

非金属地质学

Peter W. Harben
Robert L. Bates

著

黄 振 威 译

国家建材局地质研究所

5-6.573
406

非 金 属 地 质 学

Peter W. Harben
Robert L. Bates 著

黄 振 威 译

国家建材局地质研究所

译 者 的 话

《Geology of the Nonmetallics》(《非金属地质学》)一书,由美国金属通报公司(Metal Bulletin Inc.)于1984年出版。该书内容广泛涉及世界上不同的地域和不同非金属矿种的地质、生产和应用以及这些矿种在世界经济发展中的作用和地位。

目前,世界各国都极其重视非金属矿种的开发和应用。由于工业技术和矿产品深加工技术的不断发展,进入商品领域的矿物和岩石的种类日见增多,其应用的范围日见扩大。我国非金属矿产资源丰富,非金属矿产品的应用具有广阔的发展前景。

本书的翻译,旨在介绍国外非金属矿领域内的情况,给读者提供参考和借鉴,如果能通过读者的理解和创造,对充分发挥我国非金属矿产资源潜力并开拓其应用领域有所启迪,这将是译者的心愿。

译者水平所限,敬请读者指正。

译者 黄振威

1986年

3520/10

目 录

序 言.....	马之平 校 (1)
火成岩矿产	马之平 校 (4)
橄榄石.....	(4)
铬铁矿.....	(7)
霞石正长岩.....	(14)
花岗岩.....	(17)
伟晶岩和热液作用矿产.....	马之平 校 (20)
长石.....	(20)
云母.....	(25)
石英晶体.....	(32)
含锂矿物.....	(34)
含铍矿物.....	(41)
萤石.....	(44)
喷出岩矿产	马之平 校 (56)
玄武岩和有关岩石.....	(56)
浮岩和山火渣.....	(56)
珍珠岩.....	(61)
沉积岩矿产	(69)
碎屑沉积.....	马之平 校 (69)
砂和砾.....	(69)
砂 岩.....	(72)
粘 土.....	(76)
钛和锆矿物.....	(110)
稀土元素矿物.....	(126)
金刚石.....	(131)
生物作用矿产.....	马之平 校 (140)
石灰岩和白云岩.....	(140)
硅藻土.....	(145)
磷酸盐岩.....	(149)
硫.....	(167)

化学作用矿产.....	(176)
重晶石.....	戎培康 校(176)
食盐.....	江绍英 校(185)
碳酸钠.....	江绍英 校(194)
硫酸钠.....	江绍英 校(200)
苏打石和片钠铝石.....	江绍英 校(204)
石膏.....	江绍英 校(205)
含钾矿物.....	江绍英 校(213)
硼酸盐.....	戎培康 校(227)
天青石.....	戎培康 校(234)
硝酸盐.....	戎培康 校(237)
溴.....	戎培康 校(240)
碘.....	戎培康 校(243)
地表蚀变矿产.....	江绍英 校(246)
蛭 石.....	(247)
含锰矿物.....	(248)
铝土矿.....	(254)
氧化铁.....	(261)
风化硅土和均密石英岩.....	(265)
沸 石.....	(269)
变质作用矿产.....	江绍英 校(274)
大理石.....	(274)
板 岩.....	(276)
石 棉.....	(279)
滑 石.....	(291)
菱镁矿和氧化镁.....	(299)
石 墨.....	(308)
刚玉和刚玉砂.....	(315)
石榴石.....	(317)
硅灰石.....	(319)
硅线石矿物.....	(322)
叶腊石.....	(328)

序 言

本书收集了非金属矿或工业矿物、岩石，包括除金属矿、矿物燃料、水及宝石类之外，世界上人类利用的全部矿床地质产状的资料。在过去的十年到十五年间，这些资料积累得很快，但都处于分散状态。本书在涉足世界范围的资料基础上，无意将所有包括在内，只对重要的矿床加以论述，试图对地质学家、工程师、计划工作者、政府和工业部门的决策者有所帮助。它也对学习矿床学的学生们有所帮助。

本书论述的岩石及矿物有五十多种，并按成因加以编排。由于这些物质具很大的多样性，本书不采取死板一律的处理方法。一般地讲，每一部分都包括岩石和矿物的物理和化学性质及其工业意义、以及它们的地质特征和成因资料。然后记述主要的产地，如果产地太多，就只论述有代表性的产地。本书还例举主要的采矿公司的名称，在具备合理的现时性和可靠性的产区，提供产量及储量数字。本书根据地质上和商业价值上的可行性指出了与非金属矿有关的各个方面。

本书所使用的产量单位为公吨/年。距离为哩。在图表上标明相当的公里数。面积为亩及平方哩。温度为华氏，同时也标出摄氏。

分类

分类基本是地质分类，即按成因类型。但由于自然界既不单纯也不简单，一种特定的矿物可归入几种类型，所以例外和折衷是不可避免的。例如重晶石，以矿脉和空洞充填物形式产出，可以视为交代作用的矿体，在沉积学方面，作为残积矿床和分布广泛的层状矿体。而这最后一种类型在商业上是最重要的（如在美国、法国及印度），所以我们把它归入沉积类型中。尽管如此，本书不得不承认，成层的重晶石矿床具有热液活动的明显证据，并且，矿床可能是海底气化作用的产物，这比将其视为沉积聚集作用的传统说法更好。这种情况说明分类工作是困难的。其它矿物，如菱镁矿、钛铁矿、高岭土等，也同样可能有几种成因类型。

