

# 国外金矿地质研究新进展

(译文集)

中国科学院地质研究所  
中国科学院兰州文献情报中心  
国家三〇五项目办公室

1936  
62

**《国外金矿地质研究新进展》(第一辑)**

---

**编辑:**中国科学院地质研究所  
**出版:**中国科学院兰州文献情报中心  
**印刷:**中国科学院兰州文献情报中心印刷厂

---

定价: 13.00元

# 目 录

前 言	易善锋 (1)
国外金矿成矿理论研究新进展	沈远超、陈友明 (2)
澳大利亚卡尔古利“金哩”金矿区地质概况和蚀变作用	(9)
热泉型金矿床与地热系统	(41)
含金石英脉:含金剪切带的一种特殊类型	(60)
日本菱刈金矿床的构造控制及形成模式	(70)
加利福尼亚金矿床	(81)
脉型金矿的一种新类型——麦克劳林金矿	(91)
菲律宾金矿床的类型及形成模式	(93)
关于在马尼拉召开的矿床模式——特别是有关热液金矿床模式—— 讨论会报告	(104)
纽芬兰西南部Cape Ray断层带中与花岗岩有关的金矿	(109)
加拿大魁北克Abitibi绿岩带Sigma矿的太古代含金石英脉	(125)
安大略-魁北克Abitibi绿岩带太古代岩石中的碳及其与金分布的关系	(139)
魁北克新的金靶区——Ferderber金矿地质	(150)
美国Dee金矿床	(156)
金矿床的分带性及其控制因素	(161)
复杂成因金矿区蚀变岩的分带性	(168)
关于静冈县莲台寺金银矿床周围的蚀变作用	(173)
浅成热液金银矿床地区绿磐岩的钾长石化作用	(178)
金-铁建造蚀变岩的岩石学特征	(181)
加拿大曼尼托巴Lynn湖地区Agassiz金矿床的矿石矿物学研究	(188)
黑色片岩中浸染状硫化物矿石金的两种分布类型	(198)
不同地质时期基性岩浆和酸性岩浆分异产物中金的分布	(205)
苏联叶尼塞岭金矿化区岩浆活动的特点	(215)
阿尔泰-萨彦岭褶皱区蛇绿岩杂岩中的金	(223)

黄金，不仅是现代工业和各种金制品产业的珍贵原料，而且是国际贸易结算手段的基础。一个国家的货币信誉，与这个国家的黄金储备密切相关。美国的黄金储备占资本主义国家的28%（1982），南非的黄金储量和年产量分别占世界的53%和48%，苏联的黄金储量和年产量占世界的18%和20%（1984），这在相当大的程度上反映了这些国家的经济实力。因此，世界各国无不把黄金的勘探、开采视为重要的国家财源。美国的黄金勘探投资占其整个固体矿产勘探投资的一半以上（1983），由此可以窥见到这个问题受到重视的程度。正如1985年10月在伦敦召开的“2000年矿产勘查”国际讨论会所指出的，贵金属，特别是金，至少在这十五年内仍然是矿产勘查的主要对象。

在我国，1975年全国金矿会议之后，金矿工作取得了明显的进展。但黄金的探明储量和年产量分别只占世界的1.4%和2.4%，居世界的第八位和第六位（1984），这与我国的大国地位和经济发展是不相适应的。1986年开始进行的新疆国家305项目攻关，把金矿的综合研究和找矿靶区优选作为一个重要目标，实行国家拨款，公开招标，是我国重视金矿地质工作的又一新的措施。为了推动我国金矿地质工作的发展，也为了向新疆国家305项目攻关的金矿地质研究提供借鉴，中国科学院地质研究所组织译编、中国科学院兰州文献情报中心组织出版，新疆国家305项目办公室通力协助，决定联合出版这本《国外金矿地质研究新进展》译文集。

金是一个比较活跃的元素，金矿可以形成于各个地质时期的许多地质环境和各种类型的岩石中。在八十年代发现了一些大型和特大型金矿床，对金的成矿类型的认识也有了许多进展。这本译文集从1986年以来国外一些典型金矿床的地质文献中，选译了这些矿床的区域地质、围岩蚀变作用类型及其分带性、控矿构造特征、金的伴生矿物组合特征、矿床成因等方面的资料，象日本菱刈金矿、美国麦克劳林金矿等新近发现的大型金矿床亦有所反映，希望它大体上能够反映出当前国际上对金矿成矿理论的新认识和找矿勘探的新方向，并为此写了一篇《国外金矿成矿理论研究新进展》的综述文章。由于金矿类型多，分布广，为了尽量避免与国内已发表的文献重复，对有些重要类型矿床的资料没有收入，望读者到其他中文文献书刊中查找。

本文集由中国科学院地质研究所国家305项目II课题组组长沈远超和文献情报室副研究员陈友明选题，主要由该课题组的科技人员译校，陈友明任编辑。中国科学院兰州文献情报中心主任刘全根、情报室主任孙成权、地质研究所文献情报室主任张素芬等，为本文集的立项、译编、筹款和出版做了大量的组织工作。制图工作由地质所文献情报室李风仙、沈晓东、陈爱华、王军芝等承担。对上述同志用文献情报工作直接服务于国家攻关研究的这种努力，谨深致感谢。

中国科学院地质研究所副所长

易善锋

1987、12

# 国外金矿成矿理论研究新进展

沈远超 陈友明

(中国科学院地质研究所)

到了八十年代的今天,地质学家在金属成矿理论研究方面,并将其结合于找矿工作取得了很多突破性的进展。正如J.W.Babcock(1984)所指出的,“在自然界除了部分重要矿床的形成与玄武岩浆的演化和分异作用有关外,还查明了大量花岗岩的形成是与玄武岩浆的分异作用无关的,而是由花岗岩化作用形成的。因此,与这类花岗岩有关的矿床也就不是玄武岩分异作用的产物,而是有独立的来源。有不少原先被认为是岩浆热液矿床,其实那些成矿热液主要是由于大气降水或海水通过不同方式循环到地下深处,在地热梯度较高的地热系统中成为热液,成矿物质是通过溶滤作用从不同固体岩层中带出的。这些受到活化作用的成矿物质随热液沿陡倾斜的断裂系统上升,发生再沉淀而富集成矿,以这样方式形成的矿床称为热泉型矿床,象卡林型交代金矿床即属此例。”最近,松久幸敬(1987)指出:“近年来,人们特别重视所谓的‘热泉型金矿’,这类矿床是在地表下和一部分在地表伴随喷出的热泉活动而产生的金、银矿化作用形成的,它们的产状表现在母岩的角砾岩化、泉华的形成、大规模的硅化作用和酸性蚀变带的形成”。(见本文集《热泉型金矿床与地热系统》一文)。1979年在美国加利福尼亚州发现的大型麦克劳林金矿,即是这种热泉型金矿的典型矿床。麦克劳林金矿床的矿体是在五十万到二百万年前地热活动的结果,这种热泉系统与内华达州卡尔逊城附近的Steamboat泉那样的现代热泉十分相象。在Steamboat泉里活着的丝状细菌和藻类被认为与在麦克劳林金矿床岩石中找到的丝状菌类和藻类化石完全相同。在Steamboat泉以及新西兰的Toupo火山带活跃的地热区内其热泉沉淀物和钻孔涌水沉淀物中发现有显著的金、银富集。因此,一些地质学家相信,将来在几百万年后,在内华达州的Steamboat泉的地方将会出现另一个麦克劳林金矿床(见本文集《脉型金矿的一种新类型:麦克劳林金矿》一文)。

