

矿 产 专 辑

(十)

国外金矿地质

57121
34
10

地 质 出 版 社

一九八一年十一月九日

56.57121
0034
10

矿产专辑

(十)

国外金矿地质

A.G. Mueller L.B. Harris A. Lungan 等著

唐祚均 等译

刘乃隆 等校

地质出版社

内 容 提 要

本专辑译文选自《经济地质》、《矿床地质评论》及《矿床》杂志。内容主要论述了美国、加拿大、澳大利亚、秘鲁一些典型金矿床在构造、岩石、矿物学、地球化学等方面的特征。矿床类型涉及分别以绿岩、千糜岩、沉积岩为主岩的金矿化，富金的块状硫化物矿床以及中温热液脉矿床等。专辑对我国的金矿勘查及研究工作具有重要的参考价值。

矿 产 专 辑

(十)

国外金矿地质

责任编辑 叶 丹

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: 6.125 字数: 143000
1991年4月北京第一版·1991年4月北京第一次印刷
印数: 1—770册 国内定价: 4.10元
ISBN 7-116-00808-X/P·690

目 录

绿岩容矿型金矿化的横推剪切构造控制: 澳大利亚西部卡尔古利 (Kalgo- orlie) 矿区的一个新解释.....	A. G. Mueller, L. B. Harris, A. Lungan (1)
一个紧密褶皱的、富金的块状硫化物矿床: 塔斯马尼亚Que River矿床	Ross R. Large, Peter J. McGoldrick, Ron F. Berry和Chris H. Young (25)
澳大利亚塔斯马尼亚州Rosebery北区矿体的金银分布、矿物和地球化学特征	D. L. Huston和R. R. Large (40)
南朝鲜富金中温热液脉矿床 Jungwon 金矿区的地球化学研究	K. L. Shelton, Chil-Sup So和Jin-Su Chang (52)
秘鲁中部亚乌里科查地区Purísima Concepción以沉积岩为主岩的浸染状贵 金属矿化	A. A. Alvarez和D. C. Noble (67)
美国南卡罗来纳州Haile矿千糜岩中的金矿化作用	M. J. Tomkinson (77)
加拿大魁北克省Chibougamau矿区金矿成矿模式与岩石、构造演化的关系	J. Guha, B. Dubé, P. Pilote, E. H. Chown, G. Archambault和G. Bouchard (87)

绿岩容矿型金矿化的横推剪切构造 控制: 澳大利亚西部卡尔古利 (Kalgoorlie) 矿区的一个新解释

A.G. Mueller, L.B. Harris, A. Lungan

前 言

卡尔古利 (Kalgoorlie) 地区有两个采矿中心, Charlotte山和 Golden Mile区, 至1983年已生产金1200 t。它位于澳大利亚西部Yilgarn克拉通的Norseman-Wiluna绿岩带中, 是世界上最大的太古代金矿床之一 (Gee 等人, 1981)。区内复杂的矿化构造型式一直是许多争论的焦点, 现将前人构造著作的简短概括引述如下。

Feldtmann (1916) 提交了Charlotte山地区的详细露头地质和矿脉构造图。Stillwell (1929) 第一次编制了大比例尺的Golden Mile矿脉系统的精确平面图和剖面图, 他同意前人认为矿脉是矿化的剪切带的看法。尽管Gustafson和Miller (1937) 意识到在卡尔古利 (Kalgoorlie) 存在NW走向的区域褶皱, 但他们陈述由于在卡尔古利向斜的两侧上矿脉型式不存在镜象对称, 因而排除了主剪切型式是在褶皱时发育的可能性。Campbell (1953) 认为在地区中部有NNW-NW走向的大断层, 特别是Golden Mile断层的存在, 并且矿脉的形成与由右旋斜向滑动在这些断层上产生的剪应力有关。Woodall (1965) 区别出了两种矿化构造类型: 剪切带中的Golden Mile型金-碲化物矿脉, 和Charlotte山型金-黄铁矿矿体, 这些矿体与石英脉和网脉有关。他证明了在区内走向SN的斜向断层分布广泛, 并且Golden Mile矿脉和Charlotte山石英脉的形成都与在这些断层上发生的右旋运动有关。Travis等人 (1971) 发表了由西部矿山公司 (Western Mining Corporation) 地质工作填制的区域平面图和横剖面图, 但未作构造分析。Fotios (1983), Phillips (1986) 以及Boulter和Phillips (1986) 发表了Golden Mile的东部矿脉系统的显微构造研究, 并且提出矿化剪切带是由与区域变质作用同时的区域褶皱作用的结果形成的看法。

本文概括了已有的构造资料, 并且提出了一种新的解释。它与卡尔古利地区的总的方位、叶理-线理的相互关系、运动方向和矿化构造的相对时间是一致的。我们可以把卡尔古利区的绿岩层序的变形分为一个早期区域褶皱幕 (D1) 和两个随后发生的左旋 (D2) 和右旋 (D3) 剪切幕。金矿化位于D2和D3构造中, 它是区域性的补充横推剪切带。相对的时间关系表明矿化是在区域变质作用和钙碱性斑岩岩墙侵入之后, 但与煌斑岩岩墙的侵入是同时的。

地 质 概 况

Norseman-Wiluna绿岩带大约长800km、宽200km,其特征为具NNW走向的横推剪切带,其中有些带延长超过500km (Groves 和 Gee, 1980; Harris, 1987)。卡尔古利地区绿岩带的地层层序列于表1。它包括橄榄岩质的科马提岩的底部单元 (Hannans 湖蛇纹岩),上覆枕状玄武岩科马提岩 (Devon Consols 玄武岩)。后者向上逐渐过渡为拉斑玄武岩 (Paringa 玄武岩)。这些火山岩又为黑色页岩和杂砂岩 (Black Flag 层) 所覆盖。一层厚的、分异的拉斑玄武岩质岩床 (极好的Golden Mile粒玄武岩)沿 Paringa玄武岩-Black Flag层接触带侵入。在卡尔古利地区 Kurrawang 层的复碎屑砾岩和长石砂岩没有出露,但却覆盖在卡尔古利之西 15km 的 Black Flag 层上 (Glikson, 1971b)。Black Flag和 Kurrawang 层的沉积学特征 (表1) 表明这些单元代表造山旋回的复理石和磨拉石阶段。这些喷发的火山岩单元以及杂砂岩和砾岩都是区域范围的 (Gemuts和 Theron, 1975), 并且在细节上与卡尔古利以南50km的 Kambalda 的地层有关 (Gresham 和 Loftus-Hills, 1981)。Kambalda地方的Devon Consols玄武岩中的锆石捕虏晶的U-Pb 年龄为 2693 ± 50 Ma (Compston等人, 1986)。

