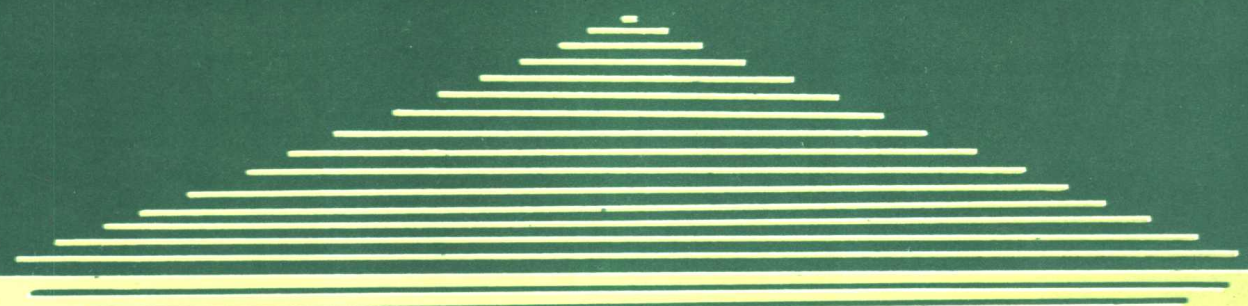
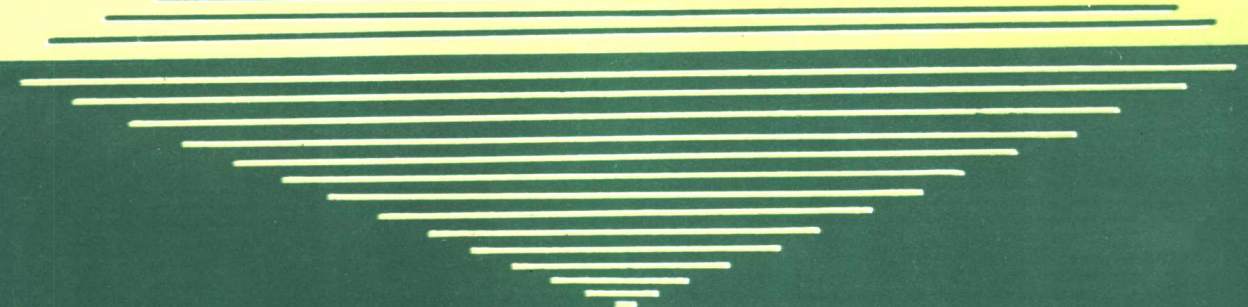




绿岩型金矿床成矿流体的 地球化学

徐九华 何知礼 谢玉玲 编著



地质出版社



内 容 提 要

本书对国内著名的绿岩型金矿成矿溶液的地球化学性质进行了论述,内容包括矿物包裹体地球化学、岩石及矿石稳定同位素地质、成矿物理化学参数估计、围岩蚀变等,最后对比了国内外绿岩型金矿的成矿物理化学条件。本书对绿岩型金矿的找矿勘探及研究工作有一定指导意义。

图书在版编目(CIP)数据

绿岩型金矿床成矿流体的地球化学/徐九华等编著. —北京:地质出版社,1996.3
ISBN 7-116-02072-1

I. 绿… II. 徐… III. 脉金矿床,绿岩型-液包体-地球化学 N. P618.510.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 00447 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:钟正钢 江晓庆

*

北京地质印刷厂印刷 新华书店总科技发行所经销

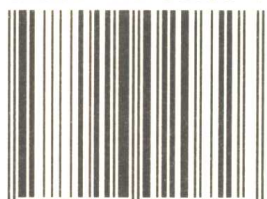
开本:787×1092 1/16 印张:6.375 铜版图:2 页 字数:15.90 万

1996 年 3 月北京第一版·1996 年 3 月北京第一次印刷

印数:1—350 册 定价:8.00 元

ISBN 7-116-020721
P·1557

ISBN 7-116-02072-1



9 787116 020726 >

ISBN 7-116-02072-1
P · 1557 定价: 8.00 元



目 录

前言	(1)
第一章 胶东玲珑金矿床成矿流体特征	(3)
一、矿床地质特征	(3)
二、流体包裹体研究	(6)
三、成矿物理化学参数的分析	(10)
四、成矿热液运移方向	(14)
小结	(17)
第二章 胶东金青顶金矿床的蚀变矿化	(18)
一、地质特征	(18)
二、含金矿物特点及成矿阶段	(18)
三、围岩蚀变研究	(22)
四、流体包裹体和稳定同位素特征	(26)
小结	(28)
第三章 豫西小秦岭文峪-东沟金矿床矿化蚀变特征和成矿流体地球化学	(29)
一、矿区地质概况	(29)
二、含金石英脉特征	(32)
三、矿石矿物共生组合及成矿阶段	(34)
四、围岩蚀变	(35)
五、稳定同位素地球化学	(43)
六、矿液运移方向研究	(51)
小结	(55)
第四章 冀北后沟金矿床热液蚀变特征及矿床成因认识	(56)
一、地质概况	(56)
二、热液蚀变	(57)
三、矿床成因认识	(62)
小结	(65)
第五章 绿岩型金矿床成矿流体地球化学	(66)
一、小秦岭金矿热液蚀变流体包裹体研究	(66)
二、小秦岭、胶东金矿床流体包裹体特征对比	(68)
三、小秦岭、胶东金矿床稳定同位素组成对比	(72)
四、国外绿岩型金矿成矿物理化学条件	(76)
小结	(83)
参考文献	(85)
图版及说明	(89)
英文摘要	(95)

