

# 国外金矿地质研究新进展

(第二集)

甘肃科学技术出版社

中国科学院地球化学研究所  
中国科学院兰州文献情报中心  
中国科学院地质研究所

36  
2

# 国外金矿地质研究新进展

(第二集)

中国科学院地球化学研究所

中国科学院兰州文献情报中心 编译

中国科学院地质研究所

地质出版社

**国外金矿地质研究新进展**

**(第二集)**

中国科学院地球化学研究所  
中国科学院兰州文献情报中心 编译  
中国科学院地质研究所  
甘肃科学技术出版社出版发行  
(兰州第一新村81号)  
兰州新华印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/16 印张18 字数407,000

1990年2月第1版 1990年2月第1次印刷

印数1—1,200

ISBN 7-5424-0285-4/TD·1 定价13.50元

## 序

这本译文集汇集了30多篇文章。它们从不同角度(区域地质、区域地球化学、金的丰度、矿床特征、矿石组成等)讨论了金的成矿机制和分布规律。它们更多地侧重基础和应用基础研究。应当说,尽管近来金矿地质方面译文较多,但多侧重应用方面,基础性的偏少一些。本译文集多少弥补了这一缺陷。

译文集还收集了较多的俄文著作。苏联学者在金矿地质、地球化学领域有他们独到的贡献和观点,但国内介绍不多。本书多少填补了这方面的空白。

译文集命名为《国外金矿地质研究新进展》是有道理的。“新”不仅体现于原文是新近出版的(原文全部是1987年后出版的),更重要的是介绍了一些金矿地质的新矿床、新的地区、新的工作、新的发现、新的见解和新的想法。

金矿不同于一些大矿种,如铁矿、铜矿。它既是历史悠久,又是后起之秀,近20年来金的科学的发展称得上“日新月异”。希望这本译文集的出版有助于金矿地质同行扩大视野,推陈出新,多元探讨,打开思路。

涂光炽

一九八九年八月三十一日

## 编者的话

本书是系列译文集《国外金矿地质研究新进展》的第二集（首集出版于1988年）。全书收文34篇，插图126幅，均属1987年以来国外金矿地质方面的重要论文。介绍了世界主要产金大国澳大利亚、苏联、美国、加拿大和其它国家具有代表意义的新矿床、新的金矿区、新的工作、新的发现、新的见解和新的思想。

近年来，国外金矿地质科研广泛深入，基础研究倍受重视，很多大型尤其是超大型金矿的探明就是这种研究达到了一定程度的必然产物。我国金矿地质找矿工作正处于历史上的最佳时期。然而，我国此方面工作起步较晚，在强调效益的情况下，基础研究易被忽视，加之，我国已经找到了不少大、中、小型金矿，也易产生放松基础研究的倾向。借鉴国外成功经验，吸收世界新鲜思想，进一步加强我国金矿地质基础研究，重视理论性和开拓性研究，争取在较短时间内找到超大型金矿，就是我们编译、出版这本书的宗旨和希望所在。书中从不同角度，包括区域地质、区域地球化学、金的丰度、矿床特征和矿石组成等方面说明了金的成矿机理和分布规律。可供我国金矿地质工作者同行，特别是从事基础研究者扩大视野，开阔思路，多元探讨。

找矿难，译事亦难。本译文集的各位译、校者，克服了语言、专业上的种种困难，多易其稿，终使其表达了作者本意，故本书对其它有关方面读者也不无裨益。

本书是中国科学院兰州文献情报中心在院黄金科技工作领导小组办公室支持下采用横向合作方式所进行的黄金科技情报服务项目之一。在成书过程中，得到了中国科学院地学部主任涂光炽教授的关心和指导，并为其作序。中国科学院兰州文献情报中心主任刘全根领导了本书立的项目和组织出版工作。中国科学院地球化学研究所所长欧阳自远以及章振根、徐仲伦、《地质地球化学》编辑部全体同志，中国科学院地质研究所副所长易善锋以及张素芬、李毓瑞同志，中科院西准黄金考察队队长沈远超，中国科学院兰州文献情报中心谷治成、孙成权同志等，对本书立项、选题、经费和有关事宜给予了大力支持和实际帮助。具体工作人员是：盛乃贤（地化所）、陈友明（地质所）及史斗（情报中心）为编辑，朱岳年（情报中心）为校对。对以上诸同志及译、校者，在此一并致谢。

