# 金堆城超大型斑岩钼矿床地质特征及其找矿新发现

袁海潮1,王瑞廷2,3,李伍义4,丁坤3,秦婷婷4

(1. 西安西北有色物化探总队有限公司,陕西西安 710068;2. 西北有色地质勘查院,

陕西 西安 710054;3. 长安大学地球科学与资源学院,陕西 西安 710054;

4. 咸阳西北有色七一二总队有限公司,陕西 咸阳 712000)

摘 要:金堆城超大型钼矿床处于华北地台南缘豫西断隆区,与石家湾、大石沟、文公岭、秦岭沟等 钼矿床同处于老牛山岩体外接触带之金堆城-黄龙铺钼矿田内。矿床形成与区内多组构造及斑岩 体具有密切关系。矿体形态与岩体形态基本一致,只是随着远离岩体,矿体形态具分枝现象,矿石 品位有由富变贫的趋势。远离岩体 600m 后,围岩中基本不再含矿,但外围会出现一些铅(银)矿体 及金矿体,矿床具有典型的斑岩型钼矿成矿模式。对该矿床在纵向、横向上地质特征的研究,对老 牛山岩体外接触带其他钼矿床在深部找矿方面取得突破具有一定的指导意义。 关键词:金堆城;斑岩型钼矿床;找矿模式;老牛山岩体外围;找矿发现

中图分类号:P612 文献标志码:A 文章编号:1009-6248(2016)01-0172-13

## Geological Characteristics and New Prospecting Discovery of the Jinduicheng Superlarge Porphyry Molybdenum Deposit

YUAN Haichao<sup>1</sup>, WANG Ruiting<sup>2,3</sup>, LI Wuyi<sup>4</sup>, DING Kun<sup>3</sup>, QIN Tingting<sup>4</sup>

(1. Northwest Nonferrous Metals Party of Geophysical & Geochemical Exploration, Xi'an 710068, Shaanxi, China;
 2. Northwest Mining and Geological Exploration Bureau for Nonferrous Metals, Xi'an 710054, Shaanxi, China;
 3. School of Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 4. No. 712 Party of Northwest Geological Exploration and Mining Bureau for Nonferrous Metals, Xianyang 712000, Shaanxi, China)

**Abstract**: The Jinduicheng superlarge molybdenum deposit is located at western Henan fracture-uplift area of the southern margin of North China platform. Same as the Shijiawan, Dashigou, Wengongling and Qinlinggou deposits, the Jinduicheng deposit is situated in the outside contact zone of Jinduicheng-Huanglongpu molybdenum ore fields. The formation of this deposit has close relationship with multiple sets of structure and porphyry body. The forms of ore body are basically identical as the ones of rock mass, but the ore body has branch phenomenon and its ore grade will be change from rich to poor as far from the rock mass. When the ore body is far away from the rock mass 600 meters, no mineralization occurred in wall rock, but some lead (silver) ore and gold ore bodies can be found there. Therefore, this deposit has a classical porphyry molybdenum metallogenic model. The differences and changes about geological characteristics of this deposit on longitudinal and latitudinal gradients will provide an important guiding significance for deep prespecting of the other molybdenum bodies in the outside contact zone of Laoniushan rock mass.

**Keywords**: Jinduicheng; porphyry molybdenum deposit; prospecting model; outside of Laoniushan; new prospecting discovery

收稿日期: 2015-05-18;修回日期: 2015-10-08

基金项目:国土资源部公益性行业科研专项经费课题(201111007-3),"十二五"国家科技支撑计划项目课题(2011BAB04B05) 作者简介:袁海潮(1969-),男,西北有色物化探总队有限公司高级工程师。E-mail: yhchao712@126.com

金堆城超大型钼矿床位于东秦岭-大别山钼多 金属成矿带的西段,处于老牛山岩体外接触带金堆 城-黄龙铺钼矿田内,自1959年提交勘探报告以来, 在矿产开发的同时,众多的专家、学者对金堆城这一 世界著名钼矿床的地质特征(郑延力,1983;沈福农, 1985;黄典豪等,1987;李诺等,2007;刘小舟等, 2008;徐刚等,2012)、造岩矿物特征(聂凤军,1988; 卢欣祥等,2002)、矿石矿物特征(崔学奇等,1999;严 芳灵,2007)、地球化学特征(徐兆文等,1998;郭波 等,2009;杨永飞等,2009)、成矿地质背景(张正伟 等,2005;李永峰等,2005)、成矿年龄(杜安道等, 1994;黄典豪等,1994;STEIN et al.,1997;李永峰 等,2004;焦建刚等,2010)等方面进行了研究与探 讨,对区域地质综合找矿提供了一定的借鉴与指导, 但由于矿山勘查工作的停滞,对矿体在深部形态变 化及成分变化的研究相对较少。金堆城钼业集团公 司对矿床南部及深部相继进行了补充勘查,在深部 探矿方面取得了重大突破,对矿床地质特征也有了 一些新的认识。笔者试图结合近年来地质勘查成果 和找矿新发现,通过对金堆城钼矿床在空间形态上 的变化及矿石类型、矿床品位变化情况的分析,总结 成矿规律,为老牛山岩体外接触带等其他钼矿床 (点)的深部找矿提供一定的指导和借鉴。

### 1 区域构造背景

金堆城矿区所在的小秦岭地区位于华北克拉通 南缘与秦岭造山带相接地带,中生代以前为华北克拉 通的组成部分,具有典型的克拉通边缘特征。在中— 新生代经历了秦岭造山带陆内造山运动后,成为秦岭 造山带的北缘组成部分(张国伟等,2001)。金堆城钼 矿床大地构造位置处于华北地台(I)南缘豫西断隆区 (L)之金堆城-栾川凹陷区(L<sup>2</sup>)北部(L<sup>2-1</sup>),与黄龙 铺钼矿田中的石家湾、大石沟、秦岭沟、文公岭等钼矿 床处于同一大地构造环境。其北侧以崇凝镇-火龙关 -小河断裂(即朱家沟-朱阳镇断裂)为界与太华隆起 区(L<sup>1</sup>)相邻,南侧以铁炉子-三要-黑沟-栾川断裂为 界与秦岭褶皱系北秦岭加里东褶皱带相邻。内部以 洛源-石门-潘河-马超营大断裂为界可进一步分为北 部(L<sup>2-1</sup>)和南部 2 个分区(L<sup>2-2</sup>)(图 1)。



1. 断裂带;2. 推测断裂带(据地球物理解释资料);3. 地质界线;4. 花岗岩体;

