

铂族元素的地质环境

L.J.赫尔伯特 等著

123

地质出版社

铂族元素的地质环境

L.J.赫尔伯特 等著

沈承珩 等译
刘道荣

罗耀星 审校

地质出版社

内 容 提 要

“铂族元素的地质环境”一书译自加拿大地质调查所L. J. Hulbert等人于1988年2月1日发表的关于铂族元素矿床的专著。

全书系统地论述了铂族元素矿床的分类、类型、世界著名矿床实例的主要特征、矿床成因、成矿模式及勘探标志等,其中包括80年代的新资料和新观点。

全书共包括21个矿床实例,22个附表,98张附图。实际资料丰富,图文并茂。

本书可供从事矿床勘探及地质找矿的技术人员使用,亦可供从事地质教学、科研等有关人员参考。

Geological Environments of the Platinum Group Elements

Geological Survey of Canada Open File 1440

1988.3

铂族元素的地质环境

L. J. 赫尔伯特 等著

沈承珩 等译
刘道荣

罗耀星 审校

责任编辑:李云浮

地质出版社出版发行

(北京和平里)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所经销

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 9.125 字数: 213000
1991年6月北京第一版·1991年6月北京第一次印刷

印数: 1—700册 国内定价: 6.25元

ISBN 7-116-00829-2/P·711

译 者 的 话

铂族元素无论在工业应用上,还是作为贵金属都有很高的价值。当前,全世界每年铂族元素的消耗总量已达235t。据预测,到本世纪末其需求量还将有大幅度上升。但长期以来,铂族元素是作为镍、铜矿床的副产品来生产的。因此,对铂族元素矿床的认识和研究有待深入。近年来,铂族元素矿床的找矿、勘探和理论研究工作日益受到全世界地质同行的广泛关注。

加拿大地质调查所L·J·赫尔伯特等人于1988年2月1日发表的这本专著是有关铂族元素矿床的最新文献;是作者在参考了260余篇文献的基础上,结合本人的研究成果编写而成的。书中系统、全面地论述了铂族元素矿床的分类、对各种类型矿床以及世界著名的几十个矿床实例进行了评价描述和分析,并对铂族元素矿床的成因、成矿模式、勘探准则进行了探讨。其中包括不少80年代以来获得的新资料和新理论。这些新资料和新理论,在迄今发表的有关铂族元素矿床的文献中是最系统、完善的。

此书最初以加拿大地调所在研讨会上提交的论文形式发表,后来又以加拿大地调所论文集的形式出版。两个版本在文字上基本未作改动,只是后者增加了2张附图。我们接到第二版本时,译文已基本完成。为保持其完整性,目前仍以前一版本的形式翻译出版。

我们衷心地感谢加拿大地调所L·J·赫尔伯特等人送给我们此书的原著,并允许我们译成中文印刷出版。

本书由天津地质研究院情报室组织翻译,按章节先后顺序,译者为:卢军、黄佳展、沈承珩、赵学宁、周仁照、金菊、包志伟、刘道荣,校对者有沈承珩、连俊坚、陈森煌、杨景元、李永明。全书请地质界老前辈罗耀星先生审校。本书的翻译出版受到冶金部地质局姚培慧总工程师和杨尔煦处长,以及天津地质研究院侯宗林院长、杨敏之、胡桂明副院长等的关心和支持,在此深表谢意!由于译校者水平有限,错漏处一定不少,欢迎批评指正。

译 者

1990年5月

目 录

一、绪论	1
1. 铂族元素矿床分类	1
2. 铂族元素的矿物学特征	5
二、岩浆型铂族元素矿床	6
1. 南非布什维尔德杂岩体	6
2. 美国蒙大拿斯蒂尔沃特杂岩	19
3. 津巴布韦大岩墙	25
4. 西北地区MUSKOX侵入体	26
5. 福克斯河岩床	40
6. 曼尼托巴东南部伯德河岩床	47
7. 安大略雷湾CRYSTAL湖辉长岩	54
8. LAC DES ILES杂岩体	58
9. 苏联带状纯橄榄岩-单斜辉岩杂岩体	62
10. 不列颠哥伦比亚杜拉门杂岩体	66
11. 苏联NORIL'SK-TALNAKH	69
12. 萨德伯里镍、铜及铂族元素矿床	75
13. UNGAVA Ni-Cu—铂族元素矿床	82
14. 魁北克LABRADOR地槽	86
15. 安大略西北部WERNER湖-GORDON湖	89
16. 萨斯喀彻温北部的ROTTENSTONE侵入体	90
17. 安大略COLDWELL杂岩体铂族元素矿床	95
18. WELLGREEN矿床	96
19. 不列颠哥伦比亚南部CORYELL碱性侵入体	101
三、热液型铂族元素矿床	104
1. 美国怀俄明州NEW RAMBLER矿床	104
2. 萨斯喀彻温PETER湖杂岩体	105
3. 英国SHETLAND群岛	107
4. 萨斯喀彻温NICHOLSON海湾矿床	110
四、铂族元素矿床成因	114
1. 引言	114
2. 铂族元素的岩浆地球化学	114
3. 热液铂族矿床的成因模式	126
讨论	135
结论	136

