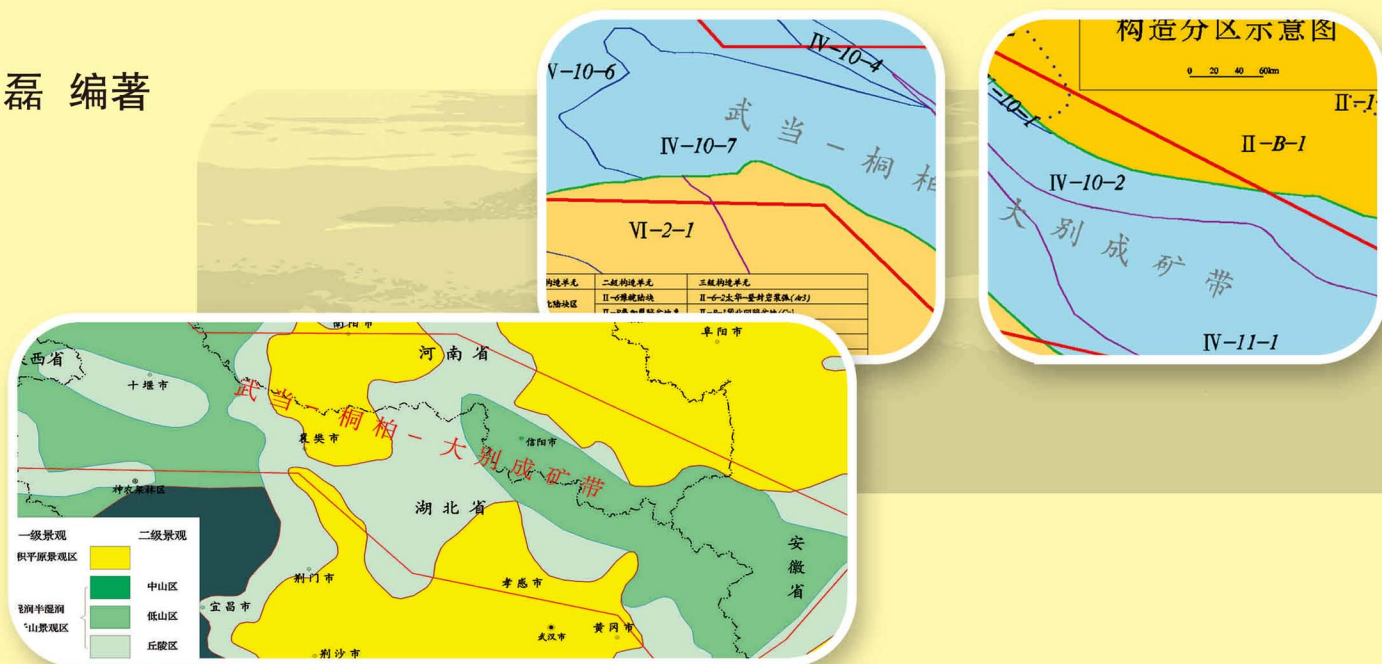
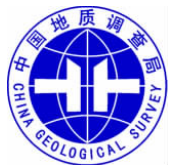




**WUDANG-TONGBAI-DABIE
CHENGKUANGDAI DIQIU HUAXUE TUJI**

陈希清 杨晓君 彭三国 雷天赐 刘 磊 编著





中国地质调查“1212011120956、1212011220515”项目资助

武当-桐柏-大别成矿带地球化学图集

WUDANG-TONGBAI-DABIE CHENGKUANGDAI DIQIU HUAXUE TUJI

陈希清 杨晓君 彭三国 雷天赐 刘 磊 编著



中国地质大学出版社
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE

图书在版编目(CIP)数据

武当-桐柏-大别成矿带地球化学图集/陈希清,杨晓君,彭三国,雷天赐,刘磊编著. —武汉:中国地质大学出版社,2015. 5
ISBN 978-7-5625-3650-5

- I. ①武…
- II. ①陈…②杨…③彭…④雷…⑤刘…
- III. ①地球化学勘探-地球化学填图-中国
- IV. ①P632

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 106547 号

武当-桐柏-大别成矿带地球化学图集		陈希清 杨晓君 彭三国 雷天赐 刘 磊 编著	
责任编辑:王凤林		选题策划:张晓红	
出版发行:中国地质大学出版社(武汉市洪山区鲁磨路 388 号)		责任校对:戴 莹	
电 话:(027)67883511		邮政编码:430074	
传 真:67883580		E-mail:cbb @ cug. edu. cn	
经 销:全国新华书店		http://www. cugp. cug. edu. cn	
开本:787 毫米×1 092 毫米 1/8		字数:305 千字 印张:9	
版次:2015 年 5 月第 1 版		印次:2015 年 5 月第 1 次印刷	
印刷:武汉中远印务有限公司		印数:1—500 册	
ISBN 978-7-5625-3650-5		定价:138. 00 元	
如有印装质量问题请与印刷厂联系调换			

前 言

武当—桐柏—大别地区地处我国中部,夹持于华北和扬子地块之间,是秦岭复合造山带的东延部分。区内已探明银洞沟银金多金属矿、黑龙潭金矿、白云金矿、庙垭铌—稀土矿、大阜山金红石矿、广水重稀土矿、高桥锑矿、黄麦岭磷矿、盛家滩石膏矿、应城盐矿,银洞坡金银矿、破山银矿、老湾金矿、刘山岩铜锌矿,东溪金矿等大中型矿床。近年来又相继发现了沙坪沟钼矿、鲜花岭铅锌矿,汤家坪钼矿、千鹤冲钼矿、周庵铜镍矿等一批大中型矿床。老湾金矿、银洞坡金银矿、竹山银洞沟金银矿等深部及外围找矿也取得了重要进展。这些重大找矿成果表明该区蕴藏着巨大的资源潜力。

中国地质调查局在充分分析武当—桐柏—大别地区地质工作程度、成矿条件和找矿潜力的基础上,于2012年7月将其列为第20个国家级成矿带。2013年,中国地质调查局地质矿产调查评价专项启动了“武当-桐柏-大别成矿带地质矿产调查”计划项目,使该区地质找矿工作进入了一个新的阶段(彭三国等,2012、2013)。

武当-桐柏-大别成矿带区域是中国中部的一个重要地质与成矿单元,历来为地质学家所重视,地质工作历史悠久。早在20世纪二三十年代就有先辈在本区开展地质考察、找矿与科学研究工作。新中国成立后,区域地质调查、物探、化探、遥感、矿产勘查和综合研究等工作逐步展开,取得了丰硕的地质与找矿成果,积累了较丰富的地质、矿产勘查等资料,是国内基础地质工作程度相对较高的地区之一。大别造山带中以含柯石英、微粒金刚石的榴辉岩为标志的超高压变质带的确定,使之成为全球超高压变质带研究的热点地区。

为配合成矿带地质矿产调查工作的规划部署和找矿勘查工作,中国地质调查局在该区部署了“区域化探方法技术与成果集成(武汉地调中心)”项目(编号:1212011120956,系矿产资源评价计划项目“成矿带区域地球化学调查示范”下设工作项目),项目2013年度的一项重要工作任务就是编制武当-桐柏-大别成矿带地球化学图,系统研究主要成矿元素区域分布特征与分带规律,初步进行资源潜力地球化学评价。《武当-桐柏-大别成矿带地球化学图集》是项目组与“武当-桐柏-大别成矿带资源远景调查评价”(项目编号:1212011220515)项目组对区域地球化学数据(主要为1:20万区域化探数据)整理和编图方面的成果,现整理成册,作为武当-桐柏-大别成矿带地质工作的系列成果之一出版,供在本地区从事矿产普查、成矿远景区划、资源潜力预测、环境地质及其他相关领域研究工作的同仁参考。

目 录

一、自然地理概况 (1)

二、区域地质背景 (1)

 (一)地层 (1)

 (二)构造 (3)

 (三)岩浆岩 (3)

 (四)变质岩 (4)

三、区域地球化学 (4)

 (一)数据处理及编图方法过程 (4)

 (二)区域地球化学特征 (8)

主要参考文献 (21)

附 图 (22)

一、自然地理概况

武当-桐柏-大别成矿带横跨湖北、河南、安徽三省,行政区划涉及河南省南阳市、驻马店市、信阳市,湖北省十堰市、襄阳市、荆门市、随州市、孝感市、武汉市、黄冈市,安徽省六安市、安庆市等。地理坐标为东经 109°32′—117°00′,北纬 30°00′00″—33°15′00″。成矿带东西长约 700km,南北宽 120~210km,面积为 12.18×10⁴ km²。

成矿带所在地区交通方便,有成渝、汉丹、京广、京九、宁西等铁路线,京珠、沪蓉、沪陕、福银、大广、汉十、十安、随岳、南襄、武麻、武英等高速公路,106、107、109、312、316 国道等纵贯南北,横穿东西,还有连接省道、县、乡硬面公路及村村通道路,形成“棋盘格式”四通八达的交通网络(图 1)。



图 1 武当-桐柏-大别成矿带交通位置图

成矿带区域主体为湿润-半湿润低山区、丘陵区 and 冲积平原平原区(图 2),仅西北局部为中山山区。地貌总体为东西高、中部低的趋势,东西部为山区(武当山、大别山),中部为低山丘陵(桐柏山)和盆地(平罗盆地、吴城盆地、南阳盆地及江汉盆地),武当山、桐柏山、大别山脉为鄂、陕、豫、皖四省的自然分界线。海拔高程一般为 200~500m,西部最高峰武当山主峰天柱峰海拔 1 612m,东部最高峰为大别山的天堂寨海拔 1 729m。区内水系发育,平原区湖泊众多,汉水、淮河水系河流顺地势自北西向南东均汇入长江。区域属温带湿润季风气候,降雨充沛,四季分明。夏热冬寒,年平均气温 15.3℃,最低气温在 2 月份达-10~-16℃,最高气温在 8 月份可达 35~41℃,11 月至次年 3 月为霜冻期。年平均降水量为 500~2 000mm,主要集中在 7 月、8 月、9 月 3 个月。

区内农作物以水稻、小麦为主,经济作物有板栗、银杏、茶叶等。区内矿产资源丰富,但各地工业

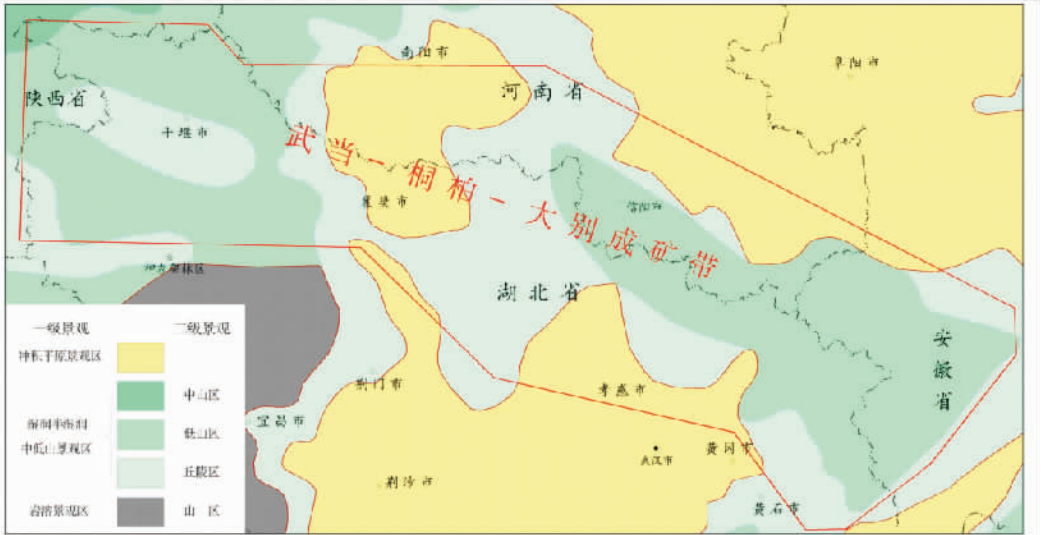


图 2 武当-桐柏-大别成矿带地球化学景观分区图

发展不平衡。中部桐柏—信阳—襄阳—随州—孝感地区工业建设条件较为优越,京广、京九、汉十铁路从区内穿过,电力通讯等基础设施齐全,资源勘查开发成本较低。目前,已形成了以金银多金属开发为龙头,以富铁、铜锌铅锌、钼等金属矿产及石油、天然气、天然碱、石膏、萤石、磷、矽线石、蓝晶石、钾长石矿、膨润土、石材等非金属矿产为两翼的矿产资源产业格局。工矿业迅速崛起有力地促进了地区经济的发展,是我国“中部崛起”的重要战略支点。

