

经济地质

75 卷 第七期

美国

ECONOMIC GEOLOGY

and

the Bulletin of the Society of Economic Geologists

1980

(十一月)

地 质 出 版 社

美国《经济地质》

中译本、半季一期

1980年11月

75 卷 第 7 期

编辑者：美国《经济地质》中译本编辑部
出版者：地质出版社
(北京西四)

印刷者：地质印刷厂
(北京安德路47号)

发行者：新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

统一书号：15036·新738 定价：1.00元 开本：787×1092¹/₁₆ 印张：8.5 字数：204,000

《经济地质》第 75 卷第八期目录

(预告)

- 科罗拉多州 Henderson 辉钼矿矿床云母中的氟
希腊北部 Chalikdiki 半岛 Voydos 地区隐晶质菱镁矿矿床的岩石学及成因
印度拉贾斯坦邦 Saladipura 硫化矿石的演化
密苏里州中部和东南部重晶石矿床中的矿化流体的性质
印度 Udaipur 与 Jhabua 前寒武纪 Aravalli 磷块岩矿床的岩石学、矿物学、地球化学及其成因
墨西哥圣路易斯波托西州的 Las Cuevas 萤石矿床的地质和地球化学
蒙大拿州 Butte 区早期高温矿化带的古地磁纪要
科学通讯:
大奴湖东支的热液成矿作用的矿物学和共生组合
伊利诺斯州南部岩石凹陷区整个矿物沉积系列的流体包裹体均一化温度
伊拉克一些海相沉积磷灰石的碳和氧同位素成分
秘鲁北部 Turmalina 矿山含 Cu-Mo 角砾岩筒的矿物学和汽液包裹体研究
书 评:
“热液矿床的地球化学”

重 要 更 正

《经济地质》中译本 75 卷第二期 (1980 年 3—4 月)
“贵金属脉状矿床银-锑 砷矿物中的流体包裹体”一
文的译者应为燕永恒同志, 因排版上的错误, 我们未

能及时发现误为州燕永, 特此更正, 并向译者致歉。
《经济地质》中译本编辑部——

目 录

科罗拉多州 San Juan山西部 Lake City 矿区的多期脉状矿床	J. F. Slack (1)
澳大利亚昆士兰东部 Mount Chalmers 火山成因的硫化矿床	R. R. Large 和 R. A. Both (25)
田纳西州 Ducktown 矿体中及其周围的硫化物、氧化物和石墨的变质分带	B. E. Nesbitt 和 W. C. Kelly (40)
西格陵兰中部 Black Angel 矿山块状硫化矿石的再活化	F. D. Pedersen (50)
上沃尔特 Oursi 地区含钼磁铁矿矿床	H. Neybergh, D. Laduron, H. Martin 和 J. Verkaeren (67)
危地马拉 Oxec 矿床: 蛇绿岩铜矿	J. U. Petersen 和 H. Zantop (76)
日本西南部 Fujigatani 矿山的矽卡岩型钨矿床	K. Sato (87)
印度 Andhra 邦 Koduru 与 Garbham 锰矿床的矿物学	C. Sivaprakash (101)
科学通讯	
角砾岩管中流体化与蒸汽岩浆爆裂之争	J. A. Wolfe (121)
参考文献目录	(125)
第八期目录 (预告)	(封三)

科罗拉多州San Juan山西部Lake City矿区的多期脉状矿床

摘 要

自1874年以来,科罗拉多州San Juan山西部Lake City矿区的多金属脉状矿床已经生产了价值约一千二百万美元的Ag、Au、Pb、Zn和少量的Cu。在年龄为22.5百万年的Lake City破火山口的北侧、东北侧和东侧的弧形带上,矿脉穿切于中性和酸性的第三纪火山岩中。这些矿脉一般宽0.5至1.6米,长达2000米,填充在位于Lake City破火山口的环形断层外围以及更早的(28百万年)Uncompahgre破火山口破沟区内呈陡倾斜($\geq 60^\circ$)的放射状、横向和同心圆状的破裂和断层中。普遍见有张开空间填充(分带、结壳、晶簇)的证据。矿脉中的矿石矿物和脉石矿物多次发生角砾岩化,并且为其他矿物所愈合,这种复合构造充分证明发生过多期矿物沉淀作用。围岩蚀变通常为石英-绢云母-黄铁矿,在水平方向上向外过渡到受成矿前区域绿帘角闪岩作用影响的岩石。

在矿脉中有两种不同的矿物组合:较早的石英-贱金属组合(QBMA)和较晚的重晶石-贵金属组合(BPMA)。石英-贱金属组合,只产于Lake City破火山口北侧的破裂和断层的脉中,脉中所含的矿物有:黄铁矿、没有条带的绿色或黄色闪锌矿(≤ 0.8 克分子% FeS)、方铅矿、黄铜矿、少量的黝铜矿-砷黝铜矿、稀少的毒砂、赤铁矿及石英脉石中的金,及通常含量较少的菱锰矿及微量锰三斜辉石、方解石、绢云母和萤石。在该矿区产量最大的Ute-Ulay矿山,该组合可以分成4期(从老至新):Ia,早期石英-黄铁矿;Ib,条带状石英-硫化物矿石;Ic,块状菱锰矿;Id,晚期石英-碳酸盐-萤石。在这个矿区范围内,石英-贱金属组合从环形断层向外表现出同心圆状的矿物分带,从石英-黄铜矿内带,通过中间的混杂带,过渡到碳酸盐-黝铜矿外带。沿Ute-Ulay矿山1公里长的Ute-Hidden Treasure脉系,矿物的分带性在水平方向最为明显:靠环形断层最近的西南端为石英和硫化物,而在其东北端则为块状菱锰矿、绢云母和黝铜矿。

重晶石-贵金属组合(根据交切结构和热液淋滤模式来看它晚于石英-贱金属组合),填充于该破火山口的东北侧和东侧的放射状破裂和断层中。重晶石-贵金属组合的矿石矿物包括:黄铁矿、富Ag黝铜矿、方铅矿、具明显条带的红褐色闪锌矿(≤ 3 克分子% FeS)、黄铜矿、各种Ag-Cu-Pb硫酸盐、微量毒砂、稀少的赤铁矿和磁铁矿、沥青铀矿、银金矿,局部还发现有含Au-Ag的碲化物。脉石矿物中的脉石矿物为重晶石、石英(通常为条带状的似碧玉)、少量菱锰矿及稀少的绢云母和粘土矿物。主要的矿物共生分为:Ila期,重晶石-硫酸盐矿石;I Ib期,含Au-Ag碲化物矿石;I Ic期,晚期重晶石-玉髓。垂直分带尤其显著,在较高层位,重晶石、黝铜矿和碲化物比较丰富。

对整个矿区许多矿脉中的矿物均作了流体包裹体研究。所有观测过的包裹体,都是单纯的液-气型,而没有不混溶的液态 CO_2 或子矿物。对石英-贱金属组合中的石英、闪锌矿和萤石中的包裹体进行了加热和冷冻的详细研究表明,在Ute-Hidden Treasure脉系带,包裹体的均一温度($260^\circ\text{--}186^\circ\text{C}$)和盐度($\sim 4\text{--}0.1$ /重量% NaCl)总的来说在时-空方面是逐渐降低的。重晶石-贵金属组合中的石英和闪锌矿,只含有原生富液和富气包裹体,在Ute-Ulay矿山这些包裹体的温度为 $208\text{--}385^\circ\text{C}$,盐度为相当于重量 $1.3\text{--}12.4\%$ NaCl。这些包裹体资料说明,重晶石-贵金属组合的流体是在 $\sim 250^\circ\text{C}$ 、450米深、静水压大约为40巴的情况下发生沸腾的。脉中流体的减压或不可逆绝热膨胀可能是在收缩的情况下发生的,在这些矿脉中重晶石-贵金属组合切割过并填充于较早的石英-贱金属组合的破裂中。

对矿石沉淀环境的估价说明,石英-贱金属组合和重晶石-贵金属组合是在大致类似的地球化学条件下形成的。矿物的稳定性关系和闪锌矿中的Fe含量,把石英-贱金属组合和重晶石-贵金属组合主要部份的形成条件限制在黄铁矿稳定场以硫酸盐为主的部分,在 250°C 下 $\Sigma\text{S}=0.01\text{m}$ 和 $\text{pH}=4.5\text{--}5.7$ (绢云母稳定)。在重晶石-贵金属组合形成过程中,这种环境发生了微小的偏离,包括在高岭石-白云母边界偏酸性一边早期似碧玉的形成以及在黄铁矿-赤铁矿-磁铁矿三相点附近局部沉淀的主期矿石。富石英组合与富重晶石组合在矿物成分上的明显差异以及它们形成时在地球化学环境上的相似性说明,沉淀出它们的热液流体原来的总成分是不同的。