由于译、编水平有限，错误难免，欢迎读者批评指正。

1989年9月

# 目 录

序

编者的话

澳大利亚卡尔古利金矿床戈尔登迈尔粒玄岩中围岩和流体对碳酸盐组合的控制.....	( 1 )
卡尔古利戈尔登迈尔金矿床的矿源要求: 变质交代模式对太古代金矿床的意义.....	( 12 )
西澳大利亚尹尔加恩地块中红壤型和表生金矿床的成因.....	( 24 )
澳北区滕南特克里克矿区高品位金矿化的地质控制.....	( 29 )
找金的科学——菱刈金矿床的发现及其地球科学意义.....	( 35 )
云山矿山及其外围的金矿床.....	( 45 )
关于远东某金矿床的矿化控制因素.....	( 51 )
乌克兰地盾高级变质镁铁质-超镁铁质杂岩中变质作用的演化与产金部位的特征.....	( 54 )
矿区阿尔泰金矿化新形态成因类型的地质构造特征和形成条件.....	( 58 )
南戈拉片岩带中新的金矿化的经济潜力.....	( 63 )
加利福尼亚州山前金矿带一些著名脉金矿山重显生机.....	( 70 )
马瑟洛德(“母亲脉”)金矿山.....	( 78 )
前寒武纪金矿床的成因:时间和空间的关系.....	( 84 )
影响太古代金矿床的高级变质作用(特别以澳大利亚大贝尔金矿床为依据).....	( 97 )
矿床模式11*——太古代脉金矿床.....	(116)
沉积岩层和火山沉积岩层中的金矿床成因分类.....	(136)
与花岗岩类深成岩体有关的金矿床的构造特征.....	(139)
金、煌斑岩和斑岩:一种新的成因模式.....	(147)
高角度逆断层、周期性流体压力变化和中温热液含金石英脉矿床.....	(153)
浅成低温热液贵金属矿床研究进展.....	(161)
金矿床地球化学分带性的新类型.....	(165)
魁北克省阿伯特比绿岩带诺兰达地区代斯特-奥尔矿体周围 金、砷、锑和钨的分布.....	(168)
深海钻探计划504B钻孔蚀变玄武岩中金分布.....	(192)
扎米尔坦矿床黄铁矿的标型特征可作为预测金矿化的矿物-地球化学标志.....	(204)
尼日利亚伊桑卢北部地区金的地球化学勘探.....	(209)
加拿大地盾与金矿化有关的冰碛物中金的分布和散布.....	(218)

曼格什拉克卡拉套层状铜矿床中的金.....	(233)
托尔巴钦大裂隙喷发早期的熔浆中金的性状.....	(235)
太古代金矿床的流体来源和流体循环途径：碳和氧同位素研究的限制条件.....	(238)
热液中金沉淀的动力学.....	(245)
金银建造中二八面体钾云母的成分、多型和形成条件.....	(251)
关于自然金与碲金矿相互关系的原因.....	(268)
地质统计模型在预测南非长期金产量方面的应用.....	(270)
金的调查和预测.....	(280)

# 澳大利亚卡尔古利金矿床 戈尔登迈尔粒玄岩中围岩和流体对 碳酸盐组合的控制

G.N.Phillips I.J.Brown

**摘要** 在澳大利亚卡尔古利金矿区分异的拉斑玄武质戈尔登迈尔粒玄岩岩床中,产有四种碳酸盐矿物,它们都与金矿化的碳酸盐化和硫化作用有关。铁白云石是分布最广的碳酸盐。在整个粒玄岩中及整个绿泥石、碳酸盐和黄铁矿各蚀变带中均有产出。方解石散布于分异程度较差的围岩中的绿泥石带内。与此相反,菱铁矿则富存于分异较好的粒玄岩各剖面及碳酸盐带内。白云石见于粒玄岩的各部分,但局限于黄铁矿带内,这里它们主要由含铁白云石围岩的强烈硫化作用形成。在黄铁矿带的单个样品中具有从白云石到铁白云石的完全组成,而绿泥石带和碳酸盐带则含有相同的矿物成分。围岩成分对蚀变矿物组合有很强的控制作用,但对碳酸盐相的成分影响不大;相反,围岩的成分主要反映了与之相平衡的含金属流体的温度(300—350℃)和组成。这一结论也可扩大到其他太古代绿岩相,用来解释超镁铁岩、变质玄武岩和条带状铁建造中的碳酸盐类。

## 引言

碳酸盐化蚀变是太古代绿岩带的一个重要特征。在与科马提岩(Gresham和Lof-tus Hills, 1981)和科马提岩-纯橄榄岩有关的镍矿床中(Donaldson, 1981),在某些变质玄武岩层和后生金矿中(Kerrick和Fyfe, 1981; Groves等, 1982, 1984; Kerrich, 1983; Phillips和Groves, 1983),碳酸盐化蚀变都十分强烈。一些重要金矿床都被一个半径超过1公里的碳酸盐化蚀变晕所环绕(Larcombe, 1912; Bartram和McCall, 1971; Travis等, 1971; Fyon和Crocket, 1982; Davis等, 1982)。在绿岩带中最常见的碳酸盐相是铁白云石、菱铁矿、方解石、白云石和菱镁矿。虽然在个别的矿床中可能产有几种碳酸盐矿物(Bartram, 1969),但只有极少数研究者力图解释不同碳酸盐矿物的分布(如Kerrick和Fyfe, 1981)。包括卡尔古利资料(Ho等, 1985)在内的流体包裹体资料显示,  $H_2O/CO_2$  比值或  $CO_2$  活度没有很大变化,这可能是造成出现不同碳酸盐矿物的原因。

从卡尔古利矿床戈尔登迈尔粒玄岩岩床中,鉴定出四种碳酸盐矿物,这就为研究碳酸盐在一个有限的、受地质条件约束的环境中的分布提供了一个理想的机会(Phillips, 1985, 1986)。这项研究证实,在金矿脉的碳酸盐化和硫化反应晕中围岩的控制具有重



