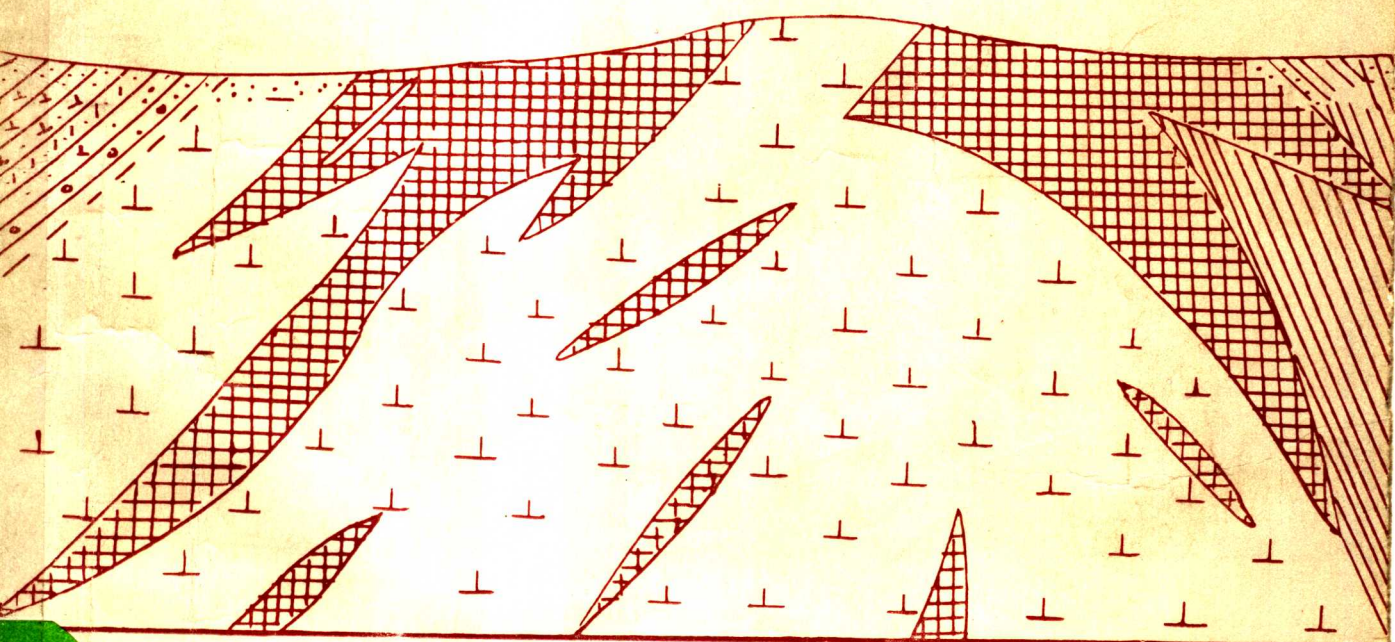


金属矿床基本类型

〔苏〕 Ф. И. 沃里弗松 著
A. B. 德鲁日宁



科学出版社

· 87417日

金属矿床基本类型

[苏] $\Phi. И.$ 沃里弗松 著
A. B. 德鲁日宁

许文麟 译

罗朝文 王剑锋 校

科学出版社

1986

内 容 简 介

本书系统介绍了黑色、有色、贵重、放射性、微量、稀有金属及分散元素的矿床地质。对每种金属都列出了矿床形成的地质条件,阐述了成因类型、含矿建造及其工业类型。在第二版中(第一版为1975年)对苏联及其他国家最典型的矿床进行描述时引用了最新的资料。

本书适用于从事研究、普查和勘探金属矿床的地质人员。同时也适用于高等院校地质专业的学生。

本书列表20个,插图144幅,参考文献168条。

Ф.И.Вольфсон, А.В.Дружинин
ГЛАВНЕЙШИЕ ТИПЫ РУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ
Недра Москва, 1982

金属矿床基本类型

〔苏〕 Ф.И.沃里弗松
A.B.德鲁日宁 著

许文鹏 译

罗朝文 王剑峰 校

责任编辑 周明鉴

地质出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1986年8月第一版 开本: 787×1092 1/16

1986年8月第一次印刷 印张: 19

印数: 0001—2,000 字数: 436,000

统一书号: 15031·3269

本社书号: 4605·13—14

定价: 4.45 元

关于《金属矿床基本类型》及其作者

——中文版代前言

1982年苏联《矿产》出版社再版了苏联著名地质学家Ф. И. 沃里弗松及其同事А. В. 德鲁日宁所著《金属矿床基本类型》一书。该书第一版自1975年问世以后,受到广大地质工作者的好评。纷纷在期刊杂志发表评论文章。此后作者继续对苏联各成矿省的有色金属和稀有金属元素的成矿作用进行了深入的研究,并对苏联和世界各国有关金属矿床近年来的研究成果及最新资料进行了进一步的归纳和综合分析。在此基础上,作者充分考虑到了读者的意见,对第一版进行了修改和补充。本书即是根据修订和补充的第二版译出的。

在地质和矿床研究领域,对地质人员来说矿床分类始终是一个重要课题。矿床分类是研究、掌握和归纳矿床形成规律的一门学问,根据所研究出来的规律对确定找矿方向、扩大老矿区、寻找新矿床,以及进行详勘和工业评价无疑起着很大的作用。矿床分类是对矿床的认识、概括和总结,几乎每一个地质工作者都会不同程度地涉及这一问题。这样,有关矿床分类方面的著作自然会引起地质人员的重视。

本书是作者在研究了苏联的中亚、哈萨克斯坦、外贝加尔、远东等地区,以及保加利亚、捷克斯洛伐克、匈牙利、民主德国等国家繁多的金属矿床,并在综合了世界各国有关矿床的丰富资料的基础上写成的。书中概括了每种金属矿床的主要成因类型、工业类型和基本特点,反映了作者多年科研、生产和教学成果。

