

与角岩有关的矿床主要类型 及其对深部找矿的意义

王登红¹, 应立娟¹, 唐菊兴¹, 梁 婷², 王东明², 黑 欢²

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;

2. 长安大学 地球科学与资源学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 作为热接触变质的产物, 角岩在石墨、硅灰石、红柱石等变质成因非金属矿床和各种金属矿床以及油气矿藏均可见, 但对其调查研究成果并不多。在文献综述的基础上, 结合在南岭、冈底斯等重要成矿带地质找矿的实践, 通过对与矿产资源有关的角岩广义概念的界定, 概述了与角岩有关的各主要类型矿床的地质特征, 如石墨、硅灰石、红柱石等变质成因非金属矿床, 钨、钼、铁、铜、铀、金、铅锌、锡、银和稀有金属矿床以及油气矿藏; 举例阐述了近年来角岩发育矿区深部找矿中的新突破, 如江西淘锡坑钨矿, 广西大厂铜坑至拉么一带的锡多金属矿床, 西藏甲玛铜多金属矿, 云南老厂银铅锌矿、羊拉铜矿、雪鸡坪铜矿等矿区; 讨论了角岩型矿床成矿预测的准则。结果表明: 矿区和矿田大比例尺深部预测时应注意岩石组合、干湿关系、封闭与开放体系、岩石物性和分带性、原岩岩性及其空间配置关系; 区域性中、小比例尺成矿评价时应注意角岩的空间分布、岩石学特征与矿产资源的专属性关系等; 利用角岩预测隐伏岩体的应用前景广泛, 在深部找矿中具有现实意义。建议加强角岩与成矿关系的理论研究, 对以往地质填图工作中发现的“角岩化带”可重新评价其与成矿的关系。

关键词: 角岩; 热接触变质; 变质矿床; 非金属矿床; 金属矿床; 油气矿藏; 深部找矿

中图分类号: P611.3; P618.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2011)03-0221-09

Major Type of Hornfels-related Deposits and Application for Deep Prospecting

WANG Deng-hong¹, YING Li-juan¹, TANG Ju-xing¹, LIANG Ting²,
WANG Dong-ming², HEI Huan²

(1. *Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment of Ministry of Land and Resources, Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*; 2. *School of Earth Sciences and Resources, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China*)

Abstract: Hornfels, as one product of heat contact metamorphism with fine granular metacryst texture and massive structure, exists widely in the metamorphic nonmetallic deposits of graphite, wollastonite and andalusite, and various metal deposits and oil-gas reservoir. However, the research and investigation on hornfels are insufficient. Based on the literature review, combined with the geological prospecting practice in Nanling and Gangdese metallogenic belts, the general concept of hornfels related to mineralization was defined; the geological features of major types of hornfels-related deposits were summarized, i. e. W, Mo, Fe, Cu, U, Au, Pb-Zn, Sn, Ag and rare metal deposits, the metamorphic nonmetallic deposits of graphite, wollastonite and andalusite, and oil-gas reservoir; new advances of deep prospecting in mining districts with hornfels in recent years were presented, i. e. Taoxikeng W mine in Jiangxi, tin-polymetallic deposits in Dachang of Guangxi, Jiama Cu polymetallic mine in Tibet, and Laochang Ag-Pb-Zn mine, Yangla Cu mine and Xuejiping Cu mine in Yunnan; standards for metallogenic prediction of hornfels-related deposits were discussed. The results showed that the rock assemblage, humidity content, seal-open system, hornfels physicality and zonation, lithology of original rock and its spacial distribution should be considered during the deep prediction for blind rock body at the large scale of district and ore field; the space

收稿日期: 2011-04-07

基金项目: 国家深部探测技术与实验专项项目(SinoProbe0301; SinoProbe0303); 全国危机矿山接替资源找矿项目(20089946; 20089947)
作者简介: 王登红(1967-), 男, 浙江嘉兴人, 研究员, 博士研究生导师, 理学博士, 从事矿产资源研究。E-mail: wangdenghong@sina.com

distribution and the specificity relationship between petrologic feature and ore minerals should be considered in the metallogenic assessment at the regional medium and small scales; the application of hornfels for blind rock body is promising and significant for deep prospecting. Study on the relationship between hornfels and mineralization should be strengthened, and the relationship between the hornfelization zone found in previous geological mapping and mineralization should be reevaluated.

Key words: hornfels; heat contact metamorphism; metamorphic deposit; nonmetallic deposit; metallic deposit; oil-gas reservoir; deep prospecting

0 引言

角岩作为变质岩的一种,虽然常见,但对其调查与研究成果却不多。近年来,随着深部找矿工作的深入和一些大型斑岩型矿床的发现,角岩及其在隐伏矿床预测中的重要性日益显现。笔者在对南岭淘锡坑钨矿、大厂锡多金属矿及冈底斯甲玛铜多金属矿床研究和勘查过程中,充分认识到角岩对于深部找矿具有重要的现实意义,但理论研究普遍薄弱^[1-8]。为此,笔者在综述前人工作的基础上,初步总结了与角岩有关矿床的基本特征,指出了其在深部找矿中的应用前景。

角岩(hornfels,也称角页岩)是具细粒粒状变晶结构和块状构造的中高温热接触变质岩石的统称,原岩可以是黏土岩、粉砂岩、火成岩或火山碎屑岩。角岩主要由长石、石英、云母、角闪石、辉石等组成,有时含少量的红柱石、堇青石、石榴子石、矽线石等特征变质矿物。其外表一般深色,有时浅色,致密坚硬。角岩一词的应用范围目前尚不一致,一般把原岩经过热变质作用后已基本全部重结晶并具有角岩结构和块状构造的岩石称为角岩,不包括碳酸盐岩和石英砂岩热变质的产物;对于变质不彻底、未全部重结晶的浅变质岩石,则称为变质黏土岩、变质粉砂岩等。也有人把所有具有块状构造的热变质岩石统称为角岩,包括未全部重结晶的浅变质岩石,只是把大理岩除外。但是,《地球科学大词典》又把一种由角岩构成的大理石系列石材矿床称为角岩石材矿床,并指出矿层是具有块状构造和细粒变晶结构的中高温热接触变质岩,由泥岩、粉砂岩、岩浆岩和火山碎屑岩变质而成。其主要矿物为长石、石英、角闪石和辉石^[9]。因此,笔者从野外地质调查的实际需要出发,采用不包括大理岩的广义概念来规定本文中讨论的角岩范畴。应该指出的是,角岩是比较常见的,除了常见的中酸性侵入岩地区外,在基性岩甚至超基性岩侵入到各类围岩(包括玄武岩)中也可以形成一定范围的角岩化带,如四川米易新街含铂族元素铁矿、新疆西准噶尔铬铁矿带^[10-11]。