要意义。共存的碳酸盐矿物也限制了蚀变期间的温度。对戈尔登迈尔粒玄岩所建立的这种模式可以很容易地用于其他绿岩的岩性研究，也可用于其他地方绿岩的岩性研究。

在戈尔登迈尔粒玄岩和某些其他与绿岩有关的金矿床中，除了像剪切带那样的强烈变动区外，Al、Ti、Fe、Mg、Ca和Na等这样一些主要元素在金矿化期间相对比较稳定（Phillips, 1985, 1986）。这一稳定性的特征是由Kerrick和Fyfe（1981）、Phillips

表 1 戈尔登迈尔粒玄岩采样剖面的描述

剖面	矿山水平	粒玄岩单位	碳酸盐矿物	蚀变带
3000 (DDH UWA 1)	4(130m)	9	铁白云石	主要是绿泥石带，在中部有2m黄铁矿带
2100 (412 EXC)	4(130m)	9	菱铁矿 方解石	在中部是剪切带，西部主要是绿泥石带，东部主要是碳酸盐带
2500 (DDH 8610)	13(430m)	9到8	铁白云石 菱铁矿 方解石	主要是绿泥石带
1000 (DDH 8553)	3(100m)	9到8到7	菱铁矿 铁白云石	在剖面内有几个大的剪切带，主要是碳酸盐带

矿山水平是地表以下的近似深度，与图1一致

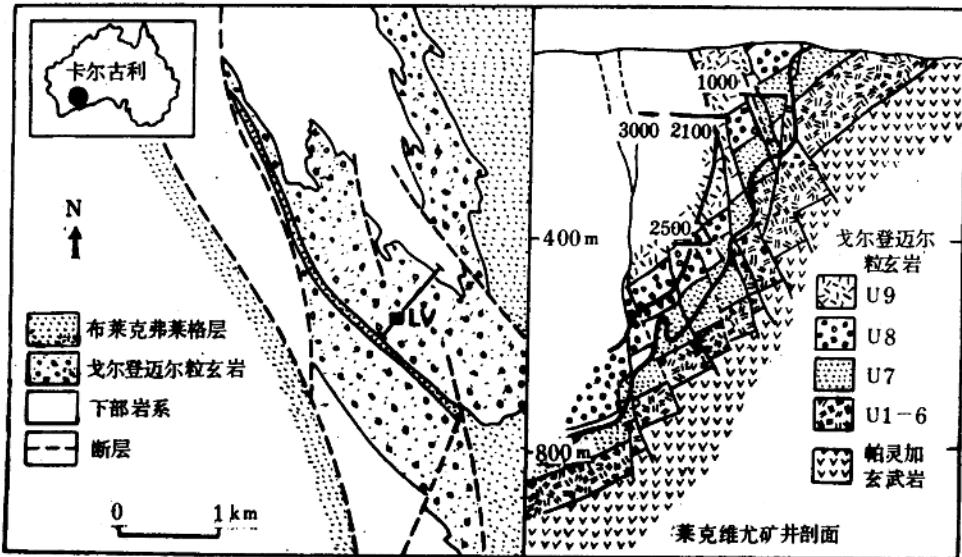


图 1 卡尔古利矿床戈尔登迈尔地区地质图（左图）

图中示出莱克维尤矿井(LV)的位置和横切矿井的剖面。下部岩系主要由帕灵加玄武岩组成，戈尔登迈尔地区东部的剖面图（右图）示出了4个采样剖面的位置、戈尔登迈尔粒玄岩的4个填图单位（岩性单位1-6、7、8、9）和主要向东倾的塑性剪切带；较小的剪切带未标出，但其为数甚多。注意，4个采样剖面都绘到这个共同的横剖面上，以保留它们与地层之间的真实关系。这样一来，垂直深度就略有偏差，但在表1中已列出了。两条粗的陡倾线之间的地段是碳酸盐化蚀变带，并大致沿着单位8和单位7分布。绿泥石蚀变带位于这两条线以外的地段。

和Groves (1984) 等人发现的。他们指出,在蚀变期间主要元素的含量没有明显变化,所以,岩性的主要变化与碳酸盐矿物组合的变化有关。本文拟将这一结论用于阐明围岩中Fe、Mg和Ca的含量是如何对碳酸盐矿物类型和成分发挥重要控制作用的。

戈尔登迈尔粒玄岩分为10个填图单位,其中,单位7、单位8、单位9占全部岩床的80%。四个剖面代表了岩床的主要成分(表1、图1),并在这些剖面上对这三个填图单位进行了详细采样。

## 戈尔登迈尔粒玄岩的地质背景

卡尔古利地区位于西澳大利亚太古代伊尔加恩地块中的诺斯曼-威卢纳带内(Groves和Bott, 1984),一直是黄金的主要来源(回收储量1200t)。主要围岩粒玄岩厚400—600m,是一种侵入于下伏的镁铁质和镁铁质岩(图1)与上覆的变沉积岩和长英质变火山岩单位之间的分异的拉斑玄武质岩墙(Travis等, 1971)。在卡尔古利南部,戈尔登迈尔粒玄岩被分为10个填图单位(Travis等, 1971),最近,这一划分已推广到卡尔古利戈尔登迈尔地下勘探的填图工作中(Phillips, 1986)。

