



中国地质调查成果
CGS 2016-047

山西省灵丘县支家地 铅锌银矿成矿规律及成矿预测

曹国雄 吴堃虹 张行凯 覃嫻瑟 孟玉婷 著

地质出版社



地质调查“地质调查成果集成与服务(12120114073601)”项目资助

山西省灵丘县支家地 铅锌银矿成矿规律及 成矿预测

曹国雄 吴堃虹 张行凯 覃嫻瑟 孟玉婷 著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

山西省灵丘县支家地铅锌银矿位于华北板块与天山-兴蒙陆块的过渡带,同时处于北太行 Mo-Zn-Ag-Mn-Fe-Cu-Au 成矿亚带。本书系统总结了全国危机矿山项目管理办公室“山西省灵丘县支家地铅锌银矿接替资源”项目工作成果,阐述了该矿的矿体地质、显微岩-矿相、流体包裹体显微热, U-Pb 同位素年龄, 氢、氧、Hf、Sr、Pb 等同位素, 稀土、微量元素分布等特征, 明确了石英斑岩为成矿母岩, 成岩年龄为 $135\pm 0.76\sim 138\pm 0.66\text{Ma}$, 其源区主要为元古宙下地壳的变质基底, 混有少量幔源物质; 成矿形成于燕山运动中期, 受其构造岩浆活动控制; 早白垩世中酸性岩浆的高分异形成了富含矿物质的热液, 隐伏火山机构中的裂隙及断层控制了含矿热液运移及矿物质沉淀; 明确矿床为岩浆期后浅温热液矿床。建立了石英斑岩成矿岩体、控矿火山机构和 F_2 断层控矿、岩浆热液成矿作用三位一体成矿模型; 根据矿体、石英斑岩和断层三者的成因关系和空间关系三维模型划分了隐爆角砾岩型矿和断裂热液充填型矿, 在此基础上分别建立了岩枝凸起+火山机构和岩株凹面叠加断层及绢云母、硅化蚀变的综合找矿模型, 取得了良好的成矿预测效果, 新增矿石量 $2935\times 10^4\text{t}$, 333 资源量: Ag 金属量 1883.902t, 平均品位 148.68g/t; Pb 金属量 $27\times 10^4\text{t}$, 平均品位 0.92%; Zn 金属量 $36.9\times 10^4\text{t}$, 平均品位 1.26%。新增 334? 资源量伴生 Ag 金属量 369.825t, 平均品位 22.16g/t。总之该矿床的研究成果为认识华北板块与天山-兴蒙陆块过渡带的燕山期成矿提供了启示性实例。

图书在版编目 (CIP) 数据

山西省灵丘县支家地铅锌银矿成矿规律及成矿预测/
曹国雄等著. —北京: 地质出版社, 2016. 6
ISBN 978-7-116-08263-2

I. ①山… II. ①曹… III. ①铅锌矿床-成矿规律-
研究-灵丘县②铅锌矿床-成矿预测-研究-灵丘县
IV. ①P618.400.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 066117 号

责任编辑: 吕 静
责任校对: 李 玫
出版发行: 地质出版社
社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083
电 话: (010) 66554528 (邮购部); (010) 66554624 (编辑室)
网 址: <http://www.gph.com.cn>
传 真: (010) 66554686
印 刷: 北京地大天成印务有限公司
开 本: 889 mm×1194 mm $1/_{16}$
印 张: 8
字 数: 235 千字
版 次: 2016 年 6 月北京第 1 版
印 次: 2016 年 6 月北京第 1 次印刷
印 数: 1—3000 册
定 价: 35.00 元
书 号: ISBN 978-7-116-08263-2

(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)

前 言

支家地铅锌银矿位于华北板块燕山断块灵丘断凹的太白维山推覆体上,并处于属北太行 Mo-Zn-Ag-Mn-Fe-Cu-Au 成矿亚带中,是典型的岩浆期后热液矿床,并具有火山机构与断裂联合控制特点,表现出典型的隐爆角砾岩型及断裂热液充填型矿床特点。近年来通过“山西省灵丘县支家地铅锌银矿接替资源勘查”项目的工作,围绕成矿背景、控矿条件、成矿模型、定位机制等开展了深入研究,确定了该矿的成矿模型,建立了找矿模型,实现了基于找矿模型的成矿预测,取得良好的找矿预测效果,在矿区新发现了多个隐伏矿体,新增矿石量 $2935 \times 10^4 \text{t}$, 333 资源量:主矿产 Ag 金属量 1883.902t,平均品位 148.68g/t; Pb 金属量 $27 \times 10^4 \text{t}$,平均品位 0.92%; Zn 金属量 $36.9 \times 10^4 \text{t}$,平均品位 1.26%。新增 334? 资源量伴生 Ag 金属量 369.825t,平均品位 22.16g/t。对该矿进行了找矿靶区预测工作,也提出了四个靶区及五个成矿有利地段,确定了其仍具有良好的找矿前景。

由于该矿床的典型性,前人已开展较多的地质勘查和研究工作。

勘查工作始于 20 世纪 70 年代末期,原山西冶金地质勘探公司七队对晋东北地区加强金属找矿工作,在支家地、碛沟拣块采样,发现支家地含方铅矿的石英斑岩中含银较高,提出找矿建议;1982~1984 年在本区施工了控制性探槽和浅坑,进行系统采样分析,初步确定了银矿体的大致规模和矿石含银品位,为进一步找矿、评价提供了依据;1986 年山西省地质矿产局区调队完成了该区 1:50000 区域地质调查,提交了区域地质调查报告;1980~1983 年及 1986~1988 年,原冶金部第三地质勘查局物探队完成了 1:50000 水系沉积物地球化学测量,发现太白维山矿田异常,圈定了 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Mo、As 等单元异常 232 个,组合异常 44 个,提交了《五台-恒山测区 1:50000 水系沉积物地球化学测量报告》;1987 年在支家地-山神庙-碛沟一带完成 1:5000 土壤/岩石地球化学测量,提交了《山西省灵丘县太白维山地区化探测量报告》,圈定出支家地、山神庙、碛沟 3 个银、铅、锌化探异常。支家地异常群由 Ag-1、Ag-2、Ag-3 3 个异常组成。大致呈 NW 向展布。外形不规则,长 650m,宽 50~60m;1987~1993 年原冶金部第三地质勘查局三一二队进行了普查、详查和勘探工作。通过地表槽探揭露和深部钻探控制的手段,基本查明了矿体的分布范围、矿体产状、形态、矿石类型和银的赋存状态及品位变化,同时进行了矿石初步可选性试验,提交了《山西省灵丘县高家庄乡支家地银矿勘探地质报告》,提交 C+D 级储量 Ag1109.67t (品位 277g/t), Pb30126.63t (品位 0.75%), Zn29688.81t (品位 0.74%),并由山西省储量委员会于 1993 年 10 月 13 日审查批准,以晋储决字(1993)09 号文予以备案;1991 年原冶金部第三地质勘查局地质研究所、天津地质研究院矿床室及三一二队共同对支家地采矿权区范围内 1320 标高以上进行勘探工

