

卡林金矿地质学

作者 A·S·拉德克



全国金矿地质工作领导小组办公室
贵州省地质矿产局科技情报室

P 018.51-313

卡 林 金 矿 地 质 学

A·S·拉德克 著

季文明 邓少清 陈 波 盛学庸 译

全国金矿地质工作领导小组办公室

贵州省地质矿产局科技情报室

致 读 者

众所周知，“卡林型”金矿是目前世界已知金矿中极其重要的工业类型之一，具有重要的经济价值。《卡林金矿地质学》一书，则是一份有关这一类型金矿的典型矿床——卡林金矿矿床地质特征的科研报告。该书于1985年作为美国地质调查所第1267号专论，由华盛顿美国政府出版局出版发行。作者阿瑟·S·拉德克（Arthur S·Radtke）自六十年代卡林金矿开发初期起，即一直在该区从事地质科研工作，多有著述。本书是作者对多年来所获成果的系统总结，同时也参考了大量他人的有关资料。书中较为全面、详尽地介绍了卡林金矿的宏、微观地质特征、物质组分及其分布规律。作者对各种地质体中的不同流体包裹体和稳定同位素的研究尤为详细，并以此为基础对成矿阶段进行了合理的划分，此外对成矿物质的来源、活化、搬运及沉淀等有关矿床成因问题进行了有益的探讨，最后提出了四阶段的成矿模式。全书共约30万字，插图插照丰富，并附有较为详尽的地质图及剖面图。可以说该书是迄今为止国外有关卡林金矿地质特征较为详尽的一本专著，对我国从事金矿地质找矿、科研和教学的学者、专家来说，将不失为一本颇有价值的参考资料。但愿该书的翻译出版能够对读者起到开阔眼界，启迪思路 and 提供借鉴的作用。

本书原版系1986年9月美国金矿地质专家卡林翰等三人来我省考察期间赠送我局的。为尽快使该书与读者见面，全国金矿地质工作领导小组办公室和地质矿产部区域地质矿产司与贵州地质矿产局商定，委托贵州地质矿产局韩至钧总工程师组织力量，由贵州地质矿产局科技情报室负责翻译出版。为适应我国地质工作者的阅读习惯，在翻译过程中，对报告的章节安排局部进行了调整。同时还根据正文内容对个别章节的名称作了一些更动。参加翻译的同志有季文明、邓少清、陈波和盛学庸四人，译文在付印前曾经韩至钧总工程师和胡庆城工程师详细审阅。

由于我们翻译水平有限，错误在所难免，敬请读者批评指正。

贵州省地质矿产局科技情报室

一九八七年元月

目

录

提要.....	(1)
绪论.....	(5)
一、交通位置.....	(5)
二、地势.....	(6)
三、气候和植被.....	(6)
四、工作概况.....	(6)
五、前人工作成果.....	(8)
六、林恩矿区开发史.....	(9)
第一章 地层和岩石.....	(10)
第一节 地层.....	(11)
一、古生界.....	(11)
二、新生界.....	(40)
第二节 火成岩.....	(44)
一、侵入岩.....	(44)
二、喷出岩.....	(48)
第二章 构造.....	(48)
第一节 概况.....	(48)
第二节 罗伯茨山逆冲断层.....	(49)
第三节 塔斯卡罗拉山背斜.....	(50)
第四节 高角度正断层.....	(50)
第三章 卡林金矿的一般特征.....	(57)
第一节 矿床类型.....	(57)
第二节 地层控制.....	(57)
第三节 构造背景.....	(60)
第四节 矿带特征.....	(61)
第四章 原生矿石.....	(72)

第一节 正常矿石·····	(72)
第二节 硅质矿石·····	(79)
第三节 碳质矿石·····	(82)
第四节 黄铁矿质矿石·····	(84)
第五节 砷质矿石·····	(87)
第五章 原生矿石的矿物学及元素分布特征 ·····	(89)
铁·····	(89)
金·····	(89)
汞·····	(96)
砷·····	(96)
铋·····	(98)
铊·····	(99)
铅·····	(100)
锌·····	(101)
银·····	(102)
铜·····	(102)
钼·····	(103)
钨·····	(103)
钽·····	(103)
硼·····	(104)
硒·····	(104)
碲·····	(104)
稀土元素·····	(105)
第六章 元素分布的统计学研究 ·····	(105)
第一节 金—砷—汞—铋系列·····	(106)
第二节 金—钽—铜—钼—铅—锌系列·····	(109)
第三节 金—硼—硒—碲—钨系列·····	(110)
第七章 热液蚀变 ·····	(112)
第一节 早期热液阶段—碳酸盐的溶出·····	(112)
第二节 主期热液阶段·····	(112)
一、钾—泥化·····	(113)

二、黄铁矿、金及其共生金属的带入·····	(114)
三、硅化·····	(115)
四、碳化·····	(116)
第三节 晚期热液阶段·····	(116)
一、硫化物的形成·····	(119)
二、石英脉的形成·····	(123)
第八章 氯化矿石的矿物学及其元素分布特征·····	(123)
铁·····	(124)
金·····	(124)
汞·····	(127)
砷·····	(127)
锑·····	(130)
铊·····	(130)
铅·····	(130)
锌·····	(131)
银·····	(131)
铜·····	(131)
钼和钨·····	(131)
钡·····	(131)
硼·····	(134)
硒和碲·····	(134)
第九章 热液酸滤蚀变作用·····	(134)
第一节 火成岩的蚀变作用·····	(135)
第二节 热液酸滤作用的化学和矿物学特征·····	(136)
第三节 硅化·····	(138)
第四节 重晶石脉的形成·····	(138)
第五节 方解石脉的形成·····	(138)
第十章 表生作用·····	(139)
第十一章 流体包裹体及稳定同位素研究·····	(140)
第一节 流体包裹体研究·····	(140)
一、主矿物及其包裹体特征·····	(140)