本书的特点综合归纳如下:

1. 取材广泛、内容丰富

作者列举了50多种金属元素的不同类型矿床的世界分布,重点剖析了世界著名金属矿床形成的地质条件、矿床类型和矿床成因。

本书对黑色金属、有色金属、贵金属、放射性、微量、稀有金属和分散元素的矿床地质都作了论述。

书中列举了苏联和世界其他国家重要金属矿床430多个,描述了144个矿床的地质特征。

2. 结构完整、系统性强

书中除K, Na, Ca, Mg等少数几种元素外,几乎阐述了周期表中所有金属元素矿床的特征。该书根据矿床形成的区域背景、环境条件、控矿因素和矿物-地球化学条件对每种金属元素的矿床进行了系统的分类。每种金属的描述按下列固定的顺序: 1) 金属开发史和应用史; 2) 对矿石质量的要求; 3) 金属的储量、开采量和今后若干年内对该金

属的需求量; 4) 矿物和地球化学概论; 5) 矿床的成因类型、工业类型和矿石建造; 6) 矿床形成的地质条件; 7) 每种金属矿床的参考文献。

3. 重点突出, 脉络清晰

本书对铁、铜、金和铀等元素作了重点论述, 对钨、锡、铅、锌、银也作了较详细的介绍。对主要金属元素列举了典型的矿床实例, 并对其产出的区域地质背景、矿床地质特征、控矿因素、含矿建造、围岩蚀变、主要矿石矿物和脉石矿物成分、矿物共生组合、成矿作用的演化过程、有关矿床成因的观点等也作了介绍。概括地阐述了铂族元素、稀土元素和分散元素的成矿地质特点。

该书对矿床的矿物学、地球化学和成矿地质条件的描述给予了足够的重视, 同时对矿床成因、构造和矿石建造给予了应有的注意。

4. 资料新颖、数据难得

作为教学参考书或教材, 该书首次介绍了一系列以前很少为人所知的矿床, 例如加蓬的莫安达锰矿床, 苏联的库尔加申坎铅锌矿床, 北奥涅加铝矿床, 卡梅舍夫斯基巴伊基季克钒矿床, 摩洛哥的阿兹古尔钼矿床, 以及加拿大的拉克-季奥钛矿床等。

同时, 对著名的经典矿床也有新的材料补充, 如上密西西比的密苏里铅锌矿床, 科拉尔金矿床, 威特沃特斯兰铀矿床, 克莱梅克斯钼矿床等。

书中列出大量数据图表, 提高了书的实用价值, 并扩大了应用范围。从而有利于读者定性、定量地掌握每种金属的世界资源状况和发展远景。从这一点出发, 该书具有工具书的性质。

对稀有、稀土和分散元素矿床的描述, 注意了它们在新技术中的重要性, 指出了它们在电子学、自动控制、核工业、航空、火箭、特殊合金、伦琴照相、无线电、电视和电脑等领域中的应用。

本书作者之一A. B. 德鲁日宁早在50年代曾在莫斯科有色金属及黄金学院讲授矿床分类课程。他是苏联矿床分类的权威学者之一。

除与沃里弗松合著本书外, 还著有“金属和非金属矿床与其勘探”等书, 以及有关钨、锡、钼、铅锌等矿床分布规律等方面论述。

沃里弗松是本书另一位作者, 他是中国熟知的地质学家。

沃里弗松是金属矿床地质学家、矿田矿床构造学家、地质-矿物学博士、教授。他自30年代初以来, 先后在苏联广大地区及保加利亚、民主德国等国工作, 积累了大量的实际材料和丰富的经验。他在地质领域有很高的造诣, 在研究金属矿床方面有卓越的成就。他是苏联矿田矿床构造现代理论的主要奠基人之一。他所提出的许多成矿理论已成为广大地质工作者研究金属矿床形成地质条件方面的重要理论依据。

在学术著作方面, 沃里弗松是一位杰出的多产地质科学家。截至1983年, 他已发表了240多篇(本)有关地质科学方面的论文、专著和教材。他以自己渊博的知识和卓越的综合分析能力, 根据大量的实际材料论述了不同地区的多种金属矿床的构造和成因, 各种矿田、矿床或岩体的构造特点。对热液矿床形成的地质条件及矿床预测准则, 特别在

与成矿有关的小构造的研究方面，他有独创的见解和巨大的贡献，其中有许多著作，诸如《热液矿床的研究问题》、《裂隙构造的若干问题》、《热液铀矿床地质学》等已为我国广大地质工作者所熟知。他的许多著作已被译成中、英、德、保、罗、捷、法等文字。

沃里弗松有着长期的教学经历和丰富的教学经验。1930年他从列宁格勒矿业学院毕业后，经过几年实践于1933年就开始了他的教学生涯。后来长期在莫斯科有色金属及黄金学院任教。目前，他在莫斯科人民友谊大学教授矿田和矿床构造学。他曾为高等地质院校编著了一系列有关矿床地质学和构造地质学方面的教材。他的学生中许多已经成为著名的地质学家。

沃里弗松为苏联地质科学的发展做出了卓越的贡献，并因此获得了列宁奖金、劳动红旗勋章及苏联国家的其他奖章。

沃里弗松和德鲁日宁合著的《金属矿床基本类型》无疑是对国际地质界和地质文献做出的新贡献。深信我国地质工作者从中可以得到教益。

目前，矿床的成因分类仍然是一个基本的分类方法。在不断的地质实践中，人们对矿床的规律性是可以认识的，然而制定十全十美的矿床分类方案却是困难的，甚至是不可能的，因为人们对地质规律的认识是永远不会完结的。随着时间的推移，科学技术的飞速发展，矿床分类方案必定得到不断地修正、补充和完善。