CONTENTS

Preface	(1)
Chapter 1 Physico-chemistry of Ore-forming Fluid in the Linglong Gold Deposit, Jiaodong Peninsula	(3)
1. Geological setting	(3)
2. Fluid inclusion study	(6)
3. Physico-chemistry Parameters	(10)
4. Moving direction of ore-forming fluid	(14)
Summary	(17)
Chapter 2 Alteration and Mineralization of the Jinqingding Gold Deposit, Jiaodong Peninsula	(18)
1. Geological setting	(18)
2. Characteristics of gold-bearing minerals and paragenesis	(18)
3. Wallrock alteration study	(22)
4. Fluid inclusions and stable isotope data	(26)
Summary	(28)
Chapter 3 Mineralization, Alteration and Geochemistry of Ore-forming Fluids at the Wenyu-Dongchuang Gold Deposit, Xiaoqinling Mt.	(29)
1. Geological setting	(29)
2. Gold-bearing quartz veins	(32)
3. Paragenesis of ore minerals and stages of mineralization	(34)
4. Wallrock alteration	(35)
5. Stable isotope geochemistry	(43)
6. Moving direction of ore-forming fluids	(51)
Summary	(55)
Chapter 4 Alteration and Metallogenesis of the Hougou Gold Deposit, North Hebei	(56)
1. Geological setting	(56)
2. Hydrothermal alteration	(57)
3. Ore genesis	(62)
Summary	(65)
Chapter 5 Geochemistry of Ore-forming Fluid of Gold Deposits in Greenstone Belt	(66)
1. Fluid inclusion study on altered rocks of gold deposits in Xiaoqinling Mt. area	(66)

2. A comparison of fluid inclusions between Xiaoqinling Mt. and Jiaodong Peninsula	(68)
3. A comparison of stable isotope study of Xiaoqinling Mt. and Jiaodong Peninsula	(72)
4. Physico-chemical conditions of gold Mineralization in glod deposits outside China	(76)
Summary	(83)
References	(85)
Plates and Explanations	(89)
Abstract in English	(95)

前 言

华北陆台边缘,分布着占我国黄金产量 50%以上的绿岩型金矿。绿岩型金矿是指产于前寒武纪花岗岩-绿岩地体(以 GGT 表示,即 Granitoid Greenstone Terranes 的缩写)背景中的金矿床类型,这个概念不强调成矿作用和成矿时代(罗镇宽等,1993;陈衍景,1993),而强调地质构造背景。容矿围岩可以是变火山岩(绿岩),也可以是由绿岩交代重熔形成的花岗岩。在国外,该类矿床主要分布在加拿大地盾、西澳地盾、南非等地,常被称为太古宇脉金矿床、中温热液金矿床或脉金矿床等(Colvine,1989;Kerrick,1993;Groves,1993)。近年来,在巴西、圭亚那、加纳、俄罗斯、印度、西班牙等地的研究文献中,该类矿床也屡见不鲜。过去,人们认为,国外该类金矿多形成于太古宙,但近年来的研究表明,有些矿床是中生代形成的,如内华达山脉的 Mother Lode 地区。从控矿构造角度看,该类矿床多受韧(韧—脆)性剪切带控制,因而也被称为剪切带型金矿。我国华北陆台绿岩型金矿主要在中生代成矿,主要分布在胶东、小秦岭、兴蒙、冀东、辽西、吉南等地区,其中以胶东和小秦岭地区规模最大。自 80 年代初以来,随着黄金找矿事业的兴起,对绿岩型金矿床的地质研究也日益加强,积累了丰富的研究资料。对绿岩型金矿的成矿地质背景、构造控矿规律、成矿作用特点、矿床成因及成矿预测方面获得了很多重要认识。

作者自 80 年代初在玲珑金矿开展流体包裹体研究以来,先后在胶东、小秦岭、冀北等地区许多著名金矿区参加过科研工作。本书是对过去十几年在绿岩型金矿的矿化蚀变特征、流体包裹体和稳定同位素等方面研究的初步总结。编写本书的目的首先在于通过提出不同矿区的实际材料,并通过对比国内外有关研究文献,更深刻地认识绿岩型金矿成矿流体的地球化学;其次可为今后的黄金勘查,特别是已知矿区的深部和外围找矿提供一些科学依据。

全书分五章。第一章介绍玲珑金矿床包裹体研究成果,探讨矿床形成的物理化学条件;第二章研究了金青顶金矿的矿化蚀变特征,并介绍了数学地质多元统计方法的应用;第三章以较大的篇幅总结了小秦岭文峪-东闯金矿的围岩蚀变和稳定同位素研究成果;第四章探讨了碱性岩中破碎蚀变岩型金矿——后沟金矿热液蚀变特征和矿床成因认识;第五章首先对比了小秦岭和胶东两大地区金矿床流体包裹体特征和稳定同位素研究资料,尔后通过研究所收集的加拿大、澳大利亚等国外绿岩型金矿的包裹体、稳定同位素研究成果,对该类金矿床成矿流体的物理化学特征进行了系统总结。

与本书有关的研究成果,特别是有关玲珑金矿和小秦岭地区的科研成果,是冶金工业部有关项目成果的一部分。一些矿区的野外工作得到了玲珑金矿、武警黄金九支队、文峪金矿及东闯金矿、山东冶勘三队、第一冶勘 516 队等单位 and 孔庆存、宫润谭、祝延修、杨发城、苗建华、王义民、杨宝昌、万继红、杨士望、李瑞等人的大力支持和帮助。有关测试工作得到了中国地质科学院矿床地质研究所及地质研究所、中国地质大学(北京)、冶金部地球物理勘查院、有色金属总公司北京地质研究所等单位的协助。北京科技大学地质系申世亮、张西繁老师和历届毕业生(含硕士)杨振林、倪文、孙为人、张明贤、杜加锋、向永生、杨先光、赵彦生、贾水库、杨彩军、詹诗飞、胡进平、李德亭等参加了部分矿区的一些研究工作。工作中还得到北京