二、各成矿阶段中流体包裹体的研究·····	(143)
(一) 主期及晚期热液阶段的流体包裹体·····	(143)
(二) 酸滤氧化作用阶段的流体包裹体·····	(143)
(三) 热液期后表生氧化作用及风化作用阶段的流体包裹体·····	(144)
第二节 稳定同位素研究·····	(145)
一、简介·····	(145)
二、氢、氧同位素·····	(146)
三、碳、硫同位素·····	(155)
四、铅同位素·····	(159)
第十二章 矿床成因·····	(160)
第一节 成矿物质来源及其活化·····	(160)
第二节 流体的运移·····	(163)
第三节 热液的成矿作用·····	(163)
第四节 晚期阶段的脉体·····	(165)
第五节 成矿作用总结·····	(167)
参考文献·····	(168)

卡林金矿地质学

阿瑟·S·拉德克 (ARTHUR·S·RADTKE)

提 要

卡林金矿位于内华达州林恩矿区 (Lynn mining District) 的塔斯卡罗拉山山脊附近, 卡林镇以北约35公里, 是迄今为止北美所发现的最大热液浸染交代金矿之一。该矿于1965年开始生产, 截至1976年为止, 共生产黄金近二百万金衡盎司。

罗伯茨山逆冲断层将矿区地层分割为两套地层组合。断面以下的地层, 统称“下盘”, 自下而上为: (1) 670米厚的波戈尼普群 (Pogonip group) 石灰岩及其上的白云岩 (厚约70米), 时代为早、中奥陶世; (2) 中奥陶世尤里卡石英岩 (Eureka Quartzite), 厚约170~180米; (3) 中奥陶世—早志留世汉森河组 (Hanson Greek formation) 白云岩, 厚约160~180米; (4) 中志留世—早泥盆世罗伯茨山组 (Roberts Mountains formation) 石灰岩和白云岩, 厚约550~600米; (5) 早、中、晚泥盆世波波维奇组 (Popovich formation) 石灰岩, 厚约50~275米。断面以上的地层统称“上盘”, 其时代为早奥陶—早志留世, 可分为下、中、上三带: (1) 下带: 为燧石和页岩互层, 以及少量的砂岩、灰岩和石英岩, 厚60~80米; (2) 中带: 燧石和页岩互层 (燧石和页岩之比大于2:1), 以及少量砂岩、灰岩和炭质页岩, 厚度>760米; (3) 上带: 燧石和页岩互层 (二者之比为1:1—2:1), 以及石英岩 (包括硅质页岩和重结晶燧石)。总厚900余米。

新生代沉积岩包括: 中新世和上新世湖相沉积岩, 中新世卡林组 (Carlin formation, 尼雷尔, 1960) 的砾岩、砂岩和泥岩, 以及第四纪冲积层。矿区东侧的一些河床和冲积扇中产有小型砂金矿。

林恩矿区的火成岩有: (1) 晚侏罗世—早白垩世花岗闪长岩和闪长岩侵入体以及石英闪长岩的岩墙和岩株; (2) 中新世的流纹英安岩和流纹岩岩流和零星的岩墙。时代更新的火成岩仅见于本区西侧。

林恩矿区的主要构造包括罗伯茨山逆冲断层, 塔斯卡罗拉山背斜, 以及众多的高角度正断层和本区边缘地带的盆—岭断层。罗伯茨山逆冲断层在晚泥盆世—密西西比纪期间, 其上盘向东推覆。该断层在矿区内的多数地方出露不良。无论是卡林矿区本身还是林恩矿区的其它地方该断层皆不容矿。塔斯卡罗拉山背斜的隆起可能和晚侏罗—早白垩世火成岩的侵入有关。尽管有极少数高角度正断层中有晚侏罗—早白垩世岩墙贯入, 但此类断层活动的主要时期在渐新世及其以后。有部分高角度正断层显然是热液的活动通道。

卡林金矿位于林恩构造窗的北东部罗伯茨山断层下盘碳酸盐岩地层中。区内地层走向近东西, 倾向北, 倾角33°左右。该矿床可分为四个矿带, 即西矿带、主矿带、南延矿带和东矿带。尽管各矿带控制成矿的构造条件和地层条件有很多类似之处, 但各自在热液蚀变的程

度、矿石化学成分、以及氧化与酸滤的强度方面是大不相同的。

已知的绝大部分矿体都产在罗伯茨山组上部250米地层内。东矿带东端有少许矿石产在利维尔断层 (Leeville fault) 上盘的炭质页岩中。另外, 在波波维奇组底部的薄层灰岩以及深部矿体上方波波维奇组的热液蚀变带内亦有少量的金产出。