表 1 卡尔古利地区Norseman-Wiluna绿岩带的地层层序①

地 层 单 位	估算厚度(m)	岩 性 描 述	变质作用
Widgiemooltha岩墙	0.5—3200	拉斑玄武岩质的苏长岩和粒玄武岩岩墙	未变质 受到绿岩相区域变质作用的影响
卡尔古利岩墙	0.5—100	钙碱性斑岩岩墙的岩套 (二长闪长岩、花岗闪长岩、英闪岩) 和伴生的煌斑岩岩墙	
Kurrawang层	2000	复碎屑砾岩夹有并逐渐向上过渡为具交错层的石英质长石砂岩。有斑岩、褶皱的石英磁铁矿BIF、玄武岩、花岗岩和片麻岩的砾石和漂砾	
Black Flag层	3000	硫化物黑色页岩、燧石和杂砂岩, 夹少量钾质流纹岩的凝灰岩和砾岩	
Golden Mile 粒玄武岩	达750	分异的拉斑玄武岩岩床, 细分为十个地层单元	
Paringa玄武岩	300—900	拉斑玄武岩的和少量含镍的枕状玄武岩	
Williamstown 粒玄武岩	达300	成层的岩床和同源的科马提岩质的玄武岩	
Kapai 板岩	1.5—3	硫化物黑色页岩和燧石的标志层	
Devon Consols玄武岩	60—150	具明显球粒结构的枕状科马提岩质的玄武岩	
Hannans湖蛇纹岩	300—900	橄榄岩质的科马提岩	

① Beirne(1968), Glikson (1971b), Travis等人 (1971), Travis和Woodall (1975), Gemuts 和Theron (1975)。

绿岩层序, 包括 Kurrawang 层, 发生了褶皱和变质。卡尔古利的区域变质程度低, 并且在镁铁质岩石中前进变质矿物组合经Winkler (1976) 测定是典型的钠长石-阳起石-绿泥石带。在镁铁质岩石中缺少绿纤石和普通角闪石而含钠长石 (An_{00-05}) 与斜黝帘石 (Clark, 1980), 表明高峰期变质温度在350℃之上, 500℃之下 (Winkler, 1976)。

在卡尔古利附近的深成侵入体的露头包括在它西边20km处的Mungari石英二长岩和其南50km的Kambalda花岗闪长岩。Mungari石英二长岩周围有一明显的中级接触变质晕(Glikson, 1971a)。Kambalda花岗闪长岩的结晶年龄为 $2660 \pm 10\text{Ma}$ (U-Pb 锆石, Compston等人, 1984)。许多作者认为, 侵入于卡尔古利绿岩层序中的斑岩岩墙是下伏深成岩体的上部浅成体(例如Gustafson和Miller, 1937)。一些学者主张这些岩墙与金矿化有成因关系(Gustafson和Miller, 1937; Travis等人, 1971), 但它们为另一些学者所摒弃(Phillips, 1986), 这在下面涉及构造条件时将予讨论。

一个大约4km长、1km宽的绿泥石化外晕(Phillips, 1986), 分布于整个Golden Mile地区, 较少程度的绿泥石化沿Golden Mile断层走向延伸至少16km以上(Travis等人, 1971)。在镁铁质岩石中, 热液的绿泥石-方解石-钠长石-石英组合交代了前进变质矿物组合(Bartram, 1969)。交代作用是有选择性的, 并且通常保存着变质的和残余火成的结构。在矿区的绿泥石带中, 有一些强烈的碳酸盐-绢云母化带, 它们宽60—100m, 长大于1km。这些带表明受岩性控制, 并且大致与区域分布的花斑状粒玄岩单元8一致(Phillips, 1986), 或沿着Paringa玄武岩和Golden Mile粒玄岩的接触带分布(Travis等人, 1971)。这种区域蚀变是遍布的, 但保存着一些岩石构造, 如玄武岩中枕状构造。主要的矿物变化是铁白云石和绢云母交代绿泥石(漂白)。

卡尔古利之南, 主要的NNW至NW走向的区域剪切带都为Widgiemooltha岩套中ENE走向的未变质的苏长岩和粒玄岩岩墙所切割(Gemuts和Theron, 1975)。其中一些岩墙的侵位被认为是受晚期正断层所控制(Gresham和Loftus-Hills, 1981; Harris, 1987)。虽然在卡尔古利地区苏长岩的产状还没有报导, 但走向 $N80^{\circ}E$ 的小断距正断层是常见的(Wells, 1964)。Widgiemooltha岩墙组的Rb-Sr法全岩年龄测定大约为2400Ma(Gresham和Loftus-Hills, 1981)。对在主剪切带上的横推运动来说这个年龄是最小的, 因此对卡尔古利地区的金矿化来说也是最小年龄。

区域褶皱

在传统上, 卡尔古利有两个区域性的NW走向的褶皱: 卡尔古利向斜和卡尔古利背斜。在矿区西北和东南端, 背斜褶皱轴在相反的方向上成半球形隆起和倾伏(图1)。两个次级褶皱, Brown-hill向斜和Paringa背斜, 都位于主背斜的西南翼。详细研究过的穿越主矿区的横剖面(图1和7)表明区域褶皱是直立的和不对称的, 其东北翼稍微倒转。因为卡尔古利背斜和向斜两者的翼部都为大的、陡倾斜的剪切带所位移, 故褶皱的早期幕(D1)早于横推剪切带的发育。这种相对的时间关系只适合于卡尔古利地区。现在, 在Norseman-Wiluna带的区域填图还没足够详细到能确定在盆地范围的尺度上是否有一幕褶皱发生于左旋扭转(D2)之前, 或区域褶皱是否与左旋剪切事件的早期阶段有关。

对位于卡尔古利向斜东翼上矿区中的显微结构的研究表明了Golden Mile粒玄岩中钠长石板晶和间板晶的绿泥石都呈线状排列, 并形成方位为 $N35^{\circ}W/70^{\circ}SW$ 的弱叶理(Ion, 1982; Fotios, 1983)。对区域性的第一世代褶皱来说, 这是最老的(D1)和轴平面的结构。根据Phillips(1986)的研究, 绿泥石集合体都呈线性阳起石晶体假象, 但在集合体内各个绿泥石颗粒的方位却是随机的。这些关系表明区域变质作用和F1褶皱是同时的事件。

