

河北地质大学学术著作出版基金资助

张家口南部铅锌银 多金属矿床成矿规律及靶区预测

◎ 李随民 韩玉丑 魏明辉 陈树清 等著



地质出版社

河北地质大学学术著作出版

张家口南部铅锌银多金属 矿床成矿规律及靶区预测

李随民 韩玉丑 魏明辉 陈树清 李森文 著
韩腾飞 孙志伟 李玉红 石来生 谷振飞

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

张家口是河北省重要的铅锌银多金属矿床富集区。专著通过对张家口地区与中元古代白云岩地层关系密切的多个铅锌银多金属矿床成因分析,总结了该区多金属矿床的成矿规律和关键性控矿因素。专著以斑岩-浅成热液型矿床成矿系统理论为指导,对区内地层、构造、岩浆岩和物化探资料进行了系统的整理分析,深化和挖掘了成矿信息。

本书内容丰富,资料翔实,图文并茂,注重理论与实践结合,对区内地质找矿工作有重要参考价值。可供从事地质找矿勘查工作者使用,也可作为相关科研人员的实用参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

张家口南部铅锌银多金属矿床成矿规律及靶区预测 /
李随民等著. —北京:地质出版社, 2016. 5

ISBN 978-7-116-09669-1

I. ①张… II. ①李… III. ①多金属矿床—成矿
规律—研究—张家口市 IV. ①P618.201

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第083011号

Zhangjiakou Nanbu Qian - Xin - Yin - Duojinshu Kuangchuang
Chengkuang Guilü ji Baqu Yuce

责任编辑:李莉王超

责任校对:王洪强

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京市海淀区学院路31号,100083

电 话:(010) 66554528(邮购部);(010) 66554629(编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

传 真:(010) 66554629

印 刷:北京地大天成印务有限公司

开 本:889mm×1194mm 1/16

印 张:10.75 图版:5面

字 数:320千字

版 次:2016年5月北京第1版

印 次:2016年5月北京第1次印刷

定 价:40.00元

书 号:ISBN 978-7-116-09669-1

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

目 录

第 1 章 概述	(1)
1.1 研究区多金属矿床研究现状及存在的问题	(1)
1.2 碳酸盐岩盆地铅锌矿主要类型	(2)
1.3 中酸性岩体分类及其与多金属矿床的关系	(4)
1.4 与中酸性岩体有关的 Cu、Mo 矿床研究现状	(4)
1.5 含矿岩体特征及识别	(7)
第 2 章 地质背景	(12)
2.1 大地构造位置	(12)
2.2 地层	(12)
2.3 构造	(13)
2.4 岩浆岩	(15)
2.5 区域地球物理场特征	(17)
2.6 区域地球化学场特征	(18)
2.7 区域多金属矿床分布特征	(20)
第 3 章 典型矿床地质特征	(21)
3.1 梁家沟银铅锌多金属矿床	(21)
3.2 常庄子铅锌矿床	(49)
3.3 口前多金属矿床	(52)
3.4 孟家窑多金属矿床	(57)
3.5 高家庄多金属矿床	(60)
3.6 颜家沟金矿床	(66)
3.7 万全寺银金矿床	(70)
第 4 章 成矿作用	(80)
4.1 研究思路	(80)
4.2 次火山岩 (斑岩) - 浅成热液型矿床成矿系统实例	(81)
4.3 同位素对多金属矿床成矿物质来源的制约	(88)
4.4 成矿作用	(97)
4.5 矿床类型的划分	(100)

第5章 区域成矿规律	(102)
5.1 区域地球化学场的制约	(102)
5.2 区域含矿地层的分析	(108)
5.3 构造演化与成矿制约	(113)
5.4 燕山期酸性岩体对多金属矿床的控制	(115)
5.5 找矿标志	(143)
第6章 成矿预测及靶区优选	(145)
6.1 成矿远景区的圈定	(145)
6.2 勘查靶区圈定及优选	(149)
第7章 结论及建议	(164)
主要参考文献	(166)

插图彩色版

第1章 概述

张家口地区是河北省重要的金及铅锌银多金属矿产富集区,目前已发现的蔡家营、青羊沟等大、中型铅锌矿,均位于研究区北部的内蒙古地轴中,而南部燕山裂陷带是金矿的主要富集区域。随着张家口南部多金属找矿工作的进展,目前已在张家口南部中元古代雾迷山组白云岩地层中发现有梁家沟、高家庄、银洞子等多处铅锌银多金属矿床(点)及荞麦川萤石矿床,但对上述白云岩地层中的多金属矿床成矿物质来源、成矿时代和成矿作用过程等基础地质问题均未进行系统深入的分析研究。为了更好地寻找发展工业经济所需的战略性的矿产资源,扩大找矿思路与提高找矿效果,更系统地研究河北省张家口南部碳酸盐岩分布区中铅锌银多金属矿床的成矿规律及找矿方向,河北省国土资源厅设立了“张家口南部金及铅锌银多金属矿床成矿规律及靶区预测”研究项目。经一年的野外踏勘、岩矿石样品采集测试及室内综合整理和国内其他省份同类型典型矿床对比研究,课题组首次提出张家口南部中元古代白云岩地层中存在密西西比河谷型(MVT)矿床类型,并在此基础上初步确定了张家口南部地区铅锌银多金属矿床成矿系列。

1.1 研究区多金属矿床研究现状及存在的问题

张家口地区作为河北省主要的多金属及贵金属富集区,长期以来国内多家地质科研单位和学者对该区进行了研究。近年来,不同学者从不同角度对张家口地区的成矿地质背景、规律和成因等方面进行了大量的研究。如芮宗瑶等著《华北陆块北缘及邻区有色金属矿床地质》,吴尚全等著《河北省东坪碱性杂岩金矿地质》,宋瑞先等编著的《河北金矿地质》,牛树银等著《幔枝构造理论与找矿实践》,河北省地矿局地质三队张长江等著的《蔡家营铅锌银矿地质特征、成矿规律及成因》,以及大量涉及研究区内有关地层划分及年龄确定、构造演化、成矿规律等方面的文章。如沈保丰、陆松年等认为:张家口南部的燕山台褶带内初始地壳金的浓集系数为9.32,丰度值较高,具有丰富的初始矿源,可为金矿密集区的形成提供足够的物源。北部内蒙古地轴中的红旗营子群主要为沉积活动再造型地壳。结合稀土元素和Sm/Nd值及测年数据认为,红旗营子群中斜长角闪岩基本上可代表本区初始地壳。研究后得出张家口红旗营子群,各岩类的Au、Cu、Mo丰度均接近地壳的克拉克值,而Ag、Pb、Zn的丰度较高,是克拉克值的2~3倍。代表初始地壳的斜长角闪岩的元素丰度也表明Ag、Pb、Zn成矿元素丰度较高。上述事实均表明,张家口地区具备形成Ag、Pb、Zn多金属矿床的物质基础。上述认识与目前现有的已发现矿床实际情况十分吻合,即北部主要是铅、锌、银等矿种,金矿少见,且多为伴生金;南部区域主要形成金,很少见独立的铅、锌、银矿床,如有也是在中元古代地层(碳酸盐岩地层)分布区。沈保丰、陆松年等的认识和结论从最基础的物质来源上揭示了北区形成铅锌银矿、南区形成金矿密集区的根本原因。