西矿带沿一正断层顶板有一板状矿体, 其产状为走向北 60° 西、倾向北、倾角 60° — 70° 。水平延伸约335米; 宽度变化较大, 最宽处可达9米左右。在其南东端膨胀成一直径达25—30米的筒状体(附图2)。该筒状矿体向北侧伏、侧伏角 70° 。这里的主要控矿构造为走向东西—北 69° 西的正断层以及这些正断层和北 45° 西—南北向的后期断层的交汇部位。矿石中很少见到各种炭质物及硫化物和硫酸盐矿物。经化学分析和光谱分析, 矿石中平均含金8.7ppm, 汞22ppm, 砷222ppm, 铋52ppm。其砷和铋的含量比主矿带和东矿带都低得多; 钡的平均含量(650ppm)则比主矿带和东矿带高。氧化矿石金的平均含量为9.1ppm, 其它元素(除钡以外), 其平均含量不是比原生矿低就是相差不大。钡的最高含量为1600ppm。

尽管该矿带浅部的矿石和岩石普遍遭受了表生含氧溶液的改造, 出现大片黄铁矿的风化带, 但酸滤蚀变作用的表现却很轻微, 大量的方解石和白云石仍然得以保存。

在波波维奇山 (Popovich Hill) 南西侧的主矿带中, 有一系列不规则矿体, 沿一走向南 80° 西, 长914米的地带分布。该山的南侧, 还有若干个大型席状矿体彼此连接在一起, 走向近东西、倾向北、倾角 30° — 35° , 长460米。这些不规则矿体皆受南北向和北东向断层交汇部位控制; 而席状矿体则受控于一系列走向北 30° 西和北 45° 东的正断层, 且这些断层都切割了罗伯茨山组上部75米对成矿有利的白云质岩层。

该矿带原生矿石含细粒石英、黄铁矿以及炭质物, 局部有大量硫化物富集, 尤其是在那些含砷的矿石中更是如此。

在有碳氢化合物掺入的地段, 矿石中有机碳的含量可达5% (重量)。该矿带中原生矿石金的平均含量为7.1ppm, 汞为20ppm, 砷409ppm, 铋106ppm。金多产在黄铁矿的被膜中或与炭质物共生。呈散状的细粒自然金产在热液石英中或分散于粘土矿物中。钡的平均含量在该矿带中自西向东递减。主矿带氧化矿石金的平均含量为9ppm, 钡的平均含量为1500ppm, 是少数几种在氧化矿石中其含量大大超过原生矿石中含量的元素之一。

钾泥化蚀变在整个主矿带中普遍可见。在矿带底板一侧, 沿一些正断层形成一些似碧玉岩的大型块体。渗入的有机质, 在整个矿化地段内的断层及其附近, 以及矿体上方的碳酸盐岩和“上盘”硅质岩中富集。酸滤作用和后期表生氧化作用的强度与岩石破碎的程度密切相关, 岩石愈破碎, 酸滤和氧化的程度就愈高。

南延矿带位于主矿带东端之南侧。最大的两个矿体以及两个较小矿体产于紧靠北 40° — 50° 东走向正断层分布的高度破碎碳酸盐岩石中, 或者产在此种断层与早期近南北向断层的交汇处。沿主矿带与南延矿带之间的南北向断层带内, 可以见到一些似碧玉岩体和小矿体。南延矿带的所有矿石皆已氧化。细粒的自然金产于氧化铁中; 分散在石英、伊利石和高岭石的混合物中; 或包封在石英之内。矿石中金的平均含量为4ppm。

东矿带从波波维奇山南侧开始, 向北东连续延伸730米。有两个主要矿体: 最大一个矿体为一鱼钩形板状, 其长轴向下侧伏, 侧伏方向和围岩的倾向一致; 较小一个矿体位于东矿带南西端, 为一狭长的筒状体, 厚12—60米, 向北东侧伏, 侧伏角 33° 。矿体受两组正断层的交汇部位以及这些断层切割罗伯茨山组近顶部的粉砂质白云岩部位控制。这些断层(包括一组成矿前断层)表现强烈而明显, 走向北 40° — 45° 西, 部分断层被成矿前岩墙所充填,

有几条是成矿溶液的主要通道；另一组形成较晚，走向近南北—北40°东，表现微弱。

东矿带原生矿石的特征是富含硫化矿物和碳质物，而贫重晶石。矿带中可见到大量的含As、Hg、Sb、Tl等元素的硫化物和硫酸盐矿物，贱金属的硫化物则仅富集于局部地段。该矿带原生矿石平均含金7.4ppm。氧化矿石中普遍含有大量的溶蚀残余方解石和有机的、氧化不完全的黄铁矿和残余的砷锑硫化物，以及赋存状态不清的砷和锑。褪色和酸滤作用不强以及黄铁矿风化不发育也是该矿带的特征之一。氧化矿石中金的平均含量为8ppm。

卡林金矿原生矿石中能鉴定出的硫化物和硫酸盐矿物有：黄铁矿（分草莓状和立方体两种）、磁黄铁矿（极少）、辰砂、雄黄、雌黄（包括含锑和含铊两种）、辉锑矿、红铊矿、砷黝铜矿、硫砷锑矿、约硫砷铅矿、硫砷铊汞矿、细硫砷铅矿、斜硫砷汞铊矿、硫砷铊矿、维硫锑铊矿、硫锑铅矿、黝铜矿、硫铊矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、铜蓝、辉铜矿和辉钼矿。其它热液矿物有：石英、高岭土、绢云母、重晶石、白钨矿、萤石、氟钼矿，以及极少的自然金和元素砷。残余的和再分配的矿物有：方解石、白云石、伊利石和碳质物。

