

矿 产 专 辑

(八)

火山岩型金银矿床地质



地 质 出 版 社

矿 产 专 辑

(八)

火山岩型金银矿床地质

R. H. Sillitoe 和 M. M. Константинов 等著

周济群 等译

佟 伟 等校

地 质 出 版 社

内 容 简 介

对于金银矿产的追求是人类自古以来久盛不衰的一项事业。由于理论与实践技术上的进步,对金银矿产的探索自本世纪70年代后期开始从第三纪脉型矿床迅速地扩大到长期被忽视的低品位浅成块状矿床,金银矿床地质学方面也随之有了长足的进展,例如强调高地热梯度在水-岩相互作用中对浅层大气水的“活化”作用,强调流体超压、水压致裂、水热爆炸、角砾化以及冷、热水混合导致成矿物质沉淀等矿床形成机制。本书选译了近年来这方面精彩之作,同时还选入了观点不尽相同的苏联金银矿床学者的论著。译者确信本书将对我国当今金银矿产事业起重要借鉴作用,也确信它适用于金银矿床地质勘探工程师、研究人员以及大专院校教学的重要补充教材。

矿 产 专 辑

(八)

火山岩型金银矿床地质

R. H. Sillitoe和 M. M. Константинов 等著

周济群 等译

佟 伟 等校

责任编辑:曾繁彩 佟伟

地质出版社出版发行

(北京西四)

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: 16.875 字数: 398,000
1988年9月北京第一版·1988年9月北京第一次印刷

印数: 1—1,520册 国内定价: 4.00元

ISBN 7-116-00233-2/P·209

目 录

巴布亚新几内亚 Wau 地区与低平火口 火山有关的金矿床和水热喷发角砾岩R. H. Sillitoe, E. M. Baker 和 W. A. Brook (1)	
安大略省Kirkland Lake区 Macassa 矿山太古代脉金矿床的地质、蚀变型式 和水热状态.....R. Kerrich 和 G. P. Watson (20)	
浸染状金矿床S. B. Romberger (52)	
新西兰 Coromandel半岛 Thames地区的矿化现象 R. J. Merchant (65)	
新西兰Golden Cross金-银矿床.....C. E. J. de Ronde (78)	
佐治亚州西部Piedmont火山成因贱金属和贵金属矿床的地质背景: 一种多次 变形的变质火山岩区.....C. E. Abrams, K. I. McConnell (93)	
Equity Silver银-铜-金矿床围岩蚀变和流体包体的研究P. J. Wojdak, A. J. Sinclair(115)	
科罗拉多州Creede矿区南Amethyst矿脉系的矿物学和流体包裹体的研究R. W. Robinson, D. I. Norman(141)	
南九州南萨型金矿床的流体包体研究.....武内寿久祢(151)	
火山地貌与矿床R. H. Sillitoe, H. F. Bonham, Jr. (162)	
金银矿化的地球化学类型M. M. Константинов(176)	
金-银矿田类型及其定位的构造条件.....M. M. Константинов(188)	
金-银矿化的局部控矿因素.....M. M. Константинов(241)	
火山区金银矿化的预测原理M. M. Константинов(256)	

巴布亚新几内亚Wau地区与 低平火口火山有关的金矿床和 水热喷发角砾岩

R. H. Sillitoe, E. M. Baker 和 W. A. Brook

摘 要

巴布亚新几内亚Morobe金矿区已经开采了18 t (58万oz) 脉金, 其中大部分产自 Wau地区。地质填图和重新评价表明, 该地区上新世浅成低温金矿化与低平火口火山以及相伴生的内生穹丘的形成有关。

Morobe金矿区内生穹丘的侵位和火山碎屑流的喷发发生在 4 到 2.4 Ma 之间。Edie Creek 一个年代未知的穹丘在空间上(很可能在时间上也)与脉金的矿化有关。

在上述时间间隔的后期, 由于熔结凝灰岩堆积的翘起, Wau 地区形成了低平火口火山。人们确信该火山下面的角砾岩筒向下延深约 1 km 而伸入到区域倾向滑断带之中, 位于附近的Ribro-aster矿较深层位的金矿化就寓存在这个断裂带之内。在断裂带深处的英安岩岩浆与地下水的相互作用引起一系列的水火山爆炸, 形成弹道回落物和来源于底涌云的火成碎屑沉积, 后者含有大量的同心层火山球。火山碎屑沉积物在低平火口内部堆积成一圈凝灰岩环, 不过目前只有一小部分在低平火口的南侧和西侧被保存下来, 凝灰岩下面就是晚白垩世一早第三纪千枚岩。

继低平火口初期形成后的水热角砾化和金的沉积受低角度张性断层控制, 张断层是在区域断裂带和低平火口周边环状断裂之间的楔形岩块因下部支撑不足而发生早期沉降形成的。自封闭盖层之下100 m 以深发育的流体超压触发了水热喷发, 从而形成不规则的脉状网络系统和水热角砾岩体, 它的上面盖着地表沉积的角砾岩层。自封闭盖层是早期含金方解石-锰方解石-石英脉矿化作用形成的, 现今仅可在角砾岩筒和角砾层中见到它们的碎块。具有相同脉石组合的晚期金沉淀发生在缓倾斜扁豆状矿脉以及上覆的网状脉中, 其中许多矿脉都寓存于水热角砾岩里。

在火成碎屑回落物堆积和底涌云沉积的后期及期后, 外力碎屑沉积物广泛分布在低平火口之中, 从而在季节性湖泊内形成再沉积角砾岩和粗砂岩, 但主要沉积物为富含有机质的泥岩。这时的水热活动形成水下燧石-黄铁矿层, 地表上很可能还形成热泉硅华和钙华, 深部则形成石英-方解石-高岭石-蒙脱石(伊利石)等蚀变矿物组合。所有这些水热活动产物中都不含显著量的金。

在沉积活动进行期间, 挥发份已逸散殆尽的岩浆沿低平火口周边到达地表, 并形成两个重要的内生穹丘, 一个是英安岩穹丘, 另一个是安山岩穹丘。早先测得的英安岩穹丘的年龄为 2.4 Ma, 低平火口西北缘的破碎角砾岩裙就是这一穹丘形成的。

低平火口内沉积序列堆积期间及以后都经常发生沉降和滑塌, 导致形成陡坡和局部地层倒转。一旦低平火口充填完毕, 火口西沿陡壁上的基底千枚岩粘附岩块就向火口内滑移, 移动的距离多达1 km。有些滑移的岩块为凝灰岩环残留物所覆盖, 并夹有水热角砾和具有经济意义的金矿化。所有这些都是通过机械搬运作用移到目前位置上的。