二、区域地质背景

武当-桐柏-大别成矿带夹持于华北和扬子地块之间,南以青峰-襄樊-广济断裂为界,北至确山-合肥断裂,西起湖北省和陕西省省界,东到郟庐断裂(图 3)。

(一)地层

区内地层归属华北、秦岭-大别山和扬子 3 个地层区。主体秦岭-大别山地层区可进一步细分为 6 个地层分区,12 个地层小区(图 4)(彭三国等,2013)。

1. 华北地层区(Ⅰ)

确山-合肥断裂(F₁)以北属于华北地层区(Ⅰ),仅出露属豫陕地层分区华熊地层小区的很小部分(Ⅰ₁)。基底由太古宇中深变质岩系太华岩群构成,主要岩性为黑云斜长片麻岩、斜长角闪片麻岩、变粒岩、含石墨片麻岩夹大理岩及沉积变质型磁铁矿层。上覆地层为中元古界熊耳群浅变质中基性夹酸性火山岩系,官道口群浅变质碎屑岩-碳酸盐岩系,新元古界崇川群浅变质碳酸岩夹酸性火山岩系,下古生界碎屑岩-碳酸盐岩系,局部断陷盆地见有白垩系碎屑岩。

2. 秦岭-大别山地层区(Ⅱ)

秦岭-大别山地层区(Ⅱ)位于确山-合肥断裂(F₁)与青峰-襄樊-广济断裂(F₂)间。桐柏-磨子潭

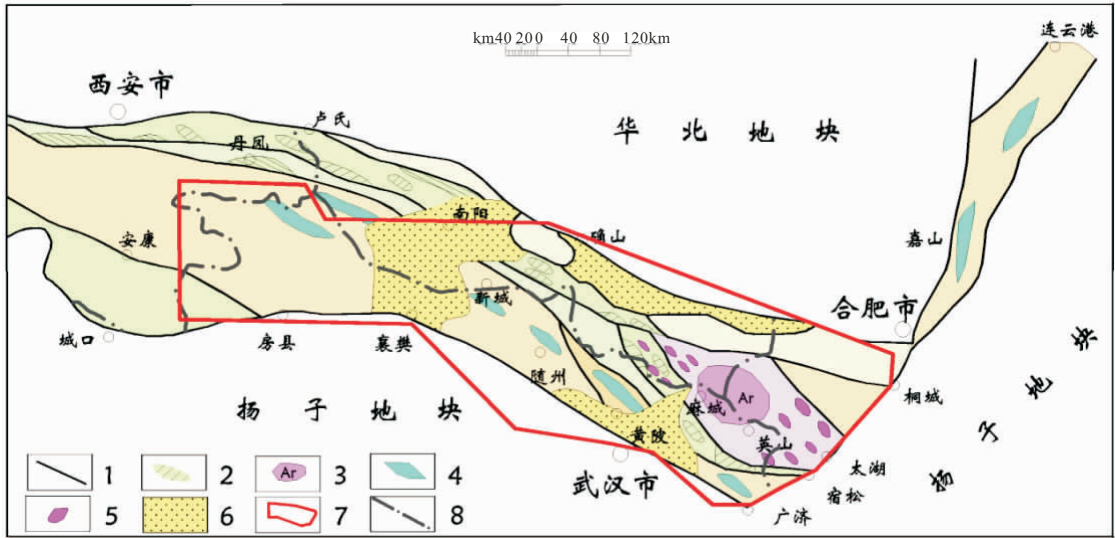


图3 武当-桐柏-大别成矿带大地构造略图

1. 断裂;2. 蛇绿岩;3. 太古代陆核;4. 蓝片岩;5. 榴辉岩;6. 第四系;7. 成矿带范围;8. 省界

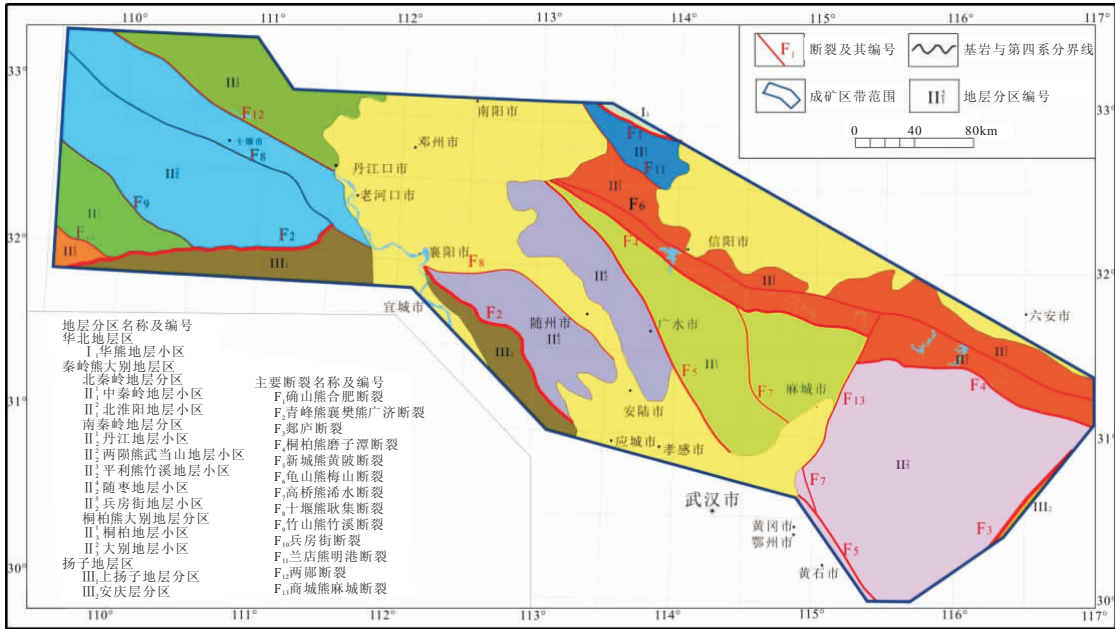


图4 武当-桐柏-大别成矿带地层分区图

断裂(F₄)以北至确山-合肥断裂(F₁)之间属北秦岭地层分区(Ⅱ₁),桐柏-磨子潭断裂(F₄)以南至新城-黄陂断裂(F₅)之间为桐柏-大别地层分区(Ⅲ₃),新城-黄陂断裂(F₅)以南至青峰-襄樊-广济断裂(F₂)之间属南秦岭地层分区(Ⅱ₂)。该地层区可细分为9个地层小区。

(1)北秦岭地层分区中秦岭地层小区(Ⅱ₁₁):以兰店-明港断裂(F₁₁)、确山-合肥断裂(F₁)为南北边界,呈扁豆状近东西向分布,属夹持于两大断裂之间的一个长期隆升区,构造及岩浆岩活动强烈,多期褶皱和断裂构造发育,基本没有完整分布的地层,多呈一些堆叠的构造地层岩片。北部古元古界秦岭岩群为一套中深变质的碎屑岩-火山岩-含石墨碳酸盐岩岩系,中-新元古界峡河岩群为一套中浅变质的碎屑岩-碳酸盐岩-火山岩岩系,下古生界子母沟组为碳酸盐岩岩系。中部为北西向西窄条状分布的晚白垩世断陷盆地(西峡盆地)红色碎屑沉积岩岩系。南部古元古界陡岭岩群为中深变质碎屑岩-火山岩-含石墨碳酸岩岩系,中-新元古界龟山岩组为中浅变质的碎屑岩夹碳酸盐岩及火山岩岩系,下古生界周进沟组为浅变质碎屑岩夹碳酸岩岩系,上古生界南湾组为浅变质碎屑岩夹碳酸盐岩岩系。

(2)北秦岭北淮阳地层小区(Ⅱ₁₂):北界为兰店-明港断裂(F₁₁),南界为桐柏-磨子潭断裂(F₄)。第四系广布,基岩出露在光山-商城一带。地层为中元古界龟山岩组中浅变质碎屑岩-火山岩岩系,古生界寒武系-志留系中浅变质基性火山岩、碎屑岩夹碳酸岩岩系,泥盆系中浅变质碎屑岩岩系,石炭系含碳质泥质碎屑岩岩系。其上不整合覆盖中生界侏罗系碎屑岩岩系,白垩系中酸性火山岩-碎屑岩岩系。

(3)南秦岭地层分区丹江地层小区(Ⅱ₂₁):位于鄂、豫、陕接壤的丹江、淅川、山阳地区,南界以两郧断裂(F₁₂)为界。从老到新地层为青白口系武当岩群浅变质碎屑岩岩系,南华系耀岭河群浅变质碎屑岩-基性火山岩岩系,震旦系浅变质碎屑泥质岩-碳酸盐岩岩系,下古生界寒武系-奥陶系-志留系硅质碳质岩-碎屑泥质岩-碳酸盐岩岩系,上古生界泥盆系-石炭系碎屑岩-碳酸盐岩-泥质粉砂岩岩系。新生代断陷盆地充填型红色碎屑岩-泥质岩岩系。

(4)南秦岭地层分区两陨-武当山地层小区(Ⅱ₂₂):北缘与丹江地层小区逐渐过渡,南界为竹山-竹溪断裂(F₉)。东部武当隆升区出露地层为新元古界青白口系武当岩群浅变质沉积-火山碎屑岩岩系。其上覆地层有新元古界南华系耀岭河群浅变质基性火山岩,震旦系浅变质碎屑泥质岩-碳酸盐岩岩系,下古生界寒武系-奥陶系-志留系硅质碳质碎屑岩-碳酸盐岩岩系,上古生界泥盆系-石炭系-二叠系碎屑岩-含生物化石碳酸盐岩岩系。新生代盆地中堆积了红色碎屑岩-泥质岩(夹石灰岩)岩系。

(5)南秦岭地层分区平利-竹溪地层小区(Ⅱ₂₃):北界为竹山-竹溪断裂(F₉),西南界为兵房街断裂(F₁₀),东南界为青峰-襄樊-广济断裂(F₂)。出露地层有新元古界南华系耀岭河群浅变质基性火山岩岩系,震旦系浅变质碳质泥质硅质岩-碳酸盐岩岩系,下古生界寒武系-下奥陶统浅变质暗色碳质、硅质、泥质岩岩系,志留系浅变质碳质、硅质、泥砂质岩夹基性、碱性火山岩系。

(6)南秦岭地层分区随枣地层小区(Ⅱ₂₄):北东界为新城-黄陂断裂(F₅),东南界为青峰-襄樊-广济断裂(F₂)。出露最老地层为新元古界武当(随县)岩群浅变质沉积-火山碎屑岩岩系。其上不整合覆盖新元古界南华系耀岭河群浅变质基性火山岩岩系,震旦系浅变质泥质碎屑岩-碳酸盐岩岩系,下古生界寒武系-奥陶系-志留系浅变质硅质岩-碎屑岩-基性火山岩系,上古生界泥盆系浅变质碎屑岩岩系。在中新生代盆地充填有红色碎屑岩-泥质岩岩系。本小区缺失石炭纪、二叠纪、三叠纪及早白垩世地层。

(7)兵房街地层小区(Ⅱ₂₅):北界为兵房街断裂(F₁₀),南界为青峰-襄樊-广济断裂(F₂)。南华纪、震旦纪地层与两陨-武当山小区基本一致,寒武系为碳质泥质粉砂质板岩、碳质板岩、硅质板岩、含碳细晶灰岩、泥质灰岩为主。