1 与角岩有关矿床的主要类型

与角岩有关的矿床类型很多,既有通过热接触变质作用直接形成的非金属矿床,也有赋存在角岩化变质带中各种热液型金属矿床。角岩也可以成为油气藏的容矿围岩。

1.1 变质成因非金属矿床

热接触变质形成的矿床主要有石墨、硅灰石和红柱石等矿床。近年来由于石墨烯作为新兴产业高端材料的重要性得到前所未有的高度重视,因而石墨矿床的经济价值也受到了普遍关注。湖南的荷叶石墨矿床就是二叠系乐平组煤层在骑田岭岩体侵入过程中热变质形成的典型石墨矿床。该矿床因储量大、矿石质量好、埋藏浅、交通方便等特点而闻名于世,石墨与煤呈同层异矿关系。引起热变质的原因是骑田岭岩体,矿区从东到西划分为角岩化带、强角岩化带和中弱角岩化带。前两个变质带内的煤已全部变质成石墨;中弱角岩化带东部的煤已石墨化,西部的煤全变质为无烟煤,故矿层可划分为石墨带和石墨化无烟煤带^[12]。

红柱石是角岩中最常见和最具代表性的变成矿物之一,当其达到工业要求时即可形成红柱石矿床。如甘肃漳县的米家沟红柱石矿床就是因岩体侵入发生接触变质作用而形成角岩型矿床^[13],矿体位于教场坝花岗岩体(出露面积 120 km²)北侧 800~1 000 m 处,原岩为二叠系含碳富铝泥质岩。湖南的长江红柱石矿床产于五峰仙花岗岩体东部外接触带,为二叠系上统龙潭组泥质碎屑岩经热接触变质而形成的角岩型矿床。矿石主要矿物为红柱石,脉石矿物为石英、云母,探明储量已达中型规模,找矿前景良好^[14]。

1.2 赋存在角岩中的热液型金属矿床

1.2.1 钨矿

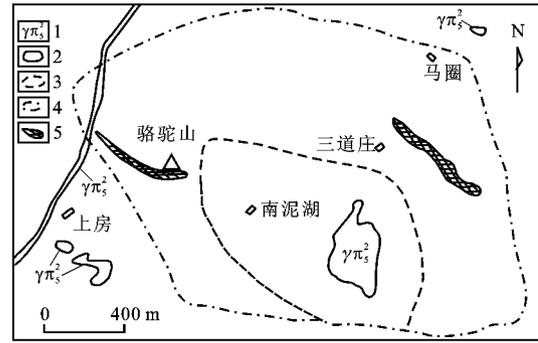
角岩作为热变质作用的产物,在隐伏花岗岩体及相关钨锡矿床的外围普遍存在。如在赣南西华山—漂塘地区,寒武系地层经加里东期区域变质作用,形成浅变质砂岩和板岩;燕山期花岗岩体的侵入

使之又经历了接触变质作用,形成角岩类岩石,包括黑云母石英角岩和石英黑云母角岩,主要组成矿物为石英、黑云母和白云母。角岩通常具块状构造,有时具斑点构造(斑点由白云母和绿泥石组成)或层状构造;在石英黑云母角岩中,还见有蠕虫状构造(蠕虫状体由细粒石英和黑云母组成)。在角岩中,黑云母具有向石英脉或岩体富集的趋势,说明热源(石英脉或岩体)可以活化角岩中的镁铁质,使其向热源方向运移,并结晶形成黑云母^[15]。在甘肃肃北县塔尔沟钨矿区,野牛山滩酸性侵入体与前震旦变质岩系的接触带发生明显的接触变质分带,发生角岩化及砂卡岩化、硅化等蚀变。在外接触带形成石英脉型黑钨矿,而黑钨矿脉的两侧则形成砂卡岩型白钨矿^[16]。在广东阳春小南山钨锡矿区,燕山晚期的隐伏花岗岩与下侏罗统砂岩、板岩接触带也发生角岩化^[17]。

此类情况国外实例并不少见,如日本 Fujigatani 白钨矿主要赋存于三叠系沉积地层与上白垩统花岗闪长岩和二长花岗岩岩基的接触带。该矿床产于泥质角岩中透镜状矿体,至少有 3 层,包括 Akemidani、Gosento、Mominoki 等,前两者产量较大。矿化角岩蚀变带多蚀变成贫绿帘石-单斜辉石的砂卡岩,宽 2~50 cm^[18]。在美国加利福尼亚州的 Sierra Nevada 地区,大量白钨矿位于燕山早期钙质岩体与早寒武至晚三叠世沉积变质岩的接触带中,赋矿围岩包括纯大理岩、白云质大理岩、变质的泥质灰岩、钙硅质角岩和黑云母角岩。著名的 Pine Creek 白钨矿矿床即形成于砂卡岩和角岩化过程中,那里的角岩主要为泥质角岩、钙硅质角岩、黑云母角岩和少量辉石角岩^[19]。

1.2.2 钼矿

钼矿与角岩的关系似乎比铜、铅锌矿更密切。例如新疆的白山钼矿就产于下石炭统干墩组黑云母长英质角岩带与花岗斑岩脉内,其中黑云母长英质角岩-堇青石二云母长英质角岩和透辉黝帘斜长角岩-黑云母斜长角岩分别位于第二和第三岩性段^[20]。河南南泥湖—三道庄超大型钼-钨矿床,在成因上与 0.12 km² 的斑状钾长花岗岩小岩株有关(136~131 Ma),矿床类型属于砂卡岩-斑岩型,围岩为大理岩、长英质角岩、黑云母长英质角岩和斑状钾长花岗岩(图 1)^[21]。甘肃的花黑滩钼矿,为一中型角岩型钼矿,区内岩浆岩主要为印支期花岗岩,而震旦系洗肠井群第二岩组的黑云二长英质角岩则为直接的含矿围岩^[16]。



注:1—燕山中期黑云二长花岗斑岩;2—地表岩体界线;3—垂深 600 m 处岩体界线;4—热变质带角岩化带;5—砂卡岩;据文献^[20]。

图 1 南泥湖钼矿田燕山期小岩体与热变质带分布
Fig. 1 Sketch Showing the Distribution of Small Intrusions and Thermal Metamorphic Belt in Nannihu Mo Mine

