



阿尔泰山南缘造山-变质 环境中的成矿流体

徐九华 林龙华 等著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

国家科学技术学术著作出版基金资助出版
国家自然科学基金项目资助出版

阿尔泰山南缘造山 - 变质 环境中的成矿流体

徐九华 林龙华 等著

北 京
冶金工业出版社
2015

内 容 提 要

本书主要包括:阿尔泰山南缘成矿地质背景;造山-变质环境中的脉状金铜矿化;萨热阔布-恰夏脉状铜金矿化的富 CO_2 流体;额尔齐斯构造带金矿床的构造-流体成矿;海相火山沉积矿床的变形变质;铁木尔特-大东沟矿床的流体包裹体;富 CO_2 流体来源与成矿效应。

本书可供矿床地质学、矿床地球化学领域内的科技工作者和高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

阿尔泰山南缘造山-变质环境中的成矿流体/徐九华等著. —北京:冶金工业出版社, 2015. 3

ISBN 978-7-5024-6848-4

I. ①阿… II. ①徐… III. ①金属矿床-成矿溶液-研究-新疆 IV. ①P618. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 029992 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 杨秋奎 美术编辑 彭子赫 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6848-4

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷

2015 年 3 月第 1 版, 2015 年 3 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 11 印张; 213 千字; 166 页

55.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgy.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

地质流体在地球演化过程中起着十分重要的作用,从流体的角度考察各种地质过程及其成矿过程,已成为当今地质科学的前沿课题。流体包裹体研究是成矿流体研究的重要手段,只有深入研究成矿流体的各种物理化学参数,才能更合理地建立成矿模式,指导成矿预测。国内外已出版的多部包裹体研究专著,为矿床地质研究提供了重要的方法指南。

本书以2006年开始的三项国家自然科学基金项目的主要研究成果为背景,系统地阐述了阿尔泰山南缘造山型金矿、VMS矿床等的流体包裹体、蚀变-构造脉体特征,讨论了流体研究的科学意义,研究成果对揭示区域晚石炭-二叠纪造山过程的构造-变质-流体叠加成矿具有重要的科学意义。阿尔泰地区的地质研究程度相对于新疆其他地区较高,已经出版了一批专著,例如,《额尔齐斯构造带构造演化与成矿系列》(张湘炳等,1996)、《中国新疆古生代地壳演化及成矿》(何国琦等,1994)、《哈巴河-布尔津河流域金、铜成矿作用研究》(董永观等,2002)、《中国阿尔泰造山带的变形变质及流体作用》(刘顺生等,2003)、《中国新疆阿尔泰晚古生代火山作用及成矿》(牛贺才等,2006),但没有专门研究流体的书籍。针对特定区域的流体包裹体综合研究专著,不仅在区域矿产的成矿环境研究中有理论价值,而且在矿产资源勘查领域内也有实际意义。

全书分9章,各章分工为:第1章由徐九华编写,第2章由徐九华、林龙华编写,第3章由徐九华、钟长华、单立华等编写,第4章由肖星、杨蕊等编写,第5章由张国瑞、王燕海等编写,第6章由林龙华、徐九华等编写,第7章由王琳琳、褚海霞等编写,第8章由徐九华等编写,第9章由徐九华编写。书稿最后由徐九华、林龙华统稿。

本书的出版首先要感谢国家自然科学基金委多年来的资助，正是由于基金项目作为科研的依托背景，才有可能获得本书的各项研究成果。此外，还要感谢新疆维吾尔自治区305项目办公室、北京矿产地质研究院及丁汝福教授级高级工程师、新疆地矿局第四地质大队及周刚总工程师、新疆有色地质勘查局706队及郭正林和郭旭吉两位总工程师，以及中国科学院地质与地球物理研究所、中国地质科学院矿产资源研究所等很多科研单位在北疆的研究组，很多矿山的工程技术人员在笔者野外工作期间所提供的热情帮助和支持。在流体包裹体研究方面，中国科学院地质与地球物理研究所范宏瑞研究员、高能物理研究所陈栋梁教授在拉曼激光探针、同步辐射X射线荧光分析等实验方面给予了很多支持。