科技大学地质系刘正杲、李前懋、陈希廉、袁怀雨、侯景儒等教授、张树泉和倪文副教授的指教。本书的出版得到北京科技大学科研专项基金的资助。在此作者谨向上述单位和个人表示衷心感谢。

第一章 胶东玲珑金矿床成矿流体特征

胶东半岛金矿资源极为丰富,雄据我国之首。半岛西北部的招(远)-掖(县)成矿带的主要金矿床按成矿地质条件和矿石建造,分为“含金石英脉型”(玲珑式)和“破碎带蚀变岩型”(焦家式)两大类。开采历史悠久的玲珑金矿是前一类型的代表。本章在矿床地质研究基础上,详细研究了与金矿化密切相关的脉石英的流体包裹体特征以及各种物理化学参数,为该类型金矿床的成矿作用研究提供了一些实际资料。

一、矿床地质特征

1. 概况

玲珑金矿床位于胶辽地块胶东隆起内的招-平断裂西侧。区域基底地层为新太古界胶东群,古元古界粉子山群和新元古界震旦系蓬莱群。胶东群主要由黑云片岩、黑云片麻岩、斜长角闪岩和黑云变粒岩组成,混合岩化强烈。粉子山群和蓬莱群为中、浅变质岩。

矿区内出露有玲珑花岗岩。据岩石学、岩石化学、同位素地球化学及野外地质特点,玲珑岩体为胶东群经混合花岗岩化交代及部分选择重熔的产物。早期花岗岩的形成时间,推断为吕梁期。中生代受到强烈的花岗岩交代改造(铷-锶内部等时线年龄为 $125(\pm 4.6)\text{Ma}$,杨士望,1986)。

矿区内断裂发育,主要有:①破头青断裂(F_1) 出露于矿区南东边缘,产状大致为 $\text{NE}60^\circ\text{—}75^\circ/45^\circ\text{SE}$;②玲珑断裂(F_2) 斜穿矿区中部,走向 $\text{NE}25^\circ\text{—}28^\circ$,倾向不定,倾角陡,其南端与 F_1 会合;③十几条北东东向压扭性断裂及其派生断裂 如 108 号、52 号、55 号、51 号脉^①等,控制了几百条含金石英脉的分布(图 1-1)。与金矿化有关的钾长石化年龄为 100Ma (李兆龙等,1990)。

2. 矿体特征

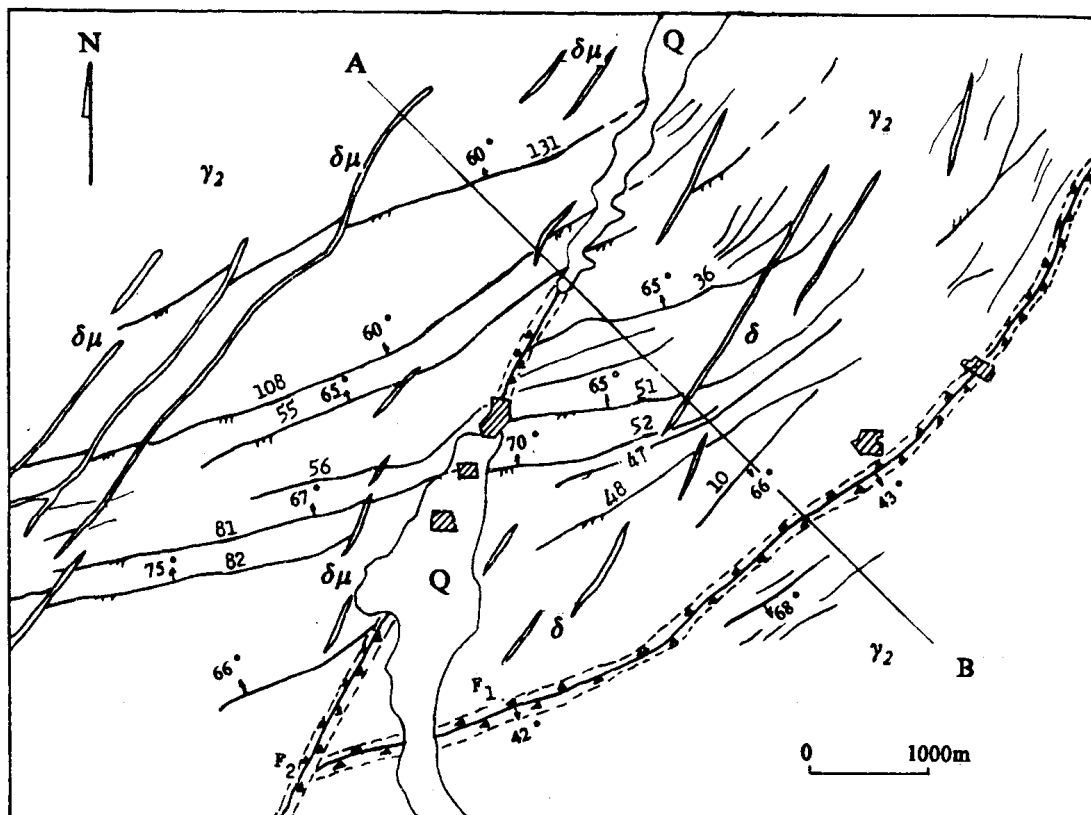
按矿石自然类型,工业矿体可分为两类五种:石英脉型,包括含金石英脉、含金黄铁矿石英脉和含金多金属硫化物石英脉;蚀变岩型,包括含金黄铁绢英岩和含金黄铁绢英岩化花岗岩。