地质学一直用类比法来解释地球的历史,类比就是模式。模式能为地质类比或地质研究提供思路,因为它具有一定的预测性,是把勘查工作放在最有利地段的重要指南(J.W.Babcock, 1984)。因此,矿床模式是矿产勘查的关键,尤其对于那些隐伏矿、深部矿的勘查,当低成本的踏勘工作已成为无效时,在钻探成为唯一有效的直接找矿手段时,利用地质理论和正确的矿床模式指导找矿,这对于降低找矿成本是至关重要的,也是在找矿方面导致重大发现的重要依据。近20年来,由于在世界范围内发现和评价了一系列新的金矿类型,同时还由于同位素地质年代学、地球化学、地球物理学、遥感和计算机等手段以及一些尖端测试仪器的应用,使许多过去不明确的矿床成因问题得以解决,由此建立起了许多完善的成因模式。1985年12月4—15日在菲律宾马尼拉召开了一次关于矿

床形成模式——特别是有关热液金矿床模式——国际讨论会。据井沢英二(1986)的报道：“关于热液金矿，以美国内华达州为首，相继发现了不少卡林型金矿床，1979年又在加利福尼亚州发现了麦克劳林金矿床，1980年因受金价上涨等因素的影响，因此，以美国为中心，开始对包括热泉型金矿床在内的矿床模式进行了热烈的讨论。在矿床模式中要求包括如下几方面内容：区域地质构造的发育过程；矿床与岩浆作用在时间上和空间上的关系，矿床构成元素来自何处，裂隙发育以及与此有关的热液的水文状态的变化等”（见本文集）。

矿床模式在找矿工作中确实能起到很好的指导作用，能使勘查人员及他们的决策人集中使用力量和产生信心。在许多勘查地区由于有了一个表达得很好的地质理论和模式而充满活力(C. J. Morrissey, 1986)。但是，还必须看到，任何一种矿床模式必须在其实践检验中予以进一步的修正和充实。若某个地区所蕴藏的是一种新类型矿床，而勘查人员在找矿工作中仍墨守于现成的矿床模式的话则对于新矿床的发现会产生束缚作用。也就是说，在找矿工作中如何正确对待和灵活运用已有的矿床模式是一个十分重要的问题。例如，1981年在加拿大安大略省太古代绿岩带中发现的赫姆洛金矿，这个特大型金矿床位于苏必利尔湖的北侧，邻近有横贯加拿大的17号公路和太平洋铁路公司干线通过，又不是一个深部矿床。甚至早在五十年代在该区修筑公路时，实际上当时已横切出了一个含矿带。但长期以来一直未被人们辨认出来。对于这样一个特大型矿床为何直到八十年代初才被被发现呢？其根本问题就在于以往的勘查人员长期受到太古代绿岩带中的金矿多以石英脉金模式传统找矿思想所束缚。其实，早在1869年，在赫姆洛地区西面的赫伦湾发现有金的产出，几乎经历了一个多世纪的多次勘查包括钻探，都因在该地区的太古代绿岩带内未找到含金石英脉而告失败。而赫姆洛金矿是一个新类型矿床，是一个微细浸染型的层控矿床，似乎只有一个主要含矿层，即含绢云母和黄铁矿的硅质片岩层，在该太古代绿岩带中石英脉很少(B. Henry, 1984)。

自从Rene Descartes在1644年首先提出深成说后，对于矿床中的金和其它金属元素，人们长期以来一直引用深部来源，把地幔作为从中带出金、硫化物和脉石组份可能性最大的地带。其依据是，首先，有许多金矿床与火山岩在空间上具有密切关系，这种例子在前寒武纪和第三纪地层中是特别常见的，因为一般认为火山岩乃来自地球深处（可能是地幔）产生的岩浆，而金及其伴生元素可能具有类似的成因。实际上，随着同位素地质年代学资料的日益丰富，人们发现，在多数金矿区在火山作用时期与金矿化作用时期之间通常间隔着一段相当长的时间，在这段时间内，在区内发生了变质作用、花岗岩化作用或岩浆侵入作用，而金矿化与这些作用具有更密切的联系。其次，用以说明矿床中金与其伴生元素来源于地球深部的另一现象是，金矿床通常赋存于延伸较长的大断裂和裂隙系统中或其附近。但根据R. W. Boyle(1979)对加拿大西北部的耶洛奈夫地区的深断裂与金矿化之间的关系的检查发现，延长达24km的太古代的吉安特-坎贝尔剪切带被一系列陡倾的元古代断裂所切割，而这些元古代断裂有的延伸可达75km以上。如果金及其伴生元素来源于地幔或其它深部地带，那么这两个断裂系统都应出现金矿化，因为它们都是向地下切割很深的。但是实际情况并非如此，太古代的吉安特-坎贝尔断裂系统是高度含金的，而晚期的元古代断裂即使在广泛出现石英化和某些黄铁矿化

的地方，基本上是不含金的。根据该作者的分析，造成这种差别的原因是很复杂的，但是可能主要与变质事件直接有关。产有金矿床的太古代吉安特-坎贝尔断裂及其附属系统形成于绿岩带发生区域变质作用、花岗岩化作用和花岗岩侵入作用的晚期。在这些断裂系统扩张时，从绿岩带运移出来的金-石英矿脉组份就会进入其中，并且在适宜的构造位置上沉淀下来。而在元古代的断裂形成时，没有发生区域变质作用，因此金未能从母岩中迁移出来，也就谈不上发生富集。