五、勘探标志.....	137
1. 岩浆矿床	137
2. 热液矿床	139
补遗.....	140
安大略RATHBUN湖	140

一、绪 论

铂族元素包括铂、钯、铑、钇、铱和铕,在工业应用和作为贵金属两方面都具有重要价值。其最大用处是用来制造自动发射控制系统和电子元件,其它重要应用是在化学和石油工业、珠宝业和镶牙业中。近期的发展是把铂作为熔模壳(investment),引起对铂的重大需求。现今全世界铂族元素的年消耗量约235t,据预测,从现在到本世纪末,需求量将大幅度上升。其原因之一是欧洲经济共同体、澳大利亚和朝鲜等将引进自动发射标准装置,这就一定会导致作为催化转换剂的铂族元素应用的增加。在较长时期内,预计电能生产、燃料电池的广泛使用也将对铂族元素的需求产生很大冲击。

铂族元素的产品供应,目前主要来自南非和苏联。这两个国家的总产量超过世界初级产品总量的90%。1934—1955年,加拿大曾是世界上第一位生产国,但现已位居第三位,约占世界总产量的5%。1987年,蒙大拿州斯蒂尔沃特杂岩体中的铂族元素的开采,使美国迅速成为世界第四个初级产品生产国。

与绝大多数其它金属相比,对铂族元素需求的乐观前景使人们联想到主要生产国的供应可能因政治因素的干扰而中断,这引起了目前对铂族元素勘查的空前兴趣。过去尽管已取得一些显著的进展,(例如Conn,1979),但对铂族元素的勘查工作相对来说却微不足道。这种情况当然是由供求形势和铂族元素一直被看做主要是镍、铜矿的副产品的事实造成的。然而,也反映了人们在铂族元素的矿物学、地质学和分析技术等方面的知识水平。

在本文中,我们描述了世界上现今和未来一些重要的铂族元素产区和加拿大的许多有意义的矿点和矿床的地质背景,也提供了有助于了解铂族元素矿床成因的理论基础的简要总结,和一些勘探铂族元素矿床的建议性准则。本文不打算提供既全面概括而又深刻的讨论,而只集中注意于给矿产勘探地质学家提供一个有益的总结,并对文献作一些介绍。有兴趣的读者可参考其它一些讨论铂族元素的著作和文集。其中包括Mertie(1969)、Naldrett和Duke(1980)、Naldrett(1981b)和MacDonald(1987)的评论文章;加拿大采矿和冶金学会专著第23卷,以及经济地质杂志的三个专刊(第71卷第7期;第77卷第6期和第81卷第5期)。还有近来Sutphin和Page(1986)发表的一份世界资源概要。

1. 铂族元素矿床分类

引言

虽然铂族元素矿床已有多种不同的分类(Naldrett,1981,Cabri,1981;Cabri和Naldrett,1984,MacDonald,1987),但到目前为止,还没有哪一个被广泛采纳。鉴于生产性矿床数量相对少和对其成因认识水平低,出现这种现状是不足为奇的。我们提出的分类方案列于表1中,其中把铂族元素矿床分成三个成因类型:岩浆型、热液型和表生型。

表 1 铂族元素矿床和矿点分类和分布

类	亚 类	实 例
岩浆型	层 控 型	南非布什维尔德梅林基斯矿层和UG-2矿层 蒙大拿斯蒂尔沃特J-M矿层和Picket Pin 津巴布韦大岩墙MSZ 西北区 Muskox 侵入体旋回单元 曼尼托巴省福克斯河, UL CZ 和伯德河下铬铁岩 安大略省 Crystal 湖辉长岩旋回带 魁北克省昂加瓦德尔塔, 诺思
	不整合型	南非布什维尔德纯橄岩筒
	边 缘 型	南非布什维尔德 Platreef 安大略省 Coldwell 杂岩体 苏联 Noril'sk 安大略省萨德伯里 西北区 Muskox 边缘硫化物 魁北克省昂加瓦 Katiniq, Donaldson西部和Bravo 萨斯喀彻温省 Rottenstone 不列颠哥伦比亚省Coryell 育空区 Wellgreen
	其它类型	Lac des Iles Roby 带 Werner湖-Gordon 湖 不列颠哥伦比亚 Tulameen 苏联带状杂岩体
热液型	Pt-Pd-Au-(Cu)	怀俄明州 New Rambler 南非 Messina 萨斯喀彻温省 Peter 湖 英国设德兰群岛 Unst
	U-Au-Pt-Pd	萨斯喀彻温省 Nicholson 湾 澳大利亚北区 Coronation 山 扎伊尔 Shinkolobwe
表生型	冲 积 型	哥伦比亚 Choco 区 San Juan 和 Attrato 河 苏联乌拉尔山 不列颠哥伦比亚 Tulameen 阿拉斯加 Goodnews 湾
	残 积 型	西澳大利亚 Gilgarnia Rocks