戈尔登迈尔粒玄岩的边部单位(单位1和10)是细粒的,它们的成分近似于整个岩床的成分。粒玄岩内部的单位由底部和顶部的较富Mg的辉石斑晶相(单位2、3、4及单位9的一部分)过渡为中部的较富Fe的斜长石斑晶相(单位5、6、7及单位9的一部分)和顶部下面的一种高分异的花斑岩(单位8)。全岩的成分反应了这种结构的分类。随着向花岗斑岩方向的分异, SiO<sub>2</sub>含量、Fe/Mg比值和不相容元素的含量增高及Mg和Ca的含量降低(Travis等, 1971; Phillips, 1986)。区域绿片岩相变质作用稳定了粒玄岩的阳起石-钠长石-绿泥石-绿帘石-石英矿物组合,但在整个戈尔登迈尔矿区该变质矿物组合被含碳酸盐、白云母和黄铁矿的矿物组合叠加。图上标出了三种蚀变带: 1)代表变质矿物组合弱碳酸盐化的绿泥石带; 2)反映较局部强碳酸盐化的碳酸盐带; 3)反映硫化物和金加入到韧性剪切带内及其周围的黄铁矿带(Phillips, 1986)。粒玄岩的构造为典型的块状,除了限定1—2 m厚的韧性剪切带的局部强片理化带外,它保留了变余火成构造的特点。

绿泥石是绿泥石带中主要的含铁镁的矿物,在绿泥石带绿泥石大量出现并呈假像交代了阳起石,在阳起石被分解时也形成了一些方解石和铁白云石。其他矿物相包括石英、钠长石、磁铁矿和钛铁矿。除了剪切带以外,通常都保存了岩浆岩的结构。

碳酸盐带由于碳酸盐矿物的数量超过绿泥石而表现为脱色。虽然有高达10%的绿泥石存在,但铁白云石和菱铁矿仍是主要矿物。碳酸盐带中的绿泥石[Fe<sub>2.8</sub>Al<sub>1.7</sub>Mg<sub>1.5</sub>(Si<sub>2.8</sub>Al<sub>1.2</sub>)O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub>]比绿泥石带中的绿泥石[单位8的绿泥石为Fe<sub>3.3</sub>Al<sub>1.4</sub>Mg<sub>1.3</sub>(Si<sub>2.5</sub>Al<sub>1.5</sub>)O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub>,单位9中的为Fe<sub>3.1</sub>Al<sub>1.5</sub>Mg<sub>1.4</sub>(Si<sub>2.8</sub>Al<sub>1.4</sub>)O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub>]较贫铁。石英和白云母较丰富,其他较少的矿物包括电气石、黄铁矿、钠云母和黄铜矿。

黄铁矿带以具贯入的燧石脉为特征。白云母所限定的片理在黄铁矿带内或其附近发育,并有变余火成结构的明显叠加现象。从绿泥石带到碳酸盐带再到富含石英的黄铁矿带,最普通的石英明显增加。虽然具工业价值的金(黄铁矿带)产在粒玄岩的所有岩性

单位内，但蚀变的类型和厚度则明显受粒玄岩地层的控制（Phillips, 1986）。在与金有关的蚀变期间，大部分主要元素都很稳定，造成这种情况的部分原因是这种地层控制作用。

虽然在太古代金矿床周围的碳酸盐化蚀变被默认为是早期的，并可能与海底蚀变有关（Davis等, 1982; Fyon和Crocket, 1982; Karvinen, 1982），但Bartram和McCall（1971）认为，卡尔古利的碳酸盐化是变质作用高峰后的。M.G.Fotios（1983）根据绿泥石带矿物组合（绿泥石-方解石）叠加于区域变质的阳起石也推断为这一时期。Phillips（1986）则认为，绿泥石化、碳酸盐化、黄铁矿化和金矿化是与渐进变形作用基本同期的一个地质事件的全部。

本文开始讨论的围岩控制局限于绿泥石化和碳酸盐化带，其中，菱铁矿、方解石和铁白云石是稳定的。硫化作用（黄铁矿带）在局部地区使白云石保持稳定，这将分别讨论。

### 绿泥石化和碳酸盐化蚀变带中 碳酸盐矿物组合的围岩控制

在戈尔登迈尔粒玄岩的整个绿泥石化和碳酸盐化蚀变带，碳酸盐矿物呈系统的分布，铁白云石见于这两个带的粒玄岩各岩性单位中。方解石分散地产于富Mg单位（岩性单位9和1—6）的绿泥石化带内，但在富铁单位（单位7或8）和碳酸盐化带内没有发现。菱铁矿广泛出现在富铁单位（岩性单位7、8和9）中的碳酸盐蚀变带内，但在单位1—6和上部单位9（即粒玄岩分异程度差的部分）中则很稀少。这种分布模式反映了粒玄岩中全岩成分的趋势，菱铁矿富集在富铁单位内，而方解石富集于富镁单位内。

