



中国地质调查成果
CGS 2015-018

豫西牛头沟金矿

地球化学找矿模型与定量预测

● 龚庆杰 喻劲松 韩东昱 刘宁强 等著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



中国地质调查“区域化探方法技术研究与
成果集成(1212011120950)”项目资助

豫西牛头沟金矿地球化学 找矿模型与定量预测

龚庆杰 喻劲松 韩东昱 刘宁强 著
吴发富 佟依坤 贾玉杰 马云涛

北京

冶金工业出版社

2015

内 容 提 要

本书以豫西熊耳山矿集区内的牛头沟金矿床为例,提出了在对基岩、土壤到水系沉积物的地球化学勘查过程中建立地球化学找矿模型的工作流程,并在调研前人研究成果的基础上,提出成晕剥蚀系数的概念及其计算公式,旨在以地球化学指标定量表征矿体的剥蚀程度。本书在修正面金属量法地球化学定量预测计算公式的基础上,对豫西熊耳山矿集区金潜在资源量进行了地球化学定量预测。

本书以实例形式阐述了典型矿床地球化学建模和矿集区地球化学定量预测的工作流程,可供产、学、研部门的广大地质工作者和高等院校矿床学、地球化学专业的师生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

豫西牛头沟金矿地球化学找矿模型与定量预测/龚庆杰等著. —北京:冶金工业出版社, 2015. 7

ISBN 978-7-5024-6918-4

I. ①豫… II. ①龚… III. ①金矿床—地质地球化学—找矿—地质模型—研究—河南省 ②金矿床—地质地球化学—成矿预测—河南省 IV. ①P618. 51

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 124181 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 yjchs@cnmp. com. cn

责任编辑 徐银河 唐晶晶 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 马文欢

ISBN 978-7-5024-6918-4

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京博海升彩色印刷有限公司印刷

2015 年 7 月第 1 版, 2015 年 7 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 11.75 印张; 280 千字; 174 页

58.00 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 yjgycbs. tmall. com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

全国矿产资源潜力评价项目是我国对矿产资源的一次重要的国情调查。区域地球化学调查获得的海量数据为全国矿产资源潜力评价提供了坚实的基础,如何应用区域地球化学资料对矿产资源潜力进行评价成为化探工作者的紧迫任务。全国矿产资源潜力评价化探项目组提出了全国典型矿床地球化学建模和金属资源量地球化学定量预测的科研任务。为研究典型矿床地球化学建模和金属资源量地球化学定量预测的方法技术,中国地质调查局承担了区域化探方法技术与成果集成(编号 1212011120950) 工作项目,并委托中国地质大学(北京)承担其中豫西牛头沟金矿地球化学建模和熊耳山矿集区金潜在资源量定量预测的科研课题。自 2011 年承担课题至今,课题组在充分吸收前人研究成果的基础上,经野外地质调查、样品采集与分析测试、化探资料综合分析等系列工作,以实例形式提出了典型矿床地球化学建模的工作流程和矿集区金属资源量地球化学定量预测的方法。

根据我国成矿区带划分,豫西熊耳山矿集区位于华北陆块南缘成矿带之小秦岭-豫西成矿亚带内,区内有色金属以金、钼为主,次为银、铅、锌、铜等。尽管区内发育有元古代和印支期形成的矿床,但该区有色金属的成矿时代主要集中在晚侏罗世至早白垩世。牛头沟金矿床位于熊耳山矿集区中部,目前累计探明金的金属量达 36t,是近几年在该区所发现的大型金矿床之一。

牛头沟矿区出露地层主要为太古宇太华群和中元古界熊耳群,太华群岩性以黑云斜长片麻岩为主,夹有斜长角闪岩和混合变粒岩,熊耳群岩性以安山岩为主。矿区侵入岩以花岗岩岩体为主,还发育有石英斑岩脉和角砾岩体。矿区构造以北西向牛头沟断裂为主,是矿区最重要的控岩、控矿断裂。矿体形态受构造蚀变带形态控制,属于地表出露矿体。

基于收集和分析测试获得的熊耳山地区岩石地球化学数据,在剔除蚀变岩石和矿石后采用均值-标准差方法确定了熊耳山地区区域岩石中微量元素的异常下限,为牛头沟金矿区确定找矿(或成矿)指示元素提供了参考。基于蚀变岩石和矿石地球化学数据,采用异常衬度法确定了牛头沟金矿区找矿指示元素

组合为 Au、W、Mo、Bi、Cu、Pb、Zn、Cd、Ag、As、Sb、Hg、Co、Y、F，共 15 项。

从基岩风化到土壤再到水系沉积物的地球化学发展过程中，样品的风化程度可用花岗岩风化指标 WIG 来进行定量表征。片麻岩风化土壤从粗粒级到细粒级其风化程度逐渐增强，但随着土壤样品粒度逐渐变细，安山岩的风化程度却未表现出逐渐增强的特征。这种差异主要取决于基岩样品的结构（即结晶粒度），由此认为土壤样品粒级的粗细并不能较好地反映其风化程度的强弱。对于源自同一母岩的土壤样品，微量元素在其中的含量因其风化程度不同可表现出显著差异，这对勘查地球化学研究中确定元素异常下限具有重要参考价值。