(8)桐柏-大别地层分区桐柏地层小区(Ⅲ₃₁):呈三角形,其北东界为桐柏-磨子潭断裂(F₄),西南

界为新城-黄陂断裂(F₅)，东界为商城-麻城断裂(F₁₃)。最老构造层位于北西部的桐柏山地区,为新太古界—古元古界桐柏岩群深变质岩岩系,主要岩性为黑云斜长片麻岩、斜长角闪岩夹大理岩,总体属层状无序地层;上覆岩系主要分布在东南部大悟—黄陂等地区,包括新元古界青白口系(武当岩群)的中、浅变质碎屑岩—火山岩岩系,已变质为白云钠长片麻岩、浅粒岩、绿帘绿泥石英片岩等,以及上覆的震旦系中浅变质碎屑岩—碳酸盐岩岩系,下古生界中浅变质碎屑岩—火山岩岩系。在中—新生代断陷盆地充填有红色碎屑岩—泥质岩岩系。

(9)桐柏-大别地层分区大别地层小区(Ⅱ₃²):西以商城-麻城断裂(F₁₃)为界,北界为桐柏-磨子潭断裂(F₄),东南界为郟庐断裂(F₃),南与扬子地层以青峰-襄樊-广济断裂(F₂)为界。出露本区最老的深变质岩系为变花岗岩-绿岩-碎屑岩序列。太古宇—古元古界大别山岩群,由一套深变质的表壳岩系组成,属层状无序地层,主要岩性为黑云斜长片麻岩、变粒岩、含石墨片麻岩、斜长角闪岩夹大理岩、磁铁石英岩等。其上覆岩系为中元古界中深变质岩片麻岩系,主要岩性为二云(黑云母、白云母)斜长片麻岩、二云钠长片麻岩、变粒岩、斜长角闪岩、二云石英片岩等。再上不整合覆盖有新元古界青白口系—志留系“红安群”浅—中变质沉积-火山碎屑岩系,主要岩性有白云钠长石英片岩、浅粒岩、绿帘绿泥钠长片岩及变粒岩等。在复向斜槽部分布有新元古界震旦系浅变质碎屑岩—碳酸盐岩岩系。

3. 扬子地层区(Ⅲ)

分布于青峰-襄樊-广济断裂(F₂)以南,郟庐断裂为东,划分为 2 个地层分区。

(1)扬子地层区上扬子地层分区(Ⅲ₁):分布于青峰-襄樊-广济断裂(F₂)以南,郟庐断裂以西。主要出露南华纪以来的沉积盖层。早南华世沉积了以陆相为主的碎屑岩建造,晚南华世覆盖大陆冰川沉积物。早震旦世至奥陶纪均为以碳酸盐岩建造为主夹泥质岩建造。志留纪以海相泥岩-碎屑岩建造为主,上部夹泥质碳酸盐岩建造,晚志留世地层被剥蚀,早泥盆世无沉积物。中-晚泥盆世海相碎屑岩和泥质岩建造。石炭纪至三叠纪规模较大的陆表海环境,以碳酸盐岩建造为主夹含煤建造及泥质岩-硅质岩建造。

(2)扬子地层区安庆地层分区(Ⅲ₂):分布于郟庐断裂以东地区,本成矿带涉及很少。前白垩纪地层组合总特征与上扬子地层分区近似,差异在中寒武统覃家庙组(薄层白云岩夹页岩)及中奥陶统庙坡组(黑灰色页岩)不发育;志留系及下二叠统孤峰组(黑色薄层硅质页岩、硅质岩)、下二叠统含煤建造(麻土坡煤组),上二叠统大隆组深灰色薄层碳质硅质岩及硅质页岩则发育较好。侏罗纪末期及白垩纪发生的燕山运动对本分区影响较大,地壳活动趋于活跃,褶皱造山与中酸性岩浆强烈侵位。

(二)构造

据中国大地构造单元划分(潘桂棠等,2009),武当-桐柏-大别成矿带构造单元划分见图 5 和表 1 所示。成矿带地跨华北陆块区、秦祁昆造山系、扬子陆块区 3 个一级构造单元,主体由秦岭弧盆系(Ⅳ-10)的宽坪弧后盆地(Ⅳ-10-1)、北秦岭(二郎坪)岩浆弧(Ⅳ-10-2)、中秦岭陆缘盆地(Ⅳ-10-4)、西倾山-南秦岭陆缘裂谷带(Ⅳ-10-6)、武当陆缘裂谷(Ⅳ-10-7)和大别-苏鲁地块(Ⅳ-11)的大别高压—超高压变质岩系折返带(Ⅳ-11-1)构成。各单元详细构造特征此处不详述。

(三)岩浆岩

区内岩浆活动频繁,岩石类型多样,按时代岩性分述如下。

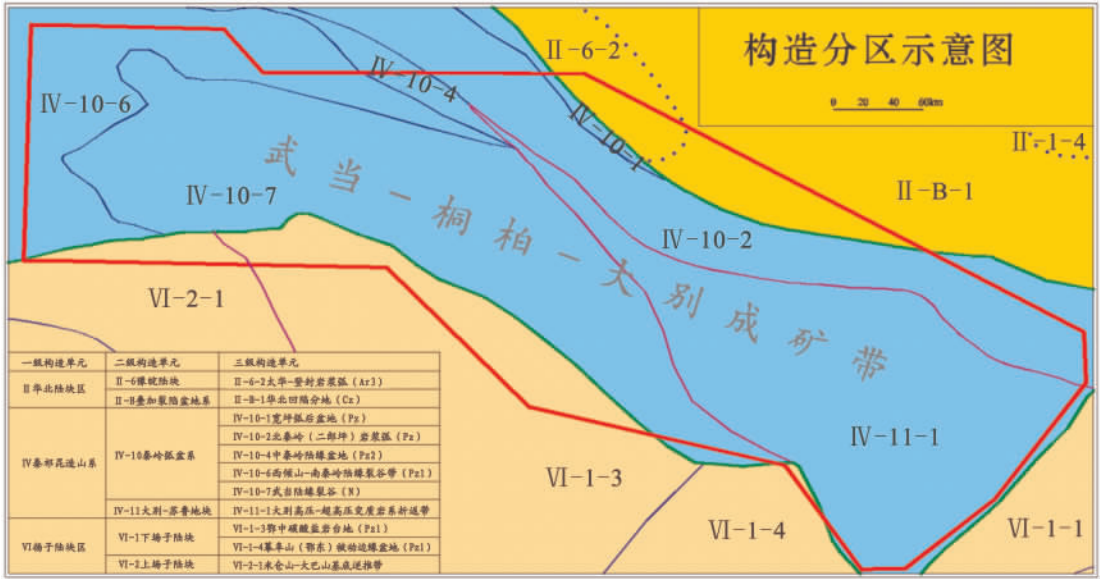


图 5 武当-桐柏-大别成矿带构造分区图
(据潘桂棠等,2009)

表 1 武当-桐柏-大别成矿带大地构造单元划分表

一级构造单元	二级构造单元	三级构造单元
Ⅱ 华北陆块区	Ⅱ-6 豫皖陆块	Ⅱ-6-2 太华-登封岩浆弧
	Ⅱ-B 叠加裂陷盆地系	Ⅱ-B-1 华北凹陷盆地
Ⅳ 秦祁昆造山系	Ⅳ-10 秦岭弧盆系	Ⅳ-10-1 宽坪弧后盆地
		Ⅳ-10-2 北秦岭(二郎坪)岩浆弧
		Ⅳ-10-4 中秦岭陆缘盆地
		Ⅳ-10-6 西倾山-南秦岭陆缘裂谷带
		Ⅳ-10-7 武当陆缘裂谷
	Ⅳ-11 大别-苏鲁地块	Ⅳ-11-1 大别高压—超高压变质岩系折返带
Ⅵ 扬子陆块区	Ⅵ-1 下扬子陆块	Ⅵ-1-1 下扬子(苏皖)前陆盆地
		Ⅵ-1-3 鄂中碳酸盐岩台地
		Ⅵ-1-4 幕阜山(鄂东)被动边缘盆地
	Ⅵ-2 上扬子陆块	Ⅵ-2-1 米仓山-大巴山基底逆推带

(1)新元古代岩浆岩。

新元古代时期岩浆岩(年龄大概在 813～611Ma)全区均有分布(彭三国等,2013),以武当地区最为突出,岩石为过铝质岩石,基性岩和酸性居多,中性岩类较少。大别地区为中—高钾系列,主要为辉长闪长岩、花岗岩,也属于过铝质岩石。桐柏地区为中—低钾系列的中—基岩,为准铝质岩石。

(2)古生代岩浆岩。

古生代的岩浆岩(集中于 507～399Ma),主要分布在商丹断裂以北的北秦岭和大别的部分地区(407～406Ma),突出表现出平行展布的两个岩浆岩带的特点。北部岩浆带:主要有马嘜岩体、黄冈岩体、黄家湾岩体、铁佛寺岩体、桃园岩体等,主要岩性为花岗闪长岩、石英二长岩,年龄为 460～436Ma(马昌前等,2004);南部岩浆带:主要发育双峰式岩浆岩,分布在竹溪—房县及随南一带,主要为碱性系列的正长岩及镁铁质岩(马昌前等,2005)。

古生代火山岩规模很小,以基性火山岩为主,主要分布在大别造山带西部。在平利和湖北竹溪等地的早古生代地层中也发育一套超镁铁质—镁铁质岩脉和碱性火山杂岩。

(3)中生代岩浆岩。

可分为三叠纪岩浆岩和早白垩世—晚侏罗世岩浆岩。三叠纪的岩浆岩主要分布在小秦岭—安康以西,小安线以东三叠纪的岩浆岩罕见。岩石类型主要为花岗岩,共同特点为高钾系列,过铝质,年龄范围大概为 227～200Ma。早白垩世—晚侏罗世岩浆岩在大别地区分布很广,与成矿关系密切。主要岩石类型有花岗岩类,正长岩类及少量基性岩类,年龄集中在 145～110Ma,有钾玄岩和高钾两个系列岩石类型。岩石基本都属于过铝质岩石,亚碱性—碱性岩石系列。

中生代火山岩主要分布在大别山北淮阳构造带(如晓天盆地、信阳盆地等),大别山核部的岳西地区发现中生代桃园寨火山岩。

(四)变质岩

成矿带中各个地块变质作用各具特色,据变质程度的不同,可分为武当-随州中低级变质带、桐柏-北淮阳变质复理石带和大别山变质带。

(1)武当-随州中—低级变质带,主要包括武当岩群、耀岭河群和随县群,其岩性、岩相和变质程度一致,均达到绿片岩相。武当岩群为一套变质火山-沉积岩系,变质含砾酸性火山岩和变质碎屑岩反复交替出现,岩性为含砾、屑变粒岩、浅粒岩、白云石英片岩和含石榴绢云片岩、变凝灰质砂岩夹碳质、磷质、钙质条带。耀岭河群夹持于武当岩群与扬子地块碳酸盐岩盖层之间,上、下接触关系均为滑脱面。岩性比较单一,为一套富钠的变质基性火山岩,主要是绢云绿泥片岩、绿帘绿泥片岩、绿帘阳起片岩,局部夹大理岩、石英片岩等。随县群位于桐柏山造山带南缘的低温-高压变质带,主要由新元古代的变质双峰式火山岩、变沉积岩(随县群)和大量的(变)超镁铁质-镁铁质岩床(墙)群构成。上部的岩性是变基性火山岩,中部是含砾、晶屑变酸性火山岩;下部是变沉积碎屑岩和变凝灰质砂岩(苏春乾等,2006)。

(2)北淮阳变质复理石带,包括安徽境内的卢镇关群、佛子岭群、梅山群和河南境内的信阳群(南湾组和龟山组)。佛子岭群由一套变质砂岩、板岩和千枚岩组成。梅山群为一套含煤的浅变质岩系,下部为千枚岩、板岩、云母片岩和变质砂岩,上部为石英岩、石英片岩、角闪片岩、绿泥片岩、变质砂岩、千枚岩或含煤夹层。底部的卢镇关群主要由花岗岩片麻岩、(变)辉长岩及少量斜长角闪岩组成(徐树桐等,1994、1992;Hacker et al,2000;吴元保等,2004;谢智等,2002)。

