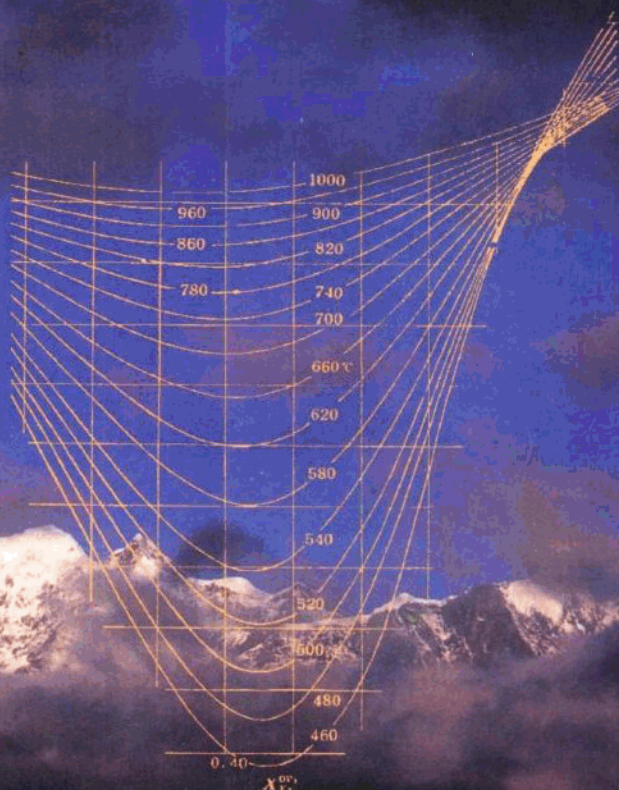


乌拉山脉金矿田

成因矿物学

赵令湖 边秋娟 张汉凯 薛君治 著



中国地质大学出版社

国家教委博士点基金(9549115 号项目)资助

乌拉山脉金矿田成因矿物学

赵令湖 边秋娟 张汉凯 薛君治 著

中国地质大学出版社

内 容 提 要

本书是作者在多年从事我国内蒙古乌拉山脉金矿田科研工作基础上撰写的。该书对乌拉山脉金矿田成因有关的各类地质体分别从矿物学、岩石学及矿床学角度进行了系统描述,还应用成因矿物学和物理化学的理论和方法对碱性长石及其与金矿化的关系作了深入探讨。

本书可供找矿勘探、科研人员及大专院校地质类专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

乌拉山脉金矿田成因矿物学/赵令湖,边秋娟,张汉凯,薛君治著. —武汉:中国地质大学出版社,2000.5

ISBN 7-5625-1564-6

I. 乌…

Ⅱ. ①赵…②边…③张…④薛…

Ⅲ. 金矿-成因矿物学-乌拉山

Ⅳ. P571

乌拉山脉金矿田成因矿物学

赵令湖 边秋娟 张汉凯 薛君治 著

责任编辑:张华瑛

责任校对:张咏梅

技术编辑:阮一飞

出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路31号)

邮编:430074

电话:(027)87482760

传真:87481537

E-mail: cbo@cug.edu.cn

开本:787毫米×1092毫米 1/16

字数:180千字 印张:6.875

版次:2000年5月第1版

印次:2000年5月第1次印刷

印刷:中国地质大学出版社印刷厂

印数:1—300册

ISBN 7-5625-1564-6/P. 538

定价:16.80元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前 言

本书是在为原国家教委博士点基金“内蒙古乌拉山脉金矿田成因及找矿标志”课题研究报告的基础上撰写的。

内蒙古乌拉山金矿自1986年被发现以后,从1988年起,内蒙古地质矿产局、武警黄金部队及一些科研单位、大专院校就先后对该金矿进行研究。这些单位分别从不同角度(岩石学、矿床学、地球化学、构造地质学等)对该矿床成因及成矿标志等进行了探讨。特别是对矿床的成因更是众说纷纭。本书从金矿的赋存状态,以及与金矿有密切成因联系的某些特征矿物入手,运用成因矿物学及物理化学理论和方法,对该金矿床的成因进行了深入探讨。

本书可供地质类专业高年级学生学习阅读,也可作为金矿找矿勘探及科研人员的参考书。

本课题研究工作是在武警黄金部队支持下,在原国家教委博士点基金资助下完成的。先后指导并参加本课题研究的单位和人员有:包头市哈达门沟金矿、包头钢铁公司的领导和职工;武警部队黄金指挥部赵礼;武警部队黄金第十一支队张甫、陈庭芳、张高楼;武警部队黄金地质研究所吴尚全、温家俊、蔡尚波、李广荣;中国地质科学院邹天人;中国地质大学博士研究生胡萍及岩矿专业学生等。冶金工业部桂林地质矿产研究院庄世杰,中国地质大学(北京)测试中心邵道乾、李树岩、陈凤贤、陈进、毕先梅、赵磊,中国地质大学(武汉)测试中心潘宝明、杨勇,材料与化学工程学院陈飞,武汉工业大学测试中心张洁、彭长琪、叶先贤、陈全等同志帮助完成了样品的测试工作,在此一并致谢。

本书编写分工如下:第一章1.1、1.2.1,张汉凯;第一章1.2.2、1.3、1.4、1.8和第四章,赵令湖;第一章1.5、1.6、1.7,边秋娟;第二章、第三章,薛君治;最后由赵令湖统纂定稿。

目 录

第一章 乌拉山脉金矿田地质背景	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 区域变质岩	(1)
1.2.1 乌拉山群岩石学特征	(2)
1.2.2 乌拉山群变质相特点	(3)
1.3 花岗岩	(5)
1.3.1 花岗岩空间分布及特征	(5)
1.3.2 岩石化学成分特征	(7)
1.3.3 岩石的矿物学特征	(8)
1.3.4 岩浆活动与成矿作用的关系	(12)
1.4 蚀变岩	(12)
1.4.1 蚀变类型	(12)
1.4.2 蚀变岩矿物组合及分带	(15)
1.5 伟晶岩	(15)
1.5.1 产出特征	(15)
1.5.2 物质组成	(17)
1.6 含金矿脉	(18)
1.6.1 产出特征	(18)
1.6.2 物质组成	(22)
1.7 “钾化带”	(24)
1.7.1 产出特征	(24)
1.7.2 物质组成	(25)
1.8 矿床地质特征	(26)
1.8.1 矿床赋存部位及产状特征	(26)
1.8.2 矿石特征	(27)
1.8.3 矿石矿物及有用组分的嵌布特征	(29)
第二章 乌拉山脉金矿田矿物学	(30)
2.1 引言	(30)
2.2 硅酸盐矿物	(30)
2.2.1 镁橄榄石	(30)
2.2.2 紫苏辉石	(30)
2.2.3 单斜辉石	(31)
2.2.4 浅闪石质普通角闪石	(33)
2.2.5 铁铝榴石	(34)