综合野外和实验室研究,说明这两种矿物组合是由 Lake City 破火山口旋迴期间单独产生的两种热液体系形成的。产有石英-贱金属组合的破裂,最早是在 27.5 百万年前 Uncompahgre-San Juan-Silverton 破火山口再次呈半圆形隆起的时候张开的,而后可能在 22.5 百万年前 Lake City 破火山口复活时,与花岗斑岩体侵位的同时再次活化并发生了矿化。在该破火山口旋迴的晚期,沿环形断层带东部侵位的 Red 山岩颈穹窿开始产生了一个热液体系,该热液体系便沉淀出了较晚的重晶石-贵金属组合。Lake City 破火山口在 San Juan 山的火山灰-岩流破火山口中是独一无二的,因为在这个破火山口中发生了在时间和空间上与破火山口旋迴本身有密切关系的蚀变和矿化。

前 言

科罗拉多州西南、新墨西哥州北部的 San Juan 山长期以来一直被认为是整个落基山地区蚀变和矿化最为强烈的地区之一。这里的金属矿床既有贱金属又有贵金属矿脉、浸染体、交代体、管状和筒状矿石。主要产量来自 San Juan 山西部,自 1874 年以来已生产了总计约 7 亿美元以上的 Ag、Au、Pb、Zn 和 Cu (Marsh 和 Queen, 1974; 美国矿业局矿物年鉴, 1972—1976)。

近年来对 San Juan 山矿床研究的重点主要集中在热液活动与火山灰-岩流破火山口构造及破火山口形成后的侵入事件的时空关系上。(Steven 等 1974; Lipman 等, 1976; Bethke 等, 1976)。其他的研究者(Casadevall 和 Ohmoto, 1977; Barton 等, 1977)详细地考察了这些特殊脉系的地球化学历史。本报告论述了 Lake City 矿区的多期脉状矿床的地质和地球化学环境以及这些矿床与晚渐新世和中新世两个破火山口旋迴演化的关系。

自 1874 年以来, Lake City 矿区*已经生产了价值一千二百万美元的 Ag、Au、Pb、Zn 及少量的 Cu 和 U (Henderson, 1926; Vanderwilt, 1947; del Rio, 1960; Marsh 和 Queen, 1974)。产量最高的年度是 1876—1910 年以及 1952 年。近年来进行了一些零星的采矿活动,并且仅限于偶而的开发工作和少数矿床的少量开采。

来自多金属脉状矿床的矿石,几乎构成了该矿区的整个产量,从 Lake City 以西的流纹斑岩侵入体内及其周围的次生硅钙铀矿中已经开采了少量(<100 吨)铀(Steven 等 1977)。附近其他矿床包括强烈蚀变的 Red 山岩颈穹窿,其中的钠明矾石可能是潜在的铝、钾硫酸盐资源(Hall, 1978)以及 Capitol City-Iron Beds-Matterhorn 峰区石英-二长岩侵入体中的微量浸染状 Cu±Mo 矿化(Slack, 1976; Steren 等, 1977)。Lake City 东南 4 公里 Golden Wonder 矿山的侵入火山角砾岩墙中的贱金属和贵金属矿石与该区的任何裂隙脉都不相同。这些矿石的构造和矿物成分与 Silverton 附近 Red 山矿区的管状和筒状矿床有许

多相似之处 (Burbank, 1941; Fisher 和 Leedy, 1973)

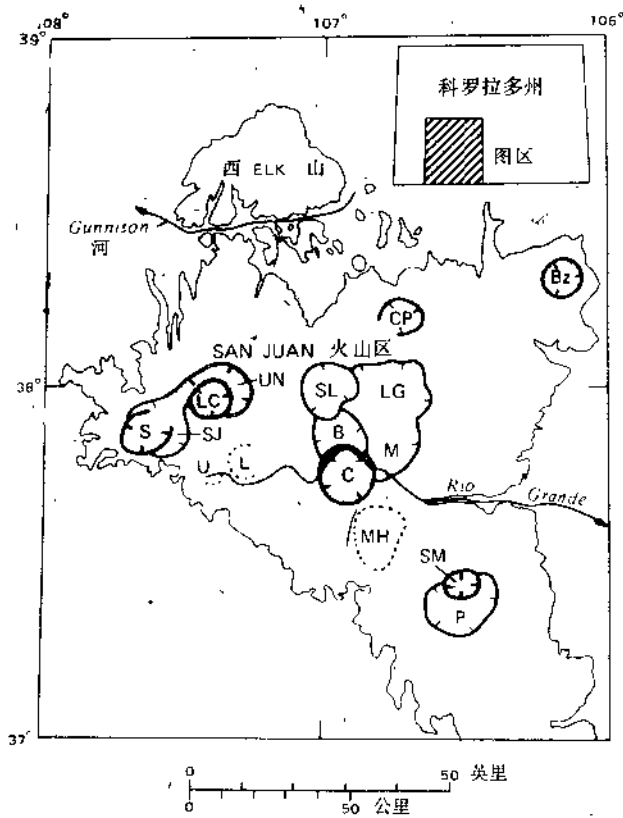
区域地质背景

San Juan 山是一个巨大的大陆火山区(其时代主要为中第三纪)的剥蚀残留体。目前在科罗拉多州东南和新墨西哥州北部,这里覆盖面积约为 25000 平方公里(图 1)。Lake City 矿区位于科罗拉多矿带的西南端附近 San Juan 山西部的 Hinsdale 县。附近的重要矿区有东边 40 公里的 Creed 矿区以及西南各为 25 公里和 35 公里的 Sunnyside 和 Idarado-Camp Bird 矿区。Larsen 和 Cross (1936)、Lipman 等 (1970)、Steven (1975)、Steven 和 Lipman (1976) 和 Lipman 等 (1978) 对该区的地层、构造和岩石学问题都有过论述。

火山活动大约开始于 35 百万年前,形成了分散的安山质成层火山,从这些火山喷发出来的主要是中性岩石和角砾岩,以及火山碎屑沉积夹层,组成了 San Juan 火山区岩石总体积的三分之二。在大约 30—26 百万年前,至少有 15 个破火山口喷出了大量的酸性火山灰-岩流凝灰岩, Luedke 和 Burbank (1968) 及 Lipman 等 (1973) 曾对 San Juan 山西部的破火山口进行了叙述而 Ratté 和 Steven (1967)、Steven 和 Lipman (1968) 及 Lipman (1975) 则讨论了 San Juan 山中部和东部的破火山口构造。

大约在 23 百万年前,随着广泛的碱性橄榄玄武岩及局部的硅质碱性流纹岩流和熔结凝灰岩的侵位,火成活动的性质发生了变化。这些不同的岩石属于 Cross 和 Larsen (1935) 所划分的 Hinsdale 组,而且在 San Juan 区的演化过程中留下了一个明显的构造-岩石间断。Lipman (1969) 及 Lipman 和 Mehnert (1969, 1975) 认为这个间断与东部的 Rio Grande 裂谷带的初始发育有关。从早期的中性熔岩和酸性火山灰-岩流凝灰岩特有的钙-碱性岩系变化到都是玄武岩-流纹岩的双峰(bimodal)组合,这一变化大致是与美国西部大

* 为简便起见,这里把拥有该区所有重要矿山的 / Galena (Henson 河) 区和 Lake (Lake San Cristobal) 区 (Burbank 和 Luedke, 1968, 图 3) 统称为“Lake City 矿区”。



图例

已知或易于推断的破火山口

具有大的伴生矿床的破火山口

掩埋的破火山口

图 1 San Juan 火山区破火山口的位置图
(据 Steven 等, 1974)

S, Silverton; LC, Lake City; CP, Cochetopa Park; Bz, Bonanza LG, La Garita; SL, San Luis; B, Bachelor; C, Creede; MH, Mount Hope; P, Platoro; SM, Summitville; L, Lost Lake; U, Ute Creek; SJ, San Juan; UN, Uncompahgre; M, Mammoth 山破火山口全区

部分地区在晚第三纪时地壳开始扩张同时发生的 (Christiansen 和 Lipman, 1972)。

Lake City 区的地质

Lake City 区的地质受渐新世和中新世引人注目的火山构造控制。主要的地质特征有, (1) 成分为中性的早期成层火山; (2) 上渐新世的 Uncompahgre

破火山口; (3) 中新世的 Lake City 破火山口及 (4) 渐新世和中新世不同岩性的侵入岩。第三纪地质和热液活动历史概括于表 1 中。

早期的成层火山

最早的火成活动可以以四个经详细研究过的安山质成层火山, 即 Larson、Cimarron、上 Cow Creek 和 Carson 火山中心为代表 (图 2)。这些独立的火山及具有岩墙群是在大约 35—30 百万年前渐新世时形成的。它们只有在 Uncompahgre、破火山口的围墙地形 (the topographic wall) 外面才保留下来, 形成时间早于 Uncompahgre 和 Lake City 破火山口。在 Silverton 破火山口附近的 San Juan 山的最西部, 这些早期中性火山岩之下为古生代和中生代沉积岩台地。在 Ouray 附近的 Uncompahgre 高地东部 (Baars 和 Knight, 1957), 这些地层缺失, 不知是剥蚀所致还是根本就没有沉积的缘故。在 Lake City 区, 前第三纪的基底据推测大都是由前寒武结晶岩构成的。