本书的出版还要感谢国家科学技术学术著作出版基金委员会的资助，感谢三位同行专家的推荐，特别要感谢出版基金匿名评审专家以及他们提出的建设性意见。先后参加阿尔泰地区野外地质调查和室内研究工作的北京科技大学研究生们为基金项目的完成做出了很多贡献，他（她）们是：钟长华、单立华、陈伟、阴元军、张国瑞、卫晓锋、张锐、王琳琳、林龙华、林天懿、刘泽群、褚海霞、王燕海、魏浩、肖星、龚运辉、杨蕊、张辉、成曦晖、边春静、杨凯和张晓康等。

由于作者水平所限，书中不足之处，恳请广大读者批评指正。

著 者

2014年11月

目 录

1 绪 论	1
2 阿尔泰南缘成矿地质背景	5
2.1 概述	5
2.2 区域地层	6
2.2.1 元古宇	6
2.2.2 古生界	7
2.3 区域构造	10
2.3.1 褶皱构造	10
2.3.2 断裂构造	11
2.3.3 逆冲-推覆构造	13
2.4 岩浆活动	14
2.4.1 侵入岩	14
2.4.2 火山岩	14
2.5 变质作用	16
2.6 区域构造-成矿带	17
2.7 阿尔泰及邻区成矿地质背景的研究进展	20
3 造山-变质环境中的脉状金铜矿化	22
3.1 概述	22
3.2 萨热阔布金矿	22
3.2.1 地质概况	22
3.2.2 矿体特征	23
3.2.3 蚀变和矿化	24
3.3 恰夏铜矿床	26
3.3.1 地质概况	26
3.3.2 矿体特征	27
3.3.3 矿化阶段	27

3.4 赛都金矿	29
3.4.1 地质概况	29
3.4.2 矿体特征	30
3.4.3 矿石特点	30
3.5 萨尔布拉克金矿	31
3.5.1 地质概况	31
3.5.2 矿体特征	32
3.5.3 蚀变和矿化	32
3.6 本章小结	33
4 萨热阔布-恰夏脉状金铜矿化的富 CO ₂ 流体	35
4.1 概述	35
4.2 萨热阔布金矿的流体包裹体	35
4.2.1 流体包裹体岩相学	35
4.2.2 流体包裹体显微测温	41
4.2.3 激光拉曼探针分析	44
4.3 恰夏脉状铜金矿化的富 CO ₂ 流体包裹体	45
4.3.1 流体包裹体岩相学	45
4.3.2 流体包裹体显微测温	46
4.3.3 激光拉曼探针分析	53
4.3.4 流体压力估算	54
4.4 萨热阔布金矿包裹体的微量、稀土元素	54
4.4.1 流体包裹体的稀土元素特征	55
4.4.2 流体包裹体的微量元素特征	57
4.5 本章小结	57
5 额尔齐斯构造带金矿床的构造-流体成矿	59
5.1 概述	59
5.2 赛都金矿床的构造-成矿流体及其演化	60
5.2.1 构造-成矿阶段	60
5.2.2 流体包裹体研究	61
5.3 萨尔布拉克金矿床的构造-成矿流体	65
5.3.1 构造-成矿阶段	65
5.3.2 流体包裹体研究	67