2.2.6	黑云母	(36)
2.2.7	白云母和水白云母	(38)
2.2.8	绿泥石	(41)
2.2.9	绿帘石和黝帘石	(44)
2.2.10	碱性长石	(45)
2.2.11	斜长石	(67)
2.2.12	锆石	(71)
2.2.13	榍石	(74)
2.3	磷酸盐矿物(水磷铈石和磷铈镧矿)	(74)
2.4	碳酸盐矿物(方解石、菱铁矿、白云石和铁白云石)	(76)
2.5	氧化物和氢氧化物矿物(磁铁矿、赤铁矿和针铁矿)	(78)
2.6	黄铁矿和方铅矿	(80)
2.7	自然金和自然银	(82)
第三章	乌拉山脉金矿田的成因分析	(85)
3.1	引言	(85)
3.2	乌拉山群变质岩和混合岩脉的特征	(85)
3.2.1	原岩性质	(85)
3.2.2	变质程度	(87)
3.2.3	K_2O 相对化学位($\mu^*_{K_2O}$)	(90)
3.3	花岗岩和花岗伟晶岩脉的 $\mu^*_{K_2O}$ 特征	(91)
3.4	蚀变岩和含金矿脉的 $\mu^*_{K_2O}$ 特征	(92)
3.5	矿床的成因分析	(94)
3.6	矿石类型与 $\mu^*_{K_2O}$ 的关系	(97)
第四章	结论	(100)
4.1	前人的各种矿床成因观点	(100)
4.1.1	同韧性剪切带变质成矿	(100)
4.1.2	区域变质-混合岩化-剪切应变三重成矿模式	(100)
4.1.3	麻粒岩相变质-韧性剪切变形-后期活化改造成矿	(100)
4.1.4	重熔花岗岩成矿	(100)
4.1.5	伟晶岩成因	(100)
4.1.6	多源热液复合成因	(100)
4.2	花岗岩浆期后热液成因观点	(101)
4.3	乌拉山脉金矿田矿物学找矿标志	(101)
	主要参考文献	(103)

乌拉山脉金矿田地质背景

1.1 引言

内蒙古乌拉山脉金矿田发现于1986年,经过紧张的勘查和开采阶段,1992年即形成年产黄金万两的生产能力。目前,在矿区已发现含金矿脉百余条。矿床勘查工作表明,该金矿成矿远景已达特大型金矿。

乌拉山脉金矿田地理上位于内蒙古自治区包头市以西约20km处,构造上位于华北地台北缘,内蒙地轴阴山隆起带中段,地处乌拉山一大青山东西向山前大断裂的北侧,以中—高压为主的变质—构造带中。含金矿脉主要就位于一套中—高压相的断裂构造体系内(图1-1)。



图 1-1 乌拉山一大青山地区地质略图

1. 太古宇乌拉山群; 2. 太古宇集宁群; 3. 中元古界; 4. 早—中元古界二道洼群—马家店群; 5. 中生界;
6. 太古宙岩浆岩; 7. 元古宙岩浆岩; 8. 早古生代岩浆岩; 9. 晚古生代岩浆岩; 10. 中生代岩浆岩; 11. 逆断层; 12. 正断层; 13. 断裂及推测断裂; 14. 金矿床。I. 乌拉山金矿; II. 后石花金矿; III. 东伙房金矿;
IV. 摩天岭金矿; V. 十八顷壕金矿; VI. 大西沟金矿

乌拉山脉金矿田范围内主要出露的是太古宇乌拉山群区域变质岩,印支期为主的花岗岩,不同时代的酸性岩浆伟晶岩,含金矿脉及与之有关的各种蚀变岩和“钾化带”脉状岩石等。

1.2 区域变质岩

乌拉山地区主要出露的地层为太古宇乌拉山群。这是一套主要由浅—深变质岩组成的地层。下部主要为基性麻粒岩和片麻岩。中部主要为角闪质变质岩。上部主要为石榴黑云斜长片麻岩,含石墨大理岩。乌拉山群主要岩性如下:

上部:砂线堇青石榴黑云斜长片麻岩、石榴黑云二长片麻岩、长石石英岩、含石墨大理岩。

中部:斜长角闪岩、黑云角闪斜长片麻岩、黑云角闪斜长变粒岩、黑云角闪二长岩夹黑云斜长片麻岩、含石榴黑云斜长片麻岩、磁铁石英岩及麻粒岩透镜体。

下部:斜长二辉麻粒岩、二辉斜长麻粒岩、花岗质麻粒岩夹紫苏黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩、辉石岩。

1.2.1 乌拉山群岩石学特征

太古宇乌拉山群作为乌拉山岩金矿田的成矿围岩,是矿区形成年代最古老、分布最广泛的地层,其主结为一套以片麻岩为主的区域变质岩。根据矿物组合及结构构造大致可分为以下几类:

1.2.1.1 麻粒岩类

主要出露于矿田南部,若集中于哈达门沟一带,多呈薄层状、透镜状分布,以含紫苏辉石等为其特征,岩石多为灰黑色,以块状构造为主,粒状变晶结构,以紫苏辉石、透辉石为主的暗色矿物含量达30%~40%。还可有角闪石、黑云母等。浅色矿物为钾长石、斜长石及石英等。其中紫苏辉石具特征的玫瑰红色,平行消光及斜消光。多色性明显, N_g 方向为淡绿色, N_p 方向为玫瑰红色。透辉石多为半自形粒状,淡绿色多色性不显著,斜消光。角闪石为普通角闪石,含量小于10%,棕色多为半自形,它形粒柱状结构。黑云母多为深棕色,含量约5%,少量绿色黑云母具交代特征,为退变质产物。钾长石以微斜长石为主,具格子状双晶。斜长石一般为中基性($An_{45}-An_{55}$),具钠长石双晶,其含量高于钾长石。石英含量很少。岩石类型有:黑云紫苏麻粒岩、榴辉二长麻粒岩、含磁铁二辉麻粒岩等。

1.2.1.2 片麻岩类

片麻岩类岩石是构成乌拉山群变质岩的主要类型,具有出露面积广,东南向稳定展布的特点,片麻岩类岩石均具片麻状构造,中、粗粒变晶结构或斑状变晶结构。矿物成分主要为斜长石、钾长石、石英、黑云母、角闪石、石榴石及少量矽线石、堇青石等。主要岩石类型有:黑云斜长片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩,含石墨堇青黑云斜长片麻岩,石榴矽线黑云二长片麻岩等。各种岩石类型的主要矿物成分相似,主要矿物特征如下:

斜长石:半自形粒状、板状,具聚片双晶,双晶纹有时弯曲,成分为 $An_{25}-An_{35}$ 。

钾长石:它形粒状,具格子状双晶。交代结构发育,以交代斜长石为主。

石英:至少有两期。早期石英包裹体发育,为一级灰白干涉色,边缘有被晚期石英溶蚀的现象。晚期石英表面较干净,为一级灰白至一级黄白干涉色。

黑云母:呈定向排列,褐色,多色性显著,常见退变质现象。

角闪石:褐色,半自形柱状,具多色性:淡褐—红褐色。

石榴石:不规则粒状,紫红色,常见筛状变晶结构。

1.2.1.3 片岩类

这类岩石在乌拉山群中分布较少,岩石呈致密块状,具明显的片状构造。主要暗色矿物为角闪石、黑云母,含量大于3%,浅色矿物为斜长石,其次为石英。主要岩石类型有角闪斜长片岩、黑云角闪斜长片岩等。

1.2.1.4 斜长角闪岩类

这类岩石主要出露于金矿田南部,以似层状、透镜状在片麻岩的夹层中出现。斜长角闪岩类岩石主要由角闪石、斜长石等组成,此外还有少量黑云母、透辉石及石英等。角闪石等暗色矿物含量大于70%。岩石呈灰黑—深黑色,块状构造,中—粗粒变晶结构。主要岩石类型有含透辉斜长角闪岩、石榴透辉斜长角闪岩、黑云斜长角闪岩等。

1.2.1.5 大理岩

这类岩石分布较少,集中分布于矿区北部。主要矿物成分为方解石及镁橄榄石、透辉石,有

时还有蛇纹石透闪石、石墨等。方解石聚片双晶发育,突起明显,特征的高级的干涉色。主要岩石类型有透闪石大理岩,含石墨大理岩蛇纹石化大理岩等。

1.2.1.6 变质矿物组合的空间分布特点

变质岩中矿物组合的空间分布,是变质作用的温度、压力等地质条件的综合反映,能用以指示变质程度的变化。根据乌拉山脉金矿田矿物组合的空间分布,可划分为以下几种类型:

(1) 紫苏辉石+单斜辉石+斜长石+石英±黑云母±角闪石。这是典型的麻粒岩相高温变质矿物组合。主要分布于乌拉山南麓,集中分布于乌拉山脉金矿田东南部哈达门沟一带。

(2) 紫苏辉石+钾长石+石榴石+石英+斜长石或单斜辉石+黑云母+角闪石+石英。这类矿物组合的单斜辉石(多为淡绿色透辉石)和钾长石,石榴石为特征,多分布于哈达门沟,虎奔汉沟等地。这套组合与第一类组合相伴出现,但分布面积大一些,在大理岩层上下的片麻岩中不出现这套矿物组合。

(3) 黑云母(以红棕色为主)+石榴石+钾长石+石英或黑云母(以红棕色为主)+角闪石+斜长石+石英。这类矿物组合在哈达门沟等地常伴随第一类和第二类组合出现。在大理岩层之上的乌拉山群片麻岩中也有分布。

(4) 黑云母(绿色)+角闪石+斜长石+石英+钾长石。这套组合与第三类相比,特点是其中的黑云母和角闪石均为绿色。这套矿物组合在矿田内分布广泛,为退变质产物。

从变质矿物特征看,第一、二、三类组合可能为同一期变质作用的产物,而且所反映的变质温度有逐渐降低的趋势。第四类矿物组合类型与以上三类不是同一期变质作用的产物,它所代表的应当是后来的退变质作用。

第一类变质矿物组合仅分布在金矿田南部;第二类变质矿物组合分布范围比第一类要广,但主要是在乌拉山群下部岩层之中;第三类变质矿物组合除了与第一、二类组合相伴出现外,还分布在乌拉山群上部岩层之中。变质矿物组合在空间上的这种规律性变化,反映了乌拉山群岩石变质程度的差异,反映了南部岩石的变质程度要高于北部岩石。

1.2.2 乌拉山群变质相特点

变质相是应用物理化学的概念和原理来研究变质作用过程中同时形成的一套矿物共生组合及其物理化学条件。因此,每一变质相都由一套具有各种原岩化学成分的变质矿物组合所组成,它们在时间和空间上紧密共生,而且在不同地区重复出现,其矿物组合和岩石现在的化学成分之间有着固定的相互对应的关系。在达到热力学平衡时,这些矿物组合应形成于相同的 $P-T$ 区间。所以,研究某一变质岩地区每一个变质相内部矿物组合和岩石化学成分的关系,并结合实验资料,就能确定它们形成的温压范围及各变质相之间的 $P-T$ 条件变化特点。

乌拉山群的区域变质岩,是一套遭受中—深变质作用的变质岩,根据其矿物共生组合的野外和室内研究,结合共生矿物对的平衡温压和矿物离子分配测压研究,确定乌拉山群变质岩的变质相为麻粒岩相—高角闪岩相—低角闪岩相—葡萄绿纤石相(表3-2)。

1.2.2.1 麻粒岩相

麻粒岩相是一套高温变质岩,主要见于早前寒武纪结晶地盾。通常与角闪岩相共生。乌拉山群麻粒岩相区域变质岩主要有紫苏辉石麻粒岩、单斜辉石角闪斜长片麻岩、辉石岩、角闪岩和部分石榴黑云斜长片麻岩。

乌拉山群中原岩为基性岩的麻粒岩相矿物组合为:

斜方辉石(紫苏辉石)±单斜辉石±镁铝榴石(或铁铝榴石)±普通角闪石+斜长石($Ab_{35}\pm$)。

原岩为泥质或长英质岩石的麻粒岩相矿物组合为:

碱性长石+斜长石($An < 30$)+石英+矽线石+斜方辉石+堇青石+黑云母。

麻粒岩相的形成温度高于 700°C ，一般可达 800°C 以上。形成压力可以从中低压到高压。乌拉山脉金矿田哈达门沟南沟口西坡的细粒黑云母紫苏辉石麻粒岩中，紫苏辉石的平衡温度达 882°C ，平衡压力 $> 1\text{GPa}$ (高压)。该处的单斜辉石角闪斜长片麻岩中，为斜辉石平衡温度更高，为 $887\sim 961^{\circ}\text{C}$ ，平衡压力也大于 1GPa 。

哈达门沟南沟口东坡的石榴黑云斜长片麻岩，其黑云母—石榴石平衡温度是 716°C ，平衡压力为 $9.8 \times 10^8\text{Pa}$ ，同样达到了麻粒岩的下限。在哈达门沟金矿区主要矿脉即 13 号矿脉的围岩里，也明显存在麻粒岩相变质岩。例如，13 号矿脉的近围岩单斜辉石角闪斜长片麻岩，其单斜辉石的平衡温度是 731°C ，平衡压力大于 1GPa 。