这本专著具有较高的科学水平，不仅概述了大量丰富的有关矿床的实际资料，反映了近年来的科研成果，而且对金属矿床的成矿理论有新的发展，同时对有关地质人员也是一本不可多得的工具书。因此，本书对地质科研、生产和教学人员有不容忽视的参考价值，也是地质院校本科生、研究生的难得理想的教材和教学参考书。

译 校 者

1984.9.26

前 言

对本书第一版发表了五篇评论，在这些评论中提出了许多宝贵的意见。作者收到了某些矿种地质专家的许多颇有裨益的信件，满怀感激的心情采纳了绝大多数意见，并在第二版中做了相应的修正与增补。

本书第一版问世以后（1975年），作者继续研究了苏联各种成矿省的有色及稀有金属矿床地质。这期间把得到的新的实际材料部分写进了第二版。本版同样考虑了近年来用俄文或外文出版的一系列有关金属矿床地质学的书刊文献。由B. И. 斯米尔诺夫院士主编的包括我国所有最主要金属矿床地质珍贵新资料的三卷集“苏联金属矿床”

（1978）、Б. И. 科甘的两卷集“稀有金属”（1978, 1979），以及有关各种金属矿床大量其他书籍和文章具有特殊的意义。仅仅利用发表的部分新资料就足以修正第一版中探讨的许多矿床的地质描述，并可用更典型和已经详细研究的实例来代替某些矿床的评述。因此，本书第二版的某些部分已作了大量修订和更新。但是，本书总的结构和方针不变，并与第一版相适应。

目 录

关于《金属矿床基本类型》及其作者——中文版代前言

前言

第 一 章	单个金属矿床的分类.....	(1)
第 二 章	铁矿床.....	(3)
第 三 章	锰矿床.....	(26)
第 四 章	铬矿床.....	(38)
第 五 章	钛矿床.....	(49)
第 六 章	钒矿床.....	(58)
第 七 章	镍矿床.....	(63)
第 八 章	钴矿床.....	(75)
第 九 章	钨矿床.....	(83)
第 十 章	钼矿床.....	(97)
第十一章	铜矿床.....	(106)
第十二章	铅、锌和银矿床.....	(133)
第十三章	锡矿床.....	(157)
第十四章	铝矿床.....	(171)
第十五章	汞矿床.....	(182)
第十六章	铋矿床.....	(192)
第十七章	铊矿床.....	(200)
第十八章	金矿床.....	(204)
第十九章	铂及其铂族金属矿床.....	(226)
第二十章	铀矿床.....	(232)
第二十一章	钍矿床.....	(251)
第二十二章	铀和钍矿床.....	(253)
第二十三章	铍矿床.....	(259)
第二十四章	锂矿床.....	(268)
第二十五章	锆和铪矿床.....	(271)
第二十六章	稀土金属矿床.....	(274)
第二十七章	钽矿床.....	(276)
第二十八章	铯和铷矿床.....	(277)
第二十九章	分散元素矿床.....	(279)
参考文献		(288)
总参考文献		(294)

第一章 单个金属矿床的分类

在叙述各金属矿床时，依据其地质形成条件可划分为固定的类型。这种划分极为重要，因为所有矿床的形成都与决定整个地壳发展的过程有关。根据这一点人们试将各种矿床归纳为如下几种基本成因类型：正岩浆型、伟晶岩型、接触交代型、三种温级（高温、中温、低温）的热液型*、残积型、淋积型、沉积型和变质型。对于某些金属矿床来说，这样划分就完全够了。属于这类金属矿床的是那些所划分的成因类型同时也是最主要的工业类型矿床。但是，对于许多金属矿床来说，划分为主要成因类型是不够的，因为其中每一种类型可以包括几种矿床工业类型（从两种至五种以上），而且就经济意义来说，所划分的类型可能是极不相同的。因此，为了分出许多金属矿床最主要的工业类型，除了划分成因类型和亚类以外，还应当利用其他重要的地质标志。最近提出了许多地质分类法。这种分类法是以围岩成分、矿体形态和矿石矿物组分为依据的。

在某些最详细拟定的分类法中，对如下的一些标志也给予应有的注意，诸如控制矿化的构造条件、伴随矿化的热液蚀变岩石带的成分、矿石构造及赋存条件、矿化与侵入体的关系、矿石年龄等。然而对于许多金属矿床来说，起主导作用的是本质上不同的标志。所以我们可以得出结论，在划分矿床最主要工业类型时，暂时还提不出统一的标志，因此许多金属矿床的分类将有所区别。在目前形成的条件下唯一适宜的办法是：在对每种金属矿床进行分类时，力求利用少数主要标志。在B. M. 克列特列尔之后，我们认为围岩成分、矿石矿物成分及其构造特征以及矿体形态应列为主要标志。矿床赋存的大地构造环境应认为是重要的补充标志。

按照上述标志划分金属矿床的最主要工业类型时，并不排除、有时甚至有必要在这些类型内再划分各种含矿建造**。但是，同时我们认为，按照C. C. 斯米尔诺夫的概念，把含矿建造当作在类似地质条件下产生的相近的矿物共生组合（不论其形成时间如何）是正确的。同时把这些含矿建造归纳到所属的矿床成因亚类中。此外，划分矿床最主要的工业类型一定应当考虑在我国已经形成的、并在实践中广泛采用的许多矿床工业类型的名称。例如，在铜、锑和汞的热液型矿床中，除了其他类型以外还划分出脉状矿床，这对多数其他金属矿床是未加考虑的。