物理性质的重要性

有些非金属矿物的价值在于它的化学和冶炼的性质，而物理性质只是附带的。然而，大部分非金属矿物的重要性则主要表现在物理性质上，并且直至最终用途基本保持不变。不但对大批量碎石产品是这样，对特殊物质如硅藻土、石棉、石墨也是如此。已知有一些坩锅的制作者坚持石墨不仅必须从一个地区供给，而且，还必须由一个矿山来提供。许多岩石和矿物的物理性质以及它们的地质产状，不得不引起地质学家的关注，因为，它们对消费者是重要的。

近期发展

从非金属矿的广阔领域内可以了解到当今的一些趋势。现叙述如下：

1. 部分消费品生产工业对非金属矿的质量指标要求更为严格

快速的，自动化的生产方法要求原料具高度的均匀性。例如，在玻璃生产的熔炉中，负荷的准确控制是绝对必要的。在高级纸张的生产中，只能用最细级的填料和涂料，这些要求对原料的供应者来说，是一个沉重的负担。

2. 精加工技术不断提高

作橡胶原料的高岭土，必须粉磨和气选；作纸张填料使用时，高岭土必须水洗；作造纸工业的填料和涂料时，高岭土必须浮选、剥分、煅烧、磁选，以取得最细级的产品。细磨和浮选，多应用于钾盐和长石等这样的各种矿物。云母和滑石要经过超细磨，使其细粒化。静电分离、光电分选、以及各种不同的化学处理方法，应用于这种或那种非金属矿。

3. 新应用的发展

橡胶、纸张、油漆、塑料的填料市场已变得高度竞争。所用材料包括高岭土、滑石、细磨碳酸盐（石灰石或大理石）以及其它矿物质。其它的新发展包括大型建筑物非承重外墙饰面的大理石，或其它石材薄板的应用以及铺筑材料和混凝土块中硫黄的试验应用。

4. 政府的预算在增长

政府可能对出口原料规定低价，如澳大利亚政府对锆石的出口。国家机构可以控制某一矿产品的所有贸易，如印度矿物与金属贸易联合公司，政府可以禁止未加工矿产品的出口，如土耳其对重晶石出口的政策；或减少出口，如加拿大魁北克政府对石棉的出口。政府甚至决定直接开矿，如加拿大萨斯克彻温政府对钾盐的开采。政府的干预形式可有多种多样，如矿产品储备或从储备中出售矿产品。

5. 有关的环保和健康问题

环境和健康问题对非金属原料的生产者关系密切。这些问题，从采石场管理的土地利用和分区规划，到宣称影响整个工业的健康危害都包括在内，象石棉的有关问题一样。

6. 在某一工业内部着重点的转移

这方面最明显的例子也许是硫磺工业。用弗拉西（Frasch）法生产的元素硫的产量显著下降，与此同时，从原油提纯和富含硫化物的天然气中生产的硫产量在增长。这样，硫的生产相当大地受到能源需求的控制。另一方面，铍的主要来源不再是来自伟晶岩的绿柱石，而是来自于分散在火山凝灰岩中的硅铍石。大理石生产者的注意力正在从生产规格石转向更有利的细磨碳酸钙。

7. 非金属矿的国际性

长期以来，片云母和工业金刚石是漂洋过海的外来材料。但今天，大量的材料象水泥和磷矿也加入了这个行列。高岭土从乔治亚运往日本，滑石从蒙大拿运往比利时，重晶石从爱尔兰运往美国海湾沿岸，石膏从墨西哥运往加利福尼亚，长石从芬兰运往马来西亚。由于工业对具备特殊或独特性质材料的需要，而不管该材料出自何处，所以，对材料处理和运输的更高级技术的发展是一个令人瞩目的因素。这样，怀俄明的膨润土运送到世界各地的石油钻井台上，而澳大利亚的金红石和钛铁矿运送到几千哩外的 TiO_2 颜料的制造厂商那里。

保证供应是一个重要因素。例如硼酸盐几乎全部来自于美国和土耳其，这对一些消费者

来说,供给的来源就太窄了。锆铁矿必须依赖苏联、南非、阿尔巴尼亚、菲律宾等国供应,因此,用户总是希望锆铁矿床更加平均地分布。

工业的复杂性

上述硫磺供应的戏剧性变化对硫磺工业有着深刻的影响。天然碱取代了纯碱的市场,至少在北美是又一个显著的变化,这仅是附带举出的一个例子,它说明自然产出的物质已经大规模地取代了人工制造的物品。无疑,将来还会有别的变化。谁知道在什么时候佛罗里达市场上来自磷酸盐岩中的氟会取代来自萤石中的氟?什么时候天然沸石将大规模打入工业界?象这样一些问题使得非金属领域复杂化,不可预见,并带来无穷的兴趣。