5.4 额尔齐斯金成矿带矿床成因	71
5.4.1 成矿物质和成矿流体来源	71
5.4.2 后碰撞造山与金成矿	76
5.5 本章小结	77
6 海相火山沉积矿床的变形变质	78
6.1 概述	78
6.2 阿尔泰南缘海相火山沉积矿床地质	79
6.2.1 铁木尔特铅锌(铜)矿床地质	79
6.2.2 大东沟铅锌矿床地质	82
6.2.3 蒙库铁矿床地质	83
6.3 矿床的变形变质与叠加成矿	85
6.3.1 克兰火山沉积盆地	85
6.3.2 蒙库铁矿	87
6.4 本章小结	91
7 铁木尔特-大东沟矿床的流体包裹体	92
7.1 铁木尔特铅锌(铜)矿床的富 CO ₂ 流体包裹体	92
7.1.1 流体包裹体岩相学和显微测温	92
7.1.2 碳质流体包裹体的成分和压力特点	95
7.2 大东沟铅锌矿的富 CO ₂ 流体包裹体	97
7.2.1 流体包裹体岩相学和显微测温	97
7.2.2 流体密度和压力估算	99
7.3 富 CO ₂ 流体的成分特征	100
7.3.1 铁木尔特铅锌(铜)矿	101
7.3.2 大东沟铅锌矿	101
7.4 本章小结	102
8 富 CO ₂ 流体来源与成矿效应	104
8.1 富 CO ₂ 流体来源	104
8.1.1 地幔岩和变质岩中的 CO ₂ 流体	104
8.1.2 造山型金矿的富 CO ₂ 流体及其来源	105
8.1.3 VMS 矿床的流体特征	108
8.2 碳质流体与金成矿	109
8.2.1 碳质流体对金迁移富集成矿的作用	109

8.2.2 碳质流体中的微量金属元素	110
8.3 克兰盆地金铜石英脉的形成条件	113
8.3.1 金铜石英脉主体的形成温度	113
8.3.2 金铜矿化的成矿温压条件	114
8.4 克兰盆地金铜矿化的流体和矿质来源	116
8.4.1 成矿流体来源	116
8.4.2 硫同位素组成和成矿物质来源	119
8.5 本章小结	122
9 结 论	123
参考文献	127
Abstract	140
Contents	144
索 引	146
附 录	151
附录1 彩图	151
附录2 野外照片	160
附录3 岩石薄片照片	162
附录4 包裹体照片	165

1 绪 论

徐九华

阿尔泰造山带 (Altaiides) 横跨俄罗斯、哈萨克斯坦、中国和蒙古四国, 其东部边界位于蒙古和中国东北大兴安岭的西缘, 南部边界位于中国喀喇昆仑、塔里木和华北克拉通的北缘 (Yakubchuk, 2004)。该造山带在我国新疆北部呈 NWW 向展布, 绵延 450km, 向东进入内蒙古中西部直至大兴安岭西坡。阿尔泰成矿域是中亚巨型成矿域的重要组成部分, 蕴藏了众多的晚元古到早中生代金、银、铜铅、铅锌和镍矿床 (Heinhorst et al., 2000; Yakubchuk, 2004)。中亚成矿域以其鲜明的古生代成矿作用、独特的成矿特点, 与环太平洋成矿域和特提斯成矿域相区别, 其矿产资源的蕴藏量丝毫不逊于后两者 (涂光炽, 1999)。

阿尔泰造山带大规模的构造-成矿作用主要发生在晚古生代, 早中泥盆世陆缘拉张和晚泥盆世-二叠纪的俯冲-碰撞这两个不同的构造体制相应形成了与陆缘裂谷环境有关的成矿系统和碰撞成矿系统 (Wang et al., 2000)。早中泥盆世的陆缘拉张形成阿尔泰南缘火山岩带和基性岩带 (Sm-Nd 等时线年龄 397Ma), 与此相关的火山块状硫化物矿床 (VMS 型) 同位素年龄 407~372Ma; 中泥盆世末洋壳向北东俯冲, 至早石炭世末海盆消失, 哈萨克斯坦-准噶尔板块与西伯利亚板块拼贴缝合, 进而发育了广布的区域变质岩, 相当于俯冲和碰撞的两期变质年龄为 359.5Ma 和 339.3Ma, 碰撞及碰撞后形成的金矿床同位素年龄 265~320Ma (王京彬等, 1998)。海西造山带的两期区域变质作用与地质流体活动有密切的关系, 第一期变质作用 (390~330Ma) 是造山作用初期, 热流活动较弱、构造变形强烈环境下的产物, 第二期变质作用 (365~280Ma) 代表造山作用主期, 热流活动强烈, 伴随有构造变形和岩浆活动 (徐学纯等, 2005)。晚泥盆世末至二叠世末, 阿尔泰南缘处于 NW-SE 向强烈的挤压造山构造环境, 特别是晚石炭世-早二叠世, 同造山的变形变质强烈, 不仅使泥盆纪 VMS 金属矿床受到变质改造作用, 而且在 Au 高背景区形成了独立的造山型金矿。