破火山口形成前火山作用早期形成的岩石主要是: 碱性安山岩、流纹英安岩及镁铁石英安粗熔岩 (夹有火山碎屑泥岩流)、角砾岩和集块岩。这些岩石在成层火山的周围形成了碎屑冲积裙 (Lipman 等, 1970)。同成因的侵入岩包括: 流纹英安岩和安山岩的放射状岩墙及火山核部颗粒较粗的二长岩岩颈 (Lipman, 1976b; Johnston 和 Naeser, 1976)。

Uncompahgre 破火山口

Uncompahgre 破火山口 (图 2 中插图) 是在大约 28 百万年前当 Sapinero Mesa Tuff 的流纹质火山灰-岩流呈火成碎屑大规模喷出时形成的 (Lipman 等, 1973)。与此同时, 附近的 San Juan 破火山口发生了塌陷, 与 Uncompahgre 破火山口一起, 形成一个变形的哑铃状洼地。这个洼地以前叫做 San Juan 火山洼地 (Luedke 和 Burbank, 1968)。Sapinero Mesa Tuff 分成两个主要单元: Eureka 段和 Picayune Megabreccia 段。Sapinero Mesa Tuff 的 Eureka 段是一个复合冷却单元, 由含有石英、透长石和黑云母斑晶的部分至完全熔结的流纹质火山灰-岩流凝灰岩组成。Picayune

表 1 Lake City区第三纪地质和热液活动的历史

时 代 (百万年前)	火 山 构 造 事 件	破裂或断层张开区	热 液 蚀 变	矿 化
18.5	破火山口形成后流纹质侵入岩的侵位	侵入接触带附近的小破裂	无	少量次生U
22.5	晚期环形破裂火山作用; Red山岩颈穹窿侵位	Red山附近的放射状破裂; 其他脉 (Ute-Hidden Treasure) 重新张开	垂直分带: 深部为石英-绢云母-黄铁矿, 浅部为石英-绢云母-黄铁矿-粘土矿物 (钠明矾石)	主要脉矿石; 重晶石-贵金属组合
22.5	Lake City破火山口再次呈半圆形隆起, 核部花岗岩侵入体及环形岩墙侵位, 尖形(apical)地堑形成	横向的 Henson 河破裂和断层的再活化	脉体附近为石英-绢云母-黄铁矿, 平行于脉呈水平分带	主要脉矿石; 石英-贱金属组合
22.5	Sunshine peak Tuff 岩石喷出; Lake City破火山口塌陷	直径为10—15公里的椭圆形环状断层	未见报道	未见报道
25.7	破火山口内二长岩侵入体的侵位	侵入接触带附近的小破裂	围岩中的石英-绢云母-黄铁矿-粘土矿物	次要的石英-黄铁矿脉
~27.5	Uncompahgre San Juan 和 Silverton 破火山口整个地区再次呈半圆形隆起, Eureka地堑形成	横向 Henson 河破裂和断层 (Ute-Hidden Treasure)	广泛发生绿盘岩化	次要的石英-黄铁矿脉
~27.5	Crystal Lake Tuff 岩石喷出, Silverton 破火山口塌陷	10—20公里宽的椭圆形环状断层带 (多次间断)	未见报道	未见报道
28—26	火山岩和沉积岩填充壕沟区洼地	未见报道	未见报道	未见报道
28	Sapinero Mesa Tuff Eureka段喷出, Uncompahgre和San Juan破火山口塌陷	环状断层带, 现在已被掩埋	未见报道	未见报道
~32—30	二长岩侵入体侵入成层火山核部	放射状岩墙群及有关破裂	早期绿盘岩化, 晚期石英-绢云母-黄铁矿-粘土矿物	次要的石英-重晶石-硫化物脉
~35—30	初始火山活动, 早期安山质成层火山形成	放射状岩墙群及有关破裂	可能发生绿盘岩化	未见报道

Megabreccia 段, 一般 Eureka 段之下 (Lipman, 1976b), 是破火山口形成前岩石的一种杂乱组合, 主要是发生了绿盘岩化的中性成分的岩流。这个段是在 Uncompahgre-San Juan 破火山口最初喷发火山灰-岩流的时候由于 Uncompahgre 破火山口的壁过陡而发生滑塌所造成的 (Lipman, 1976a)。Uncompahgre 破火山口在塌陷之后再次呈半圆形隆起形成的壕沟, 为当地的熔岩和沉积岩及 San Juan 山中部的活火山口喷出的火山灰-岩流凝灰岩所填充。在 Eureka 段的上面为流纹英安岩、石英安粗岩和安山岩流, 并夹有在以前的低地形内保存下来的湖相火山碎

屑沉积岩。体积较小的火山灰-岩流凝灰岩, 包括 27.8 百万年前的 La Garita 破火山口喷出的 Fish Canyon 凝灰岩、Crystal Lake 凝灰岩 (Silverton 破火山口, 27.5 百万年前) 和 Carpenter Ridge 凝灰岩 (Bachelor 破火山口) 覆盖在当地的熔岩和沉积岩之上。

大约 27.5 百万年前当 Silverton 破火山口塌陷之后, San Juan 破火山口与 Uncompahgre 破火山口之间的连接部分再次呈半圆形隆起, 形成了北东走向的张性破裂, 统称为 Eureka 地堑 (Burbank 和 Luedke, 1969)。显著的破裂和相对位移达 0.5 公里的断层, 从 Silverton 破火山口中心附近向东北延伸到 Lake City

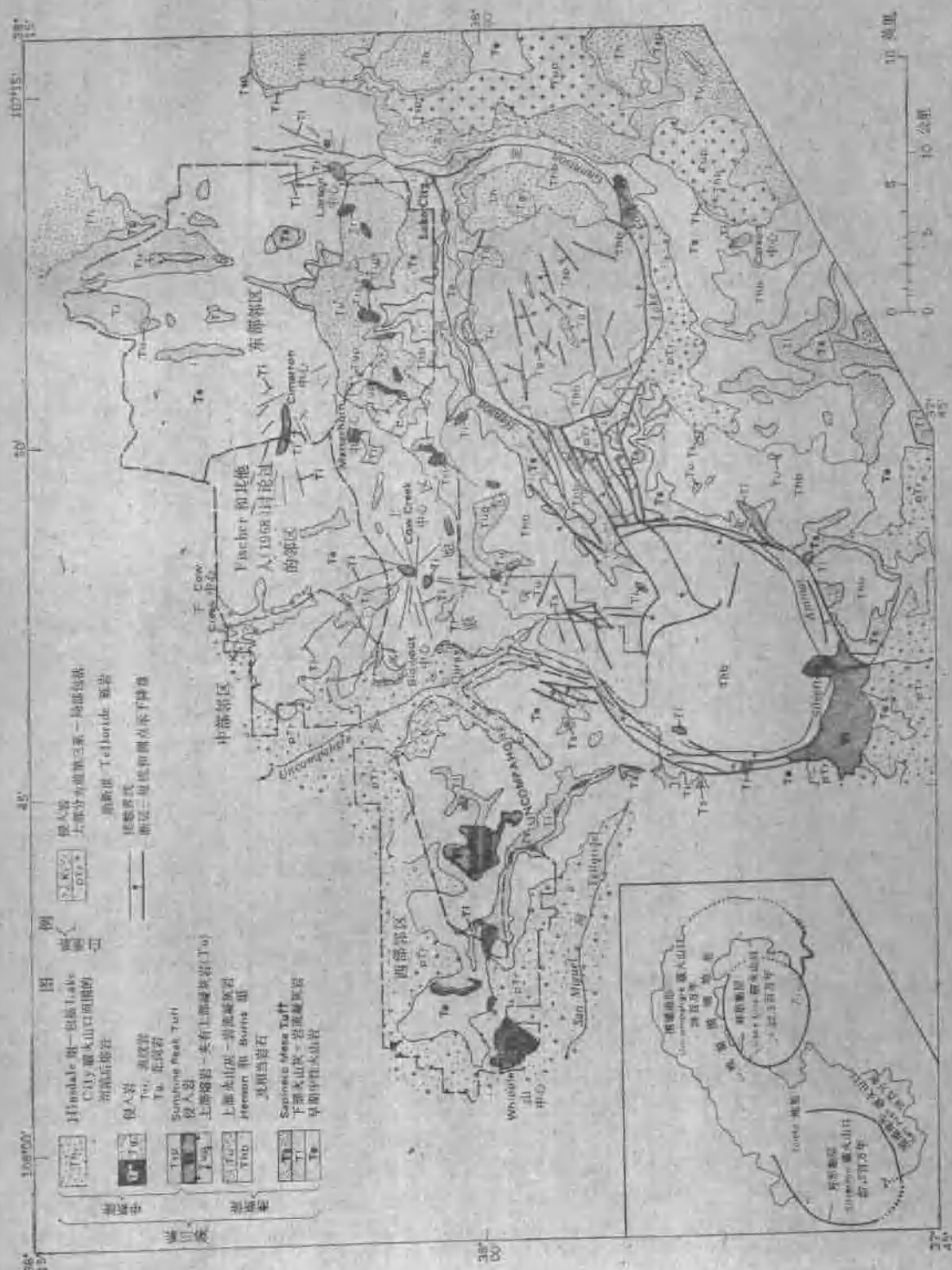


图 2 San Juan 山西部地质图
(据 Steven 等, 1977 修改)