在美国科罗拉多成矿带中部的 Elk 山区,网脉状辉钼矿化发育,其中相当一部分就直接产于角岩中,如 Redwell 钼矿和 Emmos 钼矿均赋存于隐伏岩体顶部的蚀变角岩和斑岩中,岩株周围的角岩带包括约 300 m 厚的褐色角岩带和约 150 m 厚的黑色角岩带^[22]。在新西兰南岛的 Lyell Stream-Bald 地区,钼矿主要产于石英奥长花岗斑岩侵入体(Lyell 斑岩)与 Greenland 群具角砾和角岩结构的低级沉积变质岩的接触带中。角岩全岩的 K-Ar 年龄为 120~103 Ma,与 Lyell 斑岩侵入时间基本一致,也与钼矿化时间(116~112 Ma)较一致^[23]。

1.2.3 铁矿

铁矿尤其是砂卡岩型铁矿也存在普遍的角岩化现象。如广东的大顶锡(铁)多金属矿床,既发育砂卡岩也发育角岩^[24-25]。石背花岗岩体的外带和接触带经区域变质、热变质和接触交代变质作用,形成角岩化碎屑岩、角岩、砂卡岩化角岩和砂卡岩。角岩化过程中原生含铁物质重结晶形成细晶磁铁矿,且钻孔揭露磁铁矿体上下盘往往为角岩或砂卡岩^[24]。广东的尖山铁矿区,出露尖山和八面山花岗岩体,外接触带灰岩发生变质,形成角闪石角岩,形成深度中等,温度较高。铁矿上盘即大理岩和角岩,分布有黄铁矿化和铅锌硫化物^[26]。广东怀集铁矿区,灰塘铁矿的底板为泥盆纪变质砂岩,角岩化明显,角岩化的底板岩石坚硬致密,渗透性差,作为天然的“屏蔽”阻挡了热液向下渗透,有利于成矿物质的集中^[27]。

在香港, Ma On Shan 铁矿是与燕山早期花岗岩和火山岩有关的磁铁矿矿床,两者接触变质引起围岩重结晶,形成具粒状组构的角岩^[28]。美国明尼苏达州 Dunka River 地区中前寒武世 Biwabik 组即

Biwabik 铁建造(其中的上 Cherty 段含磁铁矿已被开采),受晚前寒武世 Duluth 基性杂岩体侵入,热变质形成辉石角岩相^[29]。

1.2.4 铜矿

角岩对于铜矿尤其是斑岩型铜矿和矽卡岩型铜矿具有非常重要的意义^[30-37]。在江西德兴铜矿,斑岩体出露面积仅 0.06~0.70 km²,其浅部内接触带自变质作用强烈,深部外接触带热变质角岩化显著,宽度可达 400 m。角岩主要包括黑云母角岩、石英黑云母角岩和长石石英黑云母角岩以及透闪石角岩和透闪石黑云母角岩,偶见含红柱石或堇青石黑云母角岩^[30]。在西藏玉龙铜钼矿区,角岩型铜钼矿体是 5 种主要矿体类型之一。接触带角岩中的矿体一般作为矽卡岩-次生氧化富集型 II、V 号次生氧化矿体的直接底板,可见多层矿化,矿体一般数十米厚,矿石品位高于斑岩型硫化矿;矿区南部矿化斑岩(铜、钼矿体)超覆位于角岩之上,在矿化斑岩之下形成多层角岩型矿体,规模较大^[31-32]。在广西德保铜锡矿区,钦甲岩体(出露面积 48 km²)侵入寒武系导致角岩矽卡岩化和角岩化,铜锡矿体在矽卡岩和角岩中均有分布^[35]。在吉林小西南岔铜金矿区,海西晚期的一系列花岗杂岩体侵入于上二叠统,通过接触变质形成大范围的角岩带,包括长英质角岩、含碳云英角岩和红柱石板岩等。矿脉呈细脉浸染状及网脉状赋存于石英闪长岩-闪长岩顶端与二叠系角岩捕虏体的接触带上^[36]。

在加拿大魁北克省 Madeleine 铜矿区,网脉状矿体赋存于海西期 McGerrigle 花岗质岩体侵入至早古生代魁北克群地层所形成的堇青石-黑云母角岩接触带中。接触变质作用使页岩、石英岩和灰岩等变成黑云母-堇青石角岩,局部形成黑云母-堇青石-红柱石相角岩。80%以上的矿石产自主角岩中,其余产于底板角岩中。前者以微细粒堇青石-黑云母角岩为主,后者以钙-硅质角岩为主^[38]。在加拿大不列颠哥伦比亚的 Berg 斑岩铜矿,原生硫化物矿石(黄铜矿-辉钼矿)赋存于侵入中生代 Hazelton 和 Skeena 群的早中渐新世石英二长斑岩及与周围角岩的接触带中,品位最好的铜矿石分布于侵入体接触带附近,角岩与侵入体的接触带亦富集原生硫化物,包括黄铜矿、辉钼矿和黄铁矿等^[39]。

1.2.5 铀矿

花岗岩体一直是南方硬岩型铀矿的找矿重点地区,某区花岗岩体大小数千个,已在岩体内探明了一批铀矿床和矿点^[40]。但近年来,虽然开展了放射

性区调、普查、工程揭露和航空测量等大量工作,但在花岗岩体内并未发现较好的成矿线索,相反在其外接触变质带内却发现了不少的揭露点、矿点和矿床。据对 2 959 个异常点、带统计,产于热接触变质带的伽玛异常点、带占总数的 41%,而热接触变质带的工作面积总和还不到工作总面积的 10%。因此,热接触变质带内的异常几率是花岗岩内的 11 倍。已发现的 9 个揭露点,就有 7 个赋存在热接触变质带内,如 6732、6733、苗坑、大坑、巫山陈、铁山垅和中流等。因此,花岗岩外接触变质带也是寻找铀矿不可忽视的有利地段。在湖南冷水溪群和板溪群中已发现铀矿床、矿(化)点约 20 处,铀矿化主要受断裂构造控制,但凝灰质板岩、砂质板岩及角岩等是矿化有利的围岩^[41]。火山岩型铀矿也是岩浆热液的产物,角岩化也是常见现象,如江西相山铀矿区。