Arth. 太古字太华群;Pt1. 下元古界铁铜沟组;Pt2. 中元古界长城系(熊耳群);Pt2-3. 中元古界蓟县系及上元古界青白口系、震旦 系;€. 寒武系;K. 白垩系;R. 第三系;Q. 第四系;I. 华北地台;I1<sup>1</sup>. 太华隆起;I1<sup>2</sup>. 金堆城凹陷;I1<sup>2-1</sup>. 金堆城凹陷区北部; I1<sup>2-2</sup>. 金堆城凹陷南部;II. 秦岭褶皱带;II<sup>1</sup>. 纸房-永丰褶皱束;II<sup>2</sup>. 太白-商县褶皱束;①. 崇凝镇-火龙关-小河-尖山断裂; ②. 洛源-石门-潘河-马超营大断裂;③. 上楼村-灵口街-庙子断裂;④. 铁炉子-三要-黑沟-栾川断裂;⑤. 商县-葫芦七-皇台断 裂;⑥. 蓝田张家坪-洛源断裂;⑦. 朱阳断裂

#### 图 1 小秦岭地区区域地质构造略图(据钱壮志等,2006年)

Fig. 1 Geological structure sketch map of Xiaoqinling area(After Qian zhuangzhi et al, 2006)

区域构造活动强烈,近东西向和北东向构造形迹 广泛分布。近东西向构造以断裂为主,褶皱次之,是 区域内的基础构造,区域地层、岩基,以及主成矿带的 展布方向均受近东西向构造的控制;北东向构造是新 华夏系的主要活动表现,在其成生过程中,迁就和利 用纬向构造体系的东西向断裂及其配套扭裂面为岩 浆侵入提供了空间(郑延力,1988)。小秦岭地区北侧 为太要-故县断裂带,呈近东西向波状展布,整体产状 向北陡倾。南侧为巡马道-小河断裂(即朱家沟断裂) 带,在走向上的变化自西而东大致为北东一近东西一 北东东,长大于 150km,断面倾向南或南东,倾角达 60°以上。上述2条断裂带早期表现为中深层次的韧 性剪切变形,中期为中上层次的韧脆性变形,晚期被 浅层次的脆性变形叠加而形成角砾岩带。

小秦岭地区岩浆岩广泛发育,岩浆侵入活动频 繁强烈,并伴有火山喷发作用,岩浆作用贯穿于本区 整个地质演化历史,从阜平期的 TTG 侵入杂岩、吕 梁期的张家坪岩体、晋宁期的小河花岗岩到燕山期 的华山花岗岩等均有出露,产状多为岩基、岩株、岩 脉(岩墙)等。总体上,区内岩浆岩以燕山期为主,岩 性多为黑云母花岗岩,且大都沿北东向断裂和东西 向深大断裂的交汇部位分布,显示出断裂构造对其 的控制作用。这是因为区内侏罗纪发生区域构造体 制转换,伸展体制下的构造运动表现为沿着秦岭造 山带北缘发生了大规模拆离滑脱、逆冲推覆以及块 断、平移构造运动,并伴有强烈的以酸性岩浆为主的 壳幔同熔成因的岩浆活动,导致花岗质岩浆的大面 积侵入,形成中深成壳源型花岗岩类的大岩基,以及 大量来源较深、高侵位的浅成一超浅成相小型花岗斑 岩和花岗闪长斑岩体。从早中元古代至燕山期均发 育岩浆活动,尤以燕山晚期为主。燕山期斑岩体的 侵入主要受东西向及北东向构造结点控制,老牛山 花岗岩基呈北东向展布,华山、文峪和娘娘山3个花 岗岩基沿太要断裂南侧断续分布,东西成带。

### 2 矿区地质概况

金堆城钼矿床位于豫西断隆区金堆城凹陷的西北 边缘地带,老牛山岩体外接触带之东南部,青岗坪在断 裂南东侧,与区域内石家湾钼矿床、大石沟钼矿床、桃 园钼矿、秦岭沟钼矿等处于同一地质构造背景(图 2)。

#### 2.1 地层

矿区出露地层为中元古界熊耳群及高山河组。

熊耳群在区内广泛分布,岩石主要为一套浅变质的 基性、中基性-中酸性火山岩系,厚度1129~ 4376m(尚瑞钧等,1989)。矿区出露主要为上亚群 安山岩、安山玢岩,夹凝灰质板岩,此外,有少量的玄 武岩,部分地段出露有中亚群的流纹岩,矿区熊耳群 出露厚度大于400m(刘小舟等,2008)。熊耳群上亚 群为区内钼矿的主要赋矿层位。

高山河组主要分布于矿区南部,呈角度不整合 于熊耳群之上,岩石主要由滨海-浅海相碎屑岩及镁 质碳酸盐岩组成,按岩石组合和层序大致可分为下、 中、上3个亚组。矿区主要出露下亚组的变质石英 砂岩,夹泥质(绢云母)板岩、粉砂岩及长石石英砂 岩,在其底部有厚约0.5~3m的底砾岩和不稳定的 赤铁矿层。矿区高山河组出露厚度310~700m,野 外可见部分钼矿体出露于该亚组内。

### 2.2 构造

矿区褶皱简单,草链岭-黄龙铺背斜从矿区北部 通过;断裂构造较为发育,主要有北东一北东东向和 北西一北西西向2组。

2.2.1 褶皱

草链岭-黄龙铺背斜出露于草链岭、金堆城、黄 龙铺一带,向西翘起,向东倾伏,倾伏角 30°~40°。 背斜核部由熊耳群组成,翼部和倾伏端则为高山河 组。北翼自西而东,倾向由北西转为北东(340°~ 46°),倾角由陡而缓(80°~47°);南翼倾向南东(126° ~162°),倾角较缓(31°~55°)。由于崇凝镇-火龙关 -小河断裂的影响和老牛山花岗岩的侵位,背斜的北 翼大部缺失,南翼较为完整。

2.2.2 断裂

区内断裂构造以北东向为主,北西向次之。北 东向断裂构造成束成带分布,具多期活动的特征,以 燕门凹断裂为代表。

燕门凹断裂由金堆城-黄龙铺钼矿田北部通 过,为区域性青岗坪-金堆城断裂的组成部分,具 有多期活动的特征。断裂带向南西延伸至青岗坪 一带,向北东延伸至太子坪一带,长度大于 30km, 走向 30°~45°,主体倾向南东,倾角 70°~80°。断 裂带宽几十至数百米,带内可见碎裂岩、断层角砾 岩、糜棱岩、构造片岩,其中在靠近上盘的构造片 岩中,可见不同方向展布的含矿石英细脉,成为可 利用的工业矿石。断裂带早期显压性,中期显张 性,晚期又显压性,并微显扭性,其主活动期在华力