(3)桐柏-大别山中—高级变质带,可分为桐柏变质带和大别山变质带。

桐柏变质带被一系列近北西-南东方向的韧性剪切带分割,南北成带的格局明显(娄玉行等,2005)。按照主要矿物组合和岩石构造,从北到南可划分为南湾复理石变质带(属北淮阳变质复理石带)、构造混杂岩带、北部高压榴辉岩带、中部(桐柏山)高级变质杂岩带、南部高压榴辉岩带和蓝片岩-绿片岩带(属南秦岭随州变质带)(Liu et al,2004)。

大别山变质带是三叠纪扬子陆块与华北陆块之间的大陆碰撞型造山带,分为 9 个岩石-构造单位,由北向南依次为:①后陆盆地(HB,属北淮阳);②变质复理石(MF,属北淮阳);③条带状片麻岩-超镁铁岩组合(TG);④与陆壳有关的榴辉岩带(ECL2);⑤与洋壳有关的榴辉岩带(ECL1);⑥大别杂岩(DB);⑦木兰山变火山岩(ML);⑧宿松群和张八岭群(SS);⑨前陆带(FB,属扬子地块)。

三、区域地球化学

区内 1：20 万区域地球化学勘查始于 1978 年,至 1997 年全部结束,历时近 20 年,方法以 1：20 万水系沉积物测量为主,局部辅以 1：20 万土壤地球化学测量,覆盖了除南襄盆地平原区以外的全区,获得了系统、规范、多参数(39 种元素和氧化物)的地球化学数据。“区域化探方法技术与成果集成(武汉地调中心)”项目组对武当-桐柏-大别成矿带 1：20 万区域化探数据进行了系统的再整理,进行了多项统计分析和研究,编制了以成矿带为单元的系列地球化学图件。

(一)数据处理及编图方法过程

地球化学数据整理及编图的具体工作流程见图 6。

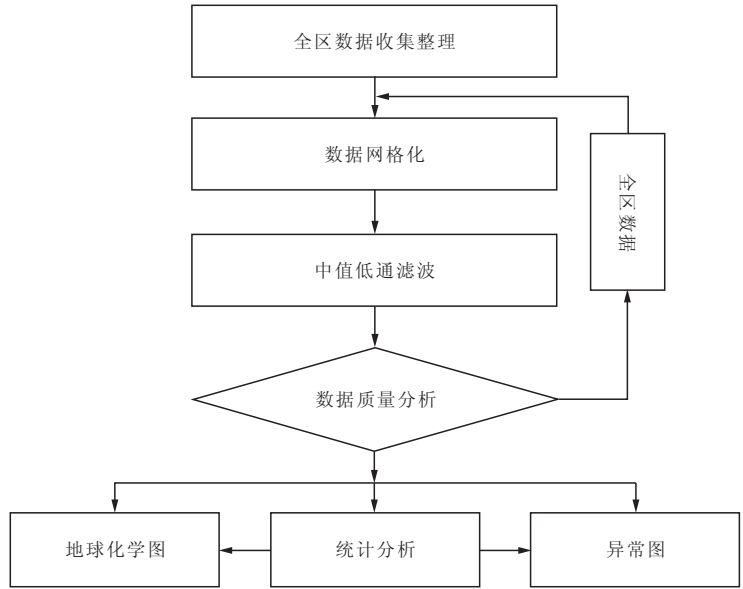


图 6 地球化学数据处理流程图

(1)数据收集引用范围。

武当-桐柏-大别成矿带除江汉平原、南阳盆地等第四系厚覆盖区外,均已开展 1：20 万水系沉积物测量,实际控制面积达 $9.74\times 10^4\text{km}^2$,约占成矿带总面积($12.18\times 10^4\text{km}^2$)的 80％(图 7)。主要涉及湖北、河南、安徽、陕西四省内的 29 个 1：20 万图幅,共有组合样点分析数据 26 163 个,为更好地了解成矿带及其外围地球化学场的变化情况,此次编图时以成矿带边界为准向外围扩展 50km,作为此次地球化学图的编图范围,成图后裁切,实际引用数据 38 922 个,详见表 2。

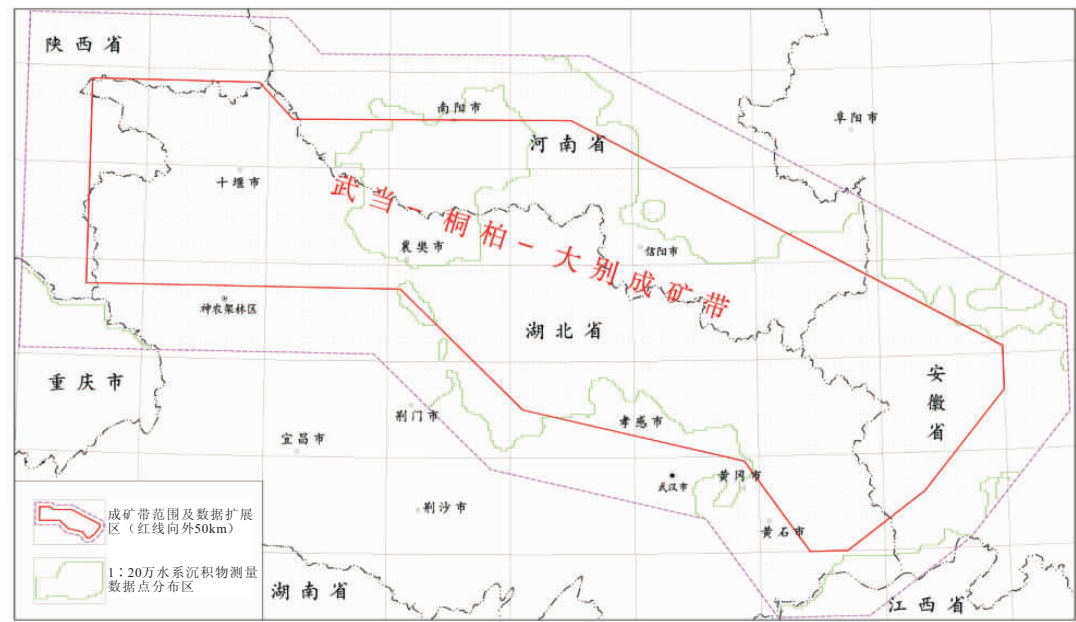


图 7 武当-桐柏-大别成矿带 1：20 万水系沉积物测量图幅及数据点分布图

表 2 武当-桐柏-大别成矿带 1：20 万数据情况汇总表

省区	成矿带面积(km ²)		成矿带内数据点数				成图扩边后数据点数	
	总面积	数据点	省内	省外	小计	比例(%)	省内	比例(%)
湖北	72 179	62 420	15 605	644	16 249	62. 11	20 528	52. 74
河南	30 585	16 116	4 029	215	4 244	16. 22	6 933	17. 81
安徽	15 458	15 328	3 832	334	4 166	15. 92	6 283	16. 14
陕西	3 553	3 548	887	617	1 504	5. 75	5 178	13. 30
合计	121 774	97 412	24 353	1 810	26 163	100. 00	38 922	100. 00

注:省外部分数据系指各省实际工作中向周边省际线外扩展测量的数据点。

(2)成矿带地球化学图的编图比例尺为 1：50 万。数据网格化在 MapGIS6. 7 数字高程模型系统中完成,采用距离幂函数反比加权网格化方法,距离幂指数 2,所有元素数据网格化间距统一为 4mm×4mm,间距与 1：20 万化探组合样品点 2km×2km 的网度相当;网格化时数据处理搜索半径

为 10mm,相当于实际四个方向上的 5km 范围。

(3)空间滤波方能消除区域化探数据的偶然性变化等引起的离群值或背景不均匀性变化。中值滤波是基于排序统计理论的一种能有效抑制噪声的非线性数据处理技术,其基本原理是把数字图像或数字序列中一点的值用该点的一个邻域中各点值的中值代替,让其更加接近真实值,从而消除孤立的噪声点。本次成矿带地球化学编图,应用 MapGIS6. 7 高程库管理模块,对所有元素的原始数字高程模型进行了中值低通滤波的预处理,统计窗口为 3×3(6km×6km)。

(4)区域地球化学数据受地球化学景观、采样介质、分析手段的影响,不可避免地会产生系统误差,尤其是区域性的化探数据,由多家分析单位参与分析测试工作,这种误差往往更为突出。武当-桐柏-大别成矿带地处湖北、河南、安徽、陕西等省交界地带,武当山、桐柏山、大别山脉为四省的自然分界线,南北气候差异明显,高山、低山、丘陵和盆地地貌均有,地球化学景观多变。区内化探数据共涉及 29 个 1：20 万图幅,在进行正式的数据处理与地球化学图编制之前,有必要对各元素经滤波后的数字高程模型进行检查,对有明显系统误差的部分进行校正处理,使数据能更好地反映地质现象和矿产信息。

经多次反复检查并与成矿带区域地质矿产图对比研究,发现区内省际间部分元素分析数据系统误差明显,部分图幅的个别元素也存在含量偏差。

省际间系统误差校正:省际间系统误差产生的原因是多方面的,其最大可能是各省分析条件的不一致。省际系统误差的消除是在全面分析省际重复采样区内数据的基础上,以成矿带内面积最大的湖北省数据为基准,采用加減中值对数偏差的方法进行校正,校正参数见表 3。

表 3 武当-桐柏-大别成矿带 1：20 万数据省际间校正参数表

省际	河南—湖北			安徽—湖北			陕西—湖北		
重复点数	391			229			884		
参数	均值差	中值差	中值对数差	均值差	中值差	中值对数差	均值差	中值差	中值对数差
Ag	13. 23	12. 33	0. 10	50. 26	47. 00	0. 33	19. 34	40. 44	0. 20
As	1. 06	1. 10	0. 10	—0. 75	—0. 50	—0. 13	—1. 71	—2. 10	—0. 09
Au	—1. 77	—0. 40	—0. 12	—0. 23	—0. 30	—0. 12	—0. 18	0. 12	0. 04
B	1. 47	6. 80	0. 16	2. 14	4. 00	0. 48	—12. 00	—9. 00	—0. 07
Ba	—37. 95	27. 20	0. 01	—5. 06	—16. 00	—0. 01	—295. 22	—136. 00	—0. 11
Be	0. 07	—0. 20	—0. 03	—0. 57	—0. 60	—0. 12	0. 01	0. 00	0. 00
Bi	0. 09	0. 09	0. 15	0. 01	0. 01	0. 03	0. 09	0. 08	0. 11
Cd	—20. 39	—14. 00	—0. 06	—40. 96	—50. 00	—0. 18	—306. 22	—160. 00	—0. 56
Co	—0. 97	—0. 80	—0. 03	—0. 52	—0. 30	—0. 01	—2. 08	—1. 60	—0. 05
Cr	3. 40	3. 20	0. 03	—3. 42	—2. 40	—0. 02	—7. 42	—12. 00	—0. 07
Cu	0. 68	—0. 37	—0. 01	0. 98	0. 80	0. 01	—0. 44	2. 00	0. 03
F	—18. 48	2. 00	0. 00	—164. 95	—131. 00	—0. 10	—29. 91	—10. 00	—0. 01
Hg	1. 31	2. 00	0. 03	6. 99	6. 00	0. 11	6. 25	13. 20	0. 12
La	0. 78	0. 80	0. 01	8. 80	6. 30	0. 05	—2. 63	—2. 79	—0. 03