在矿区进行了氢、氧、碳、硫稳定同位素的研究。蚀变火成岩全岩样品以及石英、方解石和重晶石的脉体和细脉的 δD 值，全为高负值，其值变化在-160—-139‰之间。沉积燧石的 $\delta^{18}O$ 值为24—25‰；热液似碧玉岩的 $\delta^{18}O$ 值为9—18‰；石英细脉的 $\delta^{18}O$ 值为18—22‰。在温度为200—225°C，热液与似碧玉岩保持平衡的状态下，所计算出的 $\delta^{18}O$ 值为-0.2—+6.5‰，这说明矿液系天水成因，而且和富碳酸盐容矿围岩间进行过大量的同位素交换。温度为175—200°C的成矿主期热液阶段，所计算出的成矿流体的 $\delta^{18}O$ 值为3—5.9‰，这反映了矿液受到了围岩的阻隔和矿液中的岩/水比值特高。温度为250—275°C范围，重晶石脉的 $\delta^{18}O$ 值为5.4—11‰，这可能反映了温度的变化，溶液的沸腾，成矿流体的混合，以及流体和围岩间的交代反应。多数方解石脉、重晶石脉和无矿石英脉在伴随有流体沸腾作用和围岩酸滤作用的热液循环中，可能形成较晚。

所观察到的氧同位素有些变化，这在一定程度上可能与罗伯茨山组的岩性变化有关。这里有两种类型的碳酸盐：第一种为纹层状砂泥质白云岩，其岩性对成矿和蚀变都有利；第二种为纹层状砂泥质灰岩，这种岩石总的说来对成矿不利。第一种岩石中，方解石的 $\delta^{18}O$ 值为21‰，白云石为23‰，这与内华达州其它地方罗伯茨山组中有利成矿岩石的情况是相似的。第二种岩石中，方解石和白云石的比值很大，其中方解石的 $\delta^{18}O$ 值近于13—19‰，而白云石则近于24‰。在矿化层中，残余方解石的 $\delta^{18}O$ 值为14—18‰，这表明这些方解石经历过重结晶并与成矿溶液发生过同位素交换。浅部的方解石脉，多数可能是由酸滤带以下的方解石经溶解和再沉淀而成。矿化层中白云石的 $\delta^{18}O$ 为19—25‰说明这种白云石和含矿溶液之间的交换反应有限，这和化学分析及岩石资料所反映的情况也是一致的。

酸滤氧化带和仅遭受过晚期表生氧化作用的岩石中，碳酸盐矿物的氧同位素资料表明，矿物与成矿溶液间的同位素交换，是随蚀变的强度而变化的，蚀变越深，交换的程度愈高，而在酸滤和晚期表生氧化作用期间这种交换和重结晶作用是不显著的。

第一种岩石中，方解石和白云石的 $\delta^{13}C$ 值与矿化层的情况相似，方解石为-1—+1‰；白云石为-0.1—+1‰，这说明成矿溶液中的 CO_2 是由沉积岩中的方解石经溶解再沉淀而成。重晶石脉的 $\delta^{34}S$ 值近于28—32‰；硫化矿物的为4—16‰；容矿围岩的成岩黄铁矿为11.7—14.3‰；原生矿石、火成岩墙以及石英细脉中的热液黄铁矿为4.2—16.1‰。绝大部分硫化物中的硫属沉积来源硫，且来自矿床之下的下古生代碳酸盐地层中的成岩黄铁矿。硫酸盐硫可能来自深部地层中的浸染状沉积重晶石，或者通过两种硫的平衡分配而与硫化物的

硫来源相同。重晶石脉中方铅矿的铅同位素资料表明，这些铅有一部分或者全部都是来自罗伯茨山组。

总的说来，卡林金矿的地质和地球化学资料表明，该矿床是在第三纪时期，由高角度断裂活动、火成岩活动和热液活动相互配合而形成的。很明显其成矿的物理化学条件和热泉体系根部的条件相似，属低温热液矿床。火成岩活动为成矿提供热源，而热液中的水可能全部来自天水或大气—同生水，绝大多数的成矿物质可能来自矿床之下的深部沉积岩。当温度和压力下降时，含矿热液便沿着主要高角度正断层向上运移，并向有利于成矿的破碎薄层碳酸岩中渗透。

早期的成矿溶液呈弱酸性，在温度为 175°C — 200°C 时，含有大约2—4%（当量）NaCl，其中搬运有硅、铝、钾、铁、硫、有机碳和少量的砷、铋、汞、铊、金、钽，可能还有铜、铅、锌。这时的溶液使围岩中的方解石遭到溶解，而沉淀出氧化硅，形成绢云母和高岭石。细粒物质和活性的有机物的存在，以及石英、粘土矿物和黄铁矿等的形成，可能有助于金、砷、汞、铋、铊等重金属元素的沉淀。金和汞通过和有机物质发生反应而形成金—有机物和金—汞—有机物的化合物，并和砷、铋、铊一起沉淀在黄铁矿颗粒的表面上。在矿物共生组合中，砷、汞、铋、铊的硫化物和硫盐以及贱金属硫化物可能形成较晚。

随着温度的升高，流体在中等深度发生沸腾，这时，象硫铊矿和氟钽石等这些比较可溶的矿物就沉淀出来。 CO_2 和 H_2S 的逸失，致使溶液硫份变贫碱性增高，于是促进了砷—汞—铋—铊矿物组合的形成。由于蒸发的结果，硫化氢进入饱气带，与来自大气的氧相混合，形成硫酸，随即使围岩和已经形成的矿化带遭到侵蚀，从而溶蚀掉方解石和白云石，同时带入外来的硅质。沸腾和酸滤期间形成的重晶石脉和石英脉，是在 250°C — 300°C 温度下从 $>17\%$ （当量）NaCl的溶液中沉淀出来的。