意大利都灵省的 Traversella 铀矿属于典型的接触交代矿床,矿体赋存于花岗闪长岩与 Sesia-Lanzo 块体结晶片岩的接触带。富矿部位局部发育特殊的角岩相,厚度大且变化大,晶质铀矿与导致角岩化的变质作用和矿化活动同生^[42]。

1.2.6 金矿

大量的金矿主要与断裂破碎带相伴,似乎远离岩体接触带,但也有很多金矿与角岩有关。在甘肃北县金山金矿区,在呼尔格里呼都花岗闪长岩、黑云母二长花岗岩体的外接触带发育热接触变质岩,下石炭统白山组上岩组第一岩性段条带状灰岩和绢云母板岩发生矽卡岩化和角岩化,包括阳起石-透闪石角岩、长英质角岩、黑云母角岩和石英角岩。在川西耳泽、木机庚和菜园子金矿区,含矿层包括下奥陶统瓦厂组长英质角岩^[43]。在四川若尔盖阿西金矿区,英安斑岩、闪长岩与三叠系砂岩、灰岩和粉砂岩的接触变质带普遍形成角岩带,主要有透辉斜长角岩和石榴子石长英质角岩^[44]。在吉林二道甸子金矿,矿体形态受断裂构造和云母石英角岩及斜长角闪角岩互层带的控制。海西晚期的黑云母斜长花岗岩从东、西、南三面包围二道甸子矿区,使呼兰群地层遭受强烈热动力变质作用,形成各种角岩类岩石(包括角岩化红柱石板岩和斜长角闪角岩、碳质云英角岩),并随之带来金矿化^[45]。在西藏冈底斯弄如日金梯矿区,金矿体产于破碎蚀变角岩和蚀变二长花岗斑岩中。燕山晚期的细粒钾长花岗岩与下白垩统林布宗组侵入接触引起大面积的角岩化,形成斑点角岩、红柱石角岩和长英质角岩等。区内 5 个矿

体中2、3号矿体的矿化岩石为破碎红柱石角岩,4、5号矿体则产于断裂破碎蚀变角岩中^[46]。

在美国华盛顿州的 Buckhorn 砂卡岩型金矿区,赋矿围岩普遍蚀变,从岩体近端至远端,矿物组合分别为石榴子石-磁铁矿-硫化物、石榴子石-辉石-绿帘石-硫化物和辉石-角岩组合。重结晶作用和局部的交代作用在侵入体周围形成细晶质黑云母-辉石角岩^[47]。在加拿大最大的砂卡岩型金矿 Nickel Plate 矿区,随着亚碱性、钙碱性石英闪长岩、闪长岩和辉长岩的侵入,金矿化叠加于沉积岩和火成岩之上。早期蚀变主要使粉砂岩变成黑云母、钾长石和石英角岩,与金矿有关的蚀变则叠加于早期角岩和砂卡岩之上,甚至完全交代沉积岩和火成岩,形成了辉石和石榴子石组合^[48]。

1.2.7 铅锌矿

铅锌矿一般成矿温度低于钨锡矿,在空间上也往往远离岩体,但角岩也屡见不鲜。如湖南的黄沙坪铅锌矿区,与成矿作用有关的3个岩体分别为301号(花岗斑岩)、304号(花斑岩)、51号(石英斑岩),其中304号岩体外接触带砂页岩地层中见角岩化^[49]。在湖北的凤梨山铅锌矿区,燕山中晚期花岗闪长岩、石英闪长岩和英安斑岩呈岩枝或岩脉侵入于三叠系,使之发生热接触变质而形成宽300~500m的低至中级热接触变质晕(圈),主要由斑点板岩、绢云钠长绿帘角岩、角闪角岩、大理岩和石英岩等组成,矿体即产于其中^[50]。在福建连城的中坪铅锌矿区,经畚组地层受热力变质改造后形成砂卡岩和角岩带,多数铅锌矿体赋存于其中,成为中坪式铅锌矿的主要找矿标志之一^[51]。

摩洛哥华力西带上产有多个铜铅锌矿床,如 Jebilet 与一套330Ma左右侵入的辉长岩、花岗岩、拉斑玄武岩和碱性岩体有关。侵入体与早石炭海相 Visean 页岩发生接触变质形成角闪角岩相蚀变,伴随的热液活动淋滤长英质侵入体中的铅-锌等金属而成矿^[52]。

1.2.8 锡矿

锡矿与钨矿一样与角岩化关系密切。如位于江西北部彭山穹窿区的黄金洼、尖峰坡等锡矿,均同时存在砂卡岩化和角岩化。其中的混合矿石与强硅化、石英角岩化关系密切,可分为石英角岩型毒砂矿石、石英角岩型锡石矿石等不同的矿石类型^[53]。内蒙古的敖瑙达巴是中国北方地区重要的斑岩型锡多金属矿床,那里的钾硅酸盐化核、绢英岩带、黄玉云英岩带、青磐岩带及角岩化带构成了大致对称的前

进中心式蚀变分带,近接触带的砂泥质沉积岩变成黑云母石英角岩,岩体上部蚀变带及近接触带的角岩化带中,金属硫(砷)化合物呈浸染状和细脉浸染状广泛分布,构成全岩型的面型含矿(Sn、Ag、Cu)硫(砷)化物矿化体,铜在青磐岩带和角岩化带含量最高^[54]。在云南的来利山锡矿区,部分矿体群产于复背斜轴部角岩或角岩化岩石的断裂带中^[55]。在广东银岩锡矿区,在燕山晚期石英斑岩、花岗斑岩和黑云母二长花岗岩的外接触带普遍发育角岩圈,同时伴生大量的锡石硫化物矿脉^[56]。

1.2.9 银矿

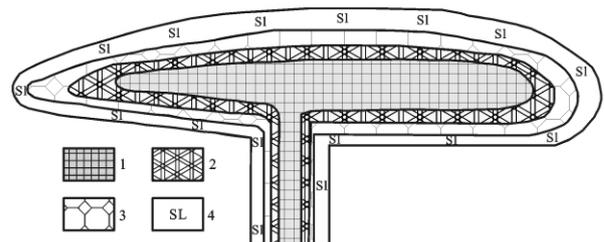
银的成矿温度低,一般远离岩体成矿,但也有不少特例,如阿根廷的 Aguilar 银多金属矿床就产于白垩纪 Aguilar 花岗岩体接触带的石英岩和角岩中。接触变质晕自花岗岩体中心往外,分带清楚,分别为辉石角岩相、角闪角岩相和钠长石-绿帘石角岩相。单个透镜体矿体在垂向上也存在一定的分带性,自上而下为:角岩(未矿化)→带状矿石→细脉状矿石→网脉状矿石→浸染状矿石→石英岩(未矿化)^[57]。