张长江、黄典豪等对张家口北部蔡家营铅锌银矿床的氢、氧同位素数据分析后认为,成矿流体是岩浆期后热液与大气降水的混合液;成矿物质主要来自红旗营子群围岩,矿区范围内燕山期中酸性岩脉发育,提供了岩浆期后热液和热源,通过理论分析认为,矿源层(角闪斜长变粒岩)中锌主要聚集在角闪斜长变粒岩的角闪石的晶格中;铅主要聚集在混合岩化角闪斜长变粒岩的钾长石晶格中,热液在引起围岩蚀变的同时,也使造岩矿物晶格中的成矿元素活化转移。对矿区的原岩与不同程度的绿泥石化岩石的含锌量的化学分析和统计证明,绿泥石化越强其锌含量较原岩越低。在绿泥石化过程中铁、镁矿物晶格中的 Zn^{2+} 随 Fe^{2+} 一起进入热液中。铅元素与此类似,存在于钾长石晶格中的

Pb^{2+} ，因钠长石化作用与 K^+ 离子一起进入热液中。因此成矿元素的迁移是在矿区大面积的绿泥石化及钠长石化的过程中，热液从围岩中萃取了铅、锌并携带它们向有利的方向转移。

为探讨和查明张家口地区铅锌银多金属矿的成因、控矿要素和分布规律等基础地质问题，黄典豪、章百明、张长江、王金锁、杨敏之、王志章、毛德宝等学者对上述各方面进行了探讨，取得了一定的认识和进展，主要表现在：

1) 张家口地区铅锌银成矿作用随着地质历史演化具有多期次、多成因、多成矿元素组合的特征。

2) 已发现的蔡家营、青羊沟、兰阎、三道沟、孙家庄等大中型矿床均与古元古代红旗营子群关系密切，成矿物质在来源上与该地层原始铅锌银含量高有关。矿石与古元古代红旗营子群围岩中的稀土元素、微量元素及成矿元素比值等的研究也支持成矿物质来源于红旗营子群围岩这一结论。

3) 根据矿石矿物同位素年代学测定，结合矿区范围内与成矿有密切成因关系的岩浆岩的同位素年代推断，区内燕山期铅锌银矿床的成矿时代主要集中在 140 ~ 120Ma 之间。如相广、蔡家营等矿区与成矿密切相关的岩浆岩的 K - Ar 或锆石 U - Pb 年龄分别为 118Ma、102Ma、121 ~ 134Ma、118Ma 和 120 ~ 141Ma。成矿作用发生在侏罗纪末期—白垩纪早期构造—岩浆活动转换过程中。但燕山期铅锌成矿作用明显受到前寒武纪基底在物源上的制约，燕山期的岩浆活动导致前寒武纪地层中铅锌银元素的活化迁移是成矿的重要机理。

上述认识和结论主要是针对张家口北部多金属矿床分布区，而张家口碳酸盐岩地层中的多金属矿床研究程度较低。针对张家口中元古代碳酸盐岩地层中矿产的研究成果主要有，河北省地质局第三地质大队杨其维等（1974）提交的《河北省涿鹿县乔麦川黄铁矿区普查勘探报告》，河北地质矿产局第三地质大队王兆奎等（1981）提交的《河北省怀来县常庄子铅锌矿地物化综合普查评价简报》，天津地质矿产研究所覃志安等（2006）提交的《河北省宣化县申太庄—常庄子铜铅锌矿普查评价地质报告》，河北省地质调查院（2006）年提交的《河北省涿鹿县高家庄铅锌矿普查地质报告》，河北地质学院（1994）提交的《河北省赤城县火石沟彭家沟一带银矿地质特征与找矿靶区预测》。上述研究报告较为系统全面地总结分析了张家口南部碳酸盐岩地层中多金属矿床的成因、分布规律和控矿因素等，为指导区域找矿工作起到了重要作用。

受成矿理论和测试水平所限，有关张家口南部碳酸盐岩地层中多金属矿床已有的一些成因认识有待进一步考证。如河北省地质矿产勘查开发局第十一地质大队和河北省地质学院胡献坪等（1994）认为，梁家沟—火石沟一带白云岩地层中的多金属矿床成因可能为海底喷流沉积成因，并将其与兴隆高板河进行类比。但近年来的找矿实践表明，矿区未发现热水沉积岩，矿石的组构以角砾状白云岩为主，并非喷流沉积的条纹、条带状结构，上述矿石及矿区地质特征与海底喷流沉积特征有较大差异。

1.2 碳酸盐岩盆地铅锌矿主要类型

根据国内外大量矿床的长期研究成果，可见赋存于碳酸盐岩盆地中铅锌硫化物矿床分为三种基本类型。

一是与中酸性岩浆侵入活动有关，主要形成接触交代型矿床。如张家口口前、高家庄等矿床。这类矿床的主要鉴别标志是在岩体与碳酸盐岩地层接触带部位有矽卡岩形成。多数学者认为，碳酸盐岩与铅锌矿床之间没有必然的物源联系，只是因为其化学活泼性和脆性变形特性为矿化提供了良好的赋存空间，碳酸盐岩充当有利的赋矿围岩。该类型矿床从近岩体矽卡岩型矿床到距岩体一定距离，依次形成中温热液、低温热液矿床，可构成一个完整的成矿系列。

二是与盆地碳酸盐岩沉积期间的喷流沉积作用有关，形成沉积喷流沉积矿床（Sedex 型）。该类矿床的成矿物质来自深源喷气喷流物质及海水，矿床受生长断裂控制，鉴别标志主要为矿石以条纹条带状为主，矿区出现热水沉积岩，矿床与围岩同时沉积，属典型同生矿床成因。如兴隆高板河、秦岭泥盆系中的大量铅锌矿床。

三是与盆地热卤水活动有关,这类矿床以产于北美密西西比流域盆地的矿床研究程度最高,表现最为典型,当前国内外地质成矿学界主流将其归属密西西比河谷型铅锌矿床(MVT 铅锌矿床)。MVT 铅锌矿床是热液矿床的特殊类型,多处于无明显岩浆活动的碳酸盐岩盆地边缘,成矿物质来自盆地及其基底岩石,矿物组合简单,围岩蚀变强度低,矿化和蚀变的分带性不明显。MVT 矿床是以碳酸盐岩(以白云岩为主)为赋矿围岩、成矿多样性最为丰富、全球广泛分布、资源地位最高的铅锌矿床。

张术根(2013)等从成因机制出发,认为在碳酸盐岩盆地中还有一类铅锌矿床,它们是多物源、多期次、多成矿作用类型综合成矿的产物。它们的成矿过程可跨越多种大地构造体制或相同体制的不同演化时期,从而可以有不同类型成矿作用产物的继承、改造及叠加,有不同源区类型的成矿物质参与成矿,受多类型成矿作用的控制因素制约。并进一步认为产于碳酸盐岩盆地的上述三种类型的铅锌矿床,尤其是在区域上受岩浆活动影响的部分 MVT 矿床,可能实际上为多因复成矿床。

