

doi: 10.12029/gc20190310

张翔, 石连成, 程莎莎, 段晨宇, 魏永强, 邓德伟, 卢亚运. 2019. 西秦岭造山带东段航磁特征及断裂构造格架[J]. 中国地质, 46(3): 587-600.
Zhang Xiang, Shi Liancheng, Cheng Shasha, Duan ChenYu, Wei Yongqiang, Deng Dewei, Lu Yayun. 2019. Aeromagnetic characteristics and fracture structure framework of the eastern part of the western Qinling orogen[J]. Geology in China, 46(3): 587-600(in Chinese with English abstract).

西秦岭造山带东段航磁特征及断裂构造格架

张翔^{1,2,3}, 石连成^{1,2}, 程莎莎^{1,2}, 段晨宇^{1,2}, 魏永强^{1,2}, 邓德伟^{1,2}, 卢亚运^{1,2}

(1.核工业航测遥感中心,河北石家庄 050002;2.中核集团铀资源地球物理勘查技术中心(重点实验室),河北石家庄 050002;3.东华理工大学,江西南昌 330013)

摘要:本文基于最新高精度1:5万航磁资料,详细分析了西秦岭造山带东段航磁特征和地质成因,辅以重力资料,新推断或修正了断裂平面位置,探讨了断裂控矿作用和若干典型断裂的地质意义。研究表明,古生界泥盆系、石炭系、二叠系、中生界三叠系碳酸盐岩-沉积碎屑岩是形成平稳负磁背景的主要原因;广泛发育的各类侵入岩,是形成复杂变化、形态各异的叠加异常的主要原因。NWW—EW向、NNE—NE向以及NW向深、大断裂共同构成了全区“南北分带,东西分块”的基本构造格架。NWW—EW向深、大断裂是最早形成的主干断裂,航磁上以不同面貌磁场分界线或醒目的磁场梯度带为特征,属华北、扬子两大板块在新元古代—三叠纪分别沿商丹、勉略缝合带南北向俯冲碰撞的产物,构成了本区一级构造单元的分界线,尤其对泥盆系多金属成矿起决定性控制作用;NNE—NE向深、大断裂应是秦岭强烈陆内造山阶段(晚三叠世—新生代)垂向加积增生作用的产物,对NWW—EW向、NW向断裂具有明显的切割、牵引或阻挡作用,航磁上以连续性较好的线性梯度带或磁场扭转变异带为特征,是区内次级构造单元的界限,对深部矿源物质的运移亦起到一定的疏导作用。

关键词:航磁特征;断裂格架;控矿作用;西秦岭东段

中图分类号:P631.2'22 文献标志码:A 文章编号:1000-3657(2019)03-0587-14

Aeromagnetic characteristics and fracture structure framework of the eastern part of the western Qinling orogen

ZHANG Xiang^{1,2,3}, SHI Liancheng^{1,2}, CHENG Shasha^{1,2}, DUAN ChenYu^{1,2}, WEI Yongqiang^{1,2},
DENG Dewei^{1,2}, LU Yayun^{1,2}

(1. Airborne Survey and Remote Sensing Center of Nuclear Industry, Shijiazhuang 050002, Hebei, China; 2. Key Laboratory of Uranium Resources Geophysical Exploration Technology, China Nuclear Industry Group Company, Shijiazhuang 050002, Hebei, China; 3. East China Institute of Technology, Nanchang 330013, Jiangxi, China)

Abstract: According to the latest high-precision 1:50000 aeromagnetic data, the authors analyzed the aeromagnetic characteristics and geological origin of the eastern section of the western Qinling orogenic belt in detail based on gravity data, inferred newly and

收稿日期:2017-09-06;改回日期:2019-03-05

基金项目:中国地质调查局项目“甘肃礼县—陕西宝鸡地区航空物探调查”(12120115040101,DD2016006625)及中国核工业地质局(201541)联合资助。

作者简介:张翔,男,1986年生,硕士生,工程师,主要从事航空地球物理应用及研究工作;E-mail:zhangxiang19860626@163.com。

corrected the fracture plane position, and discussed the geological significance of ore-controlling role of fractures and some typical faults. The research shows that the main factor of forming gentle negative magnetic background seems to be Paleozoic Devonian, Carboniferous, Permian, and Mesozoic Triassic carbonate rocks-sedimentary clastic rocks, whereas all kinds of widespread intrusive rocks are the main factor for complex changes and different patterns of superimposed anomaly. The whole area's basic structural framework is formed by NWW-EW trending, NNE-NE trending and NW trending deep and major faults. The deep NWW-EW trending fault was the earliest formed main fault; its aeromagnetic features seem to be the boundaries of different magnetic fields or striking magnetic gradient belts, resulting from the NS-trending subduction and collision of North China and Yangtze plate in Neoproterozoic-Triassic along Shangdan, Mianxian, Lueyang suture zone and forming a boundary of the primary tectonic units in this region. In particular, it played a decisive role in controlling polymetallic mineralization in Devonian. The NNE-NE trending deep and major faults might have been the product of strong intracontinental orogenic stage of Qinling Mountain in Late Triassic-Cenozoic by the vertical accretion hyperplasia action and exerted obvious cutting, traction or blocking effects on the NWW-EW and NW faults, with the continuous linear aeromagnetic gradient characterized by good torsional or magnetic field change. They served as the limit of secondary tectonic unit in the region, and played a guiding role in the migration of deep ore source materials.

Key words: aeromagnetic characteristics; fracture framework; ore controlling function; eastern part of West Qinling orogen

About the first author: ZHANG Xiang, male, born in 1986, engineer, master candidate, engages in aerogeophysical application and research; E-mail: zhangxiang19860626@163.com.

Fund support: Supported by China Geological Survey and China Nuclear Geology "Airborne Geophysical Survey in the Area of Lixian, Gansu-Baoji, Shaanxi" (No. 12120115040101, DD2016006625 and 201541).

1 引 言

西秦岭造山带为秦岭造山带的西延部分,地处中央造山带的关键部位,同时横跨在中国中部南北向构造带上,是古亚洲构造域、特提斯构造域和滨太平洋构造域复合叠加部位(张国伟等,1995;杨志华等,2002;冯益民等,2003;裴先治等,2005;詹艳等,2014;张德贤等,2015),其东段由于地处秦岭、祁连两大复合型大陆造山带及鄂尔多斯盆地的过渡交接部位,一直以来是地学工作者研究的热点地区,在构造演化、岩浆活动、沉积盆地、地层、矿床和成矿作用等方面,取得了丰硕的研究成果(张国伟等,1995;杨志华等,2002;闫臻等,2002;冯益民等,2003;董云鹏等,2003;裴先治等,2005;温志亮等,2008;陈衍景,2010;何进忠等,2011;方维萱等,2012;陈伟男等,2014;詹艳等,2014;张德贤等,2015;罗顺社等,2017;李承东等,2018)。但前人的研究手段偏重于野外地质调查、同位素定年、地球化学测量等,缺少地球物理资料的支撑,尤其在对区域断裂格架的研究上,主要基于中、小比例尺的航磁或重力资料(张国伟等,2001),难以可靠地反映出断裂深部位置和重磁场的细节特征。

本文利用研究区2015—2016年获取的1:5万高精度航磁资料,详细解释了航磁异常成因,辅以重力资料,系统厘定了断裂构造格架,分析了主干断裂特征、控矿作用和地质意义,为后续研究提供了依据。

2 区域地质背景及岩石磁性特征

2.1 区域地质背景

时至今日,关于西秦岭造山带构造分区划分仍难形成统一认识。潘桂棠等(2009)将东、西秦岭合并为秦岭弧盆系,将研究区划属于秦岭弧盆系、祁连弧盆系及鄂尔多斯陆块三个二级构造单元;裴先治等(1995)、丁仁平等(2008)认为,研究区跨北秦岭构造带和西秦岭微陆块,二者以相当于古商丹缝合带西延的武山—天水断裂为界;杨宗让(2012)、王宗起等(2009)采用五分方案,将本区由北向南划分为华北陆块南缘构造带、北秦岭构造带、中秦岭构造带、南秦岭构造带和扬子陆块北缘构造带。本文在该方案基础上,综合断裂推断结果和前人习惯性说法,略作改动^①,见图1。