1.2.10 稀有金属矿床

稀有金属一般产于岩体(包括伟晶岩)内部,但安徽某地伟晶岩以含钽铍为主的稀有金属伟晶岩产于黑云母花岗岩体“港湾”或“前峰”部位的震旦系中统休宁组砂岩接触变质角岩及蚀变带闪长玢岩中,多沿张裂充填^[58]。

1.3 与角岩有关的油气矿藏

油气一般产于沉积岩区,但近年来在渤海湾、北部湾、苏北和新疆三塘湖等地先后发现的侵入岩型油藏或油气显示,其储集层发育机理较为特殊^[59]。理想状态下可分为岩体中心相、岩体边缘相、角岩相和板岩相4个相带(图2)。其中,角岩亚相的石榴



注:1—岩体中心相;2—岩体边缘相;3—角岩相;4—板岩相;引自文献^[59]。

图2 侵入岩型油藏的侵入岩及其外变质带岩相带理想分布

Fig. 2 Intrusive and Metamorphic Lithofacies Ideal Model in Intrusion Type Oil Reservoir

石角岩带具有较好的原始储集性能,在后期裂缝发育程度相近的情况下产能较高。

2 角岩发育矿区深部找矿新进展

近年来随着国家危机矿山资源接替等深部找矿工作的开展,在角岩发育地区取得地质找矿突破的实例很多。笔者在参与江西崇义县淘锡坑石英脉型钨矿深部找矿、广西大厂铜坑—龙箱盖深部找矿及西藏冈底斯成矿带甲玛铜多金属矿床典型矿床研究与勘探工作的过程中充分运用了角岩指示隐伏岩体的基本原理开展工作,取得了重要进展^[1,5-6]。其中,甲玛矿区的角岩不只是覆盖于巨大的矽卡岩型铜矿和含矿斑岩体之上,角岩本身所含的钨矿产资源也达大型以上的规模。

云南澜沧老厂银铅锌矿开采历史研究表明,近地表以铅锌银矿化为主。以往钻探过程中发现矿体以下的深处还存在强烈的围岩蚀变(如在钻孔 ZK15031 的深部),并认识到其具多类型、多期次、多成因叠加特点,但对于隐伏岩体的寻找仍然认识不足,以至于找矿工作没有取得根本性的突破。尽管如此,钾长石-石英细脉带与角闪石角岩相仍然提供了可靠的隐伏岩体信息,角岩化的范围集中在深部泥盆系浅黄色板岩及砂质板岩内,主要为热变质引起的堇青石-绿帘石-黑云母-斜长石角岩化。根据这样的思路在角岩化带布置深部钻孔曾经见矿^[60]。近年来通过一系列的钻探工作,不但找到隐伏岩体,而且发现以钨多金属为主的巨大新矿体。

在三江成矿省中段云南境内的羊拉和雪鸡坪等矿区也取得了类似的找矿突破。在羊拉铜矿区,大面积分布的花岗闪长岩-花岗岩类侵入到嘎金雪山群,引起不同程度的角岩化和矽卡岩化,角岩本身也是重要的矿石类型。金属矿物在角岩中分布不均,多呈细脉状分布;铜质量分数为 1.1%~1.6%^[33]。在香格里拉县的红牛(红山)—雪鸡坪铜矿田,铜和铅锌矿化均与角岩化、矽卡岩化及硅化有关^[34]。

实际上,还有许多角岩分布区值得进一步研究。例如在三江成矿省北段的四川西部,无论是石英脉型还是矽卡岩型钨矿区,均不同程度地发育角岩化,如赫德矿区的西康群赫德组明显角岩化,而乌拉溪钨-铍矿区自岩体向外也依次形成岩体边缘混合花岗岩带、矽卡岩带、矽卡岩化大理岩带和矽卡岩化角岩带^[61]。在广东惠阳新塘钨锡异常区,晚侏罗世细粒斑状黑云母二长花岗岩(坪地圩岩体)引起岩体外接触带测水组碎屑岩普遍角岩化。虽然目前仅发现

山塘、水流坑、公王顶、河田、和尚庵、白石沙和锡坑沙等矿点、矿化点^[62],但产地多,矿种也多,涉及铅、锌、钨、钼、铁、锡等,并具有一定的分带性,值得进一步找矿。

3 讨论:角岩型矿床成矿预测准则

根据角岩预测隐伏岩体的基本原则,通过资料的二次开发来重新评价老矿区,是一项常规工作;根据角岩的区域性分布特征,通过预测隐伏岩体来开展区域成矿预测,也已经迫在眉睫,但无论是区域性的矿产资源潜力评价还是老矿山的攻深找盲,都需要遵循一定的原则。前苏联有关成矿预测的文献普遍把一些原则性问题归纳为“准则”,也就是必须考虑到的基本原理和技术方法运用的前提。在角岩区开展隐伏矿床预测工作时,也需要遵循一些基本的准则。由于角岩在成因上属于岩浆岩与围岩热接触变质作用的产物,因而也就成了预测隐伏岩体的直接标志。

3.1 矿区和矿田大比例尺深部预测的准则

3.1.1 岩石组合关系

有热变质的地方不一定发生成矿作用,有角岩的地方自然也不一定有矿。因而在运用角岩进行深部找矿时,还需要综合其他因素,比如“角岩-矽卡岩-斑岩”三位一体模式的运用对甲玛铜多金属矿床深部找矿的突破发挥了非常重要的作用^[5-6]。与角岩一起的除了矽卡岩外还需要注意云英岩化,如江西的香炉山钨矿属大型隐伏岩控角岩型白钨矿矿床,赋存在背斜构造倾伏部位的泥质灰岩与黑云母二长花岗岩的接触带。白钨矿除了充填、交代钙硅角岩外,云英岩也很重要^[63]。

3.1.2 干湿关系

尽管角岩是“热”变质的产物,但不排斥流体的作用,因而对于“湿”角岩要特别注意,往往在伴随有流体蚀变的角岩带包括各种石英脉、方解石脉、萤石脉等脉体出现的地方要特别注意。