1.2.1 MVT 矿床地质矿化特征

据已有的研究资料(Sangster, 1990; Sangster and Leach, 1995)显示, MVT 铅锌矿床总体上具有以下矿化特征:

- 1) 分布在碳酸盐岩盆地边缘,赋存于盆地浅部台地相碳酸盐岩建造,矿化富集常具有地层岩性与组构的选择性,显示层控特征。
- 2) 容矿围岩以白云岩为主,仅有少数矿床产于灰岩中。
- 3) 无论矿化分布、矿石组构、矿物组合或围岩蚀变等现象都显示热液成因特征,但没有与成矿直接关联的中酸性岩浆活动产物,甚至矿区及邻域大范围缺乏岩浆活动的痕迹。
- 4) 最重要的控矿因素为断层、破碎带和溶解坍塌角砾岩等。
- 5) 围岩蚀变强度低,类型简单,主要包括白云石化、方解石化、硅化等。
- 6) 赋矿碳酸盐岩的岩溶现象发育,常见岩溶滑塌、堆积及角砾岩化。
- 7) 矿石的矿物组合简单,金属主要为闪锌矿、方铅矿和黄铁矿,常伴随有少量黄铜矿及银的硫酸盐或硫化物矿物。
- 8) 矿石的形成温度低,一般为 $50^{\circ} \sim 200^{\circ}$;成矿流体为高密度盆地卤水,通常与油田卤水相似或相近,典型的盐度范围在 10% ~ 30% 之间。
- 9) 同位素资料表明无论金属或还原态硫都来源于地壳。

1.2.2 MVT 矿床成因研究现状

MVT 矿床在 20 世纪 30 ~ 40 年代,曾被称作“远温矿床”,20 世纪中叶,人们摆脱岩浆热液论的束缚,建立了 MVT 矿床的分类概念,盆地流体侧向运移机制成为该类矿床形成机制的新论断。但是 MVT 矿床是一类矿床特征差异很大的矿床,至今还未能建立像斑岩铜矿、块状硫化物矿等矿床那样统一适用的成矿模式。

一直以来,研究 MVT 铅锌矿床成因的最大障碍是缺乏精确的成矿年代信息。最近几年,随着高精度古地磁和放射性同位素测年技术(方解石 Re - Os 法, U - Pb 法, U - Th 法, 闪锌矿 Rb - Sr 法, 云母类、长石类或粘土矿物的 Ar - Ar 和 K - Ar 法)的应用,对 MVT 矿床的认识起到了极大的推动作用。但同时,这些测年方法仍然存在一些问题,哪一种方法能够代表真实成矿年龄目前尚不能断言。

现有测年数据表明,典型 MVT 矿床形成与地球演化历史中强烈的挤压构造事件密切相关(Bradley et al., 2003)。例如,发生于泥盆纪到二叠纪时期的泛大陆(Pangea)汇聚,这一时期是地质历史上 MVT 矿床形成的最为重要的时期,有 75% 的 MVT 矿床形成于泛大陆汇聚时期。另一个重要成矿期为白垩纪到第三纪(古近 - 新近纪),这一时期美洲大陆和非洲 - 亚欧大陆受到微板块汇聚作用的影响(Leach et al., 2001)。

毫无疑问,作为热液矿床, MVT 矿床成矿流体来源成为矿床成因及成矿作用过程的重点问题。

关于成矿流体的来源,实际涉及成矿金属元素(铅锌)来源、矿化剂元素(硫)来源和运移介质(水)三个方面的研究。为有效查明 MVT 矿床成矿流体来源,除野外进行宏观地质矿化特征观察外,矿床地球化学研究成为解决矿床成因的重要的技术手段。该方面的研究内容包括微量元素、稀土元素、稳定及放射性同位素地球化学及流体包裹体地球化学研究等内容。

目前,随着对地壳规模流体活动认识的不断深入,以及对 MVT 铅锌矿集区地质地球化学研究程度不断深入,人们认识到许多 MVT 铅锌矿是区域性或陆块规模热液流体活动的产物。成矿流体为高盐度的热卤水(类似于油田卤水),该热卤水从沉积盆地排出,经过含水地层,到达盆地边缘进入台地碳酸盐岩地层中沉淀成矿。因此,这种盆地源流体的主体即可来自碳酸盐岩含水层,也可以来自盆地基底含水层,但更多的是在特定地质环境受流体传输机制制约的基底含水层流体与碳酸盐岩含水层流体共同构成,实际上是二者的混合产物,赋矿碳酸盐岩的岩溶控矿现象,即流体混合成矿的重要标志(Bouabdellah et al., 1999; Corbella and Ayora, 2003)。

因为 MVT 铅锌矿床成矿流体的组成主体为盆地源流体,故矿化剂硫通常来自盆地内部,主要由赋矿碳酸盐岩岩系提供,基底或岩浆即使提供硫源,也只是硫源的补充部分。

成矿金属元素可能源于碳酸盐岩沉积盆地内部和基底岩石。由于 MVT 铅锌矿床通常分布在缺乏能有效提供成矿金属的岩浆岩地区,甚至在 MVT 矿床分布地段及其邻区的较大范围内没有岩浆活动的痕迹,岩浆提供成矿金属元素的可能性较小,但张术根(2013)等认为,也不能完全排除岩浆源成矿金属元素参与成矿的可能性。

1.3 中酸性岩体分类及其与多金属矿床的关系

根据元素地球化学性质和已知矿床与岩体的空间分布关系,河北省地矿局综合研究地质大队(1990)认为,河北省中酸性岩体有三个不同物质来源,分别为壳源、幔源和壳幔混合源。根据壳、幔混合的比例,可将河北省中酸性岩体分为壳幔混合源 S 型花岗岩(MCS)、壳幔混合源 I 型花岗岩(MCI)、A 型花岗岩(A)、壳源花岗岩(CS)和幔源岩浆分异型花岗岩(MF)。其中:壳幔混合源 S 型花岗岩物质来源以壳源为主;壳幔混合源 I 型花岗岩的物质来源以幔源为主;A 型花岗岩则是造山期后碱性无水花岗岩。壳源 CS 型花岗岩与 Nb、Ta 和稀有元素矿化有关;MC I 型花岗岩与 Cu、Mo、Pb、Zn、Au、Ag 和 Fe 等矿产关系密切,是河北省内生金属矿产的主要成矿母岩;MF 型岩体与 Fe、Cu 和 Au 矿有关,如邯邢地区闪长岩体多与 Fe 矿关系密切,洪山岩体与 Cu、Au 矿产有关。上述三类型岩体为河北省内生金属矿床关系密切的中酸性岩体,而 MCS 和 A 型两类岩体与矿产的关系不甚密切。造成 MCS 和 MC I 型花岗岩与矿床成因联系上的差异性原因在于二者的岩浆源。已有的研究资料认为 MCS 型花岗岩是变质结晶基底中沉积变质岩夹层选择性重熔,并熔有少量中基性火山岩的岩浆冷凝而成,而 MC I 型花岗岩的物质来源要比 MCS 型花岗岩深,它是中基性火山岩为主的变质结晶基底地层重熔并加入少量上地幔派生的玄武岩浆的混合物冷凝而成,它与华南同熔型花岗岩基本上是一致的。正是上述岩浆物源区的差异造成了成矿元素在岩浆中含量的不同,这也从另一方面表明冀北地区变质结晶基底制约着多金属矿床的形成和分布。