资料来源

基本参考书“工业矿物和岩石”,是美国采矿、冶金和石油工程师学会(AIME)出版的,1983年第五版,由许多作者编写。是一本不可缺少的地质学、工程学,以及非金属矿应用的书籍。“工业矿物地质座谈会论文集”(此会每年在北美举行),提供了大量的地质及有关资料。统计和技术数据取自美国矿业局出版的“矿物年鉴”,“矿物实况及问题”,及一系列的“矿产品剖析”(Mineral commodity profiles)。美国地质调查所在它的“公报及专业论文”中提供了丰富的矿床资料。在其它国家的类似出版物,包括英国地质科学研究所出版的“矿物卷宗”(Mineral Dossier),采矿与冶金协会和矿物学会出版的“欧洲矿床”,南非矿产和地质调查部出版的“南非共和国矿物资源”,巴西矿产能源部出版的“Perfil Analítico da Barita”,以及加拿大自然资源、矿物能源部出版的众多的矿产剖析和报告。

一个重要的提供者是“工业矿物”月刊,1984年5月是它的第200期发行纪念。这个杂志的主要内容是每2至3年对特定矿物作世界性最新调查。在多种主题中,包括论述矿物在特定工业上的用途,如塑料或陶瓷工业,其中一些扩大发表在“……的原料”刊物中,包括玻璃、油井、钻探、耐火材料、纸浆和纸等。另一种方式是论述某一国家的工业矿物刊物。这方面的范围较广。从希腊到捷克斯洛伐克,墨西哥到加拿大,南非到约旦,从澳大利亚到斯里兰卡。“工业矿物”也是国际会议的发起者并出版论文集。1984年5月,第六届工业矿物国际会议在加拿大多伦多举行。

1960年出版的教科书“工业岩石和矿物地质学”,在1969年由于扩大了它的参考文献目录,而重新出版。本书按最新发展进行了修正,并极大地扩展了它的地理范围。

参 考 文 献

- Bates, R.L., 1975, "Channels of Communication in the Industrial Minerals Field" in *Proceedings, First Industrial Minerals International Congress*, R.E.S. Fleming, ed., Metal Bulletin, Ltd., London, pp. 266-269.
- Bates, R.L., 1969, *Geology of the Industrial Rocks and Minerals*, Dover Pub. Inc., New York, 459 pp.
- Harben, P.W., 1983, "Industrial Minerals as World Travelers" in *Proceedings, Nineteenth Forum on the Geology of Industrial Minerals*, S.E. Yundt, ed., Ontario Geol. Surv. Misc. Paper 114, pp. 149-155.

火成岩矿产

橄 榄 石

橄榄石是以分子式 R_2SiO_4 为代表的一系列类质同相矿物，而不是单独的矿物，其中R是铁或镁。端元组分为镁，则是镁橄榄石，端元为铁，则是铁橄榄石。橄榄石通常是 $(MgFe)_2SiO_4$ ，含镁超过铁。1928年第一次试验用橄榄石做耐火材料，到1950年全世界耐火砖制造方面约消耗橄榄石20,000吨/年。自那时以后，产量剧增，各工业部门每年消费约1.5百万吨。最主要的应用领域是高炉，也许占总消费量的70%。在高炉中，镁和硅起着炉渣调节剂和熔剂的作用。对此，橄榄石是理想的，因为，它具有最高的镁含量、并有大于40%的硅。橄榄石砂的熔点为 $3270^{\circ}F$ ($1800^{\circ}C$) 左右，所以，能用之作耐火砖。蓄热部件利用它优良的热保持能力（砖在低廉的、非用电高峰时间内加热，而在需要时，可将热释放出来）。橄榄石的比重高（镁橄榄石3.2，铁橄榄石4.3），硬度为6—7，它的贝壳状断口使其可以作喷沙磨擦材料；它不含对健康有害的游离硅。橄榄石具各种深浅不同的灰白色，或橄榄绿色，有时呈棕色，少有黄绿色，具玻璃光泽。

地 质

橄榄石在地壳中是相当普遍的。它产于超基性火成岩中，并作为橄榄岩的主要矿物。如果岩石几乎全为镁橄榄石组成，则称为纯橄榄岩，它是一种中至粗粒结晶岩石，通常在风化露头呈红棕色。新鲜未风化的纯橄榄岩相当稀少，因为它易蚀变为氧化物和蛇纹石。矿体通常含92%橄榄石，5%辉石，1%尖晶石，铬铁矿及磁铁矿，并含次生矿物，如绿泥石、蛇纹石、滑石和褐铁矿。橄榄石也产于基性火成岩中，如橄榄辉长岩，玄武岩及辉绿岩（在英国称粒玄岩Dolerite）。富镁橄榄石是硅质石灰岩和白云岩经过热变质作用而形成。铁橄榄石较为普遍地产于经受区域变质的富铁沉积物中。