作,完成了专题科研项目,提交了《山西省灵丘县支家地银矿床地质特征成矿模式及找矿远景》研究报告,该成果并经中国有色金属工业总公司鉴定验收。

1993年支家地银矿由灵丘县当地民营企业开始建矿开采,2000年山西煤炭运销集团大同晋银矿业有限公司接管该矿,2004年底该矿资源已出现严重危机。

2005~2011年中国冶金地质总局第三地质勘查院进行了危机矿山接替资源勘查工作,在支家地采矿权区1320m标高以下范围内,投入钻探14984.76m,坑探9704.50m,提交了《山西省灵丘县支家地铅锌银矿接替资源勘查(普查)地质报告》。

研究工作主要围绕矿床的地质特征、地球化学特征、成矿条件、成矿机理等开展,如:1991年原冶金部第三地质勘查局地质研究所、天津地质研究院矿床室、原冶金部第三地质勘查局山西冶金地质研究所开展的“山西省灵丘县支家地银矿床地质特征成矿模式及找矿远景研究”;2008年中南大学开展的“山西省灵丘县支家地铅锌银矿成矿规律及成矿预测研究”;2012年中国冶金地质总局第三地质勘查院开展的“山西省灵丘县支家地铅锌银矿床总结研究”;2014年张会琼在进行博士学位论文的研究中,围绕其成矿作用开展了深入研究。这些研究工作主要形成了如下认识。

绝大多数研究者均认为支家地银多金属矿床是与次火山岩隐爆作用有关的浅成低温热液矿床;但也研究者将二者分别开来,或认为支家地银多金属矿床为热液隐爆矿床,矿床为含矿热液通过隐爆作用形成(陈津等,1993),也有人认为该矿是浅成中低温岩浆热液矿床(李树臣等,2008)。

隐爆角砾岩从多方面对矿化产生影响,如矿体的产状与隐爆角砾岩产状相近、矿体厚度随隐爆带的厚度呈正相关关系(张北廷等,1995)。

基于隐爆角砾岩的岩性、形态及分带模式的研究,将隐爆角砾岩筒自上而下分为裂隙相、震碎相、爆破相、通道相(张会琼,2014)。

成矿物质主要源自岩浆,也有地层组分的混入(张北廷等,1995)。

本次研究认为:

该矿的成矿经历了两阶段过程,第一阶段为侏罗纪火山活动形成火山机构、地堑式线状及环状构造,石英斑岩的侵入堵塞了火山机构通道,导致岩浆期后气液聚集,引起爆破,形成爆破角砾岩带,该阶段实为容矿构造形成阶段;第二阶段为岩浆期后的热液与淬取基底地层及火山岩中的Ag、Pb、Zn等的地层水混合形成成矿热液,运移至角砾岩带和裂隙带,受减压作用产生沸腾,形成矿物质的沉淀而成矿(李兆龙等,1999)。根据矿石的结构构造特征、矿物的共生组合关系及形成温度,人们将成矿划分了3个成矿阶段,分别为:①黄铁矿阶段(形成温度为250~335℃);②银多金属硫化物阶段(形成温度为180~250℃);③银多金属硫化物-碳酸盐阶段(130~240℃)。

与矿化关系最为密切的石英斑岩的Rb-Sr同位素等时线年龄为156.03Ma,已有的岩浆岩锆石LA-ICP-MS方法的测定的锆石U-Pb年均为135~138Ma,如石英斑岩的年龄为135±0.76Ma,流纹斑岩的为136±0.55Ma,花岗岩为138±0.66Ma(张会琼,2014),隐爆角砾岩胶结物年龄为136±2.4Ma(覃娴瑟等,2011),其成矿时代为白垩纪。

总结出了该矿具有垂向分带规律（张会琼，2014），由上到下分为锰帽带、脉状矿化带、脉状+筒状矿化带、类斑岩型矿化带。

明确了找矿标志，其中岩石标志为石英斑岩和石英斑岩质角砾岩，构造标志为环状或放射状断裂，含石英斑岩质角砾岩的断裂是良好的找矿标志；矿化标志包括锰矿化、金属硫化物化，蚀变标志有硅化、绢云母化、碳酸盐化、绿泥石化（肖秀梅，1992）。

支家地银铅锌多金属矿床是晋北银多金属矿集区中最具代表性的矿床，由于其周边分布有众多的成因类型相似的多金属矿床和矿点，解剖该矿床的地质特征，明确其控矿条件、建立找矿模型，成功实现成矿预测，无疑将对晋北地区多金属成矿的成矿规律和找矿预测提供有益的启示，同时也有益于对华北地台北缘的中生代构造-岩浆-成矿规律及形成机制的认识。

参 考 文 献

- 陈津，唐跃林.1993. 山西灵丘支家地热液隐爆银（多金属）矿床成矿机制. 地质与勘探，（11）：16-22
- 李树臣，周利霞.2008. 山西省灵丘县支家地铅锌银矿床地质特征及成矿预测. 地质与勘探，44（3）：18-21
- 李兆龙，张连营.1999. 山西省刁泉银铜矿床地质特征及成因机制. 矿床地质，18（1）：11-20
- 覃嫻瑟，吴玺虹，于洪立.2011. 山西灵丘支家地铅锌银矿矿石微观组构及地球化学特征对成矿期次的指示意义. 大地构造与成矿，35（1）：118-127
- 肖秀梅.1992. 支家地银矿地质特征及找矿标志. 地质与勘探，（10）：13-17
- 张北廷，李占新，刘凤歧，马文忠.1995. 山西灵丘支家地银矿地质特征. 华北地质矿产杂志，10（2）：257-268
- 张会琼.2014. 山西支家地浅成低温热液型银铅锌矿床成矿作用研究. 中国地质大学（北京）

目 录

前言

第1章 控矿因素及其特征分析	1
1.1 成矿大地构造背景	1
1.2 中生代多金属成矿的区域条件	2
1.3 晋东北中生代多金属矿成矿特点	5
1.4 太白维山矿田地质特征	9
1.5 成矿区域背景对成矿的基本约束	12
第2章 矿床特征	14
2.1 矿体类型划分	14
2.2 隐爆角砾岩型矿体主要特征	14
2.3 断裂热液充填型矿体特征	28
2.4 矿化蚀变特征	32
第3章 成矿地质因素分析	36
3.1 石英斑岩特征	36
3.2 矿区构造特征及其控矿特征	46
3.3 围岩与矿体关系	52
第4章 矿床成因分析及成矿模式探讨	53
4.1 不同类型矿体相关关系及成矿格局分析	53
4.2 成矿时代及期次分析及确定	58
4.3 成矿物质来源分析	64
4.4 控矿构造与矿化关系分析	66
4.5 蚀变对矿床成因及示踪意义	70
4.6 矿床成矿模式	76
第5章 成矿规律及找矿预测	82
5.1 矿体三维建模及空间分布规律	82
5.2 基于成矿规律的矿区找矿方向探讨	90
结语	99
附录	100