西一印支期,表现为右行走滑-斜冲推覆构造。断裂 具明显的控岩控矿特点,除金堆城钼矿床外,区域内 已知的石家湾、大石沟、秦岭沟等钼矿床主要位于断 裂带的上盘。

北西向断裂规模相对较小,可见到数条,总体走向 330°~335°,倾向南西或北东,倾角 75°±。断裂

带内有碎裂岩、糜棱岩和角砾岩、断层泥等。沿断裂 带有辉绿岩和碳酸盐石英脉贯入。北西向断裂控制 着金堆城花岗斑岩的侵位。

### 2.3 岩浆岩

矿区燕山期岩浆活动强烈。主要有老牛山二长 花岗岩体、金堆城花岗斑岩体。

老牛山岩体(γ<sub>5</sub><sup>3</sup>)呈较大的岩基出露于矿区北 西一带,岩体长轴大致近东西向。岩石主要为粗粒 黑云母二长花岗岩,次为似斑状二长花岗岩、花岗闪 长岩。岩体边缘相为细粒至中粒花岗闪长岩(主要 分布于岩体的北缘)、中粗粒似斑状二云母花岗岩 (主要分布于岩体的南缘),各岩相之间为渐变过渡 关系,老牛山岩体在岩相划分及时代确定上都有一 定的争议(严阵等,1985,尚瑞钧等,1988),本次岩相 划分是根据笔者于 2007 年在本区地质填图时而确 定的,结合区域地球物理特征,认为老牛山岩体为一 复式岩体,是多期岩浆活动叠加的产物。岩体内见 后期石英脉、白云母岩脉及伟晶岩脉贯穿。岩石矿 物成分主要为石英(30%~40%)、斜长石(钠-更长 石,20%~25%)、钾长石(微斜长石及条纹长石, 20%~25%)、黑云母(5%~10%)。除黑云母含量 较为稳定外,其他各类成分在岩石中含量分布极为 不均,如石英含量一般为 30%~40%,局部仅为 20% 士;斜长石含量一般为 20%~25%,局部可达 35%,甚至75%;钾长石含量一般为20%~25%, 局部可达40%。岩石地球化学分析统计结果(表 1)显示,岩石中 SiO<sub>2</sub>含量大于 72%, Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O >8.3%, K<sub>2</sub>O>Na<sub>2</sub>O, 属高硅富碱的钙碱性系列 岩石,经U-Pb同位素年龄测定,老牛山岩体年龄 为(142.9±2.3)Ma(钱壮志等,2006)、(146.35± 0.55) Ma(朱赖民等,2008)、(143.7±3) Ma(焦建 刚等,2010),为侏罗纪末一白垩纪初形成。该岩 体的形成与小秦岭中生代的构造-岩浆作用有关。 同时,环岩体外接触带,分布有华县马峪钼矿化 点、西沟钼矿床、华阳川铀铌铅多金属矿床、文公 岭钼矿床、老爷岭钼矿点、大石沟钼矿床、秦岭沟 钼矿床、石家湾斑岩型钼矿床、下岔沟铅锌钼矿 点、二龙潭金矿点、金堆城斑岩型钼矿、麻地沟钨 矿点、八里坡钼矿点等多金属矿床(点),说明该岩 体与区域成矿有关。

		-		-		-	-	-			
岩体名称	岩石名称	分析结果									
		$SiO_2$	${\rm TiO}_2$	$\mathrm{Al}_2\mathrm{O}_3$	$Fe_2O_3$	FeO	$MnO_2$	CaO	MgO	$Na_2O$	$\rm K_2O$
	花岗岩 <sup>①</sup>	72.48	0.15	13.93	1.90	0.98		0.36	0.26	4.90	3.70
	花岗岩 <sup>①</sup>	69.82		15.83	2.10	1.26	0.21	0.53	0.17	4.22	5.02
	中粒花岗岩①	76.82	0.09	12.44	0.69	0.72	0.02	0.56	0.13	2.4	5.31
金堆城岩体	绢云母化 花岗斑岩 <sup>②</sup>	76.82	0.09	12.44	0.69	0.72	0.02	0.56	0.13	2.48	5.31
	花岗斑岩	69.50	0.74	7.61	_	_	0.18	3.37	2.29	1.09	2.01
	花岗斑岩	73.27	0.16	11.17	_	—	0.05	1.24	0.22	1.42	6.38
	花岗斑岩	70.08	0.24	12.08	—	_	0.07	1.41	0.38	2.13	5.39
	花岗斑岩	71.41	0.17	11.94	_	_	0.07	1.36	0.17	2.45	5.7
	二长花岗岩	72.08	0.14	14.75	2.01	_	0.09	1.59	0.31	3.99	4.39
老牛山岩体	二长花岗岩	73.61	0.13	14.4	1.82	_	0.09	0.76	0.26	3.76	4.67
	二长花岗岩	73.6	0.12	14.37	1.79	_	0.09	0.75	0.25	3.69	4.65

表 1 金堆城钼矿床花岗岩类主量元素特征表(%) Tab. 1 Major elements of granite in Jinduicheng molybdenum deposit(%)

注:①据郑延力,1983。②据沈福农,1985;老牛山岩体据焦建刚,2007;其他为本文数据。

金堆城斑岩体( $\gamma \pi_s^3$ )出露于矿区中部熊耳群 中,受控于北西向断裂构造,呈 330°方向延伸,岩体 在地表长约 400~600m,宽约 150m 左右,面积约 0.067 km<sup>2</sup>;岩体深部长约2 000m,宽约 400m,面积 约 0.35 km<sup>2</sup>。岩体垂深最厚处近 450m,薄处仅 30m 左右,形状为呈向北西侧伏、向南东翘起、向北 东陡倾的"岩舌"状(图 3)。该岩体主要由二长花岗 斑岩组成,向深部在北西端燕门凹断裂接触处,岩体 核部变为黑云母二长花岗岩;岩体普遍蚀变,蚀变类 型主要有绢云母化、云英岩化、硅化、钾长石化、方解 石化等,在北西端靠近断裂一带,泥化较为发育;花 岗斑岩呈肉红色,中粒斑状结构,矿物成分主要为石 英(25%~40%)、微斜条纹长石和微斜长石(27%~ 40%)、更钠长石(An 8-14,14%~32%),以及少量 黑云母、绢云母和白云母等;斑晶为石英、正长石、斜 长石,斑晶大小一般为 3~5mm,最大达 15mm,基 质为正长石、石英、斜长石等,粒径一般为 0.0n~ 0.1mm,副矿物组合主要为磁铁矿-磷灰石-锆石类 型。岩石地球化学统计结果表明(表 1),岩石中 SiO<sub>2</sub>含量为 68.59%~78.34%,平均>72%,Na<sub>2</sub>O +K<sub>2</sub>O>7.8%,K<sub>2</sub>O>Na<sub>2</sub>O,属高硅富碱的钙碱性 系列岩石。该岩体为全岩含矿,是金堆城钼矿床的 成矿母岩。经单颗粒锆石 U-Pb 法年龄测定,金堆 城斑岩体年龄为(146.8±2.5)Ma(钱壮志,2006)、 (140.95±0.45)Ma(朱赖民等,2008)、(144.5± 4.4)Ma(焦建刚等,2010),与老牛山岩体形成时代 基本一致。已有研究证明,二者具相同的成因和成 岩物质来源(朱赖民等,2008;焦建刚等,2010),岩浆 源区主要是下地壳,可能有少量地幔物质的加入,其 中金堆城含矿斑岩可能是老牛山黑云母二长花岗岩 基的分枝或岩浆分异晚期的产物(聂凤军等,1989; 黄曲豪等,1989)。