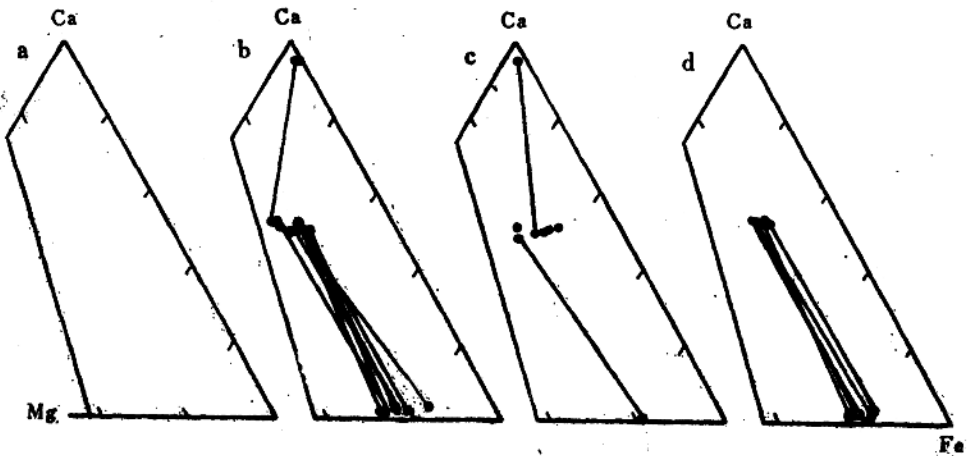


图2 绿泥石带和碳酸盐带的碳酸盐

矿物中Ca、Mg和Fe含量的原子比4个图分别代表粒玄岩中大致按分异程度逐渐增加顺序排列的4个采样剖面：a、3000剖面；b、2100剖面；c、2500剖面；d、1000剖面。围岩成分的变化对碳酸盐矿物组合有影响，但对矿物成分影响不大。

由于 $MnCO_3$ 含量一般都少于1.5% (mol%)，因此所有碳酸盐矿物的成分都可用Fe-Mg-Ca变异图来表示(图2)。矿物相的常规鉴定是用X射线衍射方法进行的，成分是用电子探针测定的(见附录)

对绿泥石带和碳酸盐带总共进行了122个铁白云石分析(表2、3、4、5)。最富铁的铁白云石平均含 $FeCO_3$ 34.5%、 $MgCO_3$ 13.8%，处于平衡温度的极限(Essene, 1983)，这将在下面讨论。通常，岩性单位8的铁白云石比单位9的铁白云石略富 $FeCO_3$ (两者的 $FeCO_3$ 分别为26—32%和20—29%)，虽然其间有明显重叠。从分异最好的粒玄岩中采集的3个样品(2518, 2520, 2524)特别富铁(表4)。

从绿泥石带和碳酸盐带采集的菱铁矿的44个分析结果(表3、4、5)表明，菱铁矿作为固溶体含有15—30%的 $MgCO_3$ 及少量的 $CaCO_3$ (0—2%)和 $MnCO_3$ (最高达2%)。较富Fe的菱铁矿( $FeCO_3$ 75—83%)采自岩性单位8及岩性单位7上部的绿泥石带和碳酸盐带(对照之下，岩性单位9的 $FeCO_3$ 可达70—80%)。

表2 分异程度差的粒玄岩中铁白云石的成分

样品号	3002	3028	3053
距离(m)	0.6	10.0	17.0
岩性单位	9	9	9
蚀变带	绿泥石	绿泥石	绿泥石
Fe	24.6	24.5	23.3
Mn	0.7	0.7	1.0
Mg	24.0	23.9	24.3
Ca	50.8	51.0	51.2
分析数	2	2	4
100Fe/(Fe+Mn+Mg)	50	44—56	45—51

用原子百分比表示，所有的样品都采自3000剖面。距离从DDH钻孔口算起。

表4 分异程度较好的粒玄岩中碳酸盐矿物的成分

样品号	2501	2509	2513	2518	2520	2524
距离(m)	15.0	29.4	35.8	45.8	49.5	55.8
岩性单位	9	8	8	8	8	8
蚀变带	绿泥石	绿泥石	绿泥石	绿泥石	绿泥石	绿泥石
		铁白云石				
Fe	28.2	25.1	26.8	32.8	34.5	31.4
Mn	1.6	1.3	1.0	1.6	1.4	1.5
Mg	19.5	22.6	23.3	15.4	13.8	18.2
Ca	50.8	51.4	48.8	50.2	50.3	49.2
样品数	1	4	2	1	3	5
100Fe/(Fe+Mn+Mg)	60	51—53	46—59	63	71	63—70
		菱铁矿				
Fe	3.7		78.1			
Mn	1.3		0.7			
Mg	0.8		19.8			
Ca	94.3		1.4			
样品数	4		1			
100Fe/(Fe+Mn+Mg)	62—64		79			