卡尔古利地区的区域剪切带

作为卡尔古利矿区边界的主要剪切带都在图1中用粗黑线表示, 现按从西南至东北的顺序叙述如下。

Boulder-Lefroy断层

Boulder-Lefroy断层沿走向从卡尔古利以北至Kambalda之南延伸在100km以上(Gemuts和Theron, 1975)。这个剪切带的总体走向是 $N20^{\circ}W$ 。但经常有走向的偏离和分支, 例如卡尔古利以南, Mt. Hunt断层从主带中分了出来(图1)。根据Perriam (1985)的研究, 在Boulder-Lefroy断层上左旋走向滑动运动表现为早期F1褶皱被再褶皱成大的“钩形构造”。这些F2褶皱发生在卡尔古利之南33km的Stony山和卡尔古利地区的西北端(图1)。Kambalda之南两个次级断层走向的明显改变证实了位移的左旋方向, 在该处它们接近Boulder-Lefroy主断层并被牵引至其中(Mueller和Harris, 1987)。近来, 在卡尔古利向斜以南35km的New Celebration露天采场中矿山开采揭露了Boulder-Lefroy断层。强烈的剪切带宽达100m, 向西陡倾, 并由包围着长英质斑岩岩墙的石香肠和透镜体的绿泥石片岩组成(Norris, 1987)。保留着显示左旋韧性剪切运动标志的片岩扁豆体为主剪切组构所包裹, 这种组构具有右旋方向运动的迹像。出露在露天采场中的一个大班岩岩墙显示沿着Riedel剪切带分布有叶片状石英脉以及阶梯状张性裂隙, 这两者都显示出一个左旋方向的运动。而这些构造又为晚期右旋运动的阶梯状脉组所切割。在右旋剪切面上矿物拉伸线理向SSE倾斜, 倾角约 20° , 并显示出在右旋运动中有一个小的局部上冲分量。

Golden Mile断层

Golden Mile断层向南西倾斜, 倾角 $80-85^{\circ}$, 其走向大致平行于卡尔古利向斜的F1褶皱轴, 并沿标志向斜核部的Black Flag层的东部接触带延伸。从Golden Mile至Mt. Charlotte之北的断层崖很好的显示了Golden Mile断层的位置。它被晚期右旋剪切带(D3)所分割并在区域的西北端为一个大的F2褶皱所褶皱(图1)。运动方向推断为左旋斜滑, 因为这个剪切带使卡尔古利向斜的东翼相对于西翼向上位移达2km以上(图1)。平行于Golden Mile断层的矿化剪切带在三个不同的地方在左旋方向偏离了陡倾斜的斑岩岩墙(讨论于后)。Golden Mile断层本身为Golden Mile粒玄岩中宽1m的碳酸盐-绢云母片岩带(Fotios, 1983), 和为Devon Consols玄武岩中宽14m的铬云母-碳酸盐片岩带(Feldtmann, 1916)。

Parkeston断层

Parkeston断层是在由Keats (1986)报道的一个狭窄磁异常的背景上发现的, 其走向 $N40^{\circ}W$, 并成明显的线性构造向卡尔古利西北延伸几十公里。磁异常是连续的, 既不为Boulder-Lefroy断层也不为下面要讨论的右旋剪切带所移位。它可能由含磁铁矿的岩墙引起, 我们认为它是受一个区域性剪切带控制。这种解释与Golden Mile粒玄岩沿卡尔古利背斜北东翼分布不连续是一致的(图1)。Parkeston断层在矿区内没有出露, 并且表示于图1中的左旋方向的运动是推测的。然而, 在Trafalgar断层上地层单位的明显左旋位移(图1中的TRF)和走向上平行于磁异常的剪切带在Golden Mile地区已填绘出来了(Woodall, 1965)。