自 1985 年开始实施“国家 305 项目”以来, 北疆地区的区域成矿和典型矿床研究取得了丰硕的成果, 以晚古生代为主要成矿期的中亚成矿域区域成矿理论得到了发展, 多处富有远景的大型矿产普查评价基地被发现。国家重点基础研究发展规划 (“973” 计划) 项目“中国西部中亚型造山与成矿”和“中亚造山带大陆动力学过程与成矿作用”的实施, 在中亚成矿域地壳结构、演化与成矿规律

研究、金属矿床成矿机理、年代学、流体研究及成矿预测等方面也取得了丰硕的研究成果。

自 2006 年开始,在国家自然科学基金项目的资助下,本书作者有幸在阿尔泰山地区开展了三项基金课题的研究:“阿尔泰山南缘造山型金矿床的 CO_2 流体及其成矿作用”(40572066)、“阿尔泰山海西造山晚期的高密度 CO_2 流体与 Au 成矿效应”(40672060)和“阿尔泰山南缘克兰盆地 VMS 矿床的变形变质、碳质流体与成矿”(40972066)。通过研究,获得的主要成果有:

(1) 通过阿尔泰山南缘萨热阔布金矿床的流体包裹体研究,发现该矿床广泛发育高密度的无水的单相碳质流体($\text{CO}_2 - \text{CH}_4 - \text{N}_2$)包裹体,其产出有 3 种情况:1) 近矿蚀变的变晶屑凝灰岩(黑云石英片岩)中拉长的石英晶屑中,次生的碳质流体($\text{CO}_2 - \text{CH}_4 - \text{N}_2$)包裹体垂直石英脉透镜体(或片理)长轴方向呈线状分布;2) 平行片理的黄铁矿-石英脉 Q I 中次生/假次生液态碳质流体包裹体,沿主矿物石英的生长愈合裂隙分布;3) 与黄铜矿、方铅矿、闪锌矿等伴生的多金属硫化物阶段石英 Q II 中的碳质流体包裹体,无序随机分布或局限于石英颗粒内的愈合裂隙中。按固态 CO_2 (S_{CO_2}) 的熔化温度($T_{\text{m,CO}_2}$)有两种情况: $T_{\text{m,CO}_2} = -57 \sim -56^\circ\text{C}$ 的纯 CO_2 包裹体,其 CO_2 相部分均一温度($T_{\text{h,CO}_2}$) + 3 ~ +20 $^\circ\text{C}$, 均一为液态 CO_2 ; $T_{\text{m,CO}_2} < -57^\circ\text{C}$, 有较多的 CH_4 等其他挥发分, $T_{\text{h,CO}_2}$ 低达 $-33.7 \sim -17.7^\circ\text{C}$ 。激光拉曼探针证明了这类包裹体为无水的 $\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4$ 体系流体, CH_4 摩尔分数达 0.20% ~ 0.23%。少量共生的 $\text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$ 包裹体均一温度为 254 ~ 395 $^\circ\text{C}$, 据此可推断碳质流体包裹体形成于中高温条件,其最低捕获压力范围为 150 ~ 320MPa, CO_2 流体具有深源和变质流体特征。

(2) 阿尔泰山南缘克兰火山沉积盆地的海相火山沉积矿床(VMS 型或 SEDEX 型矿床)的成矿可识别出两个时期:1) 海相火山喷流沉积成矿期,表现为浸染状、条带状和块状产出的闪锌矿-方铅矿等硫化物成矿作用;2) 变质热液成矿期,又可分为两个阶段,较早的含铜白色-灰白色石英脉(Q I),呈脉状或透镜状沿片理方向产于变质岩中;较晚的含黄铜矿石英脉(Q II)斜切浸染状黄铁矿化蚀变岩和层状闪锌矿。在铁木尔特和大东沟铅锌矿,反映压力-重结晶作用的各种矿石结构构造常见。大东沟-乌拉斯沟、铁木尔特铅锌(铜)矿床的晚期硫化物(含铜)石英脉,其成因很可能与萨热阔布金矿的含金石英脉一样,是海西晚期造山过程的产物。