图 3 金堆城斑岩型钼矿床纵勘探线剖面图

Fig. 3 Geological profile of lengthways exploration line of Jinduicheng porphyry type molybdenum deposit

### 3 矿床地质特征

金堆城钼矿床主要位于燕门凹断裂南东侧,与 小秦岭地区中生带的构造-岩浆作用有密切关系。 在空间展布上与黄龙铺钼矿田中的石家湾钼矿床、 大石沟钼矿床等矿床相似,均沿北东向青岗坪大断 裂展布,而就单一矿床而言,又与北西向构造有关。 该特征与河南境内的南泥湖钼矿床、三道庄钼矿床 的空间展布特征也有一定的相似性。

矿体以金堆城斑岩体为主体,并向外围辐射于 熊耳群中,少量延伸至高山河中,矿体形态与金堆城 花岗斑岩体形态基本相似,呈巨大的"舌状"沿 325° ~145°方向延伸。矿体在北西端最为厚大,向南东 逐渐变薄(图 3)。同时在平面上,中心部最为厚大, 向边部变薄。沿倾向在南西、北东两侧出现分枝现 象(图 4),沿走向在南东侧高山河组中也出现分枝 现象。矿体以金堆城含矿斑岩体为核心向四周延伸 至围岩内,已控制长度大于 2 000m,宽 580~850m, 赋矿标高主要为 350~1 300m(金堆城独立坐标系 统,下同),在岩体四周及深部矿体变成脉状矿体。

矿体主要由花岗斑岩、安山(玢)岩,以及板岩、 石英砂岩夹石英细脉组成,矿化强度与纵横交错的 细网脉发育密集程度有关,细脉厚度一般为2~ 5mm。表现为在花岗斑岩内部及外接触带附近,矿 脉密度较大(可达70%),矿石中 Mo品位较高;向





Fig. 4 Geological profile of crosswise exploration line of Jinduicheng porphyry type molybdenum deposit

外围安山(玢)岩中矿脉密度逐渐变稀, Mo 品位逐 渐变贫; 至石英砂岩中矿体逐步变为条带状、脉状, Mo 品位相对变低, 但伴生的 Pb 品位有所增高。向 岩体深部至黑云母二长花岗岩中, 矿石品位也有变 贫的趋势。总体表现为矿体中部富, 向外围及深部 渐次降低, 而过渡为围岩, 一般在远离岩体 600m 后, 围岩基本不再含矿。矿体与围岩无明显界线, 二 者呈渐变状态。

根据矿物组合,金堆城矿床中的细脉大体可分为: 黄铁矿-石英细脉、黄铁矿-钾长石-石英细脉、黄铁矿-辉钼矿-石英细脉、黄铁矿-辉钼矿-钾长石-石英细脉、 白云母-萤石-黄铁矿-辉钼矿-石英细脉等。各种网脉 在斑岩体及其围岩中相互交切,而远离岩体后,则逐渐 呈沿安山(玢)岩节理或石英砂岩层理、节理平行分布 的单脉产出,反映了成矿过程的长期性和多期性,也反 映了成矿可能与斑岩热液系统演化有密切关系。

矿石类型主要有花岗斑岩型(占矿床资源量的 20%)、安山(玢)岩型(约占75%),板岩-石英岩型 (约占5%)。

矿石结构主要为角岩结构与斑状结构,矿石构 造主要为网脉状、脉状、浸染状构造。

矿石矿物主要为黄铁矿、辉钼矿,其次为磁铁 矿、黄铜矿,少量为辉铋矿、方铅矿、闪锌矿、锡石;脉 石矿物主要有石英、微斜长石、微斜条纹长石、斜长 石,其次为萤石、白云母、黑云母、绢云母、绿柱石、铁 锂云母、方解石等;表生矿物为褐铁矿、针铁矿、黄钾 铁矾、高岭土和孔雀石等。伴生有益元素有 Cu、S、 Re等,含量稳定均匀。

矿化与蚀变发育于斑岩体及其外接触带广大范

围,岩体内蚀变常见钾长石化、绢英岩化、硅化及泥 化等,围岩可划分黑云母化带、角岩化带,再向外形 成青磐岩化带,具斑岩型钼矿常见的钾化-硅化-黑 云母化-青磐岩化的蚀变分带特征。

基于矿物物质成分、结构、构造和围岩蚀变,该 矿床的形成可分为气成-热液期、热液期和表生期, 其中以热液期的石英-硫化物阶段为钼矿化作用的 是主要阶段(表 2)。

### 4 矿床地球化学

金堆城钼矿床成矿年代比较一致的为(139±2) Ma(杜安道, 1995, 辉钼矿 Re - Os 法), (138.4± 0.5)Ma(STEIN et al, 1997, 辉钼矿 Re - Os 法), (139±2)Ma(焦建刚,2007,辉钼矿 Re-Os 法),与 金堆城斑岩体成岩年龄基本一致或略有滞后。矿床 形成的均一温度为 240~450℃,主成矿阶段均一温 度为 300~400℃,属于中-高温热液矿床。黄铁矿 的  $\delta^{34}$ S 值为 + 3.7% ~ + 5.6%, 辉钼矿  $\delta^{34}$ S 平均值  $\mathbf{b}$  为 + 4.1‰,  $\delta^{34}$  S 平均值为 + 4.8‰ (黄典豪等, 1987),显示 S 为深部岩浆来源。金堆城花岗斑岩中 钾长石的 Pb 同位素比值为  $Pb^{206}/Pb^{204} = 17.536$ , Pb<sup>207</sup>/Pb<sup>204</sup>=15.438,Pb<sup>208</sup>/Pb<sup>204</sup>=37.68,方铅矿的 Pb 同位素比值为 Pb<sup>206</sup>/Pb<sup>204</sup> = 17.284, Pb<sup>207</sup>/Pb<sup>204</sup> =15.417, Pb<sup>208</sup>/Pb<sup>204</sup>=37.724, 二者比值相近,指 示了成矿物质与岩浆的同源性(黄典豪等,1987)。 H、O 同 位 素 研 究 结 果 表 明,  $\delta^{18}$  O = 8.59‰ ~ 11.83‰,均值为9.54‰,从成矿前一成矿期一成矿 后, δ<sup>18</sup>O<sub>\*</sub> - δD 值有逐渐降低的趋势, 说明从成矿前 至成矿后,雨水的混入量不断增加,成矿流体早期主 要来自岩浆热液,晚期伴有大量雨水(徐兆文等, 1998)。热液中结晶的方解石  $\delta^{13}$  C<sub>2</sub> = -4.5‰~ -6%,表明C的来源主要为岩浆源。