在阐述各个金属矿床的最主要类型和矿床地质时，我们认为最好按照在苏联已形成的传统，首先描述黑色金属矿床，而后依次阐述有红、贵重、放射性和稀有金属矿床，

*热液矿床的划分主要考虑有用矿物共生组合形成的温度：低温热液矿床为75—200℃，中温热液矿床为200—300℃和高温热液矿床为300—450℃。

由于温度资料在很多情况下相互矛盾，因此主要根据公认的间接标志（围岩蚀变、各种矿物对固溶体分解，某些矿物的熔化温度等）将热液矿床划分为三级。

**对“含矿建造”概念统一的理解是不存在的。一些研究人员把“含矿建造”与矿床成因类型同等看待，另一些研究人员则认为含矿建造包括若干矿床类型，把含矿建造与矿床成因亚类混为一谈。最后还有第三种看法，即把含矿建造归入成因亚类或工业类型。这样，“含矿建造”的概念暂时尚有争议。本书采用上述第三种说法。

这些金属在现代技术中获得广泛的应用，并在颇大程度上决定科学技术的发展。

本书对铁、铜、铅、锌、金和铀矿床地质给予了特别的注意。这是由于上述金属矿床数量众多、形成这些矿床的地质环境各种各样及其成因类型和工业类型的数量最多所决定的。这些矿床（其中包括巨型矿床）见于世界的不同地区，关于这些矿床的形成条件已有众多的出版物和讨论文章。正是通过研究这些金属矿床地质应当为年青地质工作者指明解决金属矿床复杂地质和成因问题的基本方法。尽管压缩了介绍其余金属矿床最主要类型的篇幅，但仍然包括了在金属矿床学说目前发展阶段为了解矿床地质所必须的主要资料。

对矿床的描述是按每种金属逐个进行的，其后列入参考文献目录。此外，在本书结尾列入了最主要参考文献总目录，其中包括金属矿床教科书和教学参考书以及这方面的主要综合著作。

第二章 铁 矿 床

关于铁的记载最初是在莎草纸手抄本的埃及文批注中发现的，这种批注大约是在公元前4,000年完成的。那时铁的价值很高，可能人们仅仅知晓陨石中含有铁。铁制品最初出现在公元前2,000年的埃及、亚西利亚，稍晚在印度和中国也相继出现。从公元前八至九世纪开始，在许多国家，其中也包括俄国，铁的应用已经相当广泛。大概在五至八世纪中，已开始冶炼少量的钢。但是，在长时期内，人们只学会了从易熔铁矿石中冶炼铁。

到了十四世纪，第一批极为简陋的炼铁炉升火了，生铁和铁开始大量冶炼出来。那时熟炼的工匠已经能够炼出钢。十七世纪末叶，特别是十八世纪初叶，彼得大帝时代的俄国，在卡累利阿、土拉、乌拉尔铁矿基地上建立了较大的冶炼厂。在炼铁和炼钢方面俄国在整个十八世纪期间占全世界首位。

从十八世纪起，开始用煤冶炼铁矿石，确切地说是用焦炭（在这之前是用木炭），这就促进了制铁工业的进一步发展。到了二十世纪，黑色冶金得到突飞猛进的发展，这时为了制作特种钢广泛采用了合金附加剂（Co, Ni, Cr, Mo, W），随后采用稀有金属（Nb, Ta, Zr, V, Se, Te）加料，采用稀土元素一起加入，或单个加入Yt, Ce和La，同时还应用了Re, Hf。加入这些元素显著提高了钢的质量，并可制出至今已广泛应用的不同牌号的钢。铁、生铁和钢的区别是其碳的含量不同：铁为0.04—0.2%，钢为0.2—1.5%，生铁含碳在2.5—4%以上。矿石中S和P的含量不应超过0.3%，As不应超过0.07%，Sn为0.08%，Zn和Pb为0.1%，Cu为0.2%，SiO₂为15%，MgO为12.5%。有益混入物为Mn, Ni, Ti, Cr, Mo, V。

对铁矿石的要求取决于铁矿石的矿物成分。对磁铁矿-赤铁矿矿石来说，Fe的工业品位为55—57%，磁铁矿矿石的铁含量不太高时也能够加工，不过需要用电磁分离进行初选以制取精矿。褐铁矿的工业品位为38—40%，而菱铁矿为30—38%。在硫化物含量增高的情况下，矿石应预先焙烧。

铁矿石的年开采量不断增长（见表1）。

1978年苏联铁矿石的开采量达 2.44×10^8 t。

1978年世界钢产量为 7.14×10^8 t，生铁为 4.88×10^8 t（其中苏联和其他社会主义国家相应为钢 2.45×10^8 t，生铁 1.47×10^8 t）。与1913年相比，钢产量增长9.5倍，生铁增长6.3倍。

苏联钢产量不断增长：1913年为 4.2×10^6 t，1940年为 1.8×10^7 t，1963年为 8.02×10^7 t，1978年为 1.51×10^8 t，而美国1978年为 1.26×10^8 t。根据预测，到2000年时世界钢产量可达 1.5×10^9 t，而在2080年时可达 5×10^9 t。

表1 若干国家铁矿石的储量及开采量*

国 家	储 量 (10 ⁶ t)		年 开 采 量 (10 ⁶ t)			
	总 储 量	其中证实的储量	1 9 1 8	1 9 8 7	1 9 5 7	1 9 7 8
总 计	186,148	42,283	169.2	187.7	308.7	511.0
其 中						
美 国	17,300	10,000	63.0	73.2	107.1	82.0
法 国	4,000	2,000	21.9	37.8	57.8	33.5
加 拿 大	33,628	18,675	0.3	—	20.2	39.6
印 度	13,000	8,500	0.4	2.9	4.7	37.7
巴 西	80,000	10,000	0.2	0.2	3.3	80.0
澳大利亚	18,000	13,850	0.2	1.9	3.5	87.0
其他国家	20,256	21,258	83.2	71.7	112.1	151.2