属麻粒岩相的变质岩主要分布于乌拉山岩金矿田东南部哈达门沟一带。

1.2.2.2 高角闪岩相

乌拉山脉金矿田广泛分布有角闪岩相的区域变质岩，根据其形成温度的相对高低，可划分为高角闪岩相和低角闪岩相。

本区高角闪岩相区域变质岩出露相对较广泛，主要岩性有石榴石黑云斜长片麻岩和白云质大理岩。

哈达门沟沟里，哈石公路 8.1km 附近的石榴石黑云斜长片麻岩，它的黑云母—石榴石平衡温度是 635°C ，平衡压力为 $8.0 \times 10^8\text{Pa}$ ；另一对样品的平衡温度是 590°C ，平衡压力为 $7.9 \times 10^8\text{Pa}$ 。前者的温压属标准的高角闪岩相范围，而后的温压则介于高角闪岩相—低角闪岩相的过渡区间。同样，在该沟里哈石公路 15.5km 附近的镁橄榄石白云石大理岩，其平衡温度为 640°C ，平衡压力为 $5.2 \times 10^8\text{Pa}$ ，当属高角闪岩相条件的变质产物。

1.2.2.3 低角闪岩相 低角闪岩相的区域变质岩在本区出露更为广泛。主要的岩性有角闪斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩、石榴石黑云斜长片麻岩、白云母斜长片麻岩以及长英片麻岩等。

哈达门沟沟里哈石公路 6.8km 附近，角闪斜长片麻岩的普通角闪石—斜长石平衡温度是 545°C ，平衡压力为 $4.0 \times 10^8\text{Pa}$ 。在山前“钾化带”的黑云斜长片麻岩中，长石的平衡温度为 527°C ；其钾长石的 Al—Si 有序度较低，为 0.737 。大桦背花岗岩体之西的小庙子沟沟里 4.5km 处，石榴石黑云斜长片麻岩的黑云母—石榴石平衡温度为 558°C ，平衡压力为 $8.0 \times 10^8\text{Pa}$ 。在哈达门沟矿区里，13 号矿脉和 22 号矿脉的围岩黑云斜长片麻岩，它们的黑云母—石榴石平衡温度依次分别为： 464°C 、 499°C ，平衡压力为 $6.0 \times 10^8\text{Pa}$ 。24 号矿脉的围岩石榴石黑云斜长片麻岩，其黑云母—白云母的平衡温度是 479°C 。24 号矿脉的另一种围岩是白云母斜长片麻岩，它的长石平衡温度为 486°C 。除此之外，哈达门沟沟里哈石公路 16.8km 附近，长英片麻岩的平衡温度为 511°C ，平衡压力为 $7.7 \times 10^8\text{Pa}$ ，也属低角闪岩相的变质岩。

1.2.2.4 绿片岩相 本区普遍存在绿片岩相的区域变质岩，它们是乌拉山地区大范围的退变质产物之一。绿片岩相退变质作用主要出现在透闪石蛇纹石白云石大理岩、长英片麻岩、黑云斜长片麻岩、二云母斜长片麻岩和白云母斜长片麻岩等岩石中。

哈达门沟中哈石公路的 14.2km 处，出露了较大面积的透闪石蛇纹石白云石大理岩，其白云石的变质温度是 328°C ，变质的压力为 $3.8 \times 10^8\text{Pa}$ 。属于典型的绿片岩相变质产物。哈石公路 13.5km 附近，即前杨海沟沟口里，长英片麻岩的长石平衡温度为 464°C ，平衡压力为 $7.0 \times 10^8\text{Pa}$ 。另一个长英片麻岩的长石平衡温度为 460°C 和平衡压力为 $7.1 \times 10^8\text{Pa}$ 。它们属于绿片岩相与低角闪岩相之间的过渡产物。在哈达门沟金矿区里，不少矿脉的围岩中有绿片岩相的退

变质产物。13号矿脉的围岩黑云斜长片麻岩,其长石的平衡温度分别为411℃、396℃和337℃。13号矿脉有些围岩的黑云斜长片麻岩中,退变质的铁绿泥石和蠕绿泥石之变质温度依次分别是359℃和308℃。13号矿脉的另一种围岩二云母斜长片麻岩,它们的长石平衡温度分别是328℃和362℃,平衡压力为 $8.3 \times 10^8 \text{Pa}$ 。属于高压绿片岩相的产物。13号矿脉围岩黑云斜长片麻岩,同样也有高压绿片岩相的变质改造,其变质长石的平衡温度为319℃和平衡压力为 $8.5 \times 10^8 \text{Pa}$ 。

22号矿脉的围岩黑云斜长片麻岩,其退变质的白云母平衡温度为322℃和平衡压力为 $4.1 \times 10^8 \text{Pa}$ 。24号矿脉围岩的黑云斜长片麻岩,它的退变质白云母的平衡温度为433℃和平衡压力为 $4.0 \times 10^8 \text{Pa}$ 。属绿片岩相的变质产物。24号矿脉另一种围岩是白云母斜长片麻岩,它的白云母平衡温度为308℃和平衡压力为 $11.2 \times 10^8 \text{Pa}$,为高压绿片岩相的变质产物。哈达门沟矿区49号矿脉的围岩黑云斜长片麻岩,其变质长石的平衡温度是377℃,它的变质白云母平衡温度为357℃和平衡压力为 $7.4 \times 10^8 \text{Pa}$ 。无疑也是绿片岩相的产物。

1.2.2.5 葡萄石-绿纤石相 本区部分的区域变质岩遭受了葡萄石-绿纤石相的退变质作用。其主要反映在石榴石黑云斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩和二云母斜长片麻岩等岩石上。

哈达门沟哈石公路8.1km附近,石榴石黑云斜长片麻岩由角闪岩相一直退变质至葡萄石-绿纤石相。该岩石的退变质白云母平衡温度为238℃和平衡压力为 $6.6 \times 10^8 \text{Pa}$,系葡萄石-绿纤石相产物。山前“钾化带”附近的黑云斜长片麻岩,由低角闪岩相退变质至葡萄石-绿纤石相。其退变质的铁镁绿泥石平衡温度为286℃。该“钾化带”的另一个黑云斜长片麻岩,则表现为从绿片岩相进一步退变质到葡萄石-绿纤石相。它的退变质密绿泥石,平衡温度为272℃。

在哈达门沟矿区,一些矿脉的围岩中也明显存在葡萄石-绿纤石相的退变质产物。13号矿脉的围岩黑云斜长片麻岩和二云母斜长片麻岩中,退变质产物是密绿泥石和铁绿泥石。前者的平衡温度为286℃和294℃,后者的平衡温度为288℃。它们归属于葡萄石-绿纤石相或绿片岩相与葡萄石-绿纤石相的过渡相。22号矿脉的围岩黑云斜长片麻岩里,也有退变质作用形成的密绿泥石,其平衡温度为276℃,为标准的葡萄石-绿纤石相矿物。