综上所述,金堆城钼矿床成矿年代属燕山期,矿 床形成与小型斑岩体的分布有直接关系,属中-高温 斑岩型钼矿床。矿体在岩体内部及外接触带附近, 含矿细网脉交错密集分布,矿石品位较高;远离岩体 后,含矿脉体以细脉状分布于围岩中,钼矿体呈脉状 分布,同时伴生的 Pb 品位有所增高;再向外围延 伸,则于周边的下岔沟、桃园、二龙潭、百花岭一带, 发现脉型的铅(银)矿体、金(银)矿体等(图 5),具典 型的斑岩型钼矿床成矿模式(图 6)。

矿化期	气成-执液		表生期		
び化 (1) がでわりた (1) がです (1) がっかい (1) が	期	石英-钾长石	石英-硫化物	碳酸盐	氧化作用
徽斜长石					
徽斜条纹长石					
斜长石	_				
石英				-	
黑云母	-	-	-		
绢云母	-	-			
绿泥石					
绿帘石			_		
方解石					
萤石	-				
磁铁矿					
黄铁矿	-				
黄铜矿			-		
辉钼矿	-				
方铅矿			-	-	
闪锌矿			-	-	
褐铁矿					
针铁矿					
黄钾铁矾					
铁镇华					
孔雀石	12 22				
高岭土					

表 2 金堆城钼矿床矿物成生顺序表 Mineral-forming sequence in the Jinduicheng molybdenum deposit

注: 据黄典豪等, 1987 修改。

Tab. 2

### 5 控矿条件分析

金堆城钼矿床位于东秦岭-大别山钼多金属成 矿带西缘,地处华北地台南缘豫西断隆与金堆城凹 陷区接合部位,具有复杂的地壳组成与结构。加里 东期板块俯冲、晚华力西一印支期碰撞造山、中新生 代陆内俯冲等多期次、多旋回、多体制造山过程为成 矿奠定了重要基础。

大量研究资料证明,金堆城钼矿床及其周边已 发现的众多钼矿床成矿作用主要与燕山期中酸性岩 浆活动(小岩体特别是斑岩体)、断裂构造(东西向深 大断裂、北东向断裂及其与东西向断裂交切部位)有 关,而与地层时代没有直接联系,只是由于围岩性质 及控矿因素的不同,从而形成不同类型的矿床,具典 型的斑岩型钼矿的成矿模式。

### 5.1 地层与成矿的关系

小秦岭地区钼矿床的赋矿地层具有多时代的特征,从最老的新太古宇一古元古界的太华群,经中元 古界下部的熊耳群和宽坪群,到中元古界官道口群 的高山河组均有钼矿体的分布。分析表明,小秦岭 地区上地幔岩石元素含量中 Mo、Pb 明显高于世界 地幔岩石元素的平均含量,Zn 为富集元素,但 Cu 为 明显亏损元素(表 3)。反映了区域地壳深部和上地 幔长期富 Mo 和贫 Cu 的特征。从而在区域成矿专 属性方面决定了本区钼、铅、锌可以形成优势矿种。

#### 5.2 围岩与成矿的关系

目前,已知小秦岭地区钼矿床成矿母岩侵入的 岩石十分广泛,从中高级变质岩到弱变质岩,从火山 岩至沉积岩,说明成矿不受围岩影响,但由于围岩性 质的不同,造成不同岩石中钼成矿率并不同。

据统计,认为小秦岭地区形成钼矿床的围岩岩性 以火山岩系列、大理岩及片岩系列几种为最佳,主要 是因为这类岩石脆性大,易形成有利的容矿空间,更 重要的是岩石中含有较多的 Fe、K,前者和矿液中的 S产生作用形成大量黄铁矿沉淀,相对提高了矿液中 Mo 的浓度,后者则对 Mo 有很强的淬取能力,组成 K[MoO<sub>4</sub>]络合物离子团,迁移至有利部位形成 Mo<sub>2</sub>S 沉淀。硅质岩中变质石英砂岩与板岩互层地段有利 于富集成矿,由于不同物理性质岩石之间容易形成赋 矿空间。由此分析,也可解释金堆城钼矿床 70%的 资源储量在熊耳群中的原因。



6. 桃园钼矿床;7. 桃园金矿床;8. 下岔子铅矿点;9. 百花岭金矿点

图 5 金堆城斑岩型钼矿床及其周边矿点分布示意图

Fig. 5 Diagram of the Jinduicheng molybdenum deposit and its surrouding ore occurrences

#### 5.3 构造与成矿的关系

小秦岭地区在晋宁期一印支晚期,多期次的地 壳活动形成小秦岭地区规模巨大的近东西向构造 带;燕山期以来,区内北北东向的构造运动占主导地 位,从而形成一系列的北东向压扭性构造及构造形 迹较弱的北西向张性构造,并使早期的近东西向构 造在与其交汇部位再次活化,从而形成众多纵横交 织的"行列式"构造。在近东西向与北东向构造结点 位置,大量富含 Mo、Au、Ag、Pb 等成矿元素的深源 物质往往上升、侵位,形成小斑岩体和多金属矿床的 赋存场所。

通过分析比较,对本区钼、铅、锌等多金属矿起 控制作用的主要为北西向、北东向2组构造。其中 北西向构造是主要的导岩、导矿构造,而北东向构造 对脉型钼矿床来说则是主要的控矿构造。