研究区主体属秦岭地层区,东北部及南部分别跨华北、扬子地层区(图1)。前震旦系:主要包括元

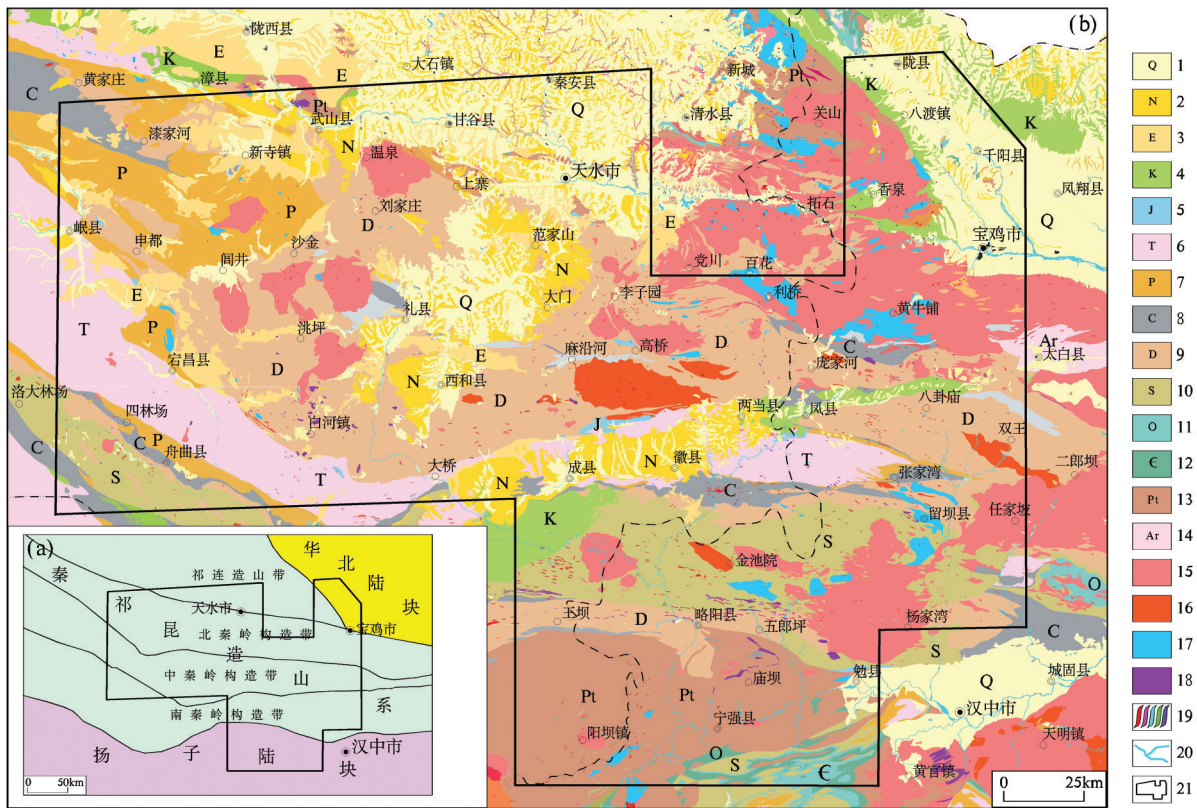


图1 大地构造划分及地质背景

a—大地构造单元划分图(据王宗起等,2009;杨宗让,2002;及注释①修改);b—地质简图

- 1—第四系;2—新近系;3—古近系;4—白垩系;5—侏罗系;6—三叠系;7—二叠系;8—石炭系;9—泥盆系;10—志留系;11—奥陶系;
- 12—寒武系;13—元古宇;14—太古宇;15—酸性岩;16—中酸性岩;17—中性岩;18—超基性—基性岩 19—岩脉;20—河流;21—研究区

Fig.1 Tectonic division and geological background(modified from Wang et al. ;2009;Yang,2002;annotation①)

a—Division of tectonic units; b—Geological sketch map

- 1—Quaternary;2—Neogene;3—Paleogene;4—Cretaceous;5—Jurassic;6—Triassic;7—Permian;8—Carboniferous;9—Devonian;10—Silurian,
- 11—Ordovician;12—Cambrian;13—Proterozoic;14—Archaean;15—Acid rocks;16—Intermediate—acid rocks;
- 17—Intermediate rocks;18—Ultrabasic—basic rocks;19—Dyke;20—Rivers ;21—Study area

古宇牛头河群、西乡群、秧田坝组,震旦系古铜井群,它们为一套形成于扩张海盆或陆缘裂谷环境的深变质—火山杂岩建造,构成了研究区结晶基底;古生界主要包括志留系、泥盆系、石炭系,为一套碳酸盐岩—沉积碎屑岩建造,是西秦岭造山带的主体部分。其中,泥盆系是本区金属矿产最为重要的赋矿层位;中生界主要为三叠系,为一套陆相碎屑岩建造,其与泥盆系、石炭系共同构成了中秦岭构造带褶皱盆地体系,侏罗系、白垩系发育较少,一般与新生界分布于山间盆地一带。

区内以大规模岩浆侵入活动为突出特征,包括中川—温泉、党川、关山、李子园、宝鸡、华阳、留坝—光头山等多片大型侵入岩区,主体为华力西—印支期酸性、中酸性岩,其次为中性岩,而超基性—基

性岩体基本沿商丹、勉略两大缝合带分布。NNW—EW向断裂是本区主体断裂,其次为NNE—NE向断裂,后者多为隐伏断裂。

2.2 岩石磁性特征

由表1可知,前震旦系岩石磁性变化较大,片麻岩、斜长角闪岩磁化率在 $(77\sim 725)\times 10^{-5}\text{SI}$,均值为 $450\times 10^{-5}\text{SI}$,总体具有中—强磁性;板岩、大理岩、长石砂岩磁化率一般为 $(25\sim 120)\times 10^{-5}\text{SI}$,为无—弱磁性。古生界基本为无—弱磁性层,如灰岩、白云岩、片岩、板岩、千枚岩等磁化率在 $(10\sim 290)\times 10^{-5}\text{SI}$,但局部因发育蚀变矿化致使磁性明显升高,磁化率值在 $(101\sim 2925)\times 10^{-5}\text{SI}$,均值为 $505\times 10^{-5}\text{SI}$,剩磁一般在 $(91\sim 547)\times 10^{-3}\text{A/m}$ 。中、新生界沉积碎屑岩类磁化率一般在 $(1\sim 30)\times 10^{-5}\text{SI}$,均值为 $10\times 10^{-5}\text{SI}$,为无磁性。

表1 研究区岩(矿)石磁参数统计表

Table 1 Magnetic susceptibility statistics of rocks and minerals in the study area

地层/侵入岩	主要岩性	样品数	磁化率/(10^{-5} SI)		剩磁/(10^{-3} A/m)	
			范围	均值	范围	均值
新生界	泥岩、砂岩、砂砾岩、砾岩	58	1~30	10	-	-
	玄武岩、钾霞橄黄长岩、凝灰岩	37	17~2200	923	104~2336	1220
中生界	泥岩、砂岩、灰岩、板岩、页岩、千枚岩	33	10~240	26	-	-
古生界	灰岩、白云岩、片岩、板岩、千枚岩	253	10~290	110	8~112	85
	磁铁矿化灰岩、磁铁矿化变质砂岩	9	101~2950	505	91~547	240
震旦系	灰岩、白云岩、板岩、片岩、片麻岩	8	27~809	58	-	-
古元古界	板岩、大理岩、长石砂岩	28	25~120	70	-	-
	片麻岩、斜长角闪岩、斜长片麻岩	57	77~725	450	20~70	36
印支期-加里东期	酸性岩、中酸性岩	121	15~1672	692	22~297	130
	中性岩	118	33~1883	627	20~251	116
	基性-超基性岩	83	535~9412	4136	64~2940	1354

注:表中数据为2015—2016年实测数据^①。

岩浆岩方面,酸性、中酸性侵入岩主要为花岗岩类、石英闪长岩、花岗闪长岩,其磁性变化较大,磁化率一般在 $(15\sim 1672)\times 10^{-5}$ SI,均值为 692×10^{-5} SI,剩磁为 $(22\sim 297)\times 10^{-3}$ A/m,总体表现为中-强磁性。中性侵入岩主要为闪长岩、辉石闪长岩,磁化率一般为 $(33\sim 1883)\times 10^{-5}$ SI,均值为 627×10^{-5} SI,剩磁为 $(20\sim 251)\times 10^{-3}$ A/m,其磁性与酸性侵入岩相当,也呈中-强磁性。超基性-基性侵入岩主要为辉长岩、辉绿岩、橄榄岩,岩石普遍具有强磁性,磁化率一般为 $(535\sim 9412)\times 10^{-5}$ SI,均值达 4136×10^{-5} SI,剩磁为 $(64\sim 2940)\times 10^{-3}$ A/m。新生代基性火山岩磁化率在 $(17\sim 2200)\times 10^{-5}$ SI,均值为 923×10^{-5} SI,剩磁一般在 $(104\sim 2336)\times 10^{-3}$ A/m,为强磁性,但这类岩石主要分布在礼县-白河一带,出露零星。

综上,前震旦系深变质岩及各类侵入岩,具有一定磁性,且分布范围广,是研究区主要的磁性层(体)。

3 区域航磁特征分析

本文研究所用航磁数据为首次采用直升机获取,平均离地飞行高度为134.5 m,测网疏密度 (500 ± 14.9) m(线距500 m),测点距3~5 m,调平后测量精度为0.84 nT(调平前为3.6 nT)。数据网格方法采用最小曲率法,网格间距为200 m \times 200 m。由于研究区位于中低纬度地区,受斜磁化影响较大,故先进行了化极处理,采用化极参数磁倾角为 52.6° ,磁偏角为 -2.77° 。由化极结果可知(图2),全

区磁场呈现出“南北分带,东西分块”的总体面貌,清晰地反映出上述构造分区特点。据此,将全区分为6片磁场区,分述如下。

3.1 华北陆块西南缘平稳磁场区(I)

该区地处鄂尔多斯盆地西南部,磁场面貌简单,以 $(-150\sim 0)$ nT的平静负场为背景,反映出盆地前震旦系结晶基底、古生界褶皱基底及上覆沉积盖层弱-无磁性特征,背景场呈由南向北呈缓慢升高,表明基底顶面埋深向北有逐渐变浅趋势。在八渡-千阳-宝鸡一带,分布数个椭圆状、点状、串珠状强磁异常,强度可达上千纳特,这类异常为地表人为干扰引起,不具地质意义。

3.2 祁连山正负变化磁场区(II)

该区以由西向东逐步升高的负场为背景,主要为浅覆盖古元古宇结晶基底的反映。以泰安-天水一线(后文 F_{11} 断裂)为界,叠加异常面貌差异明显。西侧区域为秦岭与祁连两大造山带之间发育的小型裂谷带,构造分区属中祁连地块(潘桂堂等,2009),区内异常形态较为规整,单个异常多呈椭圆状、带状及等轴状展布,强度一般在30~100 nT,局部异常极大值可达600 nT。这类异常随着上延高度增加衰减缓慢,应为具有一定埋深和规模的强磁性花岗岩类、石英二长岩等隐伏-半隐伏岩体的反映。东侧区域属北祁连构造带,区内异常形态复杂,表现为两类特征,一类为规模较大的片状正磁异常,场值一般在50~150 nT,其主要为关山岩区复式花岗岩基的反映;另一类为二次叠加异常,其多