数值用atom%表示。所有样品都采自2500断面。距离从DDH钻井口算起。

表3 分异程度差的玄武岩中铁白云石、菱铁矿和方解石的平均成分

样品号	2101	2102	2104	2108	2112	2116	2119	2121	2123	2124	2126	2131	2132	2133
距离(m)	2.5	4.0	7.8	14.5	32.6	43.8	46.8	47.7	50.4	52.6	58.5	77.9	79.8	82.3
岩性单位	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
蚀变带	绿泥石	绿泥石	绿泥石	绿泥石**	绿泥石	绿泥石	碳酸盐*	碳酸盐*	碳酸盐*	碳酸盐*	碳酸盐	碳酸盐	碳酸盐	碳酸盐
Fe	27.1	24.9	27.8	27.5	19.7	16.8	21.7	28.8	25.6	20.6	27.1	25.8	28.2	26.3
Mn	0.8	0.8	0.7	0.8	1.5	0.4	0.6	0.9	0.7	0.5	0.3	0.6	0.4	0.7
Mg	20.6	24.3	20.4	21.1	27.2	32.0	26.1	20.1	21.8	26.7	22.5	22.5	20.5	21.8
Ca	51.5	49.9	51.0	50.5	51.6	50.8	51.6	50.3	51.0	52.2	50.2	51.1	50.9	51.2
分析样品数	3	4	3	2	5	4	3	6	3	9	6	3	3	2
100Fe/(Fe+Mn+Mg)	55-57	44-53	55-58	53-58	38-42	27-37	45	57-62	47-56	35-56	51-58	49-56	57-58	53-55
方解石														
Fe	3.1						70.6	71.2	72.5		78.7	74.8	77.4	71.8
Mn	0.7						2.4	2.4	1.4		2.7	0.9	0.6	0.0
Mg	1.2						25.0	25.5	23.1		16.3	22.6	20.8	27.2
Ca	95.0						2.0	0.8	3.1		2.3	1.7	1.3	1.0
分析样品数	7						6	4	3		4	2	3	2
100Fe/(Fe+Mn+Mg)	57-70						70-74	67-80	74-76		80-82	76-77	77-81	72-73

用atom%表示。所有样品都来自2100剖面。距离从412EXC西端的莱克维克矿脉向东算起。\*为局部含菱铁矿的样品(大剪切带的一部分)。\*\*靠近后期石英脉。

表5 分异程度较好的粒玄岩中方解石和菱铁矿的成分

样号	1002	1017	1020	1024	1028	1032	1045	1050	1068
距离(m)	2.5	22.9	27.8	28.9	30.8	32.0	38.9	49.4	65.3
岩性单位	9	9	9	8	8	7	7	7	7
蚀变带	碳酸盐/绿泥石		碳酸盐	碳酸盐	碳酸盐	碳酸盐	碳酸盐	碳酸盐	碳酸盐
	铁 白 云 石								
Fe	28.3	28.0	29.8	30.1	31.8	27.4	28.2	28.6	28.9
Mn	1.0	1.1	0.8	0.8	0.7	0.9	1.0	0.6	0.6
Mg	20.6	20.2	19.0	17.4	17.4	20.6	19.9	20.1	20.0
Ca	50.2	50.7	50.4	51.6	50.1	51.1	50.9	50.7	50.4
样品数	5	2	4	2	6	4	6	4	6
100Fe/(Fe+Mn+Mg)	56—58	56—58	56—64	59—66	60—64	54—60	51—64	56—60	55—62
	菱 铁 矿								
Fe			75.1	80.1			80.5	77.2	77.4
Mn			1.8	1.6			1.9	0.8	1.4
Mg			22.2	16.2			16.7	20.5	20.1
Ca			0.9	2.0			0.8	1.5	1.1
样品数			5	3			1	5	5
100Fe/(Fe+Mn+Mg)			74—80	80—83			81	77—80	75—80

以atom%表示。所有样品都采自1000断面，距离从DDH钻井口算起。

根据11个分析值(表3和表4)，方解石具较高的Fe/Mg比值和约3—4%的FeCO<sub>3</sub>，其MnCO<sub>3</sub>和MgCO<sub>3</sub>均低于1.5%。两个含方解石的样品采自岩性单位9的不同剖面。

戈尔登迈尔粒玄岩中的碳酸盐矿物的分析直接反映了围岩的成分，在较小程度上也反映了蚀变的程度。粒玄岩中的富镁单位(如岩性单位9)具有稳定的绿泥石-铁白云

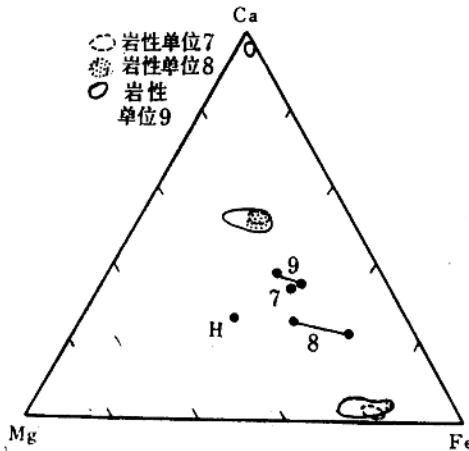


图3 粒玄岩中绿泥石带和碳酸盐带的碳酸盐成分(Ca、Mg和Fe的原子比)概图(以投影区表示)

表明了与围岩(岩性单位7、8或9)的关系。用黑点表示3个岩性单位的全岩成分，为了对比还示出了坎博尔达地区亨特矿山变质玄武岩的成分(H)(Phillips和Groves, 1984)