(3) 铁木尔特铅锌(铜)矿床和大东沟铅锌矿中与变质片理平行的硫化物-石英脉 Q I 中碳质流体包裹体也广泛发育,晚期黄铜矿石英脉 Q II 中碳质流体包裹体也常见。这些包裹体的显微测温表明, $T_{\text{m,CO}_2}$ 、 $T_{\text{h,CO}_2}$ 等与萨热阔布金矿有着相似的结果,具有较高的密度(0.75 ~ 1.15 g/cm³)。根据与碳质流体共生的 $\text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$ 包裹体研究,碳质流体最低捕获温度为 243 ~ 412 $^\circ\text{C}$ (铁木尔特)或

216 ~ 430℃ (大东沟), 最低捕获压力在 110 ~ 340MPa 之间。研究表明, 碳质流体的来源与造山的变质作用有关, 而与海底喷流沉积无关。

(4) 阿尔泰南缘晚古生代火山盆地矿床中的碳质流体极为丰富, 不仅在造山型金矿中赋存大量与成矿有关的碳质流体, 而且在 VMS 型矿床中也存在同造山的变质碳质流体。由共生的富 CO_2 包裹体 ($\text{L}_{\text{CO}_2} - \text{L}_{\text{H}_2\text{O}}$ 型) 和 $\text{H}_2\text{O} - \text{CO}_2$ 包裹体 ($\text{L}_{\text{H}_2\text{O}} - \text{L}_{\text{CO}_2}$ 型), 造山型金矿的碳质流体捕获温度大于 254 ~ 395℃, 压力大于 150 ~ 320MPa, 碳质流体的捕获温度压力条件与变质相带相平衡计算的变质温度、压力范围相当。说明该区的碳质流体来自区域变质作用, 并参与了相关的成矿作用, 包括与造山型金矿有关的构造 - 变质 - 流体 - 成矿作用和对 VMS 型矿床的变质改造作用。恰夏铜矿床含铜石英脉的成矿流体特征与造山型金矿床类似, 脉状铜矿化的成因与造山 - 变质热液有关, 与区域内的萨热阔布金矿、铁木尔特 - 大东沟晚期含金 (铜) 石英脉等相似, 都是阿尔泰南缘海西晚期造山 - 变质作用的产物。

(5) 在海相火山沉积成矿期后, 蒙库铁矿床经历了区域变质成矿作用及其后的热液交代成矿作用, 前者包括浸染状 - 条带状磁铁矿阶段和块状磁铁矿阶段, 后者包括钙硅酸盐交代阶段、硫化物阶段和方解石石英脉阶段。其中区域变质是蒙库铁矿最重要的成矿期, 经压溶富集成形成透镜状、条带状分布的块状磁铁矿。类矽卡岩是热液在富 Ca 沉积岩和富 Si 酸性火山岩系层间活动经交代形成的, 其形成晚于块状磁铁矿的形成。晚期铜矿化与热液交代成矿期有关。反映区域变质作用的顺层石英脉 (Q_2) 中, 测得早期包裹体的均一温度 (T_h) 为 235 ~ 511℃, 晚期次生流体包裹体 T_h 为 157 ~ 326℃; 晚期热液石英脉 (Q_3) 中包裹体的 T_h 为 122 ~ 337℃ 包裹体。磁铁矿的氧同位素 $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ 为 -2‰ ~ +1.28‰, 平均 -0.15‰, 其组成特征显示了火山沉积变质成矿作用特征, 与国内外沉积变质铁矿床的磁铁矿氧同位素组成相似, 而区别于典型的矽卡岩铁矿床; 磁铁矿爆裂曲线也显示出变质作用改造的特征。总体来看, 区域变质 - 热液叠加改造是蒙库铁矿最重要的成矿作用。