### 5.4 岩浆活动与成矿的关系

小秦岭地区燕山期岩浆活动按其产状及地质地 球化学特征,可分为2种不同的类型:浅源深成型



#### 图 6 斑岩型钼矿床成矿模式图(据毛景文等,2009)

Fig. 6 The metallogenic model of porphyry molybdenum deposit

Tab. 3 Elemental abundance of crust and upper mantle Xiaoqinling $(10^{-9})$											
单元	结构层	Cu	Pb	Zn	Mo	W	Au	Ag	As	Sb	F
SNC	UC	29	23	78	0.77	2.62	0.69	0.064	1.41	0.20	575
	MG	34	15	77	0.82	0.33	0.80	0.049	1.07	0.20	578
	LC	38	16	81	0.90	0.33	0.85	0.049	0.92	0.14	634
	UM	21	7	79	0.74	0.30	2.69				
NQ	UC	41	44	77	0.61	1.07	2.66	0.049	3.25	0.29	615
	MLC	34	16	71	0.56	0.96	0.69	0.049	5.19	0.31	429
SQ	UC	34	21	75	0.73	0.56	0.82	0.054	6.25	0.38	508
	MC	34	16	71	0.56	0.96	0.68	0.049	5.19	0.31	429
	LC	42	16	79	0.52	0.51	2.21	0.042	2.18	0.08	570
NYC	UC	35	17	70	0.88	0.70	1.40	0.051	3.56	0.27	542
	MC	34	14	61	0.55	0.69	0.47	0.039	3.77	38	401
	LC	42	16	79	0.52	0.51	2.21	0.042	2.18	0.08	570
	UM	60	25	66	0.65	0.06	0.72				
大陆	UC	14.3	17	52	1.4	1.4	2.5	0.055	2.0	0.31	611
	LC	37.4	12.5	79	0.6	0.6	2.5	0.080	1.3	0.30	429
全球	UM	40	2.1	60	0.6	0.3	0.5	0.06	0.9	0.10	170

表 3 小秦岭地区区域地壳与上地幔部分元素丰度表(10-\*)

注:据李永峰等,2005;SNC. 华北板。

(重熔型)花岗岩及深源浅成型(同熔型)花岗岩(卢 欣祥等,2002)。前者主要以大岩基的形式出现,主 要受东西向与北东向2组构造交汇方向的控制,后 者主要受次级构造的控制,以中酸性小斑岩体形式 出现,它们常常分布在大岩基附近3~10km内向外 突出的前缘,或呈港湾状弯曲的内侧,也有学者认 为,有些岩基与小岩体也具有同源性质(朱赖民等, 2008;焦建刚等,2010),即均为深源浅成型。 经研究表明对矿化有利的岩体多为深源浅成-超 浅成小岩体。岩体多具斑状结构,且以富含石英、钾 长石为特点。岩体一般均有明显的热液蚀变,普遍具 有硅化、钾化、黄铁矿化,蚀变具有多期性,分带明显。

就岩体类型而岩,与斑岩钼矿有关的主要为钾 长花岗斑岩、二长花岗斑岩,次为花岗闪长斑岩、石 英二长岩等。因此,金堆城斑岩体为金堆城钼矿床 的形成起到了至为重要的作用。

### 6 找矿新发现

金堆城钼矿床地质勘查工作始于 20 世纪 50 年 代,通过前人工作,对矿体形态、矿石类型、赋矿规 律、矿床规模有了一定的认识。近年来,随着对矿山 深部的地质勘查,对以上认识又进行了一定的补充 和完善,主要体现在以下几个方面。

(1)对斑岩型钼矿的赋矿位置有了新的认识。 有学者认为,"斑岩型钼矿床的矿化带位于母岩顶 部"(简伟等,2010),在以往的地质勘查中,如石家湾 钼矿床、汝阳东沟钼矿床,矿体也主要赋存于母岩顶 部或岩体外接触带,但在金堆城钼矿床中,于岩体下 盘的外接触带围岩和岩体核部的黑云母二长花岗岩 中,也均发现有矿体的存在,只是由于燕门凹断裂的 影响,对其深部岩基部分的矿化情况无法进行判断。

(2)对矿体空间分布有了系统控制。前人地质 工作中,认为矿体长度达 2 200m,矿体上部水平宽 一般为 600~700m,对矿体控制标高为 1 300~ 840m,认为主矿体一般在标高 620m 以上。通过近 年勘探,已达到了对矿体"圈边探底"的控制程度,现 已控制矿体长度 2 200m,其向南东方向还有脉状延 伸,矿体宽度大于 700m,但向周边已基本呈脉状分 布,并有逐渐尖灭的趋势,矿体控制标高由原来的 840m 延深到 200 余米,主矿体的赋存标高由原来推 测的 620m 延深控制到 450m 左右,整个矿体的控制 深度达 1 000 余米。

(3)对矿体的空间形态有了新的认识。前人认 为,从"整个矿体来看,沿延展方向矿体的垂直厚度 及水平厚度均无收缩膨胀的现象,矿体的形状、产状 是稳定的"<sup>①</sup>;通过近年勘探,认为在矿体内部,随着 远离含矿斑岩体,矿体中夹石逐渐增多,随后慢慢出 现有分枝现象,从"岩舌"的根部到尖部、从矿体的核 部向外围,矿体均有由厚变薄的趋势,即矿体形态由 斑岩体向四周围岩方向,在三维空间内均发生变化。

(4)对岩体形态及其内部的矿化强度有了新的 认识。前人笼统地认为金堆城斑岩体形似"钟状"或 一斜切的"土豆状",岩体为全岩含矿;本次发现,在 金堆城斑岩体与燕门凹断裂交汇处,岩体厚度最大, 向南东方向,岩体逐渐变薄,形似一"岩舌",而在"岩 舌"的根部,于岩体内存在黑云母二长花岗岩,在该 处,岩体中 Mo 品位有变弱的趋势。

(5)对岩体外部围岩中矿化强度有了新的认识。 前人认为"一般近花岗斑岩处矿化强,远离花岗斑岩 部分矿化弱,往往远离花岗斑岩 100~300m 矿体则呈 零星出露;在花岗斑岩顶部及其邻近围岩矿化强,而 花岗斑岩下部及其邻近围岩矿化弱"<sup>①</sup>;本次勘查发 现,在岩体下盘围岩中,近 600m 的范围内均有矿体 出露,只有随着远离岩体,矿化有变弱的趋势。

(6)对矿石类型及在矿床中所占比例有了新的 认识。前人大多认为矿石类型主要由安山(玢)岩 型、花岗斑岩型,其次为板岩-石英岩型,其中安山 (玢)岩型为主要矿石类型,占矿床资源量的70%左 右(黄典豪等,1987)。但也有部分学者认为主要矿 石类型应为花岗斑岩型。通过本次工作,对安山 (玢)岩型为矿床的主要矿石类型这一观点进行了再 次确认,同时认为,由板岩-石英岩型、安山(玢)岩 型、花岗斑岩型,再到黑云母二长花岗岩型,矿石品 位有由低到高,再由高到低的变化趋势。