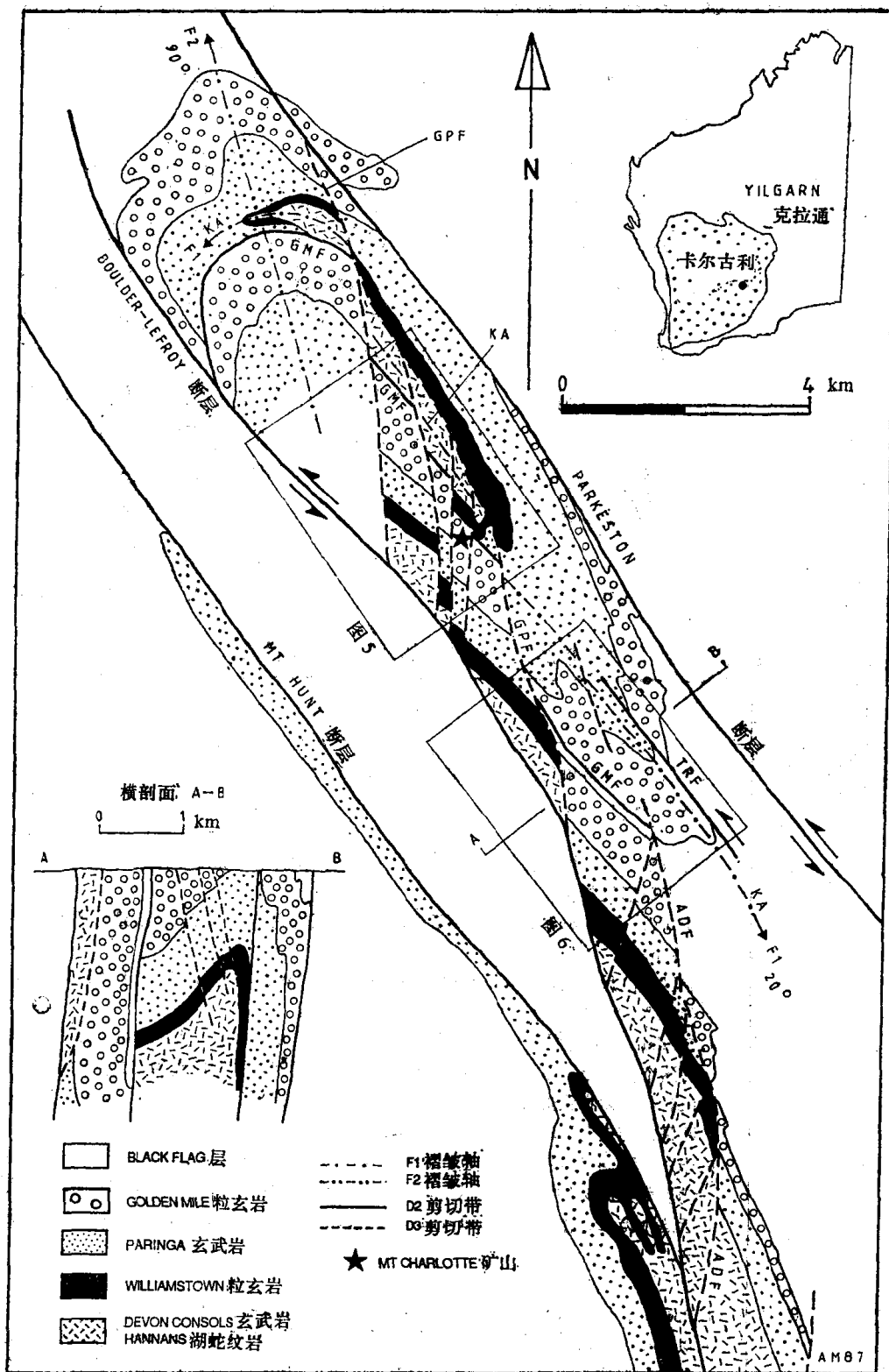


图 1 卡尔古利地区构造平面图。在主剪切边界上运动显示的方位相当于左旋方式剪切变形的早期幕 (D2)。由次级Golden Pike (GPF) 和Adelaide断层(ADF) 控制的晚期右旋剪切带(D3) 的两个显著的马尾丝系统连结着主要的Boulder-Lefroy和Parkeston断层。在地区的西北端卡尔古利背斜 (一个早期区域褶皱D1) 遭受了再褶皱。注意卡尔古利向斜的轴迹与 Golden Mile 断层 (GMF) 的位置是一致的。根据Travis等人 (1971) 修改。图例: Trafalgar断层 (TRF)

在 Boulder-Lefroy 并可能在 Parkeston 断层上的一些剪切带是由右旋幕的斜剪切 (D3) 引起的, 它们都以断线表示于图1中。在区域规模上 Golden Pike 和 Adelaide 断层是两条主要的剪切带。

Golden Pike断层

Golden Pike断层把位于地区东南部的Golden Mile矿区与位于地区西北部的Charlotte山矿区分隔开来 (图1)。这条剪切带一直从Golden Mile的北西延伸至Charlotte山矿区。如图1中所示, 它可能连接着Parkeston和Boulder Lefroy断层。作为这种解释的证据将在本文后面的Charlotte山矿区一节中加以讨论。Golden Pike断层在右旋方向上使卡尔古利向斜西南翼的垂直倾斜地层单位位移了2.7km。这表明运动具强的走向滑动分量。由于顺着这个剪切带的S形露头线所显示在走向和倾斜上的偏离 (60—70°W), Woodall (1965) 推断运动可能具局部倾斜滑动。在Charlotte山以东Golden Pike断层的位置上, Feldtmann (1916) 填绘出一个10—30m宽的“铬云母-碳酸盐-石英岩石”带, 包括连续的铬云母-碳酸盐片岩以及脆性断层相。这个带在好几个矿区都有沿走向长1km以上的良好出露, 例如老矿山Hidden Secret。

Adelaide断层

Adelaide断层尖灭在Golden Mile矿区的东南, 并在走向上大致平行于Golden Pike断

表 2 卡尔古利矿区三个变形幕的区域构造资料的概括①

变 形 幕	主 要 构 造 特 征
区域褶皱(D ₁)	1. 卡尔古利背斜和向斜是直立的褶皱, 其东北翼稍微倒转, 背斜的褶皱轴沿走向延伸长大于12km。
左旋剪切方式(D ₂)	1. 区域褶皱为横推剪切带所位移, 卡尔古利背斜轴在相反的方向上 (地区的NW和SE端) 呈半球形隆起和倾斜。 2. Boulder-Lefroy和Parkeston断层是限定矿区的主要剪切带, 分别延伸超过100km和40km。 3. 在区域的尺度上, Boulder-Lefroy断层 (N20°W) 在走向上不同于 Parkeston 断层 (N40°W), 并且两者可能在地区的北西部汇合。 4. Golden Mile断层是一个次级构造, 并且在地区的NW端并入Boulder-Lefroy断层, 在这个位置上, 区域褶皱以及Golden Mile断层都被褶皱成大的第二世代褶皱 (F2) 5. F2褶皱的阶梯状形态和它的褶皱轴的垂直倾斜表明在Boulder-Lefroy断层上的运动主要是左旋走向滑动。 6. 卡尔古利向斜两翼位移的方向表明在Golden Mile断层上的运动是斜向滑动; 在这个剪切带上断块的侧向运动只限于西北部, 证明Boulder-Lefroy和Parkeston断层汇合于这个方位。在主要剪切边界上的左旋横推运动的晚期阶段, Golden Mile断层褶皱。
右旋剪切方式 (D ₃)	1. Boulder-Lefroy断层的露头显示右旋剪切组构造叠加在左旋剪切组构造上。 2. 以Boulder-Lefroy和Parkeston断层为界的Golden Pike和Adelaide断层显示出垂直倾斜地层单位的明显右旋水平断错, 就Golden Pike断层来说, 其侧移达2.7km; 这说明在后者的剪切带上的运动主要是走向滑动。 3. Golden Pike和Adelaide两条断层都使Golden Mile断层发生了位移。Golden Mile断层在区域左旋剪切运动后期被褶皱, 但在随后的右旋运动中没有大的重新活动。

① 讨论的所有构造的位置都示于图1中。

层(图1)。在Golden Mile之南3km的钻孔中打到了这个剪切带(Travis等人, 1971), 并延伸至主矿区之北, 但右旋位移的距离尚不清楚。

目前, 现有构造资料还不能从区域尺度上来对剪切带模式作详细解释。然而, 可以肯定Golden Mile断层(矿区中大多数矿脉剪切的中心控制构造)是在早期左旋剪切状态(D2)时期形成的, 因为它被Golden Pike断层和其他D3剪切带所位移。根据它的整个几何形态, Golden Pike断层可以解释为是与Boulder-Lefroy和Parkeston断层有关的次级右旋Riedel剪切。上面讨论的区域构造资料都概括于表2中。

横推剪切带中的次级构造的几何形态

在进入详细讨论卡尔古利地区两个主要矿区的矿化构造之前, 我们来大致回顾一下横推剪切系统中次级构造识别的实验结果。

Riedel (1929)、Tchalenko (1968) 和Mandl等人 (1977) 的实验研究表明了在大小的简单剪切运动时期, 均质物质不发育任意方位的剪切不连续, 而只发生与主要剪切边界成一定角度的不连续。这种行为与固体物质的物理性质有关: 库伦破坏准则预示破坏面与运动的总方向成 $\phi/2$ 和 $90^\circ - (\phi/2)$ 倾斜, 此处 ϕ 是抗剪力的峰角(Tchalenko, 1968)。按照Tchalenko (1969) 的看法, 剪切不连续包括一组共轭里德尔剪切(R和R'), 一组共轭冲剪切(P和P'), 和平行于变形带走向的穿透或不穿透的梯级主位移切变(D)。左旋剪切带中最经常碰到的次级构造都示于图2中。剪切构造呈各种规模出现, 从薄片至100公里或更宽的带。区域变形带中断层和剪切带的几何形态与模型规模的几何形态是一致的。Wilcox等人(1973)和Lowell(1985)提供了区域研究的案例。