第 1 章 控矿因素及其特征分析

1.1 成矿大地构造背景

随着技术的进步，在对矿床的研究中，同位素定年、精细的元素、同位素地球化学分析、微束分析已得到广泛地运用，这些技术帮助更为精准地认识矿床的特征，了解成矿物质的来源，建立成矿模式。

但作者认为，成功的成矿预测不仅需要对于矿床特征的认识，同时需要成矿理论的指导，对矿床特征信息的成因意义与空间关联的把握，并特别需要有利的区域成矿背景条件的支持。

因此，在开展支家地银多金属矿床及周边地区成矿预测工作期间，作者充分认识到分析成矿背景是建立支家地银多金属矿成矿模式的基础，在区域大地构造背景约束下分析矿田、矿床的控矿条件、地质体控矿的作用，评估研究区的成矿背景，为成矿和找矿预测模型的建立提供了基本约束参数。

大地构造及成矿带中的位置

支家地银多金属矿处于华北地块北缘多金属成矿带中段。尽管华北地块具有古老的结晶基底，但现有的岩石圈构造格局仍以中生代燕山运动形成的格局表现得最为显著。根据其构造特点华北地块的北缘可划分为三个构造带，从北往南分别为兴蒙褶皱带、内蒙古地轴、燕山台褶皱带。兴蒙褶皱



图 1.1 支家地矿的大地构造位置示意图
(据祁进平等, 2004 修改)

1.2.1 铅锌银多金属矿成矿的大地构造背景特点

该成矿带内的多金属矿成矿时代广泛，新太古代，古、中元古代均存在成矿活动，但中生代燕山期是本区铅锌银成矿的最重要时期（毛德宝等，2002），最主要的成矿时代分布于中生代侏罗纪末期—白垩纪早期（140~120Ma）。无论是新太古代，中、新元古代或是中生代的成矿，其成矿时期的大地构造背景均表现为强烈挤压后的伸展背景。

中生代铅锌银多金属矿的成矿经历了早晚两期构造成矿蕴育，中生代早期太平洋板块、西伯利亚板块向中国大陆汇聚，华北大陆北缘处于挤压构造背景，大陆岩石圈缩短，地壳被动加厚以平衡强烈挤压，岩石圈上部表现为逆冲、断隆，岩石圈下部物质进入软流圈，该期为成矿前期的蕴育期，为成矿岩浆的侵入提供了条件；时间为中生代晚期（160~100Ma）（毛景文等，2000），后碰撞造山的伸展松弛期，岩石圈变薄，软流圈物质发生底侵，高温物质涌入下地壳，进入软流圈的岩石圈物质产生熔融，地壳岩石发生多次重熔、同熔，并有软流圈物质的混染。由于伸展的大地构造背景，有利于岩浆的分异，在岩浆演化的晚期形成了高度分异的富硅、富钾质花岗岩，沿着区域性 EW 向、NE 向深大断裂上升，伴随大规模成矿事件发生。

1.2.2 铅锌银多金属矿的成矿与岩浆活动密切相关

前人将该带内的铅、锌、银矿分为了四种类型，分别为古元古代火山—沉积岩系内的叠加改造型矿床（Ⅰ类）、中元古代中晚期的喷流沉积型矿床（Ⅱ类）、中元古代早期与岩浆活动有关的浅成热液矿床（Ⅲ类）、中生代火山—斑岩热液矿床（Ⅳ类）（毛德宝等，2001）；每类矿床的成因均可追溯至岩浆活动，即使是元古宙形成的与沉积岩关系密切的矿床也是如此，其火山—沉积岩系内的矿床也受到中生代岩浆热液的改造富化，形成叠加改造型矿床，特别是区内占主导地位的中生代火山—斑岩热液矿床的成矿更是与中生代中酸性小型、浅成、超浅成侵入岩或火山及岩浆热液活动有密切相关关系，表现在矿床与岩浆岩空间关系密切，岩浆岩的岩性及产状对成矿元素及其组合起控制作用，矿床元素的分带也与岩浆活动时温度场的分布相对应。

当成矿岩浆岩定位深度大于次火山及超浅成岩体时，成矿元素组合相对复杂，除了 Pb-Zn-Ag 组合外，还可能有 Fe-Zn-Ag、Cu-Pb-Zn-Ag、Cu-Mo、Cu-Pb-Zn 等组合，靠近岩体的高温内带可有 Cu-Mo 或 Cu-Pb-Zn 组合，外带可出现 Cu-Pb-Zn、Mo-Pb-Zn、Cu-Fe、Zn-Fe 等组合，远离岩体为 Pb-Zn 或 Pb-Zn-Ag 组合，更远则除了 Ag-Pb-Zn 组合外，还可出现 Ag-Au 等组合。

从岩体中心到外围，由浅成岩体到超浅成岩体，深部到浅部的空间格局与岩浆入侵时产生的由高到低温度分布格局为对应关系，成矿元素的组合分布变化（分带）与温度分布格局同样为对应关系，与高温→低温相应，成矿元素表现为 Mo→Cu→Pb、Zn→Ag 的分带；成矿深度深、温度高的矿床除 Pb、Zn 外，还相对富 Mo、Cu、Fe、Au 等元素，但缺乏 Mn 元素；Ag 多分布于距岩浆岩较远的外带或超浅成相快速冷却到低温环境的次火山岩相附近；这种元素组合与岩体位置的关系为对支家地矿元素组合分布、矿床位相的把握提供了背景约束。尽管支家地矿床整体矿化分带不明显，但矿床中的单一矿体却存在类似的矿化分带，深成矿相位伴随 Mo、Cu 而无 W 的特点启示我们思考支家地矿的深部是否也有 Mo、Cu 潜力的可能。

1.2.3 铅锌银多金属矿成矿物质来源

已有的硫同位素数据（表 1.1）显示华北地块北缘中生代铅锌银矿成矿物质及成矿流体主要来源于岩浆；太古宙及元古宙的铅锌银矿的来源相对复杂，与其继承了初始矿化时的壳源沉积物（太古宙结晶基底源）并叠加了中生代中酸性次火山岩浆物源有关。

华北北缘成矿带中生代铅锌银矿床成矿物质总体具有多源特点，其铅同位素有较低的²⁰⁷Pb/²⁰⁴Pb 值和 μ 值（表 1.2），在构造铅同位素投影图中其投影点分布范围广，穿越了四条演化线，反映中生代铅锌银矿物质的多源性，包括地壳和地幔的混源，不同源物质存在比例的差异。