与此同时,在沸腾水面上形成蛋白石-黄铁矿-白铁矿层,之上覆盖方英石-高岭石-钠明矾石带。据信该带是由沸腾而出的 H_2S 溶解在冷地下水后发生酸性淋滤的产物。这种蚀变没有金矿化,但有外来含金滑移岩块的地方除外。

区域水系最终破坏了火口垣并导致河槽砾岩和河湖相沉积层的形成,它们都含有砂金。用取自这一层位的木头作放射碳定年,结果表明它们是在42000年以前堆积成的。

据信Wau地区最近的事件是一系列的水热喷发,水热喷发事件在低平火口东南缘的Koranga穴口形成复合角砾岩裙。据猜测,最晚一次喷发发生在1967年。

引 言

1979年黄金价格大幅度提高以来,近地表浅成低温贵金属矿床再度引起人们的重视。最近又特别强调这类矿床有许多都和各种受轻度剥蚀的火山地形密切相关(R. H. Silliton和J. F. Bonham, Jr., 未刊资料)。作为火山角砾岩筒地表显示的低平火口火山便是其中之一。笔者对巴布亚新几内亚Morobe矿区Wau地段进行的地质填图和重新评价(图1)表明,与水热角砾岩化相伴随的浅成低温金矿化是典型的低平火口火山晚期演化的组成部分。

Wau地区的金是澳大利亚考察人员W. "Sharkeye" Park于1922年发现的。1926年在Upper Edie Creek(图2)附近圈定出特别富的砂矿区之后,Wau地区便成为世界上最后和最大的淘金热门地区之一(Nelson, 1976)。除了战争年代以外,Morobe金矿区一直在开采金,只是到了50年代后期产量才有所下降。到目前为止的金累计产量约120 t (380万oz),其中约有百分之十五采自脉状金矿(Fisher, 1975; Lowenstein, 1982)。

Wau地区小规模露天坑采一直由新几内亚金矿田有限公司经营,到1981年下半年才由澳大利亚Renison金矿田联合有限公司的子公司接手经营。地面冲刷形成的小量砂金矿以及一些小金脉则由公司以及个体采金者开采。公司目前的年产量在0.35 t (11000 oz)左右,其中近百分之九十来自Upper Ridges露天采场。虽然数量上这只相当于Bougainville岛Panguna斑岩铜矿作为副产品的金年产量的百分之二,但它还是对巴布亚新几内亚成为世界第九大黄金生产国作出了小小的贡献。虽然Panguna使它相形见绌,但Morobe金矿仍然不失为西太平洋地区名列前茅的几个金矿田之一。

介绍Morobe金矿田Wau采区地质情况的文章有Fisher (1944, 1945), Fisher和Branch (1981), Rebek (1975)等,还有一些未曾发表的地质报告和图件,其中包括H. M. Kingsbury在30年代早期编写的那些地质报告和图件。Lowenstein (1982)在其专著里曾杰出地综合了现有的地质资料,并提供了许多新的地球化学资料。Wau地区的脉金矿床有些已无法再进行实地考察,有些因露天开采而遭到了破坏,因此有关地质情况的细节我们主要利用前人发表过和尚未发表的地下资料,但尽管如此,我们在Wau地区的工作(其中包括2700m金钢石钻孔岩心编录)仍然导致对许多地质单元的重新划定,并对金矿床的地质背景、时代以及成因等作出了新的解释。虽然前人早就清楚地认识到Wau地区金矿化的火山活动背景(例如Fisher, 1944, 1945; Rebek, 1975),有人甚至提出过金矿化与火山角砾岩筒存在伴生关系(例如Dow等, 1974),但关于矿床火山成因的全部来龙去脉以及它在其它地区的类似情况过去是不清楚的。

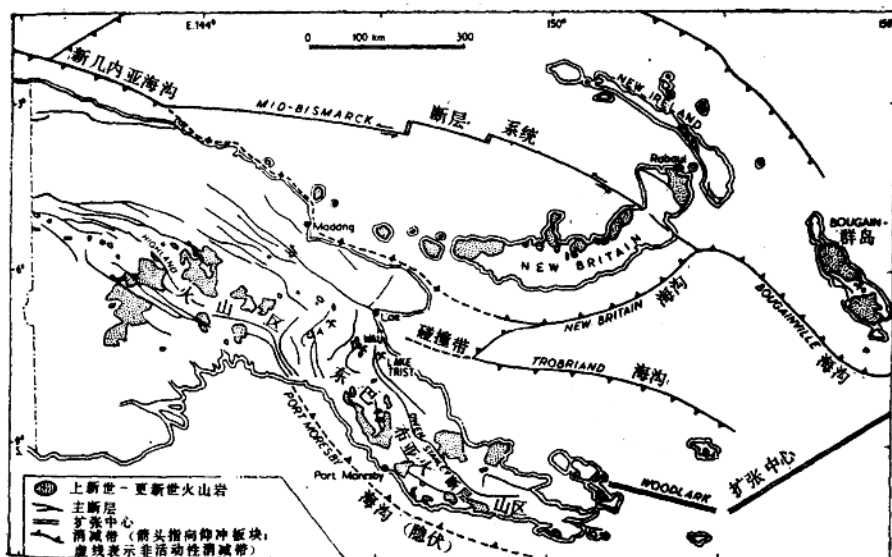


图 1 巴布亚新几内亚Wau地区上新世-更新世火山岩(据Dow, 1977)主要断层(据Dow, 1977)及晚新生代板块构造要素(据Hamilton, 1979)的位置图
火山岩露头A包括Yelia和Marble Peak中央部分(参看正文)

区域背景

地质背景

巴布亚新几内亚西南部为古生代结晶基底岩区, 上覆中生代-新生代陆棚沉积物。这些陆棚沉积物在第三纪中期沿其北缘与晚白垩世—早第三纪的洋内岛弧系相碰撞, 碰撞诱发了构造活动、变质作用、蛇绿岩仰冲以及隆起抬升等 (Dow, 1977)。