(7)对矿床规模有了新的评价。在 1959 年金堆 城地质队在地质勘查探中,共提交 B+C 级钼资源 量约 97 万 t。通过近年来勘查,估计全矿床钼资源 量约为 140 万 t,从而扩大了矿床规模,为矿山的长 远规划及建设提供了有力的地质依据。

### 7 结论

(1)金堆城超大型钼矿床是以金堆城斑岩体为 核部,向上下左右辐射延伸的典型的斑岩型钼矿床, 其斑岩体为全岩含矿,向外围品位逐渐变低,至岩体 600m 以外,围岩中几乎不再含矿,向岩体核部至黑 云母花岗岩中,矿石品位也有变低的趋势;在岩体及 其外接触附近,矿体表现为块状,再向外延伸,矿体 逐渐变为网脉状、脉状。

(2)围绕老牛山岩体已分布大量的矿床(点),众 多矿床(点)的形成与老牛山岩体均有一定关系,即 使金堆城钼矿床,也可能是在燕山期由于区域热事 件,使下地壳及幔源物质在上升、演化、分异过程中, 使含矿岩浆聚集形成的,而同期的大部分岩浆形成 不含矿的老牛山岩体。因此,在今后找矿中,还应注 重老牛山岩体周边的小侵入体。

(3)大石沟、王河等矿床,原来认为是脉型钼矿

床,但在其开采过程中,于矿床深部已发现岩浆热液 脉或小斑岩体的存在,说明其矿床特征也符合斑岩 型钼矿床的成矿模式。因此,在华县西沟、文公岭、 秦岭沟等目前控制较浅的脉型钼矿床的深部找矿工 作中,也要参照斑岩型钼矿床的成矿模式,在其深部 探索、寻找斑岩型钼矿床,从而取得找矿突破。在该 区今后的地质勘查工作中应不断认识总结完善成矿 规律,在实践中发展提高。

# 参考文献(References):

- 崔学奇,吕宪俊,周国华.金堆城钼矿石的物质组成及钼、 铜、铅的赋存状态研究[J].矿物岩石地球化学通报, 1999,18(4):370-373.
- CUI Xueqi, LÜ Xianjun, ZHOU Guohua. Study on the components and the occurrence of molybdenum copper and lead of Jinduicheng molybdenum ore[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 1999, 18 (4):370-373.
- 杜安道,何红蓼,殷宁万,等.辉钼矿的铼-锇同位素地质年 龄测定方法研究[J].地质学报,1994,68(4):339-347.
- DU Andao, HE Hongliao, YIN Ningwan, et al. A study on the Re – Os geochronometry of molybdenites[J]. Acta Geologica Sinica, 1994, 68(4): 339-347.
- 黄典豪,聂凤军,王义昌,等.陕西金堆城-黄龙铺地区含钼 花岗岩类特征、成岩机制及其与钼矿床关系[J].中国 地质科学院矿产研究所所刊,1985,4:95-126.
- HUANG Dianhao, NIE Fengjun, WANG Yichang, et al. Petrological characteristics and petrogenesis of the granitoids in the Jinduicheng-Huanglongpu area and their relation to molybdenum deposits[J]. Bulletin of the Institute of Mineral Deposits Chinese Academy of Geological Sciences, 1985, 4: 95-126.
- 黄典豪,吴澄宇,聂凤军.陕西金堆城斑岩钼矿床地质特征 及成因探讨.矿床地质,1987,6(3):22-34.
- HUANG Dianhao, WU Chengyu, NIE Fengjun, et al. Geological features and origin of the Jinduicheng porphyry molybdenum deposit, Shaanxi province[J]. Mineral Deposits, 1987, 6(3): 22-34.
- 黄典豪,吴澄宇,杜安道,等. 东秦岭地区钼矿床的铼-俄同 位素年龄及其意义[J]. 矿床地质,1994,13(3): 221-229.
- HUANG Dianhao, WU Chengyu, DU Andao, et al. Re Os isotope ages of molybdenum deposits in east Qinling area[J]. Mineral Deposits, 1994, 13(3): 221-230.
- 郭波,朱赖民,李犇,等.东秦岭金堆城大型斑岩钼矿床同位 素及元素地球化学研究[J].矿床地质,2009,28(3):

265-281.

- GUO Bo, ZHU Laimin, LI Ben, et al. Isotopic and element geochemical study of Jinduicheng superlarge porphyry Mo deposit in east Qinling area[J]. Mineral Deposits, 2009, 28(3): 265-281.
- 简伟,柳维,石黎红,等. 斑岩型钼矿床研究进展[J]. 矿床 地质,2010,29(2):308-316.
- JIAN Wei, LIU Wei, SHI Lihong, et al. Advances in study of porphyry molybdenum deposits[J]. Mineral Deposits, 2010, 29(2): 308-316.
- 焦建刚,汤中立,钱壮志,等.东秦岭金堆城花岗斑岩体的锆石 U-Pb 年龄、物质来源及成矿机制[J].地球科学(中国地质大学学报),2010,36(6):1011-1022.
- JIANG Jiangang, TANG Zhongli, QIAN Zhuangzhi, et al. Metallogenic mechanism, magma source and zircon U – Pb age of Jinduicheng granitic porphyry, East Qinling [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 2010, 36(6); 1011-1022.
- 李洪英,毛景文,王晓霞,等.陕西金堆城钼矿区花岗岩 Sr、 Nd、Pb 同位素特征及其地质意义[J].中国地质,2011, 36(6):1536-1550.
- LI Hongying, MAO Jingwen, WANG Xiaoxia, et al. Sr, Nd, Pb isotopic characteristics of granite in Jinduicheng area and their geological significance[J]. Geology in China, 2011, 38(6): 1536-1550.
- 李诺,陈衍景,张辉,等. 东秦岭斑岩钼矿带的地质特征和成 矿构造背景[J]. 地学前缘,2007,14(5):186-198.
- LI Nuo, CHEN Yanjing, ZHANG Hui, et al. Molybdenum deposits in East Qinling[J]. Earth Science Frontiers, 2007, 14(5): 186-198.
- 李永峰,王春秋,白凤军,等.东秦岭钼矿 Re-Os 同位素年 龄及其成矿动力学背景[J]. 矿产与地质,2004,18 (06):571-578.
- LI Yongfeng, WANG Chanqiu, BAI Fengjun, et al. Re Os Isotopic Ages of Mo Deposits in East Qinling and Their Geodynamic Settings[J]. Mineral Resources and Geology,2004,18(6): 571-578.
- 李永峰,毛景文,胡华斌,等. 东秦岭钼矿床类型特征成矿时 代及其地球动力学背景[J]. 矿床地质,2005,24(3): 292-305.
- LI Yongfeng, MAO Jingwen, HU Huabin, et al. Geology, distribution, types and tectonic settings of Mesozoic molybdenum deposits in east Qinling area[J]. Mineral Deposits, 2005, 24(3): 26-31.
- 刘小舟,王轩,张江,等. 陕西金堆城斑岩型钼矿床地质地球 化学特征[J]. 西北地质,2008,41(3):71-78.
- LIU Xiaozhou, WANG Xuan, ZHANG Jiang, et al. The geological and geochemical characteristics of the Jinduicheng Mo deposit, Shaanxi[J]. Northwestern Geolo-

gy, 2008, 41(3): 71-78.