石英脉型矿体多呈透镜状、豆荚状沿断裂走向和倾向呈雁行排列。矿区最大主矿脉 V. 108 即以该类矿体为主。蚀变岩型矿体可分布在石英脉的两侧,也可单独出现,如 V. 52 有不少地段完全由黄铁绢英岩和蚀变花岗岩组成矿体。该矿体也沿主断裂走向呈不规则扁豆状,较连续地分布。一般地, F_2 西侧以石英脉型矿化为主,如 V. 108、V. 55 等; F_2 东侧蚀变岩型较多,如 V. 52、V. 10 等(图 1-2)。

3. 围岩蚀变

断裂两侧围岩(主要是玲珑花岗岩)在热液作用下发生强烈的蚀变,主要蚀变类型有如

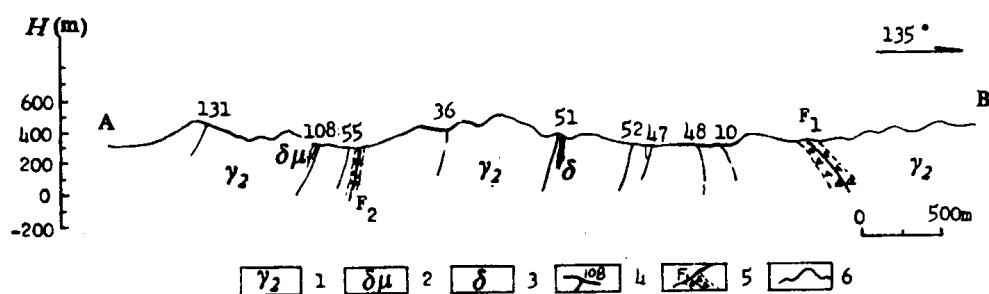
① 此处表示断裂,后文用 V. 108、V. 52 等表示矿脉。



Q 1 δμ 2 δ 3 γ₂ 4 5 5 60° 6 51 7 8 8 9 9 10 10 11 11

图 1-1 玲珑金矿床地质略图

1—第四系；2—闪长玢岩；3—闪长岩；4—花岗岩；5—含矿断裂；6—石英脉产状；7—含金石英脉及编号；
 8—主断裂(F₁:破头青断裂；F₂:玲珑断裂)；9—次级断裂；10—推测断裂；11—村镇



γ₂ 1 δμ 2 δ 3 108 4 F₁ 5 6 6

图 1-2 玲珑金矿地质剖面图

1—玲珑花岗岩；2—闪长玢岩；3—闪长岩；4—矿脉及编号；5—主断裂及编号；6—地形线

下。

绢云母化 发育普遍,贯穿整个成矿过程。绢云母大量交代更长石、微斜长石。

硅化 普遍发育于整个热液成矿期。早期硅化表现为中-细粒石英集合体交代原岩中更长石和微斜长石,与绢云母化一起形成黄铁绢英岩。晚期硅化以形成大小不等的石英细脉、网脉为特征,硅化强烈时形成交代成因的石英脉。

黄铁矿化 与上述两种蚀变伴生,早期呈稀疏浸染状分布于蚀变岩石中,晚期呈黄铁矿细脉、网脉充填于围岩裂隙中。

其他蚀变还有钾化、绿泥石化、碳酸盐化等。蚀变强弱在不同地段各异。

4. 矿物共生组合及成矿阶段

根据野外观察和矿相研究,热液成矿期可划分为四个阶段。

表 1-1 玲珑金矿床一些主矿体的石英流体包裹体特征

矿脉	样号	矿化阶段	采集地点	包裹体类型大小 (μm)	液相充填度 (%)	均一温度($^{\circ}\text{C}$)		爆裂温度 t_D ($^{\circ}\text{C}$)
						t_H	t_H	
V. 108	230-3	I	230mFC8	L+V, <5	86(7)	220	240--300	290
	230-19	I	230mFC19	L+V, <10	85(8)	240	290--350(8)	304
	230-35E	I	230mFC35	L+V, <10	76(11)		295, 335	300
	220-10C	I	220mFC10	L+V, <10	92(9)		280--335(9)	352
	220-6	I	220mFC6	L+V, <7	79(7)	280	280, 340	380
	300-8	I	300mFC8	L+V, <7	74(4)	300	250--280	322
	300-7	I	300mFC7	L+V, <5	85(5)	230	285	332
	380-20	I	380mFC20	L+V, <10	75(5)	290	285--310(9)	272
	420-21	I	420mFC21	L+V, <10	85(15)	225	205--300(15)	268
	420-13	I	420mFC13	L+V, <10	83(3)	235	265, 305	276
	190-3	I	190mK639 线	L+V, <8			320--370(5)	
	190-4	I	190mK637 线	L+V, <10	77.5(8)		290--450(8)	
V. 51	51-5	I	262m153 线	L+V, <8			278--322(11)	298
	51-7	I	262m122 线	L+V, <5			272--290(6)	310
	51-10	I	262m131 线	L+V, <5			305, 305	294
	51-DB2	I	玲珑背	L+V, <6			313--332(3)	300
	51-16	I	262m146 线	L+V, L+Lco ₂ +V, <8			288--369(10)	308
	51-19	I	220m157 线	L+V, L+Lco ₂ +V, <8			312, 355	294
V. 9	9-51.10	I	9 号脉 51 线	L+V, <8	65		270--340(7)	
无矿 石英脉	96-95		F ₁ 南地表	L+V, <10	80(16)		180--230(11)	308
	96-96		同上	L+V, <10	86(9)		245--260(4)	308
V. 52	52-2061	I	大开头 206m	<3				313
	52-2062	I	大开头 206m	<3				310
	52-2551	I	大开头 255m	<3				308
V. 10	10-2061	I	大开头 206m	<3				327