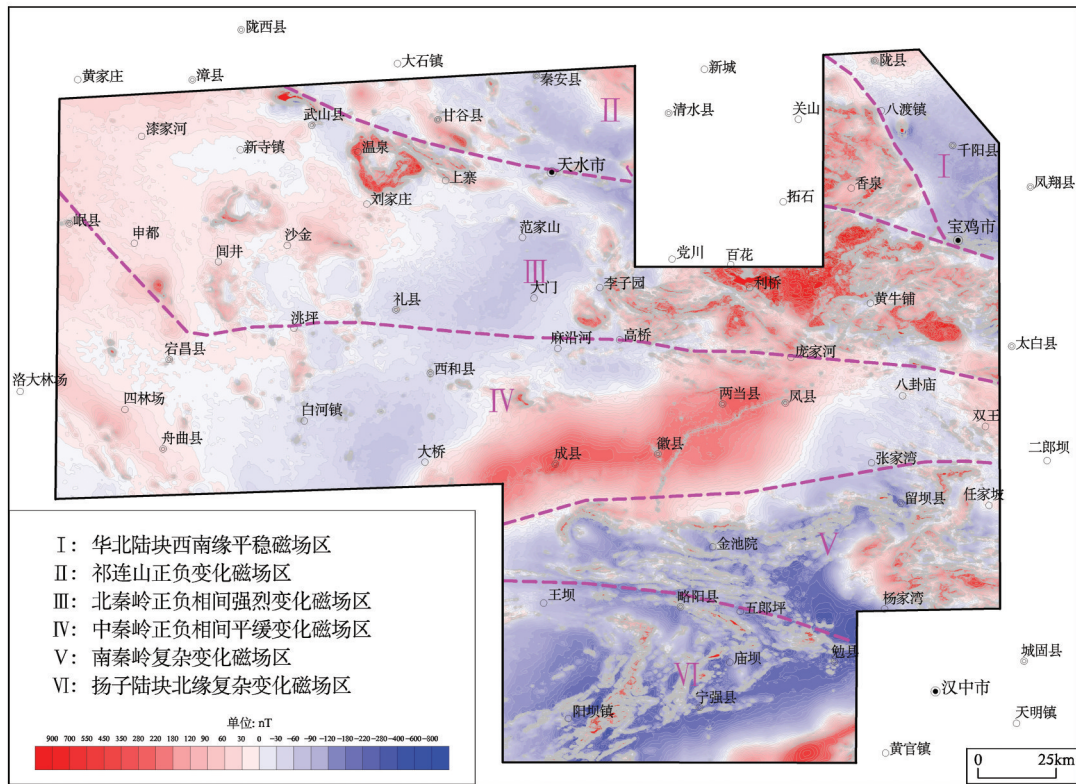


图2 航磁 ΔT 化极及磁场分区结果

Fig.2 The results of RTP ΔT aeromagnetic and magnetic field division

呈短轴状、短带状展布,规模不大,但强度变化剧烈,场值一般在 200~400 nT,局部可达 700~800 nT,随上延高度增加,异常衰减迅速,具有浅源特征,其主要是浅部侵入岩和元古宇变质火山岩磁性不均匀性的反映。

3.3 北秦岭正负相间强烈变化磁场区(III)

该区呈现出正负磁场相间分布的复杂面貌,揭示了北秦岭构造带内隆拗相间的构造格局。区内以 -80~0 nT 的负场为背景,主要为古生界泥盆系—二叠系碳酸盐岩、浅变质岩及沉积碎屑岩的反映。

叠加异常主要具有两类特征。一类异常分布于礼县—武山一带,呈大规模环状—半环状展布,构成了本区特征最为鲜明的异常群。这类异常主要是中川、教场坝、闫井、柏家庄、碌础坝和温泉岩体(通常将前5片岩体称为“五朵金花”,后文统称为中川—温泉岩体群)与围岩接触带发育蚀变矿化的反映,是识别岩体深部延伸范围的直接标志,其附近出现的一些带状异常,也基本为六大岩体外围发育的次级岩体或岩珠所引起。另一类异常主要分

布在李子园—党川—宝鸡一带,呈大规模片状、团块状、弧带状展布的强磁特征,总体为EW走向。该区域是党川—宝鸡岩区的主体部分,这类异常主要是岩区内强磁性大型侵入岩基的反映。与关山岩区类似,在这类异常之上也叠加了大量形态各异的高频强磁异常,它们是穿插于岩基中的小型岩脉、基性火山岩和局部断裂的反映。

3.4 中秦岭正负相间平缓变化磁场区(IV)

该区与北秦岭磁场区具有一定相似性,正负磁场相间分布的特征更为清晰,很好地反映出中秦岭构造带所具有的地垒、地堑相间分布的组合特征(钟建华,1997)。但相较于前者,由于该区主体为由古生界泥盆系、石炭系及中生界三叠系所构成的褶皱盆地体系(张国伟等,1995;冯益民等,2003),岩浆热液活动明显减弱,使得区内磁场面貌较为规整,强度变化缓慢。

在成县—凤县一带,分布一条十分醒目的近EW向正磁异常带,上延后异常强度衰减缓慢,异常区地表基本为中、新生界沉积岩类,不足以形成该

正磁异常带。分析认为,该异常可能为深部大型岩浆活动和浅部沉积岩的综合反映,且在金池院—凤县一带,磁场方向由近EW向迅速转变为NNE向,说明该地段应存在NNE向大规模断裂。此外,在西部宕昌—舟曲、东部八卦庙—双王等地带,出现数片规模不大的椭圆状、短带状低幅异常,这类异常主要为酸性侵入岩的反映;在礼县—白河一带出现的点状强磁异常,主要为浅地表新近纪基性火山岩的反映。

3.5 南秦岭复杂变化磁场区(V)

该区磁场面貌十分复杂,强度变化剧烈,以 $-150\sim 0$ nT的变化负磁场为背景,背景场主要为志留系、泥盆系浅变质岩、碳酸盐岩的反映。沿留坝西勉县一线,东西两侧叠加异常具有不同特征。西侧区域异常特征鲜明,总体呈NWW—EW向展布,表现为由多条近平行排列的强磁异常所组成的异常带,单个异常场值一般在 $200\sim 400$ nT,局部极大值可达 630 nT,多呈细带状、点状展布,分布杂乱,这类异常清晰地反映出勉略缝合带内超基性、基性岩的强磁性特征(王宗起等,2009);东侧区域出现一处大规模团块状异常,异常场值一般在 $60\sim 150$ nT,在该异常上,叠加有不规则状、短轴状和点状次级异常,显示了两类不同场源的特征,即前者主要与留坝岩区出露的大型花岗岩岩基有关,后者往往为岩体浅部磁性不均匀性,以及岩层中穿插的各类酸性、超基性—基性脉岩的反映。

3.6 扬子陆块北缘复杂变化磁场区(VI)

该区地处扬子板块与秦岭造山带两大构造单元的过渡部位(张国伟等,1995),与北邻磁场区相比,二者均以剧烈变化的强磁异常为显著特征,但该区磁场以NEE向、NNE—NE向展布为主,而前者则以NWW向为主,反映出二者不同的地质构造环境。区内以 $-200\sim 100$ nT由北向南升高磁场为背景,主要为元古宇碧口群、震旦系变质—火山岩及少量寒武—奥陶系沉积—浅变质岩的综合反映。强磁叠加异常集中分布在王坝—略阳—勉县—宁强—阳坝所围成的三角形区域内,该区域属碧口地体的主体部分,包括著名的“勉(县)—略(阳)—宁(强)金三角”矿集区(吕崧等,2010)。这类异常强度变化剧烈、分布杂乱,异常场值一般在 $200\sim 600$ nT,局部可接近 1000 nT,它们也基本为勉略缝合带内超

基性—基性岩所引起。特别是在中部略阳—阳坝一线分布NNE向弧形强磁异常带,应是深部较大规模超基性—基性岩体的反映。最新的研究结果认为,在碧口地体内部应存在一弧形构造岩浆带,该构造带属古基底缝合带,切割深,可能为深部超基性—基性岩体与中酸性侵入岩的控岩构造,且具多期活动的特点(吕崧等,2010),这与本区航磁特征是较为吻合的。

4 断裂构造格架及地质意义

依据航磁资料,辅以布格重力异常资料^①,对断裂进行了推断解释。推断依据主要为重磁场的特征线,如不同重磁场分界线、重磁场梯度带、线状或串珠状异常带、异常错动或变异带等(范正国等,2010)。根据断裂构造规模、切割深度以及对区域地质演化的控制作用,笔者将断裂划分为深断裂、大断裂和一般断裂三个级别。深断裂指延伸长、规模大,切割深度可能达岩石圈的断裂,其对研究区地质构造演化具有决定性的控制作用;大断裂指切割深及结晶基底,其对基底断块升降起控制作用的断裂;一般断裂指规模小,延伸较短、切割较浅的断裂。

推断结果显示(图3),全内主干断裂以NWW—EW向为主,其次为NW向及NNE—NE向断裂。纵观断裂构造形迹的展布特征,以横贯全区的 $F_2\sim F_6$ 等5条NWW—EW向区域性深断裂构成了“南北分带”的基本“骨架”,NNE—NE向、NW向深、大断裂将全区进一步细化为若干区块,与NWW—EW向主干断裂相互交错形成“网格状”的独特结构特征,共同构成了全区“南北分带、东西分块”的基本构造格架。

