矿矿床—库尔斯克磁力异常区盆地和克里沃罗格(苏联)、上湖地区(美国和加拿大)、哈梅尔斯利铁矿区(澳大利亚)、米纳斯-热拉斯地区(巴西);

2) 层状沉积矿床—洛塔林格盆地(法国)、刻赤盆地和利萨科夫斯克矿床等(苏联);

3) 矽卡岩型铁矿床—萨尔拜斯克、索科洛夫斯克、卡恰尔斯克、勃拉戈达季山、马格尼托戈尔斯克、塔什塔戈里斯克矿床(苏联);

4) 磷灰石-磁铁矿脉状矿床—基鲁纳瓦列矿床(瑞典);

5) 钛磁铁矿复合矿床—卡奇卡纳尔斯克和库辛斯克矿床(苏联)、加拿大矿床、挪威矿床。

铁矿床次要类型如下:

1) 碳酸盐型磷灰石-磁铁矿复合矿床—苏联的科夫多尔矿床;

2) 镁磁铁矿矿床—苏联的科尔舒诺夫斯克、鲁德诺戈尔斯克、涅留金斯克矿床;

3) 菱铁矿矿床—苏联的巴卡尔斯克矿床；西德的齐格良德矿床等；

4) 火山-沉积层中铁和铁锰氧化层状矿床—苏联的卡拉札尔斯克矿床；

5) 似层状红土铁矿床—南乌拉尔、古巴等。

层状和似层状含铁石英岩和其中形成的赤铁矿-磁铁矿和氢氧化铁富矿床，不仅在苏联而在工业发达的资本主义国家和发展中国家都是主要工业类型。这种类型的矿床占资本主义国家和发展中国家铁矿石总储量的78%和占开采量的66%，而在苏联占总储量的61.1%和开采量的69.3%。层状沉积菱铁矿-绿泥石-含水针铁矿矿床的储量和开采量在国外均处于次要地位，而在苏联是属于矽卡岩型矿床，它只占苏联铁储量的13.8%和占开采量的16.7%。矽卡岩型赤铁矿-磁铁矿矿床在资本主义国家和发展中国家的作用是不大的。磷灰石-磁铁矿(第四位)和钛磁铁矿(第五位)矿床是铁矿石的主要来源。菱铁矿矿床、层状铁-锰氧化矿床和似层状氢氧化物天然合金红土矿床、碳酸盐中磷灰石-磁铁矿矿床等，不论是在苏联还是在外国都不起主要作用(表1)。

根据铁矿石储量的大小，矿床划分为小型(<5000万吨)、中型(0.5~2.5亿吨)、大型(2.5~10亿吨)和特大型(>10亿吨)矿床。特大型矿床一般是第一类和第二类矿床，第三类矿床也有，但很少。大型矿床多半是第三类、第四类和第五类矿床。

主要类型

第一种类型 含铁石英岩及其所形成的富矿型矿床

前寒武纪含铁石英岩和与其类似的碧玉铁质岩、铁燧岩、铁英岩型矿床广泛地分布于老地台和地盾。属于此类矿床的有苏联的乌克兰、库尔斯克磁力异常区、卡累利阿、亚库梯(贝加尔-阿穆尔干线附近)和其它地区的矿床，美国的上湖地区、加拿大、巴西、澳大利亚、印度、中非和西非及世界上其它许多地区的矿床。毫无疑问，这些矿床最初是沉积或火山-沉积矿床。后来它们受到变质作用的影响，矿石再结晶，形成带状结构，造成石英、

表 1 主要工业类型矿床黑色金属储量和开采量的比重 (%)。

工业类型	资本主义国家和发展中国家		苏 联	
	储 量	开采量	储 量	开采量
铁 矿 床				
主要类型:				
第一种	78	66	61.1	69.3
包括富矿	18	20	12.9	33.2
第二种	10	24	9.6	3.0
第三种	+	+	13.8	16.7
第四种	3	6	—	—
第五种	8	3	10.7	3.1
次要类型	1	1	4.8	7.9
锰 矿 床				
主要类型:				
第一种	30	35	97	99
第二种	54	45	3	1
第三种	2	11	—	—
第四种	13.5	8	—	—
次要类型	0.5	1	—	—
铬 矿 床				
主要类型:				
第一种	80	58	7.3	5
第二种	19	41	92.7	95
次要类型	1	1	—	—