岩浆矿床

岩浆矿床赋存在火成岩中, 与岩浆作用引起的铂族元素的富集有关。这些矿床一般说来都与不混溶硫化物熔体从岩浆中的惯性分凝过程有关。而硫化物熔体从母岩浆硅酸盐熔体中有效地富集了铂族元素。在某些情况下, 铬铁矿可作为铂族元素的载体, 但这方面的证据还不确凿。我们还把那些由于热液富集作用形成的铂族元素矿床 (只要是这些热液活

动局限于岩浆环境中) 归入这类矿床中。

根据岩浆矿床与主岩的关系, 可进一步划分为若干组。第一组, 从铂族元素的产量和资源看也是最重要的一组, 由层状侵入体内的层控矿床(相对火成岩层而言) 组成。其例子有, 布什维尔德杂岩体内的Merensky矿层和UG-2铬铁岩; 斯蒂尔沃特杂岩体内的J-M矿层和皮科特皮思矿床及大岩墙中的主硫化物带(MSZ)。有些作者将这些矿床描述成层状矿床(例如: Naldrett等, 1987; Stumpfl和Ballhaus, 1986)。然而我们相信, “层控”这个词能更准确地反映这类矿床的特点。“层控”暗示着矿体与火成岩层完全相同地延伸(AGI术语汇编)。虽然这对梅林斯基矿层来说基本正确, 但对J-M矿层便不适用了。

第二组包括明显与火成岩层不整合的矿化带: 布什维尔德杂岩体中的纯橄榄岩筒是人们最熟悉的例子。侵入体边缘带中的硫化物富集体构成第三组。这类矿床包括大多数已开采的镍-铜-铂族元素矿床, 如萨德伯里和诺里耳斯克, 也包括铂族元素-镍-铜矿床, 象布什维尔德的Platreef。我们也把产于熔岩层系和半深成侵入体内底部堆积岩中的岩浆硫化物矿床列入第三组内。该组主要的例子有赋存在科马提熔岩流内的卡姆巴尔达型镍硫化物矿床。第四组包括那些不能容易地归属于上述任何一类的岩浆矿床, 这或是因为尚未对这些矿床有足够的了解, 或是因为这些矿床本来就很独特。最恰当的例子是安大略省拉克德斯艾耳斯的类比泰矿床。

岩浆矿床过去占铂族元素总产量的95%以上, 占目前已评价资源的98%还多。表2列出了主要岩浆矿床的资源量和品位。各矿床中不同铂族元素和贱金属的相对丰度变化较大。这有十分重要的经济意义, 因为不同的金属价格不同。矿石品位常按铂族元素总量计算, 这在较流行的出版物中尤其如此。很明显, 铂和钯的相对比例以及含贵重微量元素(如铑)的数量对矿床的价值具重大意义。例如J-M矿层就因其Pd:Pt比高而被描述为富钯矿。值得注意的是, J-M矿层中铂的品位接近梅林斯基矿层, 而铑的品位却高得多。表

表 2 主要岩浆型铂族元素矿床品位和资源量

	价 格 ^①	梅林斯基 矿 层	UG-2	Platreef	J-M 矿层	大岩墙	Noril'sk Talnakh	萨德伯里
Ni	\$ 1.76/lb	0.18%	0.09%	0.3%	0.24%	0.25%	2.4%	1.3%
Cu	\$ 0.62/lb	0.11%	0.03%	0.2%	0.14%	0.25%	3.0%	1.1%
Pt	\$ 462/oz	4.8g/t	3.7g/t	3.1g/t	4.2g/t	2.5g/t	0.95g/t	0.34g/t
Pd	\$ 116/oz	2.0g/t	3.0g/t	3.4g/t	14.8g/t	1.7g/t	2.7g/t	0.36g/t
Rh	\$ 1157/oz	0.24g/t	0.70g/t	0.22g/t	1.7g/t	0.22g/t	0.12g/t	0.03g/t
Ir	\$ 414/oz	0.08g/t	0.20g/t	0.06g/t	0.53g/t	0.03g/t	?	0.01g/t
Ru	\$ 73/oz	0.65g/t	1.0g/t	0.29g/t	0.89g/t	0.22g/t	0.04g/t	0.03g/t
Os	\$ 625/oz	0.06g/t	?	0.04g/t	?	0.03g/t	?	0.01g/t
Au	\$ 368/oz	0.26g/t	0.06g/t	0.25g/t	0.12g/t	?	?	0.12g/t
品位-铂族元素+金		8.1g/t	8.7g/t	7.3g/t	22.3g/t	4.7g/t	3.8g/t	0.9g/t
原地总值 ^②		103/t	\$ 102/t	\$ 87/t	\$ 203/t	\$ 66/t	\$ 163/t	\$ 75/t
占总值百分比(铂族元素+金)		92%	96%	83%	94%	80%	18%	12%
资源量 ^③ (含铂族元素矿石吨数)		17500	32400	11800	1100	7900	6200	394