有商业价值的橄榄石矿床，一般仅产于阿尔卑斯式纯橄榄岩岩体中。这些岩体形成一部分结晶的似伞状物。如果存在叶理，则是岩浆侵位时流动的结果。所有具商业价值的岩体，都是岩浆作用成因的，有些也可以是岩浆分凝作用的产物（Teague, 1983）

生 产

美 国

美国的橄榄石生产限于华盛顿州和北卡罗来纳州。华盛顿的矿床质量优良，但距大多数市场很远。

华盛顿州

生产中心在霍特科姆和斯卡吉特县的双生姊妹山（Twin Sisters Mountain）位于该州

的西北部,贝林哈姆以东20哩。在喀斯喀特带中有一个最大的、椭圆形纯橄榄岩体,面积35平方哩,几乎全部由未蚀变的橄榄石组成,其长轴平行于喀斯喀特带,走向N30°W,也平行于区域构造。其它几个纯橄榄岩体也沿此带产出。该区地质背景为三个冲断层推覆体所控制,最年轻的一个将上侏罗系(?)绿片岩及千枚岩推覆于古生代岩体之上。双生姊妹岩体侵入的推覆体覆于上白垩系—古新世的斯瓦克(Swank)组之上,证实了第三纪造山运动后期的一个侵位。纯橄榄岩侵入时,似乎是干固岩体,可能是造山运动从地幔运移而来,对围岩的构造影响较小。

双生姊妹岩体为含顽火辉石的纯橄榄岩,风化成红棕色。未蚀变的岩石含橄榄石,顽火辉石,铬铁矿及单斜辉石。在整个岩体中,镁橄榄石占优势,顽火辉石的镁铁比率(Mg:Fe)与橄榄石相同,铬铁矿含量平均为1—2%,局部有较高的富集,微量的单斜辉石是铬透辉石,围绕纯橄榄岩体有一个宽150—2000呎以上的蛇纹石化边。从新鲜的纯橄榄岩到具有叶蛇纹石细脉的橄榄石之间,有一个快速过渡,然后过渡到带有擦痕和高度叶理化的蛇纹岩。在接触带的蛇纹岩,含有一个滑石富集带(Ragan, 1961, 1967)。

IMC联合公司在华盛顿州及北卡罗来纳州生产橄榄石,采于双生姊妹山底部的山麓堆积物中,产量为全美的60—70%,产品较纯,为细粒和粗粒的橄榄石砂,分别用于铸造和高炉中,加工方法采用干加工。在该地区的另一生产者是橄榄石联合公司,在贝林哈姆附近生产,年产量为6000吨(Watson 1980)。

北卡罗来纳州

从北卡罗来纳州沃托加县向西南,到乔治亚州的怀特县,长达175公里的一条带上,找到了几个大的纯橄榄岩体,它们是一些侵入角闪片麻岩和片岩中的侵入岩体,接触带通常通过一条蛭石和阳起石带来过渡。

纯橄榄岩体的产出有两种主要形式——长轴平行于区域片理的透镜体式,及较少的环状岩墙式。岩体的核心部分约占整个岩体体积的一半,由相对未蚀变的橄榄石组成,外带及核内部的一些断层带已部分蚀变为蛇纹岩和滑石,最大的岩体估计有了3亿吨橄榄岩,其矿物组成非常稳定。

IMC联合公司在卡罗来纳州的伯恩斯维尔和阿迪(Addie)开采纯橄榄岩矿山。阿迪矿床在阿什维尔南西35哩处,其长为1¾哩,最宽处为200呎。它形成了著名的韦伯斯特——鲍尔瑟姆环状岩墙,即椭圆状纯橄榄岩侵入体的东部。矿床由高度页理化的纯橄榄岩组成,经过热液活动,有滑化石、绿泥石化和其他次生矿物。较少受该变质作用影响的纯橄榄岩部分,是具有经济意义的区域。矿体一般高出地面,实际上无覆盖,无植被,开采条件很理想(Hunter, 1941; Watson, 1980)。

在北卡罗来纳州,其他的生产者包括国家橄榄石公司,它在阿什维尔附近拥有一个矿山,在迪尔斯波罗(Dillsboro)有一个年产100,000吨的工厂。另外还有一个较小的斯普鲁斯派恩橄榄石公司,在斯普鲁斯派恩地区生产,以生产长石和云母而著称。

挪 威

A/S奥利文(Olivin)是世界上最大的橄榄石生产者,它在挪威西部孙默勒地区的阿海姆(Aaheim),有年产750,000吨的生产能力。第二个公司是K/S努达尔奥利文A/S公司,在塔菲尤尔附近的努达尔矿和阿海姆附近的莱夫达尔(Lefdal)矿年产约150,000吨。生产

来自阿勒桑得 (Aalesund) 以南, 菲约尔敦 (Fjordane) 杂岩体中各种规模的纯橄榄岩。其产品含91.3% 镁橄榄石, 6.8% 顽火辉石, 0.9% 蛇纹石, 0.7% 铬铁矿和0.4% 尖晶石这些。矿床是欧洲最大的矿床, 估计约有20亿吨橄榄石。在整个矿体中, 虽然质量比较均匀, 但部分矿床有蛇纹石化。在片麻状围岩中, 努达尔矿床以透镜状产出、蚀变矿物集中在破碎带及小的裂缝处 (Anon, 1970)。