1.4 与中酸性岩体有关的 Cu、Mo 矿床研究现状

已有的研究成果显示,岩石化学成分主要取决于源岩的成分和残留体的矿物组合,其次才是温度、氧逸度和水活度等(Atino Douce et al., 1991, 1995, 1999)。花岗岩的多样性主要取决于源岩特征,不同的源岩熔出不同花岗岩,这一点已经被越来越多的人所认识(Gerdes et al., 2000)。

不同成因的花岗岩所伴生的矿床类型有所不同,即花岗岩有成矿专属性差异。I 型花岗岩有关的矿产主要以上地幔中较富有的铁、铜、钼为主,还有金、银、铅、锌、硫等。矿床类型有斑岩型、矽卡岩型、热液叠加型、玢岩型和中低温热液型。S 型花岗岩主要在地壳中丰度较高元素,如 W、

Sn、Nb、Ta、Bi、REE、Be、U 等浓集成矿为主。矿床一般产在大岩基浅部、顶缘或边缘的小岩体接触带，有强烈的蚀变交代，常出现明显的蚀变-矿化分带，以蚀变花岗岩型、云英岩型、矽卡岩型、脉型等热液矿床为主。A 型花岗岩有关的矿产则主要以铁、铌、稀土、金、钽、铀、锆、锡、萤石和磷灰石等矿产为主。如前所述，成矿专属性很大程度上取决于源区组成特点。

除源区控制花岗岩成分及成矿专属性之外，温度是制约花岗岩浆形成的主要因素。已有的研究表明，即使在 40km 深度的莫霍面上，温度也只能达到 370℃（古老地盾）至 610℃（年轻的地壳）（Chapman, 1986），远低于实验岩石学所阐明的花岗质熔体与麻粒岩共生的温度。因此，除非有大量的热能和/或水加入，否则大规模的熔融通常难以在地壳范围内发生。在缺水条件下，只有在造山带才能在下地壳达到形成花岗岩浆的温度。因此，在非造山地区，花岗岩的形成必须要求有下伏地幔基性岩浆侵入所提供的热量，即岩浆底垫作用。在分离板块边缘，如大洋中脊、板块内部热点或裂谷来自地幔的玄武质岩浆上涌—底垫—加热是造成地壳部分熔融的有效过程。

水是地壳温度、压力条件下影响地壳部分熔融形成花岗质岩浆的另一个重要因素。地壳部分熔融所需的水主要来自三个方面：①邻近围岩；②洋壳俯冲-变质-脱水反应；③岩石本身的含水矿物。第一种仅具有局部意义，后两种可以促使大规模的地壳部分熔融。常见的含水造岩矿物是白云母、黑云母和角闪石，它们广泛分布于各种沉积岩、变质岩和中酸性火山岩中。含水矿物的脱水熔融是形成花岗岩浆的重要机制。

综上所述，形成花岗岩浆的源区岩石组成及其含水量决定了部分熔融的温度和岩浆中水的含量。但不同地壳水平起源的花岗岩浆含有不同的水。因此，起源于不同源岩的岩浆，其水的含量将有明显差异。同时，不同组成的源岩发生熔融的温压条件也不同：白云母或含黑云母和白云母的源岩相当于变质沉积岩，很可能产生出过铝质组成的 S 型花岗岩。这种类型花岗岩含有较高的初始水，相对较“湿”，与 Sn-W-U 矿化组合关系密切。相反，含黑云母或黑云母和角闪石的源岩，相当于变质火山岩，其脱水熔融将形成偏铝质的、初始水含量相对较低的“干”的 I 型花岗岩，经常产出斑岩型 Cu-Mo 矿床系列。因此，以白云母为主的岩石可能在较浅的地壳水平条件下发生脱水熔融，而角闪石源岩的脱水熔融发生需要较深地壳水平条件。因此 I 型花岗岩浆将由深部地壳派生，部分可能有上地幔的贡献。而 S 型花岗岩浆产生于相对较浅的中到下地壳。多个研究者用这个概念发展成了成矿与花岗岩侵位深度相关联的成矿模式（Hyndman, 1981；Strong, 1981）。

图 1.4.1a 显示岩浆自初始熔融点开始在地壳内向上迁移，直到切穿水饱和的花岗岩固溶线而固化停止上侵。实际情况中由于岩浆上侵过程中不断地向围岩散失热量，可能在达到固溶线之前就会固结。因此 S 型花岗岩浆将可能侵位到中地壳深度，I 型花岗岩将侵位到更浅的地壳水平。图 1.4.1b 显示侵位深度与各种花岗岩有关的矿床类型成矿特征之间的关系。I 型花岗岩浆产生于岩石圈深部，通常形成于靠近俯冲带的位置，普遍接受来自地幔派生出的镁铁质岩浆的贡献。形成于相对高温（1000℃或更高）、较干（含水量 < 3% ~ 4%）的环境，可以上侵到较浅的地壳甚至喷出地表形成火山机构。这样的岩浆将发生气相沸腾，促进水力破裂、角砾岩化作用，发生围绕岩体的流体循环。这是斑岩铜、浅成低温热液 Au-Ag 矿床类型发育的有利环境。相反，S 型岩浆主要由沉积岩在中到下地壳水平上部分熔融形成，熔体形成温度相对较低（700℃左右）、具有较高水含量。这样类型的岩浆结晶于中地壳深度，并不远离其生成的地点，一般相对贫化。然而，如果有重要的结晶分异作用发生，不相容元素将在残留岩浆中趋于富集。在残留熔体中因为二次沸腾同样达到水流体饱和，形成伟晶岩及相关的矿床。挥发分以及水从残余岩浆的析出，将降低水饱和固溶线的温度，使岩浆继续向上迁移至地壳的高位。在这种情况下，流体的压力可能不足以使岩石破裂，但其他的构造因素将因此促进流体的循环，产生云英岩化的 Sn 矿床、斑岩型 Mo 矿床和多金属矽卡岩、中温热液脉型矿床。

斑岩型铜-钼矿床成矿一般认为与俯冲板块或陆内俯冲机制有关。但斑岩型钼矿无论在空间的分布位置和含矿岩体方面都与斑岩铜矿存在一定的差异。斑岩钼矿一般分布于环太平洋成矿带的外带，这些地带都有老的前寒武纪基底或较老的褶皱基底分布。这一现象在秦岭、祁连等地区具有普遍意义。为此，胡受溪等（1984）曾指出矿源层对斑岩钼矿的形成具有重要的控制作用。