① 按美元计算的1986年平均价格。

② 地下每公吨矿石所含金属总值, 对贫化、冶炼回收率等因素未加考虑。

③ 基本上与联合国资源类型中的R1E和R2E等同; 也就是说, 对已知矿床中经济上可开采矿石的可靠估计和对已知矿体外推部分以及新近发现的矿床中经济上可开采矿石的初步估计。数据摘自ISMJ(国际战略资源录), 大岩墙数据据Naldrett等, 1987。

2说明了岩浆硫化物矿床自然二分的情况,即一些矿床中,铂族元素是主金属,另一些矿床中,铂族元素是副产品。初步的想法是,好象应有一个铂族元素-镍-铜比值的完整的区分准则,这一准则只是一个经济上的划分方案。然而,我们下面将要讨论的成因原理为这种观察提供了一种现象学的解释。

热液矿床

铂族元素热液矿床指铂族元素在热水溶液中搬运并从中沉淀的矿床,其主岩可能多种多样。该类矿床不仅包括矿脉和其它一些明显的后生成因矿床,而且也包括成岩和沉积喷气环境中铂族元素的富集。

相对来说,已有的可采富铂族元素脉状矿床为数极少,怀俄明州的新兰布勒和南非的梅西纳铜矿床是人们最为熟悉的例子。在美国有相当数量的铂族元素是精炼铜的过程中作为副产品回收的,其铂族元素终极根源为斑岩铜矿。不过一般来说,斑岩和有关矽卡岩矿体中的铂族元素的绝对丰度很低(典型的在200ppb以下),把它们作为铂族元素矿床看待是破格的。波兰卡普弗希弗层控铜矿床,也有铂族元素大量富集的报导(Kucha,1982)。

到目前为止,虽然热液矿床对世界铂族元素总产量的贡献甚微,但这类矿床有可能成为引人注目的勘探目标。特别是,这类矿床以具有极高品位为特征而值得人们注意。

表生矿床

人们知道,铂族元素富集在冲积物和残积物中。事实上,直到20世纪20年代早期,河流砂矿还是铂族元素的唯一商业来源。最大的砂矿产地在哥伦比亚的圣胡安和阿特腊透河地区以及苏联的乌拉尔山。在北美,不列颠哥伦比亚的塔拉明河和阿拉斯加的古德纽斯湾一直是重要的产区。虽已有铂族元素通过残积作用(例如在红土中)得以富集的报导,但到目前为止,还未能从中回收到有经济价值的产品(参见Cabri,1981,节要)。

小结

下面归纳的铂族元素矿床的地质特征概要,首先是按一级分类项目编排的,即岩浆矿床、热液矿床和表生矿床。岩浆矿床又进一步划分为以铂族元素为主的矿床和以镍-铜为主的矿床。叙述按地质体进行,即常常是按一个火成杂岩体或矿山经营区,而不是按以上定义的上级矿床类型。这是因为,一个火成杂岩体可能含有几种不同的矿床类型,这种情况本身就是一个有趣的观察对象。

布什维尔德和斯蒂尔沃特杂岩体两者均包含层控的、不整合的以及边缘型铂族元素-镍-铜矿床。Bird河岩床和Crystal湖辉绿岩体两者则不仅有层控铂族元素-镍-铜矿化,而且也有边缘型镍-铜-铂族元素矿床产出。此外,一些侵入体内包含不止一种成因类型的矿床。例如皮特湖杂岩体是热液再活化的铂族元素-镍-铜矿化的主岩,又是原生镍-铜-铂族元素矿化的主岩,而乌拉尔山的带状纯橄岩-单斜辉岩杂岩体则在基岩和有关的河流砂矿中均有铂族元素矿化产出。