续表 3									
省际	河南—湖北			安徽—湖北			陕西—湖北		
重复点数	391			229			884		
参数	均值差	中值差	中值对数差	均值差	中值差	中值对数差	均值差	中值差	中值对数差
Li	0.19	0.90	0.02	-4.12	-3.90	-0.09	0.15	0.65	0.01
Mn	-3.15	-0.80	0.00	-45.96	-79.00	-0.04	-87.25	-57.00	-0.03
Mo	0.09	0.10	0.07	0.00	0.00	0.00	-0.44	-0.54	-0.40
Nb	0.10	-0.20	0.00	0.55	-0.10	0.00	-1.68	-0.20	0.00
Ni	-0.64	-1.10	-0.02	-1.46	-2.60	-0.04	-1.92	-1.00	-0.01
P	-39.01	-21.10	-0.02	-97.02	75.00	0.03	-19.18	26.00	0.02
Pb	1.35	0.20	0.00	-0.37	0.70	0.01	13.83	15.82	0.22
Sb	0.16	0.20	0.22	0.02	0.03	0.11	0.22	0.18	0.07
Sn	0.18	0.30	0.05	1.70	1.80	0.26	-0.16	0.20	0.03
Sr	-1.91	5.90	0.01	-2.70	0.80	0.00	-53.61	-44.00	-0.17
Th	1.48	1.30	0.05	0.33	-1.70	-0.06	-1.19	-1.50	-0.06
Ti	698.46	727.00	0.07	-58.70	-79.00	-0.01	-205.26	-37.00	0.00
U	0.45	0.37	0.07	0.06	-0.40	-0.10	-0.05	0.10	0.02
V	0.07	0.30	0.00	-4.13	-4.20	-0.02	-7.89	1.00	0.00
W	-0.08	-0.20	-0.06	-0.14	-0.10	-0.08	0.53	0.58	0.12
Y	1.13	0.90	0.02	-5.79	-6.00	-0.09	-3.15	-2.00	-0.03
Zn	6.19	8.60	0.06	4.06	3.00	0.01	1.05	8.00	0.03
Zr	16.07	-4.70	-0.01	-33.03	-3.10	0.00	-38.19	-23.00	-0.05
Al ₂ O ₃	-0.26	-0.08	0.00	0.04	-0.34	-0.01	0.35	0.33	0.01
CaO	-0.10	-0.04	-0.01	-0.23	-0.19	-0.03	-0.31	-0.11	-0.01
Fe ₂ O ₃	-0.04	-0.02	0.00	-0.47	-0.50	-0.04	0.30	0.31	0.03
K ₂ O	-0.16	-0.09	-0.02	0.03	0.00	0.00	0.03	-0.01	0.00
MgO	-0.02	0.01	0.00	-0.17	-0.20	-0.05	0.23	0.14	0.03
Na ₂ O	-0.52	-0.54	-0.09	0.15	0.26	0.03	0.00	-0.02	-0.01
SiO ₂	0.48	0.11	0.00	0.05	-0.01	0.00	1.25	0.40	0.00

注:单位(ω_B)Ag、Au、Cd、Hg 为 10^{-9} ,其他元素为 10^{-6} ,氧化物为%。

计算公式: $\lg X=\lg X_0-\Delta\lg C$

式中: X 为校正后数据; X_0 为原始数据; $\Delta\lg C$ 为省际间中值对数偏差(据省际间重复数据点统计后计算确定)。

经对数偏差法校正后所有元素的省际间系统误差均得到消除,图面上省间台阶基本消失,校正的效果较好,参见图 8~图 10,满足编图要求。

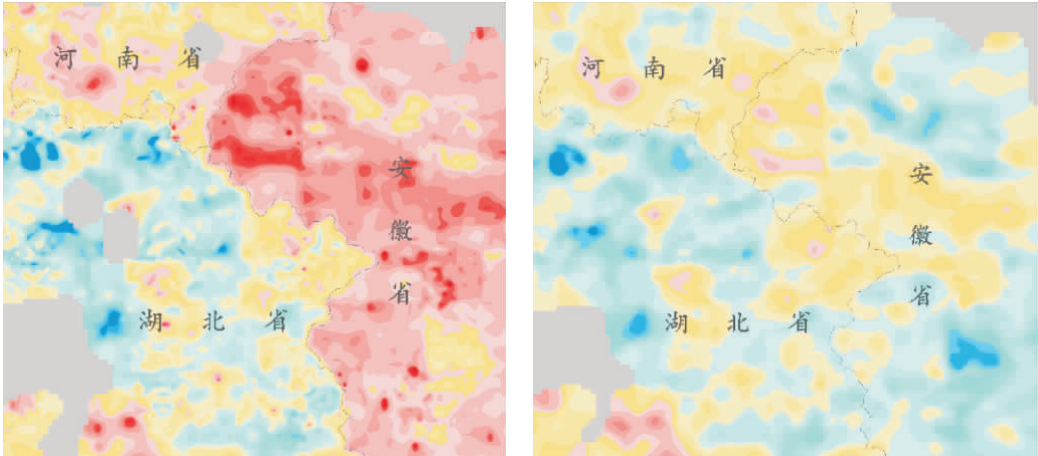


图 8 银省际间系统误差校正前后对比图

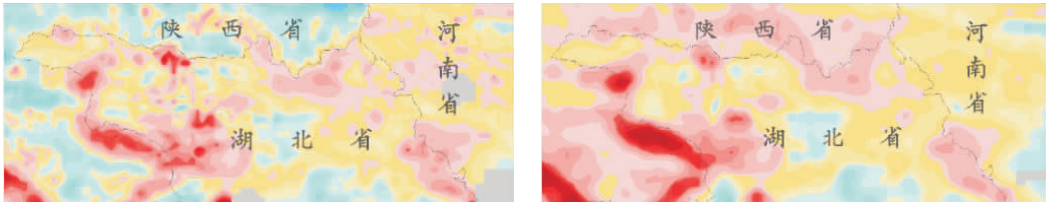


图 9 铅省际间系统误差校正前后对比图

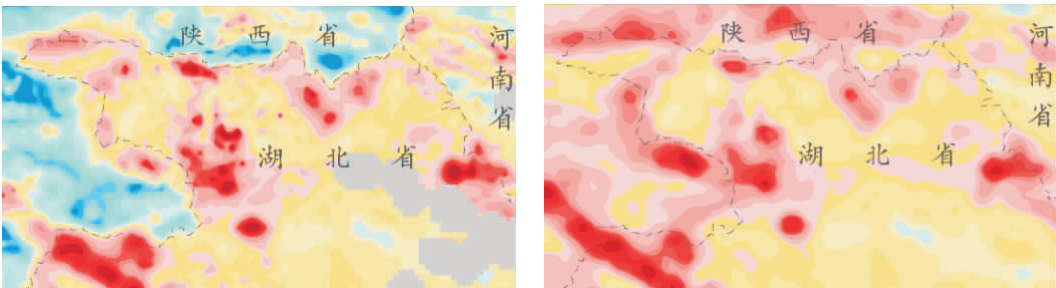


图 10 铜省际间系统误差校正前后对比图

部分图幅系统误差处理:在省际间数据校正基础上,经多次反复检查并结合成矿带区域地质矿产图、20 万接图表及自然地理(地球化学景观)对比研究,对在 1∶20 万图幅间有明显的系统分析误差的 Au、Bi、Mo、Y 4 个元素进行了部分图幅的数据校正处理。

计算方法 1: $V_{ai}=AV_i+B$

式中: V_{ai} 为校正后数据; A 为校正系数; V_i 为原始数据; B 为校正常数。

计算方法 2: $\lg X=\lg X_0-\Delta\lg C$

式中: X 为校正后数据; X_0 为原始数据; $\Delta\lg C$ 为图幅间中值对数偏差。

具体校正参数见表 4。

表 4 武当-桐柏-大别成矿带部分元素数据图幅间校正参数表

元素	图幅	问题区中值	外围区中值	校正参数			计算方法
				A	B	中值对数差 $\Delta\lg C$	
Bi	商县幅	0.43	0.28	1.5	-0.366		$V_{ai}=AV_i+B$
Au	罗田幅	0.9	1.2			-0.125	$\lg X=\lg X_0+\Delta\lg C$
Mo	六安幅	0.3	0.6			-0.30	
	蕲春-太湖幅局部	0.3	0.5			-0.22	
	太湖幅局部	0.4	0.5			-0.09	
Y	谷城西半幅	32.6	28			0.066	

图幅间系统误差校正前后地球化学图对比见图 11 所示。

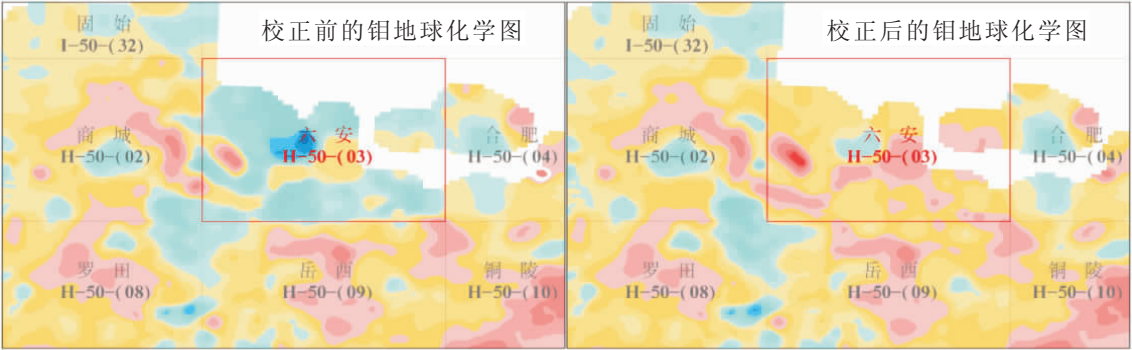


图 11 图幅间系统误差消除前后对比(钼地球化学图局部)

(5)成矿带内各元素特征值统计和直方图制作在数字地质填图系统(MeMapGIS2.0)中完成。地球化学特征参数分全区、不同地层岩浆岩单元、不同构造单元分别统计,包括样本数、简单算术平均数、加权算术平均数、几何平均数、中位数、众数(分布特征);最大值和最小值、极差、平均离差、离

差平方和、方差、标准差、变差系数(离散程度);偏度、峰度(分布形态)等。

统计单元划分:据成矿带内地层(岩浆岩)的出露情况,将区内地层单位归并为 28 个不同地层和岩浆岩单元(表 5);据中国大地构造单元划分(潘桂棠等,2009),武当-桐柏-大别成矿带分为 11 个三级构造单元,如图 5 所示,其主体由秦岭弧盆地(Ⅳ-10)的宽坪弧后盆地(Ⅳ-10-1)、北秦岭(二郎坪)岩浆弧(Ⅳ-10-2)、中秦岭陆缘盆地(Ⅳ-10-4)、西倾山-南秦岭陆缘裂谷带(Ⅳ-10-6)、武当陆缘裂谷(Ⅳ-10-7)和大别-苏鲁地块(Ⅳ-11)的大别高压-超高压变质岩系折返带(Ⅳ-11-1)构成。

表 5 武当-桐柏-大别成矿带地层统计单元表

序号	单元	序号	单元	序号	单元
1	全区	11	志留系	21	侏罗纪—白垩纪酸性岩
2	第四系	12	奥陶系	22	侏罗纪—白垩纪中性岩
3	新近系	13	寒武系	23	古生代中性岩浆岩
4	古近系	14	震旦系	24	古生代酸性岩浆岩
5	白垩系	15	新元古界	25	元古代基性岩浆岩
6	侏罗系	16	蓟县系	26	元古代酸性岩浆岩
7	三叠系	17	长城系	27	元古代花岗片麻岩
8	二叠系	18	中元古界	28	元古代闪长片麻岩
9	石炭系	19	古元古界		
10	泥盆系	20	新太古界		

全区统计样本以成矿带边线为准,分单元统计前,剔除靠近地层单元界线 2mm(1km)、构造单元界线 4mm(2km)的数据点,尽可能消除界线附近样点相互间的影响。

(6)各元素地球化学图应用 MapGIS6.7 完成。色阶划分采用累计频率分级,按频率(%)间隔 0.2、0.5、1.2、2、3、4.5、8、15、25、40、60、75、85、92、95.5、97、98、98.8、99.5、99.8、100 等分为 21 级,各级色标如图 12 所示。0.2%~3%的 5 级为低值区,4.5%~25%的 4 级为低背景区,40%~75%的 3 级为背景区,85%~97%的 4 级为高背景区,98%~100%的 5 级为高值区(向运川等,2010)。

累频	0.2	0.5	1.2	2	3	4.5	8	15	25	40	60	75	85	92	95.5	97	98	98.8	99.5	99.8	100
色区																					
区名	低 值 区					低 背 景 区				背 景 区			高 背 景 区			高 值 区					