注：在整个表中符号“+”表示意义不大的矿床类型，金属储量或开采量的比重很小或尚未查明；符号“—”表示目前尚未开采的矿床类型。

磁铁矿、赤铁矿、绿泥石、黑云母和其它硅酸盐带交互层。根据矿物成分和工艺性质，含铁石英岩分为在空间上相吻合而又形成独立的磁铁矿和赤铁矿矿床。在所加工的含铁石英岩中铁含量为16~40%。

产于含铁石英岩中的铁含量为40~62%的磁铁矿-假象赤铁矿富矿体，具有层状、柱状和更复杂的形状，无论是由于含铁石英岩风化的结果或是在很深处通过内生的途径均能产生。

克里沃罗格铁矿区沿近南北方向延伸，呈长度150公里和宽度1~7公里的狭长带。克里沃罗格岩系的元古代变质岩是在太古代片麻岩和角闪岩中形成的，并被延伸3公里的复向斜断裂破坏所复杂化。克里沃罗格铁矿区的变质岩为厚度80米的新生代松散沉积盖层所超覆（图1）。

克里沃罗格岩系分为三个岩层：底部层（细矿），长石砂岩-千枚岩厚度100~250米；中间层（矿层），为含铁石英岩和碧玉铁质岩与页岩成互层。在该层中又划分出七个铁矿层和相当的页岩层。铁矿层的总厚度为1300米。厚度2500多米的上部矿层，由砾石、砾岩、白云岩、炭质绢云母页岩和含闪石页岩所组成。含磁铁矿石石英岩和碧玉铁质岩非常发育的地段形成大型矿田。含铁石英岩层已探明部分的厚度（水平）为100~600米。其延长度为0.3~5公里。氧化带厚度平均为16~27米，有时为137米。

个别地段和矿层中铁的平均含量为31~40%，氧化硅含量为21~43%，氧化铝含量为0.9~3.9%，硫含量为0.40~0.11%，磷含量达0.15%。

克里沃罗格矿区含铁石英岩总储量为182亿吨，而探明储量为144亿吨。在该矿区有五个采-选矿联合企业在工作。开采是用露天采矿场进行。在含磁铁矿石石英岩选矿时铁精矿回收率达73~75%，精矿中的铁含量为59%。含赤铁矿石石英岩目前尚不具有实际意义，而堆存到专设的废石场。