在金矿成因方面所谓岩浆分异说认为，金及其伴生元素来自发生结晶作用的岩浆体，金和脉石元素是在岩浆分异的最后阶段从岩浆中析出的。现在多数人对这种岩浆分异说提出异议。如M. Meyer和R. Saager(1986)指出：“对于岩浆分异过程中金性状的认识，一些研究者认为从镁铁质岩石到长英质岩石，贵金属含量一般是减少的，而另一些学者认为，金在岩浆分异过程中，它的性状是惰性的。”现在大家已普遍认为，所谓由岩浆分异作用而形成的中性岩和酸性岩的看法也是很成问题的，目前已有足够证据表明，过去常被人们视为金矿床物质来源的花岗岩、花岗闪长岩、二长岩和其它类似岩石，并不是由岩浆分异作用形成的，而是由花岗岩化或超变质作用产生的。

近十年来，多数地质学家对一些时代较新的热泉型金矿多利用大气水分泌说去解释它们的成因；而对于产在前寒武纪绿岩带、含铁建造和由沉积变质岩构成的地层中和某些古生代浅变质沉积岩地层中的金矿床多倾向于用变质分泌说解释它们的成因。变质分泌说认为，最初存在于围岩中的金、银和脉石元素在区域变质过程中会发生活化，并富集于附近的断裂、剪切带、裂隙和一些碳酸盐质岩石中。如C. R. Anhaeusser(1976)指出：“在南部非洲和其它地区的绿岩带金矿床中，金最初存在于镁铁质和超镁铁质熔岩及其伴生的沉积岩中；在伴随有花岗岩侵入的区域变质作用期间，金发生活化，并富集于膨胀带中。”又根据A. T. Bendik等人(1971)的资料，在苏联乌兹别克斯坦的特大型的穆龙套金矿床中，金最初存在于下古生代的碳酸盐质粉砂岩和砂岩中的。以后由于热液变质作用，金发生活化并富集成矿的。G. N. Phillips(1986)对澳大利亚西部特大型的卡尔古利金矿床所提出的成矿模式是与含金变质流体与富铁围岩相互作用而产生金富集的变质交代模式一致的。S. D. Golding和A. F. Wilson(1983)也都支持卡尔古利金矿床形成过程中富金流体的变质成因的看法(见本文集《澳大利亚西部卡尔古利“金哩”金矿区地质概况和蚀变作用》一文)。

近年来，以成矿物质的多来源、成矿作用的多成因和多阶段以及矿体产出受一定层位控制为核心内容的层控矿床理论，受到了普遍的重视，并在指导找矿工作中显示出了巨大威力。层控矿床理论的提出，是对传统的绝对化了的成矿理论的一种反击(涂光炽等，1984)。不久前，C. J. Morrissey(1986)指出：“在今后的15年中，表面上不同矿床类型之间的成因联系将会得到更多的确认和更深入的了解”。层控矿床理论的提出，正是这种新趋势的反映。虽然对所有金矿床成因问题的解释也难于用层控矿床理论所能全部概括的，但是，对多数金矿床来说，其成矿作用的多期次、多阶段、多成因和成矿物质的多来源都是显示得十分清楚的。我们必须以比较全面的和客观的眼光去认识各种类型金矿床形成过程中的全部地质作用因素。单纯地用深成说或岩浆分异说难以解释大部分金矿床中的成因问题，但是，完全排除岩浆热液对某些金矿床形成的直接影响，

而孤立地用侧分泌说去解释所有金矿床的成因问题同样是片面的。例如，竭力支持用侧分泌说解释金矿成因问题的加拿大著名矿床学家R.W.Boyle，他（1979）在指出“至今在花岗岩、中性岩或基性岩、伟晶岩或斑岩岩体中未发现过原生（同生）的金、银矿体”的同时，还指出了“一些较小的花岗质、英安质和石英-长石斑岩岩株、不规则岩体及与其伴生的岩墙似乎是有利于金和银的原生富集的。”D.H.C. Wilton和D.F. Strong（1986）在《纽芬兰西南部Cape Ray断层带中与花岗岩有关的金矿》一文中指出，“该区的Windowglass花岗岩在金矿成矿系统中发挥过十分重要的作用，但有一个较大的问题是，花岗岩浆的冷却作用是对循环的淋滤水简单地起着一种热源作用呢还是这些流体和金属组份是来源于原始岩浆熔体的？根据Pb、S同位素、地球化学和流体包裹体等资料，证明这些流体是岩浆成因的（见本文集）。又如，石原舜三和森下祐一（1987）指出：“高品位的菱刈金矿床的矿脉呈现周律构造，由反复沉淀而成。该矿床大部分矿脉的围岩属四万十群的沉积岩类，这些沉积岩含金值都是很低的，又根据矿脉中的硫同位素资料，被认为主要是岩浆起源的。”因此，这两位作者认为，岩浆过程中的金、银富集对日本菱刈矿床高品位矿石的形成起了很大的作用（见本文集《日本菱刈金矿的构造控制及形成模式》一文）。石原舜三（1986）还指出：“加利福尼亚的金矿主要产于Sacramento东部和内华达花岗岩山地的西麓，这些花岗岩不仅为该地区的金矿化提供了热源，而且在作为Au、S的供给源方面也起过重要作用”（见本文集《加利福尼亚金矿床》一文）。

但是，在总体上说来，那些存在于地球深处（可能是地幔）的金，通过岩浆作用被带至上地壳和近地表后，其绝大部分以分散状态存在于各类火山岩和侵入体中，产于上述岩石中的那些原生金又作为富集于大多数金矿床和分散于各类沉积岩中金的中间来源。R. P. Viljoen等人（1969）曾指出：“南部非洲巴伯顿山区脉金矿床中金的主要来源是原始‘富金的’科马提岩。由于后期的花岗岩类的侵入，存在于科马提岩中的金被活化，然后被富集于扩容带中的。”按照他们的看法，要形成金矿床需要有一系列相继发生的、部分是沉积时期的但主要是变质时期的富集作用。J. J. Lavreau（1984）认为，扎伊尔北部金矿床中矿脉的形成具有两阶段模式，首先由于喷气活动在条带状铁建造中发生初步的、经济价值不大的金的富集；尔后，岩浆热液作用和变质作用叠加造成第二期次的具有经济价值的金的富集。

M. Meyer和R. Saager（1986）指出：“存在于源岩中的金的可得性，即金的矿物学位置具有重要意义。”他们认为，存在于硫化物相中的金易于被运移的溶液浸出，因而为变质分泌作用所利用，而在硅酸盐矿物和氧化物中金则不易为淋滤流体所得到。我们在很多金矿床中经常看到，在金矿脉周围常被由不同矿物构成的蚀变带包围，而紧靠矿脉的常为黄铁矿化蚀变带，这应该是由原先存在于硅酸盐矿物或磁铁矿相中的金在这些矿物蚀变过程中被转入次生的硫化物相中，在金成为易于淋滤的形式后，又被转移到矿脉中沉淀的。