2. 铂族元素的矿物学特征

在过去的10—15年中, 由于发现了许多新矿物种属并阐明其特征, 使我们对铂族元素的认识加深了许多。例如已知的铂族元素矿物自1965年的23种(Wright和Fleischer, 1965)增至1972年的64种(Cabri 1972), 迄今已达84种。这些矿物包括砷化物、碲化物、硫化物、自然金属及合金, 铋化物甚至还有含锡、铜或铅的金属互化物。铂和钯矿物占已知铂族元素矿物种属的70%以上, 反映出他们比其它4种元素(铑、钌、铱、铱)的丰度高。最常见的铂族元素矿物是砷铂矿(PtAs_2), 该矿物在各种类型矿床中都有产出。铋铋钯矿(PdBiTe)也很普遍。有趣的是, 这两种矿物最初都是从萨德伯里地区镍-铜硫化物矿石中发现的。表3列出了23个最重要铂族元素矿物的名称和化学式。但不包括在UG-2铬铁岩中大量出现的两种未命名的铂族元素硫化物。Cabri(1981)对75种铂族元素矿物作了详尽描述。

表 3 较常见的铂族元素矿物 (按字母顺序排列)

矿 物	理想化学式	矿 物	理想化学式
硫钯铂矿	$(\text{Pt}, \text{Pd})\text{S}$	碲铂矿	PtTe_2
锡铜钯矿	Pd_2SnCu	铱铱矿	(Ir, Os)
硫铂矿	PtS	硫砷铂矿	(PtAsS)
硫铱矿	OsS_2	铅钯矿	Pd_3Pb_2
等轴砷铋钯矿	$\text{Pd}_{11}\text{As}_2\text{Sb}_2$	铋铅钯矿	$\text{Pd}(\text{Bi}, \text{Pb})$
硫砷铱矿	IrAsS	钌铱铱矿	$(\text{Os}, \text{Ir}, \text{Ru})$
铱铱矿	(Os, Ir)	砷铂矿	PtAs_2
等轴铁铂矿	Pt_3Fe	锡钯矿	$\text{Pd}_5\text{Sn}_2\text{Cu}$
黄碲钯矿	PdTe	钯钯矿	PdSb
硫钌矿	RuS_2	锡铜钯矿	$\text{Pd}_9\text{Sn}_4\text{Cu}_3$
碲钯矿	PdTe_2	硫钯矿	PdS
等轴铋碲钯矿	PdBiTe		

痕量元素原地测试的现代分析技术, 如电子和质子探针的应用, 已经证实铂族元素能分散存在于其它矿物的稀释固溶体中, 特别是象镍黄铁矿和磁黄铁矿这样的硫化物(Cabri和Laflamme, 1981)。然而, 应该强调的是, 目前在许多(即使不是大多数)矿床单矿物中所获得的痕量铂族元素含量的有效数据还极少。成因和地球化学上有联系的矿床可能具有类似的矿物和铂族元素分布, 但常常有差别十分明显的矿物学特征使每个矿床在细节上彼此有别。当进行以开发为目的的矿石潜在储量评价时, 对铂族元素准确分布的了解是重要的因素, 而且这对冶炼回收至为关键。

二、岩浆型铂族元素矿床

1. 南非布什维尔德杂岩体

引言

南非的布什维尔德杂岩体是世界上最大的 ($240 \times 400\text{km}$) 镁铁质-超镁铁质岩体 (图1)。该杂岩体大约蕴藏着世界铂族元素储量的 70% (纽约商业交易说明书[NYMEX], 1986), 其中赋存有最大的已知铂族元素Cr、Fe-Ti-V矿床和低品位Cu-Ni矿化。

铂矿化是由 Adolf Erasmus 于 1923 年在德兰士瓦中部纳邦斯普罗伊特附近首次发现的。该铂矿化赋存于吕斯滕堡层状岩套的外部, 局限于杂岩体顶部长英岩内充填角砾化断层带的石英脉中。虽然仅在 1924 年至 1926 年对这些石英脉进行过开采, 但由此引起人们对德兰士瓦地区铂族元素进行勘探的兴趣。结果, Andries Lombaard 于 1924 年从莱登堡地区 Maandagshoek 农场一河床中淘选了一个铂矿砂样。而这个样引起了 Hans Merensky 博士的重视。由此开始了大规模的勘探计划, 并最终导致梅林斯基矿层和 UG-2 铬铁岩的发现。

地质背景

布什维尔德杂岩体的镁铁质岩在南非 Kaapvaal 克拉通上的面积延深约 $480 \times 380\text{km}$ (图1)。这些镁铁岩呈三个大致的弧形带出露, 称之为东、西和北布什维尔德带。这些带表面上相似, 但细节却大不相同。据认为, 杂岩体由七个浅成的、部分重叠的锥状侵入体侵位而构成。人们将这些侵入体最后归并为三个大岩浆房, 对应于东、西、北布什维尔德带上的“分隔空间” (Von Gruenewaldt 1979; Vermaak 和 Von Gruenewaldt 1981)。生成这个杂岩体的玄武岩和玻安岩岩浆大约于 2.050Ga 侵入于时代为 2.223Ga 的德兰士瓦盆地火山和沉积层系中 (Von Gruenewaldt 等, 1985)。相继的冷却和分离结晶作用形成了发育很好的镁铁-超镁铁岩石 (堆积岩) 层状序列, 称之为吕斯滕堡层状岩套。