表 1.1 华北地块北缘中段铅锌矿床的硫同位素

矿床类型	矿床	样品性质	样数	$\delta^{31}\text{S}/\text{‰}$	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$	资料来源
沉积喷气型	高板河		102	-13.0~-24.1		毛德宝,2002
叠加改造型	八家子		103	-8.2~+6.7		
	蔡家营		66	-1.9~+10.5		
	青羊沟		17	-12.9~+3.54(-0.97)		
与大红峪期碱性火山活动有关的浅成低温热液型	洞子沟		25	-5.2~+3.9(+1.0)		毛德宝,2002
与中生代火山-斑岩浆活动系统有关的热液型	相广		3	-0.1~+4.8(+3.03)		
	满汉土、小扣花营		45	-0.12~+10.14(-3.2)		
	支家地		24	-0.6~+9.6(+3.45)		
	上碌碡湾		5	-4.3~+1.3(-0.58)		
	北岔沟门		8	+0.2~+5.2(+2.94)		
	姑子沟		48	-0.6~+8.0(+3.9)		
	牛圈-营房		24	-2.9~+5.2(+4.25)		
	蘑菇峪		2	-5.5~+8.2(+6.8)		
	刁泉银铜矿	硫化物	19		-0.5~+5.7(+3.36)	李兆龙,1994
	支家地银矿	硫化物	18		+0.6~+9.6(+3.45)	李兆龙,1994
	小青沟银锰多金属矿	硫化物	13		+1.3~+7.0(+3.98)	余成杰,1996
	硐沟锰银矿	矿石	14		-1.5~+3.3(+0.64)	李生元,2000
	义兴寨金矿	硫化物	33		-0.8~+5.6(+1.47)	景淑慧,1992
	耿庄金矿	硫化物	56		-1.2~+7.2(+1.01)	林建阳,1992
	滩上金矿	硫化物	不详		-0.8~+5.4(+0.77)	田永清,1991
	大麻花沟金矿	矿石	32		-0.2~+7.2(+3.5)	李兆龙,1994
	马家岔金矿	矿石	不详		-1.2~+2.9(+0.81)	田永清,1991

表 1.2 华北北缘成矿带的铅同位素

矿床类型	矿床	样数	矿物	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{205}\text{Pb}$	资料来源
沉积喷气型	高板河	15		16.620	15.610	36.550	毛德宝,2001
叠加改造型	八家子	53		16.620	15.230	36.550	
	梁家沟	6		16.810	15.571	36.460	
	蔡家营	12		16.762	15.398	37.439	
	青洋沟	7		16.777	15.372	37.018	
	兰闫	2		16.674	15.385	37.900	
	前阿明代	1		16.631	15.384	37.771	
与大红峪期碱性火山活动有关的浅成低温热液型	洞子沟	6		15.632	15.090	35.577	毛德宝,2001
与中生代火山、次火山岩浆活动有关的浅成低温热液型	相广	1		16.731	15.324	36.845	
	满汉土	9		17.034	15.342	37.297	
	小扣花营	1		17.154	15.346	37.394	
	彭家沟	3		16.889	15.164	37.017	
	上碌碡湾	1		16.127	15.075	36.729	
	支家地	9		15.544	15.242	36.690	

矿床类型	矿床	样数	矿物	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁵ Pb	资源来源
与中生代浅成岩浆侵入活动有关的热液型	北岔沟门	9		16.895	15.291	37.111	毛德宝,2001
	姑子沟	8		16.367	15.183	36.396	
	牛圈-营房	7		17.190	15.525	37.889	
	水关口	2		16.311	15.248	36.508	
	常庄子	2		16.340	15.189	36.129	
	蘑菇峪	1		17.570	15.470	37.760	
	刁泉银铜矿	11	矿化物	16.843	15.229	36.968	李兆龙,1994
	支家地银矿	9		16.544	15.242	36.660	
	小青沟银锰多金属矿	5		16.702	15.627	37.192	余成杰,1996

毛景文等（2002）对华北地块周边中生代典型金矿与相关的花岗岩中钾长石和绢云母的氮含量和氮同位素组成分析结果表明，尽管金矿围岩有前寒武纪变质岩、显生宙沉积岩、镁铁质火山岩和花岗岩，但矿化均与花岗质岩石关系密切，氢、氧、碳同位素也显示了与之吻合的结果，该结果对于华北北缘多金属成矿带的物质源于岩浆，与地幔物质有关具有间接支持意义。

华北地块大多数中生代的花岗岩与具有相似 Sr、Nd 特征的基性、超基性岩以及碳酸岩、煌斑岩等直接源自地幔的岩石密切共生，花岗岩具有类似埃达克岩的地球化学特征，同时普遍具有较低的锶初始值，许多岩石的 $\epsilon_{Nd}(t)$ 值低于地壳岩石的平均值（-15）（洪大卫等，2003），也说明华北地块的岩浆源区与地幔物质相关。

总之，区内矿石及成矿岩体的各种同位素特征都说明，本成矿区的成矿物质来源与岩浆关系密切，这为认识支家地矿的成矿物质来源提供了背景约束。

已有的地质事实及同位素数据说明华北地块北缘的多金属成矿在伸展构造背景控制下，伴随富不相容元素的中酸性岩浆活动，定位于地壳浅部的岩体接触带或断裂空间，特别是区内中生代的多金属矿显示类似特征及成因，反映华北北缘中生代伸展构造活动背景为其提供了极为有利的成矿条件，而发育小型中酸性岩体的伸展构造区是成矿的有利区域。

1.3 晋东北中生代多金属矿成矿特点

支家地铅锌银矿分布于晋东北多金属成矿区内，该区处在华北地块多金属成矿带北缘南侧，NE 走向，与华北地块北缘 EW 走向多金属成矿带斜交，区内 NW 向断裂极为发育，侵入岩、喷发岩的分布明显受 NEE 和 NW 向两组断裂的联合控制。区内中生代多金属矿床与华北台地燕山褶皱带基底关系不密切，表现出与中生代构造岩浆活动密切相关的特征，基于前人对晋东北地区中生代成矿活动与区域大地构造背景间联系分析的不足，现对支家地矿床成矿的中生代大地构造背景进行约束简析。

1.3.1 中生代晋东北区域大地构造格局

图 1.3 显示了晋东北地区的基本大地构造格局，NE 向和 NW 向为区域主要构造线方向，同时显示了区域的中心地带为隆起程度最高的部位，中生代岩浆岩体受 NW 向断裂控制，但其总体分布显示了近 NE 向的分布特点，并局限于浑源至五台一带。这种格局似乎暗示晋东北地区的大地构造格局与 SN 向或 NW-SE 向应力作用有关，而 SN 向的应力与中生代古亚洲洋板块向华北板块的俯冲及其后的西伯利亚大陆板块与华北板块的碰撞相对应，NW-SE 向的应力则与太平洋板块向西俯冲对应；这种构造格局也可以只用一个方向应力场模式进行对应分析，基于 NE 向压剪性构造线及 NW 向构造线表现更为明显的事实，或暗示中生代该区存在 NW-SE 向应力作用。