Wau地区位于Owen Stanley山脉区, Owen Stanley断层系以西约30km (图1)。该断层将仰冲的巴布亚蛇绿岩套与Mobile带分隔开来。Mobile带由业已强烈变形和变质的晚白垩世至始新世的沉积堆积组成, 局部夹有玄武质火山岩。其上则为洋壳 (Dow, 1977)。Hamilton (1979)认为Mobile岩带代表了向北向洋内岛弧之下俯冲期间生成的混杂堆积, 后来的大陆-岛弧碰撞过程又使之发生变形。在Wau地区, 火山-沉积岩柱以Kaindi变质岩系为代表 (图2和图3), 其中以含石墨的蓝灰色千枚岩为主, 其次还有绿泥石、硬绿泥石和绢云母片岩以及少量的石英岩和大理岩等。在角砾岩和砾岩中偶而可见含石榴石的片岩碎屑 (参见下文), 但在当地却未见到这种岩石。浅变质岩石的特征是具有平行层面的微层理, 同时含有大量变质石英的扁豆体和透镜体。在Wau北西西4km的Kaindi岩系中采集的样品的Rb-Sr等时线年龄为 21.0 ± 4 Ma, 它被解释为区域变质的年龄 (Dow等, 1974; Page, 1976), 它很可能反映中第三纪碰撞造山运动晚期阶段的一个方面。

在中新世的中期到晚期, 沿Mobile岩带发育了部分为陆上的火山深成侵入弧, 即Mar-amuni弧 (Dow, 1977)。在巴布亚半岛上, 此弧很可能是目前已被埋没的Moresby港海沟

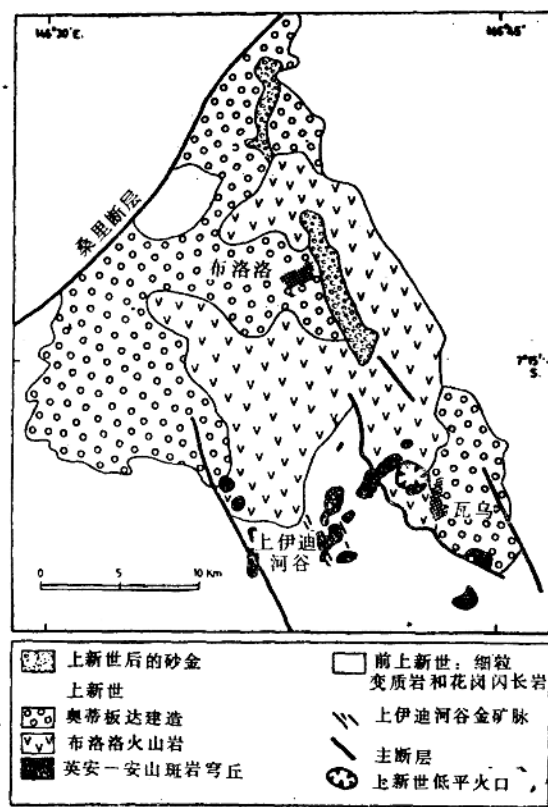


图 2 巴布亚新几内亚Morobe金矿区地质特征略图
据Dow等(1974)修改

向北俯冲的结果 (Hamilton, 1979, 图 1)。Morobe 金矿区的岩浆活动以主要为花岗闪长岩的Morobe岩基为代表。距Wau最近处采得的该岩基样品的K-Ar和Rb-Sr放射性定年结果为12—13 Ma (Page, 1976)。在Wau地区有三个羽片理化的角闪石-黑云母闪长岩的小岩体 (图 3)，它们可能是 Morobe 岩基的小岩枝。

从上新世到全新世期间，巴布亚新几内亚在向南俯冲的过程中广泛发育了范围较大的隆起和陆上火山活动，其中也包括在Wau形成金矿化的活动 (详见下文)。Owen Stanley 断层系发生过走向滑动位移，在Wau地区则与北西向的主断层一致 (图2)，这种位移也是一种可以估计到的正常运动。

成矿背景

除了Morobe 金矿区以外，已知巴布亚新几内亚东部巴布亚半岛上不存在什么有经济价值的矿化现象。主要来源于中新世到上新世岩浆岩的小砂金矿正在进行零星的开采。时代可能属于上新世的某几个斑岩铜矿矿点 (其中之一距Wau西北约 75km) 还正在进行研究。此外在Wau东南约30km的 Lake Trist 地区在蛇绿岩带中发现了红土型镍矿点。