瑞典在本国北部的汉德尔生产橄榄石, 其产量中等, 年产不足10,000吨, 为汉德尔塔尔斯坦斯AB (Handöl Töljstens AB) 所控制 (Watson, 1980)。

奥地利

马格诺里斯 (Magnolithe) GmbH的生产者在莱奥本附近的露天矿, 年产约 120,000 吨蛇纹石化橄榄石, 由于产品含40—70%的蛇纹石, 所以不得不将其煅烧和分级, 用于铸造和耐火材料工业, 它的很多产品用于筑路 (Watson, 1980)。

西班牙

纯橄榄石的生产是在西班牙最西北端的拉科鲁尼亚地区, 大约年产400,000吨。主要生产者是帕塞克 (Pasek) 西班牙公司, 它在卡帕勒达山 (Sierra de la Capaleda) 地区经营着两个采石场。在同一地区, 敦尼塔斯 (Dunitas) 工业公司在奥蒂盖拉附近, 经营赫比亚矿山 (Watson, 1980)。

表1 橄榄石砂的化学分析 (%)

	MgO	SiO ₂	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	氧化物	烧失量
美国 华盛顿	49.4	41.2	—	7.1	0.2	1.8	0.7
美国 北卡罗来纳	50.5	40.1	—	6.7	0.2	1.0	0.7
挪威 阿海姆	49.0	42.6	6.0	—	—	1.8	0.6
瑞典 汉德尔	46.0	41.1	—	8.2	0.8	2.0	1.8

注: 氧化物是: Al₂O₃ TiO₂ MnO Cr₂O₃ NiO CoO

资料来源: Beckius, 1970。

参 考 文 献

- Anon., 1970, "Opportunities for increasing olivine output", *Industrial Minerals*, no. 29, Feb., pp. 11-21.
- Beckius, K., 1970, "Olivine: its properties and uses", *Industrial Minerals*, no. 29, Feb., pp. 22-26.
- Hunter, C.E., 1941, *Forsterite Olivine Deposits of North Carolina and Georgia*, North Carolina Div. Min. Res. Bull. 41, 117 pp.
- Livingston, V.E., Jr., 1982, "Industrial Minerals of Washington State" AIME preprint no. 82-301, Honolulu, Hawaii.
- Ragan, D.M., 1961, *The Geology of the Twin Sisters Dunite in the Northern Cascades, Washington*, unpub. Ph.D. dissertation, University of Washington, 88 pp.
- Ragan, D.M., 1967, "The Twin Sisters Dunite, Washington" in *Ultramafic and Related Rocks*, P.J. Wyllie, ed., Wiley, New York, pp. 160-167.
- Teague, K.H., 1977, "Olivine — Past, Present and Future", AIME preprint no. 77-H-69, 10 pp.
- Teague, K.H., 1983, "Olivine" in *Industrial Minerals and Rocks*, 5th ed., S.J. Lefond, ed., AIME, New York, pp. 989-996.
- Watson, I., 1980, "Olivine and dunite slag uses foster right markets", *Industrial Minerals*, no. 159, Dec., pp. 57-63.

铬 铁 矿

铬在制造业中的用途范围很广，从一套刀具到黄色油漆。铬的主要来源是铬铁矿矿物。这是一种铁黑色矿物，半金属光泽，不规则断口，硬度为 5.5—6.5，比重为 4.5—4.8。铬铁矿是一种具简单化学式 FeCr_2O_4 的尖晶石，虽然交换作用使其成分发生变化，但只限于 $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})(\text{Cr}, \text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2\text{O}_4$ 的范围内。铬铁矿矿石总是与脉石矿物相混合的，特别是与直辉石、橄榄石、斜长石、以及水化蚀变的产物，如蛇纹石、绿泥石和滑石相混合。受交代作用影响的矿床，还可能带有白云石、菱镁矿、水镁石、海泡石、高岭土、石英和硅镍石等矿物 (Mikami, 1983)。总之，有商业价值的铬铁矿床的 Cr_2O_3 含量为 25—65%。

地 质

铬在地壳中的分布偏重于超基性岩中，它的 Cr 平均含量为 1800ppm，而在辉长岩中仅为 200ppm，花岗岩中只有 5 ppm。因此，铬铁矿床只在橄榄岩、纯橄榄岩和辉岩等这样的岩石中产出，或在蚀变产物，如蛇纹岩中产出。占世界铬铁矿储量的 98%，层状矿床产于层状岩浆杂岩较下部的，具明显成层的地层中。平行的矿层横向范围很大，非常均匀，矿石均为高铁铬矿石 (Thayer, 1973)。其均匀性甚至明显的表现在相距甚远的矿床上；如美国蒙大拿的斯蒂尔沃特杂岩，津巴布韦正岩墙，南非布什维尔德 (Bushveld) 杂岩，它们在化学组分、内部形态和构造、矿物组成和结构上都非常相似 (Wyllie, 1967)。