说明: 1) L+V 指气液两相包裹体, L+Lco₂+V 指含 CO₂ 液相的三相包裹体; 2) t_H 指由列姆列英图解获得的均一温度; 3) 包裹体多均一为液相, 少量均一为临界状态。

(1) 黄铁矿-石英阶段(I) 形成乳白-灰白色石英(Q₁)及稀疏浸染状黄铁矿(Py₁), 构成了石英脉主体, 并使围岩受到强烈硅化。该阶段金矿化普遍, 但不富集。

(2) 黄铁矿阶段(II) 形成致密块状或斑杂状黄铁矿(Py₂), 在石英脉主体内及其边缘呈透镜体或条带分布。Py₂ 裂纹发育, 镜下常见被闪锌矿、方铅矿、黄铜矿和磁黄铁矿溶蚀

交代或充填的现象。该阶段金矿化强烈,构成有意义的工业矿体。自然金和银金矿常以包含金或裂隙金形式赋存于黄铁矿中(图版 I-1、I-2)。此外,还有少量石英(Q_2)形成,一般呈烟灰色。

(3)多金属硫化物阶段(Ⅲ) 形成大量单硫化物,生成顺序大致为磁黄铁矿→黄铜矿、闪锌矿→方铅矿。磁黄铁矿局部呈团块状产出,交代 Py_2 ,或充填石英中微裂隙,在 V. 108 深部较常见(图版 I-3、I-4)。黄铜矿常产在石英或黄铁矿(Py_2)内的微裂隙中,或呈乳滴状产于闪锌矿中。方铅矿为较晚期形成的矿物,大量交代早先形成的硫化物。偶可见到黝铜矿、斑铜矿。金矿化强烈,但不普遍。

(4)碳酸盐阶段(N) 晶出以方解石为主的碳酸盐产物(图版 I-5),大量交代硫化物和石英,。此阶段还形成一些胶状黄铁矿(图版 I-6)。金矿化弱。

上述各阶段产物并非在同一地段都发育,除 I 阶段外,其余各阶段均不同程度发育在断裂内的不同地段。如 V. 108 中 Ⅲ 阶段产物主要发育于中深部。

二、流体包裹体研究

1. 研究方法

采集了 100 余件石英脉样品,开展了以石英流体包裹体为主的研究。均一法测温是在莱兹偏光显微镜(Orthoplan-POL 型)和 XYD 加热台上进行的。热台用蔗糖($t_m=185-186^{\circ}C$)和硝酸钾($t_m=334^{\circ}C$)等进行标定。加热速率 $5^{\circ}C/min$ 。为获得更多的温度数据,用列姆列英关于 NaCl 溶液的 $F-t_H$ 图解求得均一温度 t_H^* 。爆裂温度在 PD-1 型自动爆裂仪上获得。爆裂温度—频次曲线由 X—Y 函数记录仪记录,由主爆裂峰前沿的拐点确定 t_D 。

包裹体气相成分 H_2O 、 CO_2 、 CH_4 、 H_2 用 ST-04 型微量水色谱仪测定。样品预热至 $100^{\circ}C$,恒温 10 分钟后驱除样品表面吸附气体和次生包裹体产生的气体。热爆裂终止温度均取 $400^{\circ}C$ 。液相成分分析由原北京钢铁学院化学中心实验室和原冶金部北京矿产地质研究所测定。成分分析样品均为处理后的 40—80 目石英。

2. 包裹体特征及均一温度

玲珑金矿床脉石英中的流体包裹体多为气液两相包体,液相充填度一般为 70%—90%。包裹体细小而密集,一般小于 $3\mu m$,部分可达 $5-8\mu m$,大于 $10\mu m$ 者甚少见。形状较规则,多为椭圆状或似卵状(图版 I-7、I-8)。气液包裹体多属原生成因。在室温较低时,可见含 CO_2 液态的三相包裹体。未见含 NaCl 等子晶的多相包裹体。

在加热过程中,大部分气液包裹体的气泡缩小,最后均一为液相。部分包裹体可能捕获自超临界流体,因这些包裹体在加热过程中相变甚微,最后相界逐渐模糊均一。临界包裹体的均一又分两种情况,一种是 $t_H < 374^{\circ}C$,可能是 CO_2 含量较高所致;另一种为 $t_H > 374^{\circ}C$,是由于溶液盐度较高所致。因为 CO_2 增加导致水溶液临界温度降低,而盐度增加则升高盐水溶液的临界点。

表 1-1 的数据表明,玲珑金矿床的成矿温度具有以下特点。

(1)均一温度范围较宽,为 $200-370^{\circ}C$,个别临界包裹体(盐度较大)可达 $450^{\circ}C$ 。图解的均一温度 t_H^* 略低于这个范围,而爆裂温度则高于这个范围,变化于 $200-390^{\circ}C$ 间(据 95 个样品统计,表 1-1 中未都列出)。