地质图 Lipman 等 (1973) 修改。Uncompahgre 原始区由 Fischer 等 (1968) 描述过, 西部、中部和东部地区由 Steven 等 (1977) 和 Fischer (1988) (1968) 描述过

破火山口的环形断层, 然后由于在较晚的破火山口塌陷时发生了坍塌而突然终止。沿 Henson 河分布的少量破裂和断层有的也具有类似的走向, 看来是 Lake City 破火山口环形断层北面所保存下来的 Eureka 地堑的延伸部分。

Lake City 破火山口

Lake City 破火山口形成于 22.5 百万年前, 与 Sunshine Peak 凝灰岩的喷出时间相同 (Mehnert 等, 1973; Lipman 等, 1973)。Lake City 破火山口的明显环形断层, 圈出了直径为 10—15 公里的椭圆形地块, 位于较早的 Uncompahgre 破火山口内 (图 2)。与 Silvorton 破火山口的复合环形破裂相反, Lake City 破火山口的环形断层是一条直立向内陡倾的断裂。除了破火山口的东侧之外, 在围绕该破火山口的大约 300° 弧上都有出露。在火山碎屑喷出期间及随后不久, 过陡的破火山口壁发生坍塌, 形成了与在较早的 Uncompahgre 和 San Juan 破火山口中所见到的角砾岩相类似的杂乱的塌陷角砾岩 (Lipman, 1976a)。

粘性熔岩和穹窿形硅质石英安粗岩, 是在破火山口塌陷之后不久从沿环形断层东边的裂口喷出来的。大约与此同时, 开始再次发生半圆形隆起, 形成一个大致为东北—西南走向的尖形地堑, 表明较早的 Eureka 地堑又重新活化 (Lipman 等, 1973)。这个再生侵入体的顶部在切割很深的破火山口的核部局部出露, 在这里它形成了浅位粗粒花岗岩斑岩岩株。该破火山口东侧的突出地形特征——Red 山, 就是一个石英安粗流穹窿, 是在其再次隆起期间或以后不久通过环形断层喷发出来的 (Steven 等, 1974; Lipman, 1976b)。

侵入岩

石英二长岩和安粗岩 最早的侵入岩主要是在 Lake City 破火山口西北侧的 Capitol City—Iron Beds 区发现的复合石英二长岩和安粗岩斑岩 (Ti, 图 2)。在该破火山口的东南侧, 也见有这种类型的大带状侵入体。在 Uncompahgre 破火山口的壕沟区内, 这种石英二长岩和安粗岩交切了熔岩、沉积岩和火山灰—岩流凝灰岩。侵入岩周围的明显蚀变晕, 由于 Lake City 破火山口的围墙地形而突然终止, 显然表明蚀变发生于 22.5 百万年前。从 Capitol City 的一个侵入体分离出的黑云母, 其 K—Ar 年龄为 25.7 ± 1.1 百万年 (H. H. Mehnert, 出面通信, 1976); 从同一地区得到的两个锆石及从 Matterhorn 峰的斑岩中分离出的一个锆石, 经裂变径迹方法测定年龄为 $21.1 - 23.3 \pm 2.2$ 百万年 (Johnston 和 Naeser, 1976)。这些锆石年龄可

能受到了 Lake City 破火山口形成时伴随的火成活动产生的热的影响。因此, 人们偏向于用较老的年龄 (表 1)。

无论是石英二长岩还是安粗岩都含有斜长石、黑云母、正长石及镶嵌在石英—长石基质中的少量石英斑晶。这种安粗岩的特点是斑晶总含量较少 (<20%), 而细基质致密, 并含有少量 1—10 毫米的晶洞, 晶洞边缘为粉红色的 K—长石和石英。与安粗岩伴生的石英二长岩, 具有冷却的接触边, 并显示出切割较早安粗岩的特征。这种安粗岩的粒度、结构及分布表明, 它代表了可能是在 Uncompahgre 破火山口旋回的衰退阶段侵入的二长岩浆体系的早期火山口相。

石英安粗岩 石英安粗斑岩的不规则岩颈和板状具有流动条带的岩墙 (图 2 中未示出) 位于 Lake City 破火山口的东北面, 在这里它们侵入于填充 Uncompahgre 破火山口的岩石中。灰色—栗灰色石英安粗岩含有斜长石、角闪石、黑云母及少量石英、透长石斑晶, 这些斑晶嵌于由脱玻石英和长石组成的微晶质基质中。在岩石学方面, 这些岩石与 Red 山岩颈穹窿相似, 据认为是在大约 22.5 百万年前 Lake City 破火山口旋回晚期形成的。一个例外情况是 Sugarloaf 岩体, 这是 Lake City 正西面, 一个地形上很突出的石英安粗岩岩颈, 其锆石和磷灰石裂变径迹一致年龄大约为 26 百万年 (D. A. Johnston, 口信, 1979), 因此很可能与较老的石英二长岩侵入体有关。

花岗岩 粗粒的花岗斑岩沿北部环形破裂带形成短面粗的环形岩墙, 而在 Lake City 破火山口的核部则形成岩颈 (图 2 中的 Tg)。这种花岗岩含有大的粉红色正长石和少量斜长石斑晶, 这种花岗岩含有大的粉红色正长石和少量斜长石斑晶, 这些斑晶嵌于由细至中粒的石英和微纹长石组成的基质中 (Larsen 和 Cross, 1956, P. 214)。野外关系 (包括随着深度增加粒度变粗) 说明, 这种花岗岩是在大约 22.5 百万年前使 Lake City 破火山口沉陷之后再次隆起的侵入体的结晶顶部 (Lipman 等, 1973)。

流纹斑岩 瓷白色的流纹斑岩 (图 2 中的 Tri) 是 Lake City 区最特征的侵入岩, 其露头明显地屹立于它所侵入的、通常颜色较暗的围岩之中。含有石英、透长石及少量黑云母斑晶的流纹岩构成了岩墙、岩床、岩颈和岩盖。大部分流纹岩都经受了脱玻作用, 形成了石英和碱性长石的微晶质集合体, 只有某些侵入体的边缘是玻基斑状的。经过脱玻作用的岩体内部含有许多气孔, 并填充有紫色萤石、黄玉及一种未鉴定出的纤维状沸石 (Steven 等, 1977)。局部地方次生铀矿物的富集体也很重要 (Lipman 等, 1976;

Steven 等, 1977)。较大的流纹岩侵入体依东西向排列, 可能反映了 Uncompahgre 破火山口的埋藏环形断层的位置 (Steven 等, 1977), 从 East Nellie Creek 侵入体分离出的 K-长石和黑云母的 K-Ar 年龄为 18.5 ± 0.5 百万年 (Lipman 等, 1976), 表明流纹岩的侵位和冷却是在 Lake City 破火山口旋迴之后, 因此与 Lake City 破火山口旋迴没有关系。

脉 系

分布和构造

多金属裂隙脉产于 Lake City 破火山口的北侧、东北和东侧的弧形带上 (图 3)。已填图的脉大多数沿 Hanson 河河谷两岸和 Gunnison 河的 Lake Fork