图 12 地球化学图色区划分

(7)按成矿带内不同构造单元分别统计异常下限(表 6),以异常衬值圈定全区各元素及氧化物

的单元元素异常。选取地球化学性质相似、空间套合较好的一组元素叠加编制组合异常图。

表 6 武当-桐柏-大别成矿带主要成矿元素异常下限值表

	Ⅱ-6 -2	Ⅱ-B -1	Ⅳ-10 -1	Ⅳ-10 -2	Ⅳ-10 -4	Ⅳ-10 -6	Ⅳ-10 -7	Ⅳ-11 -1	Ⅵ-1 -3	Ⅵ-1 -4	Ⅵ-2 -1
Ag	63. 71	53. 88	67. 94	62. 55	56. 71	115. 17	73. 92	59. 11	92. 07	72. 45	153. 45
As	11. 61	9. 76	8. 53	12. 52	9. 81	16. 02	14. 30	5. 43	19. 17	8. 17	15. 39
Au	2. 81	2. 66	2. 59	3. 23	2. 43	2. 81	2. 69	2. 45	2. 15	2. 23	2. 12
Bi	0. 27	0. 26	0. 27	0. 31	0. 31	0. 41	0. 33	0. 23	0. 42	0. 23	0. 46
Cd	158. 39	79. 97	200. 07	179. 09	89. 07	501. 47	211. 48	226. 47	317. 05	119. 35	684. 84
Co	18. 48	14. 58	25. 39	21. 40	17. 88	21. 85	24. 39	23. 54	23. 31	21. 34	17. 20
Cr	80. 20	68. 56	100. 49	87. 94	75. 06	106. 56	103. 41	102. 47	93. 56	106. 43	92. 27
Cu	22. 84	20. 50	44. 14	31. 12	27. 88	42. 60	36. 15	36. 30	33. 83	36. 85	35. 48
Hg	26. 25	43. 28	26. 93	46. 07	29. 99	66. 58	57. 70	38. 51	81. 90	78. 45	113. 13
Mn	1064. 48	678. 61	1286. 53	1047. 05	782. 29	1146. 97	1084. 00	1037. 43	1148. 25	907. 27	948. 66
Mo	0. 95	0. 63	0. 81	1. 03	0. 65	2. 08	0. 95	1. 00	1. 56	0. 84	5. 96
Ni	35. 90	30. 35	49. 25	38. 78	41. 84	53. 78	47. 59	44. 10	47. 67	43. 76	51. 88
Pb	31. 17	22. 82	31. 31	35. 03	30. 72	32. 77	31. 52	32. 97	36. 65	28. 16	33. 87
Sb	0. 65	0. 62	0. 45	0. 66	0. 63	1. 48	1. 03	0. 34	1. 41	0. 42	1. 51
Sn	3. 31	3. 12	3. 57	3. 28	3. 01	3. 93	3. 61	3. 19	4. 08	3. 10	3. 31
W	3. 07	2. 49	3. 21	2. 99	2. 65	2. 44	2. 33	1. 75	2. 41	1. 39	1. 89
Zn	69. 10	51. 73	77. 53	81. 83	57. 82	147. 79	87. 20	117. 49	101. 02	81. 13	130. 64

注:构造单元名称见图 9;单位(ω_B)Ag、Au、Cd、Hg 为 10^{-9} ,其他元素为 10^{-6} 。

（二）区域地球化学特征

据胡云中等(2006 年)中国浅表地球化学场分区,武当-桐柏-大别成矿带主体位于秦岭-大别二级地球化学区(Ⅱ-6)东段,含秦岭和大别两个亚区。基本特征:①Cu 和铁族元素呈高背景分布,秦岭亚区 Au、Ag、Mo、As、Nb、F、Mg 等也呈高背景分布;②秦岭亚区除南秦岭锡、钨呈低背景分布外,其他元素几乎无低背景分布;③区域异常呈带状分布在深大断裂带上,其中秦岭亚区在整个造山带中异常元素组合复杂多样,异常强度高、规模大。

1. 元素总体分布特征

以武当-桐柏-大别成矿带内 26 000 余个水系沉积物测量数据点为基础进行统计,成矿带地球化学背景参数值(中位数、平均值、离差等)、中国水系沉积物中元素和氧化物背景数据和陆壳元素含量见表 7。

表 7 武当-桐柏-大别成矿带水系沉积物中 39 种元素背景特征值表

元素	武当-桐柏-大别成矿带(N=262 476)						全国值(任天祥等,1996)		陆壳元素 含量 (Wedepohl, 1995)
	中位数	平均值	离差	变异系数	剔除特异值后		中位数	算术均值	
					平均值	离差			
Ag	48. 50	55. 45	31. 03	0. 56	49. 29	13. 77	77. 00	93. 82	70. 00
As	6. 25	6. 97	4. 57	0. 66	6. 70	4. 03	10. 02	13. 29	1. 70
Au	1. 56	1. 72	1. 03	0. 60	1. 60	0. 56	1. 32	2. 03	2. 50
B	20. 64	28. 17	24. 93	0. 88	27. 23	23. 48	47. 00	51. 25	11. 00
Ba	652. 64	792. 25	398. 58	0. 50	746. 28	295. 12	491. 16	521. 69	548. 00
Be	2. 19	2. 28	0. 73	0. 32	2. 17	0. 48	2. 13	2. 28	2. 40
Bi	0. 19	0. 21	0. 09	0. 43	0. 21	0. 08	0. 31	0. 50	0. 08
Cd	140. 56	179. 59	178. 13	0. 99	138. 97	51. 42	135. 00	258. 39	100. 00
Co	14. 97	15. 18	4. 77	0. 31	14. 91	4. 20	12. 12	13. 10	24. 00
Cr	65. 75	66. 79	26. 74	0. 40	64. 09	20. 47	59. 39	67. 86	126. 00
Cu	22. 94	24. 12	9. 33	0. 39	23. 16	7. 42	21. 83	25. 56	25. 00
F	474. 39	507. 96	217. 97	0. 43	494. 67	166. 34	492. 20	528. 49	525. 00
Hg	27. 78	33. 07	22. 23	0. 67	29. 86	13. 53	36. 12	69. 06	40. 00
La	36. 80	39. 21	13. 25	0. 34	37. 46	10. 01	39. 00	41. 10	30. 00
Li	26. 26	27. 38	9. 78	0. 36	27. 17	9. 41	31. 70	33. 94	18. 00
Mn	753. 44	768. 19	180. 50	0. 23	757. 46	162. 12	670. 56	728. 47	716. 00
Mo	0. 66	1. 00	1. 27	1. 28	0. 67	0. 23	0. 84	1. 13	1. 10
Nb	17. 46	19. 09	10. 56	0. 55	17. 28	3. 91	15. 83	17. 38	19. 00
Ni	27. 97	29. 15	12. 60	0. 43	28. 18	10. 46	24. 68	28. 66	56. 00

续表 7

元素	武当-桐柏-大别成矿带(N=262 476)						全国值(任天祥等,1996)		陆壳元素 含量 (Wedepohl, 1995)
	中位数	平均值	离差	变异系数	剔除特异值后		中位数	算术均值	
					平均值	离差			
P	557. 01	687. 54	402. 20	0. 58	608. 39	259. 21	577. 78	654. 02	757. 00
Pb	23. 07	23. 27	6. 26	0. 27	22. 97	5. 58	23. 53	29. 19	14. 80
Sb	0. 41	0. 53	0. 43	0. 82	0. 48	0. 32	0. 69	1. 42	0. 30
Sn	2. 38	2. 40	0. 65	0. 27	2. 38	0. 62	3. 02	4. 13	2. 30
Sr	160. 18	217. 08	151. 98	0. 70	199. 59	122. 47	142. 90	163. 81	333. 00
Th	10. 50	11. 58	5. 73	0. 49	10. 47	2. 96	11. 90	13. 54	8. 50
Ti	4 506. 63	4 942. 79	1 771. 09	0. 36	4 636. 44	1 080. 80	4 103. 70	4 459. 41	4 010. 00
U	2. 00	2. 15	0. 87	0. 40	2. 00	0. 57	2. 45	3. 08	1. 70
V	96. 75	99. 66	33. 77	0. 34	96. 11	24. 83	80. 41	87. 30	98. 00
W	1. 45	1. 50	0. 75	0. 5	1. 45	0. 61	1. 83	2. 73	1. 00
Y	27. 53	28. 28	5. 07	0. 18	27. 82	4. 07	24. 73	26. 31	24. 00
Zn	65. 61	70. 98	25. 27	0. 36	69. 36	21. 62	70. 04	77. 17	65. 00
Zr	284. 06	328. 78	155. 26	0. 47	301. 99	95. 99	271. 40	292. 64	203. 00
Fe ₂ O ₃	5. 08	5. 24	1. 24	0. 24	5. 21	1. 18	4. 50	4. 73	6. 17
Al ₂ O ₃	13. 65	13. 63	1. 83	0. 13	13. 66	1. 77	12. 83	12. 73	15. 03
CaO	1. 89	2. 46	2. 18	0. 89	1. 93	1. 02	1. 80	2. 87	5. 39
MgO	1. 51	1. 71	0. 91	0. 53	1. 55	0. 55	1. 37	1. 56	3. 66
K ₂ O	2. 21	2. 29	0. 58	0. 25	2. 27	0. 54	2. 36	2. 40	2. 57
Na ₂ O	2. 13	2. 15	1. 06	0. 49	2. 15	1. 06	1. 32	1. 37	3. 10
SiO ₂	65. 06	64. 65	5. 91	0. 09	64. 85	5. 50	65. 31	64. 74	61. 70

注:元素含量数据为成矿带内 1∶20 万化探数据经 3×3 中值滤波后的统计结果;单位(ω_B) Ag、Au、Cd、Hg 为 10^{-9} ,其他元素单位为 10^{-6} ,氧化物单位为%。

成矿带内 Nb、MgO、Ni、Be、K₂O、Cr、F、P、La、Cu、Zn、Li 等和全国背景值大致相当或略偏低;Na₂O、Ba、Sr、Co、V、Fe₂O₃ 等呈高背景值分布,其中 Na₂O、Ba、Sr 偏高明显,Na₂O 达全国值的 1. 57 倍;Sb、Bi、Hg、As、Ag、W、B、Cd、Sn、Mo、U、CaO、Th、Pb、Au 等含量偏低,尤其是 Sb、Bi、Hg、As 等仅为全国背景值的 1/3~1/2,偏低显著。

成矿带内元素含量的变异特征由变异系数 C_v 体现。按 C_v 值大小将变异程度分为 5 级,见表 8。

表 8 武当-桐柏-大别成矿带内元素变异程度表

变异程度	均匀的	相对均匀的	弱分异的	分异的	强分异的
C_v 值	$\leq 0. 25$	$0. 25 < C_v \leq 0. 5$	$0. 5 < C_v \leq 0. 75$	$0. 75 < C_v \leq 1. 0$	$> 1. 0$
元素	SiO ₂ 、Al ₂ O ₃ 、Y、Mn、Fe ₂ O ₃ 、K ₂ O	Pb、Sn、Co、Be、La、V、Li、Ti、Zn、Cu、Cr、U、Bi、F、Ni、Zr、Th、Na ₂ O、Ba、W	MgO、Nb、Ag、P、Au、As、Hg、Sr	Sb、B、CaO、Cd	Mo

除 SiO₂、Al₂O₃、Y、Mn、Fe₂O₃、K₂O 等少数几个元素(氧化物)为均匀分布外,Pb、Sn、Co、Be、La、V、Li、Ti、Zn、Cu、Cr、U、Bi、F、Ni、Zr、Th、Na₂O、Ba、W 等大部分元素变异系数较小(C_v 值为 0. 48~0. 26),均匀性相对较好。MgO、Nb、Ag、P、Au、As、Hg、Sr、Sb、B、CaO、Cd、Mo 等呈弱分异—分异的分布模式,尤其是 Mo 的 C_v 值达 1. 28,分异强烈。