表 1-2 玲珑金矿床一些主矿脉的石英流体包裹体成分特征表

矿脉	样号	矿化阶段	采样地点	气相成分(摩尔数比值) ^①			液相成分(mol/l)						盐度 ^② (NaCl eq.%)	
				CO ₂ /H ₂ O	CH ₄ /H ₂ O	H ₂ /H ₂ O	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	F ⁻		SO ₄ ²⁻
V.108 ^②	230-3	I	230m 中段	0.029	未测	未测	0.50	0.16	0.03	0.042	0.97			4.5
	230-9	I		0.056	未测	未测	0.23	0.20	0.19	0.426	0.81	未	测	8.5
	230-19	I		0.055	0.00012	0.0017	0.25	0.18	0.10	0.070	1.2			4.5
	220-18	I	220m 中段	0.061	0.00067	0.0036	0.30	0.31	0.13	0.070	0.55			6.2
	220-16	I		0.059	未测	未测	0.46	0.24	0.15	0.12	0.27			6.8
	220-10s	I		0.041	未测	未测	0.33	0.07	0.10	0.06	<0.24	未	测	3.9
	220-1	I		0.098	未测	未测	0.37	0.38	0.16	0.10	0.44			7.6
	300-14b	I		0.042	未测	未测	0.71	0.25	0.16	0.032	<0.38			8.2
	300-6	I	300m 中段	0.046	未测	未测	0.28	0.25	0.14	0.014	0.43			5.5
	300-4	I		0.043			0.25	0.93	0.037	0.13	0.56	未	测	10.0
	300-7	I		0.032			0.21	0.34	0.14	0.26	0.48			7.0
	340-18	I	340m 中段	0.043	未测	未测	0.27	0.10	0.14	0.014	0.56			5.0
	340-12	I		0.047			0.14	0.086	0.15	0.56	0.27			7.6
	340-25c	I		0.042			0.26	0.065	0.12	0.060	0.28			3.5
	340-25d	I		0.027	未测	未测	0.28	0.14	0.13	0.008	0.47	未	测	4.0
	340-25c	I		0.052			0.25	0.13	0.12	0.004	0.40			3.9
	340-25f	I		0.032			0.23	0.18	0.14	0.014	0.51			4.5
	340-5	I		0.032			0.18	0.42	0.14	0.014	0.60			6.3
	380-22	I	380m 中段	0.049	未测	未测	0.21	0.30	0.11	0.032	0.39			5.1
	380-20	I		0.034			0.48	0.30	0.13	0.079	<0.3			6.8
	380-16	I		0.033	未测	未测	0.22	0.068	0.083	0.008	0.38	未	测	3.4
	380-19	I		0.012			0.49	0.16	0.018	0.018	<0.20			4.5
	380-33	I		0.036			0.23	0.09	0.01	0.01	0.49			2.3
420-21	I	420m 中段	0.030	未测	未测	0.31	0.27	0.019	0.066	0.88			4.3	
420-16	I		0.064	未测	未测	0.38	0.55	0.11	0.12	<0.26	未	测	<8.6	
420-13	I		0.051			0.31	0.071	0.13	0.013	0.12			4.3	

续表 1-2

矿脉	样号	矿化阶段	采样地点	气相成分(摩尔数比值) ^①				液相成分(mol/l)						盐度 ^② (NaCl eq%)	
				CO ₂ /H ₂ O	CH ₄ /H ₂ O	H ₂ /H ₂ O	H ₂ /H ₂ O	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	F ⁻		SO ₄ ²⁻
V. 108 ^②	190-1	I	190m 中段	0.081	0.00037	0.0046		0.39	0.16	0.061	0.017	0.52	0.12	0.029	4.4
	190-2	I		0.060	0.00023	0.0026									
	190-3	I		0.070	0.00037	0.0021									
	190-4	I		0.156	—	0.0055									
	190-5	I		0.067	0.00041	0.0027		0.20	0.30	0.165	0.069	0.23	0.10	0.068	
V. 51	51-1	I	262m 中段	0.16	0.0027	0.0011		0.46	0.15	0.32	0.20	0.55	0.36	0.35	8.1
	51-2	I		0.084	0.00036	0.0010									
	51-5	I		0.053	0.00025	0.00076		0.17	0.037	0.023	0.041	0.19	0.05	0.024	1.7
	51-7	I		0.060	0.0012	0.001									
	51-10	I		0.052	0.0004	0.00086									
	51-13	I		0.089	0.00025	0.00078		0.23	0.06	0.11	0.037	0.20	—	0.023	3.1
	51-16	I		0.11	0.00042	0.0013		0.32	0.16	0.11	0.051	0.15	0.01	0.07	4.6
	51-19	I		0.090	0.00081	0.00066									
	51-23	I		0.134	0.0026	0.0023		0.13	0.066	0.17	0.097	0.24	0.39	0.084	3.5
	51-DB1	I		0.036	0.00017	0.00069									
	51-DB2	I		0.17	0.00052	0.0014		0.39	0.11	0.05	0.018	0.43	0.13	0.041	3.7
V. 52	52-2061	I	地表, 玲珑背	0.056				0.42	0.18	—	0.56	0.35			
	52-2062	I		0.074	未	测		0.44	0.87	—	0.41	0.49	—	—	
V. 10	10-2061	I	大开头 206m	0.043	未	测		0.31	0.34	—	0.36	0.46	—	—	
V. 9	9-51.10	I	九曲 9 号脉					0.30	0.13	0.042	0.058	0.34	0.035	0.16	3.6
	9-51.12	I						0.17	0.074	0.032	0.011	0.17	0.035	0.034	2.0

①气相成分由作者测试; ②V. 108(除样号 190-2, 190-5 外)、V. 52 和 V. 10 的液相成分由原北京钢铁学院中心化学实验室文德芬老师测试, V. 51、V. 9 和 V. 108 的 190-2、190-5 的液相成分由有色总公司北京矿产地质研究所测试; ③盐度根据样品中阳离子总重量折合成 NaCl 的总重量, 再结合水的重量计算获得, 以百分数计(见正文)。

(2)成矿阶段 I 和 II 的温度无明显变化,如 V.108 I 阶段的均一温度为 205—370℃,II 阶段为 250—350℃(临界包裹体除外)。此外,成矿阶段 III 的温度可由爆裂温度大致估计,方铅矿为 270℃,磁黄铁矿为 260℃。这些事实可能与构造—热液活动的脉动性有关。