3.1.3 封闭与开放关系

角岩化过程不一定是在单纯封闭体系中完成的,除了热量交换之外,物质尤其是“不显眼”的物质交换同样可能发生过,因此,微量元素和稀土元素等示踪技术的运用是必要的。广东从化县桂峰钨矿在成因上与燕山期花岗闪长岩、粗粒斑状二长花岗岩有关,围岩早石炭世测水组变质石英砂岩、细砂岩夹粉砂质页岩及大理岩透镜体在发生矽卡岩化和角岩化之后,Cu、Mo、Pb、Zn 的平均质量分数分别由

31×10^{-6} 、 5×10^{-6} 、 538×10^{-6} 、 130×10^{-6} 上升到 287×10^{-6} 、 298×10^{-6} 、 $2\,443 \times 10^{-6}$ 、 592×10^{-6} [64]。陕西洛南的莲花沟钼矿,岩体周围蚀变岩、脉岩发育,主要有透辉石、透闪石角岩等,蚀变带中 Cu、Ag、Pb、Zn、Au 等元素较围岩成倍浓集,形成化探异常及矿化体 [65]。

3.1.4 角岩本身的岩石物性特征和分带性

角岩本身分带性的研究,包括结构构造、矿物成分、化学成分、温度压力等方面的分带性研究,难度较大,但对于隐伏岩体的定位预测至关重要,需要加强。云南澜沧老厂铅锌银矿区钻孔揭示的角岩就存在明显的分带性,从而有效指导了深部找矿工作。

3.1.5 原岩岩性及其空间配置关系

一般来说,在围岩热变质阶段,花岗质岩浆侵入使围岩重结晶,重结晶作用是一种等化学过程,物质的运移一般局限于新成矿物粒径范围内,导致各类角岩尤其是钙硅质角岩继承性地保留着原岩的条带、层纹状层理构造,并提高了岩石的粒间孔隙度。层理高度发育而粒间孔隙度增大的钙硅角岩,有利于矿液渗透、充填和交代,而致密的角岩化围岩,不利于矿液扩散,起到了屏蔽作用。这样,不同类型角岩在空间上的分带性一方面有利于矿液的渗透,另一方面又不让矿液过于分散,从而有利于成矿。当渗透性好的角岩、矽卡岩在内带与渗透性差的角岩在外带时易于形成沿层交代的富而厚的矿体,如广西的大厂 [66-67] 和西藏的甲玛;反之更易出现石英脉型矿体。因此,原岩岩性及其空间配置关系对于角岩分带性影响很大,不同类型角岩的组合方式不同,对于成矿物质的聚集至关重要。在某油田,浅层—超浅层侵入岩角岩带的物性变化范围较大,当原岩为碳酸盐岩、钙质泥岩和钙质粉砂岩时,通常可以形成物性条件较好的石榴石角岩;当原岩为黏土岩时,主要为堇青石或红柱石角岩,物性条件较差。据张映红等研究,罗 151-4 井石榴石角岩的孔隙度为 20.9%~34.0%,渗透率为 $(65 \sim 280) \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,单井日产油 150 t,角岩成了一套极好的储集层 [59]。可见,侵入岩型油气藏的形成得益于角岩独特的物理性质。

3.2 区域性中小比例尺成矿评价时应注意的准则

角岩是比较常见的,但不同的构造背景、不同的侵入岩和不同的围岩组合直接影响到矿种、矿床类型和成矿规模等方面。在青藏高原及其周边地区,冈底斯成矿带和三江成矿带的角岩可与矽卡岩型和斑岩型矿床相伴出现,而松潘—甘孜成矿带的角岩

可与稀有金属矿床相伴。南岭成矿省,当围岩是早古生代碎屑岩时角岩大范围出现,相关的钨矿以石英脉型黑钨矿为主,赣南—粤北即如此;当围岩为晚古生代的碳酸盐岩时角岩化范围相对小而矽卡岩化常见,相关的钨矿则以矽卡岩型白钨矿多见,湘南柿竹园式钨锡钼铋多金属矿床即如此。因此,角岩及其相关矿床也是各种地质条件耦合的结果。

角岩对于矿床的空间定位至关重要,但究竟是作为容矿围岩出现还是顶板或者成矿流体的阻挡层出现,取决于具体的成矿条件。在西藏甲玛超大型铜多金属矿区,角岩一方面作为矽卡岩及矽卡岩型铜铅锌矿的顶板对于成矿流体的分散起到了遏制作用,另一方面其本身也含矿,可以圈定独立的钼矿体,说明成矿物质非常丰富,即便是厚达数百米的角岩带也遮挡不住成矿流体的扩散。因此,当角岩中出现矿化时,需要特别注意评价角岩之下的找矿潜力。在骑田岭岩体的西侧接触带,靠近岩体的是鲁塘式的石墨矿,虽然石墨矿及其所在碳质地层在角岩化过程中总体上起隔挡层作用,但石墨矿化带和角岩带外侧仍然出现了黄沙坪和宝山等大型、超大型多金属矿床,也说明成矿物质十分丰富。由此看来,当角岩化带“阻挡”不住成矿流体向远离侵入岩体的方向运移时,暗示着找矿前景较好。

角岩本身的岩石学特征与矿产资源之间的专属性关系,目前还没有定论,但看来是比较复杂的、没有固定的一一对应关系,首先要区别热接触变质成因还是区域变质成因。按主要矿物成分,角岩可以分为云母角岩、长英质角岩、钙硅质角岩、基性角岩、镁质角岩等,也可以根据其中主要矿物和特征变质矿物详细命名,如堇青石黑云母角岩等。角岩和角闪岩、角闪片岩、角闪质岩石不同,后者主要是区域变质作用的产物。在冈底斯成矿带的雄村和甲玛等矿区,角岩含红柱石是常见现象。江西德兴、吉林小西南岔等典型矿区亦如此。

剥蚀程度、岩体的侵入方向与角岩的空间分布特点密切相关。当侵入岩小面积出露,深部可能有较大岩基,角岩常呈“同心圆状”出现;当侵入岩只是小岩株、深部无大岩基时,角岩欠发育;当岩浆岩斜向大规模侵入时,角岩可呈半圆状分布,如南岭成矿带的骑田岭岩体。因此,角岩的分布特点对于隐伏岩体是否存在及其侵入方向的判断是重要标志,对进一步的成矿预测也具有指示意义。