(6) 赛都金矿和萨尔布拉克金矿的构造 - 成矿流体研究表明, 随着额尔齐斯碰撞造山带由压性、韧性转变为张性、脆性, 流体则随之由 $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ 高比值、中温、低盐度的变质流体向低温、富含水的流体演化。赛都金矿的硫铅同位素研究表明, 成矿物质是从深部源富集的, 在后碰撞造山作用过程从深部岩石中通过热液萃取获得。黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 变化范围在 3.53‰ ~ 5.88‰ 之间; 铅同位素组成为 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.0997 \sim 18.3585$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.4877 \sim 15.5790$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.1116 \sim 38.3551$ 。萨尔布拉克金矿的流体包裹体中氢同位素组成为 -127‰ ~ -96.3‰; 成矿溶液的氧同位素组成为 -4.3‰ ~ 5.8‰。氢氧同位素组成的变化范围大, 反映不同期次成矿热液的性质差异, 也反映了成矿的多期性、多阶段

性。赛都金矿和萨尔布拉克金矿的形成只是造山带中剪切带演化过程中的一个产物,主要的金矿化应与后碰撞造山的伸展构造环境有关,构造-成矿流体的演化特征与剪切带演化过程吻合。

(7) 通过对比海相火山喷流沉积和造山-变质两类矿化的稳定同位素特征,结合矿化的变形变质和流体包裹体特征,研究了成矿物质、成矿流体来源和矿床成因。萨热阔布金矿主成矿阶段硫化物石英脉和铁木尔特铅锌(铜)矿床中晚期发育的含黄铜矿石英脉中均富含碳质($\text{CO}_2 - \text{CH}_4 - \text{N}_2$)流体包裹体,可能与碰撞造山的热液流体作用有关。铁木尔特铅锌(铜)矿床中代表VMS期的浸染状矿石中硫化物 $\delta^{34}\text{S}$ 为 $-26.46\text{‰} \sim -19.72\text{‰}$,硫主要来源于海水硫酸盐的无机还原和细菌还原作用;而代表后期叠加改造的脉状矿化硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值与萨热阔布金矿床硫化物石英脉中 $\delta^{34}\text{S}$ 值接近,硫主要来源于造山过程中的深源流体。萨热阔布金矿床的硫化物石英脉和铁木尔特铅锌(铜)矿床的晚期含黄铜矿石英脉 $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值和 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值,均反映了碰撞造山期热液与岩浆活动和变质作用有关。萨热阔布金矿硫化物石英脉中碳质流体包裹体的 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 为 $-21.15\text{‰} \sim -7.51\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C}_{\text{CH}_4}$ 为 $-34.11\text{‰} \sim -28.38\text{‰}$;铁木尔特铅锌(铜)矿床含黄铜矿石英脉中的碳质包裹体 $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ 为 $-8.02\text{‰} \sim -6.99\text{‰}$, $\delta^{13}\text{C}$ 特征与海相火山沉积无关,具有岩浆源或深部源的特点。

2 阿尔泰南缘成矿地质背景

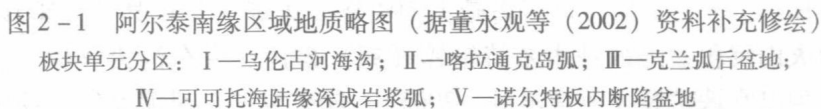
徐九华 林龙华

2.1 概述

从构造位置来看,我国阿尔泰南缘处于西伯利亚板块与哈萨克斯坦-准噶尔板块的汇聚带,是中亚造山带的重要组成部分,其基本构造格局是经晚古生代长期的 Cordilleran 式造山运动所形成 (Zhu et al., 2006; Yakubchuk, 2004; Yakubchuk, 2008), 经历了三个重要的构造演化阶段: 泥盆纪古亚洲洋板块俯冲、石炭纪板块碰撞及古亚洲洋闭合以及早二叠世碰撞后的板内拉张 (牛贺才等, 2006)。泥盆纪和石炭纪的构造背景具有沟-弧-盆的特征 (肖文交等, 2006) (图 2-1)。早中泥盆世和晚泥盆世-二叠纪不同的构造背景相应地形成了与海底喷流作用有关的成矿系统和与碰撞造山有关的成矿系统 (王京彬等, 1998; 李志纯和赵志忠, 2002)。