酸滤作用紧接在成矿的主期热液阶段之后发生。此种作用与大气水所引起的晚期表生氧化作用不同。尽管后者的影响可以达到酸滤带以下很深的部位，但在很多地方，这两种作用的结果是迭加在一起的。

对热液成因的成矿组分的溶解度以及这些组分被带入矿化和蚀变岩石中的数量所作的简单计算表明：要搬运这些组分大约需要10亿吨左右的溶液，而形成晚期脉体的酸滤作用则需要100亿吨溶液。促使卡林金矿形成的热液体系的运行时间，大约至少在10万年以上。

绪 论

一、交通位置

本报告叙述卡林金矿床和林恩矿区地质特征。该区地处内华达州尤里卡县北部，面积80平方公里。卡林矿山位于区内塔斯卡罗拉山主峰附近，海拔6400英尺。地质填图的范围以卡林矿山为中心，东西宽10公里，南北长8公里，图幅边界为西经 $116^{\circ}15'00''$ 到 $116^{\circ}22'30''$ ；北纬 $40^{\circ}52'30''$ 到 $40^{\circ}57'30''$ 。

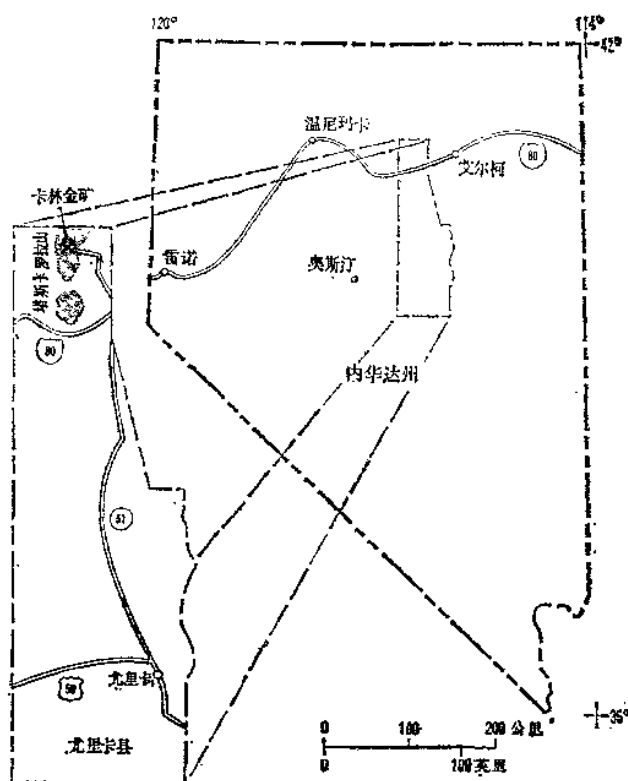


图 1 交通位置图

从内华达州的卡林镇向北约35公里有柏油路可达卡林矿山，矿山位于美国40号公路上。从卡林矿山有一条经二次改建过的大路向西进入波尔德河谷 (Boulder Valley)，并在邓菲镇 (the town of Dunphy) 附近向北与18号州级公路相连，向南则和美国40号公路连结。从卡林矿山向北，沿着小波尔德盆地 (the Little Boulder Basin) 西缘有一条未经改建的大路延伸到兰星矿山 (Blue Star mine)，沿着罗德奥河 (Roedo Creek) 再

继续向北、向西，和一条级别渐变的大路相接，这条大路沿着波尔德河谷可向北西延伸。为了提供进入各采区的通道，已经建筑了不少矿区简易公路。

二、地 势

塔斯卡罗拉山是盆一岭 (Basin and Range Province) 地区中北部的代表性山脉。山脉的主要走向为北—北东向, 山脉两侧为冲积物复盖的山谷所环绕。在调查区内最高的山峰海拔7290英尺, 最低点位于本区的南西角, 高约4960英尺。

塔斯卡罗拉山东坡, 局部被一些向东流去的间歇性河流所切割。这些河流又共同注入一条被冲积物充填的无名河谷。其中的西蒙河 (Simon Creek) 和林恩河 (Lynn Creek) 已被侵蚀成两条明显的峡谷。山脉东坡地势的起伏约为100~300米。另一条从里士满山向东南方向流出的间歇性河流, 呈一峡谷, 它和里士满山陡峻的南西坡一起, 构成图区的南界。

卡林矿山的南西部, 塔斯卡罗拉山的西缘, 地势起伏约240米, 其山坡缓缓地下降到一个被冲积物填满的山谷, 由上覆有古生代沉积岩的火山熔岩构成的低而圆的丘陵把它同波尔德山谷分开。绵羊河 (Sheep Creek) 的流水侵蚀作用, 在卡林矿山附近造成不少重要的自然地理景观。其上游开始于南北—北东向分水岭之西坡, 即卡林矿山之北大约1.5公里的地方。这条间歇性河流向西流经一条恰好在卡林矿山之北侵蚀很深的峡谷, 在向西流入波尔德谷之前, 在卡林矿区北西约1.5公里处向南流经绵羊河峡谷达1.5公里。绵羊河的另一重要支流在卡林矿区之南0.75公里处已侵蚀出一东西向的较深峡谷。