采集 0.147~0.25mm（60~100 目）水系沉积物或土壤组合样品在牛头沟金矿区开展了 31.5km² 的化探普查工作（1:5 万工作比例尺）。采用水系沉积物中位值倍数法来确定成矿指示元素的异常下限，绘制了 15 种成矿指示元素的单元素地球化学异常图，结果发现上述 15 种成矿指示元素在该区 1:5 万化探普查中均可作为找矿指示元素。牛头沟金矿区 1:5 万化探普查工作中所采集的 0.147~0.25mm（60~100 目）水系沉积物或土壤样品在找矿指示元素组合方面对该区原生晕基岩样品具有很好的继承性。

基于 1:20 万区域化探数据，采用水系沉积物中位值倍数法制作了豫西熊耳山矿集区的单元素地球化学异常图，确定该区找矿指示元素组合为 Au、W、Mo、Bi、Pb、Zn、Ag、Co、Y、F，共 10 项。

依据主成矿元素与找矿指示元素的异常特点以及有色金属矿产信息确定了预测区的圈定原则，本书提出了一种绘制地球化学综合异常图的方法，在豫西熊耳山矿集区内以牛头沟金矿区为模型区圈定 10 个金找矿预测区。

通过面金属量守恒与分散特征分析提出面金属量的大小应该反映已剥蚀矿体的信息，基于剥蚀系数的概念修正了面金属量法估算金属资源量的计算公式。在调研前人研究成果的基础上，提出成晕剥蚀系数的概念及其计算公式，旨在以地球化学指标定量表征矿体的剥蚀程度。

借鉴风化过程中金背景值与样品风化指标 WIG 的定量关系，计算了牛头沟金矿区及 10 个金预测区的金背景面。依据修正的面金属量法估算金属资源量的计算公式，对豫西熊耳山矿集区金的潜在资源量进行了地球化学定量预测。

本书是在项目研究基础上经过深化总结成书的，内容由八个章节及结语组成。参加本书编写的包括：前言由龚庆杰、喻劲松编写；第一章、第二章由龚

庆杰、吴发富、刘宁强编写；第三章由韩东昱、佟依坤、马云涛编写；第四章由刘宁强、贾玉杰、马云涛编写；第五章由龚庆杰、佟依坤、贾玉杰编写；第六章由喻劲松、韩东昱编写；第七章由龚庆杰、刘宁强编写；第八章由龚庆杰、喻劲松、韩东昱编写；结语由龚庆杰编写。全书由龚庆杰统稿。

本书所述研究工作是在中国地质调查局、中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所、中国地质调查局发展研究中心相关领导和专家的指导下开展的。中国地质调查局牟绪赞、奚小环、李敏，中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所任天祥、史长义、张华、成杭新、孔牧，中国地质调查局发展研究中心向运川、刘荣梅、吴轩，中国地质大学（武汉）马振东、龚鹏，中国地质大学（北京）邓军、汪明启、杨忠芳、杨立强、冯海艳、王中亮、周连壮、胡杨、闫磊、徐增裕、李金哲、陈晶，中国黄金集团公司黄绍峰、李志国、姚伟宏、王改超、石建喜等对本项目研究给予了大力支持和指导，提出了许多宝贵的建议和修改意见。国土资源部勘查地球化学质量监督检测中心（中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所）、国土资源部武汉矿产资源监督检测中心（武汉综合岩矿测试中心）、核工业地质分析测试研究中心、中国地质大学（北京）地球化学实验室等单位帮助完成了大量样品加工与分析测试工作。对以上单位和个人，在此一并表示衷心的感谢！

由于作者水平所限，书中不妥之处，敬请广大读者批评指正。

作 者

2015年4月

目 录

第一章 区域地质	1
第一节 区域地层	1
一、太华群	1
二、宽坪群	4
三、熊耳群	4
四、汝阳群	7
五、官道口群	7
六、栾川群	8
七、显生宇地层	8
第二节 区域岩浆岩	9
一、五丈山岩体	10
二、花山岩体	10
三、金山庙岩体	10
四、合峪岩体	10
五、太山庙岩体	11
六、成岩年龄	11
第三节 区域构造	14
一、断裂	14
二、褶皱	16
三、拆离断层	17
第四节 区域矿产	17
一、区域金矿床	18
二、区域钼矿床	20
三、区域银矿床	20
四、区域铅锌矿床	21
五、区域铜矿床	21
六、区域金钼矿床成矿年龄	22
小结	25
第二章 矿床地质	26
第一节 矿区地质	26
一、地层	26
二、构造	26
三、岩浆岩	28

第二节 矿体地质	29
一、矿体特征	29
二、矿石特征	30
三、围岩蚀变	31
四、勘查概况	31
小结	32
第三章 岩石地球化学勘查	34
第一节 区域岩石	34
一、地球化学数据	34
二、异常下限	37
三、稀土元素特征	38
第二节 矿区蚀变岩	40
一、地球化学数据	40
二、异常元素组合	44
三、稀土元素特征	44
第三节 矿区矿石	45
一、地球化学数据	45
二、异常元素组合	47
三、稀土元素特征	48
小结	49
第四章 土壤地球化学勘查	50
第一节 矿区岩石风化壳剖面	50
一、风化壳剖面概况	50
二、地球化学数据	51
三、物质来源示踪	54
四、风化程度与 WIG	55
五、元素风化行为	56
第二节 片麻岩土壤剖面	59
一、土壤剖面概况	59
二、地球化学数据	60
三、物质来源示踪	61
四、风化程度与采样粒级	62
五、元素风化行为	62
第三节 安山岩土壤剖面	65
一、土壤剖面概况	65
二、地球化学数据	65
三、物质来源示踪	67