4 结语

综观不同类型矿区角岩的发育特点,认为角岩

可与多种类型的矿床存在成因上的联系,不但与热变质矿床直接相关,在各种金属矿床乃至油气矿藏分布区都可以出现。这一方面是因为角岩作为岩浆热变质的直接产物可以指示其下隐伏岩体的存在,另一方面也归功于角岩本身的特殊性,尤其是其孔隙度等方面的物理性质及不同类型角岩的空间配置关系,对于最终形成的是沿层交代矿体还是石英脉型穿层矿体具有直接的制约意义。因此,利用角岩进行隐伏岩体预测具有广泛的运用前景,对于深部找矿具有重要的现实意义。尽管在一定程度上可以把角岩化和成矿作用对等看待,二者均是岩浆作用的产物,在地质找矿实践中也取得了一定效果,但对于角岩与成矿关系的理论研究依然十分薄弱,需要进一步加强,许多以往地质填图工作中发现的“角岩化带”是否与矿有关也需要重新评价。

参考文献:

- [1] 王登红,陈富文,张永忠,等. 南岭地区有色-贵重金属成矿潜力及综合探测技术示范研究[M]. 北京:地质出版社,2011.
- [2] 梁 婷,王登红,屈文俊,等. 广西铜坑锡多金属矿黄铁矿的 Re-Os 同位素组成及成矿物质来源示踪[J]. 地球科学与环境学报,2009,31(3):230-235.
- [3] 应立娟,唐菊兴,王登红,等. 西藏甲玛铜多金属矿床砂卡岩中辉钼矿铼-钨同位素定年及其成矿意义[J]. 岩矿测试,2009,28(3):265-268.
- [4] 应立娟,王登红,唐菊兴,等. 西藏甲玛铜多金属矿床中钼矿物及其与铜矿化的关系[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2010,40(4):801-809.
- [5] 唐菊兴,王登红,汪雄武,等. 西藏甲玛铜多金属矿床地质特征及其矿床模型[J]. 地球学报,2010,31(4):495-506.
- [6] 王登红,唐菊兴,应立娟,等. “五层楼+地下室”找矿模型的适用性及其对深部找矿的意义[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2010,40(4):733-738.
- [7] 梁 婷,陈毓川,王登红,等. 广西大厂锡多金属矿床地质与地球化学[M]. 北京:地质出版社,2008.
- [8] 王登红,陈毓川,徐 珏,等. 中国新生代成矿作用[M]. 北京:地质出版社,2005.
- [9] 《地球科学大词典》编辑委员会. 地球科学大词典[M]. 北京:地质出版社,2006.
- [10] 周良仁,张金声. 新疆唐巴勒地区超基性岩体接触变质特征[J]. 西北地质,1983(3):47-56.
- [11] 彭礼贵. 新疆准噶尔地区阿尔卑斯型超基性岩的热变质作用特征[J]. 中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊,1986(1):56-64.
- [12] 邵志富,车勤建. 桂阳县荷叶石墨矿床地质特征[J]. 湖南地质,1988,7(1):25-30.
- [13] 乔建国. 甘肃米家沟红柱石矿床地质[J]. 西北地质,1981(3):51-57.
- [14] 蓝晓明,陈湘立. 安仁长江红柱石矿床地质特征及找矿前景[J]. 湖南地质,2000,19(4):251-255.
- [15] 张国平. 江西西华山—漂塘地区花岗岩外接触带的元素地球化学[J]. 地质地球化学,1991(5):49-50.
- [16] 明承里. 甘肃花黑滩钼矿床地质特征及成因[J]. 西北地质,1989,22(3):37-41.
- [17] 王继华,区 杏,冯贵珍. 广东阳春小南山钨锡矿床石英中包裹体地球化学找矿方法实验[J]. 地质与勘探,1983(6):54-58.
- [18] Sato K. Tungsten Skarn Deposit of the Fujigatani Mine, Southwest Japan[J]. Economic Geology,1980,75(7):1066-1082.
- [19] Newberry R J. Tungsten-bearing Skarns of the Sierra Nevada I: the Pine Creek Mine, California [J]. Economic Geology,1982,77(4):823-844.
- [20] 邓 刚,吴 华,卢全敏. 东天山白山斑岩型钼矿床的地质特征及找矿标志[J]. 地质通报,2004,23(11):1132-1138.
- [21] 吕文德,赵春和,孙卫志,等. 河南栾川地区砂卡岩型铅锌矿地质特征——南泥湖钼矿外围找矿问题[J]. 地质调查与研究,2005,28(1):25-31.
- [22] Thomas J A, Galey J T. Exploration and Geology of the Mt. Emmons Molybdenite Deposits, Gunnison County, Colorado [J]. Economic Geology,1982,77(5):1085-1104.
- [23] Eggers A J, Adams C J. Potassium-argon Ages of Molybdenum Mineralization and Associated Granites at Bald Hill and Correlation with Other Molybdenum Occurrences in the South Island, New Zealand [J]. Economic Geology,1979,74(3):628-637.
- [24] 李文彬. 大顶铁矿区变质岩类型浅析[J]. 矿冶工程,2008,28(5):27-29.
- [25] 杨智荣,陈婉君. 大顶锡(铁)多金属矿床地质特征及控矿因素探讨[J]. 广东地质,2008,23(1):1-6.
- [26] 叶庆同,吴学汉,李慕洁,等. 广东尖山铁矿的成因[J]. 地质学报,1980(3):219-232.
- [27] 陈植文,李自卫,伍世德. 怀集铁矿区灰塘矿床地质特征和控矿因素初探[J]. 西部探矿工程,2006(8):118-119.
- [28] Davis S G. Mineralogy of the Ma On Shan Iron Mine, Hong Kong [J]. Economic Geology,1961,56(3):592-602.
- [29] Bonnicksen B. Geology of the Biwabik Iron Formation, Dunka River Area, Minnesota [J]. Economic Geology,1975,70(2):319-340.
- [30] 朱 训,黄崇轲,芮宗瑶,等. 德兴斑岩铜矿[M]. 北京:地质出版社,1983.
- [31] 唐菊兴,张 丽,李志军,等. 西藏玉龙铜矿床——鼻状构造圈闭控制的特大型矿床[J]. 矿床地质,2006,25(6):652-662.
- [32] 王成辉,唐菊兴,陈建平,等. 西藏玉龙铜钼矿同位素年代学研究[J]. 地质学报,2009,83(10):1445-1455.
- [33] 曲晓明,杨岳清,李佑国. 从赋矿岩系岩石类型的多样性论羊拉铜矿的成因[J]. 矿床地质,2004,23(4):431-442.
- [34] 常开永. 香格里拉县红牛砂卡岩型铜矿[J]. 云南地质,2006,25(1):12-18.
- [35] 梁有彬,吴成柳. 广西德保铜锡矿床锡的赋存状态及地球化学特征[J]. 矿产与地质,1984(1):26-33.
- [36] 吴尚全. 吉林小西南岔铜金矿床的主要地质特征及其成因