4.1 NWW—EW向断裂

NWW—EW向断裂代表了西秦岭造山带的主构造方向,在航磁上往往表现为不同面貌磁场分区的界线和巨大的磁场梯度带,是区内构造单元划分的天然界线。这些断裂分别汇入商丹、勉略两大板块缝合带,其形成和发展伴随着整个秦岭造山带复杂的演化历程,尤其对西秦岭地区弧盆体系的形成和演化、岩石地层的分布起决定性的控制作用(董云鹏等,2003)。新太古代—古元古代是变质结晶杂岩系基底和火山—沉积浅变质岩系过渡性基底的形成阶段,新元古代—三叠纪(主造山期)多板块

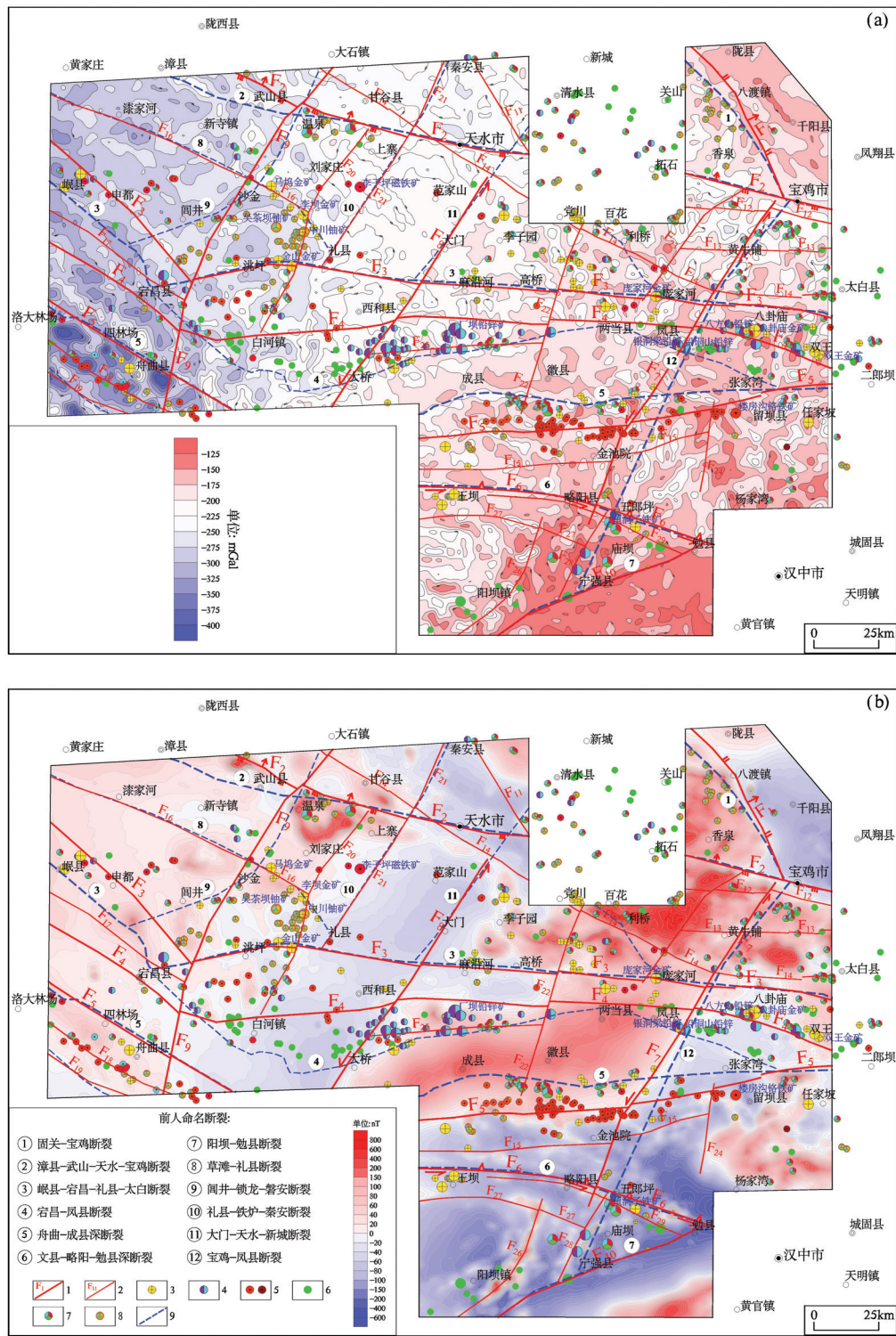


图3 推断主干断裂结果(图中蓝色虚线代表前人命名断裂,据张国伟等,1995;王宗起等,2009;杨宗让,2012资料改编)
 a—布格重力异常等值线平面图;b—航磁 ΔT 化极上延1000 m等值线平面图;1—推断深断裂;2—推断大断裂;3—金矿;
 4—铅锌矿;5—磁铁矿、褐铁矿;6—铜矿;7—多金属矿;8—铀矿;9—前人命名断裂

Fig.3 Inferred the result of main fracture

a— Contour plan view of Bouguer gravity; b— Contour plan view of 1000 m upward RTP ΔT aeromagnetic survey
 1—Inferred deep fracture;2—Inferred major fracture;3—Gold mine;4—Lead-zinc mine;5—Magnetite, limonite;6—Copper mine;
 7—Polymetallic ore;8—Uranium deposit;9—Previously named fracture

(主要为华北、扬子)沿商丹、勉略缝合带南北向俯冲碰撞和燕山期的陆内拉张作用,逐步奠定了秦岭造山带的基本构造格架(张国伟等,1995;王涛,2002;冯益民等,2003;张昕等,2017),即NWW—EW向深、大断裂应发育于主造山期,是最早形成的断裂。此外,据不完全统计,已发现的金、铅锌、铀、铁、铜多金属矿床中约70%位于NWW—NW向深、大断裂沿线或其夹持区域,表明这些断裂为深源岩浆热液上涌的通道,为原生矿物的运移提供了先决条件,尤其对泥盆系盆地内构造—岩浆改造型金矿、热水喷流沉积—改造型铅锌多金属成矿具有主要的控制作用(方维萱等,2000;冯建忠等,2002;王义天等,2018)。

漳县—武山—天水—宝鸡深断裂(F_2)地处秦祁结合部位,关于该断裂的属性尚存在一定争议。部分学者认为秦岭、祁连两大造山带在空间上是相连的,二者的构造演化和造山过程也基本一致,共同构成华北板块与扬子板块间的碰撞拼合带,即该断裂应属北秦岭构造带北缘断裂,亦为武山—天水逆冲推覆构造带的组成部分之一,不具构造分隔作用(宋志高等,1991)。此后的研究成果表明,秦岭、祁连两大造山带并非为简单一一对接关系,而呈巨大斜切交接的构造关系,二者原本分属不同构造单元,于印支期秦岭地区全面的俯冲—碰撞造山过程中,以走滑兼具向北推覆逆冲作用结合成一体,即该断裂应为构造单元的分界断裂,其北侧属祁连构造带,以南归为北秦岭构造带(张国伟等,1995;袁学诚等,1997;喻学惠,2001;闫臻等,2012)。该断裂航磁表现为巨大的线性梯度带,其东、西两段分别切割宝鸡—党川及温泉—武山两片强磁异常区块,清晰的反映了其作为构造分区界限的磁场特征。研究区内该断裂东西两端分别定位于武山、宝鸡,且由梯度带连续性推断该断裂仍有外延趋势。本文认为该断裂应是北秦岭构造带与祁连构造带、华北陆块(区内为鄂尔多斯盆地)的边界断裂。

舟曲—成县深断裂(F_3)为中秦岭构造带与南秦岭构造带分界线,由于地质背景及重磁特征差异较大,在区内分为东西两段。西段具有清晰连续的线性重磁场特征,与 F_4 深断裂西段分别构成了白水江古陆三叠系南北两条断层接触带,对断裂南侧泥盆系金及多金属、志留系碳硅泥岩型铀成矿均具有显

著控制作用;东段在金池院以西为成一凤基底隆起南界断裂(袁学诚,1997),在留坝—任家坡一线与前人划分留坝—山阳断裂带大体重合,并继续向东延伸,卷入商丹缝合带(喻学惠,2001),该段地表主要为志留系、泥盆系出露区,岩浆活动较西段明显增强,在航磁上异常形态复杂,强度变化大,连续性差,局部发生NE方向的扭转,且在张家湾呈向北凸出的重力高,推测该段应为北倾性质。该断裂东西两段截然不同的地球物理场特征,反映了中、南秦岭构造带之间由西向东,所处沉积建造、岩浆—构造组合由相对简单到复杂的变化过程。

文县—略阳—勉县深断裂(F_4)在区内为南秦岭构造带南界断裂,属勉略缝合带的组成断裂之一,亦为前人划定宁陕断裂带西段,该断裂以南跨入扬子板块北缘构造带(李三忠等,2002;冯建忠等,2003;胡建民等,2011)。在航磁上该断裂呈弱磁场梯度带,较为连续,上延后仍能辨认出其构造行迹,五郎坪以西为泥盆系与北侧志留系断层接触界线,以东为泥盆系与光头山—留坝岩区接触界线。按目前研究成果,大体确认了该断裂主要发育时代在中侏罗世末至早白垩世,是秦岭造山带主碰撞阶段之后陆内变形过程的产物,其断裂性质复杂,早期为韧性剪切变形,晚期为脆性变形,主体表现为左行走滑兼具逆冲推覆的运动学特征(冯建忠,2003)。此外,在研究区南部金池院—略阳一带(即 F_3 、 F_4 两条深断裂夹持区域内),新推断了十余条一般断裂,这些断裂内由于充填有不同磁性或不连续分布的火成岩,表现为NWW—EW向线性或串珠状正磁异常带,是利用航磁资料解释断裂的典型标志(图4)。该区域是勉略缝合带中最为典型的蛇绿构造混杂岩带—“略阳三叉”的位置(张国伟等,1995),地表可见数条断续出露的由超基性岩、辉长岩、拉斑玄武岩和硅质岩所构成的显著混杂岩带,由于植被较为发育,给断裂的地质观察、识别带来一定困难。本次新推断的这些断裂,较好地反映出该蛇绿混杂岩带隐伏部分的分布情况,为后续深入开展基础地质研究提供了新的航磁依据。