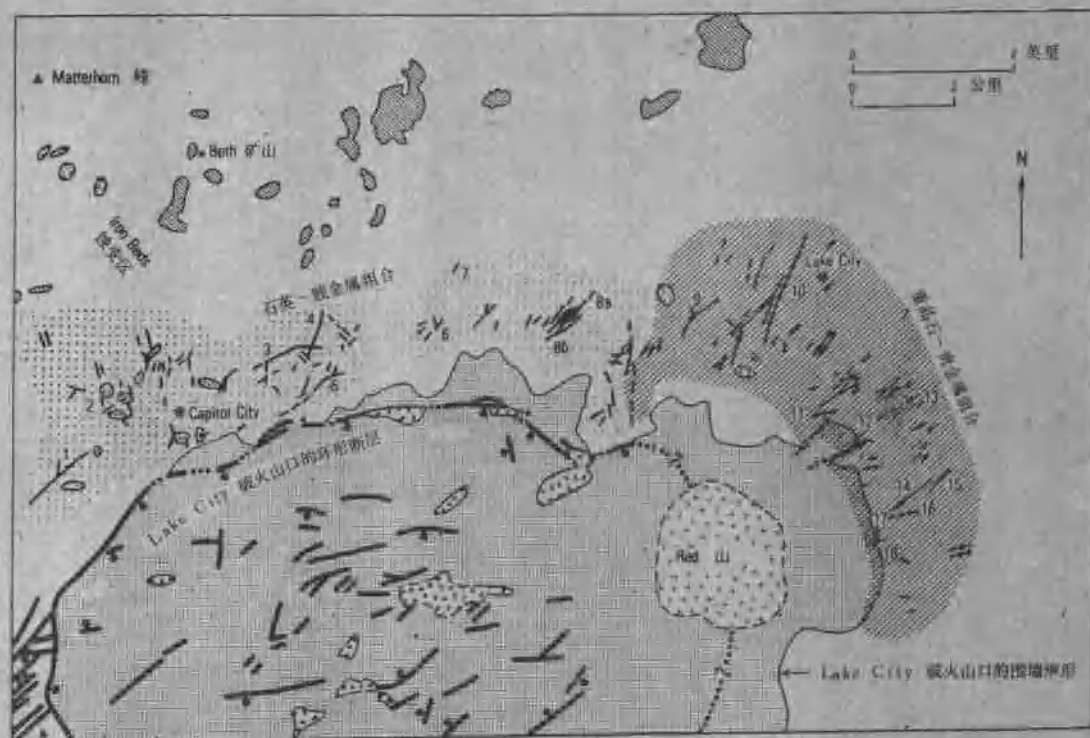


图 3 地质

图 例

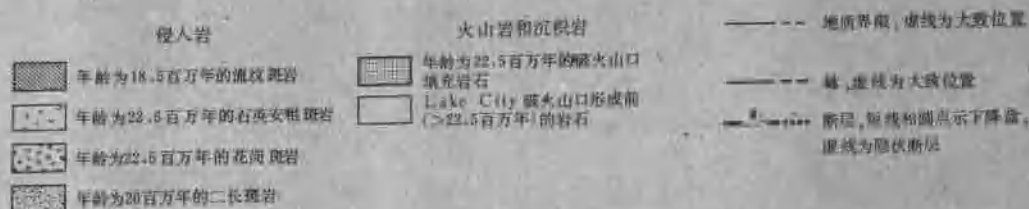


图 3 Lake City 破火山口周围的脉系及矿物组合分布图 (据 Slack 和 Lipman, 1979 修改) 脉名称: 1—Moros; 2—Gallic-Vulcan; 3—Vermont-Ocean Wave; 4—Lellie; 5—Pride of America; 6—Sacramento; 7—Treasure Hill Spar; 8—Ute-Ulay, (a) Ute-Hidden Treasure 脉, (b) Ulay-California 脉; 9—Pelican; 10—Mount Morris; 11—Monte Queen; 12—Garlock; 13—Gold Quartz; 14—Belle of East; 15—Belle of West; 16—Mayflower-contention; 17—Black Crook; 18—Golden Fleece

出露。在从 Lake San Cristobal 至 Burrows Park (White cross) 矿区沿 Lake City 破火山口的南边和西南边显然脉有脉分布。在该破火山口的西北边 Capitol City 的西面, 沿 Henson 河上游断断续续都有脉出露。这样脉属于 Burbank 和 Luedike (1969) 研究过的 Eureka 矿区, 这次我们没有进行考察。

Lake City 附近的裂隙脉, 填充于第三纪火山和火山碎屑沉积岩中呈陡倾 ($\geq 60^\circ$) 的张性破裂和少数的断层带中; 在有些地区, 切割了半深成火成侵入体的边缘。开采的脉几乎毫无例外地都在 Lake City 环形断层的外边, 并都在较早的 Uncompahgre 破火山口的壕沟区内。该破火山口西南边的 Burrows Park 矿区 (Brown, 1926; Krasowski, 1976) 拥有 Lake City 破火山口内的仅有的几条大脉。环形断层本身通常发生广泛的蚀变, 其标志是具有次生的褐铁矿斑点, 但只含有极少的硫化物矿物。

产有脉矿的火山岩, 主要是流纹岩和石英安粗岩流和凝灰岩。最普遍的容矿岩石是 Sapinero Mesa 凝灰岩 (Eureka 段和 Picayune Megabreccia 段) 从体积上来看, 它是沿 Henson 河河谷和 Gunnison 河的 Lake Fork 填充 Uncompahgre 破火山口壕沟区的主要岩石单元。Capitol City 区的小脉, 切割了石英二长岩和安粗岩侵入体的边缘, 局部短距离地延伸到周围的火山围岩中。除了少数硅化破裂带外, 在北面的 Iron Beds-Upper Matterhorn Creek 区类似的侵入岩附近或该破火山口东南侧的大型石英二长岩侵入体附近, 都没有发现有脉存在 (图2)。

这些脉可以按其延伸方向 (Varnes, 1963; Schwarz, 1968) 分成三个基本类型: (1) 放射状, 大致垂直于 Lake City 破火山口的环形断层; (2) 同心圆状, 主要平行于环形断层, 通常朝其凹边向内陡倾; (3) 横向的, 从平面上看弯离该破火山口, 与其他两种类型斜交。放射状脉在该破火山口的东北侧和东侧尤其突出, 在 Monte Queen 和 Gold Fleece 矿山这些脉已经在开采。横向脉通常沿该破火山口北面的 Henson 河分布, 并包括在 Ute-Ulay、Pelican 和 Pride of America 矿山所开采的那些脉 (图3)。重要的同心圆状脉, 包括沿 Henson 河河谷的 Vermont-Ocean Wave 大脉群和 Golden Fleece 附近的 Hima-Hiwassee (Black Crook) 脉系。

与 Silverton 破火山口周围富而广泛分布的脉系 (Burbank, 1941; Burbank 和 Luedike, 1968; Mayor 和 Fisher, 1972) 不同, Lake City 矿区的脉一般规模有限, 并且除局部外很少矿化。大多数脉体宽不到一米, 长几百米, 但是各种过渡情况还是存在的, 从几厘

米宽、数米长的小构造到大的 Mount Morris 脉, 这条脉在横向上可以追索达 2000 米以上 (图3)。该矿区开采的最大脉统——Ute-Hidden Treasure 脉系, 其宽度平均为 1.5 米左右, 而有些地方达 6 米。大多数脉在水平方向和垂向上, 都是分叉或分枝的 (马尾丝状), 并在走向和倾向上突然或逐渐改变方向, 突然收缩或膨大 (Irving 和 Bancroft, 1911; Burbank, 1947)。整个矿区, 成矿后断层作用一般来说是很弱的, 其位移平均不到 1 米。

富矿体通常产出在新形成、几何形状无法预言的构造通道中, 而不是沿正常的“地层”层位分布。含有有价值的矿石矿物的富矿体, 一般在底盘附近, 而不是在脉体的中部。主要硫化物矿化, 通常晚于大多数石英、碳酸盐或其他脉石矿物, 是在脉体重新张开和角砾岩化后侵位的。对富矿体产出位置的控制因素包括收缩和膨胀、与破裂的交切或交叉脉, 主脉的分叉或分枝以及走向或倾向的改变。该矿区的许多富矿体与脉所在平面保持一个斜交的角度, 该角度与产出富矿体的脉的倾向没有关系。有人认为, 富矿体的优选角度与岩性变化有关, 这种岩性的变化对矿化前破裂通道的宽度和整齐度有所影响 (Bejnar, 1957)。在 Ute-Ulay 矿, 东北 (Hidden Treasure) 端的富矿体和矿房外形倾斜约为 20° 北, 与 Sapinero Mesa 凝灰岩的 Picayune Megabreccia 和 Eureka 段的主要接触带平行。在这个接触带上面的 Eureka 段中, 脉体向下变窄, 并为断层泥所阻。在接触带下面属于 Picayune Megabreccia 段的分布更广的安山岩流为矿石的沉淀提供了更宽更均匀的通道。此外, 在 Ute-Ulay 矿山, Eureka 段从底部致密的熔结凝灰岩向上转变为非熔结凝灰岩, 其标志是脉体的宽度显著减小, 几乎从 5 米到 1 米以下。

矿物学和共生次序

对 Lake City 矿区脉体所做的详细岩石学、X射线和电子探针研究, 已鉴定出了 60 种以上不同的深成矿石矿物和脉石矿物。由氧化作用和表成作用形成的次生矿物主要是褐铁矿、赤铁矿和软锰矿, 虽然分布广泛, 但体积不大。矿石矿物一般占脉体填充物的 10—40%, 这些矿石矿物包括硫化物, 少量硫盐及稀少的氧化物、碲化物和自然金属; 主要的脉石矿物是石英、重晶石和菱锰矿。在不同的脉内及同一条脉的不同部分, 这些矿石矿物和脉石矿物的比例也不同, 可以划分出两种不同的组合, 即较早的石英—贱金属组合和较晚的重晶石—贵金属组合 (下文中分别称为“石英组合”和“重晶石组合”)。虽然含有这两种组合的