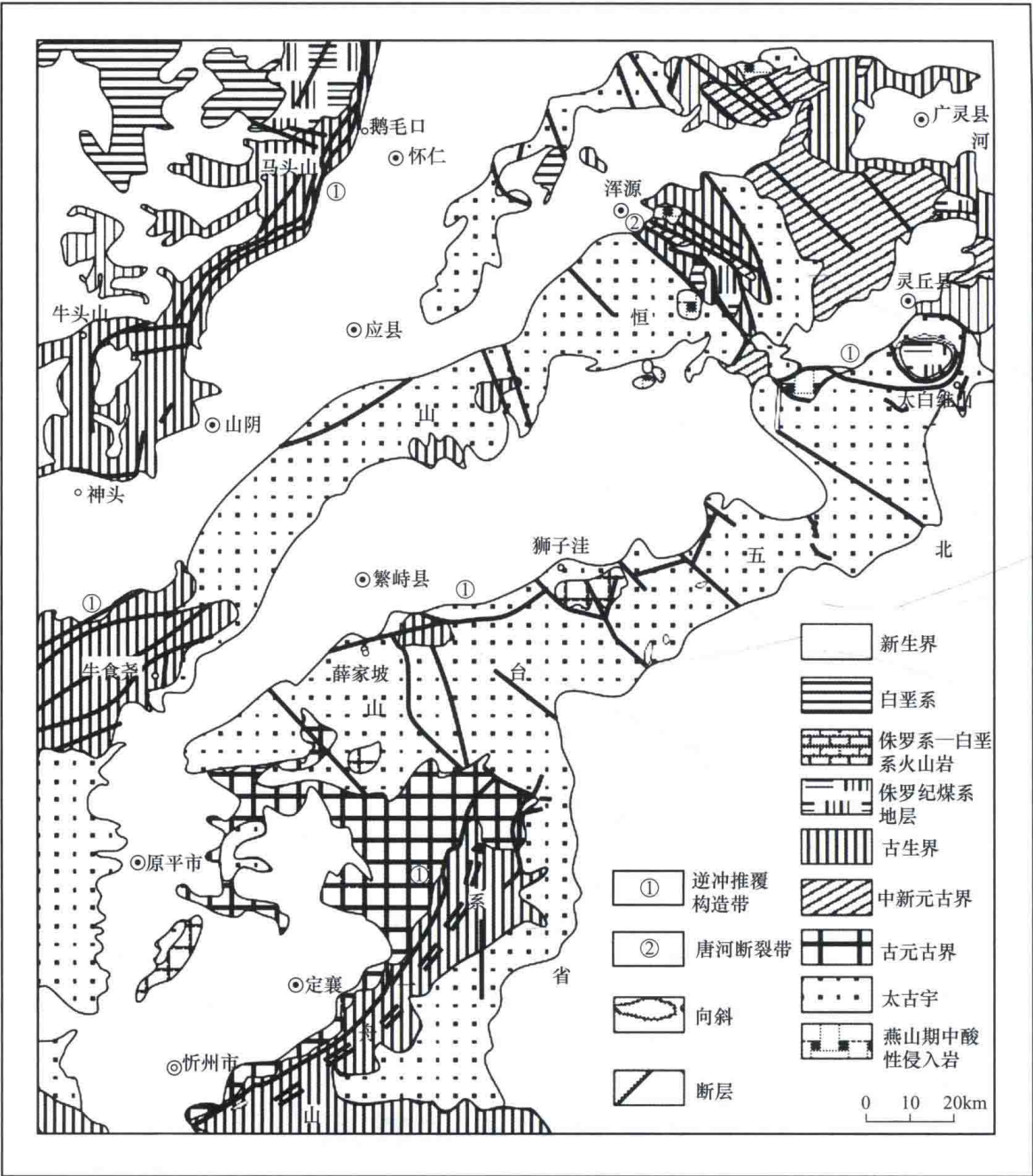


图 1.3 晋东北地区区域地质略图
(据赵祯祥等, 2007; 有修改)

1.3.2 晋东北地层分布格局

晋东北地区主要出露前寒武纪变质岩, 包括太古宇五台群、中新元古界长城系—青白口系、古生界寒武系—奥陶系和石炭系—二叠系, 中生界侏罗系和白垩系, 新生界。太古宙基底主要出露于区域的中部, 呈 NE 向与新生代地层相间分布, 构成区域 NE 向杂岩体隆起; 元古宇分布于恒山隆起的 NE 端, 以及五台山隆起的 SW 端, 在区域中部 (繁峙一带) 只有零星分布; 古生界的分布与元古宇相同, 但在五台山隆起和恒山隆起的 NE 端和 SW 端亦有分布。中生界只在区内北部局部出露, 除了左云县有较大面积的白垩系和侏罗系火山岩出露外, 恒山和五台山隆起的 NE 端盆地中亦有侏罗系和白垩系零星分布, 区内白垩系和侏罗系火山岩及沉积岩总体呈 NW 向展布, 向左云县方向出露面积加大; 新生界主要分布于 NE 向隆起之间的凹陷中, 呈 NE 向展布。

由这种地层分布格局可以认为恒山、五台山隆起代表的 NE 向隆起, 结合其 NE 部的区域有较大面积的古生代地层、侏罗纪火山岩和白垩纪火山岩和沉积岩出露的事实, 可以认为恒山、五台山隆起的

NE 端是隆起的倾伏端，并为中生代构造岩浆洼地，晋东北地区与小型岩体有关的多金属矿床也主要集中在该构造部位，正是由于这种大地构造的洼地使支家矿免遭剥蚀，得到较好保存。

1.3.3 晋东北地区中生代线性构造格局

晋东北地区太古宙基底呈 NE 向相间排列的隆起构造，发育 NE 向和 NW 向两组断裂，NE 向断裂主要表现为 NE 向隆起与凹陷的分界线，为压性、压剪性断裂，有的构成逆冲推覆系，除了太白维山的逆冲推覆构造外，在区域北西地区的神头-鹅毛口、恒山西段也发育逆冲推覆构造，表现为对冲式逆冲、逆掩断层组合及飞来峰，该方向的断层切割了晚侏罗世火山岩，并被晚期活动的 NW 向正断层切割，与早白垩世义县组呈角度不整合（赵祯祥等，2007），因此该方向的断裂活动时代为晚侏罗世到早白垩世期间，其推覆特点反映了该时代晋东北地区强烈的 NW-SE 方向的水平挤压，导致中生代地壳的强烈缩短和加厚，但其与早白垩世地层角度不整合关系则反映了中生代晚期的拉伸沉降。