4.2 NNE—NE向断裂

NNE—NE向深、大断裂往往是区内次级构造单元的界线,如本文厘定的宝鸡—凤县断裂(F_7)、 F_8 及 F_9 等3条深断裂由东向西将中、南秦岭构造带细

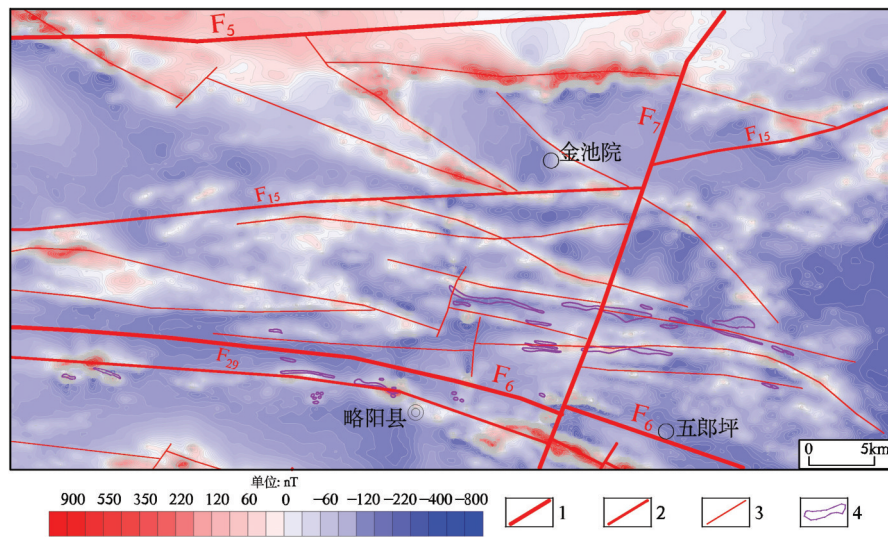


图4 金池院-略阳一带航磁 ΔT 化极特征及断裂推断结果

1—推断深断裂;2—推断大断裂;3—推断一般断裂;4—蛇绿杂岩

Fig. 4 RTP ΔT aeromagnetic and fracture inference results in Jinchiyuan-Lüeyang area

1—Inferred deep fracture; 2—Inferred major fracture; 3—General fracture; 4—Ophiolitic complex rocks

分为凤—太盆地、成一凤基底隆起、西—成盆地及白龙江古陆等单元。前人认为,西秦岭地区在泥盆纪时期为前陆盆地,处于深部扩张的背景下(霍福臣等,1996;李延河等,1997;冯建忠等,2003),在进入主造山过程末期(晚三叠世),由于岩石圈垂向加积增生作用,发展形成了一系列呈NNE向相间分布的穹状背斜和盆状向斜,与先期近EW向构造直交叠加成网格状构造样式,随着中生代进入强烈陆内造山阶段,急剧的升降运动和左行平移,导致褶皱体系不断发展成为断陷盆地与基底陆块隆起,并伴随有大规模的花岗岩浆活动和成矿作用(张国伟等,1995;张国伟等,1996;李三忠等,2002)。因此,该组断裂应是秦岭主造山期(中生代)陆内造山作用的产物,其性质应以左行张扭性为主,切割深度、广度不及NWW—NW向断裂,并对后者具有明显的切割、牵引或阻挡作用。在航磁图上,NNE—NE向断裂多表现为线性磁场梯度带,具有较好的连续性,大部分地段具有分隔不同面貌磁场区的作用。相比于 F_8 及 F_9 , F_7 断裂线性特征更为显著,大地电磁资料(詹艳等,2014)将该断裂定位于宝鸡—宁强,即切穿至碧口地体,本文将其南端定位于略阳,即未切至碧口地体。上文提及,该组断裂多处于NWW—EW向、NW向重磁场扭转、变异部位,说明了其形成时间总体上应晚于NWW—NW向断裂,这

在一定程度上印证了前人的认识。

从已知矿的分布特征可知,NNE—NE向深、大断裂一带亦分布有一定数量的多金属、铀矿床,表明该组断裂对深部矿源物质的运移亦起到一定的疏导作用。以中川—温泉岩体群为例,其具有典型“气球膨胀”成岩模式(图5),在该模式下所形成的巨大侧向挤压应力与区域应力场共同作用,形成了初始控矿构造,促进了含矿热液发生运移,主成矿期沿这些控矿构造下渗的大气降水与深部变质水混合,向下遇热后转为沿深断裂上升,这种卤水不断萃取地层中的成矿物质,形成含矿岩浆热水系统,进入容矿构造后或与围岩交代、或沉淀富集成矿。主成矿期后,深部岩浆房中基性组分变得活跃,沿断裂上侵就位于矿体分布区。形成了围绕这些岩体分布的大量同源而不同类型的脉岩矿床,如温泉钼矿、李坝金矿、金山金矿、马钨金矿、中川铀矿等大中型矿床(宋忠宝等,1997;许亚玲等,2006;韩海涛等,2008;李晓福等,2010;李宏卫等,2011;刘树文等,2011;彭璇,2013;徐学义等,2014)。结合杜玉良等(2003)的研究,这些内生矿床,无论其成因类型、赋矿岩石及其时代是否相同,大都沿着NE向岩浆活动带展布,或集中分布在其与先期NWW向断裂交汇、叠加部位,特别是一些大型矿床,主要分布在岩体之间的隆拗过渡带,矿产分布

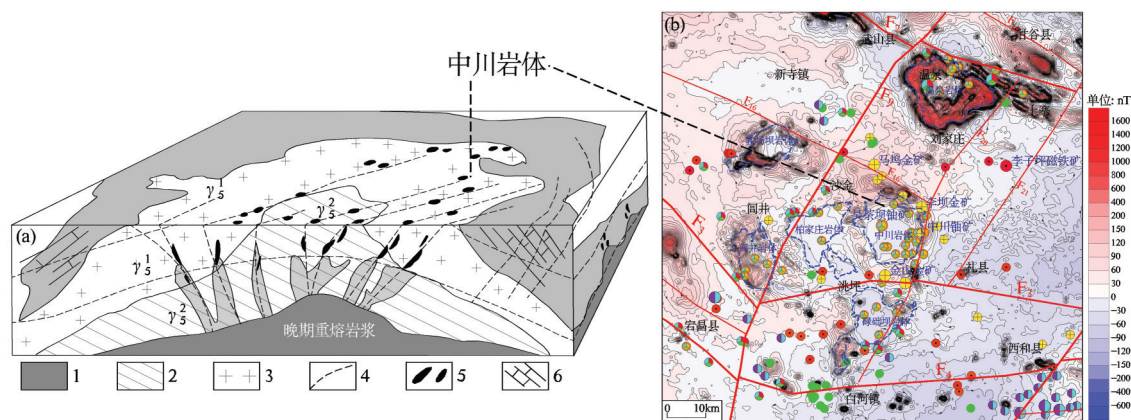


图5 中川—温泉岩体群成岩成矿模式及主干断裂推断结果

a—中川岩体成岩成矿作用综合模型(据李宏卫等,2011改编);b—航磁 ΔT 化极特征及断裂推断结果;1—晚期岩浆;2—早期岩浆;3—花岗岩;4—断裂;5—矿体;6—围岩蚀变带

Fig. 5 Zhongchuan–Wenquan rock group petrogenetic and metallogenic model and inference result of main fracture

a– Zhongchuan rock petrogenesis and mineralization comprehensive model(modified from Li et al., 2011);

b– RTP ΔT aeromagnetic features and fracture inference results

1–The late magma, 2–The early magma, 3–Granite, 4–Fault, 5–Orebody, 6–Wall rock alteration zone

总体呈现一种NWW向成带、NE向成串的格局与景观,显示出“岩体—断裂—地层”三位一体的成矿控矿模式。这与本次断裂推断结果是十分吻合的,特别是 F_8 和 F_{20} 断裂应是中川—温泉岩体群新发现的重要控矿断裂。

4.3 NW向断裂

本文重新厘定了已知固关—宝鸡深断裂(F_1)和迭部—武都大断裂(F_{19})的位置,新推断了 F_{10} 、 F_{17} 、 F_{18} 等大断裂。 F_1 断裂基本为隐伏状态,少量出露部分具多期活动特点,早期呈正断层兼左型走滑剪切,现阶段以右行挤压走滑性质为主(王涛等,2002),在航磁上表现为不同面貌磁场的分界线,是华北陆块与北祁连构造带在区内的边界断裂。 F_{10} 为本文新推断大断裂,区内延伸较短,由于第四系覆盖,使得前人对中祁连地块和北祁连构造带准确的分界位置尚不明确(冯益民等,1997;潘桂棠等,2009), F_{10} 断裂为二者界线划定提供了可靠位置。 F_{17} – F_{19} 断裂集中分布在西南部岷县—宕昌—舟曲一带,航磁上表现为清晰的NW向线性梯度带,与 F_5 、 F_6 两条深断裂西段几乎平行展布,但它们并不具有构造分区作用,应为古生界地层之间断层接触界线,尤其是 F_{18} 、 F_{19} 断裂,对志留系碳硅泥岩型铀矿及泥盆系金矿具有重要的控制作用。从断裂磁场轴线变化特征上分析,这些NW向断裂发育时间应与NWW—EW向断裂相当,均晚于NE向断裂。