脉,其构造一般来说是相似的,但它们在结构、矿物学和流体包裹体类型方面却显著不同,因此在野外容易区分。该矿区的大多数矿山只含有一种组合,但在Ute-Ulay矿山,这两种组合却同时并存(图3)。在第5中段的一些地方,薄的重晶石组合的细脉却切穿了共生的晚期石英组合富矿体(图4)。上部中段矿堆样品的结壳特征显示,石英组合的条带状矿石把脉体的中心部位的重晶石组合与脉壁分隔开来。因此,这种关系清楚地表明,重晶石组合年龄较轻。



图4 Ute-Ulay矿第5中段手标本的素描图

图中所示是被重晶石-贵金属组合矿物所穿切的石英-贱金属组合脉中的矿物。石英、方铅矿和柠檬黄闪锌矿是石英组合的一部分,重晶石(细针状)和红褐色闪锌矿是重晶石组合的一部分。薄重晶石组合细脉使面岩接触带发生的断裂

石英—贱金属组合

分布和年龄

只有在该矿区西部沿Lake City西面Benson河一带分布的脉体中才产生较早的石英—贱金属组合(图3),而在Lake City破火山口东北侧和东侧的许多脉体中看来却根本没有这种组合。组成这种组合的许多较大型的脉体,都是横切Lake City破火山口的环形断层的,其走向一般为北东。Ute-Ulay矿山的Ute-Hidden Treasure脉系,在平面上看来稍微有些凹向西北,可是它的总的走向仍然是与含有石英组合的脉体共有的东北向是一致的。

沿Henson河产有石英组合脉的破裂和断层带,其排列方向大致与Eureka地堑的主要断层带平行(图2和图3)。就在Capitol City的西面,More脉的排列方

向几乎与该地堑的断层一致,说明它们成因相同。沿Henson河进一步往东,象Lellie, Pride of America, Sacramento以及Ute-Ulay脉群(Ute-Hidden Treasure, Ulay-California),也大致呈同一走向排列。22.5百万年前, Lake City破火山口发生塌陷,截断了Eureka地堑的构造,因此Lake City破火山口的西北部弧形带破坏了该地堑断层在东北的连续性。石英—贱金属脉与Eureka地堑的这种排列方向说明,沿Henson河分布的破裂是在大约27.5百万年前 San Juan-Uncompahgre-Silverton破火山口再次呈半圆形隆起的时候开始张开的。

唯一可直接提供石英—贱金属组合年龄上限的是那些穿切位于Capitol City附近,年龄为22.7百万年的石英—二长岩侵入体的小型硫化物脉。从Ute-Ulay矿山(Ute-Hidden Treasure脉系)采集的这种组合中所

表2 石英—贱金属组合脉的矿物组成

矿物	化学式	矿化期			
		Ia	Ib	Ic	Id
矿石矿物					
黄铁矿	FeS ₂	M	M	m	?
闪锌矿	(Zn, Fe) ¹		M	m	
方铅矿	Pbs		M	m	
黄铜矿	CuFeS ₂		C	m	
黝铜矿	3Cu ₂ S·Sb ₂ S ₃		m	C	
砷黝铜矿	3Cu ₂ S·As ₂ S ₃		?		
毒砂	FeAsS	?	?	?	
赤铁矿	Fe ₂ O ₃		?	?	
金	Au		?		
硫铜银矿 ²	Cu ₂ S·Dib ³		?		
脉石矿物					
石英	SiO ₂	M	M	C	M
菱锰矿	MnCO ₃		C	M	m
方解石	CaCO ₃		?	M	C
绢云母	KAl ₂ (AlSi ₃ O ₁₀) ₂ (SiO ₂) ₂		?	C	
铁白云石 ⁴	2CaCO ₃ ·MgCO ₃ ·FeCO ₃		?		
白云石 ⁴	CaMg(CO ₃) ₂		?		?
锰三斜辉石	(Mn, Fe)(SiO ₃) ₂		?		
玉髓	SiO ₂		?		
萤石	CaF ₂				m
硬石膏 ⁵	CaSO ₄				?

1. M, 主要; C, 常见; m, 少量; ? , 微量。

2. 包括 Treasure Hill Spar 矿山的块状方解石(见正文)。

3. 共生序列未确定。

4. Irving 和 Bancroft (1911) 报道过, 但本次研究未发现。

5. 据推断是深成产出的次生石膏(见正文)。

得到的极细粒的绢云母样品,其 K-Ar 年龄为 20.4 ± 0.4 百万年 (Lipman 等, 1976, 表 2)。该年龄与其他野外关系并不一致。从野外关系来看, 年龄下限为 22.5 百万年。据推测, 细粒绢云母中氩容易丢失。下面要讨论的是矿物的分带、流体包裹体和脉体的总分布模式, 这些模式说明与 22.5 百万年前 Lake City 破火山口旋回的晚期阶段有成因关系。

矿物学和结构

石英-贱金属组合脉的主要组分是石英、硫化物和碳酸盐 (表 2)。重要的矿石矿物是黄铁矿、闪锌矿、方铅矿和黄铜矿, 局部有少量黝铜矿-神铀铜矿。碳酸盐矿物有方解石、菱锰矿及极少的铁白云石和白云石(?)。在一些脉中普遍见有绢云母。在一些地区发现微量的毒砂、赤铁矿、金、萤石、锰三斜辉石和硬石膏。

大多数脉矿物形成细至粗粒的他形颗粒交生体, 但是自形石英很普遍, 在某些晶簇和张开破裂中其长度可达 5 厘米。许多石英晶体都是透明的, 但其他晶体由于含有大量的流体包裹体, 因而透明或呈混浊态。在某些晶洞中, 成矿后方解石和菱锰矿的自形晶长达 1—2 厘米。黄铁矿、闪锌矿、方铅矿和黄铜矿通常形成粒状集合体和相互交生体。在某些石英和菱锰矿晶体的末端存在有 (1—3 毫米) 外延生长的细小自形硫化物盖层, 不过大的自形硫化物矿物很少。

共生次序

石英-贱金属组合按从老到新的顺序, 可以分成 4 个独立的矿化期, Ia, 早期石英-黄铁矿; Ib, 条带状石英硫化物矿石; Ic, 块状菱锰矿; Id, 晚期石英-碳酸盐-萤石。大多数脉只有一个或两个矿化期, 这与以前 Irving 和 Bancroft (1911) 研究时所做的推测相同, 也为这次研究进行的地表和地下填图所证实。只有在 Ute-Ulay 矿山, 这四个矿化期都有, 但这里所确定的共生次序关系与在其他含有石英-贱金属组合的脉中所见到的部分矿化顺序是一致的。

矿化期 Ia: 早期石英-黄铁矿 在整个 San Juan 山西部的许多复合脉中普遍见有早期石英-黄铁矿矿化期 (Burbank 和 Huedke, 1968)。在 Lake City 矿区, 石英-黄铁矿组合大都无矿, 除了可能有极少的毒砂之外, 很少有其他矿石或脉石矿物, 这表明它是在主期硫化物矿化之前沉淀的。这个组合填充于只有几厘米宽的许多小破裂中, 构成了某些大脉的边缘。在 Ute-Ulay 矿山, 这种早期石英-黄铁矿构成了 Ute-Hidden Treasure 脉系的边缘, 厚度可达 0.5 米, 但占

该脉体的总体积还不到 10%。矿化期 Ia 石英通常呈块状, 颗粒细, 为乳白灰色。伴生的黄铁矿, 形成直径不到 1 厘米的单个浸染状立方体, 或对径达 2 或 3 厘米的粗粒集合体, 与其他矿化期的黄铁矿不同, 这种黄铁矿一般不含其它硫化物的包裹体。

矿化期 Ib: 条带状石英-硫化物矿石 在矿化期 Ib 沉淀的条带状石英-硫化物矿石, 构成了石英-贱金属组合的大部分。在西部所有开采的矿脉, 包括沿 Henson 河和 Capitol City 附近的 Ute-Ulay 脉系, 都具有这矿化期。在 Ute-Ulay 矿山第 5 中段的 Ute-Hidden Treasure 脉系中这个矿化期最明显, 其特点是具有条带状构造, 而在这种构造中各层的矿石矿物和脉石矿物的比例是不同的。有些层可能只含有单矿物, 而其他层则是由石英和不同硫化物的混合物组成的。在 Ute-Ulay 矿山, 矿物组合至少有三个含矿亚期, 彼此穿切情况颇为复杂。较晚的含矿亚期主要见于该脉系的中部和东北部一带, 脉体的宽度从不到 1 米增加到 5 米之多。在各含矿亚期常见的角砾状矿石矿物和脉石矿物为较晚的中等 (Mesoscopic) 或显微级大小的脉矿物沿破裂处愈合。