吕斯滕堡层状岩套 (图2) 厚约 7—9km, 向杂岩体中心缓倾。自下而上按层序分成四带: 1) 下部带由辉岩、方辉橄榄岩、少量纯橄岩组成。在波希特斯勒斯, 还有少量高品位铬铁岩。2) 关键带由古铜辉石岩、铬铁岩、苏长岩和斜长岩组成, 分成上、下两个亚带。下关键带为构成布什维尔德主要铬铁矿资源的 LG-6 或 Steelport 铬铁岩的主岩。而梅林斯基矿层和 UG-2 铂族元素矿床产于上关键带中。3) 主带由辉长岩、辉长苏长岩、斜长岩、苏长岩和少量辉岩组成。不过该带大部分都是厚大而单一的块状至不明显层状的辉长苏长岩和辉长岩。4) 上带由一系列成层良好的磁铁辉长岩、苏长岩、辉长苏长岩、斜长岩、橄长岩、橄榄辉长岩、闪长岩和磁铁矿层组成。该带中磁铁矿达 21 层, 其厚度从小于 0.3m 到 10m 不等。

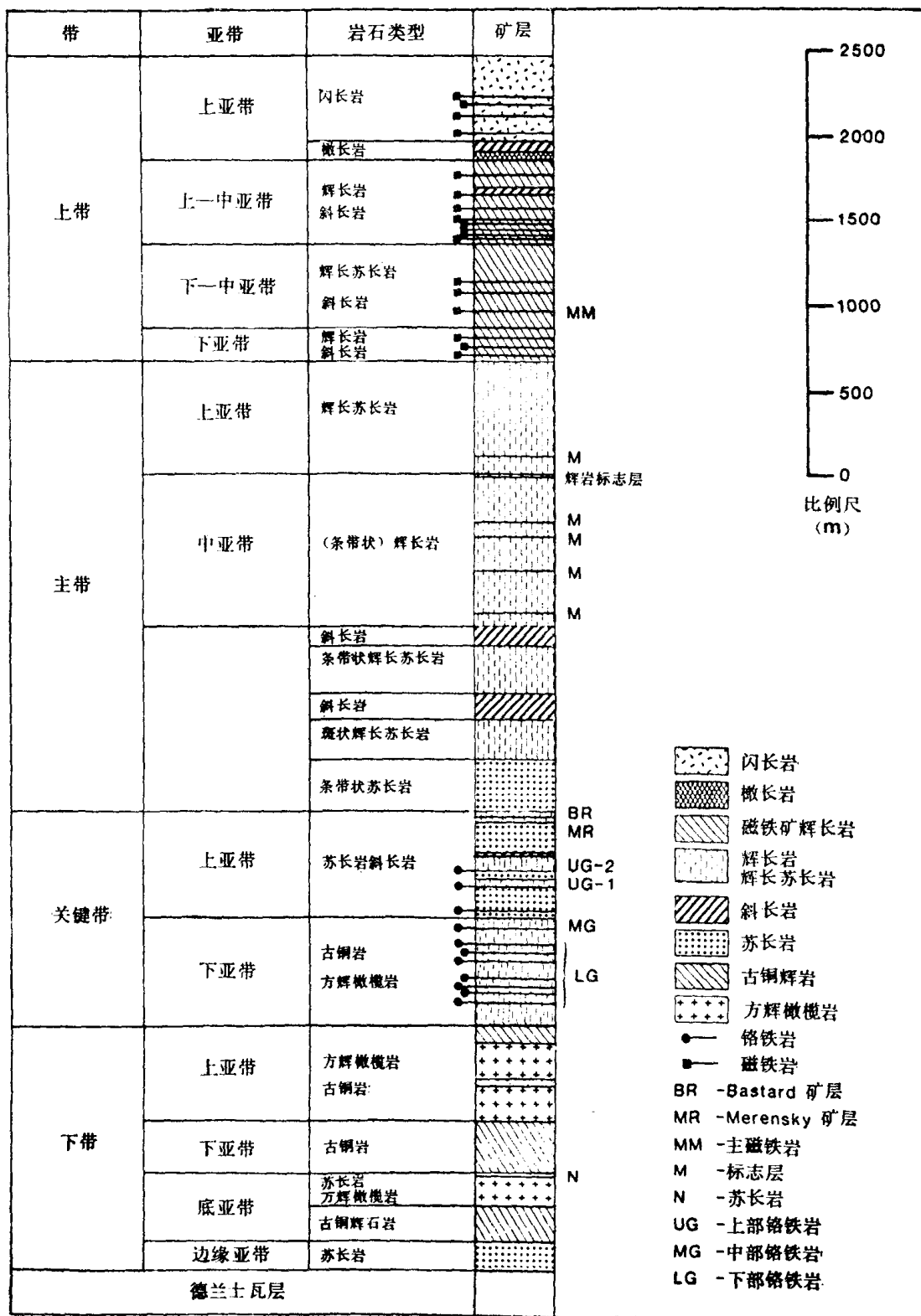


图 2 布什维尔德杂岩体东部吕斯滕堡层状岩套地层柱状图

铂族元素成矿作用

在杂岩体中,目前已鉴别出5个独立的具经济意义的铂族元素富集层。按其在吕斯滕堡层状岩套中的重要程度和从高到低的层位顺序,依次为:梅林斯基矿层、UG-2铬铁岩、波希特斯勒斯区的Platreef矿层,东布什维尔德的不整合含铂纯橄岩岩筒和波希特斯勒斯区矿化下带辉岩。

梅林斯基矿层

梅林斯基矿层是世界上最大的单一铂族元素源地,产于关键带上部。总的来讲,梅林斯基矿层是一辉岩层,分布于布什维尔德杂岩体的所有地段,平均厚度为0.8m,向杂岩体中部缓倾($<10^\circ$)。Vermaak (1976) 将梅林斯基矿层定义为“粗粒长石辉岩”,其下有杂色或斑点状的斜长岩或苏长岩,上覆着斑状长石辉岩。这两个辉岩层共同构成了梅林斯基旋回单元的底部,该单元往上延续经斑点状斜长岩到杂色斜长岩。Bastard旋回单元覆盖于梅林斯基旋回单元之上,也以出现底部长石辉岩成员为特征,其余部分(约30m)由斑点和杂色斜长岩、斜长苏长岩和苏长岩组成。图3表示梅林斯基和Bastard旋回单元内的岩石层序,梅林斯基矿层相对于下伏的UG-1和UG-2铬铁岩层的位置以及在西布什维尔德从“正常矿层”到“瓯穴矿层”间的岩石类型层序的变化。