在底盘矿中的那些矿床，是由岩浆部分分异作用而形成。铬铁矿及早期结晶的矿物，密度较岩浆大，故它们趋向于下沉，并聚集在一层内。

较大的铬铁矿矿床也有豆状矿体形。它们是块状到浸染状的铬铁矿，呈透镜体聚集，产在蛇绿杂岩的斜方辉石橄榄岩和纯橄榄岩中 (Thayer, 1960)。关于这些杂岩的成因，一种理论是从分离的大陆板块中间上升的岩浆，经分凝作用而形成的。这种理论的证据，包括豆状铬铁矿床有清晰的化学差异、结核状结构及拉长特征，特别是聚集成带，代表了板块的边界 (Dickey, 1975)。这些边界由一些山系显示出来，如北美的阿帕拉契山脉，苏联的乌拉尔山，所谓的阿尔卑斯与喜马拉雅山之间的特提斯安山脉 (Tethyan)，及环绕太平洋的西部边界的一些山脉 (Thayer, 1973)。

典型的豆状矿床含铬高或含铝低，或二者兼有，但其规模有限。大多数的储量少于 100,000 吨，找到的超过百万吨的矿床不多于十几个。但它们是非冶炼用铬铁矿的主要来源，所以，在此稍详叙述。在几个大规模层状矿床中，生产出的铬铁矿只用于钢和铁合金工业中。

层状矿床和扁豆状矿床的特征列于表 2，矿床产地和储量列于表 3。

表2 铬铁矿矿床特征

层状 (堆积)	豆状 (阿尔卑斯型)
矿石含铁高	矿石含铬高
	镁含量高
$\text{Fe}^{2+}:\text{Mg}$ 有变化	$\text{Fe}^{2+}:\text{Mg}$ 恒定

横向范围巨大	规模有限
储量巨大	小至中等储量
稳定规则的层状	极不规则
中寒武—前寒武或更老	前寒武纪中没有
原生特征为主	次生特征为主
无结核结构	有结核结构

表3 一些有商业价值的矿产地和储量(百万吨)

储量*

层状:

南非布什维尔得 (Bushveld)	1.050
津巴布韦大岩墙 (Great Dyke)	550
芬兰凯米 (kemi)	10
巴西巴希亚坎波福莫苏 (Campo Formoso Bahia)	7**
四个地区合计:	1.167

豆状:

苏联·南乌拉尔山	11
印度	7
阿尔巴尼亚	6.5***
土耳其	5
马尔加什共和国	5
菲律宾	5
伊朗	1.5
七个地区合计:	41.0

*这里的储量是高铬矿石 ($46\% \text{Cr}_2\text{O}_3$, $\text{Cr}:\text{Fe}$ 大于 $2:1$) 和高铁矿石 (Cr_2O_3 最少为 $40-46\%$, $\text{Cr}:\text{Fe}$ 在 $1.5:1-2:1$ 之间) 的组合储量。

来源: Thayer, 1973; **Duke, 1982; ***Rossi, 1979.

应 用

约60%的铬用于铬铁合金, 生产铬铁合金是将铬矿石置入电碳炉内还原而成。铁铬合金用于不锈钢及其它合金钢的制造。一般地说, 这类钢大约需要18%的铬, 而特种切削钢及各种耐磨合金含铬高达30%。

大约25%的铬铁矿作为化工原料, 15%用于耐火材料的原料 (McFarlane, 1978)。生产铬的化学材料通常是首先将铬铁矿转换成重铬酸钠, 即将其焙烧, 并用纯碱和硫酸处理。对生产用于镀铬的铬酸和用于鞣制皮革的碱性硫酸铬以及氧化铬绿色颜料, 铬酸锌黄色和桔黄色颜料等, 都要以重铬酸钠作为原料。在耐火材料工业中, 铬铁矿常常同碱性耐火材料混合, 特别是与镁混合 (55%以上的耐火材料工业是这样) 制成“镁铬砖”或“铬镁砖”, 这种砖对热冲击最有抗力。

以上三种主要的传统用途, 要求铬铁矿具有一系列指标, 如表4。

表4 铬铁矿石的标准指标

	Cr ₂ O ₃	Cr : Fe	SiO ₂	物理特征
冶金用	>46%	>3:1	<10%	硬块状
化工用	>44%	>1.5:1	<3.5%	块状
耐火材料	30-40%	2-2.5:1	5-6%	脆块状
	(加25-30%的Al ₂ O ₃)		<3%	

炼钢工业上的技术改进，特别是在生产不锈钢方法上，使用了真空氧脱碳法（VAD）及氩氧脱碳法（AOD），使得有可能对矿石含铬的要求比表中列的低一些。再者，烧结和团矿的方法使得生产铁铬合金可以使用脆性矿石。这些因素使冶金级铬铁矿石的传统规定放宽到包含过去只适用于化工级的原料。使用碱性氧高炉（BOF）减少了生产镁和白云石耐火材料对铬的要求量，而同时发展起来的砖的直接砌合法，又扩大了细粒铬铁矿的用途。总的结果是那些指标仅仅是严格的作为一种有用的指示，而这些铬铁矿床中生产的矿石，用在一个方面要比用在另一方面更合适。