在矿化期 Ib 沉淀的主要矿物有石英、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿和黄铜矿 (表 2)。脉中的副矿物包括黝铜矿-神铀铜矿和菱锰矿。局部发现有微量金、毒砂、赤铁矿、方解石、铁白云石、锰三斜辉石、玉髓和绢云母。主要的矿石矿物总是显示出相似的共生次序, 从早期的黄铁矿到闪锌矿、方铅矿及晚期的黄铜矿或黝铜矿-神铀铜矿。在共生次序上晚期的矿物不是产于边缘就是呈细的破裂填充物产于较早的硫化物之上或硫化物之中。矿化期 Ib 的石英, 为结晶质, 中到粗粒, 透明至不透明, 一般与主要的硫化物矿物交生。黄铁矿呈孤立的他形至自形的小颗粒或一团一团似立方体的集合体产出, 并含有细小的其他硫化物, 特别是方铅矿和黄铜矿包裹体。

矿化期 Ib 的闪锌矿有多种结构、颜色和习性。虽然某些单个晶体的对径长达 3 厘米, 但大多数闪锌矿均为直径小于 1 厘米的他形颗粒。在手标本中, 闪锌矿的颜色从橄榄绿灰色到深浅不同的绿色, 绿黄色和黄色。在某些标本中发现有小的黄铜矿他形颗粒和片状赤铁矿, 对双面抛光薄片和厚片 (1—2 毫米) 所进行的透射光研究表明, 一般没有颜色分带, 对 Ute-Ulay 矿山矿化期 Ib 具代表性的闪锌矿所作的电子探针定量分析表明, 其铁含量非常低, 从大约 0.1 到 0.8

• 矿化期 Ia、Ib、Ic 和 Id 相当于 Slak (1976, 1977) 所讲的矿化期 I—IV。

(最大值) 阳分子%FeS(Slaok, 1976)。

在矿化期Ib沉淀的方铅矿变化范围较大,从某些富矿体中的粗结晶集合体到其他矿体中的细粒“青色”变种。也许这两种类型的方铅矿是在矿化期Ib的不同亚期形成的,手标本和岩石学研究表明,在共生次序上方铅矿晚于闪锌矿,因为方铅矿分布在闪锌矿的边缘或沿其破裂分布。伴生的黄铜矿或者呈单个的不规则颗粒,或者为细的破裂填充物产出。共生次序上早的方铅矿不含包裹体,但晚的方铅矿却含有极少的含银黝铜矿或砷黝铜矿颗粒,它们是该矿化期仅有的硫盐矿物。

晚期Ib含有少量赤铁矿、菱锰矿、绢云母、玉髓和锰三斜辉石。赤铁矿既呈长达0.5毫米的叶片状晶体(镜铁矿),也呈胶结脉体中较早矿物的土状壳产出。与大多数这种赤铁矿交生的菱锰矿,或者呈细小的粉红色颗粒填充于张开的破裂中,或者呈浸染状颗粒沿条带状石英和硫化物之间的中心线分布。绢云母,局部与玉髓质石英伴生,呈单个的细粒片晶或直径达25微米的颗粒聚合体产出。与蔷薇辉石等化学的锰三斜辉石只在Ute-Ulay矿山见到,这种矿物呈小的叶片状晶体以及菱锰矿和少量石英交生(长0.1—0.4毫米)的放射状棱柱体晶簇产出。诸如在附近的Sunnyside矿山所发现的其他含锰硅酸盐矿物(Burbank, 1933; Casadevall 和 Ohmoto, 1977)在Lake City矿区却还未见到。

矿化期Ic: 块状菱锰矿 在Ute-Ulay矿,矿化期Ic看来大都限于Ute-Hidden Treasure脉系的东北端。在Henson河北面Treasure Hill Spar矿的块状方解石也可能属于这种情况。在Ute-Hidden Treasure脉的中部,这个矿化期在体积上很小。沿第5主中段往东北,其丰度朝着采矿区域的一个地点逐渐增加,在这里它在采掘面上构成了脉的整个填充物。但是,与矿化期Ib特有的重新张开和多期沉淀不同,矿化期Ic只有一个连续的矿化期。

从脉壁逐渐向里,矿化期Ic发育有相同的共生次序。早期Ic的特点是产生粗粒结晶透明石英、不具有结晶透明石英、不具条带的浅绿-黄色闪锌矿(0.1克分子%FeS)以及由晚期方铅矿构成的边。在矿化期Ic中期,沉淀出了细粒致密菱锰矿和少量交生石英。这种菱锰矿,根据电子探针分析测定几乎为纯的 $MnCO_3$,其特点是具鲜明的粉红色。晚期Ic矿化沉淀出中至粗粒的菱锰矿、黝铜矿、绢云母及少量的石英、黄铁矿、毒砂、赤铁矿和黄铜矿。在这条脉的中部,这个含矿亚期形成的带褐色的粉红色菱锰矿,含有大量的铁和一些钙。电子探针和X射线数据表明,其成分介

于菱铁矿与菱锰矿之间。

矿化期Ic的黝铜矿在菱锰矿中形成不同的薄层。电子探针光谱扫描表明,这种黝铜矿含有大量的银和铁,不过在这个矿化期没有发现其他硫盐矿物。在这条脉的中部,矿化期Ic形成的另一种特征矿物苹果绿绢云母,形成与小立方体黄铁矿交生的细粒(0.1毫米)薄层或透镜体。X射线衍射研究表明,这种绢云母是不大常见的3T变种。

矿化期Id: 晚期石英-碳酸盐-萤石 矿化期Id的矿化作用是在成矿后发生的,其矿物通常沉淀在脉体的中心和边缘附近的晶洞和张开的破裂中。沿Ute-Ulay矿第5中段,这个矿化期的矿物出露最好,大约占Ute-Hidden Treasure脉系总体积的2—3%。矿物成份以结晶质透明石英为主,其次为方解石、萤石和菱锰矿。在晶簇和晶洞中,成矿后的方解石形成菱面体、偏三角面体及对径达1厘米的短而粗的棱柱体。在许多地方,晚期石英和碳酸盐呈自形晶体,在矿化期Ib的条带状石英-硫化物矿石中形成晶簇。与萤石交生的细片状石膏据认为是深成硬石膏的表生变种。

矿化期Id最特征的矿物——萤石,通常形成浑圆体或大小、形状不同的多边形晶体,在局部地方,这种矿物填充于某些脉体上盘附近的细破裂中。矿化期Id的大多数萤石为苹果绿色,不过也见有紫色、蓝色和黄色变种。在矿化期Id发生矿化的某些地区只含有一种颜色的萤石,但其他地区却见有萤石的绿色变种与紫色变种交生的复杂情况。在有更晚的重晶石-贵金属组合矿石叠加的地区,紫色萤石尤其常见。

石英-贱金属组合的某些成矿后矿物,优先为热液所淋滤,从而形成了较晚的重晶石-贵金属组合。沿Ute-Ulay矿第5中段,在含有大量重晶石-贵金属矿物的地区,大的多形边印模(molds)为矿化期Id的残留萤石所填充。这种印模有立方体、八面体和偏方三八面体,直径可达15厘米。有些印模开始被淋滤,其他的则完全是空的。附近的箱形石英出露说明,属于这种石英组合的成矿后方解石(或菱锰矿)遭受了选择性淋滤作用。沿该脉系不存在重晶石组合的地方,成矿后萤石和碳酸盐没有受到影响。

重晶石—贵金属组合

分布和年龄

重晶石-贵金属组合主要填充于Lake City破火山口东北和东侧的破裂和断层带中(图3)。在Ute-Ulay和Vermont-Ocean Wave矿山,沿Henson河分布的两条其他大脉中也见有这种矿物组合。在野外,

根据特征的结构及特有的矿石矿物和脉石矿物，不难把这种组合与较早的石英-贱金属组合相区分。在Ute-Ulay 矿山的东面，含有重晶石组合的脉，与含有石英组合的脉体分布方向不同。这些脉体不再沿横向构造分布，而是填充于近乎垂直于 Lake City 破火山口的环形断层的裂隙之中，似乎形成一个以 Red 山岩颈穹窿为中心的放射状分布模式（图3）。

含有重晶石组合的放射状脉的分布模式表明，破裂的张开和矿化是在大约22.5百万年前Red 山构造侵入的过程发生的。在Lake City南面约5公里Red山的正东面，著名的Golden Fleece 矿山的那条脉（Ir-

ving和Bancroft, 1911)就含有这种组合。以前的工作者（Lipman 等，1973）通过普查填图，认为Golden Fleece脉形成于Lake City 破火山口塌陷之前。这种看法的依据是：该矿脉向西突然终止，以及当时被认为是构成该破火山口东侧的围墙地形的有关蚀变岩石。最近通过详细填图（Slack, 1976）重新确定这种围墙地形是在更高地层单元的底部，并且证明，Golden Fleece 脉的上部切穿了这个围墙地形从而确定破裂张开和矿化的年龄下限是22.5 百万年前，即Lake-City 破火山口塌陷的时候。年龄上限则是根据盖于该脉之上的火山岩的年龄来确定的，这种火山岩含有新