四、风化程度与采样粒度	68
五、元素风化行为	69
小结	71
第五章 化探普查	73
第一节 采样粒度	73
一、样品采集与加工	73
二、地球化学数据	74
三、物质来源示踪	75
四、风化程度与采样粒度	77
五、元素含量与样品粒度	77
第二节 地球化学图	79
一、样品加工	79
二、地球化学数据	79
三、地球化学图制作方法	80
四、地球化学图	81
第三节 物质来源示踪	86
一、Y - Ho 关系	86
二、Y - Ho - La 关系	87
第四节 元素风化行为	88
一、热液成矿指示元素	88
二、其他微量元素	90
第五节 地球化学异常图	91
一、异常下限的确定	91
二、单元素地球化学异常图	92
小结	99
第六章 区域化探	101
第一节 区域化探数据特征	101
一、数据来源	101
二、数据统计特征	101
第二节 地球化学图	103
一、地球化学图制作方法	103
二、地球化学图	103
第三节 地球化学异常图	111
一、异常下限的确定	111
二、单元素地球化学异常图	111
第四节 物质来源示踪	119
一、Y - Ho - La 关系	120
二、 $\text{Ho}_{\text{NC}}/\text{La}_{\text{N}}$	120

第五节 风化程度与微量元素行为	122
一、WIG	122
二、WIG 与找矿指示元素的关系	124
小结	125
第七章 地球化学定量预测初探	127
第一节 定量预测方法	127
一、面金属量法	127
二、丰度估计法 (金属量估计法)	129
三、地球化学块体法	131
四、方法的适用性	133
第二节 牛头沟金矿区面金属量	133
一、1:5 万化探普查	133
二、1:20 万区域化探	135
第三节 预测区面金属量	137
一、预测区圈定	137
二、预测区面金属量	138
第四节 金资源量估算	138
一、比例系数及金资源量计算	138
二、质量评述及注意事项	138
小结	146
第八章 熊耳山矿集区金资源量定量预测	147
第一节 预测区圈定	147
一、预测区圈定原则	147
二、地球化学综合异常图	147
三、金预测区圈定	149
第二节 金面金属量及金资源量初步估算	150
一、面金属量计算	150
二、金资源量初步估算	151
第三节 资源量计算校正	152
一、面金属量守恒与分散	152
二、成晕剥蚀系数	154
三、背景值与面金属量	159
第四节 金资源量定量预测	161
小结	163
结 语	164
参考文献	166

区域地质

豫西牛头沟金矿床位于河南省洛阳市嵩县大章乡三人场村, 矿区东南距大章镇约 25km, 在成矿带划分上牛头沟矿床位于华北陆块南缘成矿带之小秦岭 - 豫西成矿亚带 (徐志刚等 2008) 的熊耳山矿集区 (吴发富等 2012)。

第一节 区域地层

熊耳山地区东西长约 80km, 南北宽约 15~40km, 面积约 2000km² (郭保健等 2005), 位于华北克拉通南缘与秦岭造山带相接的地带, 东侧以三门峡 - 宝丰断裂 (SBF) 为界, 与嵩箕地块毗邻, 南侧以栾川断裂 (LF) 为界, 紧邻北秦岭造山带, 是华北克拉通南缘太古界基底隆起区之一, 与西侧的小秦岭和崤山基底隆起区以及东侧的外方山基底隆起区呈岛链状分布 (图 1-1)。

据吴发富等人 (2012) 和 Deng 等人 (2014) 的文献, 熊耳山矿集区的东西长 110km, 南北宽 70km, 面积 7700km² (图 1-2)。区内出露地层主要为太华群、宽坪群、熊耳群、汝阳群、官道口群、栾川群等以及显生宇地层 (图 1-2)。

熊耳山矿集区出露地层可分为上、中、下三个构造层: (1) 太华群中深变质岩系构成了该地区的结晶基底, 其原岩为一套火山岩 - 沉积岩组合。(2) 由熊耳群火山岩系、汝阳群或官道口群沉积岩系构成的盖层沉积, 其中熊耳群为一套中 (基) - 酸性火山岩组合, 构成本区的第一盖层, 官道口群或汝阳群总体上为一套浅海陆源碎屑岩 - 碳酸盐岩沉积, 不整合于熊耳群之上。(3) 在中新生代伸展断陷盆地内, 发育有红层碎屑沉积岩 (李永峰 2005, 郭保健等 2005, 王志光等 1997)。

一、太华群

华北地块南缘的太华群构成了熊耳山地区的结晶基底。太华群变质岩系经历了地壳早期阶段多次变形变质、混合岩化和岩浆活动、构造叠加, 是不同时期构造 - 热事件多次叠加复合所造成的综合结果。成岩后经受多期次强烈的区域变质、混合岩化及构造变形作用的改造, 为成矿元素的活化迁移提供了必要条件 (李永峰 2005, 王志光等 1997)。

太华群广泛出露于华北地层区豫西地层分区内, 经陕西 - 河南沿小秦岭 - 熊耳山 - 外方山一带呈岛链状穹窿出露于小秦岭、崤山、熊耳山、鲁山以及舞阳等地, 总体呈北西 -