*该表及其他金属的类似表格中没有列入苏联及其他社会主义国家的数据。

一、铁的地球化学及矿物学概论

铁是地壳分布广泛的元素之一。它的重量克拉克值为5.1%（或按体积为0.43%）。铁含量高是基性侵入岩的特征，在这类岩石中铁通常与辉石、橄榄石、角闪石或黑云母有关。铁几乎在地壳中发生的一切内生和外生作用过程中聚集为工业品位的富集。海水中铁含量很少，仅有0.002—0.02ppm，即少于Br, Rb, I, P, As, 更不用说Na, Cl, Mg, K了。河水中铁含量略高——2ppm。

由于在原子结构、化学和地球化学性质上铁与Ti, V, Mn, Cr, Ni和Co具有许多共同点，因此，它们组成一个地球化学族。在内生条件下，铁在基性侵入岩中通常与Ti和V共生，而在超基性侵入岩中与Cr, Ni和Co共生。在表生带中铁与Al, Mn共生是一个特征，较少与Cr, Ni, Co和V组合。四种稳定同位素 (⁵⁴Fe, ⁵⁶Fe, ⁵⁷Fe, ⁵⁸Fe) 中分布最广的是⁵⁶Fe (91.68%)，⁵⁸Fe则最稀少 (0.31%)。自然界中自然铁很少见，它一般呈二价和三价形式出现。铁的原子价相当容易变化，这就决定了铁在迁移途中的差异。铁（和Mn一样）主要是亲石族和亲铜族元素，但同时也表现出亲铁族元素的倾向。三价铁仅仅在pH值很低的溶液中才是稳定的，在pH值增高时，盐类的水解作用显著增强并形成不溶解的Fe(OH)₃沉淀。当溶液中有电解质（Ca, Mg和碱金属的盐类）时，Fe³⁺很快沉淀。SiO₂和腐殖质的胶体可防止Fe³⁺凝结。二价铁对电解质不太敏感，但也仅在酸性或中性介质中稳定。在游离氧存在的情况下很容易氧化并析出沉淀物。在氧化电位很低时，Fe²⁺在溶液中呈重碳酸盐形式迁移。Fe²⁺的溶解度比Fe³⁺高几倍。

在几十种铁矿物中，有工业意义的为数不多：磁铁矿Fe₃O₄ (72.4%Fe)，赤铁矿Fe₂O₃ (70%Fe)，假象赤铁矿Fe₂O₃ (70%Fe)，褐铁矿Fe₂O₃·nH₂O (48—63%)，

菱铁矿 FeCO_3 (48.3%Fe)，含铁绿泥石（鲕绿泥石、鳞绿泥石）。

二、矿床的成因类型和工业类型

在下列矿床成因类型中铁通常构成工业富集：1) 正岩浆型，2) 接触交代型，3) 热液型，4) 与风化壳有联系的残积型，5) 淋积型，6) 沉积型，7) 变质型。看来应把含有磁铁矿-磷灰石矿化的碳酸岩矿床划分为单独的类型（苏联阿富里坎达，叶诺-考夫多尔等）。该矿床占苏联铁矿开采的2.3%。日本开采东京湾的磁铁矿矿砂，它可保证满足国内铁矿石需要的20%。储量为 $(1.5-1.8) \times 10^{10} \text{t}$ 的巨大磁铁矿砂矿产于加拿大的东海岸（每年开采 $4 \times 10^4 \text{t}$ ），在新西兰也查明了这类矿床。变质型矿床（占资本主义国家矿石储量的一半以上）、接触交代型矿床以及沉积型矿床具有最重要的工业意义。但在某些国家，在其他成因类型中也常见有工业矿床：瑞典的正岩浆型、匈牙利和保加利亚的热液型，英国的淋积型。

三、矿床形成的地质条件

铁矿床产于极不相同的地质和地球化学环境中，无论是在地表或是在一切内生作用期间内（除伟晶作用外）均能形成。铁矿床在所有时代都有产出：从太古代末和元古代早期直到中新世和上新世。铁矿呈磁铁矿和钛磁铁矿聚集，是在相当大深度内（显然不小于3—5 km）的基性岩和超基性岩岩体的形成期内开始形成的。正岩浆钛磁铁矿矿床与超基性岩带有关，该带赋存于褶皱区深大断裂带内。

大量磁铁矿常常在1.5—3 km深度内（很少超过这个范围）出现接触交代作用时形成富集体。褶皱区内的磁铁矿矿床常在钙质夕卡岩带中形成，该带发育在碳酸盐岩与花岗岩类的接触带中，或者是碳酸盐岩与玢岩和其他铝硅酸盐类的接触带中。在正长岩和白云岩的接触带的镁质夕卡岩内也可形成磁铁矿矿床。在活化地台内的矿床，由于暗色岩的岩浆作用而通常在不大的深度内形成（500—1000m）。此时这些矿床不仅在夕卡岩中形成，而且也在暗色岩接触带不远处的碳酸盐岩中发育。

黄铁矿和菱铁矿的富集主要与中温热液作用有关。工业上仅利用菱铁矿，它常发育在碳酸盐岩中，后者有时在褶皱区与页岩和石英岩成互层。菱铁矿也可能在活化地台中产生（匈牙利、南斯拉夫和保加利亚诸矿床）。