Б. В. Петров等人（1971）曾对苏联帕托姆高地各类岩石变质过程中各种元素的性状作过研究，他们指出：“许多造岩元素和Li、Rb、Ba、Sr等稀有元素表现出惰性性状，而Fe、Co、Ni和Au则显示出相当大的活动性。这些元素在挥发份的参与下，向着温度低的



方向迁移，并且聚集在低温相（绿片岩相）中。”他们还发现，在变质泥岩和变质粉砂岩中，即在原先富含水的岩石中，金的含量在变质作用期间发生了重大变化，而且达到角闪岩相的变质泥岩丧失金，达到绿片岩相的变质泥岩则获得金。

原始含金背景值较高的岩石常可成为富集在大多数金矿床中的源岩。对于火成岩来说，首先是超基性岩和基性岩，其次为中性岩，这就可部分地说明，为什么金矿床常产于绿岩带和绿磐岩化带（原先由超基性岩岩流和岩床、玄武岩、安山岩、英安岩等构成）中。根据M. Meyer和R. Saager (1986) 的资料，现在世界金年产量大约为1300吨，而太古代绿岩带金矿床提供的全年产量约为200吨。在各类沉积碎屑岩中，砂岩和砾岩含金最丰富，其次为杂砂岩和次杂砂岩。在世界上许多地方，变质杂砂岩、砂岩层中赋存有众多的含金石英脉。此外，金矿床与含金较富的硫化物片岩、含黄铁矿的黑色页岩和泥岩以及碳质片岩之间也存在有明显的关系，因此，在含有这些岩石的变质火山岩和沉积地层中常有不同类型的金矿床产出。J. S. Springer (1985) 指出：“碳是加拿大地盾前寒武纪绿岩带浅变质沉积岩中的一种常见的次要组份。实际上，在产金的地方，部分碳是石墨，而且岩石通常为片岩。因此，检查金矿床中碳在数量、粒度和分布上的变化是很重要的（见本文集《安大略-魁北克Abitibi绿岩带太古代岩石中碳及其与金分布的关系》一文）。”

由矿化介质——水、某些气体、融溶体或扩散流——所引起的含矿围岩在矿物学上和化学成分上的变化的所谓的围岩蚀变在大多数金矿床中是非常普遍的，而且这种蚀变作用的强度和广度又常与金矿床的规模有一定联系。例如，特大型的卡尔古利金矿床发育有一个相当宽广的围岩蚀变带，这个蚀变带主要是普遍的碳酸盐化、绿泥石化及局部强烈的黄铁矿化和白云母化，与此同时形成金矿化（见本文集《澳大利亚西部卡尔古利“金哩”金矿区地质概况和蚀变作用》一文）。

围岩蚀变在有些岩石中发育明显，在另一些岩石中则表现得很微弱或者实际上不存在。在同一种矿化介质作用下，由蚀变作用所产生的蚀变矿物是严格受母岩成分控制的。在超基性岩中，常见的蚀变作用类型是蛇纹石化和滑石的发育。在某些金矿区，蛇纹岩和其它类型的超基性岩有明显的碳酸盐化（铁白云石化）。在中性岩和基性岩中，常见的蚀变作用类型是绿泥石化、碳酸盐化、绢云母化、黄铁矿化、毒砂化、冰长石化和绿磐岩化。强烈的碳酸盐化、绢云母化和黄铁矿化的基性岩和超基性岩称为“滑石菱镁片岩”。在金矿床中，酸性岩的蚀变类型最常见的是绢云母化、粘土化、硅化以及有黄铁矿的发育。一些花岗岩类、花岗片麻岩、石英斑岩和某些片岩，如被强烈的绢云母化，有时有钠长石化，并被黄铁矿所浸染，称为“黄铁矿细晶岩”。碳酸盐岩中的高温蚀变作用类型主要为砂卡岩化和硅化，例如，在苏联乌兹别克斯坦的穆龙套金矿床中，与含金网脉状矿床有关的钙质粉砂岩、页岩和千枚岩中在许多阶段上发生了广泛的蚀变作用，形成阳起石、辉石、长石、绿泥石、黑云母、电气石、绢云母、石英、黄铁矿、磁黄铁矿、毒砂和金。在碳酸盐岩中的中、低温蚀变主要为硅化（R. W. Boyle, 1979）。R. Ellis (1986) 指出：“位于美国内华达州卡林型金矿带上的Dee金矿，容矿岩石的蚀变作用是与金矿化作用相伴随的一个重要特征。随着矿液对碳酸盐质容矿岩石的显著淋滤，硅化作用是最常见的，特别是在破碎的和剪切岩石的主要构造带内及其附近，碳酸盐被硅交代”（见本文集《美国Dee金矿床》一文）。

Е.В. Янишевский和Н.Б. Янишевская(1986)指出：“由于蚀变岩沿渗滤溶液的特殊通道发育,因此呈现出明显的分带性”(见本文集《复杂成因金矿区蚀变岩的分带性》一文)。G.N. Phillips(1986)指出：“在卡尔古利金矿区,在作为主要容矿岩的“金哩粒玄岩”中可划分出三个蚀变带,即绿泥石化带、碳酸盐化带和黄铁矿化带,从矿脉周围逐渐向外,依次为黄铁矿化带经过碳酸盐化带至绿泥石化带,最后至新鲜的粒玄岩。”该作者还指出,碳酸盐化蚀变带代表了比绿泥石化带更为强烈的一种蚀变形式,亦即反映出当时有更多的流体进入、不同的母岩和不同的物理化学条件(见本文集《澳大利亚西部卡尔古利“金哩”金矿区地质概况和蚀变作用》一文)。松久幸敬(1987)指出：“内华达州渐新世至中新世的朗德山金矿床的蚀变带从矿脉或角砾岩带中心向外呈硅化带、粘土化带、绿磐岩化带的带状排列。明矾石化带只局限于热液活动中心的角砾岩筒的内部和上部,其中大部分可能是后期浅成蚀变的结果(见本文集《热泉型金矿床与地热系统》一文)。