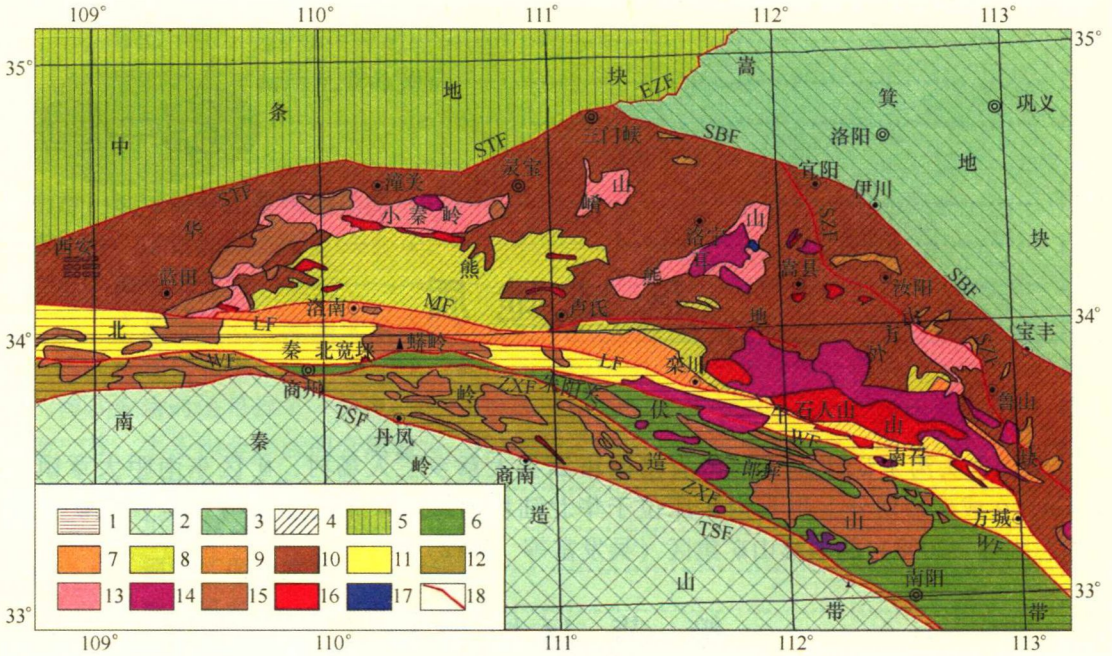


图 1-1 华北克拉通南缘构造纲要图 (马丽芳等 2002)

- 1—北秦岭造山带；2—南秦岭造山带；3—嵩箕地块；4—华熊地块；5—中条地块；6—二郎坪群；
 7—栾川群；8—官道口群；9—汝阳群；10—熊耳群；11—宽坪群；12—秦岭群；13—太华群；
 14—燕山期侵入岩；15—古生代侵入岩；16—中-新元古代侵入岩；17—嵩阳期侵入岩；18—断裂
 STF—三门峡-潼关断裂；EZF—中条山东缘断裂；SBF—三门峡-宝丰断裂；SZF—三门峡-鲁山-驻马店断裂；
 MF—马超营断裂；LF—栾川断裂；WF—瓦穴子断裂；ZXF—朱阳关-夏馆断裂；TSF—天水-商南断裂

南东向展布 (图 1-1)。在熊耳山地区嵩县西北一带，太华群主要分布于龙脖-花山复背斜的轴部，向北至北东向洛宁山前断裂以北为新生界地层覆盖，向南沿近东西向 (局部北西西、北东东) 与熊耳群呈角度不整合接触 (图 1-2)，出露总面积约 450km² (郑榕芬 2006, 林慈鑫 2006)。

河南省地调一队 1982 年在测制 1:5 万洛宁南部熊耳山地区区域地质图时，针对该区岩性特征对太华群地层进行划分，按照不同的岩性组合，将该区太华群自下而上分为草沟组 (Arc)、石板沟组 (Arsh)、龙潭沟组 (Arl)、龙门店组 (Arln)、段沟组 (Ard)。各岩性组发育情况及岩性特征自下而上简述如下：

(1) 草沟组 (Arc) 岩性以黑云斜长条带状混合岩为主，夹角闪斜长条带状混合岩和混合质斜长角闪片麻岩。其中普遍有变质超基性岩和变质辉长岩分布，并有辉长岩或辉绿玢岩脉侵入。草沟组原岩主要为一套中酸性火山岩夹中基性火山岩和少量砂泥质沉积岩组合，代表了太华群早期中酸性火山喷发为主的沉积环境。

(2) 石板沟组 (Arsh) 岩性主要为角闪斜长片麻岩、混合质角闪斜长片麻岩、混合质黑云角闪斜长片麻岩、黑云变粒岩、斜长角闪岩、角闪岩团块等，中上部局部地段发育大理岩、透辉石大理岩、白云石大理岩等小夹层或透镜体，总厚度为 2820m。原岩为一套基性火山岩夹中酸性火山岩和沉积岩组合。