外生铁矿床在元古代便开始形成，那时存在铁从大陆迁移到水盆地的特殊条件。根据A. A. 萨乌科夫的意见，那时在大气中的 CO_2 大大超过氧气，这就促进了广泛发育重碳酸盐。显然，铁呈这种形式迁移到海洋的深水区，在那里呈氢氧化物，部分呈碳酸盐与硅质产物一起沉淀。海洋工作者的研究表明，在海岭附近，由于玄武熔岩与海水的相互作用以及含矿溶液从玄武岩析出的缘故，在所谓含矿带内可能形成铁的富集。某些研究人员推测，这种产物的随后的强烈的变质作用，可能导致形成含铁石英岩，集中巨大的铁矿储量。

在更晚时代——古生代、中生代、新生代产生的沉积铁矿床主要是在陆棚带形成的，这是由于铁的化合物是从陆地进入的，并预先经历强烈红土风化作用之故。铁的迁移是

以未经历腐殖酸凝结作用的胶状溶液形式进行的。这种溶液通过细小的洞迁移到海盆中，或者在海岸线附近渗出（H. M. 斯特拉霍夫，1947）。

根据氧化还原电位变化的不同，在沉积物聚集的地区可产生褐铁矿或硅酸盐铁矿。在近海盆地的特殊条件下常常富集菱铁矿。

淋滤作用对不同时代、特别是古生代铁矿床的形成起很大的作用。铁的化合物渗透到地下水循环的地区的同时，主要呈氢氧化物、部分呈碳酸盐离地表不大的深度内沉积。在以前形成的含铁石英岩露头上发生的风化作用过程对于冰赤铁矿和褐铁矿巨大富矿体的形成起着特别大的作用。这种过程在晚元古代表现最为强烈。在古生代和中生代同样可产生与基性岩的风化作用有关的褐铁矿残积矿床。

含铁省的分布有某些固定的规律可循。铁的变质矿床含铁省的地质-构造状况决定于其赋存条件。

1) 赋存于地盾边缘部位。在加拿大地盾南部边缘有苏必利尔湖(Superior Lake)矿床分布；

2) 赋存于内部拗陷中。例如拉勃拉多尔-克维别科区的含铁石英岩矿床赋存于拉勃拉多尔拗陷，该拗陷被发育在太古代片麻岩上的元古代沉积火山建造充填。中国和澳大利亚西部（皮尔巴拉和哈默斯利铁矿区）的含铁石英岩矿床也有相似情况。

3) 赋存于地盾的狭窄拗陷内。乌克兰的铁矿省可作为一个实例。那里铁矿床趋向于沿深大断裂发育的局部拗陷带赋存。乌克兰东南部的中生-新生代沉积铁矿主要在年青的拗陷中形成，这种拗陷主要是由连接乌克兰结晶地盾地区的沉积盖层的岩石构成的。

夕卡岩-磁铁矿矿床含矿省的特征是主要赋存于拗陷区（一级构造）范围内的复向斜构造，复背斜构造（二级构造）次之。夕卡岩-磁铁矿矿床的带状分布受深大断裂控制。在褶皱系与地台和不同时代褶皱构造、自形向斜和半向斜区的中间地块结合带中常可形成拗陷。巨厚的灰岩和中基性火山岩层以及凝灰物质的发育对夕卡岩-磁铁矿矿床的形成是有利的。

四、正 岩 浆 矿 床

在正岩浆铁矿床的类型中可划分为两个亚类：1) 与酸性火成岩有关的，2) 与基性和超基性火成岩有关的。

第一亚类的典型矿床是瑞典的基鲁纳瓦拉。矿床开采是在19世纪发明托马斯炼钢法之后开始的，那时含磷矿石的工业利用已有了可能。该矿床矿体呈板状，走向近南北，倾向东，倾角50—60°，矿床沿接触带产出，其下盘为正长斑岩，上盘为石英斑岩（图1）。矿体延长达4,750m，厚度介于28—145m之间，平均厚度为100m。沿倾向已探明矿体延伸1,000m。物探方法证实矿体垂距为2,000m。

矿体由磁铁矿以及与它紧密共生的磷灰石组成。磷灰石呈带状不均匀发育，该带沿矿体走向延长。由于磷灰石在空间上独立存在，因此可以分别开采磁铁矿和磷灰石矿石。少量普通辉石、普通角闪石、黑云母、电气石和锆石与金属矿物共生。矿石呈致密块状，很少呈流纹状和角砾状构造。由主矿体向上盘方向分出矿枝，而下盘方向局部发

育有角砾岩，它是一种被矿质胶结的正长斑岩碎屑。矿体与围岩一起位移，其特征是平行结构面和带状构造发育。矿体常被细晶岩、正长斑岩和花岗岩岩脉切穿。Fe品位55—70%，P为3.5—6—10%。磷灰石含有稀土元素和钇，其含量变化介于0.15—0.67%（0.88%以下）之间。

戈衣尔及其他学者认为，矿床是由于富含铁和挥发分（F，P）的含矿熔流体沿正长斑岩和石英斑岩体的薄弱接触带贯入生成的。据推测，挥发物促进了含矿熔流体从硅酸盐熔流体（分熔作用）分离出来，这是费舍尔的实验证实了的。但是某些研究人员认为，该矿床应列为岩浆期后交代矿床、甚至列为火山成因产物。特别是，巴德金格顿提出了假说，他认为，基鲁纳瓦拉矿床是浅成高温（高温近地表）矿床。

瑞典还有该类型的其他矿床。该国北部有留奥萨瓦拉和格利瓦拉矿床，而中部则有格列盖别尔克矿床。挪威、芬兰、墨西哥、苏联（乌拉尔列亚仁矿山、阿尔泰霍尔祖、马卡库里）和其他一些国家已知有这类矿床。

瑞典北部磁铁矿储量达 $5 \times 10^9 t$ ，其中基鲁纳瓦拉为 $1.8 \times 10^9 t$ 。基鲁纳瓦拉（基鲁纳）和其他这类矿床正加紧开采、并运至瑞典、西德和英国冶炼。该类型矿床在世界开采量的比重中超过5%，主要来自瑞典。