5 结论

(1)古生界泥盆系、石炭系、二叠系、中生界三叠系碳酸盐岩—沉积碎屑岩是形成平稳负磁背景的主要原因;广泛发育的各类侵入岩,是形成复杂变化、形态各异的叠加异常的主要原因。

(2)NWW—EW向、NNE—NE向以及NW向深、大断裂共同构成了全区“南北分带,东西分块”的基本构造格架。NWW—EW向深大断裂是华北板块、扬子板块在新元古代—三叠纪分别沿商丹、勉略缝合带南北向俯冲碰撞的产物,是本区最早形成的主干断裂,亦作为本区一级构造单元的分界断裂,航磁上以不同面貌磁场分界线和巨大的磁场梯度带为特征;NNE—NE向深大断裂可能是秦岭强烈陆内造山阶段(晚三叠世—新生代)垂向加积增生作用的产物,是北秦岭、中秦岭构造带内次级构造单元的界限,性质应以左行张扭性为主,对NWW—EW向、NW向断裂具有明显的切割、牵引或阻挡作用,航磁上以连续性较好的线性梯度带或磁场扭转变异带为特征。

(3)NWW—EW向深、大断裂是深源矿物、岩浆上涌的通道,为原生矿物的运移提供了先决条件,NNE—NE向断裂对深部矿源物质的运移也起到一定的疏导作用,二者交汇部位是成矿的有利部位。分布在西南部岷县—宕昌—舟曲一带的NW向断

裂,对志留系碳硅泥岩型铀矿及泥盆系金矿具有重要的控制作用。

致谢:核工业航测遥感中心江民忠、汪远志、常树帅等教授级高工给与了本文悉心指导,两位匿名审稿专家提出了宝贵建议,在此一并表示衷心感谢。

注释

①核工业航测遥感中心. 2017. 甘肃礼县—陕西宝鸡地区航空物探调查成果报告[R].

②本文重力资料来源于由 Oasis montaj 平台下载自由空间重力数据,经地形改正,转换为布格重力异常数据,点距为 1.7 km。

References

- Chen Weinan, Pei Xianzhi, Liu Chengjun, Li Ruibao, Li Zuochen, Wei Bo, Xu Xiaochun, Liu Tuyuan, Wang Yuanyuan, Ren Houzhou. 2014. The Detrital zircon U–Pb ages and significance of the Taiyangsi Group in Shujiaba area of the West Qinling tectonic zone[J]. *Geology in China*, 41(3):1257–1273.
- Chen Yanjing. 2010. Indosinian tectonic setting, magmatism and metallogenesis in Qinling Orogen, central China[J]. *Geology in China*, 37(4):854–865(in Chinese with English abstract).
- Ding Saping. 2008. Early Palaeozoic Tectonic Framework and Evolution in the Junction of Western Qinling Orogenic Belt and Qilian Orogenic Belt[D]. Chang'an University, 8–10(in Chinese with English abstract).
- Dong Yunpeng, Zhang Guowei, Zhao Xia, Yao Anping. 2003. Proterozoic tectonics and evolutionary history of the north Qinling terrane[J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 24(1):3–10(in Chinese with English abstract).
- Du Yuliang, Tang Zhongli, Cai Keqin, Li Wenyuan, Zhang Tao. 2003. Relationship between Indosinian–Yanshanian tectonic framework and large–superlarge mineral deposits in Qinling–Qilian orogenic belt[J]. *Mineral Deposits*, 22(1):65–71(in Chinese with English abstract).
- Fan Zhengguo, Huang Xuzhao, Xiong Shengqing, Liang Yueming, Zhang Hongrui, Zhou Daoqing, Xu Kun, Wang Jianhua, Wang Shilin, Yang Xue, Zuo Qunchao. 2010. Technical Requirements for Magnetic Application[M]. Beijing: Geological Publishing House, 86–90(in Chinese with English abstract).
- Fang Weixuan, Huang Zhuanying. 2012. Tectonic deformation styles and dynamics of gold–polymetallic deposits in Fengtai apart–pull basin of Shaanxi Province in relation to gold mineralization[J]. *Geology in China*, 39(5):1211–1228(in Chinese with English abstract).
- Fang Weixuan, Liu Fangjie, Hu Ruizhong, Huang Zhuanying. 2000. The characteristics and diagenetic–metallogenic pattern for cherts and siliceous ferrodolomites from Fengtai apart–pull basin, Qinling Orogen[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 16(4):700–710(in Chinese with English abstract).
- Feng Jianzhong, Shao Shicai, Wang Dongbo. 2002. Baguamiao superlarge gold deposit in the Qinling Orogen: The characteristics of its control by the brittle–ductile shear zone and dynamic mechanism for ore–forming structure[J]. *Geology in China*, 29(2):58–66(in Chinese with English abstract).
- Feng Jianzhong, Wang Dongbo, Wang Xueming, Shao Shicai, Ma Zhiguo, Zhang Xuangu. 2003. Geology and metallogenesis of the Baguamiao giant gold deposit in Fengxian, Shaanxi Province[J]. *Acta Geologica Sinica*, 77(3):387–398(in Chinese with English abstract).
- Feng Yimin. 1997. Investigatory summary of the Qilian Orogenic Belt, China: History, presence and prospect[J]. *Advance in Earth Sciences*, 12(4):307–314(in Chinese with English abstract).
- Feng Yimin, Cao Xuanduo, Zhang Erpeng, Hu Yunxu, Pan Xiaoping, Yang Junlu, Jia Qunzi, Li Wenming. 2003. Tectonic evolution framework and nature of the West Qinling Orogenic Belt[J]. *Northwestern Geology*, 36(1):1–10(in Chinese with English abstract).
- Han Haitao, Liu Jishun, Dong Xin, Zhou Yuguo, Wang Guoren, Shi Jianjun. 2008. Geochemical characteristics of the Wenquan porphyry molybdenum deposit in West Qinling[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 32(2):139–143(in Chinese with English abstract).
- He Jinzhong, Yao Shuzhen. 2011. Geochemical evidence for the orogenic process of West Qinling in Gansu since Neoproterozoic and its metallogenic background[J]. *Geology in China*, 38(3):637–656(in Chinese with English abstract).
- Hu Jianmin, Meng Qingren, Chen Hong, Wu Guoli, Qu Hongjie, Gao Wei, Chen Wen. 2011. Tectonic evolution and implication of Ningshan Fault in the central part of Qinling orogen[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 27(3):657–671(in Chinese with English abstract).
- Huo Fuchen, Li Yongjun. 1996. Geological evolution of the West Qinling orogenic belt[J]. *Acta Geologica Gansu*, 5(1):1–15(in Chinese with English abstract).
- Li Chengdong, Zhao Ligang, Xu Yanwen, Chang Qingsong, Wang Shiyan, Xu Teng. 2018. Chronology of metasedimentary rocks from Kuanping Group Complex in North Qinling Belt and its geological significance[J]. *Geology in China*, 45(5):992–1010(in Chinese with English abstract).
- Li Hongwei, Lou Feng, Xu Guanjun, Chen Zhen, Chen Xiaoyue. 2011. Mineralization relevant to repeated crustal melting: An example from the ZCGB, Gansu Province[J]. *Earth Science Frontiers*, 18(1):126–132(in Chinese with English abstract).
- Li Sanzhong, Zhang Guowei, Li Yalin, Lai Shaocong, Li Zonghui. 2002. Deformation and orogeny of the Mian–lue suture zone in the Qinling orogenic belt[J]. *Acta Geologica Sinica*, 76(4):469–483(in Chinese with English abstract).
- Li Xiaofu. 2010. Analysis of enrichment conditions and genesis of