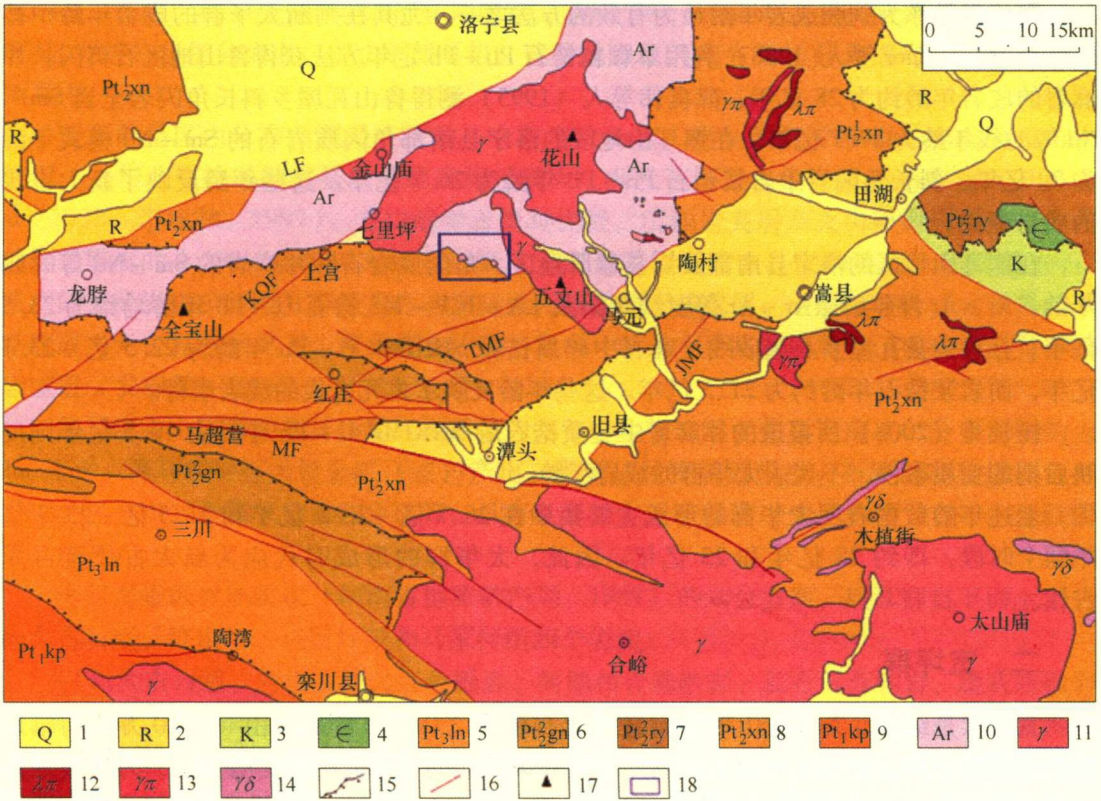


图 1-2 豫西熊耳山矿集区地质简图 (Deng et al 2014, 吴发富等 2012)

1—第四系；2—新近系与古近系；3—白垩系；4—寒武系；5—栾川群；6—官道口群；

7—汝阳群；8—熊耳群；9—宽坪群；10—太华群；11—花岗岩；12—石英斑岩；13—花岗斑岩；

14—花岗闪长岩；15—不整合界线；16—断层；17—山峰；18—牛头沟矿区范围

MF—马超营断裂；LF—洛宁山前断裂；KQF—康山—七里坪断裂；TMF—陶村—马元断裂；JMF—旧县—蛮峪断裂

(3) 龙潭沟组 (Arl) 和龙门店组 (Arln) 该两组岩性组合相近, 岩性主要由角闪斜长片麻岩与黑云角闪斜长片麻岩互层和含铁岩系组成。原岩为一套中酸性火山岩和砂质黏土岩沉积组合, 夹中基性火山岩和铁硅质岩、白云质灰岩和泥质灰岩组成的含铁岩系, 代表了太华群中期间性火山喷发的沉积环境, 具有大规模的火山喷发环境向正常沉积环境过渡的特点 (河南省地质矿产局 1989)。

(4) 段沟组 (Ard) 岩性主要为混合质 (石榴) 矽线黑云斜长片麻岩、夹混合质斜长角闪片麻岩、黑云变粒岩、斜长角闪岩及斜长透辉石岩、浅粒岩等, 厚 694m。原岩为一套泥质—碎屑沉积岩, 夹镁铁质火山岩。代表了一个相对稳定的浅海沉积环境及后期基性火山活动复活的喷发—沉积环境 (河南省地质矿产局 1989)。

目前关于太华群的地质年龄主要有以下三种观点: (1) 太华群应属新太古界 (沈福农 1994)。(2) 将太华群分为三部分, 即大于 2550Ma 的草沟群, 2550~2300Ma 的石板沟群, 2300~2050Ma 的龙潭沟群 (胡受奚等 1988)。(3) 丁莲芳 (1996) 从古生物学、岩石地层学、构造地质学及同位素地质学等几个方面分析, 认为太华群应分为上下两部分, 上部表壳岩系为下元古界, 下部为上太古界。

同位素是作为判断成岩年龄最为有效的方法之一,尤其在判断太华群的成岩年龄中被广泛应用。Kröner 等人(1988)利用单颗粒锆石 Pb-Pb 定年方法获得鲁山地区石英闪长片麻岩的成岩年龄约为 28 亿年,薛良伟等人(1995)测得鲁山瓦屋乡斜长角闪岩全岩 Sm-Nd 等时线年龄为 27.7 亿年。在熊耳山地区的洛宁县南部角闪质岩石的 Sm-Nd 模式年龄为 29 亿年,斜长角闪岩中岩浆锆石 Pb-Pb 年龄为 26.7 亿年。这些年龄反映了新太古代的成岩事件。