第二亚类含钛磁铁矿矿石岩浆矿床将在阐述钛矿床时加以探讨。这里仅仅指出，这些矿石是由磁铁矿和钛铁矿组成的，它们常常形成固溶体分解构造。

矿石中Fe的品位50—55%，Ti为8—12%。此外，矿石成分中有钒，呈含钒

的磁铁矿——钒磁铁矿 $Fe(Fe, V)_2O_4$ 。钛磁铁矿矿石中含V为0.5—1%，很少超过这个范围。

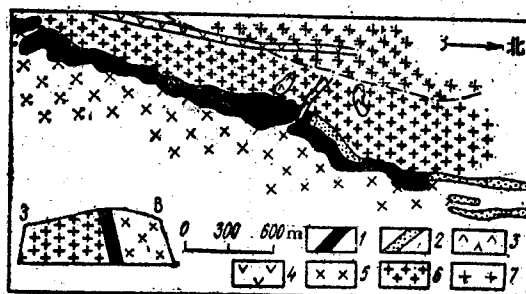


图1 瑞典基鲁纳瓦拉磁铁矿矿床的平面图和横剖面图

1——矿体，2——表土下的矿体，3——细晶岩岩脉；4——石英岩岩脉；5——石英斑岩；6——正长岩-斑岩；7——正长岩

五、接触交代矿床

接触交代夕卡岩铁矿床不仅赋存于灰岩与花岗岩类的接触带，而且也生成于灰岩与任何其他铝硅酸盐类（经常是玢岩）的接触带。该类矿床铁矿物中分布最广泛的是磁铁矿，局部发育赤铁矿。与暗色岩建造有关的近地表矿床中可见到镁磁铁矿。

铁矿物与石榴石-辉石-绿帘石-方柱石-符山石夕卡岩共生。在高温热液的作用下这种夕卡岩通常被分解，而且局部被绿泥石、透闪石和其他含羟基的矿物交代。不含流纹状矿物的夕卡岩-磁铁矿矿床是更高温的产物。这两类矿床中均有硫化物赋存（黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿等），这就决定了矿石中存在有害混入物——硫。

含镁夕卡岩构成了独立类型的铁矿床。与夕卡岩有关的磁铁矿矿体主要呈板状和透镜状，由致密的和浸染状的矿石构成。很少见到巢状和交错状矿体。在这种矿床中Fe的品位为25—70%（通常45—55%），S（主要来自黄铁矿）为1—2%以上。在某

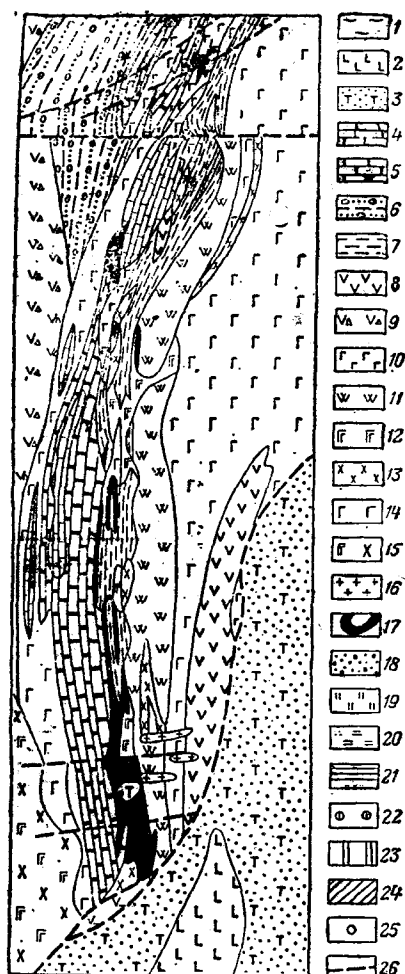


图2 索柯洛夫矿床地质略图(据B.皮亚图宁、X.尚基列耶夫等)

- 1—中-新生代沉积层；2—8—晚古生代(?)喷出岩；2—玄武岩及其凝灰岩；3—凝灰粉砂岩、凝灰砂岩和凝灰砾岩；4—6—下石炭统；4—灰岩；5—强烈大理岩化的灰岩及大理岩；6—呈互层的凝灰砂岩、凝灰砾岩和凝灰粉砂岩；7—带有凝灰岩和灰岩夹层的层凝灰岩；8—安山岩；9—安山岩的凝灰角砾岩；10—微晶玄武岩；11—次火山辉绿岩；12—次火山岩和喷出玄武岩；13—闪长岩；14—基性凝灰角砾岩和凝灰岩及玄武岩；15—辉长闪长岩和石英闪长岩；16—成矿前斜长花岗岩；17—致密磁铁矿；18—浸染状磁铁矿；19—钠长石和钾长石交代岩；20—黑云母化；21—方柱岩；22—方柱石化；23—辉石夕卡岩；24—石榴石夕卡岩；25—夕卡岩化；26—构造断裂

些矿床中发育含钴黄铁矿。接触-交代铁矿床分布相当广泛。苏联哈萨克斯坦库斯塔奈省卡恰尔、索柯洛夫和萨尔拜和乌拉尔勃拉戈达季山和佩斯昌山、西伯利亚西部捷米尔道、捷利别斯等矿床，以及东西伯利亚的科尔舒诺夫等矿床均应列入此类。苏联以外的矿床有罗马尼亚的巴纳特、瑞典的赫里斯季阿尼亚矿床等。按其规模这种矿床主要属中小型，其储量不超过 $(1-2) \times 10^8 t$ 。但是，也发现有更大型矿床，其储量为几十亿吨(库斯塔奈型)。