卡尔古利矿区中矿化构造的解释是根据如下的理论线。

在Boulder-Lefroy断层上的大规模右旋模推剪切(D2)发育良好。位于Boulder-Lefroy、Golden Mile和Parkeston断层之间的Paringa玄武岩和Golden Mile粒玄武岩的褶皱部分, 在左旋剪切幕时期呈均质物质反应和脆性-韧性方式变形。在这两种主岩内, 在理论预示的和实际观察的构造之间是完全一致的(图2和4)。在Golden Mile地区矿脉剪切带的总的几何形态与它们在横推左旋剪切状态中的形成是一致的(图4)。

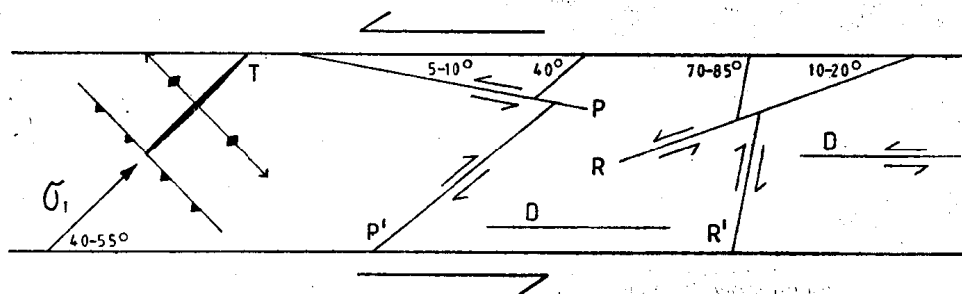


图2 在最初均质物质的脆性-韧性变形期间左旋剪切带中产生的构造特征图。褶皱和逆向剪切带与存在于剪切边界上的主应力成法线角, 而张性脉(T)平行于主应力形成。注意所有要素的几何形态可以参考剪切带边界, 并且相应的右旋图是此图的镜象对称

在右旋剪切幕(D3)时期形成的剪切带碰到了以强烈左旋剪切模式(D2)为特征的明显的非均质介质。我们已把这种情况模式化为与Tchalenko (1968) 提出的模式相似的

粘土模式。在穿过D剪切形成之后粘土模式不允许反向，但在一个完全的左旋里德尔剪切组形成之后就一定反向。然而，实验表明了这些次级剪切的较早的左旋几何形态被良好的保存了，但为右旋里德尔剪切所旋转和水平断错。后者形成于右旋事件晚期。左旋剪切的右旋再活化发生了，但相对于早期的位移来说是少量的。对粘土模式变形的连续阶段都进行了照相和素描。被选择的素描示于图3中。这些实验的结果对主剪切边界的选择是有意义的，因为它对解释区内矿化剪切带是必需的。在区域规模上，Boulder-Lefroy断层形成一个主要剪切边界，而次级D3构造例如Golden Pike断层可能由它定位。然而，在Boulder-Lefroy和Parkeston断层之间的早期D2构造型式在右旋幕运动期间肯定被旋转。因此，在矿区中的矿化D2剪切带必须由Golden Mile断层来定位，它可能会同步旋转。

在下面的两个剖面中，我们将分别讨论在Mt. Charlotte和Golden Mile矿区中的各个

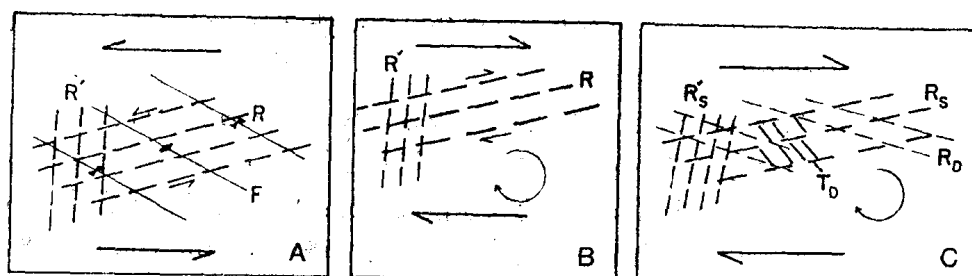


图3 当剪切从左旋到右旋转换方向时，在总的简单剪切作用期间粘土模式中的构造发育图。
(A) 在左旋剪切末端剪切带的几何形态包括雁行褶皱(F)，原生里德尔剪切(R)和次生里德尔剪切(R')。(B) 总体剪切从左旋至右旋的转换导致左旋R剪切的右旋再活动和R与R'剪切两者的旋转。(C) 右旋剪切作用的继续导致在左旋里德尔剪切(R_s)面上的进一步的右旋运动，并伴随着张性构造(T_d)的发育，最后导致交错的右旋里德尔剪切(R_d)的形成

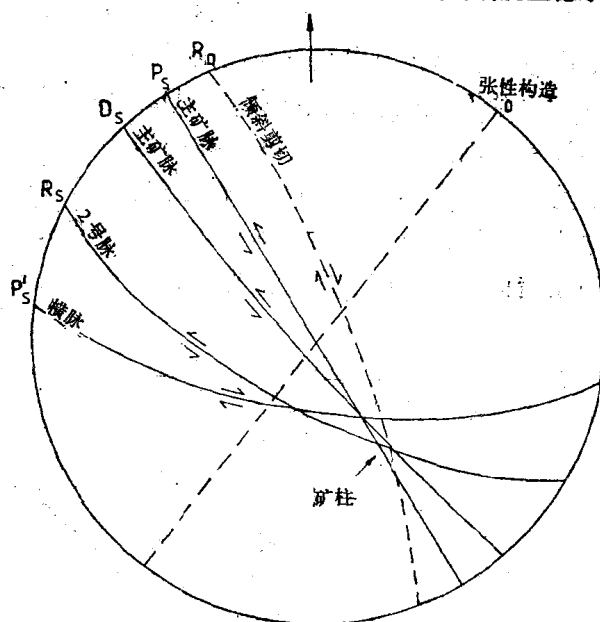


图4 表示Golden Mile中心矿区中矿化剪切带(矿脉)的平均方位的球面投影图。在剪切作用左旋幕(D2)时期产生的剪切带用实线表示，而在右旋幕时期产生的那些以断线表示(D3)。
矿脉的传统名称是根据Finucane (1948)命名的，现在的命名示于基圆的边缘

矿脉剪切带和石英脉网脉状矿体。这些剪切带和矿体的位置示于简化的构造平面图（图5和6）上。在文献上有报导但因资料不足而未被证实的构造都没有删去，而是列入“其它剪切带”标头之下。我们参考了Higgins (1971)、Simpson和Schmid (1983) 与Lister和Snoke (1984) 有关剪切岩石的命名原则，和在下面讨论中应用的运动指示物的研究。