在熊耳山地区的洛宁县南部及嵩县穆册地区,角闪质岩石和片麻岩的 Sm-Nd 等时线年龄、Ar-Ar 坪年龄、Ar-Ar 等时线年龄及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄均约为 23.5 亿年。在鲁山县瓦屋乡石墨砂线片麻岩中碎屑锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 22.5 亿~23.1 亿年,而岩浆锆石年龄约为 21.5 亿年。这些年龄反映了古元古代的成岩事件。

杨长秀(2008)所报道的片麻岩中变质锆石的 SHRIMP U-Pb 年龄为 18.5 亿年则反映后期的变质事件,不代表太华群的成岩年龄。

上述年龄数据表明太华群的形成主要集中在 26.7 亿~28.5 亿年和 21.5 亿~23.7 亿年两个时段,即约 28 亿年和 23 亿年。因此,太华群的形成时代应为新太古代至古元古代。

二、宽坪群

宽坪群是组成北秦岭造山带的构造-岩石单元之一。该群最初由《1:20 万商南幅地质图及说明书》定名为宽坪组,指商州北宽坪镇以北的一套低中级变质岩系,时代被定为古元古代。金守文于 1976 年在研究河南西峡以北地区的变质地层时将其定名为“宽坪群”并一直延用至今(闫全人等 2008)。

宽坪群是北秦岭造山带一个重要的组成部分,南、北分别以斜峪关-瓦穴子断裂和铁炉子-栾川断裂与其他岩群接触,西起甘肃天水的利桥,向东经陕西宝鸡、眉县、户县、商县、丹凤,进入河南的卢氏、栾川、南召、方城(图 1-1),隐没于南阳盆地后,又断续出露,直达桐柏-信阳北部,总体呈北西向带状展布,绵延千余千米(何世平等 2007)。

宽坪群由三部分组成(何世平等 2007):(1)下部广东坪组,主要为绿片岩和斜长角闪岩,原岩主要为基性火山熔岩。(2)中部四岔口组,主要由云母石英片岩、长英质片麻岩组成,原岩属于一套变质碎屑岩。(3)上部谢湾组,主要为黑云母大理岩和斜长角闪岩,原岩为泥沙质碳酸盐岩夹基性火山岩。变质程度从低绿片岩相到低角闪岩相。

宽坪群的形成年龄应变化在 8.8 亿~21.7 亿年,时代跨越古、中、新元古代。张寿广等人(1991)曾认为宽坪群不是一个简单的地层单位,而是由若干个构造岩片堆叠而成的岩石、地层和构造岩片组合体。本书认同张寿广等人(1991)的观点,同时参考大地构造演化中宽坪裂陷与熊耳裂陷的叠接观点(燕建设等 2000),以及上述宽坪群同位素年龄与熊耳群同位素年龄的关系,认为将宽坪群划归古中元古代较为合适,其同位素年龄以 20 亿年左右和 17.5 亿年左右作为两个重要成岩期,在编制地质图件时以 Pt_1kp 符号标注(记为古元古代),以表明其形成略早于熊耳群(Pt_2^1xn ,即中元古代早期)。

三、熊耳群

1959~1965 年,秦岭区域地质调查队在进行 1:20 万洛宁幅、栾川幅和鲁山幅区域地

质调查工作时, 将不整合在华北陆块南缘结晶基底上的一套巨厚古相火山岩命名为“熊耳群”, 并进一步细分为上、中、下熊耳组。建群地点在河南省栾川县北部与洛宁县交界的熊耳山。

熊耳群是区内分布面积最广泛的一套古老火山岩, 是一套低变形和低变质的火山岩地层, 是华北克拉通结晶基底形成后规模最大、涉及范围最广的岩浆活动产物 (Zhao et al 2002, 李亚林 1997)。它以熔岩占绝对优势, 沉积岩夹层及火山碎屑岩很少, 约占地层总厚度的 4.3%。熔岩以玄武安山岩、安山岩质岩石为主, 次为英安-流纹质岩石, 典型的玄武岩很少。熊耳群作为古老大陆地壳基底的下部盖层, 一般不整合于太古界结晶基底或元古界地层之上, 覆盖其上的是一套中、新元古界陆源碎屑岩、碳酸盐岩及冰碛岩盖层 (关保德 1996)。

熊耳群火山岩系在熊耳山地区出露最为完整, 主要出露于熊耳山南坡, 分布面积约为 2800km²。熊耳群中有大量金矿 (点) 产出, 类型从蚀变破碎带型、石英脉型到爆破角砾岩型, 还有斑岩型伴生金及砂金矿等, 具有良好的金成矿背景 (李亚林等 1997, 刘红樱等 1996)。