- 卢欣详,于在平,冯有利,等.东秦岭深源浅成型花岗岩的成 矿作用及地质构造背景[J].矿床地质,2002,21(2): 168-178.
- LU Xinxiang, YU Zaiping, FENG Youli, et al., Mineralization and tectonic setting of deep-hypabyssal granites in east Qinling mountain[J]. Mineral Deposits, 2002, 21 (2): 168-178.
- 毛景文,叶会寿,王瑞廷,等.东秦岭中生代钼铅锌银多金属 矿床模型及其找矿评价[J].地质通报,2009,28(1): 72-79.
- MAO Jingwen, YE Huishou, WANG Ruiting, et al. Mineral deposit model of Mesozoic porphyry Mo and vein-type Pb Zn Ag ore deposits in the eastern Qinling, central China and its implication for prospecting[J]. Geological Bulletin of China, 2009, 28(1): 72-79.
- 聂凤军.陕西金堆城花岗岩类主要造岩矿物特征及其岩石 学意义[J].岩石矿物学杂志,1988,7(4):337-346.
- NIE Fengjun. Main rock-forming minerals of Jinduicheng granitoids in Shaanxi province: their characteristics and petrological significance[J]. Acta Petrologica et Mineralogical, 1988, 7(4): 337-346.
- 钱壮志,袁海潮,焦建刚,等.小秦岭钼(银)矿床成矿条件与 找矿方向研究[D].西北有色地质勘查局,2006.
- QIAN Zhuangzhi, YUAN Haichao, JIAO Jiangang, et al. The study about metallogenic conditions and prospecting direction of Mo(Ag) deposits of Xiaoqinling area[D]. North-west Mining and Geological Exploration Bureau for Nonferrous Metals, 2006.
- 尚瑞钧,张二朋.陕西省区域地质志[M].北京:地质出版 社,1989.
- SHANG Ruijun, ZHANG Erpeng. The regional geology of shaanxi province[M]. Beijing: Geological Press, 1989.
- 沈福农.金堆城钼矿的成因──兼论深源热液成矿机制
  [J].地质与勘探,1985,21(6):8-15.
- SHEN Funong. The cause of Jinduicheng molybdenum and theory of deep source hydrothermal ore-forming mechanism[J]. Geology and Exploration, 1985, 21(6): 8-15.
- 王瑞廷,袁海潮,孟德明,等.小秦岭地区金钼多金属矿成矿 特征与找矿预测[J].地球科学与环境学报,2014,36 (1):19-31.
- WANG Ruiting, YUAN Haichao, MENG Deming, et al. Metallogenic characteristics and exploration orediction of Au - Mo polymetallic deposits in Xiaoqinling area[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2014, 36 (1):19-31.
- 徐刚,汤中立,焦建刚,等.金堆城与沙坪沟小岩体型斑岩钼 矿床对比研究[J].西北地质,2012,45(4):357-369.
- XU Gang, TANG Zhongli, JIAO Jiangang, et al. The comparative study on small intrusion type molybdenum de-

posits of Shapinggou and Jinduicheng[J]. Northwestern Geology, 2012, 45(4):357-369.

- 徐兆文,杨荣能,陆现彩,等.金堆城斑岩钼矿床地质地球化 学特征及成因[J].地质找矿论丛,1998,13(4):18-27.
- XU Zhaowen, YANG Rongneng, LU Xiancai, et al. Geological geochemical characteristics and genesis of the Jinduicheng porphyry molybdenum deposit[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 1998, 13(4): 18-27.
- 严芳灵.金堆城钼矿床中铅的分布规律及赋存特征研究 [J].有色金属(矿产部分),2007,59(2):17-20.
- YAN Fanfling. Study on disciplinarian and peculiarity of lead distributed in Jinduicheng molybdenum ores[J]. Nonferrous metals (Ming section), 2007, 59 (2): 17-20.
- 杨永飞,李诺,倪智勇.陕西省华县金堆城斑岩型钼矿床流 体包裹体研究[J].岩石学报,2009,25(11):2983-2993.
- YANG Yongfei, LI Nuo, NI Zhiyong. Fluid inclusion study of the Jinduicheng porphyry Mo deposit, Hua county, Shaanxi province[J]. Acta petrologica Sinica, 2009, 25 (11):2983-2993.
- 张国伟,张本仁,袁学诚,等.秦岭造山带与大陆动力学 [M].北京:科学出版社,2001:117-420.
- ZHANG Guowei, ZHANG Benren, YUAN Xuecheng, et al. Qinling orogenic belt and ontinental dynamics[M]. Beijing: Science Press, 2001:117-420.
- 张正伟,朱炳泉,常向阳,等.东秦岭钼矿带成岩成矿背景及时空统一性[J].高校地质学报,2001,7(3):307-315.
- ZHANG Zhengwei, ZHU Bingquan, CHANG Xiangyang, et al. Petrogenetic-metallogenetic background and timespace relationship of the east Qinling molybdenum ore belt, China [J]. Geological Journal of China Universities, 2001, 7(3): 307-315.
- 郑延力.陕西金堆城钼矿床地质特征[J].陕西地质,1988, 1(1):27-37.
- ZHENG Yanli. Geological charactristics of Jinduicheng molybdenum deposit Shaanxi province[J]. Shaanxi Geology, 1988, 1(1): 27-37.
- 朱赖民,张国伟,郭波,等. 东秦岭金堆城大型斑岩钼矿床 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及成矿动力学背景 [J]. 地质学报,2008,82(2):204-220.
- ZHU Laimin, ZHANG Guowei, GUO Bo, et al. U Pb (LA - ICP - MS) zircon dating for the large Jinduicheng Porphyry Mo deposit in the East Qinling, China, and its metallogenetic geodynamical setting[J]. Acta Geologica Sinca, 2008, 82(2); 204-220.
- STEIN H J, MARKEY R J, MORGAN J W, et al. Highly precise and accurate Re – Os ages for molybdenite from the East Qinling molybdenum belt, Shannxi Province China[J]. Econ. Geol., 1997, 92: 827-835.