3. 包裹体成分特点

表 1-2 列出了玲珑金矿床脉石英的包裹体气液成分特征,主要有以下几点。

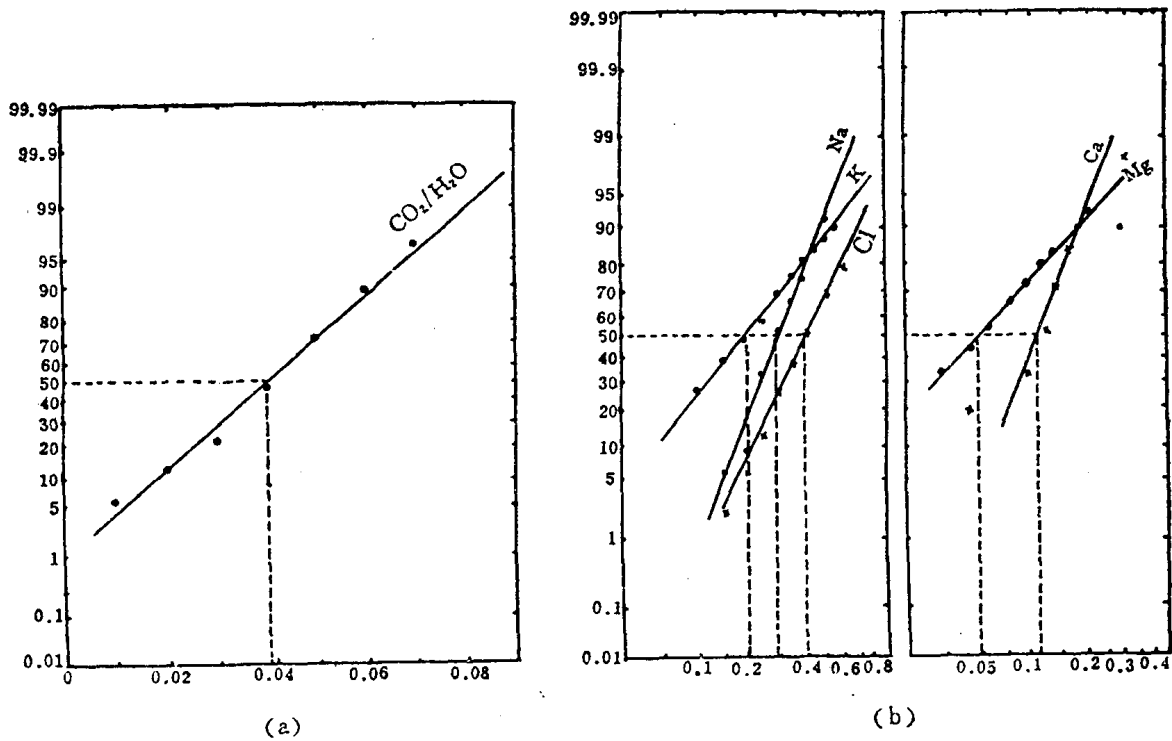


图 1-3 V.108 石英包裹体成分概率图

(a) $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ (摩尔数比值) 算术概率图; (b) 液相成分 (mol/l) 对数概率图

(1) CO_2 含量较高, $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ (摩尔数比值) I 阶段为 0.012—0.134, II 阶段为 0.032—0.17, 其平均值分别为 0.0536 和 0.0903, 相当于质量百分浓度为 11.6% 和 18%。这与世界上大多数太古宙脉金矿床特征是一致的。 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 服从正态分布(图 1-3)。

(2) CH_4 和 H_2 的含量比 CO_2 要少得多, 一般比 CO_2 的低两个数量级(表 1-2)。

(3) 液相成分中, Na^+ 和 K^+ 含量较高。 Na^+ 一般变化于 0.2—0.5 mol/l 之间; K^+ 变化于 0.037—0.87 mol/l 之间。 K^+/Na^+ (质量比) 平均值约为 1.17 (V. 52, V. 10)、0.054 (V. 51)、1.14 (V. 108), 这些数值均低于胶东另一重要的矿床——破碎带蚀变岩型金矿的值, 如焦家金矿床 III 号矿体 K^+/Na^+ 为 1.29, II 号矿体为 3.29^①; 三山岛金矿黄铁绢英岩矿体为 4.82、2.62 (李兆麟、黄兰英, 1985)。

(4) 阴离子中 Cl^- 的含量一般在 0.2—0.6 mol/l 之间, 个别样品达到或超过 1.0 mol/l。

(5) Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 Cl^- 服从对数正态分布。

① 杨士望等, 1984, 胶东半岛西北部招掖金矿带成矿地质规律及找矿方向(科研报告)。

三、成矿物理化学参数的分析

1. 包裹体盐度和密度

因包裹体太小,为获得较多的盐度数据,采用了计算方法。先按成分分析的阳离子总重量折合成 NaCl 的重量,尔后结合水的分析换算成盐度。即盐度($Sal.$)是按下式计算的:

$$Sal. = \frac{(\sum \text{阳离子}) \times \frac{58}{23}}{(\sum \text{阳离子}) \times \frac{58}{23} + H_2O} (\text{wt}\%) \quad (1)$$

式中阳离子和 H_2O 均为单位测试样品中所含的重量,23 和 58 分别为 Na^+ 和 NaCl 分子的质量。

表 1-2 中数据表明,计算的盐度范围在 1.7wt%—10.0wt% 之间,说明矿液的盐度中等偏低,这与镜下未见 NaCl 子晶的事实符合。

密度数据可由充填度获得。室温下观察到的液相充填度(F)与密度(ρ)的关系为:

$$\rho = F \cdot \rho_l + (1 - F) \cdot \rho_g \quad (2)$$

ρ_g 为包裹体气相密度。因气相成分主要为 CO_2 ,其 ρ_g 仅 0.0018g/cm^3 (室温, $1 \times 10^5\text{Pa}$),而 F 又较大(>0.75),故 $(1-F) \cdot \rho_g$ 可忽略不计。于是包裹体总密度可由 F 和液相密度 ρ_l 直接求得。据热力学资料(饶纪龙,1979), ρ_l 与溶液盐度($Sal.$)存在函数关系

$$\rho_l = 1 + 0.01Sal. \quad (3)$$

这里 $Sal.$ 单位为 wt%, ρ_l 为 g/cm^3 。因此,由表 1-1 中 F 、表 1-2 中盐度数据及式(3)、式(2)求得成矿流体总密度范围为 $0.83\text{—}0.87\text{g/cm}^3$ 。