梅林斯基矿层最大产量来自吕滕斯堡和Impala地区。由于最早是在吕滕斯堡地区进行采矿的,因此,人们总是将其当作“标准产地”。在吕斯滕堡,“正常矿层”由粗粒似伟晶结构长石辉岩组成。矿层很薄,厚15—40cm,顶底接触处约有一条几mm厚的铬铁岩标志;吕滕斯堡地区铂族元素最高含量与这些铬铁岩层有关(Hochreiter等,1985)。被人们称为“梅林斯基辉岩”的带棕色的辉岩产于顶部铬铁岩之上(图4)。在Impala地区,梅林斯基矿层为典型的粗粒到似伟晶状辉岩,含一或两层铬铁岩薄层,该矿层厚约1m。“似伟晶状矿层”(图4E)常常有一薄的铬铁矿层底盘,而顶部有一发育很好的铬铁岩层(厚20mm)。该粗粒似伟晶岩厚度可达0.3m。粗粒“辉岩矿脉”(图4D)在近底部可能有一发育不佳的铬铁岩层。该矿层中的含铂族元素带与底盘铬铁岩层有联系,而且在似伟晶状矿层中,铂族元素与上部铬铁岩层伴生(Mostert等,1982)。

应该指出的是,梅林斯基矿层在整个布什维尔德杂岩体,甚至在吕斯滕堡地区全区内变化极大。在布什维尔德的东区和南区,辉岩发育良好,并且很多矿床就产于其中。在这些地区,可能缺少似伟晶岩相,即使有,实际上也不含矿。在杂岩体的西区和西南区,似伟晶岩相强烈发育,就象在接触带铬铁矿层中能见到的那样。在西北区,梅林斯基矿层上覆于底部为含长石似伟晶方辉橄岩的旋回单元之上。该单元被称之为“假矿层”,在杂岩体其它地区缺失(图3)。在Union段,矿石与一富橄榄石伟晶岩相中的几个铬铁岩层有关。这是杂岩体中唯一的部分,其中梅林斯基矿层富含橄榄石。对比之下,在西部铂矿区(吕斯滕堡东15km),梅林斯基矿层要厚得多,其粒度比其它地方的要细。这里,矿层为2—6m厚的斑状辉岩层,大部分铂族元素和硫化物与上接触带之下0.2—0.5m处的厚约2—5mm的铬铁岩有联系(Vermaak和Von Gruenewaldt, 1981)。

在杂岩体的某些地段,矿层以“瓯穴”状为特征。在瓯穴中,矿层倾没于凹陷处,那里的底板层已不存在(图3和5)。瓯穴在平面上可显圆形或不规则形,其跨度可达数百米,深度可达数十米。在西北部的Union段,“瓯穴矿层”产于“假矿层标志层”顶部,因其