(1) 土尔盖铁矿区 面积 $4 \times 10^5 km^2$ 。

根据A. M. 迪姆金(1966)报道，这里查明并勘探了70多个磁铁矿矿床及矿点。它们位于深大断裂带发育的土尔盖拗陷范围内，沿该带可见到早古生代和中古生代沉积层接触带。不同时代(从前寒武纪到三叠纪)的火山作用和侵入岩浆作用(从超基性到酸性和碱性)表现尤为广泛和多样。拗陷结构系由两个层系组成。组成褶皱基底的下部层系是由受变质的、挤压成褶皱的前寒武纪和古生代岩石组成。上部层系为地台盖层，系由产状水平或略有移位，几乎没有受变质的中生代和新生代岩层组成。这些岩层的厚度变化，北部介于300—200m之间，南部介于40—10m之间。

磁铁矿矿床产于基底岩石中，并赋存于近南北的窄带(土尔盖主要铁矿带)，该带在空间上与瓦列尔雅诺夫构造相的复向斜带相符，这种复向斜带东、西都受区域深大断裂带控制。土尔盖磁铁矿带延长650km。矿床主要集中在复向斜带的轴部和中心部分。这些矿床趋向产于地垒式背斜向地堑式向斜过渡的地区，同时位于纵向大断裂和其他方向断裂的复合部位。被断裂构造切穿的部分是火山作用和辉长闪长岩(C_2-C_3)浅成侵入体侵入的中心，磁铁矿化即和这种岩类共生。接触交代磁铁矿矿床含磷少的矿石具有特别大的工业意义(索柯洛夫、萨尔拜、卡恰尔等)。简述索柯洛夫矿床作为实例。

(2) 索柯洛夫矿床 距库斯塔奈市40km。它是在属于土尔盖拗陷向斜带范围内形成的。矿床赋存于石榴石-辉石-方柱石夕卡岩(双

交代产物)的地带中,这种产物是沿古生代灰岩与闪长岩和玢岩接触带的断裂带发育的(图2、3)。在子午线方向延长7.3km的夕卡岩带中有相当稳定的磁铁矿矿体产出,倾向西,倾角70—80°。在矿体南部见到最富集的磁铁矿,延长1.2km。此处上部中段矿体厚度达250—270m,在350—500m深度厚度减小到50—100m,且矿体分成三条支脉。矿床其余部分的厚度不超过100—110m。沿倾斜矿体追索达1,250m。矿化发育在玢岩层下一套钙质层凝灰岩(厚度120—140m)中。下伏为层凝灰岩的灰岩实际上不发育磁铁矿化。沿夕卡岩形成磁铁矿是因为有效孔隙度(达30%)和脆性的增高。近东西向和斜向断裂将矿床分割成许多延长800—2,400m的区段。磁铁矿矿石致密,很少有浸染状。矿床上部中段至深度70—75m处磁铁矿变为假象赤铁矿。富矿石中Fe的品位为57—58%,S1.34—2.57%,P0.07—0.09%。需要选矿的浸染状矿石可分为两个品级:含Fe30—50%和含Fe20—30%。矿石特征是Ca和Mg的含量很高,这就有利于改善冶炼的条件。索柯洛夫矿床的成因特点是夕卡岩中广泛发育复合的绿泥石,与该绿泥石共生的有磁铁矿和硫化物(主要为黄铁矿)。矿床被第三纪砂质粘土沉积的巨厚盖层覆盖。

如上所述,磁铁矿矿床与暗色岩共生。位于西伯利亚地台南部的安加罗-伊利姆型矿床(最大的是科尔舒诺弗)是典型的矿床。根据H. B. 巴甫洛夫(1961)的文献,该区广泛发育寒武纪、奥陶纪和志留纪沉积,其下部为灰岩,上部为砂岩。在其上以冲刷和角度不整合面以上产出早二叠世含矿层——砂岩、泥岩,夹砾岩和煤层。下二叠纪沉

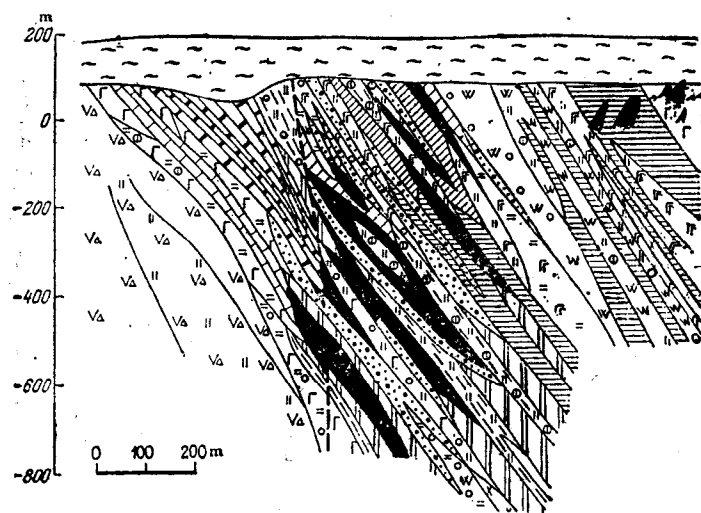


图3 索柯洛夫矿床地质剖面图
(据X. 尚基列耶夫)

图例见图2

积层被凝灰岩层(块集岩、凝灰岩、凝灰角砾岩)覆盖,而凝灰岩层却被侏罗纪具斜层理的砂岩超覆。暗色岩的侵入体分布广泛,主要为粗玄岩、辉长粗玄岩和粗玄玢岩,呈层状体、岩脉和岩株产出。岩石揉皱成东西向、北西向和北东向的缓褶曲,被断层复杂化。

磁铁矿矿床在空间上和成因上与暗色岩有密切关系,并产于充填古火山机构的凝灰