- uranium mineralization of Zhongchuan pluton[J].Gansu Geology,15(2):1-14(in Chinese with English abstract).
- Li Yanhe,Jiang Shaoyong,Xue Chunji.1997.A comparative study of ore-forming environments and conditions in Feng-Tai and Zha-Shan orefields,Qinling Mountains[J].Mineral Deposits,16(2):170-180(in Chinese with English abstract).
- Liu Shuwen,Yang Pengtao,Li Qiugen,Wang Zongqi,Zhang Wanyi,Wang Wei.2011.Indosinian granitoids and orogenic processes in the middle segment of the Qinling orogen[J].Journal of Jilin University (Earth Science Edition),41(6):1928-1943(in Chinese with English abstract).
- Luo Shunshu,Pan Zhiyuan,Lv Qiqi,He Weiling,Wen Shuo.2017.The upper paleozoic detrital zircon U-Pb geochronology and its tectonic significance in southwestern Ordos Basin[J].Geology in China,44(3):556-573(in Chinese with English abstract).
- Lü Song,Yan Danping,Wang Yan,Gao Jianfeng,Qi Liang. 2010. Geochemical and geochronological constraints on the Mashan and Mupiplutons in the South Qinling orogenic belt:Implications for tectonic nature of the Bikou terrane[J].Acta Petrologica Sinica,26(6):1889-1901(in Chinese with English abstract).
- Pan Guitang,Xiao Qinghui,Lu Songnian,Deng Jinfu,Feng Yimin,Zhang Kexin,Zhang Zhiyong,Wang Fangguo,Xing Guangfu,Hao Guojie,Feng Yanfang. 2009.Subdivision of tectonic units in China[J].Geology in China,36(1):1-28(in Chinese with English abstract).
- Pei Xianzhi, Ding Sapng,Hu Bo,Li Yong,Zhang Guowei,Guo Junfeng. 2004. Definition of the Guanzishan ophiolite in Tianshui area,Western Qinling,and its geological significance[J].Geological Bulletin of China,23(12):1202-1208(in Chinese with English abstract).
- Pei Xianzhi,Li Zuochen,Ding Sapng,Li Yong,Hu Bo,Liu Huibin.2005. Geochemical characteristics and zircon U-Pb ages of island-arc basic igneous complexes in the Tianshui area,West Qinling[J].Geology in China, 32(4):529-540(in Chinese with English abstract).
- Pei Xianzhi,Zhang Weiji,Wang Tao,Wang Qingquan,Li Wuping,Li Guoguang.1995.Geological characteristics and tectonic evolution in the North Qinling orogenic belt[J].Northwestern Geology,16(4): 8-12(in Chinese with English abstract).
- Peng Xuan,2013.Reserch on homology for the rock group of monzonite granite in the Western Qinling[J].Northwestern Geology, 46(1):63-80(in Chinese with English abstract).
- Song Zhigao,Jia Qunzi,Zhang Zhitao,Zhang Mei.1991.The early palaeozoic volcanic rock series and its interconnection relationship between the North Qinling and the North Qilian orogens[J]. Bulletin of Xi'an Institute of Geology and Mineral resources, Chinese Academy of Geological Sciences, (34):1-82(in Chinese with English abstract).
- Song Zhongbao,Feng Yimin,He Shiping. 1997.Characteristics of tectono-magmatism of Zhongchuan granite and its ore-forming process[J].Journal of Xi'an College of Geology, 19(4):48-52(in Chinese with English abstract).
- Wang Jinghua,Zhang Fuxin,Yu Zaiping,Yu Lan. 2002.Minero-genetic series of metallic ore deposits in the Qinling Mountains and tectonodynamic background of the continental orogenic belts[J].Geology in China,29(2):192-196(in Chinese with English abstract).
- Wang Yitian,Chen Shaocong,Hu Qiaoqing,Zhang Juan,Liu Xielu,Huang Shikang.2018.Tectonic controls on polymetallic mineralization in the Fengxian-Taibai ore cluster zone,Western Qinling,Shannxi Province[J].Acta Petrologica Sinica,34(7):1959-1976(in Chinese with English abstract).
- Wang Tao,Zhang Guowei,Pei Xianzhi,Zhang Chengli,Li Wuping.2002. Possibility of the existence of a Neoproterozoic NW trending orogenic belt in the North Qinling and convergence and breakup of blocks on its two sides[J].Geological Bulletin of China,21(8/9): 516-522(in Chinese with English abstract).
- Wang Zongqi,Yan Quanren,Yan Zhen,Wang Tao,Jiang Chunfa,Gao Lianda,Li Qiugen,Chen Junlu,Zhang Yingli,Liu Ping,Xie Chunlin,Xiang Zhongjin.2009.New division of the main tectonic units of the Qinling Orogenic Belt,Central China[J].Acta Geologica Sinica, 83(11):1527-1546(in Chinese with English abstract).
- Wen Zhiliang,Zhao Renfu,Wang Feng,Wang Feng,Guo Zhouping.2008. Geochemistry and tectonic environment of the Xiongshangou intrusion in the West Qinling[J]. Geology in China, 35(4):618-627.
- Xu Xueyi,Chen Junlu,Gao Ting,Li Ping,Li Ting.2014.Granitoid magmatism and tectonic evolution in northern edge of the Western Qinling terrane[J].Acta Petrologica Sinica, 30(2):371-389(in Chinese with English abstract).
- Xu Xueyi,He Shiping,Wang Hongliang,Zhang Erpeng,Chen Junlu,Sun Jiming. 2008. Tectonic framework of North Qinling Mountain and North Qilian Mountain conjunction area in early paleozoic:A study of the evidences from strata and tectonic-magmatic events[J]. Northwestern Geology, 41(1):1-21(in Chinese with English abstract).
- Xu Yaling,Mao Yongzhong,Wang Ganggang. 2006. Discuss on diagenetic and metallogenic features and metallogenic mechanism of Baijiashuang Rock mass in Minxian-Lixian area of Gansu Province[J].Gansu Geology,15(2):36-41(in Chinese with English abstract).
- Yan Zhen,Wang Zongqi,Li Jiliang,Xu Zhiqin,Deng Fujin.2012. Tectonic settings and accretionary orogenesis of the West Qinling Terrance,northeastern margin of the Tibet Plateau[J].Acta Petrologica Sinica,28(6):1808-1828(in Chinese with English abstract).
- Yan Zhen,Wang Zongqi,Wang Tao,Yan Quanren.2002.Sedimentary environment and tectonic significance of the Dacotan Group of the western Qinling mountains[J].Geologica Bulletin of China, 21(8/9):505-515(in Chinese with English abstract).
- Yang Zhihua,Guo Junfeng,Su Shengrui,Li Yong,Su Chunqian,Zhang Chuanlin,Hei Aizhi,Liang Yun.2002.New advances in the geological study of the Qinling orogen[J].Geology in China,29(3): 246-256(in Chinese with English abstract).
- Yang Zhongrang. 2002. Discussion on plate tectonic and mineralizing

- process in middle-late Proterozoic in Qinling orogenic belt and its adjacent area[J]. *Geology of Shaanxi*, 20(1):1-8(in Chinese with English abstract).
- Yang Zhongrang, Gong Xiaoping, Liu Jianchao, Zhou Yi, Zhang Quanxi. 2008. Hydrothermal metallogenetic system of Late Paleozoic forearc accretionary basin in the South Qinling[J]. *Journal of Northwest University(Natural Science Edition)*, 38(5): 807-812(in Chinese with English abstract).
- Yang Zongrang. 2012. Studies on the Mineralization System of Large Ore-cluster Areas in Qinling Orogenic Belt[D]. Chang'an University, 8-13(in Chinese with English abstract).
- Yu Xuehui, Mo Xuanxue, Martin Flower, Su Shangguo, Zhao Xin. 2001. Cenozoic kamafugite volcanism and tectonic meaning in west Qinling area, Gansu province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 17(3):366-378(in Chinese with English abstract).
- Yu Xuehui, Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, Huang Xingkai, Li Yong, Chen Yanfang, Wei Yufang. 2009. Two types of Cenozoic potassic volcanic rocks in West Qinling, Gansu Province: Their petrology, geochemistry and petrogenesis[J]. *Earth Science Frontiers*, 16(2): 79-89(in Chinese with English abstract).
- Yuan Xuecheng. 1997. The crustal structure of the Qinling orogeny and wenging mountain building[J]. *Acta Geologica Sinica*, 71(3): 227-235(in Chinese with English abstract).
- Zhan Yan, Zhao Guoze, Wang Lifeng, Wang Jijun, Chen Xiaobin, Zhao Lingqiang, Xiao Qibin. 2014. Deep electric structure beneath the intersection area of West Qinling orogenic zone with North-South Seismic tectonic zone in China[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 57(8):2594-2607(in Chinese with English abstract).
- Zhang Dexian, Cao Hui, Shu Zhengxiang, Lu Anhuai. 2015. Indosinian magmatism and tectonic setting of Xiahe-Hezuo area, western Qinling Mountains-implications from the Dewulu quartz diorite and Laodou quartz dioritic porphyry[J]. *Geology in China*, 42(5): 1257-1273.
- Zhang Guowei, Dong Yunpeng, Yao Anping. 1997. The crustal compositions, structures and tectonic evolution of the Qinling orogenic belt[J]. *Geology of Shaanxi*, 15(2):1-14(in Chinese with English abstract).
- Zhang Guowei, Guo Anlin, Liu Futian, Xiao Qinghui, Meng Qingren. 1996. Three dimensional structure and dynamics analysis of Qinling Mountains orogenic belt[J]. *Science in China(Series D)*, 26(suppl.):1-6(in Chinese with English abstract).
- Zhang Guowei, Meng Qingren, Lai Shaocong. 1995. Structure of Qinling Mountains orogenic belt[J]. *Science in China(Series B)*, 25(9):994-1003(in Chinese with English abstract).
- Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, Xiao Qinghui. 2001. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics[M]. Beijing: Science Press, 117-154(in Chinese with English abstract).
- Zhang Guowei, Zhang Zongqing, Dong Yunpeng. 1995. Nature of main tectono-lithostratigraphic units of the Qinling orogeny: Implications for the tectonic evolution[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 11(2):101-114(in Chinese with English abstract).
- Zhong Jianhua. 1997. On the evolution of regional metallogenetic geotectonics of the Devonian system in Qinling, Shaanxi Province[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 21(3):189-284(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 陈伟男,裴先治,刘成军,李瑞保,李佐臣,魏博,胥晓春,刘图杰,王元元,任厚州. 2014. 西秦岭舒家坝地区太阳寺岩组碎屑锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. *中国地质*, 41(3):741-755.
- 陈衍景. 2010. 秦岭印支期构造背景、岩浆活动及成矿作用[J]. *中国地质*, 37(4):854-865.
- 丁仁平. 2008. 西秦岭-祁连造山带(东段)交接部位早古生代构造格架及构造演化[D]. 长安大学博士学位论文, 8-10.
- 董云鹏,张国伟,赵霞,姚安平. 2003. 北秦岭元古代构造格架与演化[J]. *大地构造与成矿学*, 24(1):3-10.
- 杜玉良,汤中立,蔡克勤,李文渊,张韬. 2003. 秦岭-祁连造山带印支-燕山构造与大型-超大型矿床的形成关系[J]. *矿床地质*, 22(1): 65-71.
- 范正国,黄旭钊,熊盛青,梁月明,张洪瑞,周道卿,徐昆,万建华,王世林,杨雪,左群超. 2010. 磁测资料应用技术要求[M]. 北京:地质出版社, 86-90.
- 方维莹,黄转盈. 2012. 陕西凤太拉分盆地构造变形样式与动力学及金-多金属成矿[J]. *中国地质*, 39(5):1211-1228.
- 方维莹,刘方杰,胡瑞忠,黄转盈. 2000. 凤太泥盆纪拉张盆地中硅质铁白云石-硅质岩特征及成矿成岩方式[J]. *岩石学报*, 16(4):700-710.
- 冯建忠,绍世才,汪东波. 2002. 陕西八桂庙金矿脆-韧性剪切带控矿特征及成矿构造动力学机制[J]. *中国地质*, 29(2):58-66.
- 冯建忠,汪东波,王学明,邵世才,马治国,张选固. 2003. 陕西凤县八桂庙超大型金矿床成矿地质特征及成矿作用[J]. *地质学报*, 77(3): 387-398.
- 冯益民. 1997. 祁连造山带研究概况——历史、现状及展望[J]. *地球科学进展*, 12(4):307-314.
- 冯益民,曹宣铎,张二朋,胡云绪,潘晓萍,杨军录,贾群子,李文明. 2003. 西秦岭造山带的演化、构造格局和性质[J]. *西北地质*, 36(1):1-10.
- 韩海涛,刘继顺,董新,周余国,王国仁,史建军. 2008. 西秦岭温泉斑岩型钼花岗岩类地球化学特征[J]. *物探与化探*, 32(2):139-143.
- 何进忠,姚书振. 2011. 新元古代以来甘肃西秦岭造山过程的地球化学证据及其成矿背景[J]. *中国地质*, 38(3):637-656.
- 胡建民,孟庆任,陈虹,武国利,渠洪杰,高卫,陈文. 2011. 秦岭造山带内宁陕断裂带构造演化及其意义[J]. *岩石学报*, 27(3):657-671.
- 霍福臣,李永军. 1996. 西秦岭造山带的演化[J]. *甘肃地质学报*, 5(1): 1-15.
- 李承东,赵利刚,许雅雯,常青松,王世炎,许腾. 2018. 北秦岭宽坪岩群变质沉积岩年代学及地质意义[J]. *中国地质*, 45(5): 992-1010.
- 李宏卫,姜峰,许冠军,陈震,陈小月. 2011. 多次重熔的成矿作用:对甘肃中川岩体成岩成矿过程的再认识[J]. *地学前缘*, 18(1):126-132.