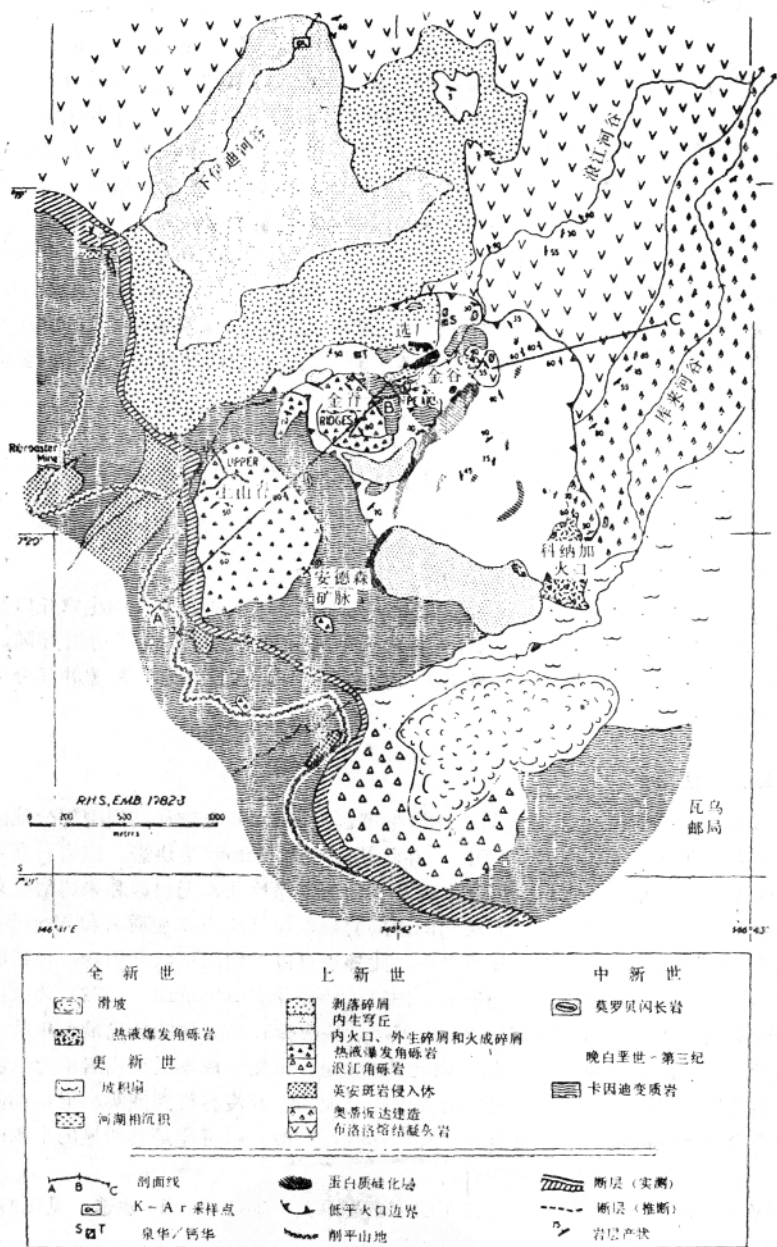


图 3 巴布亚新几内亚Wan金矿床及其邻区地质图

晚新生代火山构造背景

有关巴布亚新几内亚上新世到近代火山活动的最新综合报导(如Johnson, 1979, 1982)中都没有提到Wau地区, 这或许是因为Wau缺乏近代火山活动, 或者是没有大型的火山机构。Wau地区是Highlands火山岩省东南端和东巴布亚火山岩省(其下为大陆基底)西北端之间的构造复合体的一部分(图1)。Trobriand海沟发育于上新世, 现在已经停止活动(Hamilton, 1979, 图1), 东巴布亚火山岩省可以和Solomon海岩石圈西南向此海沟下俯冲配对。Hamilton(1979)确认Highlands火山岩省是新几内亚海沟沿巴布亚新几内亚北部海岸向东扩张, 引起向西南俯冲的结果(图1), New Britain弧-沟系统向西扩张与新几内亚海沟东向扩张相碰, 从而使东向扩张停止了活动。Yelia安山岩休眠火山和Marble Peak死火山中心(位于Wau北西西95km, 图1)之下是向南西倾伏的Benioff带残余体(Dent, 1976), 因此似乎可以推断Wau地区的新世火山活动可能和新几内亚海沟或者Trobriand海沟的俯冲活动有关。

火 山 地 质

引言

我们对Wau及其邻区的重新评价导致对一套未熔结凝灰岩、几个内生穹丘以及一个低平火口火山的证认(图2和3)。穹丘侵位和低平火口的形成与水热活动相伴随。这些上新世火山单元和相关沉积岩(其中低平火口火山只在Wau地区出现)覆盖并部分切割前述Kaindi变质岩系。

早期火山活动

Dow等(1974)和一些早期地质工作者都填制过Morobe金矿及其周围部分地区广泛分布的火山岩序列(厚达数百米)(图2), 并将其命名为Bulolo集块岩。该岩石序列在Wau北部向东倾斜, 倾角 40° — 65° 。但在本区及其周围以呈块状, 无层理和未熔结凝灰岩^①为主, 其中夹有未发生坍塌的浮岩碎块和同源的岩屑, 包括Kaindi变质岩和Morobe花岗岩闪长岩成分, 它们都分布在火山灰基质之中。此外还可以见到间层状沉积物, 包括矿区东北部Namie河谷见到的与众不同的巨砾岩(图3)。Page和McDougall(1972)为火山灰流凝灰岩喷发提出的表现K-Ar年龄为3.7—3.2Ma, 并选择3.5Ma作为择优最大年龄, 不过应该强调指出他们的采样地点是在Wau西北20km处。虽然形成本区火山岩单元(我们建议重新命名为Bulolo火山灰流凝灰岩)的火山碎屑流的来源没有得到证实, 但早期内生穹丘的岩浆喷发或者它的塌陷(参见Smith和Roobol, 1982)很可能是其明显的来源, 这和穹丘的侵位时代(参见下文)也相吻合。

在Wau, 另一套在区域上广泛分布的火山岩单元(即Otibanda建造, 见图2)覆盖在

① 本报告所使用的火山岩类术语均经过调整处理, 凡是有可能的地方均遵从Sparks和Walker(1973)和Wright等(1980)。

Bulolo 熔结凝灰岩之上（不存在什么不整合的迹象），它包含分选程度差的河流相砾岩、砂岩和再沉积的凝灰质物质等，后一种物质特别丰富，并紧靠Bulolo熔结凝灰岩沉积。此外某些地方还可以见到作为夹层的薄层状含碳化木碎片的火山灰流凝灰岩夹层。在Koranga破火口区^①（图3），Kaindi变质岩系（包括含石榴石片岩）以碎屑岩为主，其中含有孤立的木头片和脊椎动物残骸（据Plane, 1967）。目前正在调查Koranga火口区以及其它一些地区这套建造里的砂金情况。Plane（1967）确认Otibanda建造的这一部分是沿一山间湖泊边缘沉积的联合冲积扇。Page和McDougall（1972）则得出结论认为Otibanda建造的沉积年龄不大于3.5至3.1Ma。

在Morobe金矿区，Fisher（1945）和后来的许多研究者都鉴别出两种（很可能有三种）黑云母角闪石安山岩到英安斑岩侵入岩株，即上（尚未归类）、下Edie斑岩岩株。现在全部Edie斑岩大岩体都被证认为内生穹丘（图2），其中某些只经受过有限的剥蚀（详见下文）。穹丘的某些部位的流动叶理发育良好。位于上Edie河谷的一个剥蚀程度较深的穹丘（Fisher的未归类斑岩）沿其一部分陡倾接触带可以见到十分特征的水热角砾岩，角砾岩的基质呈粉末状，碎屑成分既有英安斑岩，又有Kaindi变质岩。范围有限的类岩墙状黑云母英安斑岩体的局部边缘也镶有岩性相似的水热角砾岩。斑岩墙沿着并紧贴着主断裂带（图2和图3）的西侧侵入Kaindi变质岩之中。这些真正的侵入英安斑岩体常常含有浸染状和细脉状黄铁矿，断层带的某些地段已绢云母化和硅化。

我们未能证实Fisher（1945）提出的英安斑岩侵位次序。根据我们的填图资料，从R. W. Page的详细K-Ar定年研究结果似乎得不出什么有力的支持。Page测得的Morobe金矿区斑岩样品黑云母的年龄为4.2—2.4 Ma，而某些相应的斜长石单矿物却得出较老的年龄，这显然是混入不同量过剩放射成因氩的结果（Page和McDougall, 1972）。在缺少更加精确数据的情况下，我们取Page的黑云母年龄值域来代表发生穹丘侵位的概略时间区间，并假定最年青（2.4Ma）的具流状条带的英安斑岩并非如N. H. Fisher（1945）所说的那种晚期特征，而是内生穹丘（即Fisher, 1945的下Edie斑岩）的一个有机组成部分（图3）。沿主断裂带侵入的岩墙的年龄不明，但很可能与穹丘侵位的早期阶段相当。