晋东北地区普遍发育燕山期的 NW 向张性、张剪性断裂构造，走向 $310^{\circ}\sim 340^{\circ}$ ，倾向不定，均为正断层，断层主要集中出露于五台山及恒山隆起的北东端，特别在浑源到灵丘一带分布密集，穿切了太古宇、元古宇、古生界，在恒山隆起的 NE 端穿切了侏罗纪火山盆地，因此该组断裂的活动时代应与 NE 向断裂相同，是晚侏罗世到早白垩世强烈 NW-SE 方向水平挤压的结果。该方向断层的最大特点是其对区内多金属矿床的直接控制作用，如唐河断裂带是区内北西向断层的代表，也是距支家地矿床距离最近的区域主要断裂，该断裂穿切恒山、五台山东段，为一系列阶梯状正断层构成，总体走向 $310^{\circ}\sim 330^{\circ}$ ，断面产状 $35^{\circ}\sim 110^{\circ}\angle 60^{\circ}\sim 70^{\circ}$ ，该断裂带内酸性脉岩及多金属矿化发育，同时表现燕山期的两期活动。

总之，NE 向与 NW 向断裂均表现了中生代活动特点，NW 向断裂表现出对区内岩浆岩体和多金属矿分布的控制及二次活动的特点，NE 向断裂为压性断层，NW 向断裂为张性断层，因此可以认为二者均是中生代 NW-SE 压应力场作用结果，在应力场作用早期，主要形成区域性 NE 向断裂及隆起，而 NW 向断裂稍滞后于 NE 向断裂，由于其张性特征，使其成为岩体及矿床的直接控制因素。因此叠加在 NE 向隆起上的 NW 向断裂是成矿的有利部位，支家地矿显然受到了这种构造格局的约束。

1.3.4 晋东北地区中生代构造盆地特点

晋东北地区发育的中生代盆地构造对中生代大地构造格局有很好的反映，盆地内的物质为侏罗纪的陆相或火山相沉积物，在区域北部盆内出露下-中侏罗统的永定庄组和大同组、云岗组，为河湖相或河流-湖沼交互相建造，岩性为碎屑岩、泥质岩、火山喷发岩、含煤碎屑岩；区域中部的浑源中庄铺和东南部的灵丘等地的盆地中的沉积物为中晚侏罗世火山岩，缺失永定庄组、大同组，其底部为髫髻山组，其岩性为分选差、快速堆积的粗碎屑岩，上覆火山岩。盆地中沉积物特征显示出地层由北西向南东依次变新的特点，显示了其不对称箕状断陷性质。白垩纪盆地的盆缘发育同沉积正断层，盆地内为湖沼相-河流相建造，沉积物为酸性火山岩和紫红色碎屑岩，局部发育灰绿色泥岩及煤，少量玄武岩，碎屑物显示了近源快速堆积特征，盆地性质为伸展型断陷，显示白垩纪时期区内伸展构造背景。

晋东北地区缺乏三叠纪地层说明晋东北地区到侏罗纪沉积发生前已经历了长期的陆地剥蚀，属于成熟的大陆环境；晋东北地区中生代盆地构造沉积建造的特点及其空间变化说明该区中生代构造活动均发生在大陆区域，为伸展构造环境下陆相断陷盆地，说明中生代研究区处于伸展背景。盆地沉积物由 NW 向 SE 年代变新的特点反映了该区伸展由 NW 向 SE 推进，这种构造格局极有可能是支家地矿床由 NW 向 SE 倾伏空间分布的约束背景。

1.3.5 晋东北地区中生代多金属矿成矿特点

(1) 晋东北多金属矿分布

图 1.4 显示，晋东北多金属成矿带内的矿床沿灵丘-繁峙-代县（赵北-大鹿沟断裂带）呈 NE

向分布, 该 NE 向构造岩浆带内分布有铜、钼、铅锌、银、金、锰等多金属矿床, 从 NE 向 SW, 分布有白北堡铅锌矿、小彦铜多金属矿、太那水金矿、王安镇铜矿、镰把岭铅锌银矿、支家地银矿、硐沟锰银矿、小青沟-流沙沟锰银矿、野窝窑银矿、义兴寨金矿、东泽沟银铅锌矿, 而灵丘一带是带内的成矿最为密集的区域, 由于带内矿床规模多为中、小型, 前人总体重视及研究程度相对较低。

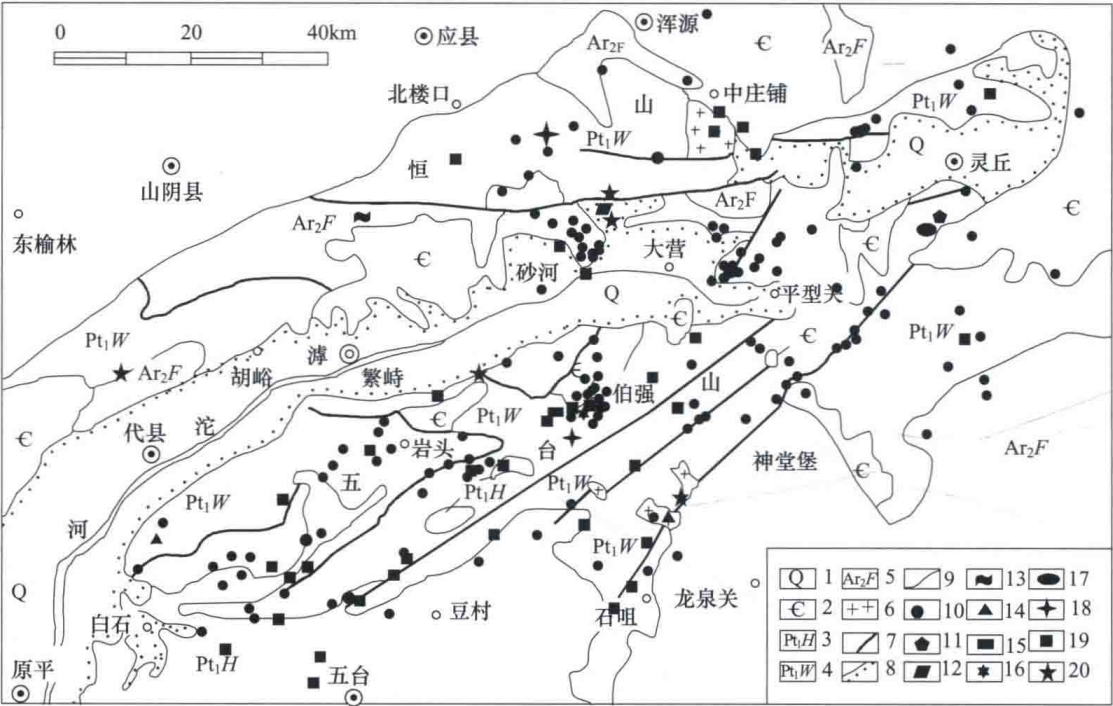


图 1.4 晋东北地区多金属成矿带
(据山西省矿产分布图修改)