R.W. Boyle(1979)指出：“在巨大的剪切带形成时,二氧化硅、水和硫在其中达到高度富集,于是化学平衡发生强烈变动,大量的火山岩发生绿泥石化、碳酸盐化、黄铁矿化等蚀变作用。这样就导致释放出二氧化硅、钾、钙、铁等,同时释放出蚀变岩石中的金、银和其它金属元素。这些释放出来的化合物和元素,与通过扩散作用从围岩带入剪切带的那些化合物和元素一起,沿侧向和垂向迁移到‘二级’低压膨胀带中,后者位于一些剪切带的连结处和其它出现扭曲带和空隙的构造部位。这些地方的低压和低化学势促使发生第二次反应,于是便沉淀下石英、碳酸盐以及含金和含银的黄铁矿和毒砂,形成石英-硫化物透视镜体及其附近的蚀变晕”。G.N. Phillips(1986)指出：“卡尔古利金矿的产出位置是受韧性剪切带控制的,而且后来又受到这些剪切带再活动的影响”。H.H. Красников(1987)指出：“由太古代形成物构成的区域性多旋回的发育,决定着独特的成矿专属性的形成,金-铁矿区就是一个具体例子。在许多情况下,金直接与铁建造伴生在一起(见本文集《金-铁建造蚀变岩的岩石学特征》一文)。富铁岩石作为金矿的容矿岩在太古代绿岩带中是常见的,其中具有巨大经济意义的条带状铁建造金矿床类型是众所周知的。此外,象特大型的卡尔古利金矿床的形成是与流体通道的广泛发育和大量的富金流体进入富铁容矿岩(“金哩粒玄岩”)有关的。铁在金矿床形成过程中的作用是,它与含金流体反应形成铁的硫化物,从而通过金-硫络合物的不稳定性使金发生沉淀(G. N. Phillips, 1986, 见本文集)。

M. Bonnemaison(1986)最近通过对百余条含金石英脉的深入研究后,对含金石英脉的形成提出了一种崭新的见解。他认为,含金石英脉是由于早期不含矿的石英脉在剪切作用下被破碎、研磨,而发生金的浸染和矿化而形成的。矿石的形成与脉岩模式截然不同,其中的脉石并非由充填作用形成的,而是取决于破碎、研磨作用。他把这类矿床作为广义含金剪切带的一种特殊类型,即剪切作用在富硅岩石中造成含硅质凝胶的石英糜棱岩,其中硅质凝胶结晶成微晶砂糖状石英集合体,而成为金的富集场所(见本文集《含金石英脉:含金剪切带的一种特殊类型》一文)。

G. N. Phillips(1986)指出：“卡尔古利地区大多数金矿床的形成,其地质作用是与其它一些太古代金矿床极其相似的,只是其规模巨大而已。该地区的金矿床之所以具有巨大的规模,根本的原因在于,该区发育有非常良好的流体通道系统(主要表现在有

为数众多的韧性剪切带和断层带)和围岩(“金哩粒玄岩”)有利的化学性质。”由此可见,一个大型金矿床的形成乃是由下列三个主要因素共同结合在一起的产物。这三个因素是:(1)具有一定规模的富金源岩;(2)一种具有化学活性的流体,这种流体既可能是火山热液、变质热液、地下热卤水、海底热泉,也可能是岩浆热液,这种流体把源岩中的金活化、萃取、迁移和富集;(3)具有广泛发育的流体通道和能提供矿质沉淀场所的一些合适的构造空间。本文集中的大部分文章其所述内容大多是围绕上述几方面因素的。我们相信这些文章对我国的找金工作者会有一定启发作用的。

# 澳大利亚卡尔古利“金哩”金矿区

## 地质概况和蚀变作用

G. N. Phillips

### 摘 要

特大型的卡尔古利(Kalgoorlie)金矿床金储量达1200吨,其周围有一条宽阔的(大于3km)围岩蚀变带,这条围岩蚀变主要是普遍的碳酸盐化、绿泥石化及局部的强烈黄铁矿化和白云母化,与此同时都有金的矿化。碳酸盐蚀变带被认为是后生的,因为碳酸盐-绿泥石集合体叠加于区域变质结构上。蚀变带边界的几何形态是受区域变质作用时期形成的韧性剪切带控制的,以及所有蚀变带的地球化学特点表明各种蚀变矿物组合是与一种流体有关的。在卡尔古利地区未见区域变质前有强烈碳酸盐化的证据。

卡尔古利金矿区位于Yilgarn地块富含金的东金矿省内,在一个含有若干个大型金矿床的狭长地带(裂谷带)中,区域变质作用形成了上部绿片岩相组合,但仍保留着原始岩石的结构。在卡尔古利,金的最重要的容矿岩是“金哩粒玄岩(Golden Mile Dolerite)”(产金量占80%),是侵入于下部的镁铁质超镁铁质岩(包括第二种最重要的金的容矿岩——Paringa玄武岩)与上覆的长英质岩、浅变质沉积岩之间的一种分异作用产出的拉斑玄武质岩床。

卡尔古利向斜是“金哩”主要产金区内的一个主要地质构造。在这一浅沉积变质岩褶皱附近,“金哩粒玄岩”和Paringa玄武岩是大量韧性剪切带的产出场所,这些剪切带是与卡尔古利向斜同时形成的。这些剪切带以及在这些剪切带之间的较小剪切带曾为整个“金哩”地区提供了流体通道,是最有工业价值的金矿化的地方。

根据Fe矿物的产出情况,在“金哩粒玄岩”中绘制出了三种蚀变带(即绿泥石、碳酸盐和黄铁矿蚀变带)。还有阳起石带(代表未蚀变的区域变质产出的镁铁质组合)在整个“金哩”地区内已被转变为绿泥石蚀变带。碳酸盐蚀变带(褐色的粒玄岩)穿过“金哩”地区的主要矿化部分延伸达2km,在Lake View山的整个深度范围内都有这一蚀变带的分布。绿泥石蚀变带与碳酸盐蚀变带之间的界线在部分地区是分明的,并且是受韧性剪切带控制的,但通常是一种地层界线,且优先发育于粒玄岩的较富铁的地带。含有所有具工业价值金矿区的黄铁矿蚀变带也是强烈发育有白云母蚀变的场所,黄铁矿蚀变带在韧性剪切带中是发育得最强烈和最为连续的。