虽然塔斯卡罗拉山的主要轴线呈北—北东方向, 但在卡林矿山之西约1.5公里处却有一走向北—北西极为明显的支脉, 其上丘陵起伏, 并由东到西把小波尔德盆地同波尔德谷分开。在这个区域内, 山脉的地势起伏大约90—180米。兰星金矿床 (Blue Star gold, deposit) 就在这个山脊的顶峰附近, 卡林矿山之北西约5公里处。

卡林矿山之北, 塔斯卡罗拉山的地势起伏最大, 约300米, 山脉边缘平均坡度为 10° — 15° 。塔斯卡罗拉山的这一部分, 以其山顶浑圆, 支脉和山脊平坦, 山坡长而坡度均匀和切割不深为其特点。

三、气候和植被

本区的气候, 属于半干旱和典型的北部大盆地气候。河谷中夏季平均气温 18° — 24°C , 海拔较高的地区稍冷。根据罗伯茨等人 (1967) 的资料, 尤里卡县北部一年平均有50多天最高温度达到 32°C 或更高。冬季平均气温 -7 — -1°C 。年平均降雨量为250—380毫米。

在这些山上的植物有艾灌丛 (*Artemisia* sp.——蒿属, N—Q)、桧属 (*Juniperus* sp. 属) 以及松属等。

在冲积物复盖的河谷和山坡的较低部位, 也有艾灌丛 (小艾树) 以及白蒿分布。

四、工作概况

由纽蒙特矿业公司 (Newmont Mining Corporation) 地质人员在内华达州北部所发现的卡林金矿, 激起了人们对其经济上和科学上进行研究的兴趣。美国地质调查所首先对卡林金矿及其区域地质环境进行详细调查, 其所获研究成果列于本报告的有: 区域地质背景、矿区的构造及地层特征、围岩和矿石的地球化学和矿物学等等。最后, 对所获有关矿石的化学

和矿物学方面的资料结合地质背景进行了研究,提出了矿床的矿物共生组合方面的有关结论。

卡林金矿的填图工作始于1966年8月。1966年秋季和1968年夏季对剥离出来的梯段进行了1:240比例尺的编录,所获资料随即又被编入卡林矿业公司工程技术人员所提供的1:1200比例尺的图上。在填图的同时采集了550件样品,这些样品代表着矿床上部45到60米部位的岩石、蚀变、和氧化矿石的全部类型。在对矿山进行开发的同时,于1968至1973年夏、秋的野外工作季节,又对修改过的1:1200梯段地质图进行了补充填图工作。在此期间,采集了近250件的补充样品,其中绝大部分样品是从整个西矿带、主矿带和东矿带矿坑中较深部位采集的,这些样品能代表各种类型的热液蚀变岩石和原生矿石。1972年9月,对波波维奇山南面约520米处的小型南矿坑中的南延矿体进行了填图和采样工作。1973到1976年对这个矿山作概略调查时,对新剥离出来的地段进行了填图和采样,在此期间,矿山地质人员还提供了某些具有特殊意义地段的补充样品和资料。

原生矿石以及热液蚀变岩石的补充样品,是从1969年夏季打的金刚石钻进的岩芯中采取的。这个垂直钻孔和美国地质调查所的卡林I号钻孔一样,位于波波维奇山之北西侧海拔6450英尺的地方;该孔终孔孔深293米,终孔前穿过了东矿带中的几个矿化带。

矿区大面积的正式填图开始于1969年,1970年完成,面积80平方公里,其范围包括卡林、兰星两矿床的及林恩矿区的绝大部分。比例尺为1:1200。填图期间,对全区不同类型岩石都采了样,用来研究其化学组成及矿物特征。

作为卡林金矿开发工程的一部分,于1968到1971年夏季,进行了整个测区达650平方公里左右的区域地质填图;这项工作的主要部分为詹姆斯G·艾文斯(James G. Evans)和利兰D. 克雷斯(Leland D. Cress)所作。测区包括罗德奥河北东地区、威尔切斯峡谷(Welches Canyon)和施罗德山(Schroeder Mountain)一带,地形底图比例尺为1:24000。

有关矿物学、化学组份、围岩的稀有元素含量以及金矿石的实验研究工作,于1967年1月开始在美国地质调查所、美国矿业局以及加利福尼亚州的斯坦福大学的实验室中进行。各种类型的岩石和矿石的标准分析数据见本文中有关插表。

从卡林金矿床的350件围岩和金矿石样品所制备的400件薄片和光薄片以及200件光片,用常规的岩石学和矿物学方法进行了研究;还研究了林恩矿区内,卡林矿床外围其它岩石的100米件薄片。辅助的矿物学研究则用X—射线衍射技术对所有样品的“全岩”粉末试样进行测试,此外还挑选了一部分样品对其中的重矿物和轻矿物都进行X—射线衍射分析,对粘土矿物则用标准的乙二醇法和热分析法进行研究。

由于金矿石中的金粒普遍太细,所以对从80件围岩和矿石样品制成的160件光片、光薄片和人工砂片(grain—mount sections)都使用电子显微镜来鉴定不同的矿物并确定其组份。上述工作证明了一个事实,即金在矿石中有几种共生组合关系,而且可以根据它们的化学成份和矿物学特征划分矿石类型。此外,还鉴别出五种新矿物和几种已知矿物的新变种。蚀变和未蚀变围岩的代表性样品以及氧化矿石和原生矿石的代表性样品用扫描电子显微镜鉴定,以研究粘土的结构和矿石的结构、构造。