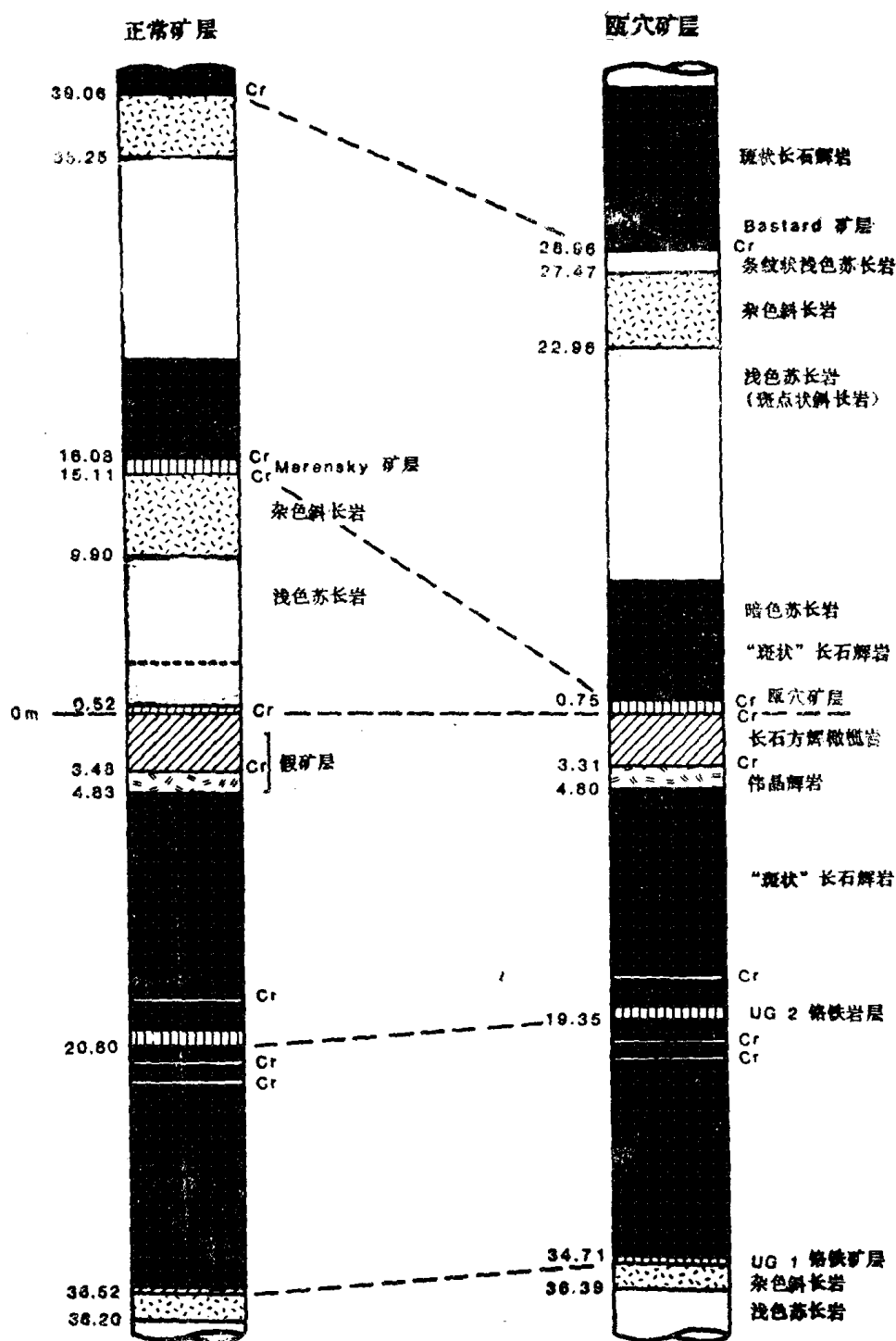


图 3 正常矿层 (左) 至瓯穴矿层 (右) 岩石类型层序变化的柱状剖面图
(据 Vermaak 和 Von Gruenewaldt, 1984)

平均厚接近14m的直接底板岩层已不存在了 (图5)。在瓯穴构造中, 发育了好几个不同类型的梅林斯基矿层。“接触矿层”由“正常矿层”的顶、底部铬铁岩层聚合而成, 位于瓯穴构造的边部, 代表“正常矿层”和“瓯穴矿层”的过渡。“瓯穴矿层”起始点处, “接触矿层”为矿化强烈的似伟晶长石辉岩和/或方辉橄榄岩, 而且其基本特征与正常矿层的相同。“透镜状矿层”包含直接产于“假矿层”标志层之上的浅色苏长岩或斜长岩透镜体, 其长度为