1.3 花岗岩

本区岩浆活动十分强烈,类型多,延续时间较长。主要发育有大桦背和沙特盖岩体,其次还有大东山、前帐房、化谷地、召店、桥疙气沟、大庙等规模较大的花岗岩岩体。矿田内还发育有花岗伟晶岩、石英钾长石脉和辉绿岩脉等。花岗伟晶岩脉和石英钾长石脉与金矿化有密切的成因联系(表1-1)。

1.3.1 花岗岩空间分布及特征

在乌拉山脉金矿田及外围西部地区有太古宙花岗岩出露。在矿田内主要为元古宙花岗岩和海西期花岗岩。

1.3.1.1 太古宙花岗岩

分布于乌拉山南坡大桦背岩体西侧,出露宽0.6km,向西延伸20多公里,为岩床状侵入体。红色—浅红色,中粒花岗变晶结构,片麻状构造,个别地段为眼球状构造。由于受到南北应力的强烈挤压,造成矿物定向排列,呈现花岗片麻状结构外貌。主要矿物有黑云母、紫苏辉石、微斜长石、奥长石和石英,属于二长花岗岩类。副矿物为含磁铁矿较多的榍石-褐帘石型组合。锆石和磷灰石较少。

表 1-1 区内主要岩浆岩体一览表

旋 回	岩体名称	地理位置	形状及产状	规模(km ²)	岩 性	分 布	矿 产
燕山旋回(γ_3^2)	桥疙气沟	包头—固阳公路以东	不规则	30	花岗岩		
	什谷地	武川东 10km	椭圆形	40	花岗岩		
	前帐房	土左旗北 16km	东西向岩枝	290	钾长花岗岩	沿深断裂	金、铜
印支旋回(γ_2^2)	大东山	察右中旗西北	似三角形岩基	613	花岗岩		钨、铜、铅、水晶
海西旋回(γ_1)	大桦背	梅力更沟	圆形岩株	100	花岗岩		金
	东沙德盖	哈达门沟北	似菱形岩基	80	花岗岩		
	石抱兔	前帐房岩体北	东西向岩枝	170	花岗岩		
	包头东	包头东 10km	椭圆形岩株	10	霓辉正长岩		
元古宙旋回(Pt)	旗下营 Pt ₂	旗下营北	岩 基	170	花岗岩		
	旗下营 Pt ₁	旗下营北	岩 株	40	石英闪长岩		
	摩天岭	呼市北西	岩 株	50	花岗岩		
	摩天岭	呼市北西	岩 株	40	石英闪长岩		

(据蒋志,1995)

1.3.1.2 海西晚期花岗岩

本期次花岗岩有受北东向大桦背—合敖—达茂深断裂和山前深大断裂交切部位控制的大桦背岩体,在其北东部相邻出露的还有沙德盖岩体和召店岩体。

(1) 大桦背岩体。大桦背岩体分布在包头以西的梅力更沟附近,出露面积约 172km²,为近等轴状岩基。岩体边部为中细粒花岗结构,内部为中粗粒—粗粒钾长石斑晶的似斑状花岗结构。岩体以含黑云母的二长花岗岩为主,同时具有含二云母的似斑状二长花岗岩和含黑云母的钾长花岗岩。该岩体受后期改造的程度明显大于沙德盖花岗岩,仅保留少量的正长石,而大多数的正长石已变为中等微斜长石。碱性长石的 Al—Si 有序度为 0.697~0.887。该岩体二长石的平衡温度明显降低,为 320~475℃。大桦背花岗岩的平衡压力是 6.7~8.5(10⁸Pa),基本与召店花岗岩是一致的(表 1-2)。

表 1-2 花岗岩的平衡温压、K₂O 相对化学位($\mu^*_{K_2O}$)和碱性长石有序度(Z)表

样品号	岩 性	平衡温度 (℃)	平衡压力 (10 ⁸ Pa)	$\mu^*_{K_2O}$ (cal·mol ⁻¹)	Z	产 地
9A-1	含黑云母的二长花岗岩	709	16.4	-928	0.621	沙德盖
306	含黑云母的二长花岗岩	509	8.1	-128		沙德盖
3111-2	含黑云母的二长花岗岩	473	7.6	-41	0.856	召 店
3111-2	含黑云母的二长花岗岩	464	7.7			召 店
338	含黑云母的钾长花岗岩	462	8.5	-252	0.697	大桦背
152	含黑云母的二长花岗岩	320	8.4	-83		大桦背
340	含黑云母的二长花岗岩	475	7.2	328	0.887	大桦背
339	含黑云母的二长花岗岩	404	6.7	387		大桦背
342	含二云母的二长花岗岩	430	6.8	410	0.713	大桦背

(2) 沙德盖岩体。该岩体分布在后山沙德盖乡一带,形状不规则,出露面积约 200km²,与大桦背岩体相距约 1.3km。岩石为中细粒斑状花岗岩结构。奥长石多已绢云母化,但少量钠长石可见聚片双晶。

沙德盖花岗岩的结晶平衡温度为 709°C,它的总压力很高,为 $16.4 \times 10^8 \text{Pa}$ 。该岩体经后期改造,其长石的平衡温度降至 509°C,平衡压力降为 $8.1 \times 10^8 \text{Pa}$ 。而到召店岩体,平衡温压降得更低,平衡温度为 464~473°C,平衡压力为 $7.6 \sim 7.7 (10^8 \text{Pa})$ 。沙德盖花岗岩的原始碱性长石,Al—Si 有序度最小,为 0.621。这说明碱性长石是比较无序的,属正长石矿物,而召店花岗岩明显遭受了改造,它的碱性长石 Al—Si 有序度较大,达 0.856,是中等微斜长石,已不是正长石了。上述三个花岗岩岩体的温度、压力数据列于表 1-2 中。

本区花岗岩中 K₂O 组分的相对化学位有明显的差异(表 1-2),即 K₂O 组分的化学活动性存在较大的区别。沙德盖花岗岩的 $\mu^*_{\text{K}_2\text{O}}$ 最小,其值为 $-928 \text{cal} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。大桦背花岗岩的 $\mu^*_{\text{K}_2\text{O}}$ 变化大,由 $-252 \sim -410 \text{cal} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。而召店花岗岩的 $\mu^*_{\text{K}_2\text{O}}$ 值于前两者之间,为 $-41 \text{cal} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。由此可见,沙德盖花岗岩保持了相对原始的状态,而大桦背花岗岩则经受了岩浆期后的明显改造。