早泥盆世古亚洲洋板块已开始俯冲 (张海洋等, 2008), 火山活动强烈, 在西伯利亚板块南缘的我国境内由西向东依次形成了阿舍勒、冲乎尔、克兰和麦兹四个火山沉积盆地, 产出一系列与海相火山活动有关的铁矿床、块状硫化物矿床或喷流热水沉积矿床。例如, 产于阿舍勒盆地的阿舍勒大型铜锌 VMS 矿床, 产于麦兹盆地的蒙库铁矿床、可可塔勒大型铅锌矿床等 (郭正林等, 2007), 以及产于克兰火山沉积盆地的铁木尔特铅锌 (铜) 矿床、大东沟铅锌矿、塔拉特锌铅矿床、阿巴宫铁矿等 (尹意求等, 2005)。铁矿成矿与早泥盆世早期细碧角斑质火山作用相伴, 而铅锌成矿则与早泥盆世晚期长英质火山喷流沉积作用有关 (郭正林等, 2006)。

晚泥盆世至早二叠世末, 阿尔泰南缘处于 NE-SW 向强烈挤压的构造环境, 同造山期的构造-变质-成岩-流体-成矿作用发育, 是继早泥盆世 VMS 矿化之后的重要成矿时期。造山作用导致了对海相火山沉积成矿系统的叠加改造, 并造就了一些伴生或独立的金 (铜) 石英脉矿床。这个时期还表现为大量的岩浆活动, 形成了广布的阿尔泰海西期花岗岩。但近年来的研究表明, 一些过去认为是海西期的侵入岩是印支期的 (朱永峰, 2007), 它们与稀有金属 (如可可托海)-多金属矿床的形成有密切联系, 因此阿尔泰南缘的构造-岩浆-成矿活动可能一直延续到三叠纪末。



阿尔泰造山带南缘地层按岩石学特征、地层接触关系、区域不整合面的分布、岩浆岩组合和构造活动特征,可分为三个构造-地层组合:(1)前寒武纪基底构造层;(2)奥陶纪-早石炭世末上叠盆地构造层;(3)晚石炭世以来陆内构造层(董永观等,2002)。现结合前人对区域地层的其他研究成果,并以1:20万区域地质调查的划分方案为基础,简要叙述区域地层如下。

元古宇地层由古-中元古界克木齐群、新元古界富蕴群与哈巴河群组成, 构

成了前寒武纪基底构造层。其中克木齐群和富蕴群构成了变质基底构造层，而哈巴河群形成了其上的褶皱基底。

2.2.1.1 古-中元古界克木齐群 ($Pt_{1-2}km$)

古-中元古界克木齐群最早为李承三(1943)确定,广泛分布于哈隆-青河和冲乎尔-哈拉苏-乌恰沟一带,由一套深变质岩组成,主要岩性为黑云片麻岩、混合岩、黑云石英片岩、夹斜长角闪片岩和大理岩。主要的同位素年龄数据有:Sm-Nd 全岩等时线年龄 $1400Ma \pm 78Ma$ (胡霭琴等,1993),锆石、钾长石 U-Pb 两阶段年龄 t_1 为 $1800Ma$ (何国琦等,1994),Pb-Pb 等时线年龄 $2116Ma$ (董永观等,2002)。未见底,与上覆新元古界富蕴群为整合或不整合接触。

2.2.1.2 新元古界富蕴群 (Pt_3f)

新元古界富蕴群分布位置与克木齐群大体相同。主要由斜长角闪片岩、黑云长石石英片岩、大理岩和片麻岩等组成。在哈隆-青河一带与下伏克木齐群为断层接触,在可可塔勒矿区北部与下伏克木齐群为整合接触。主要的同位素年龄数据有:富蕴县额尔齐斯河南岸斜长角闪岩的 Sm-Nd 全岩等时线年龄 $707Ma$ (胡霭琴等,1992),片麻岩锆石 U-Pb 年龄 $785Ma$ (董永观等,2002)。