1—第四系; 2—寒武系; 3—古元古界滹沱群; 4—古元古界五台群; 5—新太古界阜平群及恒山杂岩; 6—燕山期花岗岩; 7—剪切带; 8—不整合界面; 9—地质界线; 10—金矿; 11—铅、锌、银矿; 12—钼矿; 13—钛矿; 14—镍矿; 15—钴矿; 16—银铜; 17—银锰矿; 18—铅矿; 19—铜矿; 20—铬矿

该带内大量发育燕山期浅成侵入岩体和隐爆角砾岩体, 矿床密布, 且均为岩浆期后热液型矿床, 说明该区的中生代多金属矿受相同的成矿作用控制, 因此带内仍有发现更多矿床或大型多金属矿床的空间, 而太白维山火山盆地的相对低洼地带为矿床的保存提供了良好的地形条件, 应为带内最为有利的多金属矿集中区。

(2) 矿化有关的燕山期岩浆岩

内与矿化有关的燕山期岩浆岩岩体和岩体群在该区出露有 60 余处, 岩体个数和出露面积约占到山西省岩浆岩的 80% (周绍芝, 1999), 已有的年龄数据均分布于 130.6~186.3Ma, 说明晋东北地区与多金属成矿有关的岩浆活动时代为燕山期晚期。

几乎所有的多金属矿床都分布于燕山期浅成相侵入岩、火山岩及其周边, 岩体与围岩的接触带也是区内接触交代型矿床最重要的控矿构造, 斑岩及次火山岩是矿床的主要控制岩体。前人的工作 (李生元等, 2000) 表明, 燕山期岩浆岩岩体的分布受 NW 向张性断裂控制, 出露于支家地、小青沟、硐沟、上庄、下庄、刁泉、耿庄、繁峙, 同时伴随有相应的铜、金、铅锌等多金属矿床, 与矿化直接有关的为浅成相岩体, 其岩性有花岗闪长斑岩、石英斑岩、花岗斑岩等, 总体具有富硅、相对贫稀土总量, 其稀土配分模式显示其相对富轻稀土, Eu 负异常适中特点, ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 初始比值相对较低, 小于 0.7058, 显示了陆源特点。

(3) 控矿构造

晋东北地区的控矿构造主要有隐爆角砾岩体、斑岩体与围岩接触带、断裂等三种。

晋东北成矿带内出露的一系列与燕山期富碱的酸性、中酸性浅成相-次火山相有成因联系的爆破角砾岩体，是带内成矿非常有利的控矿岩体构造，耿庄金银矿、支家地铅锌银矿就分布于隐爆角砾岩体中或其附近，观察到矿体呈脉状穿插于隐爆角砾岩与围岩的接触带中，说明矿化总体晚于隐爆作用。由于隐爆角砾岩代表了火山机构的浅部，因此可以认为隐爆角砾岩构造控矿的矿床受剥蚀程度浅，其深部仍应有较好的找矿潜力。

斑岩体与围岩的接触带是区内矿体的主要分布地带，其中刁泉银铜矿的矿体均分布于花岗斑岩与大理岩的接触带；尽管支家地、硐沟、小青沟等矿床的矿体直接受断裂控制，但这些断裂也无例外地处于斑岩体与围岩的接触带范围，离开接触带矿化程度下降；接触带主要有矽卡岩蚀变和硅化、绢云母化蚀变，显示无论围岩类型，接触带构造是矿化的空间载体，同时应是找矿的远景靶区。

NE 向的构造岩浆带控制了成矿带分布，NE 与 NW 向断裂的交汇处控制了与成矿关系密切的小型岩体的侵入定位及多金属矿床的定位，导岩、控岩断裂和浅成岩体侵入过程中形成的次级断裂和裂隙则控制了多金属矿体的分布。由于区内的控矿裂隙既有受区域构造控制的断裂，也有受岩体侵入或火山机构控制的裂隙，导致区内矿体的分布方向多样。

(4) 矿化分带特点

与晋东北燕山期岩浆活动有关的多金属成矿带显示了成矿分带特征。

区内各矿床的成矿元素显示了高温到低温的水平分带特点，对温度由高到低对应为 Cu、Au-Pb、Zn、Ag-Ag、Mn 的分带；灵丘县太那水金多金属矿床从接触带向围岩，矿化分带显示为 Mo-Cu、Au-Pb、Zn、Ag；刁泉银铜矿的 Cu、Au 主要集中在接触带附近，Ag 则主要分布在接触带以外的空间；硐沟锰银矿的 Ag 矿体分布于岩体及其火山岩围岩中，银锰矿体均分布于岩体外围的高于庄组白云岩层内。

由深到浅，成矿元素分带表现为 Cu、Fe-Cu、Au、Ag、Fe-Ag、Pb、Zn-Au、Ag、Pb、Zn、Mn，即岩相深度大时形成铁（铜）矿，岩相较浅时（花岗斑岩）形成铜金、银、铁等多金属矿床；岩相深度更浅，发生隐爆时，形成银、铅锌矿，或金、铅锌矿；岩相最浅时（火山口、颈相）形成金、银、铅锌、锰矿。

不同矿床的元素分带特征可能并不完整，可能只出现了元素分带序列中的某一段，如灵丘县太那水金多金属矿床，水平分带表现为从接触带（矿化中心）向岩体或围岩（边缘），矿化为 Mo-Cu、Au-Pb、Zn、Ag，矿化的垂直分带表现为由浅部到深部，渐变关系为 Pb、Zn、Ag-Cu、Au-Mo。刁泉银铜矿 Cu、Au 主要集中在接触带附近，Ag 从接触带到外围则广泛分布；硐沟锰银矿则表现出 Ag 矿体分布于岩体及其接触带附近的白旗组火山岩中，而银锰矿体均分布在远离岩体的白云岩中。

总之晋东北地区矿床普遍存在与岩体相关的分带现象，可总结为由岩体到围岩（水平及垂直方向），由深到浅元素分带规律为：Cu、Fe（Mo）-Cu、Au、Ag、Fe-Ag、Pb、Zn-Au、Ag、Pb、Zn、Mn，矿种则是深部以铜铁金为主，中部以银铅锌为主，浅部以银铅锌锰为主，有时可伴有金。这种分布格局与成矿时期的区域温度场温度由岩体向外（包括水平和垂直方向）由最高变为最低，温度变化率由最大变为最小的温度分布格局一致，对其认识则特别有利于判断某一矿床保存程度以及对成矿潜力的把握。例如区域内的次火山岩（斑岩）与碳酸盐岩接触时形成矽卡岩型铜、金、银、铅等矿产，如太那水金矿、后峪斑岩型钼矿、刁泉铜金矿等，但支家地石英斑岩与白云岩的接触带不出现矽卡岩化，白云岩只表现为褪色化，并未发生大理岩化，说明现有矿体为成矿的浅位相，同时剥蚀浅，深部矿化应该保存完好，其深部和边部仍应有较好的成矿远景。