1.3.2 岩石化学成分特征

本区岩体的化学成分如表 1-3 所列,岩石化学特征及 CIPW 值如表 1-4 所列。

表 1-3 岩体岩石化学成分分析结果表

岩体 (脉)	化学成分 样号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	备注
大桦背岩体	桦 0	76.10	13.17	0.48	0.87	0.65	0.20	0.03	4.15	4.06	0.11	0.025	据徐学纯 (1992)
	桦 4	72.49	13.84	0.64	1.32	1.57	0.40	0.04	4.03	4.35	0.24	0.076	
	桦 6	75.20	13.22	0.38	0.99	0.85	0.20	0.03	4.30	4.04	0.13	0.028	
	G-1	70.27	14.48	1.25	0.95	1.68	0.60	0.04	4.10	4.48	0.04		关连绪 (1992)
	G-2	72.36	14.46	2.71	1.25	1.28	0.63	0.09	3.75	4.35	0.38		
	B ₇₇₋₁	71.93	14.28	0.49	2.33	1.10	0.62	0.11	4.10	4.44	0.25	0.02	蒋志 (1995)
	平均	73.06	13.91	0.99	1.29	1.19	0.44	0.06	4.06	4.29	0.19	0.04	
大桦背岩体暗色包体		57.03	16.58	3.64	3.72	5.36	3.24	0.33	3.06	5.00	0.70	0.32	蒋志 (1995)
沙德盖岩体	哈 1	73.69	13.11	0.65	1.47	0.57	0.20	0.023	5.07	4.15	0.40	0.025	据徐学纯 (1992)
	哈 3	67.51	16.30	2.37	0.22	1.39	0.37	0.027	5.80	4.59	0.43	0.057	
	哈 6	71.57	14.13	0.83	1.45	1.37	0.54	0.046	4.14	4.09	0.25	0.061	
	G-3	73.52	14.10	1.88	1.17	0.30	0.20	0.04	4.08	3.68	0.14		关连绪 (1992)
	G-4	71.71	14.90	2.52	1.31	1.16	0.16	0.05	4.74	4.27	0.19		
	B1-1	70.70	14.47	0.73	2.04	1.44	0.56	0.09	4.70	4.58	0.29	0.02	蒋志 (1995)
	平均	71.45	14.50	1.50	1.24	0.99	0.35	0.046	4.76	4.23	0.28	0.04	
中国花岗岩平均成分		71.27	14.25	1.24	1.62	1.62	0.80	0.80	4.03	3.79	0.25	0.16	黎彤 (1963)

将表 1-3 岩体的平均成分比例与中国花岗岩平均成分比例对比(据蒋志,1995)可以看出如下规律:

(1) SiO₂: 大桦背岩体变化在 70.27%~76.10%之间,平均为 73.06%,高于中国花岗岩

表 1-4 岩体(脉)岩石化学特征值表

岩体(脉)	特征值 样号	分异指数 (DI)	赖特碱度 率(A·R)	固结指数 (SI)	里特曼指 数(SIG)	还原指数 (OR)	氧化指数 (OX)	钾质指数 (K)	镁质指数 (M)	长英指数 (FL)
大桦背岩体	桦0	93.30	3.85	2.05	2.04	0.64	0.55	55.55	12.90	92.66
	桦4	88.20	3.38	3.72	2.38	0.67	0.48	48.09	16.95	84.22
	桦6	92.09	3.70	2.02	2.16	0.73	0.36	15.56	12.90	90.75
	G-1	86.06	3.26	5.72	2.70	0.43	1.32	47.79	21.43	83.63
	G-2	87.99	3.12	4.96	2.23	0.32	2.17	46.30	13.73	86.35
	B ₇₇₋₁	86.88	3.18	5.21	2.47	0.83	0.21	52.54	18.02	88.48
沙德盖岩体	哈1	93.14	4.09	1.73	2.77	0.69	0.44	54.99	8.62	94.18
	哈3	88.31	3.16	2.77	4.40	0.08	0.77	55.82	12.50	88.20
	哈6	86.51	3.23	4.89	2.37	0.64	0.57	50.30	19.15	85.73
	G-3	90.10	3.27	1.23	2.83	0.34	1.92	52.61	4.01	88.59
	G-4	90.47	3.09	2.61	1.97	0.38	1.61	52.58	8.68	96.28
	B1-1	89.51	4.52	4.44	3.11	0.74	0.36	49.35	16.82	99.04

(据蒋志,1995)

平均值;沙德盖岩体 SiO_2 与中国花岗岩平均值非常接近,变化在 67.51%~73.69%之间,平均为 71.45%。

(2) Al_2O_3 :大桦背岩体变化在 13.17%~14.48%之间,平均为 13.91%略低于中国花岗岩平均值;沙德盖岩体变化在 13.11%~16.30%之间,平均为 14.50%,略高于中国花岗岩平均值。

(3) $\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$:大桦背岩体变化在 1.35%~3.96%之间,平均为 2.28%;沙德盖岩体变化在 2.12%~3.83%之间,平均为 2.74%,均低于中国花岗岩平均值。

(4) MgO :两岩体含量均偏低,大桦背岩体变化在 0.20%~0.63%之间,平均为 0.44%;沙德盖岩体变化在 0.16%~0.56%之间,平均为 0.35%。

(5) CaO :两岩体含量均低于中国花岗岩平均值,其大桦背岩体变化在 0.65%~1.68%之间,平均为 1.19%;沙德盖岩体变化在 0.30%~1.39%之间,平均为 0.99%。

(6) $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$:两岩体含量均高于中国花岗岩平均值。大桦背岩体变化在 8.10%~8.58%之间,平均为 8.35%;沙德盖岩体变化在 7.76%~10.39%之间,平均为 8.98%,其中两岩体的 Na_2O 含量均明显高于中国花岗岩平均值。大桦背岩体的 K_2O 平均含量与中国花岗岩平均含量非常接近,而沙德盖岩体的明显高于中国花岗岩平均值。

通过以上比较,可知矿区内岩体与中国同类岩石的最大差别表现在碱质($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)含量较高,其中尤以钠质偏高更为明显。

1.3.3 岩石的矿物学特征

乌拉山脉金矿田内岩浆岩中的主要造岩矿物有:霓辉石、黑云母、白云母、长石类矿物、碳酸盐类矿物、锆石、磁铁矿和电气石等。

1.3.3.1 霓辉石

霓辉石主要发现于钾长石化蚀变带和矿脉附近的碱性伟晶岩脉内,含量可达 5%~8%左右,分布不均匀。晶体呈黑色、短柱状、粒径达 0.2~2cm。薄片呈绿色,光性特征为: $N_p=1.730$; $N_p \wedge c < 30^\circ$;二轴正晶;色散 $\gamma > \nu$,具多色性, N_p 为绿色, N_m 为黄绿色, N_g 为褐绿色。据武警部队黄金指挥部,化学组成: SiO_2 46.39%; TiO_2 1.45%; Al_2O_3 8.39%; Fe_2O_3 13.83%;