低平火口—火山角砾岩筒建造

Wau低平火口建造局限于主倾向滑断层迹线以东600—1000m之处，此断层的地表标志为压性断层泥和张性断层角砾岩。断层面走向北西，东倾，倾角约40°（图4）。部分断层面以截切山嘴（图3）的形式出露于地表。据信断层在低平火口建造形成以前和以后都有活动，因而断层很可能是在向东倾斜并类似于今日存在的那种陡峭古斜坡上发生的（图2），沿断层南段发生的大塌方（图3）证明它还在持续移动。Wau东北的Bulolo熔结凝灰岩—Otibanda建造岩层的倾角逐渐减小，可能是断层在低平火口建造主阶段完成之前诱发了倾斜的结果。

与Wau低平火口的形成直接伴生并可以识别的最古老岩石单位是一种非常特殊的碎屑角砾岩，即久已知名的Namie砾岩。它在低平火口以西200—300m的Upper Ridges尚有所

^① 50年前引入的一个名称（N. H. Fisher, 书面通讯, 1983），因为该地区的形状类似火山口。大多数学者（Dow等, 1974；Fisher和Branch, 1981；Lowenstein, 1982）认为它是近代火山活动的场所，但我们认为该地穴口是水热活动成因的（参见下文）。

遗存，部分则作为滑坡物质出现在低平火口南约 600m 的地方（图 3 和 4）。两个地方的 Namie 砾岩都不整合地盖在穿过 Kaindi 变质岩系的极不规则的露天沟之上。Upper Ridges 钻探所穿过的厚度超过 200m，但是人们怀疑这一厚度的部分原因可能是缓倾断层使岩层发生叠置的结果（图 4）。Namie 角砾岩的碎屑成分为棱角状至磨圆状 Kaindi 变质岩系和英安斑岩，基质则呈灰色细粉状（图 5A）。英安斑岩碎屑包括可以辨认的浮岩物质（既有来自岩浆的，也有来自 Bulolo 熔结凝灰岩的）和具有流状叶理的穹丘物质，这可能意味着 Wau 地区某一内生穹丘在低平火口形成之前就已经存在。角砾大都小于 10 cm，但局部可见到大于 30cm 的角砾。浸染状黄铁矿在岩石的粉末状基质中十分普遍，其中至少有一部分见碎屑成因的。

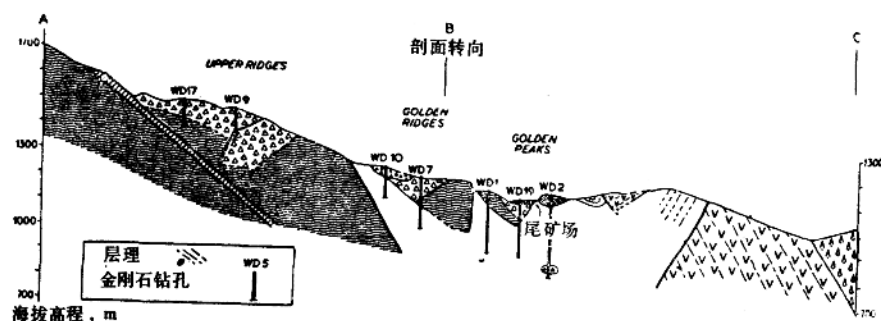


图 4 巴布亚新几内亚 Wau 金矿床沿 A-B-C 线的剖面图
图例同图 4

Namie 角砾岩主要为粗粒以及层理性和分选性都很差的岩相（图 5A），但却含有细粒粉砂质并具良好层理性的岩相夹层（图 5C）。成层性差的部分与 Wohletz 和 Sheridan (1983) 的爆炸角砾岩相当，它们主要是由爆炸抛射碎屑的弹道回落物质堆积成的。成层性好的部分呈薄层状，其特征是低角度交错层理极其发育（图 5C），其中还存在含有大量同心层状火山砾的薄层（图 5B）。这些火山砾都具有特征的同心层内构造，它们很可能是由湿火山尘粒围绕水珠层层渐次增生形成的。同心层火山砾的存在确切地证明成层性良好的 Namie 角砾岩是表生的。同心层火山砾和低交角斜层理的存在，再加上准同生滑塌、层面溶沟和大角砾下没有拗陷构造等特征，都和层理性良好的 Namie 角砾岩是低温底涌云型的火成碎屑流涌流沉积的成因推断相符合。底涌流沉积是形成低平火口的潜水岩浆喷发或者潜水水汽喷发的普遍性产物（Moore, 1967; Fisher 和 Waters, 1970; Lorenz, 1973）。同心层火山砾可能是在喷发柱里形成的，尔后作为火山灰的组成部分回落下来，但更可能是在底涌流中本身逐渐增大（Lorenz, 1974; Self 和 Sparks, 1978）而成。在距 Wau 低平火口至少有 1.6km 处仍有 Namie 角砾岩的分布，这一事实与 Wohletz 和 Sheridan (1979) 的观察完全相符。他们的观察是火成碎屑涌流沉积所能达到的最大径向距离接近喷口的直径。

由于 Namie 角砾岩的存在远远超出低平火口的范围，因而认为它是环绕低平火口的凝灰岩环的剥蚀残余，该凝灰岩环原来的分布范围要比低平火口大得多。现今观察到的凝灰岩环残余是沉落于区域断层带所保存下来的那部分，这也是 Namie 角砾岩向南西陡倾的一