绿泥石蚀变带(绿泥石+方解石+铁白云石)是由阳起石带组合经微弱碳酸盐化而形成的,碳酸盐蚀变带(铁白云石+菱铁矿)是这种碳酸盐化较为局部的表现。即使在广泛的碳酸盐化蚀变之后,一些主要元素的丰度没有多大变化,增加的组分主要限于CO<sub>2</sub>、S、K和Rb。黄铁矿蚀变带(即金矿脉)含有铁白云石、白云母、石英、钠长石、黄铁矿和少量含菱铁矿的集合体,这一蚀变带显示出硫的明显增加,这三种蚀变带不仅反映出蚀变作用的不同强度,而且也反映出原岩Fe/Mg比值对蚀变作用的强烈影响,这一比值在很大程度上决定着绿泥石(低的Fe/Mg比值是有利的)的稳定性以及碳酸盐蚀变带(高的Fe/Mg的比值是有利的)的分布。在剪切带内部的渐进变形作用对已有的矿化作用发生了改造。

卡尔古利的成矿情况是与这样一个模式相一致的，这个模式是含金变质流体与富铁原岩的相互作用而形成金矿的变质交代。发生在卡尔古利地区的巨大的成矿作用是与该地区发育有良好的通过韧性剪切带和晚期断层带的流体通道以及原岩特别是“金哩粒玄岩”的有利的化学性质有关的。碳酸盐化（绿泥石和碳酸盐带）的较大宽度反映出，叠加的蚀变带发育在紧密相间的流体通道周围。与卡尔古利地区大多数金矿形成有关的那些作用是与其它一些太古代金矿床极其相似的，只是其具有较大的规模而已。

## 前 言

尽管几乎所有太古代绿岩带以富含金矿床为特征，但是大部分的金却只产在少数大矿床中。在西澳大利亚的Yilgarn地块内产有2000多个金矿床，其中的卡尔古利矿区的产金量占50%（R. Woodall, 1979）；最大的十个金矿床金产量占西澳的70%以上

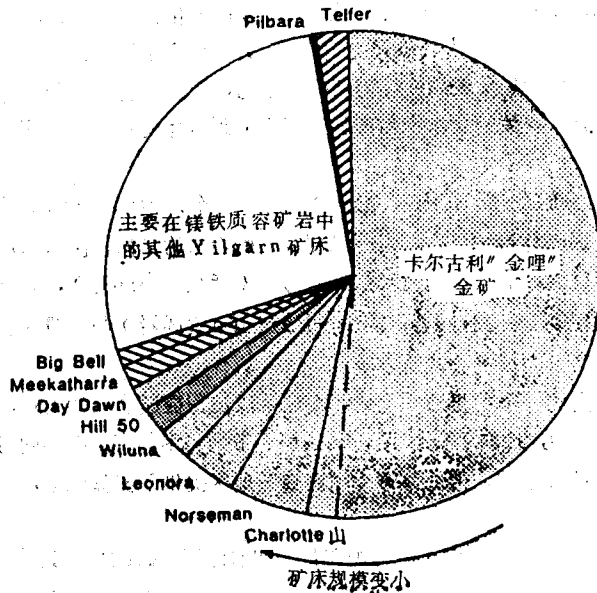


图1 西澳大利亚少数几个巨大矿床的金产量(据 Woodall, 1979)，卡尔古利(“金哩”和 Charlotte 山)、Norseman、Leonora、Wiluna和Day Dawn等矿床都主要产在镁铁质容矿岩中

(图1)。为了突出金分布的这种极不均匀的情况，并确定是否有特殊的成矿作用适用于较大的矿床，作者根据每个矿床产金的吨数作了细分(图2)。利用这一细分法，卡尔古利(已探明金储量为1200吨)和加拿大的Timmins矿区(已探明金1700吨)是太古代绿岩带中仅有的特大型金矿区。而在加拿大还有几个巨大型金矿床(即Kirkland lake, Red Lake, Val d'Or, Larder Lake, Malartic, Geraldton等矿床)。在Yilgarn地块，卡尔古利矿床比第二个最大的Norseman矿床大一个量级。还不能肯定，一些大型至特大型矿床是否与那些大量的小型矿床在相同的作用下形成的。特大型矿床也许是为大型矿床所特有的成矿作用的结果，或者是大多数的绿岩带金矿是由通常的一些成矿作用产生的，只是其规模不同而已。

在许多太古代金矿床周围都存在有明显的围岩蚀变晕，包括在围岩中有碳酸盐、硫化物和云母的形成。有某种证据表明，一些大型至特大型矿床在空间上是与面积很大的碳酸盐蚀变有关的，而且把这种共生关系作为金矿床的一项找矿标志。所指出的这种

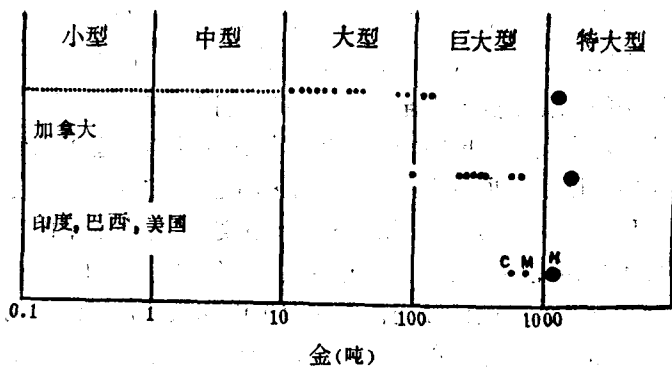
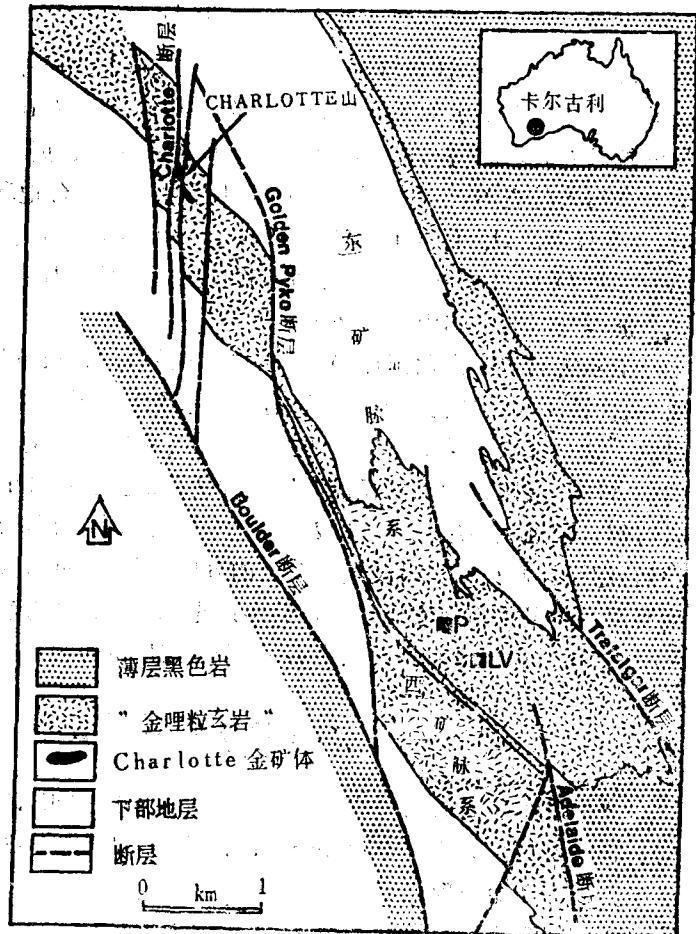