生 产

世界上大型层状矿床中，高级品铬铁矿储量的99%产于非洲南部—65%在南非，34%在津巴布韦，这一点加上苏联几乎占有世界豆状矿床的1/3储量的事实，使得铬铁矿成为一种政治上敏感的矿物。

南 非

对南非铬铁矿的任何形容都不过分。它是世界上最大的生产者。在最大的层状侵入体—布什维尔得岩浆杂岩中，拥有世界储量的60%以上，该杂岩体覆盖了德兰士瓦西中部26,000平方哩的区域，它是安哥拉与纳米比亚边界上第二个最大的库内内杂岩的八倍半，相当于加拿大萨得伯里杂岩体的50倍，美国斯蒂尔沃特杂岩的348倍。

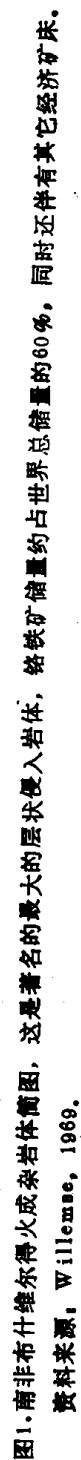
布什维尔得杂岩体由5个相邻岩浆体组成，形成一个舌状露头，从东到西延长288哩，从南到北150哩，比勒陀利亚镇在它的南部边缘，大致呈盆地形状，岩石的构成从纯橄榄岩经橄榄岩、辉石岩、到苏长岩、辉长岩、斜长岩以及花岗状岩类，并含有正岩浆的、伟晶岩的，及热液型的矿床（Willemsse, 1969）。该杂岩体可以分为5个主要单元，如表6所示。

据报道，重要的铬铁矿矿床约有10亿吨，产于不同间隔的岩层中，从梅伦斯基矿层（Merensky Reef）到关键层（Critical Zone）底部附近（见图1图例）。矿石的最重要来源是斯蒂尔波特（Steelpoort）主矿层，厚33—48吋，从斯蒂尔波特镇向北延伸40哩。

表5 世界铬铁矿产量(1000吨)(1981)

南非	2,870
苏联	2,400
阿尔巴尼亚	1,140
土耳其	545
津巴布韦	536
巴西	440
印度	345

资料来源：伦敦地质科学院。



苏 联

苏联生产的2,400,000吨铬铁矿的90%来自哈萨克斯坦的柯姆—塔乌(Khom—Tau)地区的矿床,它由顿斯科伊联合企业生产,主要用于冶金业。然而,萨拉诺夫斯科伊(Sar-anov Skoye)年产200,000吨,则主要用于非冶金方面。该矿床位于彼尔姆(Perm)行政区的丘索沃(Chusovo)区域乌拉尔山的西坡,即位于元古代基底中加里东断裂活化期形成的超基性岩的外带。铬铁矿产于较小的向东倾斜的辉长岩—橄榄岩体中,出露面积约5400呎长,600呎宽。含矿带约120—150呎宽,包括三个大致平行的似脉状矿体,全为块状铬铁矿,最富的是中间矿体。造山运动期后的活动,将矿体分裂为一系列移位的矿块,并被辉长—辉绿岩墙及轻微绿泥石化的辉绿—玢岩脉所切割。典型的矿石含38%的 Cr_2O_3 ,15% Al_2O_3 ,18% FeO ,和12% MgO ,它包含发育于辉岩和橄榄岩之后的蛇纹石基质中,有些地方伴有热液矿物(Smirnov, 1977)。

阿尔巴尼亚

在古老山脉的山脚,可以追踪到成带的豆状铬铁矿床,其延伸从南斯拉夫,经过阿尔巴尼亚、土耳其、希腊到伊朗、阿富汗及巴基斯坦。实际上,所有这些国家都是铬铁矿的生产者。在此带东面的印度,也产有这种矿床。这些矿床都伴有橄榄岩,橄榄岩来源于巴尔干—亚洲米诺尔(Minor)超基性岩地区,该区也是其它有商业价值的矿床的主要来源区,特别是菱镁矿。

1937年在阿尔巴尼亚东北部发现铬铁矿以后,在意大利和德国占领区又开发了几个矿。但在第二次世界大战未被破坏了,后来,在苏联的设备和捷克的技术帮助下,又重新开工。随后的发展使产量从1950年的50,000吨增加到年产100多万吨,从而使阿尔巴尼亚成为仅次于南非和苏联的第三大生产者。

下侏罗系方辉橄岩中的铬矿,产在典型的豆状矿床中。每个矿床含矿石在10,000吨到800,000吨之间,在四个地区开采着14个矿。生产能力最大的是特罗波亚——库克斯地区,但最大的单独矿山是其以南的马尔塔奈希(Martanesh)和布尔契泽,每个矿山的加工能力均为200,000吨/年。