1.4 太白维山矿田地质特征

支家地位于太白维山银锰矿田，区域内的矿床均处于燕山期太白维山火山盆地内，并主要集中分布于盆地北西的侏罗系与新元古界长城系高于庄组白云岩接触带（图 1.5）。矿田内主要分布有硐沟银、锰矿床、小青沟银锰矿、支家地铅锌银矿等矿床。

1.4.1 矿田构造

区内主要发育 NE 向和 NW 向两组断层，同方向的断层的形成时代可分别追溯至燕山期和燕山期前。

1) NW 向断层：盆地内燕山期及其他的断层不发育，仅有盆地北西部位发育两条 NW 向断层，分别为三神庙-上庄断层和三神庙西断层，位于北部的三神庙-上庄断层，其倾向为 SW，倾角陡，为 80°，为正断层，显示右行特征；南部三神庙西断层，其倾向为 NE，倾角缓，角度为 30°，显示左行，切割了晚侏罗世地层；断层活动时间晚于北东向断层。特别引人重视的是，NW 向断层控制了区内燕山期花岗斑岩的分布，矿田内现有已知矿床均分布于盆地内的 NW 向断层两侧，充分说明两断层是矿田的导岩、导矿断层。

盆地北东、南西、南东边缘也分别发育 NW 走向断层，倾向 NE，倾角陡，为 56°~85°，均为正断层，主要切割了新元古界长城系和寒武系、奥陶系、新元古界蓟县系。

2) NE 向断层：区内最为发育的是沿盆地南东接触带发育的系列 NE 走向，其倾向均为 NW，倾角陡（多大于 60°）的断层带，靠近盆地中心的断裂为逆断层，奥陶系、石炭系超覆于晚侏罗世地层，说明该类断裂的主要活动时代为燕山运动晚期，应是晚侏罗世晚期或早白垩世时期的产物；而靠近盆地外缘的断层为正断层，断层切割了寒武系、奥陶系。它们显示了中生代仰冲，新生代下滑的特点。

盆地北西部周边也发育 NE 走向的正断层，倾向 SE，倾角为 50°~60°，断层分布于老地层中，其下盘为新太古界五台群的变质石英闪长岩，上盘为新太古界五台群的庄旺组黑云斜长片麻岩类，其活动时代早于中生代。总之，区域断层主要分为 NE 向和 NW 向两组，太白维山盆地外围发育的 NE 和 NW 向断裂，均为正断层，其活动时代早于中生代，而太白维山中生代火山盆地所在地可能是此类断层的交汇处，目前所见盆地外围的这两组断裂可能只是此类断裂的残留断层。

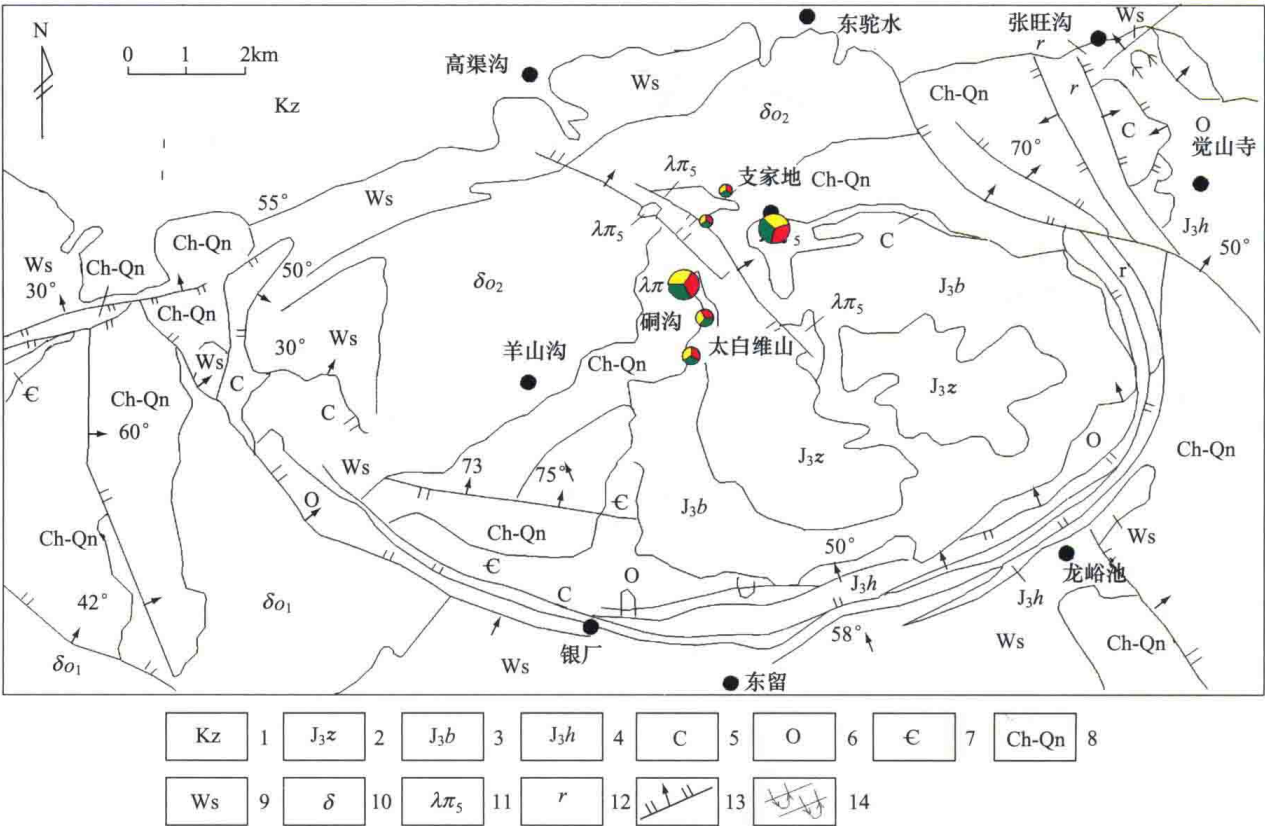


图 1.5 支家地铅锌银矿区域地质图
(据李树臣，2006 年修改)

1—新生界；2—上侏罗统张家口组；3—上侏罗统白旗组；4—上侏罗统后城组；5—石炭系；6—奥陶系；7—寒武系；8—长城系—青白口系；9—五台群变质岩；10—变质石英闪长岩；11—石英斑岩；12—花岗岩；13—正断层；14—同斜向斜及背斜