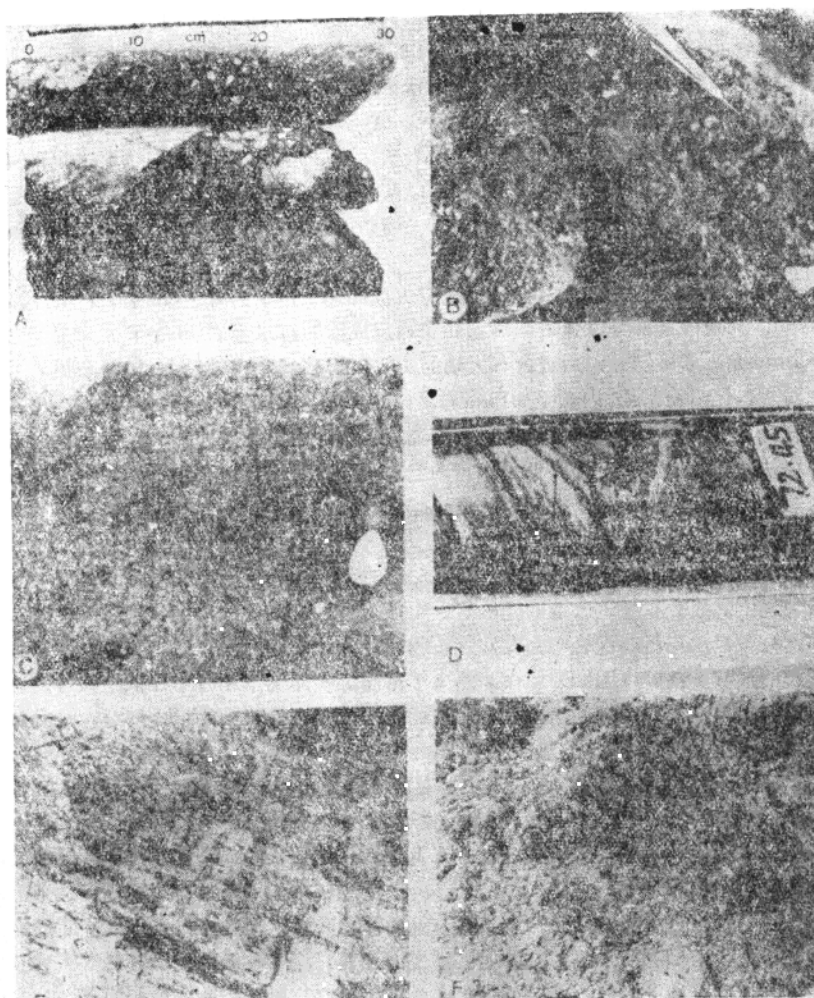


图 5 巴布亚新几内亚Wau金矿床的某些地质特点

A—Upper Ridges钻孔WD-14自150至200m井段取出的各种粗粒Namie角砾岩岩心。灰白色碎屑为英安斑岩和绢云母片岩，暗色碎屑则为干枚岩，后者在三个岩心样品的最下部均占优势。B—Upper Ridges的Namie角砾岩中的同心层状火山砾。C—Upper Ridges底涌云沉积的细粒Namie角砾岩中的低角度交错层理。D—内低平火口序列中的黄铁矿质泥岩滑塌所形成的中型伏卧褶皱。暗色层富含同成岩或成岩黄铁矿。样品来自 Golden Peaks的垂直钻孔WD-2(72m)。E—低平火口西北侧英安岩穹丘中的流动叶理。F—低平火口西北一带英安岩穹丘周边的崩塌角砾岩

种可几的原因(图3)。Golden Peaks和Golden Ridges处的Namie角砾岩小块体(图3和4)可能是后期滑落到低平火口中的岩块(详见下文)。这样，我们完善了前人关于Namie角砾岩是火山角砾岩或者火山角砾岩筒角砾岩的解释，并且否定了Rebek将其看作是被流水改造过的岩屑堆积的结论。

由于构造十分复杂,加之广泛水热蚀变的影响,使得对低平火口内的火山-沉积序列的了解仍然不够完整。该序列在地表的出露面积约 $1.4 \times 1.4 \text{ km}$ (图3),它标志了低平火口的范围。已有的地表观察和钻孔证据都表明低平火口内的火山-沉积序列由环状断裂所限定。环状断裂的倾角为 $50^\circ - 70^\circ$ (图3和4),并与Bulolo熔结凝灰岩建造和Otibanda建造的区域走向和倾向相交截。低平火口内的岩层向中心倾斜,倾角大于 30° ,局部可见到直立和倒转的岩层(图5D)。岩层向内倾斜以及相伴随的构造复杂性并不是区域构造活动产生的,而是低平火口内物质堆积过程中,未固结而且部分为水所饱和的岩层发生沉降和崩塌造成的。

低平火口内的火山-沉积序列在成因上既有火成碎屑岩,又有外生碎屑岩,其厚度估计超过200m。火成碎屑部分以弹道回落物和底涌云成因的第二套岩屑角砾岩为主。它很容易和Namie角砾岩区别开,后者含有大量的英安斑岩碎屑和少量的Kaindi变质岩系碎屑,以及浅灰白色岩粉基质。内低平火口碎屑颗粒的粒度及磨圆度均与Namie角砾岩相同,同时也夹有含增生火山球并具良好层理性的极细粒夹层。由于凝灰岩环残存部分缺失这些富含英安斑岩的角砾岩沉积,而在低平火口内它又覆盖在外来Namie角砾岩岩块之上,因而可以认为它们是后期潜水岩浆或潜山水汽爆炸的产物,爆炸活动产物主要堆积在低平火口的限界以内。

内低平火口火山-沉积序列中的表生碎屑部分与火成碎屑部分呈间层关系,或者前者覆盖在后者之上。成分有经过改造的角砾岩、粗砂岩、砂岩以及纹层状泥岩等,纹层状泥岩最多,分布也最广泛。泥岩中夹有富含植物的薄层及燧石层,后者具有同生或者成岩期间形成的层状黄铁矿(图5D)。作为热泉围裙而沉积的钙华和硅华在低平火口内这两处的出露情况很差(图3),因而尚不能肯定它们是内低平火口序列的组成部分,抑或是不整合地盖在该序列之上。

在Morobe金矿区的主要内生穹丘当中,有两个穹丘出现在Wau低平火口附近(图2和3),它们是在低平火口发育期间侵位的。位于低平火口西北的一个比较大的穹丘由未曾蚀变的黑云母角闪石英安斑岩组成,它具有发育良好的流状叶理构造,流面倾向多变,但通常向内倾,倾角 $50^\circ - 60^\circ$ (图5E)。较小的一个穹丘位于低平火口的南侧接触带上,由黑云母角闪石安山斑岩组成,近接触带具有垂向流状叶理。接触带以局部发育断层泥为标志。在低平火口西侧有两个小得多并已蚀变而且具有流状叶理的安山斑岩露头(图3),它们可能是隐伏穹丘的一部分,其侵位时代比两个主要穹丘要早一些。蚀变的英安-安山斑岩岩床和岩墙切穿内低平火口序列和Namie角砾岩,据信它们是穹丘的支脉。Page和McDougall (1972)用共存的斜长石和黑云母测得的Morobe金矿区唯一和谐K-Ar年龄样品系来自Edie河谷深切英安岩穹丘之处(图3),他们的两个年龄 $2.4 \pm 0.1 \text{ Ma}$ 确切地代表了两个穹丘之中较大一个的侵位时代。该穹丘的侵位是发生在低平火口建造形成过程的爆炸阶段之后,也很可能发生在大部分内火口沉积作用完成之后(见下文)。