FeO 10.67%; Mg 4.84%; MnO 0.12%; CaO 12.54%; K₂O 1.28%; Na₂O 5.37%; Cr₂O₃ 0.03%。

1.3.3.2 云母类矿物

云母类矿物是本区内花岗岩和伟晶岩中的主要造岩矿物之一。

白云母主要分布在小庙子沟白云母伟晶岩中,厚板状,片径可达5~15 cm,多数分布在脉边部,垂直脉壁生长或位于块体石英核两侧。另外,在沙德盖黑云母二长花岗岩株边部也常见到鳞片状白云母。偏光显微镜下可见为交代黑云母形成,其内常包裹有黑云母交代残留体,为含Mg较高的铁白云母。

黑云母主要分布在花岗岩内,在伟晶岩类也含有大量片径较大的黑云母。本矿田黑云母多属镁质黑云母。

1.3.3.3 长石类矿物

长石类矿物是区内岩浆岩的主要造岩矿物。它们的化学成分、物理化学特征对本区成矿作用有着重要的指示作用,详细分析见第二部分中长石的有关章节。

将乌拉山花岗岩、伟晶岩及钾化带的长石类矿物化学成分换算为Or、Ab、An三组分比投入图1-2内。由图可看出,海西期的两个黑云母二长花岗岩体的钾长石成分相近,其三组分比为:Or_{92.7}-Or_{94.2},Ab_{7.0}-Ab_{5.8},An_{0.3}-An_{0.0},斜长石为An₁₂-An₂₈的奥长石。唯有沙德盖岩体含有少量晚期An=1.1的钠长石,钾长石-石英金矿脉的钾长石和山前钾化带的钾长石相同,早期由岩浆结晶的钾长石三组分比多为:Or_{94.4}-Or_{99.5},Ab_{5.5}-Ab_{0.5},An_{0.1}-An_{0.0},而晚期钾长石化钾长石的三组分比多为:Or_{97.0}-Or_{100.0},Ab_{3.0}-Ab_{0.0},An_{0.0}-An_{0.09},无钠长石,但有聚片双晶的钾长石。

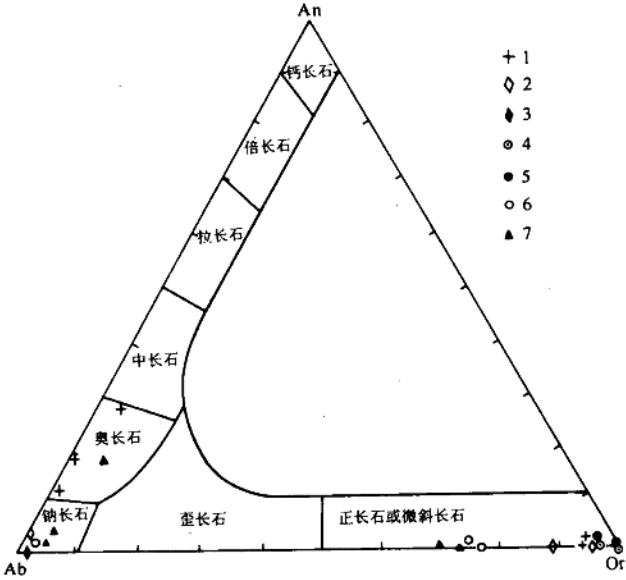


图 1-2 乌拉山脉金矿田花岗岩和钾化带、伟晶岩中长石类矿物的三组分图

(据蒋志,1995)

1. 海西期黑云母二长花岗岩;2. 微斜长石-钠长石伟晶岩;3. 磁铁矿花岗伟晶岩;4. 钾长石-石英金矿脉;
5. 钾长石化带;6. 太古宇黑云二长片麻岩;7. 白云母伟晶岩

地层中黑云二长片麻岩的钾长石的三组分为: $Or_{95.0}, Ab_{4.5}, An_{0.5}$, 有端元成分的钠长石, 斜长石则为 $An_{2.1}$ 的钠长石。

两类伟晶岩脉长石类矿物差别较大, 近矿伟晶岩钾长石的三组分为 $Or_{88.9}-Or_{95.0}, Ab_{10.9}-Ab_{5.0}, An_{0.2}-An_{0.5}$, 而白云母花岗伟晶岩钾长石的三组分为 $Or_{69.9}-Or_{77.9}, Ab_{29.0}-Ab_{19.9}, An_{1.5}-An_{0.3}$, 后者钾长石内的钠长石摩尔数高得多, 表示其结晶温度远高于前者(据蒋志, 1995)。

矿脉中微斜长石的平衡温度变化范围大, 从 223°C 一直变化到 473°C 。可是, 富矿脉的微斜长石之平衡温度则相对集中在一个较小的区间里, 由 $338\sim 370^{\circ}\text{C}$ 。如果矿脉的金品位放宽到 5g/t 以上来看的话, 那么它们的微斜长石平衡温度处于 $290\sim 370^{\circ}\text{C}$ 的范围里。依然表现出相对的集中性。当矿脉微斜长石的平衡温度接近或超过 400°C 时, 矿脉的金品位一般都很低。

矿脉微斜长石的平衡压力有很大的变化, 从 $5.6\sim 15.0(10^8\text{Pa})$ 。富矿矿脉则基本在 $6.3\sim 9.4(10^8\text{Pa})$ 的范围中, 平均为 $7.4\pm 1.1(10^8\text{Pa})$ 。金品位在 5g/t 以上的矿脉, 其成矿微斜长石平衡压力的平均值是 $7.6\pm 1.0(10^8\text{Pa})$ 。平衡压力大于 $10\times 10^8\text{Pa}$ 的微斜长石, 都是晚期构造活动的产物, 与金矿化基本无关。由此可见, 乌拉山脉金矿田的成矿作用是在高压的环境里进行的。这是本矿田的重要特点之一。其成矿压力明显高于国内外已知太古代地区脉金矿床一般的压力上限($5\times 10^8\text{Pa}$, Brown, P. E. 和 Lamb, W. M., 1986), 约高 $1\sim 2(10^8\text{Pa})$ 。