图2 澳大利亚太古代金矿床按产量细分(顶部的一排点子), 图中表示出了与所有其它太古代矿床相比, 卡尔古利矿床(最大的点子)规模的大致量级。图中还列出了加拿大、印度(Champion—C)、巴西(Morro Velho—M)和美国(Homestake—H)太古代的一些巨大型和特大型矿床

碳酸盐化作用与金沉淀的确切关系还未作系统的研究, 而且也不清楚围绕大型至特大型矿床的蚀变作用与围绕小规模矿床的蚀变作用在形式上或时间上的显著差别。两个突出的问题是发生碳酸盐化作用的时间和那些在空间上与大型至特大型金矿床相伴生的蚀变带的精确的几何形态。关于碳酸盐化的时间问题有两种可能性: 碳酸盐化蚀变作用早于金矿化, 并对岩石物质事先发生改造作用; 或者广泛的碳酸盐化作用作为金矿化的一个组成部分(G.N. Phillips和D. I. Groves, 1983, 1984)。有一些作者支持前一种可

图3 卡尔古利矿区地质图, 图中表明了在整个卡尔古利矿区范围内金的主要容矿岩(“金哩粒玄岩”)和断裂特征。在整个“金哩”区域内(即东部脉系和西部脉系)韧性剪切带普遍发育, 但为了明显起见, 它们的形状有所改动, 表示出了一些斜断层。Charlotte山是目前正在开采的一个石英网脉型金矿。蚀变作用的研究主要集中在Lake View (LV)和Perseverance (P)矿山的周围地区进行, 这两个矿山位于东部脉系的南端



能性(如G. D. Bartram和G. J. H. McCall, 1971; J. A. Fyon和J. H. Crockett, 1980; W. O. Karvinen, 1980; A. J. Andrews和H. Wallace, 1983), 尽管还没有这样一种模式表明, 早期碳酸盐化蚀变能在金的沉淀方面发挥作用。

本文的研究对于围绕特大型的卡尔古利金矿床的蚀变作用的特征和几何形态提供了大量资料, 并指出了蚀变作用的时间界限。这项研究只局限于金的主要容矿岩(“金哩粒玄岩”)和东部脉系(图3)。Lake View矿山(至地下850m深处)各个水平的蚀变图和1200个地下钻孔资料是完成本项研究的基础。在所选择的三个水平(160m、340m和530m深度)上延续作图至其它矿区以验证蚀变作用在沿走向和横切走向上的连续性。虽然详细研究的区域未超越出金矿化影响的范围, 但结合到更靠近南部地区已发表的资料, 这些研究为阐明蚀变带的几何形态及其发生的时间是足够的。对西部脉系(图3)目前进行的工作还不太多, 但是从已有的调查工作表明, 在此所采用的东部脉系模式, 在一种作过简化的形式上, 是可以适用于西部脉系的。

在“金哩粒玄岩”内部容矿岩石显著的蚀变作用说明, 编制一张对粒玄岩作细分的详细的地下地质图的必要的。对粒玄岩的细分是基于G. A. Travis等(1971)提出的图式进行的。

## 区域地质

太古代Yilgarn地块可分为四个区域, 其中东部金矿区含有几个大型至特大型的主要金矿床, 它们产于延伸长度达600km的Norseman-Wiluna带内。该带的特征是产有大量的拉斑玄武岩和科马提岩, 在上部层位还常含有长英质火山岩和沉积岩。推测这条带为一条活动的裂谷, 可能是比两侧水更深更稳定的台地环境(N. J. Archibald et al., 1978; D. I. Groves, 1982; Groves et al., 1984; Groves和W. D. Batt, 1984)。卡尔古利周围地区曾经历过上部绿片岩相变质作用, 但是, “变质”这个前缀在岩石名称中被省略了。

卡尔古利位于南北延伸100km宽5km抬升的狭长条带的中心, 这个条带是由镁铁质-超镁铁质火山岩构成的, 赋存有几个重要的金矿床(图4)。较年青的太古代沉积岩位于这一狭长条带的东、西两侧。卡尔古利地区也是一个受到强烈变形的区域(韧性剪切带), 该区位于双翼倾没的区域背斜顶部。在广阔的区域内地层变质的阳起石-钠长石组合被蚀变为绿泥石-碳酸盐岩。卡尔古利金矿区的地层由包括一个1.5km厚的镁铁质-超镁铁质火山岩带及覆盖其上的3km厚的长英质火山岩和沉积岩构成。在这一地层层序中侵入有粒玄岩岩床, 其中最重要的是“金哩粒玄岩”岩床, 产于从超镁铁质-镁铁质火山岩至长英质火山岩-沉积岩层序的过渡部位。

## 金的容矿岩石学

“金哩”矿区最重要的岩石类型是位于超镁铁质-镁铁质层序顶部的Paringa玄武岩、在上覆的长英质火山岩-沉积岩层序底部的薄层黑色岩以及侵位于上述两种岩石接触带附近的“金哩粒玄岩”。