英安岩穹丘最初构成低平火口周边的陡峭垣体,穹丘东南侧分布有厚层英安岩质角砾岩裙(图3),据信该角砾岩裙是在穹丘持续增生过程中由其冷却外壳(岩屑堆或碎裂角砾岩)剥落堆积成的。如果英安岩穹丘西北侧原来也有这种角砾岩垣体,则它肯定是被下Edie河谷的深削作用移走的。靠近穹丘边缘的角砾岩是一种碎屑支撑的单质角砾岩,它由对径至少有2m的非气孔英安斑岩块体(图5F)组成。从穹丘向外碎屑的粒径减小,火山

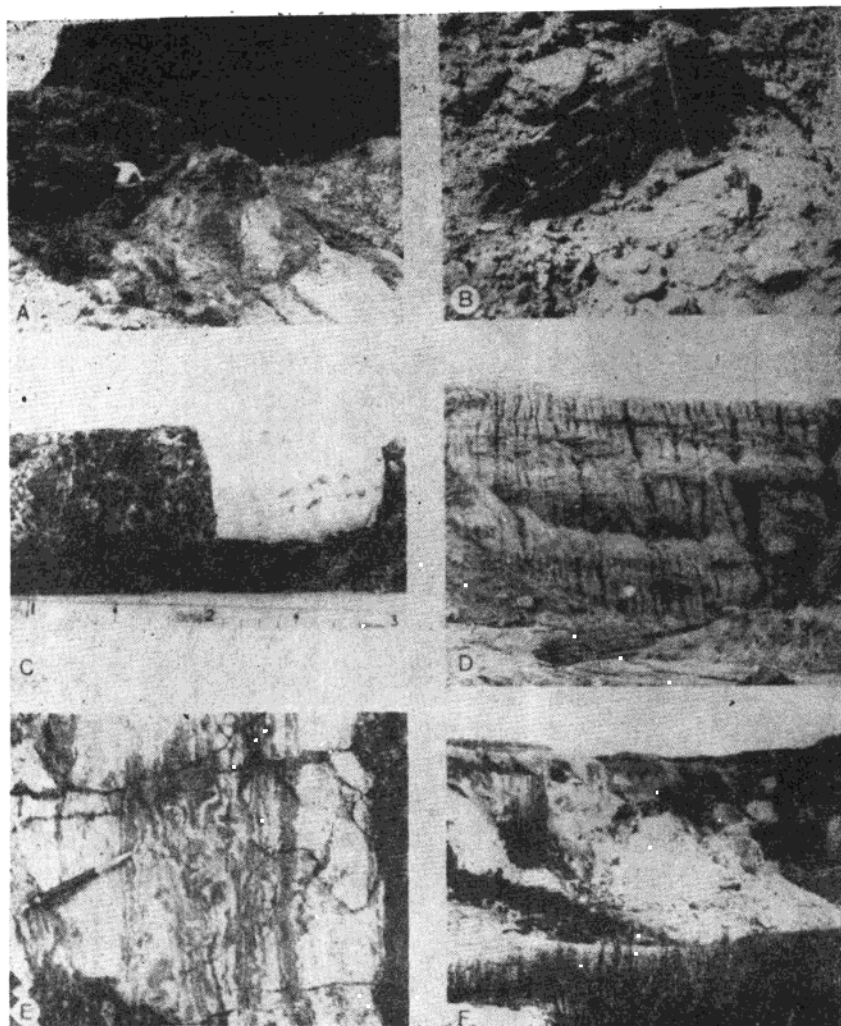


图 6 巴布亚新几内亚 Wau 金矿床的某些附加性地质特征

A—内低平火口序列（浅色）内发育的低角度强烈剪切带，位于 Golden Ridges 主滑块东侧的水热喷发角砾岩（暗色）之下。B—Golden Peaks 河湖相沉积地层中的部分已黄铁矿化的木块。C—Upper Ridges WD-14 钻孔（102 m）交切 Namie 角砾岩的水热角砾岩中的方解石-锰方解石脉物质碎块。比例尺的每一小格等于 1cm。D—Golden Ridges 的层状水热喷发角砾岩。E—Upper Ridges 含金方解石-锰方解石-石英脉中壳状条带。F—Golden Peaks 露天采坑坍塌阶地出露的内低平火口序列中发育的蛋白石质二氧化硅层

灰基质的份额增加，在这一方向上还有内低平火口序列的外来碎屑组分夹层。从低平火口周边穹丘中喷出的火成碎屑岩尚未被证认出来。地质图上 Golden Peaks 东部的火山灰流凝灰岩是外来滑动岩块的一部分。

我们在 Wau 地区的工作业已证明内低平火口序列之中（尤其是覆盖在此序列之上的）外来滑移岩块的重要性。已证实的滑移岩块绝大多数都是 Kaindi 千枚岩组成的，部分为 Namie 角砾岩所覆盖。在地表上测得的最大滑移岩块达 $500 \times 450\text{m}$ （图3），有一处显露的

厚度有120m (图4)。它们是Golden Ridges和Golden Peaks地区所有已开采金矿的重要来源。这些Kaindi变质岩系-Namie角砾岩岩块明显地来源于Upper Ridges。根据Kaindi与Namie界线的位置和断层的类型,可以大致定出它们的原始位置来(参见下文,图8)。由于低平火口形成于陡峭的山坡上,其西壁(在Upper Ridges之下尚有部分保留,见图3,4)很可能是最不稳定的,因而是滑移岩块的主要来源地。但火口壁的其它部分也可能发生过滑坡,我们在Golden Peaks东部见到的Bulolo熔结凝灰岩岩块以及在Koranga北部见到的Otibanda建造岩块(图3和4)就是证明。滑坍岩块离开不稳定的火口壁而沉陷到低角度断层上的低平火口之中,实际上存在于滑移岩块之下的挤压带和剪切带(图6A)是这一低角度断层的标志。

目前还很难把内低平火口序列与前人的地层系统等同起来,但它似乎相当于Rebek (1975)的早期火山岩系列,部分很可能相当于Dow等(1974)的Koranga火山岩和Fisher和Branch (1981)的Koranga火口的火山产物。