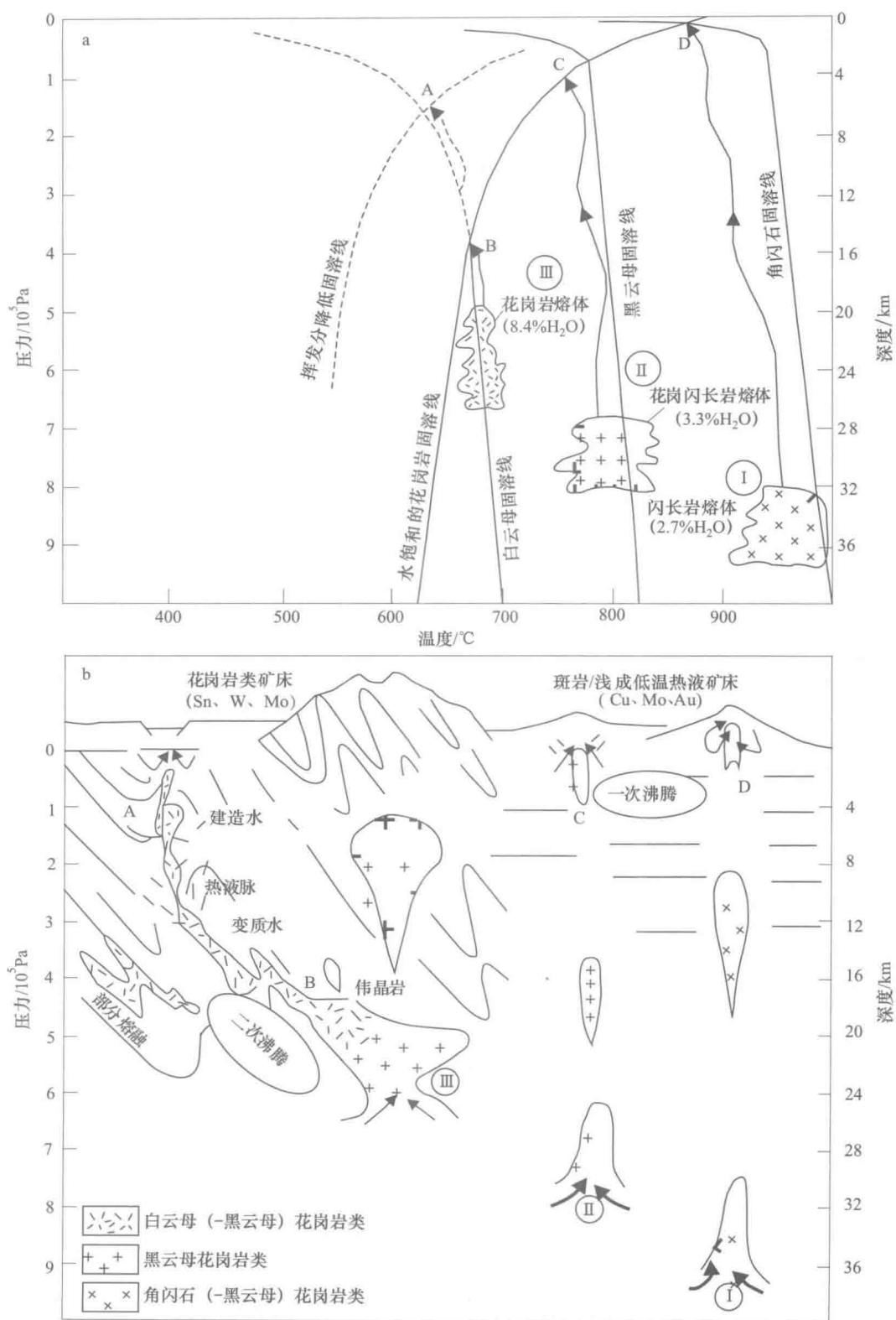


图 1.4.1 花岗岩侵位水平与成矿特征关系模式
(据 Strong, 1988)

花岗岩浆中的水同样可能控制着岩浆的侵位深度。与花岗岩有关的矿床，如斑岩铜矿、浅成低温热液金-银矿床与高侵位的岩浆有关。这些类型的矿床普遍位于火山或次火山环境。其他类型的矿床，像斑岩型的 Mo 和花岗岩类的 Sn-W 矿床一般与侵位相对较深的岩浆有关。而斑岩型钨矿主要

与S型花岗岩有关,因此钨矿主要分布在离俯冲带更远的位置。Candela (1992) 强调,富钨斑岩矿床与更还原的、钛铁矿的S型花岗岩之间的关系密切。因此,W一般不是斑岩型铜钼矿床的正常组分。W矿与低侵位的、高度分异的S型花岗岩相伴,而仅有少量的Mo含量。现知的黑钨矿-石英脉型矿床几乎无例外地与改造型花岗岩有成因联系,而且常与多旋回构造演化的中晚期花岗岩有关。环太平洋成矿带没有斑岩型钨矿的存在,而钨矿主要分布在褶皱基底上形成的改造花岗岩内,受基底含钨性质的明显控制。

如寿王坟复式I型花岗岩,沿东西向印支期复向斜与燕山早期火山穹窿构造呈底辟就位。岩体西南形成弧形褶皱带,呈北西—东西向展布,宽1km左右,靠近岩体,地层直立,发育复杂的流变褶皱,片理中有“S”型褶皱、石香肠化片内褶皱、复杂的箱型褶皱等叠加复合变形。接触变质带中各种片岩主要为红柱石黑云母石英片岩、透辉石透闪石片理化大理岩、含铜透辉石石英片岩、阳起石片岩等。岩体内外接触带上发育典型的矽卡岩型Cu、Mo矿体。崔盛芹(2002)测得寿王坟含钼矽卡岩形成的温压条件为 $P=74\text{MPa}$, $T=663^{\circ}\text{C}$,深度4km。顶盖厚度约4.5km。并得出寿王坟岩体是深源浅位,伴高温低压、挤压与旋转运动的强力底辟式侵位的典型岩体。

承德地区已发现铜钼矿床以斑岩型和矽卡岩型为主。其中铜多与钼、铁、铅、锌等矿共伴生。成矿时代主要为中、晚侏罗世,如寿王坟矽卡岩型铜矿成矿时代为111Ma(硫化物Rb-Sr法)、K-Ar法测得小寺沟岩体花岗斑岩年龄为 $(122.83 \pm 2.46)\text{Ma}$,该年龄可代表小寺沟斑岩型钼矿的成矿年龄。成矿岩体主要为小而复杂的高侵位中酸性斑岩、潜火山岩。斑岩型和接触交代型矿床的成矿围岩相似,主要为中元古代高于庄组和雾迷山组碳酸盐岩地层,少数为下古生界寒武-奥陶系及侏罗系火山岩。矿体形态多样。断裂构造控制了矿体的定位,控矿断裂拐弯处、由陡变缓处、滑脱构造旁侧裂隙发育处、羽状断裂发育处、含矿构造交汇处往往是富矿体及厚大矿体产出部位。