据河南省区域地质志 (河南省地质矿产局 1989) 的划分方案, 熊耳群自下而上划分为大古石组、许山组、鸡蛋坪组和马家河组四个岩组。

(1) 大古石组。岩性主要为红色砾岩、河湖相含砾砂岩、长石石英砂岩、凝灰质砂岩及粉砂岩等, 为一套陆相碎屑岩建造。底部砾岩厚度不稳定, 在熊耳山地区, 大古石组过渡为含砾砂岩、砂岩, 砂岩主要是长石砂岩和石英砂岩, 以及长石石英砂岩、长石岩屑砂岩等。自下而上可分为下、中、上三段。下段主要由数个砂砾岩-砂岩-页岩的沉积韵律层构成。中段主要是紫红色页岩、泥岩, 夹有灰色砂岩、粉砂岩。上段以中-厚层灰色砂岩为主, 夹有紫红色页岩, 粒径从数毫米至数十厘米不等; 分选差到无分选; 多为棱角状, 少数为浑圆状, 磨圆较差。砂岩具有明显的正粒序层理。颗粒以次棱角状到次圆状为主, 粒径可从细砂级到粗砂级; 主要组分为石英、长石, 杂基为泥质或铁质黏土砂。砂岩夹有紫红色页岩, 厚约 5cm, 并偶尔见有泥裂构造 (徐勇航等 2008, 李亚林等 1997, 河南省地质矿产局 1989)。

(2) 许山组。岩性主要为灰绿、灰紫色安山玢岩、玄武安山岩、辉石安山岩, 夹少量英安岩、英安流纹岩, 为一套中 (偏基) 性火山岩系, 以富含辉石、夹少量火山碎屑岩及正常沉积岩为主要特征。在嵩县西部研究区, 安山岩发育为有特征的杏仁状构造。杏仁成分复杂, 主要有石英、长石、方解石及绿泥石等。斑晶主要为斜长石, 次为黑云母和角闪石、辉石等 (裴玉华等 2007, 李亚林等 1997, 河南省地质矿产局 1989)。

(3) 鸡蛋坪组。岩性主要为紫红、灰黑色流纹斑岩、英安斑岩及石英斑岩, 常夹火山碎屑岩、杏仁状安山玢岩、辉石安山玢岩等, 为一套以中酸性熔岩为主, 夹酸性与中性熔岩、凝灰岩、沉凝灰岩、凝灰质细-粉砂岩的岩石组合。该组的变化特征一般是: 从下到上, 中酸性岩比例增大, 中基性岩比例减少, 火山碎屑岩层数增多, 厚度增大; 成分上表现为玄武安山岩-安山岩-粗安岩。鸡蛋坪组自下而上可分为三段: 一段为中酸性火山岩, 岩性为紫红色流纹岩、英安岩、流纹质凝灰岩, 夹杏仁状安山岩、粗安岩、凝灰岩等, 局部夹火山集块岩、火山角砾岩、火山角砾熔岩, 为流纹构造、球粒构造发育; 二段为紫灰色杏仁状流纹英安岩、石英粗安岩、杏仁状安山岩; 三段为流纹岩, 局部夹薄

层安山岩、凝灰岩,下部夹火山角砾岩(裴玉华等 2007,刘红樱等 1996,河南省地质矿产局 1989)。

(4) 马家河组。岩性主要为灰紫、紫灰色安山玢岩夹少量流纹斑岩、英安岩、辉石安山玢岩、安山玄武岩、玄武玢岩、火山碎屑岩及正常沉积岩。火山碎屑岩主要有晶屑凝灰岩、集块岩及过渡类型岩石,正常沉积岩有砂质页岩、泥岩、铁质灰岩、长石石英砂岩、杂砂岩、砾砂岩等。马家河组与下伏鸡蛋坪组呈喷发不整合接触,接触面呈穹凹状。熔岩具杏仁状及枕状构造。斑状结构不及许山组发育。杏仁构造较发育,杏仁多呈复质,成层分带明显,常见有钾长石及石英等组成的不规则大杏仁体,有时可见杏仁内含少量金属硫化物。正常沉积碎屑岩及火山碎屑岩夹层较许山组明显增多。马家河组沉积岩中还发育有硅质岩(徐勇航等 2008,裴玉华等 2007,河南省地质矿产局 1989)。

关于熊耳群的形成时代,自 20 世纪 80 年代以来,许多学者做了很多工作。

乔秀夫等人(1985)研究认为熊耳群的形成年龄在 1.70~1.40Ga。胡受奚(1988)认为熊耳群的形成年龄为 1.78Ga。黄萱等人(1990)、陈衍景和富士谷(1992)研究认为熊耳群形成年龄为 1.65~1.71Ga。孙大中等人(1993)用 4 种测年方法得到 39 个年龄数据,认为熊耳群的结晶年龄为 1.83Ga。任富根等人(1996)认为熊耳群的上限年龄约为 1.75Ga。这些年龄均在 2000 年以前测试,变化范围在 1.44~1.83Ga,其主要差异在于熊耳群年龄的上限与下限,除去极值部分,平均年龄在 1.73Ga。

本书重点采用 2000 年以后所报道的测年数据,尤其是基于锆石 SHRIMP 和 LA-ICP-MS 的 U-Pb 测年数据。

熊耳群火山岩中的继承锆石所测年龄变化为 2.69~1.85Ga。1.85Ga 是熊耳群马家河组安山岩中继承锆石的形成年龄(He et al 2009),这表明熊耳群马家河组的成岩年龄应小于 1.85Ga。鸡蛋坪组和许山组流纹岩中继承锆石的年龄均为 1.91Ga(He et al 2009),这表明熊耳群最早的许山组火山岩形成年龄应小于 1.91Ga。前文宽坪群年龄分析表明 20 亿年左右是一重要成岩期,太华群年龄分析表明 23 亿年左右是一重要成岩期。因此,熊耳群继承锆石的形成年龄变化在 2.15~2.35Ga,与太华群成岩年龄相一致,而 2.53Ga 和 2.69Ga 的锆石年龄则与太华群的另一成岩期相一致,这暗示熊耳群源岩可能与太华群有关。