晚期沉积作用

低平火口基本形成之后,Wau地区发生过两期河流沉积作用。早期和在地形上比较高的沉积作用以一系列剥蚀外露层为代表,其厚度至少有50m,它们是一条或多条河槽和一个小湖(图3)的残积物。河道切入内低平火口序列,并为含大量Kaindi变质岩(包括含石榴石的片岩)和Morobe花岗闪长岩碎屑的砾岩所充填,故而一般认为它们是来源于外流水系的产物。在Golden Peaks地区(图3),该沉积单元由层理较好的砾岩、砂岩和泥岩组成,它们是一条或多条河流汇入低平火口北部一个小湖后快速沉积下来的。河湖相岩层的主要残余露头存在平卧褶皱并被北东向断层所横切。虽然这两种构造的成因尚无定论,但它的位置是沿Bulolo熔结凝灰岩外来岩块的前缘分布,表明它们是极晚期的岩块滑动形成的。含有蛋白石的酸性淋滤岩石碎屑的存在证明河湖相岩层是在蚀变作用和矿化作用之后形成的。河湖相岩层的明显特征是夹有大量搬运来的木头块,某些部分已黄铁矿化(图6B)。长达数米的树干、树枝和树叶都能见到。散布于该单元中的一种土状但属显微晶质的暗蓝色矿物,经X射线衍射分析确定为铁的磷酸盐矿物蓝铁矿。所有河槽充填物和河湖相沉积物都在淘洗冲积型砂金矿。联合王国原子能管理局(Harwell)对我们在Golden Peaks地区河湖相岩层中采集的没怎么风化的木头样品进行了放射碳定年测定,结果大于42000年,而42000年为所采用的分析程序的极限值。由于对样品的古老程度持特别谨慎的态度,其最低年龄宁可取34000年,这个数字是早先堪培拉澳大利亚国立大学测定同一地区木头样品所得出的结果(H. A. Polach, 见Fisher和Branch, 1981)。

上Edie河谷地区也存在类似的河湖相地层序列。这套系列为现今水系所穿切。它也富含木质材料和零星分布的蓝铁矿,并持续提供丰富的砂金。从该单元采集的木头也因为年代太老而无法采用放射碳方法定年,它也和Golden Peaks地区的河湖相岩层一样,提供的最小年龄大于42000年。

比较年青的第二套河湖相序列也正在进行其砂金含量的调查。这套序列广泛分布于低平火口的东部和东南部(图3),于该处构成广阔的山麓冲积扇。山麓冲积扇的形成是由于沿北西向断层带的重新隆起,而现今的水系又穿切这个冲积扇。

水热角砾化, 金矿化和蚀变

水热角砾化

通过地质填图在Wau地区的Upper Ridges、Golden Ridges和Golden Peaks三个金矿化中心以及Koranga火口区(图3)发现了若干个角砾岩体, 它们与Namie角砾岩有着明显的区别。然而前人并未将这三个地区的角砾岩体与Namie角砾岩区别开来。至于Koranga火口区的角砾岩, 要不是根本未鉴别出来, 就是将其看作是火山角砾岩了。

Upper Ridges、Golden Ridges和Golden Peaks地区角砾岩的原始分布范围已因露天采矿而大大减小, 但根据现存的残余体(图3)、老记录以及最近金刚石钻探结果等仍然可以推断出其总体的几何形状来。根据总体几何关系可以将角砾岩进一步细分成块状交切角砾岩体和弱层状空落相角砾岩堆积。在Golden Ridges和Golden Peaks这两种角砾岩都有, 但在Upper Ridges只能辨认出交切角砾岩, 在Koranga火口则只有空落角砾岩。

分布在Upper Ridges、Golden Ridges和Golden Peaks地区的这两种角砾岩都很相似, 其典型特征是石化性差。它们是棱角到磨圆状Namie角砾岩和Kaindi变质岩碎屑, 以及泥质且常常是塑性的基质的杂乱组合。含金的方解石、锰方解石(大多数已氧化成锰氧化物)和石英碎屑约占两种角砾岩体积的百分之五(图6C)。Koranga火口角砾岩在岩性上有所不同, 它含有大量内低平火口火成碎屑岩类、Morobe闪长岩、硅化和黄铁矿化物质(包括木头)的碎块以及塑性泥球。所有这些角砾岩中都含有大小达1m左右的碎块, 但缺少本源(原初)物质。

交切角砾岩是由不规则扁豆体和脉体构成的枝叉体系, 尤其是在Upper Ridges, 这些不规则扁豆体和脉体往往沿一系列缓倾面分布, 有些面明显地属于断层(图3和4)。这些角砾岩体主要横切Namie角砾岩。但局部寓存于Kaindi变质岩系之中。在Upper Ridges, 角砾岩体延深超过100m, 对老记录的重新解释表明在较大的深处角砾岩体变陡并过渡成脉状。空落角砾岩不整合地覆盖在Namie角砾岩之上, 或者以低角度剪切带与Kaindi变质岩系或内低平火口序列分隔开。至少在Golden Ridges, 空落角砾岩厚度可达到60m, 它们由厚层并近乎水平的岩层构成, 分层的根据是不同的碎屑岩性(图6D)。

根据岩性及其几何特征推断, 这种角砾岩被认定为水热成因的。角砾岩的地表薄层被解释为堆积在浅喷口周围的抛射物复合裙的残余体, 浅喷口之内则曾为交切岩体所充填。因而地表薄层可以归类为水热喷发角砾岩(Lloyd, 1959)或者水热爆炸角砾岩(Muffler等, 1971)。为了和新西兰大多数研究者目前的习惯用法(如Hedenquist, 1983)相一致, 本文沿用前一个名称。Muffler等介绍的怀俄明黄石公园地热区的实例以及新西兰北岛Taupo火山带地热系统的类似产状(Lloyd, 1959; Cross, 1963; Nairn和Wiradiraaja, 1980; Hedenquist, 1983)都是在近15000年内形成的, 而且观察到过某些水热喷发角砾岩的形成过程。这些角砾岩是浅层水热喷发形成的, 它使抛射物堆积在范围确定的水热喷口周围, 这些喷口的直径由几十米到大于1km, 深度则可达到100m。

在Golden Ridges和Golden Peaks地区, 水热喷发角砾岩局限于滑坡岩块中的Namie角砾岩和Kaindi变质岩, 而且它不含任何来自内低平火口序列的外来碎屑和下部的火成碎