估计储量为2.15亿吨,有些地区勘探后储量可望增加。由于提高了矿石品级, Cr_2O_3 的最低含量为40%,且 CaO 含量低,所以,产品可以做为理想的耐火材料(Duke, 1982; Rossi, 1979)。

土耳其

在土耳其,层状和豆状铬铁矿床都与橄榄岩有关,矿床产于6个主要地区。矿化透镜体长12—15呎,是在橄榄岩侵位伸展过程中形成的(Engin, 1979)。尽管开采这些小的、分散的矿床带来了一些问题,但年产量却超过540,000吨。最主要的生产公司是国有企业埃蒂班克(Etibank)和土尔克,马丁赛尔克特(Turk Maadin Sirketi)其大量矿石用于冶金。

希 腊

在希腊北部150平方哩的武里诺斯超基性杂岩中有许多铬铁矿矿床。这些矿床位于沃多

拉科斯 (Voidolakkos) 地区以北, 以巨大的豆状矿体产出, 在克塞罗里瓦多 (Xerolivado) 地区以南, 以分离体型矿床形式产出, 具重要工业价值的矿床, 以管状矿体形态产于纯橄榄岩围岩中 (Zachos, 1969)。韦莱斯蒂农附近的埃雷特里亚矿山的生产为金融采矿工业及航运公司 (Fimisco) 所控制、平均年产25,000吨耐火材料级的矿石。

印 度

印度奥里萨省的产量占全印度的90%左右, 特别在库塔克、登卡纳和凯翁贾尔三个地区。最重要的矿床产于库塔克地区15平方哩的苏金达 (Sukinda) 超基性杂岩中。板状或透镜状的铬矿石产于一系列超基性岩的七个水平上, 矿石为块状或松散状, 颜色由黑至棕色 (Anon, 1982)。

伊 朗

历史上伊朗有几个铬铁矿产地, 但目前大多数产品来自克尔曼省的南部。有两个主要地区, 一个是巴夫特南东35哩的北方带, 一个是霍尔木兹干省 (Hormozgan) 米纳布北东20哩的南方带。铬铁矿产于一系列经受强烈断层活动的晚白垩系(?)超基性岩中。北方带的阿布达什特 (Abdasht) 铬铁矿产于长30—75呎, 厚达15呎的一些岩体中, 这些岩体呈雁行排列。矿石性脆, 有光泽的黑色铬铁矿。用充填开采法进行地下开采。

伊朗最大的开采区在南方带, 块状铬铁矿为棕至黑色, 粒状结构, 性脆, 它常带有蛇纹斑点。这些块状铬铁矿与厚达45呎, 含 Cr_2O_3 达20—40%的板状成层的浸染状铬铁矿有关。伊朗最大的矿体是沙阿里阿 (Shahriar) 矿体, 它由两层组成: 上层大体上为板状, 7—20呎厚, 下层为透镜状, 最大厚度30呎, 总的来看铬铁矿体向北东延伸, 倾伏角 15° (Duke, 1982; Hillebrand, 1983)。

菲 律 宾

菲律宾年产343,000吨铬铁矿, 约3/4为耐火材料级, 使其成为除苏联以外的主要耐火材料铬铁矿来源国, 虽然有20多家公司参加生产, 但本格特联合公司的产量却占了98% (Dickson, 1981) 本格特公司在吕宋岛西边三描礼示省, 马辛洛克附近的科托经营着一个矿山和工厂。此地为三描礼示杂岩的一部分, 是成层的超基性岩体, 由方辉橄榄岩、纯橄榄岩, 少量的橄榄岩及辉长岩组成, 由微闪长岩及其相似岩性的岩墙侵入而成。据认为, 具岩基规模的杂岩体侵入期在中新世 (Dela Cruz, 1982)。杂岩体总体向北西延伸, 向北东倾伏的一些褶皱重迭在总的构造之上。方辉橄榄岩及纯橄榄岩局部蚀变为蛇纹岩。整个杂岩体被第三系沉积岩不整合地覆盖着 (Rossman等, 1959)。其周边为火山岩流。

铬铁矿作为付矿物普遍存在于橄榄岩中, 但富集达到有经济价值品级的, 仅限于沿冲断层产生的豆状或透镜状矿体中, 或产于纯橄榄岩与方辉橄榄岩的过渡带。(Dela Cruz, 1982)。

有三个主要的铬铁矿带, 中间带大部分为耐火材料级。此矿产于红土化发育很差的一些地区内。在科托, 那里的岩石褶皱和断裂非常发育, 从上到下呈现出被过渡带分隔的辉长岩、纯橄榄岩和方辉橄榄岩的垂直序列。大多数有经济价值的矿床产于纯橄榄岩一方辉橄榄岩的过渡带。最大的矿体是科托的主矿体, 约有1千万吨矿石 (Besa and Dela Cruz, 1983; Dela Cruz, 1982; Leblanc and Violette, 1983), 该矿体长1800呎, 宽1000呎, 在