### Paringa玄武岩

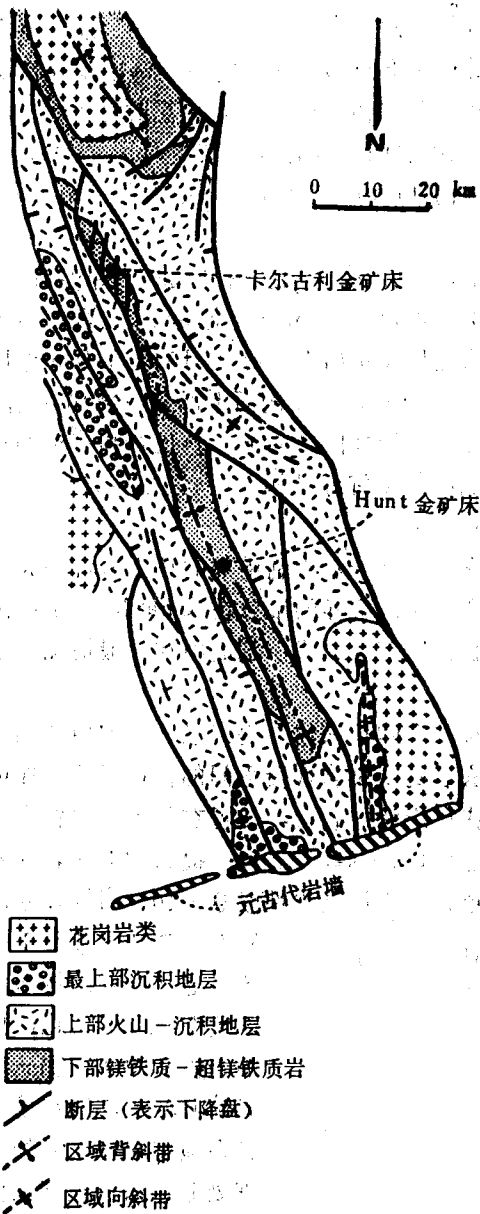


图4 Norseman-Wiluna带区域地质图。图中表示出了包括卡尔古利和Kambalda (即Hunt) 金矿床的金“走廊”(即上升的下部层序)

“金哩粒玄武岩”

Paringa玄武岩一般覆盖在 Williams-town “粒玄武岩”之上，是一套由高镁玄武岩向上变为拉斑玄武岩的枕状岩流。典型的岩石是斜长石斑晶状的，是板状钠长石、石英和针状阳起石的细-中粒(0.2—1.0mm)集合体。遍及绝大部分 Paringa玄武岩都有金矿化、碳酸盐化和角砾岩化，但它们在玄武岩层的顶部附近更为发育。

薄层黑色岩

薄层黑色岩产于卡尔古利地层层序的上部，见于主要的 Boulder断层的西侧和卡尔古利金矿区的东部，以及象一个狭长的楔子那样穿过“金哩”矿区的中部(图3)。人们不同地称为“Boulder岩脉”(J. K. Gustafson和F. S. Miller, 1937; A. A. Wells, 1964)或“卡尔古利向斜”(Woodall, 1965; Travis et al., 1971)的这个楔子，将“金哩”矿区的东部脉系与西部脉系分隔开，但是最好把它描述为一个在东翼上具有主要构造错动的变窄的向斜。有众多的斑岩岩脉侵入于卡尔古利向斜的薄层黑色岩中。

在卡尔古利矿区内的薄层黑色岩主要为含有硫化物和碳质的黑色页岩、杂砂岩和薄层燧石。在较高的层位富含页岩、粉砂岩、长英质角砾岩和凝灰岩。交错层理、递变层理和冲刷痕提供了判别上下层面的证据。邻近基底的“金哩粒玄武岩”或上覆的粒玄武岩，在上部Paringa玄武岩中，黑色页岩呈0.5—3m厚的较薄的层状岩性段产出。这些黑色页岩具有微弱的至中等程度的平行层理结构，这种平行层理结构是由层状的硅酸盐间隔开的，这种结构又通常叠加有连续的和(或)被间隔开的结构。这些黑色页岩含有钠长石、石英、白云母、游离碳和绿泥石，还有黄铁矿和少量黄铜矿、磁黄铁矿、方铅矿和闪锌矿(L. Y. Golding, 1978)。



“金哩粒玄岩”是一种由分异作用产生的拉斑玄武岩岩床，它在“金哩”地区厚度超过400m。粒玄岩的先期矿化、形成大块的岩石和不同部位的矿物组成等因素在影响韧性剪切带的分布、围岩蚀变的宽度、蚀变矿物以及矿物形式等方面起着重要作用，因此，对这些因素进行了较详细的研究。粒玄岩呈南北向连续延伸，其走向长度达20km以上，但至今作过主要研究的是“金哩”矿区以南10km的一些钻孔岩心(Travis et al., 1971)。

在卡尔古利，粒玄岩曾经受过区域变质作用，由此产生了钠长石-阳起石-绿泥石-石英组合，这表明达到了上部绿片岩相变质级(Bartram, 1969)；但是，在岩石中仍广泛地保存有岩浆变余结构。粒玄岩的四种结构变种反映出在结晶作用和岩浆分异作用期间硅酸盐相相互关系方面的变化。细粒的边缘相粒玄岩代表剖面上部或下部10m处的快速冷却部分。岩床的靠下部分是辉石斑晶状的，从岩性段2向上，斜长石和石英的百分比增加。在岩床的靠上部分主要是斜长石斑晶状的(辉绿结构)，只是在50—100m厚的断面内是花斑岩状的，并富含石英和长石(表1)。

根据岩石的结构以及特别是氧化物类型和形态，将卡尔古利南部的粒玄岩细分为10个填图岩性段(Travis et al., 1971)。对粒玄岩作这样的细分在Charlotte山矿区和“金哩”矿区是正确的。这十个岩性段在岩心、地下及(或)剖面中在一般情况下是能辨认出来的。

作为本文蚀变作用研究的一种依据，我们对“金哩粒玄岩”提出了一种实用的细分方案，并用于“金哩”地区的地下填图。在粒玄岩的十种岩性段之间的构造界线和在可见到的矿山不同水平之间的间隔(约30m)可获得广泛的确认，使得在作图时将粒玄岩的最小岩性段的厚度要大于30m。我们采用的是由Travis等(1971)提出的粒玄岩的岩性段细分法，在整个“金哩”矿区有四个填图单位，它们是岩性段9—10、岩性段8、

表1 “金哩粒玄岩”的岩石学分类(Travis et al; 1971)

结构	岩性段	厚度	本文
上覆薄层黑色岩系			
细粒边缘粒玄岩	10		
细粒、中粒、粗粒斜长石斑状的	9	大于200m	9
富含石英的花斑岩	8	60m	8
细粒斜长石斑状的	7	70m	7
中粒斜长石斑状的	6		
	5		
中粒辉石斑状的	4	60m	1-6
	3		
	2		
细粒边缘岩玄岩	1		
下伏Paringa玄武岩			

岩性段7和岩性段1—6。通常存在的构造不连续性和碳酸盐化，再加上脏乱的巷壁和一些老矿井巷道，这都妨碍着在地下对粒玄岩的详细划分。除了在韧性剪切带产有一至数十米厚的支脉外，在2至20m的厚度范围内粒玄岩各岩性段之间的界线是渐变的。

“金哩粒玄岩”在成分上从近于超镁铁质的基性岩至中性成分的花斑岩而变化的(Tr-