承德地区燕山期受滨西太平洋俯冲作用影响,有挤压构造的环境,同时西伯利亚板块与华北微板块碰撞后的伸展构造作用更是为岩浆侵位提供了条件。部分学者认为,研究区存在埃达克岩体的构造环境,目前,关于埃达克岩的岩浆起源有两种不同的成因观点,其一是碰撞加厚的高原下地壳部分熔融,其二是俯冲的洋壳残片部分熔融。显然研究区属于前者。特别是近年来在中国东部发现的由加厚的玄武质下地壳部分熔融产生的埃达克岩更是支持了这一观点(张旗,2008;王强等,2001,2004;王元龙等,2004; Xu et al., 2002; Chung et al., 2003)。如戴雪灵等(2010)认为,小寺沟岩体与埃达克岩相似,其初始岩浆主要为加厚下地壳的部分熔融产物,可能还有部分地幔物质。如研究区确实有埃达克岩存在,则研究区,乃至冀北地区是寻找斑岩型铜钼矿的有利区域。

上述讨论可以看出,岩浆侵位深度、岩浆组成以及初始水含量对研究和确定与花岗岩类有关的矿床的特征和成因具有重要意义。

1.5 含矿岩体特征及识别

1.5.1 地球化学识别标志

由于不同成分的花岗岩具有不同的成矿元素组合、相对演化程度(源岩和岩浆的Rb/Sr)和氧化状态($\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$),花岗岩成分变化、源岩和结晶分异作用间的关系可视为连续演变系列。因此,花岗岩的化学成分可用于判别其是否成矿及其成矿专属性。如Baldwin(1982)利用全岩地球化学方法评价岩体含矿性,以一个无矿花岗岩作标准,将100个矿化与无矿岩体30余种主量和微量元素进行标准化作图,矿化侵入体,Mn、Y、Yb和Th呈强烈负异常,Sr显示小的正异常,应用Y与MnO作图可以清楚地显示这些异常的综合效应,用较新鲜样品可以区分含矿与无矿侵入体,判别有效率达92%。

已有的研究资料显示,成矿地区岩浆岩中成矿元素和伴生元素含量高于同类岩浆岩中的平均含量。如东南亚地区含锡岩体Sn比一般岩浆岩高1.5~60倍,俄罗斯后贝加尔含锡侵入体锡、砷、钼

含量也偏高,其中 Sn 高于克拉克值 2.7 倍,砷高于克拉克值 23 ~ 87 倍,钼高于克拉克值 50 ~ 100 倍。朱坤林 (1981) 统计了国内外与 Cu、Mo 及稀有金属成矿有关花岗岩中成矿元素的含量,表明其含量远远高于克拉克值,浓度克拉克值在 1 ~ 120 之间,部分高达 200 以上。含矿岩体中成矿及其伴生元素含量较高,说明能够为成矿提供丰富的物源,是成矿的有利条件。斑岩岩浆的初始 Cu、Mo 含量必然是决定此类矿床成矿与否及成矿潜力或规模的关键因素之一。因此岩体中微量元素的含量是岩体含矿性的重要指标。

根据国内外已有花岗岩含矿性研究成果,具有一定化学成分范围的花岗岩,可伴生一定成矿元素的矿化,由此可判别花岗岩成矿区及其可能的成矿元素组合。一些地区成矿元素组合十分有限,而另一些地区由于花岗岩岩浆的多成因、多来源和多期次而导致多种成矿元素组合。一般来说,花岗岩成分越分散,成矿元素组合越多。Cu (Au) 与镁铁质含量高的花岗岩伴生,W 则与中等成分范围的花岗岩伴生,Mo ($\pm$ W) 和 Sn ($\pm$ W) 与长英质含量高的花岗岩有关,即演化程度最低的花岗质岩浆与亲铜元素成矿有关。而亲石元素矿化主要与高度演化的花岗质岩浆有关 (Blevin et al., 1996)。Cu - Au - Mo 组合系列与氧化花岗岩有关,而 Sn 则与还原花岗岩伴生,W 与氧化和还原花岗岩均伴生,但以中等至相对还原的条件最为适宜。相对于 Cu、Au、W 矿化花岗岩,Sn 矿化花岗岩较为还原,分异程度较高;与 Sn 矿化花岗岩相比,Mo 矿化花岗岩分异程度相当,但较为氧化。Mo 矿化花岗岩成分范围较宽,从闪长岩和花岗闪长岩 (Cu - Mo) 至分异程度不一的长英质花岗岩 (Mo $\pm$ W $\pm$ Bi),以 Mo 为主的 Cu - Mo 矿床均与分异的和氧化的长英质花岗岩有关。Cu 矿化花岗岩基本为 I 型花岗岩,从闪长岩、花岗闪长岩至花岗岩,比 Mo 矿化花岗岩长英质组分低,比 Mo 和 Sn 矿化花岗岩较为氧化。Cu 成矿花岗岩分异程度低,处于 Rb/Sr - SiO₂ 图上的低 Rb/Sr 和 SiO₂ 部分,这是以花岗闪长岩为主的 I 型花岗岩地区的普遍特征。S 型花岗岩演化趋势及成矿作用不同于 I 型花岗岩。分异程度低的 S 型花岗岩不成矿。Zr 与其他亲石元素具正相关关系,不是典型的岩浆分异作用的产物,而是成矿流体与冷却的花岗质岩石相互作用的结果。Zr 的富集与 Nb - Sn 矿化有关,而 Zr 的贫化则与 Sn - W 矿化有关。所以,Zr/Rb 值低是含 Sn - W 花岗岩的特征,而 Zr/Rb 值高时,则以含 Nb - Sn 花岗岩为主。在 Sn - Li - F 图解中也可有效地区分 Sn - W 花岗岩和 Nb - Sn 花岗岩。与 Cu、Mo、Sn 成矿有关的花岗岩在 Fe₂O₃/FeO - SiO₂ 图上分布在不同的区间。与斑岩铜矿有关的花岗岩分异程度低,属磁铁矿系列;与 Mo 和 Sn 矿床有关的花岗岩分异程度高,属钛铁矿系列,这表明氧化状态对岩浆热液系统的演化起着关键作用,因为成矿元素 Cu、Mo、W 和 Sn 均为变价元素,氧化状态必然影响岩浆中成矿元素的行为。

侵入体中成矿元素分布的不均匀程度是含矿性好的标志,岩体中成矿元素含量标准离差和变异系数大是含矿性的有利标志,华南含矿花岗岩元素变异系数显著大于无矿岩体 (2 倍以上),含矿与不含矿斑岩成矿元素含量分布也与此一致。

分离结晶作用程度、氧化状态和成矿元素比值之间的关系在一定尺度上十分明显,这一尺度可达到 SiO₂ 含量范围很宽的整个超单元。已有的研究显示,Mo/Cu 和 Cu/W 值的变化与岩浆的分异程度相一致 (Blevin et al., 1995)。

吴利仁等 (1991) 提出含矿斑岩体的含矿性与单位岩胞的阳离子质能参数有密切的关系。斑岩矿床成矿母岩单位岩胞中暗色组分阳离子 (Mg + Fe + Ca) 数在 55 ~ 150 之间时,对铜、金富集最有利;而在 10 ~ 50 之间时,对斑岩钨、锡、钼、银、铀矿床的形成最有利。成矿母岩单位岩胞中浅色酸碱组分阳离子 (Si + Na + K) 数在 722 ~ 796 之间有利于形成钨、锡、银、铀矿,小于 722 时则向铜、金过渡。