矿脉微斜长石的焓 H° 有较大的范围, 由 $6\,202\sim 7\,906\text{ cal}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 。主要成矿期的微斜长石, 则处于 $7\,232\sim 7\,688\text{ cal}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 相对集中的区间内, 平均为 $7\,425\pm 147\text{ cal}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 。同样, 矿脉微斜长石的吉布斯自由能 G° 总范围也很宽广, 为 $27\sim 450\text{ cal}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。主要成矿期的微斜长石之自由能相对集中在 $102\sim 214\text{ cal}\cdot\text{mol}^{-1}$ 的区间中, 平均为 $166\pm 37\text{ cal}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。 H° 和 G° 的数据表明, 本区金矿脉中微斜长石的形成和稳定, 需要适中的热反应条件和保持适量的热能。低于或高于这种条件, 都不利于形成金品位较高的矿脉。除此之外, 矿脉微斜长石的形成和稳定, 还要受成矿体系中 K_2O 组分化学活动性的制约。这就涉及矿脉的 K_2O 相对化学位的问题, 我们将在第二章加以论述。

1.3.3.4. 碳酸盐类矿物

在矿田内钾长石化蚀变带、伟晶岩脉和钾长石-石英金矿脉内均含有较均匀分布的细脉状碳酸盐矿物。主要有方解石、铁白云石、铁方解石和菱铁矿等。这些矿物除主要化学成分之外, 部分样品含有微量的 Ni 、 Pb 和 Sr 。方解石形成温度的范围较宽, 从 $155\sim 450^{\circ}\text{C}$ 都有。表现出多期的特点。它们与金矿化有着较密切的成因联系, 详细论述见第二章有关章节。

矿脉中的碳酸盐矿物有方解石、铁白云石和菱铁矿等三种矿物。它们的化学特点如表 1-5 所示。除主要化学组成之外, 部分样品含有微量的 Ni 、 Pb 和 Sr 。方解石形成温度的范围较宽, 从 $155\sim 450^{\circ}\text{C}$ 都有。表现出多期的特点。早期方解石主要与石英组合而成石英方解石脉或方解石石英脉。方解石的粒度大, 一般在粒径为 $5\sim 10\text{mm}$ 。早期方解石在野外可误认为是长石, 这是因为它们常带有明显红黄色调。早期方解石的平衡温度可达 420°C 。最晚期的方解石则构成极细小的显微细脉, 即只有在光学显微镜下才能辨认的显微细脉。它们切穿所有的微斜长石和石英。最晚期的方解石之平衡温度仅为 155°C 。铁白云石的平衡温度是 $318\sim 444^{\circ}\text{C}$, 而未见到小于 300°C 的铁白云石。在哈达门沟矿区的 13 号矿脉中, 平衡温度为 444°C 的铁白云石, 呈残留的星点状颗粒分布在微斜长石(其平衡温度是 348°C) 和石英中。柳坝沟矿区的 313 号矿脉里, 平衡温度为 357°C 的铁白云石, 是与主要成矿期的微斜长石(其平衡温度是 370°C) 共生。同样, 哈达门沟矿区的 13 号矿脉中, 平衡温度为 343°C 的铁白云石, 也是与主要成矿期的微斜

表 1-5 碳酸盐矿物的化学组成、平衡温度和平衡压力表

样品号	矿物种	单位分子的化学组成								平衡温度 (°C)	平衡压力 (10 ⁸ Pa)	产 地
		Ca	Mg	Fe	Mn	Ba	Sr	Ni	Pb			
CM5-5-1	铁白云石	1.005	0.574	0.407	0.014					318		13 号脉
CM181-2	方解石	0.980	0.001	0.006	0.009		0.001	0.003		155	7.4	13 号脉
CM5-4-2	铁白云石	1.041	0.563	0.382	0.014					444		13 号脉
CM139-2	铁白云石	1.013	0.588	0.383	0.016					343		13 号脉
156	方解石	0.911	0.020	0.063	0.006					402	9.9	51 号脉
331	铁白云石	1.011	0.712	0.262	0.010		0.001	0.004	0.001	357		柳坝沟 313 号脉
376	方解石	0.976	0.005	0.009	0.007			0.003	0.001	269	8.0	59 号脉
153	菱铁矿	0.001	0.009	0.990								53 号脉
155-1	方解石	0.943	0.009	0.032	0.002		0.013			320	9.3	53 号脉
155-2	菱铁矿	0.002	0.005	0.980				0.013				53 号脉
155-3	菱铁矿	0.001	0.005	0.982	0.001			0.011				53 号脉
150-1	方解石	0.946	0.022	0.005	0.014	0.002	0.010		0.001	420	7.3	63 号脉

长石(其平衡温度是 340°C)共生,由此可见,本区铁白云石与成矿作用的关系相对较为密切。菱铁矿只是偶有出现,见于含方铅矿的方解石石英脉。

1.3.3.5. 锆石

本矿田各类岩石中或多或少都含有锆石,锆石中的 HfO_2 含量不仅可以反映岩浆源和岩浆分异演化特征,还可以指示寄主岩与金矿化的关系。大桦背岩体的锆石含 Hf 为 $11\,020 \times 10^{-6}$, 含 Y 为 $2\,280 \times 10^{-6}$, Hf/Y 重量比为 4.83。而沙德盖岩体的锆石含 Hf 为 $13\,570 \times 10^{-6}$, 含 Y 为 $3\,700 \times 10^{-6}$, Hf/Y 比值是 3.67。表明这两岩体在化学特征上尚有一定差异。

哈达门沟和柳坝沟的金矿脉含有少量的锆石,它们的化学成分如表 1-6 所示。哈达门沟 13 号脉群的锆石不含 Nb 而含 Ta,其 Hf 与 Y 的质量百分数($w_B\%$)之比 Hf/Y 相对较大,为 5.8~6.9。而柳坝沟 313 号脉的锆石含 Nb,不含 Ta, Hf($w_B\%$)/Y($w_B\%$)比值较小,为 1.4~2.6。二者存在一定的差异性。对照国外的统计资料并加以外延的话,便可作出如下的基本推论:

(1) 哈达门沟 13 号脉群石英钾长石脉的锆石,具有酸性钙碱系列岩浆来源的成因特征。

(2) 柳坝沟 313 号脉的钾长石脉和钾长石石英脉之锆石,具有酸性花岗岩岩浆来源的成因特征。

上述锆石的共同特点之一,是它们的 Hf($w_B\%$)/Y($w_B\%$)比值明显与碱性岩浆岩的锆石不同。后者的 Hf/Y 重量比值为 10~40,远大于前者。

1.3.3.6. 磁铁矿及电气石

在近矿伟晶岩中磁铁矿为巨大的自形晶体,并与黑云母、电气石伴生。在矿田东部陈四窑的伟晶岩中,磁铁矿已转化为赤铁矿,但仍保留磁铁矿假象。在其岩石中,磁铁矿为岩石中常见的矿物,且分布不均匀。

电气石与磁铁矿伴生,呈巨大柱状晶体出现,主要分布在乌兰不浪沟一带的伟晶岩内,是一种富铁的黑色电气石。