反映成矿带内元素在后生作用中元素相对于背景分布的平均增益或亏损幅度(K_0)、后生作用中元素的叠加强度(D)等的参数见表 9。

表 9 武当-桐柏-大别成矿带内元素亏损幅度和叠加强度表

元素	K_0	D	元素	K_0	D	元素	K_0	D
Ag	1. 13	2. 54	La	1. 05	1. 39	U	1. 07	1. 64
As	1. 04	1. 18	Li	1. 01	1. 05	V	1. 04	1. 41
Au	1. 07	1. 97	Mn	1. 01	1. 13	W	1. 04	1. 27
B	1. 03	1. 10	Mo	1. 48	8. 32	Y	1. 02	1. 26
Ba	1. 06	1. 43	Nb	1. 11	2. 99	Zn	1. 02	1. 20
Be	1. 05	1. 61	Ni	1. 03	1. 25	Zr	1. 09	1. 76
Bi	1. 02	1. 14	P	1. 13	1. 75	Fe ₂ O ₃	1. 01	1. 06
Cd	1. 29	4. 48	Pb	1. 01	1. 14	Al ₂ O ₃	1. 00	1. 03
Co	1. 02	1. 16	Sb	1. 11	1. 51	CaO	1. 27	2. 73
Cr	1. 04	1. 36	Sn	1. 01	1. 07	MgO	1. 10	1. 82
Cu	1. 04	1. 31	Sr	1. 09	1. 35	K ₂ O	1. 01	1. 08
F	1. 03	1. 35	Th	1. 11	2. 14	Na ₂ O	1. 00	1. 00
Hg	1. 11	1. 82	Ti	1. 07	1. 75	SiO ₂	1. 00	1. 07

注: $K_0 = X/X_0$ 、 $D = (X \times S)/(X_0 \times S_0)$, X 、 S 为全区平均值和离差, X_0 、 S_0 为逐步剔除数据中特高、特
低值后的平均值与离差。

区内元素的后生叠加特征系数 K_0 、 D 表明,除 Na_2O 、 Al_2O_3 、 SiO_2 等少数氧化物外,绝大多数元素都有后生因素所引起的增量,但叠加量及强度不一,表现出不同的分布形式。

(1) Sb 、 MgO 、 Nb 、 Hg 、 Th 、 Ag 、 P 、 CaO 、 Cd 、 Mo 等后生叠加量高($K_0>1.1$, Mo 的 K_0 值高达 1.48),叠加改造明显。其中 Th 、 Ag 、 CaO 、 Nb 、 Cd 、 Mo 等元素叠加强度大($D>2$, Mo 的 D 值高达 8.24),表现为强浓集态,矿化趋势明显; Sb 、 P 、 Hg 、 MgO 等叠加强度较小,多处于分散状态。

(2) Ba 、 Ti 、 U 、 Au 、 Sr 、 Zr 等叠加量较高($1.05<K_0<1.1$),其中 Au 的 D 值为 1.97,为较强的浓集状态,仍有明显矿化趋势,在地质构造环境较好地段矿化有利部位仍有较大富集成矿潜力。

(3) Li 、 Sn 、 B 、 Mn 、 Pb 、 Bi 、 Co 、 As 、 Zn 、 Ni 、 Y 、 W 、 Cu 、 F 、 Sr 、 Cr 、 La 、 V 、 Ba 、 Sb 、 Be 、 U 、 Ti 、 P 、 Zr 等后

生叠加量和叠加强度均较低,处于分散状态。

2. 元素在不同构造单元中的分布

武当-桐柏-大别成矿带,夹持于华北地块和扬子地块之间,是秦岭造山带的东延部分(图 9),主体由秦岭弧盆系(Ⅳ-10)等 7 个二级构造单元组成。带内主要构造单元的 K 、 K_0 、 D 值列于表 10。

北秦岭岩浆弧(Ⅳ-10-2)大多数元素以低背景分布为特征, CaO 、 Cd 、 P 、 B 、 Ba 相对偏低,仅 W 、 Au 出现较为明显的同生富集。 Ba 、 Th 、 Hg 、 Mo 、 U 、 W 、 Bi 、 Sr 、 Au 、 Be 等后生叠加作用强烈($K_0\geq 1.06$),同时 Ba 、 Th 、 Be 、 Mo 、 Hg 、 U 等的 D 值大于 2,具有较好的成矿趋势。

表 10 武当-桐柏-大别成矿带三级构造单元元素 K 、 K_0 、 D 值表

元素	宽坪弧后盆地			北秦岭岩浆弧			中秦岭陆缘盆地			西倾山-南秦岭陆缘裂谷带			武当陆缘裂谷			大别高压—超高压折返带		
	Ⅳ-10-1			Ⅳ-10-2			Ⅳ-10-4			Ⅳ-10-6			Ⅳ-10-7			Ⅳ-11-1		
	K	K_0	D	K	K_0	D	K	K_0	D	K	K_0	D	K	K_0	D	K	K_0	D
Ag	1.08	1.00	1.00	0.90	1.05	1.96	1.05	1.00	1.00	1.47	1.15	2.87	1.04	1.13	2.52	0.82	1.01	1.14
As	0.92	1.00	1.00	1.07	1.03	1.13	1.11	1.00	1.00	1.50	1.11	1.90	1.10	1.01	1.05	0.40	1.14	1.67
Au	1.15	1.00	1.00	1.16	1.06	1.80	1.32	1.00	1.00	0.97	1.14	2.07	1.05	1.03	1.23	0.91	1.12	2.73
B	0.77	1.00	1.00	0.75	1.00	1.00	0.66	1.00	1.00	2.37	1.00	1.00	1.12	1.00	1.01	0.17	1.50	3.21
Ba	0.76	1.00	1.00	0.77	1.20	3.71	0.85	1.00	1.00	0.95	1.21	3.52	0.73	1.09	2.55	1.31	1.01	1.08
Be	1.35	1.00	1.00	1.05	1.06	2.69	1.32	1.00	1.00	0.96	1.06	1.52	0.88	1.04	1.49	1.07	1.05	1.53
Bi	1.05	1.04	1.99	1.04	1.07	1.89	1.11	1.00	1.00	1.40	1.00	1.00	0.93	1.01	1.08	0.69	1.11	1.98
Cd	0.87	1.00	1.00	0.73	1.06	1.38	0.61	1.06	7.71	1.89	1.35	3.93	0.95	1.22	3.92	1.03	1.02	1.27
Co	1.13	1.00	1.00	0.96	1.00	1.02	0.87	1.00	1.00	1.09	1.02	1.23	0.99	1.04	1.30	0.97	1.00	1.01
Cr	1.06	1.00	1.00	0.96	1.04	1.58	0.81	1.00	1.00	1.25	1.11	2.69	0.96	1.04	1.31	0.90	1.04	1.29
Cu	1.10	1.00	1.00	0.91	1.04	1.37	0.81	1.00	1.00	1.28	1.07	1.71	1.00	1.08	1.64	0.89	1.02	1.08
F	1.24	1.19	2.68	0.87	1.01	1.18	0.90	1.00	1.00	1.28	1.01	1.08	0.85	1.02	1.19	1.01	1.02	1.09
Hg	0.57	1.00	1.00	0.88	1.14	2.08	0.81	1.00	1.00	1.24	1.04	1.23	1.04	1.08	1.96	0.76	1.15	2.17
La	1.08	1.00	1.00	1.01	1.04	1.31	1.02	1.00	1.00	1.08	1.08	1.93	0.84	1.01	1.09	1.13	1.03	1.16
Li	1.03	1.00	1.00	1.05	1.00	1.03	1.01	1.00	1.00	1.35	1.01	1.08	1.03	1.01	1.10	0.67	1.01	1.07
Mn	1.22	1.00	1.00	0.93	1.03	1.25	0.89	1.00	1.00	1.06	1.02	1.18	1.05	1.01	1.16	0.96	1.00	1.01
Mo	0.98	1.09	2.92	1.00	1.11	2.29	0.83	1.00	1.00	1.71	2.01	11.33	0.88	1.38	7.33	0.92	1.04	1.26

续表 10

元素	宽坪弧后盆地			北秦岭岩浆弧			中秦岭陆缘盆地			西倾山-南秦岭陆缘裂谷带			武当陆缘裂谷			大别高压—超高压折返带		
	Ⅳ-10-1			Ⅳ-10-2			Ⅳ-10-4			Ⅳ-10-6			Ⅳ-10-7			Ⅳ-11-1		
	K	K_0	D	K	K_0	D	K	K_0	D	K	K_0	D	K	K_0	D	K	K_0	D
Nb	1. 93	1. 00	1. 00	0. 99	1. 06	1. 85	1. 22	1. 00	1. 00	1. 17	1. 44	9. 54	0. 93	1. 07	1. 88	0. 98	1. 04	1. 30
Ni	1. 15	1. 00	1. 00	0. 90	1. 02	1. 24	0. 92	1. 00	1. 00	1. 35	1. 05	1. 54	0. 96	1. 06	1. 43	0. 85	1. 04	1. 23
P	0. 98	1. 00	1. 00	0. 75	1. 06	1. 45	0. 64	1. 00	1. 00	1. 02	1. 05	1. 38	0. 78	1. 10	1. 89	1. 48	1. 04	1. 17
Pb	1. 04	1. 00	1. 00	1. 02	1. 02	1. 13	1. 23	1. 00	1. 00	0. 99	1. 00	1. 01	0. 88	1. 02	1. 16	1. 04	1. 01	1. 19
Sb	0. 70	1. 00	1. 00	0. 82	1. 01	1. 11	0. 81	1. 00	1. 00	1. 87	1. 10	1. 82	1. 17	1. 08	1. 48	0. 37	1. 16	2. 48
Sn	1. 27	1. 00	1. 00	0. 95	1. 00	1. 03	1. 14	1. 00	1. 00	1. 09	1. 02	1. 13	1. 02	1. 00	1. 04	0. 88	1. 02	1. 15
Sr	0. 76	1. 18	2. 79	0. 80	1. 07	1. 33	0. 84	1. 00	1. 00	0. 64	1. 08	1. 78	0. 75	1. 08	1. 77	1. 72	1. 03	1. 13
Th	1. 13	1. 45	10. 62	1. 09	1. 14	3. 14	1. 16	1. 00	1. 00	1. 10	1. 00	1. 00	0. 80	1. 03	1. 33	1. 13	1. 13	2. 00
Ti	0. 91	1. 00	1. 00	0. 92	1. 02	1. 25	0. 73	1. 00	1. 00	1. 39	1. 06	1. 30	0. 97	1. 08	1. 93	1. 04	1. 00	1. 00
U	1. 01	1. 13	2. 39	1. 06	1. 09	2. 02	0. 96	1. 00	1. 00	1. 19	1. 03	1. 32	0. 87	1. 02	1. 18	0. 95	1. 11	1. 88
V	1. 09	1. 00	1. 00	0. 96	1. 01	1. 09	0. 87	1. 00	1. 00	1. 10	1. 13	2. 82	0. 98	1. 06	1. 52	0. 97	1. 01	1. 03
W	1. 41	1. 05	1. 30	1. 36	1. 07	1. 91	1. 39	1. 00	1. 00	1. 26	1. 00	1. 05	0. 92	1. 01	1. 04	0. 64	1. 15	2. 02
Y	0. 96	1. 00	1. 00	0. 91	1. 02	1. 53	0. 94	1. 00	1. 00	1. 01	1. 03	1. 51	0. 99	1. 00	1. 08	1. 06	1. 02	1. 21
Zn	0. 84	1. 00	1. 00	0. 84	1. 01	1. 14	0. 64	1. 00	1. 00	1. 41	1. 04	1. 41	0. 87	1. 05	1. 51	1. 05	1. 00	1. 01
Zr	1. 09	1. 00	1. 00	1. 07	1. 04	1. 35	1. 01	1. 00	1. 00	0. 79	1. 07	1. 74	0. 81	1. 01	1. 13	1. 41	1. 06	1. 51
Fe ₂ O ₃	0. 97	1. 00	1. 00	0. 93	1. 02	1. 18	0. 85	1. 00	1. 00	1. 00	1. 02	1. 20	0. 96	1. 03	1. 21	1. 06	1. 00	1. 00
Al ₂ O ₃	1. 02	1. 00	1. 00	1. 01	0. 99	1. 23	0. 90	1. 00	1. 00	0. 90	1. 00	1. 00	0. 95	1. 00	1. 05	1. 10	1. 00	1. 00
CaO	1. 07	1. 00	1. 00	0. 56	1. 13	1. 93	1. 33	1. 00	1. 00	2. 08	1. 06	1. 17	0. 90	1. 29	3. 24	1. 23	1. 00	1. 00
MgO	1. 06	1. 00	1. 00	0. 85	1. 05	1. 52	0. 91	1. 00	1. 00	1. 48	1. 08	1. 48	0. 94	1. 07	1. 70	1. 00	1. 01	1. 03
K ₂ O	1. 07	1. 00	1. 00	0. 98	1. 03	1. 22	1. 16	1. 00	1. 00	1. 03	1. 00	1. 03	0. 82	1. 02	1. 36	1. 11	1. 01	1. 06
Na ₂ O	1. 08	1. 00	1. 00	0. 80	1. 04	1. 21	0. 78	1. 00	1. 00	0. 48	1. 11	1. 89	1. 02	1. 01	1. 03	1. 43	0. 99	1. 07
SiO ₂	0. 99	1. 00	1. 00	1. 04	1. 00	1. 04	1. 03	1. 00	1. 00	0. 94	0. 99	1. 12	1. 03	1. 00	1. 13	0. 98	1. 00	1. 00