石±方解石的矿物组合，即使在靠近剪切带的地方亦如此，而在缺乏绿泥石和方解石的广大区域，富铁单位（如岩性单位7的上部和岩性单位8）菱铁矿稳定（图3）。这就导致富铁单位中的碳酸盐化带较宽（Phillips, 1986），但这既与金品位无直接关系，也与推断的二氧化碳活度无直接关系（即与富镁的岩性单位相比，富铁的成分更有利于含绿泥石的硅酸盐矿物组合分解为一种具固定流体成分的碳酸盐）。

## 碳酸盐矿物的形成温度

有两种方法可用来估算碳酸盐矿物的形成温度。还可用共生的方解石-铁白云石矿物对来确定温度（Powell等, 1984），最富铁的铁白云石处于温度的极限值（Essene, 1983）。假定绿泥石、碳酸盐、黄铁矿和金为同一时期的（Phillips, 1986），那么戈尔登迈尔矿区主要金成矿事件的温度就可以估算了。

用Powell等人（1984）的温度计测得两个样品（2112和2501）中方解石-铁白云石共生矿物对的温度为335℃和330℃（±40℃）。多次分析表明，矿物成分较均一，结构关系显示碳酸盐矿物对是在蚀变期共生的。所有碳酸盐矿物中 $MnCO_3$ 的含量较低，锰几乎不影响测定结果。但其他绿岩区金矿床的测定结果表明，碳酸盐温度计的结果可能略高于其他地质温度计的结果（Neall和Phillips, 1987），由戈尔登迈尔矿区碳酸盐估算的温度明显高于根据单矿物黄铁矿和硬石膏的硫同位素所测定的温度（Golding和Wilson, 1983），但总的看来与由金矿脉中石英脉的原生流体包裹体所确定的温度是一致的（Ho等, 1985）。

Essene（1983）的三相三角图法可用来检验上述的温度估算值。随着温度的升高， $FeCa(CO_3)_2$ - $MgCa(CO_3)_2$ 接合面的混溶间隙减小，这就使得在合适的围岩中产生了较多的富铁铁白云石。戈尔登迈尔矿区最富铁的铁白云石，其含铁量也略似于Essene（1983）提供的黑云母带的铁白云石（估计温度400℃），这与戈尔登迈尔矿区的成矿温度在400℃以下相一致。

## 硫化作用及其对黄铁矿带中碳酸盐成分的控制

粒玄岩中0.5—2.0m厚的韧性剪切带内及其周围黄铁矿的形成意味着有硫加入的区域范围相当有限，这与具经济价值的金矿化相一致。黄铁矿一般占黄铁矿带中蚀变粒玄岩的2—10%，并与白云母、铁白云石、石英和钠长石共生。

采自岩性单位9上部（3000剖面，见表1）2m厚的黄铁矿带中的样品，含有成分差别很大的铁白云石和自贫铁白云石起的铁含量各异的白云石（图4）。这种广范围的碳酸盐成分（表6）无论在碳酸盐带还是在绿泥石带都未发现（图2），但采自岩性单位9的黄铁矿带中的3个样品（3040、3042、3045）和采自岩性单位7中的样品（1030、1038）却有这一特点。在一个样品中，铁白云石成分所具有的代表性变化范围是从约52%的 $FeCa(CO_3)_2$ 到约10%的 $FeCa(CO_3)_2$ 。这么宽的变化范围出现在一块薄片内，并且与黄铁矿富集区有密切关系。白云石几乎总是与最富黄铁矿的地段有关，特别是与沿石英脉边缘的细粒黄铁矿分布区有关。

表6 黄铁矿蚀变带内方解石和菱铁矿的端员成分

样品号	1030	1038	3040	3042	3045
距离(m)	31.4	36.1	14.8	14.95	15.1
岩性单位	7	7	9	9	9
铁白云石-白云石					
Fe	26.0 5.0	29.1 16.5	16.6 1.4	21.1 1.0	16.7 3.3
Mn	0.9 2.6	0.8 2.6	0.8 0.1	0.6 1.4	1.8 1.7
Mg	22.6 42.3	19.1 29.8	32.9 46.2	26.8 46.7	29.2 43.8
Ca	50.6 50.1	51.0 51.1	49.7 51.3	51.6 51.0	52.2 51.2
样品数	10	6	8	12	4
100Fe/(Fe + Mn + Mg)	10-53	34-59	3-33	2-43	7-35
菱铁矿					
Fe	80.7 75.2	83.1 80.5			
Mn	1.4 1.5	1.6 1.9			
Mg	17.5 22.4	14.8 16.9			
Ca	0.4 0.9	0.5 0.8			
样品数	6	2			
100Fe/(Fe + Mn + Mg)	76-81	81-84			

以atom%表示。距离从DDH钻井口算起。

菱铁矿在黄铁矿带并不常见。该带中菱铁矿各种成分的变化范围与在绿泥石和碳酸盐蚀变带中菱铁矿各种成分的变化范围相似(图4)。然而,最富铁的菱铁矿(83% FeCO<sub>3</sub>)产于岩性单位7的黄铁矿带中。