2.2.2 古生界

古生界主要为奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系及二叠系(表2-1)。泥盆系在阿尔泰地区分布广泛、出露较全,是区内多金属矿产的重要容矿岩系,包括下泥盆统康布铁堡组,下-中泥盆统阿舍勒组、托克萨雷组,中泥盆统阿勒泰组,中-上泥盆统别洛乌巴组、齐叶组、忙代恰组、上泥盆统库马苏组。康布铁堡组火山-沉积岩是北疆重要的块状硫化物含矿层位之一。自下而上的地层分布和岩性特征见下述。

2.2.2.1 中奥陶统哈巴河群 (O_2h)

中奥陶统哈巴河群分布在白哈巴-哈纳斯湖-阿勒泰-青河-布尔根一线以北的广大地区,为厚度巨大、岩性单一的灰绿色、浅灰色细碎屑岩建造。主要岩性由厚层及中-薄层变质砂岩及粉砂岩和少量泥岩的韵律互层夹紫红色砂岩、粉砂岩及黑色砂岩组成。过去的资料认为,该群内保存有良好的震旦纪微古植物化石,如小球藻、微刺藻等。下部未见底,顶部被上奥陶统不整合覆盖,出露厚度大于 $7760m$ 。但近年来,袁超等(2007)对哈巴河群中碎屑锆石的年代学(U-Pb 年龄 $463 \sim 542Ma$)研究表明,哈巴河群的沉积时代应在中奥陶世和早泥盆世之间,而非前寒武纪沉积地层。Long 等(2010)对这些岩石中的碎屑锆石 U-Pb 定年和 Hf 同位素研究也证实,过去认为是前寒武纪微板块的沉积物,实际上是中奥陶世之后的。

表 2-1 阿尔泰山分区及东准噶尔分区地层划分方案
(据新疆 305 项目报告, 结合年代学进展稍作修改)

界	系	统	地层分区	
			阿尔泰山分区	东准噶尔分区
新生界	第四系	Q	Q	Q
	第三系	N		昌吉河组 N ₂
		E	乌伦古河组 E ₂₋₃ , 红砾山组 E _{1-2h}	红砾山组 E _{1-2h}
中生界	白垩系	K	(缺失)	(缺失)
	侏罗系	J	石树沟群 J _{3sh} 、水西沟群 J _{1-2sh}	(缺失)
古生界	二叠系 P	上统	库尔特提组 P _{2k}	扎河坝组 P _{2z}
		下统	特斯巴汗组 P _{1t}	赤底组 P _{1c}
	石炭系 C	上统	喀拉额尔齐斯组 C _{3k}	(缺失)
		中统		巴塔玛依内山组 C _{2b}
				哈尔加乌组 C _{2h}
		下统	南明水组 C _{1n}	南明水组 C _{1n}
				黑山头组 C _{1h}
	泥盆系 D	上统		卡希翁组 D _{3k}
		中统	阿勒泰组 D _{2a}	温都喀拉组 D _{2w}
				北塔山组 D _{2b}
		下统	康布铁堡组 D _{1k}	托让格库都克 D _{1t}
	志留系 S	中-上统	库鲁木提组 S _{2-3kl}	(缺失)
	奥陶系 O	上统	白哈巴群 O _{3b}	加波萨尔组 O _{3jb}
		中统	哈巴河群 O _{2h}	
新元古界			富蕴群	(缺失)
古-中元界			克木齐群	

注: 中、新生界地层与区内矿化关系不密切, 地层组名从略。

2.2.2.2 上奥陶统白哈巴群 (O_{3b})

上奥陶统白哈巴群零星分布于白哈巴和哈纳斯地区。该群为海相火山-碎屑岩建造, 下部为中酸性火山熔岩层, 上部为正常碎屑岩夹灰岩层。与下伏哈巴河群为不整合接触。视厚度 900 ~ 3100m。在铁列克提村北该群岩层中富含海相化石, 有珊瑚、腕足类和双壳类化石等。

2.2.2.3 中-上志留统库鲁木提群 (S_{2-3kl})

中-上志留统库鲁木提群在区内仅零星分布。在阿尔泰山主峰至焦尔特河一带的库鲁木提群为一套浅滨海相变质碎屑岩, 由千枚岩、片岩、变砂岩夹钙质砂岩组成, 含较多的腕足类及苔藓虫等化石, 未见顶, 与下伏上元古界富蕴群为断