用多种方法对500件围岩和矿石样品进行分析以确定典型矿物的主要元素和微量元素组份;比较其含量的多少和不同部位含量的差异、矿石类型以及热液蚀变、表生变化程度;

以获得矿床地球化学历程方面的信息。具体地说：(a) 主要元素含量的化学分析用萨皮诺 (Shapiro) 和布兰罗克 (Brannock) (1962) 所叙述的快速分析法；(b) 对主要和微量元素都作半定量光谱分析；(c) 对金、硒、碲和铋作原子吸收分析，对金还进行了几种火法试金分析；(d) 对汞用测汞仪和莱美尔 (Lemaire) 取样原子吸收分析；(e) 对有机碳采用莱科 (Leco) 燃烧分析；(f) 对硫、砷、锑、钼、铋用 X-射线荧光分析；(g) 对砷、锑、钼用比色分析。

为了获得某些需要测定其元素的三度空间分布特征，以及研究典型原生矿石的样品，从遍布在东矿带、主矿带和西矿带的96个回转式占进的钻孔中选择了大约300件样品。每个样品由1.5米进尺的混合岩屑组成。这些样品除了用快速的岩石分析法外，也用了上述方法进行分析。这些化学数据采用线性回归和判别分析方法进行统计学处理，用以获得有关矿石共生组合的信息。

罗伯特·拉伊 (Robert O. Rye) 所作的稳定同位素测定工作，提供了关于成矿条件，和热液流体以及富集于矿石中的硫和碳来源的有关信息。氢、氧、碳和硫的稳定同位素资料，列表和讨论于本报告的后面章节。

五、前人的工作成果

内华达州这一地区的首次综合性地质调查工作是由克拉伦斯·金 (Clarence King) 和阿诺德黑格 (Arnold Hague) 于1969年开始的。他们的研究成果包括在金 (King, 1978) 所编写的报告及金所主编的地质图和地形图册中。在他们的报告中把塔斯卡罗拉山叫作科特兹山脉 (Cortez Range)，并把林恩构造窗 (Lynn Window) 的岩石划分为两个填图单元，即韦伯石英岩 (Weber Quartzite) 和第三纪流纹岩 (Tertiary rhyolite)。

艾孟斯 (1908) 概述了1908年在内华达州北一中部进行的野外调查的成果，也简要地描述了林恩矿区 (Lynn mining district) 的地质特征和大六 (Big Six) 等几个矿区砂金的生产情况。虽然艾孟斯把目前通称的维尼尼 (Vinini) 组硅化沉积岩看做是层状流纹岩，但他承认本区有花岗闪长岩侵位于石灰岩和石英岩中。纳拉莫尔 (Naramore, 1911) 和希尔 (Hill, 1912) 在他们编辑的美国西部矿区资料中，简要地描述了林恩矿区砂金的生产状况。内华达州尤里卡县北部早期地质普查的草图是由李等人 (Lee and other, 1916) 编制的。

已发表了很多有关林恩矿区小型砂金矿床产出地质背景及生产状况的报告 [林肯 (Lincoln, 1923)；史密斯和范德堡 (Smith and Vandenburg, 1932)；范德堡 (1936, 1938)；南太平洋公司 (Southern Pacific Co., 1964)]。科西曼和伯根德尔 (Koschmann and Bergendahl, 1968) 于他们所编制的美国主要金矿开产区的文献中，简要地叙述了林恩地区金矿生产状况。约翰逊 (Johnson, 1973) 对上述这些砂金矿床作了精辟的论述，对矿床的地质特征进行了总结，并指出，尽管矿床的物质来源可能是维尼尼组中的含金石英脉，但这些含金石英脉在成因上却又可能与卡林矿床的浸染状矿石有关。罗英 (Roan, 1961) 第一次详细地叙述了这个研究区的地质特征，着重描述了本区的构造、地层和沉积岩中的古生物。

哈迪 (Hardie, 1966) 是首先描述卡林金矿床的人。罗伯茨 (Roberts, 1966) 则致

力于卡林矿床产出部位与矿带之间关系的论述；罗伯茨同其他一些学者（1967）汇编了关于内华达州尤里卡县地质情况和矿物资源的资料。豪森（Hausen, 1967）、豪森和克尔（Kerr, 1968）等人对卡林金矿上部接近地表部分的不少地质、矿物特征作了极为良好的叙述。有关卡林金矿床深部原生矿石和围岩的实验室和野外初步研究成果是由拉德克（Radtke）和沙因勒（Scheiner, 1970b.）报导的。罗伯茨等人（1971）对有关内华达州各种类型金矿床的大量资料进行了综合整理。

1969年，艾文斯（J.G. Evans）和笔者开始对林恩矿区进行区域地质填图。林恩区绝大部分面积的1:24000地质草图是艾文斯测制的。罗德奥河（Rodeo Creek）北东和威尔切斯峡谷（Welches Canyon）地带的最终图件（比例尺同前）是艾文斯测制的。更详细的地质图有如下几幅：①由拉德克1973年测制的1:3600卡林金矿床地质图；②由拉德克1978年测制的本区外围并包括卡林金矿在内的1:12000地质图。卡林金矿床的摘要文章是由诺布尔（Noble）和拉德克两人合写的。本文还引用了大量有关卡林金矿床的特有矿物和地球化学特征，以及总结卡林和其它浸染—交代金矿床地质特征的报告内容。