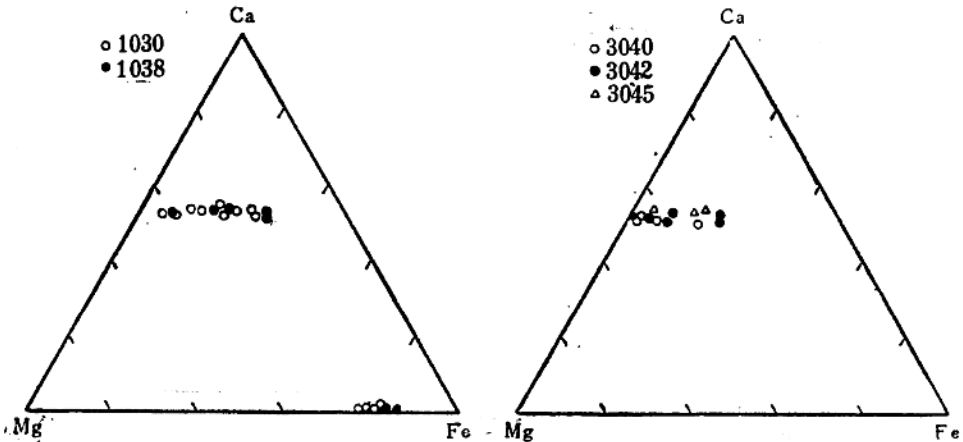


图4 黄铁矿带中代表性的碳酸盐成分(Ca、Mg和Fe的atom%)

左图为1000断面,右图为3000断面。单个样品显示从富铁白云石到白云石的总演化趋势。

黄铁矿带中铁白云石的不均一性及菱铁矿的缺乏可以用硫化反应过程中大量铁进入黄铁矿中来解释。推测硫具有较高的活度而使黄铁矿稳定,从而使Fe/(Fe + Mn + Mg)比值低的残余硅酸盐组合保存下来。没有任何证据表明,铁白云石相对于白云石的分布是受全岩Fe : Mg : Ca比值变化所控制的。横贯薄片的铁白云石和白云石的成分变化可



以用小范围内硫的活性变化来解释，即：



铁白云石中 流体中 黄铁矿 流体

重要的是，在一块薄片中的小范围内的黄铁矿可能与更富镁成分的白云石和铁白云石相关。

### 绿岩带中的碳酸盐

许多绿岩带的显著特点就是几种岩石类型的碳酸盐化蚀变比较强烈且分布广泛。因此，戈尔登迈尔粒玄岩蚀变矿物成分（包括其他岩性）的控制规律可以很容易地得到引用。

绿岩带变质作用期间流体的性质对讨论碳酸盐蚀变作用尤为重要。根据流体包裹体来直接测量流体成分的方法适用于西澳大利亚、南非和加拿大的许多金矿床（Smith等，1984；Ho等，1985）。与矿化有关的流体一般富含H<sub>2</sub>O和CO<sub>2</sub>，但盐度较低，推测为变质成因（Kerrick和Fryer，1979；Groves等，1982；Phillips和Groves，1983；Golding和Wilson，1983）。H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>流体在确定碳酸盐矿物特点方面的重要性具双重意义，显然，这些流体是CO<sub>2</sub>的可能来源，而且它们的推测的近中性到弱碱性的性质（Phillips和Groves，1983；Ho等，1985）还可控制主要元素的活动性。

这些概念可推广到绿岩带中的其他岩石，在绿岩带，科马提熔岩和侵入体（成分范围是由辉石岩到纯橄榄岩）高度富镁的特点使得在普遍的碳酸盐化蚀变期间产生滑石-菱镁矿+白云石组合（Gresham和Loftus-Hills，1981；Donaldson，1981）。诸如南非默奇森梯矿床围岩这样的一些高镁岩石（Pearnton，1980）具有含菱镁矿的和含白云石的组合，这些组合还含有滑石和绿泥石（图5）。各种各样含碳酸盐矿物的，包括铁

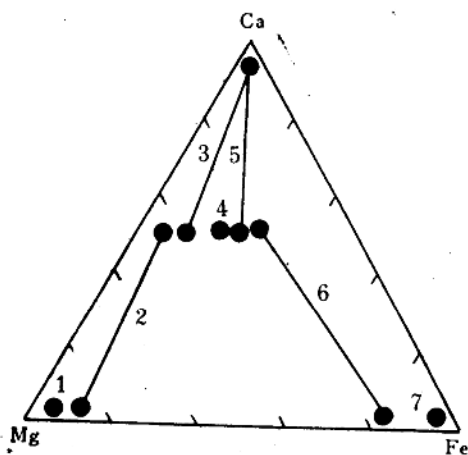


图5 太古代绿岩带中常见的碳酸盐组合的Ca-Mg-Fe图

菱镁矿（1）和菱镁矿-白云石组合（2）是超镁铁质岩系典型的组合（Pearnton，1980；Donaldson，1981）。白云石+方解石+铁白云石（3，4，5）组合是在镁铁质围岩中常见的组合（Phillips和Groves，1984）。菱镁矿-铁白云石（6）是分异程度较好的镁铁质岩石（如戈尔登迈尔粒玄岩）中典型的组合，菱镁矿（7）常见于条带状铁建造中。