Mt. Charlotte 矿区

在Mt. Charlotte地区的主要矿山包括Hannans North矿山（至1952年的产量为8.5t金）、Mt. Charlotte矿山（至1983年的产量为61t金）和最新开发的Mt. Percy矿山。以下的矿化剪切带是在左旋横推剪切状态（D2）中形成的。

D-剪切（D2）

Hannans North（图5中的HNL）和Mystery Lodes（MSL）都是与Golden Mile断层有关的次级D剪切。它们走向N50°W，向南西（MSL）或北东（HNL）倾斜，倾角70—80°。陡倾斑岩岩墙的水平断错（分别为18和24m）表明两者剪切带上有左旋走向滑动的分量运动（Utting, 1953）。Hannans North矿脉是黄铁矿化的、强烈绢云母化的剪切带，并伴有显著的绿泥石化（Bartram, 1969）。Mystery矿脉是Mt. Percy矿山的一部分，它位于Golden Mile断层北东100m的Hannans湖的蛇纹岩内。Sund等人（1984）描述这个矿脉是一个复杂的、宽40m的剪切带，由脉状滑石-绿泥石-碳酸盐岩和黄铁矿铬云母-碳酸盐糜棱岩组成。陡倾斜的斑岩岩墙和垂直于岩墙壁的含金石英脉侵入这个带。

其它剪切带（D2）

在Mt. Charlotte矿山的地下发现了平均方位为N30°W/50°SW的剪切带（Clark, 1980），但它们的地表露头痕迹还不明确。这些剪切带中的两个最主要带宽0.5—1m，其中间夹有黄铁矿碳酸盐-绢云母糜棱岩，局部含Au达2—6ppm，Golden Mile粒玄岩单元的水平错位表明运动为具一主反向分量的斜向滑动（Clark, 1980）。向北倾的右旋剪切带（D3）如Charlotte和Reward断层（下面将讨论）使这些反向剪切带发生位移，因此可以将这些反向剪切带解释为由在Boulder-Lefroy断层上的左旋运动所引起。

在Mt. Charlotte地区的右旋剪切带模式（D3）得到了特别好的证明，并对早期D2构造的被叠加提供了很好的证明。在这个地区中的主右旋剪切带是Golden Pike断层。Golden Pike断层可以追踪至Mt. Charlotte之北（Woodall, 1965），但作者认为可沿Devon Consols玄武岩和Williamstown粒玄岩的接触带（图5）继续向西北直至最后加入到Parkeston断层中。下面的观察证实了这种解释。

在卡尔古利背斜北东翼的Williamstown粒玄岩露头线以外，平行于Charlotte断层的剪切带是不连续的，或者被认为是不具明显位移（Reward断层）的连续（Woodall, 1965），而这些剪切带在Williamstown粒玄岩的西南使陡倾地层单位位移达500m（图5）。水平断错的不同可由在Devon Consols玄武岩-Williamstown粒玄岩的接触带上出现的断层来作最好的说明。最后要说的是，沿着Golden Pike断层的解释走向的延长方向有几个小矿山存在（Feldtmann, 1916）。

如果Golden Pike断层继续向北西延伸，则在Mt. Charlotte地区的右旋剪切带的模式可解释为分支的Riedel剪切的马尾丝系统：相对于Boulder-Lefroy断层来说Golden Pike

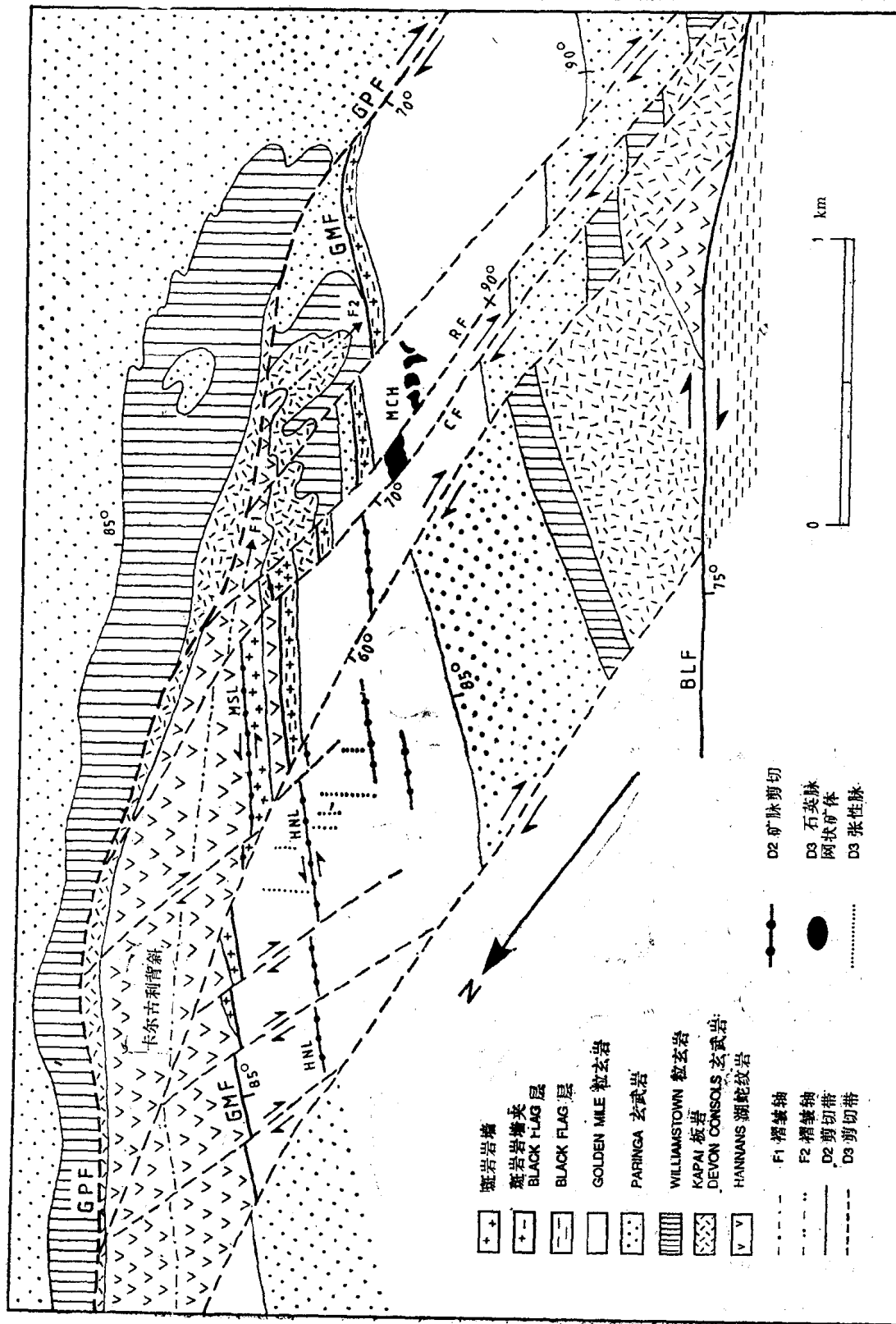


图 5 Mt. Charlotte 矿区构造平面图。表示在与横推剪切的右旋幕 (D3) 一致的主要 Boulder-Lefroy 断层 (BLF) 上的运动方向。在区内右旋 Riedel 剪切的马尾丝系统 (分支的次级 Golden Mile 断层 (GPF) 特别发育。注意地层单位 Golden Mile 断层 (GMF) 和次级 D 剪切的明显侧位移, 在右旋剪切带旁边都形成倾向近垂直的平面。据 Utting (1953) 和 Woodall (1965) 修改。代号: Mystery 矿脉 (MSL); Hannans North 矿脉 (HNL); Reward 断层 (RF); Charlotte 断层 (CF); Mt. Charlotte 矿体 (MCH)