六、林恩矿区开发史

根据约翰逊（1973）资料，林恩矿区的采矿活动是随着小型砂金矿床在林恩河的发现而于1907年开始的。这些砂矿以及沿着绵羊河和罗德奥河发现的其它砂矿，断断续续地一直开采到现在；每年的平均产量仅有几百盎司（金衡）的金以及少量的银。

1907年，沿着林恩河与绵羊河水系之间的塔斯卡罗拉山脊发现了小而薄的含金石英脉。这群矿脉通称为“大六矿床”（Big Six deposit），其产量很低，1935年到1936年间产量最高，达到近500盎司（金衡）。

本世纪20年代，在西蒙河（Simon Creek）南侧，尚未发现的卡林金矿床之东1.5公里左右的地方，有叫做莫宁格罗里（Morning Glory）的矿区。根据劳伦斯（Lawrence, 1963）的资料，矿床中辉锑矿同重晶石一起产在石英脉中。罗伯茨等人（1967）指出，金和辉锑矿、锑的氧化物矿物相共生，产于北东走向的剪切带中，但没有产量记录。1929年，在构成小波尔德盆地西缘的山脊处发现了宝石级绿松石的小矿体。这个宝石矿床位于卡林矿床北西约5公里和兰星金矿之东约0.75公里，称为第八（Number Eight）矿山。根据墨菲的资料（1964），自1929年起已从这个矿床中采出了价值达1500000美元的绿宝石。于1959年沿着这个矿山的一条逆冲断层发现了金矿石（罗伯茨等人，1967）。1960~1964年间，用氰化法选矿以每天加工100吨矿石的能力进行了小规模的生产。从1977年起，卡林矿业公司开始开采该断层上盘炭质页岩和蚀变灰岩中的浸染型金矿。

罗伯茨（1960）指出，内华达州中—北部的矿床受该区的主要构造控制；主要矿床产在罗伯茨山逆冲断层下盘的碳酸盐岩石中，构造窗又与伴随着火成岩活动的隆起有关，所以他认为逆冲断层附近的下盘碳酸盐岩层应当是有希望的勘查靶区。基于上述假设，在副总经理罗伯特·B·富尔顿（Robert B. Fulton）的指导下，纽蒙特矿业公司评价了许多有远景的构造窗，最后选择林恩构造窗进行勘探。野外工作，包括沿着罗伯茨山逆冲断层的填图和采样，是在约翰·利弗莫尔（John Livermore）的主持下于1961年春天开始的。当年10月

至11月开始用界椿圈定勘探区地盘，1962年7月在富尔顿指导下开始钻探。1962年9月发现了第一件够品位的样品，1965年5月开始生产金时已圈出了1千1百万吨，平均品位为9.33克/吨的矿石储量。该矿山和氰化选矿厂每天的处理能力为2000吨，每年生产近20万盎司（金衡）的金，已成为美国目前第二大的金矿山。

除了卡林金矿外，纽蒙特矿业公司还从最近在第八矿山（Number Eight mine）附近发现的兰星金矿床中开采浸染状金矿。该矿床位于卡林金矿北西5公里，第八矿山之西0.75公里处。兰星金矿也是一个浸染—交代型金矿床，但比卡林金矿小得多，矿石储量3~4百万吨（L. L. 诺布尔1976年口头报导的情况）。

大约在兰星金矿北东3公里处，有一个小型的含金岩株侵入体，叫做“哥德斯特莱克”（Gold Strike）侵入体（图中未表示，但包括在文文斯所测制的图中，1972a, 1972b），可能是一个大储量低品位的矿床。本区目前正在由西部矿产公司进行评价，该公司正在从侵入体附近的石灰岩和页岩中开采浸染状金矿。

1962到1971年间，另有不少公司在林恩矿区内进行勘探和评价。但是直到1977年为止，他们在这个矿区并未发现其它够商业规模的金矿体。

第一章 地层和岩石

林恩构造窗（Lynn Window）北东部份（包括卡林金矿在内）的地层，由奥陶纪到泥盆纪的沉积岩组成，包括石灰岩、白云岩和石英岩，为一套冒地槽条件下形成的浅水沉积，构成罗伯茨山逆冲断层的下盘（罗伯茨等，1967，P.5）。构造窗附近罗伯茨山断层的上盘，为一套很厚的燧石、页岩和灰岩互层，其时代为奥陶—志留纪，属内华达西部的优地槽沉积。这套地层于晚泥盆或早密西西比世的安特勒造山运动期间向东逆掩于现在的位置上〔梅里厄姆（Merriam）和安德逊（Anderson，1942）；吉鲁列（Gilluly，1954）；罗伯茨等（1958）〕。

罗伯茨山逆冲断层形成过程中及其以后，有一套碎屑沉积岩从安特勒造山带向东超覆、形成若干超覆体。朵特（Dott，1955）和罗伯茨等人（1958）对出露于卡林镇以东几公里的超覆体中的地层进行了详细研究，其剖面（表1）厚约2750米，时代为早密西西比世（？）至二迭纪。林恩构造窗北西50公里处，缺失这套地层。如果在罗伯茨山断层形成的时候或其稍后，林恩构造窗地区曾经隆起过，那么这里就绝不可能存在这套超覆地层，即使存在，厚度也很薄，其后，还会被完全侵蚀掉。

史密斯和凯特纳（Smith and Ketner 1977）曾讨论过卡林金矿南南东方向50公里左右处卡林—皮尼翁（Carlin—Pinon）山地区早古生代以来的构造运动。他们发现该区经历过七次形变事件：