注： $K=X_0/X_0$ 成矿带， $K_0=X/X_0$ ， $D=(X\times S)/(X_0\times S_0)$ ， X 、 S 为不同构造单元平均值和离差， X_0 、 S_0 为不同构造单元逐步剔除数据中特高、特低值后的平均值与离差。

大别高压—超高压折返带(Ⅳ-11-1)富集 Sr、P、Na₂O、Zr、Ba、CaO、Th、La、K₂O、Be、Y、Zn 等,其中 Sr、P、Na₂O、Zr、Ba 富集显著,贫 W、Li、Bi、Hg,严重贫 B、Sb、As。单元内 Sb、Hg、W、As、Th、Au、Bi、U 等后期叠加分异作用明显,Au、Sb、Hg、W、Th 的叠加强度大($D>2$),局部矿化集中趋势明显。

武当陆缘裂谷(Ⅳ-10-7)大部分元素呈背景分布状态,Ba、Sr、P、Th、Zr、K₂O 呈低背景状态,仅 Sb、B、As 3 个元素具有较为显著的富集态势。裂谷带内 Mo、CaO、Cd、Ag、P、Ba 发生强的后生叠加分异作用,叠加强度 D 值 Mo、Cd、CaO、Ba、Ag 等均大于 2,尤其是 Mo,其 K_0 值达 1.38, D 值达 7.33,富集趋势明显。

西倾山-南秦岭陆缘裂谷带(Ⅳ-10-6)的元素分布特征受早古生代地层中黑色岩系控制,B、CaO、Cd、Sb、Mo、As、MgO、Ag、Zn、Bi、Ti、Ni、Li、F、Cu、W、Cr、Hg、U、Nb、V、Th 均呈现富集状态,仅 Na₂O、Sr、Zr 等相对贫化,Sr 的异常偏低与鄂西地区的 Sr 高背景不一致。本单元内 Mo、Nb、Cd、Ba、Ag、Au、V、Cr、As、Sb 具强分异富集($K_0>1.1$),Mo、Nb、Cd、Ba、Ag、V、Cr、Au 分异叠加强度高,最为显著的为 Mo,其 K_0 值达 2.01, D 值达 11.33,成矿带内最高值。

宽坪弧后盆地(Ⅳ-10-1)和中秦岭陆缘盆地(Ⅳ-10-4)在成矿带区域内面积相对较小,除 W、Sn、Be、Au、Nb 等相对富集外,其他特征不明显。

分构造单元进行元素聚类分析显示(图 13~图 18),成矿带主要元素组合分为与基性超基性岩有关的元素组合、与中酸性岩浆岩有关的元素组合、与构造活动等有关的低温热液元素组合和高温岩浆作用元素组合、与岩浆活动有关的中高温热液元素组合等。各构造单元元素组合关系有着显著差异。

宽坪弧后盆地(Ⅳ-10-1)元素组合主要有:①Fe₂O₃、Ni、Cr、Cu、Co、V、Ti、Zn、Mn、CaO、MgO、P、B、Na₂O、Sr;②Th、Be、U、Zr、K₂O、Nb、La、Sn、Y、Al₂O₃;③As、Sb;④W、F、Cd、Ag、Mo。

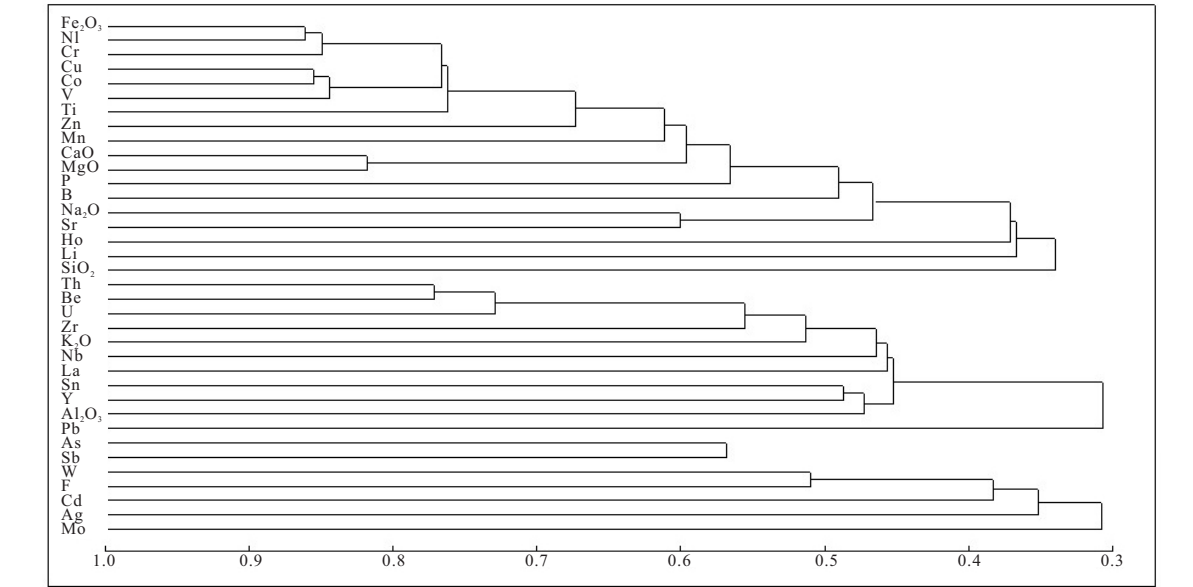


图 13 宽坪弧后盆地(Ⅳ-10-1)元素聚类分析谱系图

北秦岭(二郎坪)岩浆弧(Ⅳ-10-2)元素组合主要有:①Ni、Cr、Co、V、Fe₂O₃、Cu、Mn、Ti、Y;②CaO、MgO、Sr、P、Na₂O、F、Zn、Al₂O₃;③Th、U、Nb、K₂O、Be、Zr、Pb、Sn、La、Mo;④W、Bi;⑤As、Sb;⑥Li、B、Au、Ag、Cd、Hg、Ba、SiO₂。

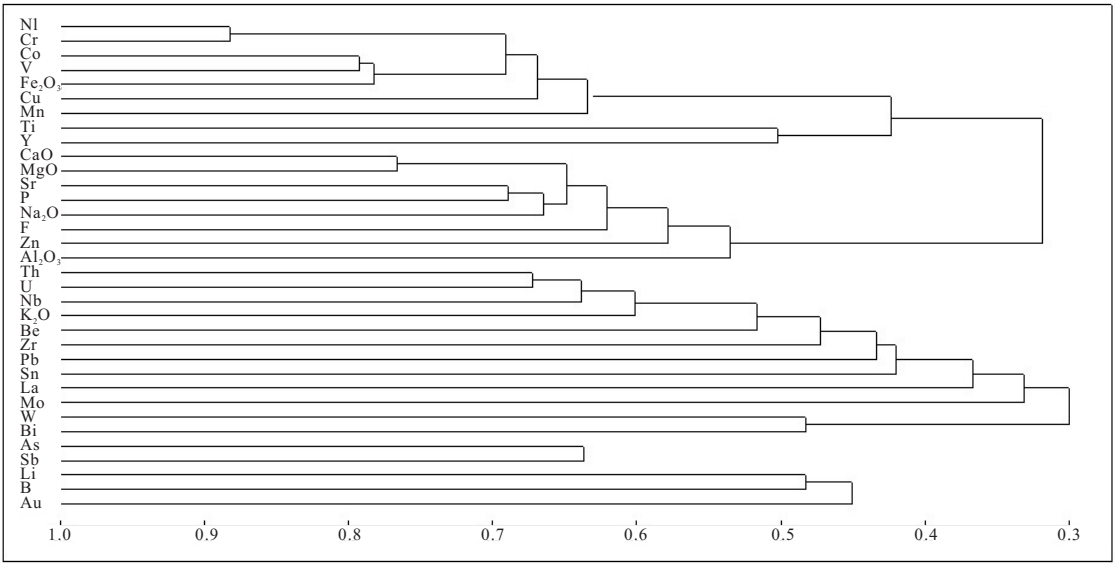


图 14 北秦岭(二郎坪)岩浆弧(Ⅳ-10-2)元素聚类分析谱系图

中秦岭陆缘盆地(Ⅳ-10-4)元素组合主要有:①La、Li、Y、Mn、MgO、Ni、Co;②F、Al₂O₃、Zn、Pb、Ti、Fe₂O₃、Nb、V、P、Cu、K₂O、Sr、Bi、Cr、Sb、CaO;③As、B。

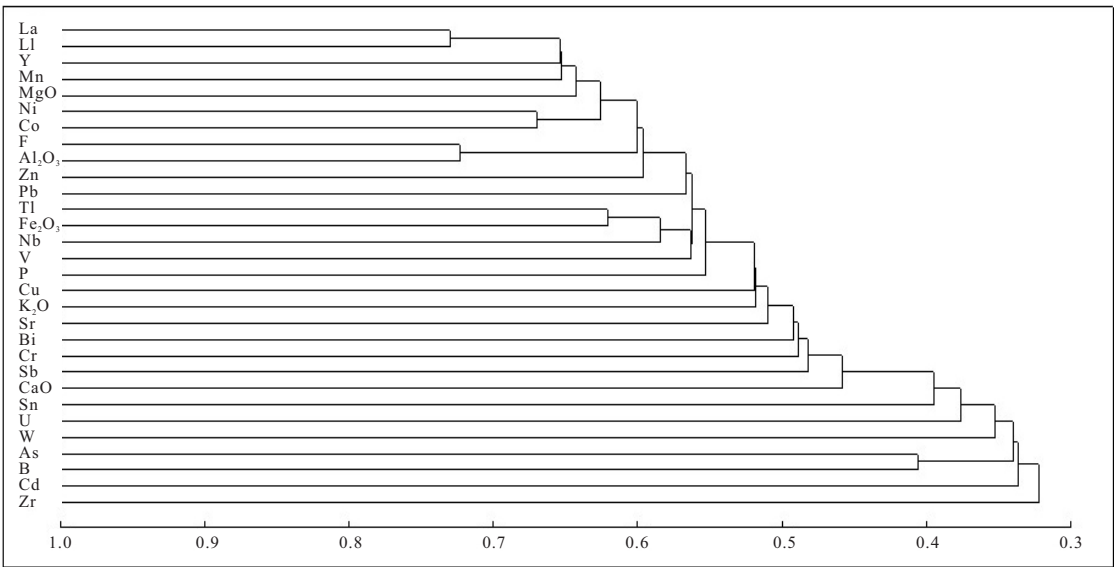


图 15 中秦岭陆缘盆地(Ⅳ-10-4)元素聚类分析谱系图