- 李三忠,张国伟,李亚林,赖绍聪,李宗会.2002.秦岭造山带勉略缝合带构造变形与造山过程[J].地质学报,76(4):469-483.
- 李晓福.2010.中川岩体铀矿化富集条件及铀矿化成因分析[J].甘肃地质,19(3):44-48.
- 李延河,将少涌,薛春纪.1997.秦岭凤一太矿田与祚一山矿田成矿条件及环境的对比研究[J].矿床地质,16(2):170-180.
- 刘树文,杨朋涛,李秋根,王宗起,张万益,王伟.2011.秦岭中段印支期花岗岩岩浆作用与造山过程[J].吉林大学学报(地球科学版),41(6):1928-1943.
- 罗顺社,潘志远,吕奇奇,何维领,文硕.2017.鄂尔多斯盆地西南部上古生界碎屑锆石U-Pb年龄及其构造意义[J].中国地质,44(3):556-573.
- 吕崧,颜丹平,王焰,高剑峰,漆亮.2010.碧口地块麻山、木皮岩体岩石地球化学与地质年代学:对构造属性的指示意义[J].岩石学报,26(6):1889-1901.
- 潘桂棠,肖庆辉,陆松年,邓晋福,冯益民,张克信,张智勇,王方国,邢光福,郝国杰,冯艳芳.2009.中国大地构造单元划分[J].中国地质,36(1):1-28.
- 裴先治,丁仁平,胡波,李勇,张国伟,郭军锋.2004.西秦岭天水地区关子镇蛇绿岩的厘定及其地质意义[J].地质通报,23(12):1202-1208.
- 裴先治,李佐臣,丁仁平,李勇,胡波,刘会彬.2005.西秦岭天水地区岛弧型基性岩浆杂岩的地球化学特征及形成时代[J].中国地质,32(4):529-540.
- 裴先治,张维吉,王涛,王庆全,李伍平,李国光.1995.北秦岭造山带的地质特征及其构造演化[J].西北地质,16(4):8-12.
- 彭璇.2013.西秦岭二长花岗岩岩体群同源性研究[J].西北地质,46(1):63-80.
- 宋志高,贾群子,张治洮,张莓.1991.北秦岭—北祁连(天水—宝鸡间)早古生代火山岩系及其构造连接关系的研究[J].中国地质科学院西安地质矿产研究所所刊,(34):1-82.
- 宋忠宝,冯益民,何世平.1997.中川花岗岩构造岩浆活动特征与成矿作用[J].西安地质学院学报,19(4):48-52.
- 王靖华,张复新,于在平,于岚.2002.秦岭金属矿床成矿系列与大陆造山带构造动力学背景[J].中国地质,29(2):192-196.
- 王义天,陈绍聪,胡乔青,张娟,刘协鲁,黄诗康.2018.陕西凤太矿集区多金属成矿作用的构造控制[J].岩石学报,34(7):1959-1976.
- 王涛,张国伟,裴先治,张成立,李伍平.2002.北秦岭新元古代北北西向碰撞造山带存在的可能性及两侧陆块的汇聚与裂解[J].地质通报,21(8/9):516-522.
- 王宗起,闫全人,闫臻,王涛,姜春发,高联达,李秋根,陈隽璐,张英利,刘平,谢春林,向忠金.2009.秦岭造山带主要大地构造单元的新划分[J].地质学报,83(11):1527-1546.
- 温志亮,赵仁夫,王文,王锋,郭周平.2008.西秦岭熊山沟岩体地球化学及构造环境分析[J].中国地质,35(4):618-627.
- 徐学义,陈隽璐,高婷,李平,李婷.2014.西秦岭北缘花岗岩岩浆作用及构造演化[J].岩石学报,30(2):371-389.
- 徐学义,何世平,王洪亮,张二朋,陈隽璐,孙吉明.2008.早古生代北秦岭—北祁连结合部构造格局的地层及构造岩浆事件约束[J].西北地质,41(1):1-21.
- 许亚玲,毛永忠,王刚刚.2006.甘肃省岷县—礼县一带柏家庄岩体群的成岩成矿特点及成矿机制探讨[J].甘肃地质,15(2):36-41.
- 闫臻,王宗起,李继亮,许志琴,邓晋福.2012.西秦岭楔的构造属性及其增生造山过程[J].岩石学报,28(6):1808-1828.
- 闫臻,王宗起,王涛,闫全人.2002.西秦岭大草滩群的沉积环境及构造意义[J].地质通报,21(8/9):505-515.
- 杨志华,郭俊锋,苏生瑞,李勇,苏春乾,张传林,黑爱芝,梁云.2002.秦岭造山带基础地质研究新进展[J].中国地质,29(3):246-256.
- 杨宗让.2002.秦岭造山带及邻区中晚元古宙板块构造与成矿作用初析[J].陕西地质,20(1):1-8.
- 杨宗让,弓小平,刘建朝,周义,张全喜.2008.秦岭晚古生代增生弧前盆地的热水成矿系统[J].西北大学学报(自然科学版),38(5):807-812.
- 杨宗让.2012.秦岭造山带大型矿集区成矿系统研究[D].长安大学博士学位论文,8-13.
- 喻学惠,莫宣学, Martin Flower, 苏尚国,赵欣.2001.甘肃西秦岭新生代钾霞橄长岩火山作用及其构造含义[J].岩石学报,17(3):366-378.
- 喻学惠,莫宣学,赵志丹,黄行凯,李勇,陈延芳,韦玉芳.2009.甘肃西秦岭两类新生代钾质火山岩:岩石地球化学与成因[J].地学前缘,16(2):79-89.
- 袁学诚.1997.秦岭造山带地壳结构与楔入成山[J].地质学报,71(3):227-235.
- 詹艳,赵国泽,王立凤,王继军,陈小斌,赵凌强,肖骑彬.2014.西秦岭与南北地震构造带交汇区深部电性结构特征[J].地球物理学报,57(8):2594-2607.
- 张德贤,曹汇,束正祥,鲁安怀.2015.西秦岭造山带夏河—合作地区印支期岩浆活动及成矿作用——以德乌鲁石英闪长岩和老豆石英闪长斑岩为例[J].中国地质,42(5):1257-1273.
- 张国伟,董云鹏,姚安平.1997.秦岭造山带基本组成与结构及其构造演化[J].陕西地质,15(2):1-14.
- 张国伟,郭安林,刘福田,肖庆辉,孟庆任.1996.秦岭造山带三维结构及其动力学分析[J].中国科学(D辑),26(增刊):1-6.
- 张国伟,孟庆任,赖绍聪.1995.秦岭造山带的结构构造[J].中国科学(B辑),25(9):994-1003.
- 张国伟,张本仁,袁学诚,肖庆辉.2001.秦岭造山带与大陆动力学[M].北京:科学出版社,117-154.
- 张国伟,张宗清,董云鹏.1995.秦岭造山带主要构造岩石地层单元的构造性质及其大地构造意义[J].岩石学报,11(2):101-114.
- 钟建华.1997.陕西秦岭泥盆系区域成矿大地构造演化[J].大地构造与成矿学,21(3):189-284.