为了选别氧化含铁石英岩，制定出两段工艺：磁选（第一段）和在完成磁性产品时的浮选（第二段）。根据该工艺目前设计了

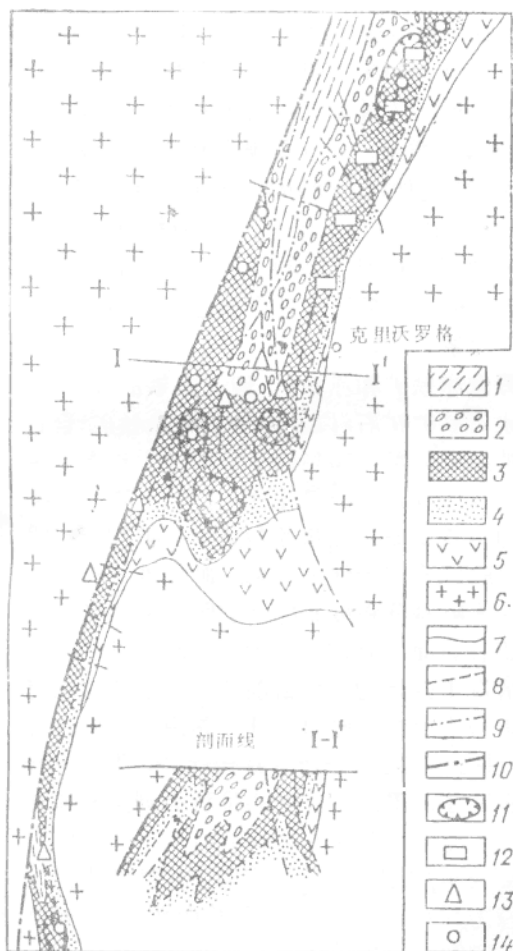


图1 克里沃罗格铁矿区南部地质图(按 М. Н. 维里金、Я. Н. 别列夫采夫、Ю. М. 叶帕特科等)

下元古代克里沃罗格岩系: 1—格列叶瓦特钻孔(砂岩、页岩), 2—格坦采夫钻孔(石英岩、砂岩), 3—萨克萨干钻孔(含铁石英岩、页岩), 4—斯凯列瓦特钻孔(含长石砂岩、石英岩和干枚岩的绿页岩), 5—新克里沃罗格钻孔(变基性岩), 6—德涅普罗夫(太古代)花岗岩类杂岩; 7—地层不整合; 8—岩层整合接触; 9—断裂破坏; 10—克里沃罗格断裂; 11—露天采矿场界限; 12~13—萨克萨干型(12)和因古列茨克型(13)富铁矿床; 14—斯凯列瓦特型贫铁(含铁石英岩)矿床。

采选联合企业。

在克里沃罗格铁矿区有许多形态、规模和埋藏条件极为不同的富矿体。但是，这些矿体一般从属于其周围的含铁石英岩的埋藏条件，并同它们一起延伸达2000米（图2）。沿倾斜一些个别的矿层显著地改变形状和规模，常常尖灭并重新出现。但是，大的矿层具有相对稳定的规模和质量。产于褶皱两翼的似层状矿层为10~40米厚的矿体，顺走向延伸200~800米，延伸的深度很大。

具有椭圆形剖面20~100米的柱状矿体，产于褶皱的脊线处，再往深处这种矿柱可追索到100~500米，有时达到1500米。它们约占克里沃罗格铁矿区矿层总数的60%。矿层与其含铁石英岩围岩的界限尚不清楚，可能是渐变关系。

在富矿石中划分出假像赤铁矿和赤铁矿-假像赤铁矿矿石、赤铁矿-分散赤铁矿-含水针铁矿矿石，以及赤铁矿和赤铁矿-含铁云母矿石。该矿区富矿的主要储量（90%以上）均产于赤铁矿-假像赤铁矿矿石中。其中含铁63.7%，氧化硅7.2%，氧化铝约1%。克里沃罗格矿区的富铁矿石总储量为17亿吨，其中已探明储量为13亿吨。因此在该矿区有12个地下开采的矿山在工作。

库尔斯克磁力异常区铁矿是苏联最富的铁矿区。对该矿区有计划地进行研究和调查工作，是在1919年根据B. И. 列宁的指示在国内战争极困难的情况下开始的。到目前为止，在库尔斯克磁力异常区范围内已查明极大的铁矿储量。开采是用露天采矿场进行的（米哈伊洛夫露天铁矿、列别金斯克露天铁矿、斯托伊连斯克露天铁矿），以及建设了采用地下开采的雅科夫列夫矿床富矿的矿山。

该矿区的面积为10万公里²以上，产于前寒武纪结晶岩的沃罗涅格斯科高地。两个磁力异常平行带（北东和南西延伸达600公里）在北西方向延伸。其中间的距离约50~60公里。

在剖面底部埋藏有太古代奥包杨岩系片麻岩和混合岩，以及米哈伊洛夫岩系绿岩层和酸性喷发岩。下古生代库尔斯克岩系分为变砂岩亚组、页岩（矿层下）亚组、中间含矿组。其上产有上