2. 成矿流体压力与成矿深度估计

(1) CO_2 包裹体 用有关的 $H_2O\text{—}CO_2$ 体系包裹体测压法(何知礼,1982)测算,结果为 $350 \times 10^5\text{—}450 \times 10^5\text{Pa}$ (CO_2 浓度法)及 $200 \times 10^5\text{—}500 \times 10^5\text{Pa}$ (卡留日内-活兹尼亚克图解)。

(2) 气液包裹体 是脉石英中最常见的类型,最接近于 $H_2O\text{—}NaCl\text{—}CO_2$ 体系。按该体系实验数据得出的回归方程(徐九华,1991)为:

$$p = 8.28e^{f_2 t + (f_3 - 0.457 \ln W_{CO_2}) C_{NaCl}} (C_{NaCl} \leq 10 \text{ 时}) \quad (4)$$

式中: p —溶液压力($0\text{—}1500 \times 10^5\text{Pa}$)

t —溶液温度($150\text{—}450^\circ\text{C}$)

W_{CO_2} —溶液中 CO_2 溶解度($0\text{—}36\text{wt}\%$)

C_{NaCl} —溶液的 NaCl 浓度($0\text{—}20\text{wt}\%$)

f_2, f_3 —由 C_{NaCl} 所确定的常数

由上式得出最低成矿压力为 $340 \times 10^5\text{—}520 \times 10^5\text{Pa}$ (阶段 I), $300 \times 10^5\text{—}750 \times 10^5\text{Pa}$ (阶段 II)。II 阶段成矿压力变化略大于 I 阶段,可能与 II 阶段烟灰色石英沉淀的构造空间变化较大有关。

(3) 临界包裹体 临界流体的温度 t_c 一定,临界压力 p_c 也就确定了。如前所述,临界包裹体的均一分两种情况,可分别以 $H_2O\text{—}CO_2$ 和 $H_2O\text{—}NaCl$ 体系研究其圈闭时的压力,按 Take-

nouchi 和 Kennedy(1964,1965)的实验资料,可分别得出这两个二元体系临界压力与临界温度之间的关系^①。对于 H₂O-CO₂ 流体有:

$$\ln p_c = 38.86 - 5.58 \ln t_c \quad (t_c = 374-265^\circ\text{C}, p_c \leq 1850 \times 10^5 \text{Pa}) \quad (5)$$

(式中 p_c 、 t_c 分别为临界压力和临界温度)。对于 H₂O-NaCl 体系有:

$$p_c = -985.3 + 3.17 t_c \quad (t_c \geq 374^\circ\text{C}) \quad (6)$$

式中符号同式(5)。两个方程经给定信度 $\alpha=0.01$ 的相关系数检验均表明有意义。据此两方程,计算出临界包裹体的 p_c (即圈闭压力的下限)见表 1-3。

由于纯 H₂O-CO₂ 和纯 H₂O-NaCl 体系不可能存在天然流体中,使得表 1-5 中的数据有一定偏差,但是所得出的压力值与前述两类包裹体的数值大致相当。

(4)成矿深度估计 综上所述,玲珑金矿床主矿脉 V. 108、V. 51 成矿流体压力大致在 2.0×10^7 — 9.0×10^7 Pa 范围内,其中 I 阶段为 2.13×10^7 — 6.27×10^7 Pa, II 阶段为 2.17×10^7 — 8.63×10^7 Pa。 这些值按静水压力算相当于 2—9km, 按静岩压力算相当于 0.7—3.4km。因此根据表 1-4 大部分数据估计,考虑成矿流体压力介于静水压力和静岩压力之间,以及包裹体测压法所求为最低成矿压力(Roedder,1984),矿床成矿深度至少在 0.7—2km 以上。

表 1-3 玲珑金矿床石英临界流体包裹体特征

矿脉	样号	矿化阶段	包裹体大小(μm)	$t_c(^{\circ}\text{C})$	$p_c(10^5\text{Pa})$	备注
V. 108	380-20	I	4	330	404	$t<374^{\circ}\text{C}$ 用式(4)
			8	330	404	
			2×5	328	418	
	190-3	I	4	367	223	
			4×8	370	213	
	190-4	I	4	290	830	
			3	360	249	
			5	450	433	$t>374^{\circ}\text{C}$ 用式(5)
			6	450	433	
			6×8	363	237	
			4×8	310	572	
8			350	291		
V. 51	51-10	I	5	305	627	$t<374^{\circ}\text{C}$ 用式(4)
			5	305	627	
	51-16	I	6×8	369	217	
			4×6	288	863	
			5	320	480	
			5	350	291	
	51-19	I	7×9	312	552	

3. pH 和 Eh 计算

石英脉旁广泛发育绢云母化,可根据 K⁺浓度大致估计 pH 值。设矿液温度 300℃ (表 1-1、表 1-3),K⁺浓度平均值范围 0.05—0.275mol/l(表 1-4),则 pH 范围为 4—5。另据绢云母化反应式:

① 徐九华,1992,H₂O-NaCl 和 H₂O-CO₂ 流体临界曲线回归方程,国际金矿流体包裹体研究与找矿学术讨论会。