- [J]. 矿床地质, 1986, 5(2): 75-85.
- [37] 毛景文, 张建东, 郭春丽. 斑岩铜矿-浅成低温热液银铅锌-远接触带热液金矿床模型: 一个新的矿床模型——以德兴地区为例[J]. 地球科学与环境学报, 2010, 32(1): 1-14.
- [38] Williams-Jones A E, Samson I M, Linnen R L. Fluid Evolution and Its Role in the Genesis of the Granite-related Madeleine Copper Deposit, Gaspe, Quebec[J]. Economic Geology, 1989, 84(6): 1515-1524.
- [39] Heberlein D R, Fletcher W K, Godwin C I. Lithogeochemistry of Hypogene, Supergene and Leached Cap Samples, Berg Porphyry Copper Deposit, British Columbia[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1983, 19(1/2): 595-609.
- [40] 仇修义. 某区花岗岩外接触变质带内的铀矿化[J]. 放射性地质, 1984(4): 1-8.
- [41] 田应龙. 湖南前震旦系铀矿化成因探讨[J]. 铀矿地质, 1990, 6(1): 11-18.
- [42] Zucchetti S C. Uranium-bearing Bodies in the Ore Deposits of Traversella (Italy)[J]. Economic Geology, 1961, 56(8): 1469-1471.
- [43] 徐 韬, 尹显科, 宋元宝, 等. “3S”技术在四川木里地区金矿资源预测与定位中的应用[J]. 四川地质学报, 2005, 25(2): 122-126.
- [44] 何 虹, 文锦明. 四川若尔盖阿西金矿岩石学及岩石地球化学特征[J]. 沉积与特提斯地质, 2002, 22(2): 80-90.
- [45] 吴尚全, 张文起, 刘松义, 等. 吉林二道甸子金矿床的地质特征及其成因[J]. 黄金, 1993, 14(1): 1-6.
- [46] 李光明, 曾庆贵, 雍永源, 等. 西藏冈底斯成矿带浅成低温热液型金锑矿床的发现及其意义——以西藏弄如日金锑矿床为例[J]. 矿床地质, 2005, 24(6): 595-602.
- [47] Hickey R J. The Buckhorn Mountain (Crown Jewel) Gold Skarn Deposit, Okanogan County, Washington[J]. Economic Geology, 1992, 87(1): 125-141.
- [48] Ettlinger A D, Meinert L D, Ray G E. Gold Skarn Mineralization and Fluid Evolution in the Nickel Plate Deposit, British Columbia[J]. Economic Geology, 1992, 87(6): 1541-1565.
- [49] 蒋喜桥, 周 涛. 湖南省桂阳县黄沙坪铅锌多金属矿床综合模型[J]. 山西建筑, 2008, 34(2): 117-118.
- [50] 俞惠隆. 湖北凤梨山铅锌矿床的闪锌矿标型特征及其成因探讨[J]. 矿物岩石, 1990, 10(1): 28-34.
- [51] 杨树亮. 福建省铅锌矿床地质特征及其成因探讨[J]. 现代商贸工业, 2008, 20(6): 94-95.
- [52] Essaifi A, Hibti M. The Hydrothermal System of Central Jebilet (Variscan Belt, Morocco): a Genetic Association Between Bimodal Plutonism and Massive Sulphide Deposits?[J]. Journal of African Earth Sciences, 2008, 50(2/3): 188-203.
- [53] 卢树东, 汪石林, 高文亮, 等. 江西德安黄金洼锡矿地质特征及控矿因素[J]. 地球科学与环境学报, 2006, 28(1): 17-23.
- [54] 张德全. 敖瑙达巴斑岩型锡多金属矿床地质特征[J]. 矿床地质, 1993, 12(1): 10-19.
- [55] 李景略. 梁河来利山锡矿床地质特征及其成因[J]. 云南地质, 1984, 3(1): 47-58.
- [56] 吴之良, 梁树钊, 李中庆. 粤西银岩锡矿的含矿斑岩特征[J]. 中国地质, 1983(7): 22-24.
- [57] Gemmell B J, Zantop H, Meinert L D. Genesis of the Aguilar Zinc-lead-silver Deposit, Argentina: Contact Metasomatic Vs. Sedimentary Exhalative[J]. Economic Geology, 1992, 87(8): 2085-2112.
- [58] 张汉友. 安徽某地伟晶岩稀有元素矿物的初步研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1987(3): 157-158.
- [59] 张映红, 朱筱敏, 吴小洲, 等. 侵入岩及其外变质带岩相与储集层模型[J]. 石油勘探与开发, 2000, 27(2): 22-26.
- [60] 胡承绮, 王宗学. 云南老厂银铅锌矿区围岩蚀变特征[J]. 桂林冶金地质学院学报, 1991, 11(4): 396-403.
- [61] 张成华, 纪国栋. 川西地区钨矿地质特征及找矿方向[J]. 地质与勘探, 1983(9): 15-20.
- [62] 余海平, 方敬文, 陈晓鸿. 广东惠阳新塘钨锡异常的地球化学特征及找矿意义[J]. 西部探矿工程, 2006(9): 120-121.
- [63] 陈耿炎. 香炉山隐伏白钨矿床地质特征及成因探讨[J]. 地质与勘探, 1990, 26(6): 15-20.
- [64] 张传荫, 叶茂华. 从化市某铜钼矿床围岩蚀变特征与矿化关系[J]. 广东地质, 2008, 23(1): 65-68.
- [65] 张照伟, 赵东宏, 李文渊, 等. 陕西省洛南县莲花沟钼矿地质特征及找矿标志[J]. 西北地质, 2008, 41(1): 74-80.
- [66] 王登红. 广西大厂层状超大型锡多金属矿床与层状花岗岩的特征、成因及成矿历史演化——兼论硅质页岩的成因[D]. 北京: 中国地质科学院, 1992.
- [67] 王登红, 陈毓川, 陈 文, 等. 广西南丹大厂超大型锡多金属矿床的成矿时代[J]. 地质学报, 2004, 78(1): 132-138.