表 3 重晶石-贵金属组合脉的矿物学

矿 物	化 学 式	矿 化 期			矿 物	化 学 式	矿 化 期		
		II a	II b	II c			II a	II b	II c
矿石矿物					硫铁锡铜矿	$Cu_{2+x}Sn_{1+x}FeS_4$	t		
黄铁矿	FeS_2	M		t	碲	Te		M	
闪锌矿	$(Zn, Fe)S$	M			碲金银矿	Ag_3AuTe_2		M	
方铅矿	PbS	M			碲银矿	Ag_2Te		M	
黝铜矿	$3Cu_2S \cdot Sb_2S_3$	M	m		白碲金银矿	$AuAgTe_4$		C	
黄铜矿	$CuFeS_2$	C			针碲金银矿	$AuAgTe_6$		C	
毒砂	$FeAsS$	m			斑铜矿	Cu_7FeS_4		m	
磁铁矿	Fe_3O_4	t			铜蓝	CuS		m	
赤铁矿	Fe_2O_3	t			沥青铀矿	UO_2		m	
银金矿	(Au, Ag)	t	t		碲汞矿	$HgTe$		t	
碲碲银矿	$9Ag_2S \cdot As_2S_3$	t			叶碲碲矿	$BiTe$		t	
硫碲铜银矿	$9Ag_2S \cdot Sb_2S_3$	t			碲镍矿	$NiTe$		t	
淡红银矿	$3Ag_2S \cdot As_2S_3$	?	t		碲铅矿	$PbTe$		t	
深红银矿	$3Ag_2S \cdot Sb_2S_3$	t			碲金矿	$AuTe_2$		t	
车轮矿	$2PbS \cdot Cu_2S \cdot Sb_2S_3$	t			辉碲银矿	Ag_4SeS		t	
块碲碲银矿	$5PbS \cdot 2Sb_2S_3$	t			沃伦斯基矿	$AgBi_{1.6}Te_2$		t	
辉碲矿	Bi_2S_3	t			碲碲矿	$BiTe_3$		t	
纤锌矿	$(Zn, Fe)S$	t			脉石矿物				
针碲碲铅矿	$2PbS \cdot Cu_2S \cdot Bi_2S_3$	t			重晶石	$BaSO_4$	M		M
碲银碲矿 ²	$Ag_3S \cdot Bi_2S_3$	t			石英	SiO_2	M	M	m
螺旋碲银矿 ³	Ag_2S	?			似碧玉	SiO_2	C	M	
羽毛矿	$4PbS \cdot FeS \cdot Sb_2S_3$	t			菱锰矿	$MnCO_3$	m		
块碲碲银矿 ²	$PbS \cdot 2Ag_2S \cdot 2Bi_2S_3$	t			绢云母	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	t		t
脆碲矿	$5Ag_2S \cdot Sb_2S_3$	t			玉髓	SiO_2	t		M
硫钒锡铜矿 ⁴	$Cu_3(As, Fe, Sb, Ag, Sn)S_4$	t			高岭石	$Al_2(Si_2O_5)(OH)_4$	t		
碲碲铜矿	$3Cu_2S \cdot As_2S_3$	t			地开石	$Al_2(Si_4O_{10})(OH)_4$	t		
碲碲碲铜矿	$3Cu_2S \cdot As_2S_3$	t			钠明矾石	$KAl_3(OH)_6(SO_4)_2$	t		
碲铜碲矿	$Cu_2S \cdot Sb_2S_3$	t			碲铝碲矿	$(Pb, Sr) Al_3PO_4SO_4(OH)_6$		t	
白铁矿	FeS_2	t							

1. M, 主要; C, 常见; m, 少量; t, 微量。
 2. Eckel(1991)报道过，但本研究未证实。
 3. 可能是浅成的。
 4. 初步鉴定。

鲜的,与Red山岩颈穹窿有关的未蚀变石英安粗岩流,其K-Ar年龄大约为22.5百万年(Diehnert等,1978)。所有含重晶石组合的脉,都具有与Golden Piece脉类似的结构,据认为是在22.5百万年前Red山岩颈穹窿侵位时或稍后不久同时形成的。

矿物学和结构

重晶石-贵金属组合的矿石矿物(表3)包括富Ag黝铜矿、黄铁矿、闪锌矿、方铅矿及少量毒砂和黄铜矿。局部有少量的Ag-Cu-Pb硫化物、砷化物及稀有的沥青铀矿和银金矿。脉石矿物有重晶石、石英、似碧玉,少量菱锰矿及稀有的粘土矿物。

虽然石英组合的某些构造和结构特征也是重晶石组合的特征,但重晶石组合还有自己的特点。只有重晶石组合才含有重晶石和条带状似碧玉(细粒燧石质石英)。片状重晶石晶体之间的间隙硫化物和硫酸盐矿物,以及其他矿石矿物,尤其是方铅矿和闪锌矿中的黝铜矿和许多其他硫酸盐矿物包体,特别具有鉴别意义。闪锌矿颗粒本身也以其不同的红-褐色条带为特点。这些条带无论是肉眼还是用显微镜都可见到。

共生次序

对重晶石-贵金属组合的地表和地下露头、手标本及双面抛光光片所进行的详细研究,证明从老到新有三个独立的矿化期^{*},这三个矿化期是IIa,重晶石-硫酸盐矿石;IIb,金-银砷化物矿石;和IIc,晚期重晶石-玉髓。

矿化期IIa:重晶石-硫酸盐矿石 对于重晶石-贵金属组合的主要矿化期——矿化期IIa的复合共生次序是根据许多局部的露头,特别是沿Ute-Ulay矿山的Vte-Hidden Treasure脉系的露头确定的。矿化期IIa早期(A,图5)的特征是沉淀有层状和角砾状热液似碧玉,及少量的矿石矿物。Irving和Bancroft(1911, P40和80)最先鉴定出脉中的这种似碧玉,并认为这种似碧玉是通过张开空间的填充或火山围岩的交代作用(硅化作用)形成的。该矿区的似碧玉,或细粒致密二氧化硅,其颜色多种多样,从米色和各种色调的灰色到近黑色。主要由于颜色的细微变化而形成的细层理,在许多标本中很常见。这种层理的宽度变化从不到1毫米到4—5厘米。某些样品角砾岩化复杂,具有在浅灰色似碧玉中成为碎块的早期暗灰色或黑色似碧玉所组成的层理。单个岩层的薄片研究表明,石英颗粒呈棱角状,其粒径一般为0.05到0.1毫米,无结构或一定方向。采用Ute-Ulay矿山的标本含有不

规则的高岭石和地开石小扁豆体和透镜体(<1厘米),这样扁豆体和透镜体完全被包裹在致密的无裂隙似碧玉中。有人认为这些粘土是与似碧玉同时由深成作用,而不是由后来的表成溶液形成的。

矿脉中部的矿石矿物与脉石矿物的交互层(B,图5)是矿化期IIa具有经济价值的部分。Ute-Ulay矿的一些露头表明在时间上与早期IIa有部分重叠,这些露头具带状构造,它由与重晶石和矿石矿物交替出现的无矿灰色似碧玉条带组成。这些矿石矿物一般呈片状重晶石晶体之间构成间隙共生体,或在石英脉石中构成浸染体,不过后一种情况不太常见。单个硫化物



图5 矿化期IIa矿石的理想共生次序和脉的构造

A. 局部含有高岭石和(或)地开石扁豆体的角砾状似碧玉及少量矿石矿物; B. 含有石英、重晶石、硫化物及硫酸盐的条带状矿带; C. 无矿的粗粒块状重晶石。脉宽(从左边A点到右边的A点)大致为1.5米

矿物复杂地交生在一起,但是局部结构表明黄铁矿、闪锌矿和方铅矿是早期形成的,而黄铜矿、黝铜矿和其他硫化物则是在晚期形成的,它们作为裂隙填充物填充在较早形成的硫化物中或镶嵌在方铅矿或闪锌矿颗粒的边缘。硫化期IIa形成的黄铁矿颗粒与矿化期I_a形成的黄铁矿颗粒不同,前者通常与毒砂交生并具多边形分带现象;这种分带现象是由于均匀的蚀坑或包裹体条带以及结晶度的变化造成的。其他矿石矿物局限于重晶石组合,除硫酸盐外还有微量的磁铁矿、银金矿、纤锌矿、白铁矿和辉铋矿。矿化期IIa形成的磁铁矿构成了直径为0.1毫米的八面体小颗粒并与黄铁矿和镜状赤铁矿交生(图6A);结构关系表明赤铁矿部分遭到了磁铁矿的交代。

矿化IIa形成的闪锌矿一般呈红褐色并具有明显

* 矿化期IIa、IIb和IIc相当于Slack(1976,1977)所讲的矿化期V、VI和VII。