赵太平等人(2001)所测位于嵩县龙脖村熊耳群马家河组顶部流纹斑岩的锆石的年龄为 1.96Ga,这一年龄较所测辉石闪长岩年龄(1.76Ga)明显偏大,也较上述马家河组年龄下限 1.85Ga(He et al 2009)偏大。赵太平等人(2001)也指出熊耳群岩石混有结晶基底的老锆石,因此本书认为 1.96Ga 的单颗粒锆石同位素稀释法年龄偏大是由于混有继承锆石所致。

熊耳群火山岩的成岩年龄主要变化在 1.73~1.80Ga,平均值为 1.77Ga(He et al 2009, Zhao et al 2004, 赵太平等 2001, 任富根等 2000)。Zhao(2002)和 Peng(2008)等人在计算 Sm-Nd 模式年龄时分别采用 1.76Ga 和 1.78Ga,这与平均值 1.77Ga 相一致。

He 等人(2009)所报道的 1.45Ga 的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄与乔秀夫等人(1985)所测全岩 Rb-Sr 等时线年龄相一致,这可能代表熊耳群之后的热事件。任富根等人(2000)所报道的 1.64Ga 单颗粒锆石同位素稀释法年龄偏小,可能是由于存在后期变质锆石所致。

综上所述,熊耳群的形成年龄应在 1.73 ~ 1.80Ga,其平均成岩年龄为 1.77Ga,属于中元古代早期。

四、汝阳群

中条运动之后,华北板块已初具规模,构成了统一的华北古陆。进入元古代后,沿古大陆的南部边缘又发生了大规模的裂陷运动,形成了一个三叉裂谷系。之后三叉裂谷系便进入缓慢冷却和热收缩条件下的下沉阶段,由此形成相对稳定下降的沉积盆地,并接受了大量沉积,形成汝阳群(豫西)及官道口群(小秦岭)碎屑岩、碳酸盐岩沉积组合(雷振宇等 1996)。

在熊耳山矿集区内汝阳群主要出露在东北部,其南部与白垩系呈不整合接触,北部与新近系呈断层接触,东部与寒武系呈断层接触(图 1-2)。

区域上汝阳群呈角度不整合覆于熊耳群之上,中下部为碎屑岩,上部为碳酸盐岩。

关于汝阳群下界时代问题,前人经常将熊耳群与华北地台上的大洪峪组进行对比,将汝阳群与华北地台的高于庄组对比(王学仁等 1990,李钦仲等 1985)。但也有部分学者认为汝阳群为新元古界,依据在汝阳群和高山河组出现的大型具刺疑源类化石,其时代不老于新元古代(高林志等 2002,尹崇玉和高林志 1995,阎玉忠和朱士兴 1992,胡云绪和付嘉媛 1982)。

根据目前的研究,可初步确定汝阳群应相当于中元古界,其证据为:(1)从微古植物组合面貌看,汝阳群与蓟县系基本相似;其叠层石组合,主要见于蓟县系雾迷山组及铁岭组中(河南省地质矿产局 1989)。(2)从同位素年龄看,云梦山组只有一个年龄数据采自舞阳县夹于云梦山组下部的火山岩夹层(安山玢岩),Rb-Sr 等时线年龄为 (1283 ± 378) Ma。采自汝阳县洛峪沟北大尖组海绿石砂岩中的海绿石 K-Ar 法年龄为 1140 ~ 1256Ma,平均为 (1183 ± 73) Ma(杨式溥和周洪瑞 1995)。

综上所述,汝阳群的形成年龄应晚于熊耳群上限 1.73Ga,而汝阳群所测年龄集中在 1.14 ~ 1.28Ga,因此汝阳群形成时代应属中元古代。

五、官道口群

官道口群,是一套滨浅海相陆源碎屑-碳酸盐岩-火山岩建造或含叠层石碳酸盐岩沉积建造,不整合覆于熊耳群之上。前人的研究表明,官道口群蕴藏着该区重要的钼、钨、铅、锌、银等多金属矿产,是该区重要的赋矿层位(胡受奚等 1988)。银家沟硫铁铅锌多金属矿床、百炉沟 MVT 铅锌矿床和神洞沟 SEDEX 型铅锌矿床等赋存于官道口群地层内,具层控特征(王长明等 2007)。

熊耳山研究区官道口群主要分布在中西部马超营断裂北部和南部。在马超营断裂北部主要分布在旧县-潭头盆地西部,呈北西向狭长分布,与熊耳群呈不整合接触或断层接触。在马超营断裂南部主要呈北西向带状分布,与下覆熊耳群呈不整合接触,与上覆栾川群呈断层接触(图 1-2)。

官道口群是一套滨浅海相陆源碎屑-碳酸盐岩-火山岩建造或含叠层石碳酸盐岩沉积建造,普遍含燧石条带、条纹、团块及蜂窝状燧石层,以含火山物质及富镁、高硅、多碳为特征(王长明等 2007)。