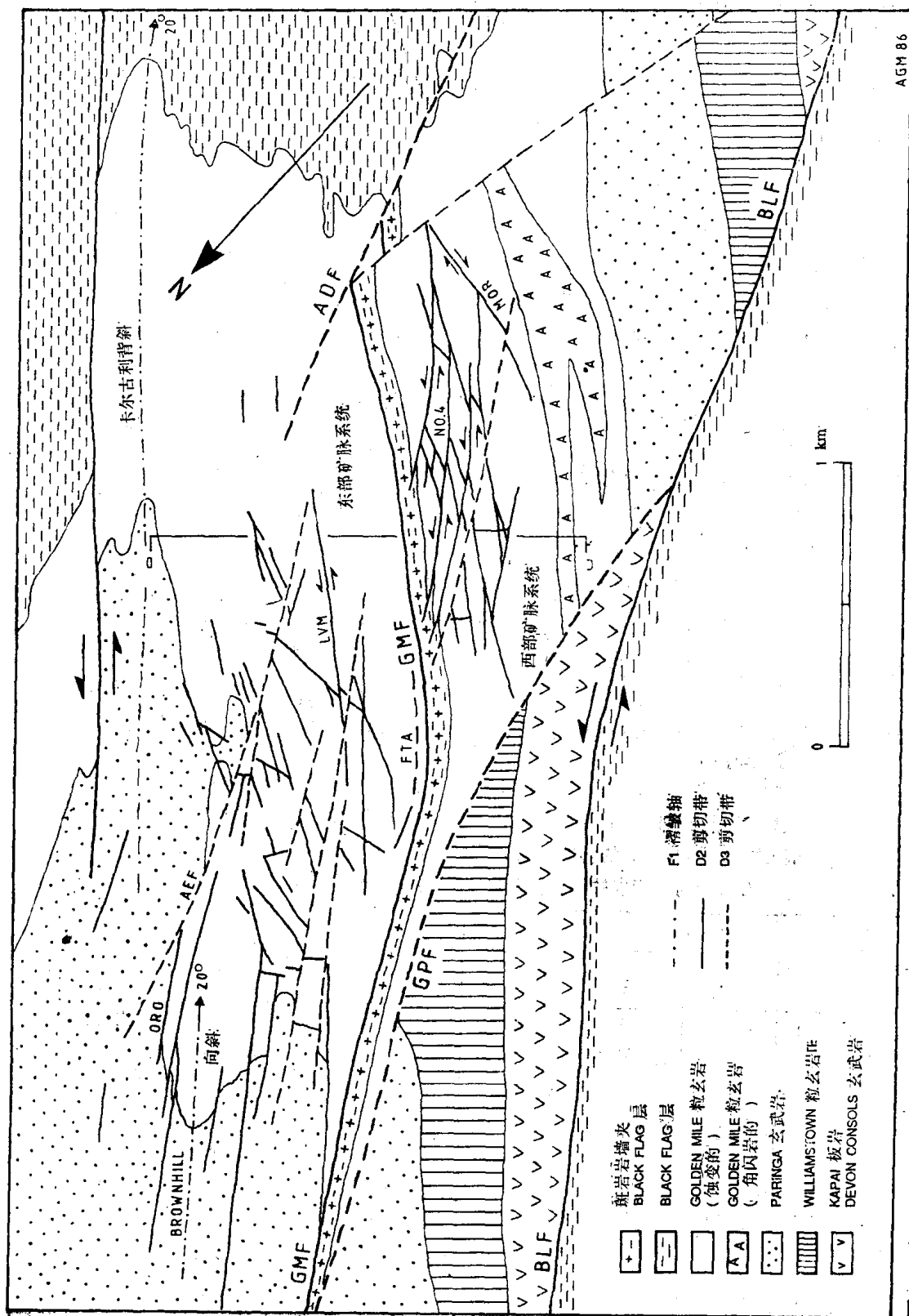


图 8 Golden Mile 矿区构造平面图。表示在与扭压状态中的左旋剪切幕 (D2) 一致的 Boulder-Lefroy 断层 (BLF) 上的运动方向。大多数矿化剪切带在左旋剪切幕期间形成, 并集结在 Golden Mile 断层 (GMF) 附近。斑岩岩墙和地层单位的水平错距可以证明 Lake View Main 脉 (LVM) 是一个次级 D 剪切, 而 No. 4 和 Morrison 脉 (No. 4, MOR) 分别是次级 P 和 P' 剪切的共轭组。据 Wells (1984), Travis 等人 (1971) 以及 Golding 和 Wilson (1983) 修改。代号: Oroya 剪切系统 (ORO); Australia 东断层 (AEF); 断层 "A" (FTA)

断层是次级的，Charlotte 断层和使 Golden Mile 断层发生位移的亚平行剪切都是第三级的，而使 Hannans North 矿脉发生位移的剪切是第四级的（图5）。随后的右旋构造（D3）都受到矿化。

R 剪切（D3）

第三级右旋 Riedel 剪切都很好地区露在 Mt. Charlotte 矿山的地下（图5中的 MCH），并且包括 Charlotte（N5°E/70°W）和 Reward 断层（N5°E/90°）。这些剪切带表现为宽1—3m的含碳酸盐的绢云母-绿泥石片岩带，局部发育了角砾状透镜体（Clark, 1980）。虽然 Charlotte 和 Reward 断层除被含金石英脉交切处之外不含矿，但在走向上与它们平行的其它剪切带都含品级矿石（Haycraft, 1965）。在剪切面上察痕或者在水平上或者在倾斜上都斜向北（Feldtmann, 1916），表明为斜滑运动。因为被这些剪切带位移的地层单位岩层的倾斜都几乎直立，因此认为运动的垂直分量相对于水平分量要小（图5）。