苏联学者 Козлов 等 (1982) 提出判别花岗岩含矿性或潜在含矿性的 F - (Li + Rb) - (Sr + Ba) 图解,是基于矿化花岗岩一般具有高演化,高分异,富含挥发份 F,富稀碱金属 Li 和 Rb,贫 Sr 和 Ba 的特征,适用于稀有金属含矿花岗岩的判别。

矿化花岗岩形成近水平“V”型 REE 分布模式。REE 常构成典型“M”型四分组效应,(La、Ce、Pr、Nd), (Pm、Sm、Eu、Gd), (Gd、Tb、Dy、Ho), (Er、Tm、Yb、Lu) 分别构成四条上凸

曲线,这种特殊的稀土元素组成模式与普通花岗岩呈右倾, Eu 中等亏损的模式明显不同,可作为矿化花岗岩的识别标志。REE 分析表明,含矿与不含矿长英质火山岩的 REE 分布模式差异明显:含矿火山岩以其平缓的 REE 分布模式 (La/Lu 值低)和较明显的 Eu 异常与不含矿火山岩相区别,可作为勘查 Cu-Zn 矿床标志。

花岗质岩浆中成矿元素行为受控于源岩成分、氧化状态、结晶分异作用和挥发组分。花岗岩地球化学特征及矿物化学成分一定程度上继承了源岩的特征,反映了岩浆作用的大地构造背景、氧化状态和结晶分异。

花岗岩的微量元素组成明显受其成岩的构造环境制约, Pearce (1996) 对形成于不同构造背景下的花岗岩微量元素进行了统计研究,在此基础上提出了适用性较好的花岗岩构造环境的微量元素判别图。

岩体被剥蚀深度的确定,主要根据岩体本身的产出地质特征、岩体形态、岩相变化、捕虏体分布、岩石化学、地球化学(一些特征元素的含量变化及其有关元素比值的变化如 Nb/V 、 K/Na 、 Pb/Zn 等)、副矿物的分布、蚀变强弱及组合等特征综合分析而定。

1.5.2 岩体副矿物及挥发分标志

岩浆热液成矿过程中大量挥发组分 H_2O 、 CO_2 、 H_2S 、F、Cl、B、P 等从正在结晶熔体中分离出来,由于它们与成矿元素形成配合物,促进成矿元素从岩浆中分出转入热液发生迁移,构成形成热液矿床必需的矿化剂。因此岩体中挥发分的含量及组成是岩体含矿性评价的重要指标。

花岗岩含矿性取决于挥发分浓度水平和分离状况,塔乌逊(1978)认为,形成任何规模矿床所需的成矿组分数只占熔融体总量极小部分,只要有丰富的挥发分,即使丰度正常的岩浆也可能形成工业矿床。评价岩体含矿性时必须把挥发分的性状,成矿元素丰度以及它们在围岩中的性状一并考虑。

F, Cl 的电负性都很大, F 是电负性最大的元素, Cl 仅次于 F 和 O, F 和 Cl 都易于形成离子键化合物。与 Cl 相比, F 形成离子键的倾向更强,因为 F 不仅电负性大,而且 F 的离子半径比 Cl 还小。Cl 形成共价键性高的化合物的能力比 F 要强。且氟和氯具有较高丰度,它们形成的矿物种和配合物也很多,氟有 194 种矿物,氯有 171 种矿物。氟主要存在于岩石圈中,氯有 70% 存在于水圈中。氯的化学性质虽然不如氟活泼,但在成矿作用中所起的作用可能比氟更为广泛。

苏联卡杜斯基花岗岩体中,氟含量与钨、锡等呈正相关,岩体中氟含量高时,铌、钨、锡含量也高。花岗岩中富氟层厚达 50~100m,氟含量达 0.5%~0.6%,其他岩体也有相似规律。岩体黑云母中铌、钨、锡与氟含量呈正相关。当钨为 $19 \times 10^{-6} \sim 25 \times 10^{-6}$ 时,相应氟达 8.25%~8.54%。钨为 $6 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6}$ 时,氟为 0.38%~0.86%。因此氟可以作为稀有和有色金属矿床原生晕的特征指示元素。

Cline 等(1992)利用数值模拟方法研究了典型钙碱性岩浆形成斑岩铜矿的可能性,指出,熔体中的初始氯含量对成矿有重要影响,如果岩浆的 Cl/H_2O 值从 0.03 提高到 0.1,则其成矿能力提高 5 倍多。

花岗岩的副矿物(如锆石)是金属元素和挥发组分的主要富集者,也是岩浆杂岩的成矿专属性指示剂之一。除副矿物外,岩体中某些造岩矿物(黑云母,角闪石,长石等)中成矿元素丰度同样是岩体含矿性的良好标志。测定金属元素在岩石中的总含量并不能提供有关其赋存状态的认识,但掌握总含量又是十分重要的。因为只有通过它才能判断花岗岩类岩体的矿化程度。实际上,岩石中元素含量高的原因,或由于其本身以类质同象为主的赋存形态,或由于其大部分集中于某种独立矿物当中。它们反映出花岗岩岩浆可有极不相同的产矿能力。因此,稀有元素和金属元素矿物本身在花岗岩中的含量以及这些元素在造岩矿物(特别是黑云母)中的含量,都应作为花岗岩类含矿性的补充标志。大多数学者认为,金属元素在一定的矿物中含量骤增(如黑云母中的锡,斜长石中的铁),也属于含矿侵入体的一种典型特征。多数学者倾向于把黑云母当作花岗岩类含矿性的指示矿物。这在某种

程度上是由于在花岗岩类造岩矿物当中，各种伴生元素含量最高的首推黑云母。如华南含矿岩体黑云母中 W 比无矿岩体黑云母中 W 含量高 100 倍以上。已有的研究显示含铜斑岩体黑云母和黄铁矿单矿物中铜含量与岩体含矿性也具有一定的正相关关系。

多年来，国内外十分重视应用 F、Cl 等元素作为评价岩体的含矿性指示，这种动向是同成矿作用地球化学研究所取得的进展是分不开的。20 世纪 60 年代以来，伯恩汉姆（Burnham，1967）与霍兰德（Holland，1972）先后通过实验研究卤族化合物（NaCl）对于 Fe、Zn、Mn（Pb）、Sn 等成矿的影响，结果证明，增大 NaCl 含量有利于这些元素由岩浆向气液相（热液）中聚集，即有利于成矿。同时，元素在热液中搬运形式的许多研究也证明 F、Cl 在这方面起着的重大作用。这些研究认为，应用 F、Cl 等作为岩体评价指标奠定了理论基础。实践证明应用 F、Cl 作为指示元素，常常可以取得较好的效果。例如，美国西南部含矿岩体黑云母含 Cl 达 0.11% ~ 0.25%，含 F 达 0.4% ~ 3.8%；墨西哥普罗维登查含矿岩体黑云母含 Cl 达 0.25% ~ 0.5%；丰山洞含矿岩体黑云母含 F 达 0.52%，含 Cl 0.3%；富家坞含矿花岗闪长斑岩含 F 0.14%，含 Cl 0.29%。本次分析了小寺沟、寿王坟两个矿区岩体、矿石及围岩中 F、Cl、S 等元素含量（表 1.5.1）。结果显示，寿王坟矿区岩体（黑云母花岗岩、中粒二长花岗岩）中 F 元素含量较区域丰度值高出 1.5 ~ 21 倍，Cl 含量高出 2.2 ~ 6 倍，S 含量高出 2.7 ~ 165.7 倍；小寺沟矿区内岩体中 F 元素含量也高出区域岩体丰度值 2.2 倍，Cl 高出 1.7 倍，S 高出 66.3 倍。寿王坟和小寺沟岩体中 F、Cl、S 元素含量与上述国内外含矿岩体元素赋存规律类似，均具有较高的丰度值。由于目前还无法正确估计含矿岩体中 F、Cl 含量的下限（或含矿岩体 F、Cl 含量的上限），即含量值超过多少可能预示着该岩体具有含矿性。因此应用 F、Cl 指标有时难免会有失误。

表 1.5.1 小寺沟和寿王坟矿区矿石及围岩 F、Cl、S 元素含量表 $w(B)/10^{-6}$

序号	矿区及样品原号		岩石名称	F	Cl	S
1	寿王坟	寿王坟 K1	黑云母花岗岩	7550	359	11600
2		寿王坟 K2	硅灰石砂卡岩	1990	81.4	6550
3		寿王坟 K3	绿帘石砂卡岩	670	78	29000
4		寿王坟 W1	中粒二长花岗岩	550	401	310
5		寿王坟 W2	中粒二长花岗岩	720	129	190
6		寿王坟 S1	砂卡岩	3020	250	220
7		寿王坟 S2	砂卡岩	1290	232	650
8	小寺沟	小寺沟 K1	中粒钾长花岗岩	780	104	4640
9		小寺沟 K2	硅化砂卡岩	1150	44.4	32800
10		小寺沟 K3	硅化砂卡岩	810	35.6	60500
11		小寺沟 S1	绿帘石砂卡岩	870	135	5390
12		小寺沟 S2	砂卡岩	1880	71.6	4230
华北地台丰度（迟清华，2007）	花岗岩			360	60	70
	花岗闪长岩			570	105	350
	闪长岩			730	190	240

1.5.3 冀北地区含矿岩体地质－地球化学特征

在已有研究资料的基础上，结合本次研究成果，对冀北地区燕山期含矿酸性岩体识别标志进行了总结。其地质－地球化学特征如下：

1) 从岩性上看，与钼矿有关的岩石岩性偏酸性，SiO₂ 含量多在 70% 以上，而与铜矿有关的斑岩体岩性多以中酸性（花岗闪长岩类）为主，SiO₂ 含量多在 60% ~ 70% 之间。

2) 与钼矿有关的岩石 K_2O 含量多高于 Na_2O 含量，而与铜矿有关的斑岩体与之相反， K_2O 含量多低于 Na_2O 含量。

3) 从物质来源上看，与钼矿有关的斑岩其岩浆多为下地壳重熔，地幔物质的参与程度较低，华北地台范围内斑岩型钼矿多与组成变质结晶基底的古老变质岩关系密切；而与铜矿有关的斑岩其岩浆地幔物质参与程度较多。

4) 与矿床形成关系密切的斑岩体，出露面积较小，一般在 $1km^2$ 左右，但岩体中成矿元素丰度值较高，而且成矿元素离散度（标准差）也较高。

5) 形成斑岩型矿床的酸性岩体稀土元素常具有较明显的 Eu 负异常，轻稀土呈右倾分布，重稀土分馏不明显。

第2章 地质背景

2.1 大地构造位置

张家口地区以东西向尚义-赤城深大断裂带为界，包括两个Ⅱ级构造单元，断裂以北为内蒙古地轴，南部为燕山台褶带。北部出露地层主要为古元古代红旗营子群变质结晶基底和燕山期火山岩，以缺失中-新元古代-古生代沉积盖层为特征。南部出露地层主要为新太古代桑干群变质结晶基底和中-新元古代碳酸盐岩盖层岩。

张家口南部已发现的银铅锌多金属矿床（点）与中-新元古代碳酸盐岩地层关系密切。上述碳酸盐岩地层主要分布在宣（化）龙（关）拗陷中。宣龙拗陷位于华北地台燕山沉降带最西部，北临内蒙古地轴，南临蓟县，东以鸡鸣山断裂和沿河城断裂为界，与密怀隆起相邻（图 2.1.1）。研究区内中元古界出露良好，分布广泛。碳酸盐岩地层自下而上分别为长城系大红峪组和高于庄组，蓟县系杨庄组、雾迷山组和洪水庄组。高于庄组、杨庄组和雾迷山组是中元古界典型的碳酸盐岩台地沉积，以白云岩为主，硅质条带也较发育，偶见其他岩类。

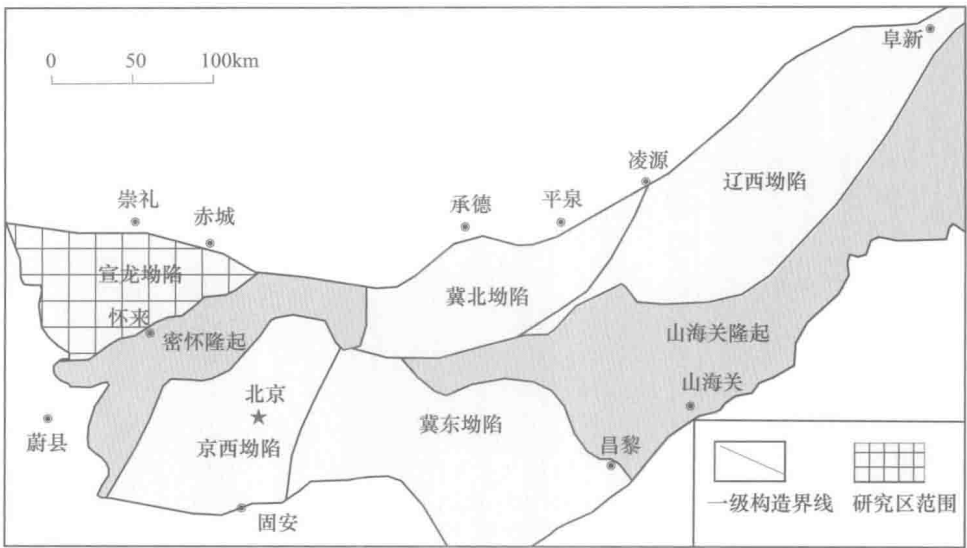


图 2.1.1 燕山地区中元古代构造分布图

2.2 地层

2.2.1 变质结晶基底

张家口北部区域为内蒙古地轴，其结晶基底主要由古元古代红旗营子群组成，自元古宙末期，地台基底形成以来，长期处于裸露的正性状态。区域地质资料对比显示，红旗营子群向西与内蒙古（阴山地区）古元古代渣尔太群（王金锁，1987；白瑾，1993），向东与辽宁辽河群相当（王金锁，1987；白瑾，1993）。该套地层与铅锌银多金属矿床关系密切。

南部燕山裂陷带变质结晶基底由中太古界桑干群组成。主要分布在怀安、宣化一带，是一大套具