张性脉（D3）

Utting (1953) 描述了 Hannans North 矿山巷道中含有自然金和黄铁矿的石英脉。这些脉的走向都概略地示于图5中。

在 Mt. Charlotte，这些脉十分发育，形成了一些大的、整体上可采的网脉状矿体。这个矿山的主矿体受 Charlotte 和 Reward 断层控制。它大致长200m，宽40—70m，并且向下延伸达720m（Reed 和 Askew, 1984）。网状脉平均厚8cm，含有绿泥石作衬里的孔洞，并且周围的碳酸盐-钠长石-绢云母化晕圈厚达1m（Clark, 1980）。大多数含金黄铁矿产于脉旁的脉壁泥中，并且在矿山深处变为磁黄铁矿（Golding, 1982）。在 Mt. Charlotte 经济矿化主要限于 Golden Mile 粒玄岩的坚硬的、花斑状的单元8，其特征是为脉-蚀变量所叠加。主要的一组脉走向 N55°E/75°NW（资料点327；Clark, 1980），这在顺时针方向上与控矿剪切带走向成50°角，它的方位很接近于右旋走向滑动状态中预测的张性方位。次要

表 3 在 Mt. Charlotte 和 Golden Mile 矿区识别出的矿化构造的分类和对比。剪切带的命名是根据 Tchalenko (1968) 的，注意，左旋剪切状态（D2）时期形成的构造定位于 Golden Mile 断层，而在右旋状态（D3）时期形成的那些构造定位于 Boulder-Lefroy 断层

剪切状态	Mt. Charlotte 地区			Golden Mile 地区		
	构造	级别	描述	构造	级别	描述
左旋 (D2)	D 剪切	第二级	斑岩岩墙的左旋水平断错，斜向滑动？	D 剪切	第二级	斑岩岩墙的左旋水平断错，斜向滑动
				P 剪切	第二级	地层单位的左旋水平断错，斜向滑动
				P' 剪切	第二级	斑岩岩墙的右旋水平断错，斜向滑动？
右旋 (D3)	R 剪切	第三级	地层单位和 D2 剪切带的右旋水平断错，大抵走向滑动	R 剪切	第二级	左旋的 S 组构，斜向滑动？
				R 剪切	第二级	地层单位、斑岩岩墙和 D2 剪切带的右旋水平断错，大抵走向滑动
	石英脉的网状脉矿体	第四级	位于 D3 剪切带之间的、具中心空洞的张性脉	石英脉	第四级	具中心空洞的张性脉，位于重新活化的 D2 剪切带之间

的一组脉 ($N80^{\circ}E/20^{\circ}N$) 可能形成于较显著的斜滑运动的间歇脉动的时期。总之, 在控矿剪切带的运动史中张性脉的形成是很晚的: 各个石英脉横切 Charlotte 断层的叶理组构, 尖灭于上盘的剪切面上, 并在变形带中的其它剪切面上呈现小的右旋水平断错 (50cm) (Feldtmann, 1916)。这些脉是与 Boulder-Lefroy 断层有关的第四级构造。

总之, Mt. Charlotte 地区提供的证据证明矿化的 D2-左旋剪切带为后来的一组右旋剪切带 (D3) 所叠加。与各个变形幕有关的矿化构造都已列于表 3 中。

Golden Mile 矿区

从传统上说, Golden Mile 矿区分为西矿脉系统和东矿脉系统。这两个矿脉系统为 Golden Mile 断层所分开 (图 6)。西、东矿脉系统至 1983 年止为卡尔古利地区提供了 1130 吨金, 占该区总产量的 94%。矿体主要位于剪切带中 (Stillwell, 1929), 并且在 Golden Pike 矿山中只有一个小的石英脉网脉状矿体被开采 (Bartram 和 McCall, 1971)。在个别剪切带中矿石品级的矿化厚度主要受细粒黄铁矿的数量控制, 在典型矿石中有约 5—10% 的黄铁矿, 它们携带着呈 0.5—20 μ m 大小的微细球粒的金。Golden Mile 矿区总金量的 80% 左右产自难熔黄铁矿石中 (Woodall, 1979)。Bartram (1969)、Bartram 和 McCall (1971)、Golding 和 Wilson (1983) 和 Phillips (1986) 曾详细地描述过这种矿石类型与碳酸盐-绢云母-钠长石蚀变共生的情况。其余的 15—20% 的金产自碲化物矿石中 (Woodall, 1979)。金的碲化物和自然金标志着高品位富矿体, 绿色富钒云母是与这种矿石共生的蚀变特征 (Stillwell, 1931; Nickel, 1977)。矿体严格地受剪切带型式控制。在各个剪切带中, 矿化作用形成一些面状矿体, 宽 1—30m, 长 100—200m, 向下延长通常超过 400m (Fotios, 1983)。高品位的筒状富矿体都位于一些剪切带的交叉处, 并且在最通常的情况下是向东南倾向的, 倾角 50—60° (Wells, 1964)。在 Golden Mile 矿区, 这是 D2 剪切带交叉线的常见分布 (图 4)。

Golden Mile 地区的构造平面图和剖面图分别示于图 6 和图 7 中。随后的矿化剪切带形成于左旋剪切状态 (D2) 中。

P 剪切 (D2)

在中央矿区, P 剪切是以其平均方位为 $N30^{\circ}W/\pm 90^{\circ}$ 为特征, 并且习惯称之为 Main 矿脉 (Finucane, 1948)。这些剪切带相对于 Golden Mile 断层来说是第二级构造, 包括西部系统中的大的 4 号矿脉 (图 6), 它已沿走向开采长达 1800m, 垂直深度达 1160m (Travis 等人, 1971)。根据 Finucane (1948) 的意见, 由卡尔古利向斜核中 Golden Mile 粒玄岩和 Black Flag 层接触的水平断错判定, 在西部系统中 P 剪切 (Main 矿脉) 运动的相对方向是西盘向南、向上运动 (见图 6 和 7)。考虑到地层接触的陡倾斜, 这些观察表明在这些剪切带上, 特别是在 4 号矿脉上, 总的运动是具有明显逆向分量的左旋斜向滑动。

在东部矿脉系统中, 可以证明 Oroya 剪切系统的主控剪切带 (图 6 中的 ORO) 是 P 剪切。这个剪切带 (Oroya Hangingwall 矿脉) 沿着 Brownhill 向斜北东翼的石墨变质沉积岩 (图 6) 追踪, 其走向长度大于 1km (Tomich, 1959)。Oroya Hangingwall 剪切的平均方向是 $N30^{\circ}W$, 倾向南西, 倾角由于沿 Golden Mile 粒玄岩-Paringa 玄武岩接触带弯曲而从 30 至 80° 变化 (Lungan, 1986)。Oroya Hangingwall 和次级剪切带都伴有著名的 Oroya