

北秦岭商南—丹凤段蛇绿岩带航磁和航空 γ 能谱特征及地质意义

骆遥, 李敬敏, 李诗珺, 杨海

(中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘要:通过最新获取的1:50000高精度航空磁测和航空 γ 能谱资料对北秦岭商南—丹凤一带(商丹段)航空地球物理场空间分布进行分析,划分了商丹段主要磁性构造单元和放射性构造单元。根据商南松树沟蛇绿岩的航磁、航空 γ 能谱场特征,建立了北秦岭构造带的标准蛇绿岩地球物理响应模式,利用该模式对丹凤资峪—郭家沟一带蛇绿岩范围进行了厘定,给出了丹凤蛇绿岩的地球物理学证据。同时推断了分水岭蛇绿岩和鲢鱼嘴—清油河一带基性超基性岩,认为鲢鱼嘴—清油河一带可能残存有蛇绿岩。

关键词:航空 γ 能谱;航空磁测;蛇绿岩响应;丹凤群;北秦岭

中图分类号:P631.2

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2017)01-0270-10

The Danfeng Ophiolite in Shangnan-Danfeng Area of the North Qinling Orogenic Belt: Aerogamma spectrometric and Aeromagnetic Characteristics and Its Geological Significance

LUO Yao, LI Jingmin, LI Shijun, YANG Hai

(China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: The spatial distribution of aerogamma spectrometric and aeromagnetic anomaly in Shangnan-Danfeng area of the North Qinling Orogenic Belt has been analyzed in this paper, and then the corresponding tectonic units has been divided on the basis of high-resolution aeromagnetic and aerogamma spectrometric survey. A standard geophysical response mode of ophiolite complex in the North Qinling Orogenic Belt has been established by extracting its characteristics of aeromagnetic and aerogamma spectrometric anomalies. The characteristics of Songshugou ophiolite show that the ophiolite complex in the North Qinling Orogenic Belt has low radionuclide concentrations and high-amplitude positive anomaly. According the geophysical response mode of Songshugou ophiolite, the mafic-ultramafic rocks in Guojiagou area have been identified as the ophiolites. And then, the spatial distribution of Guojiagou ophiolite in Danfeng area has been delineated by the geophysical evidences that obtained from the high-resolution aeromagnetic and aerogamma spectrometric survey. Meanwhile, the Fenshuiling ophiolite and Mianyuzui-Qingyouhe mafic-ultramafic rocks in Danfeng area have been inferred and interpreted in this paper, and

收稿日期:2016-9-14;**修回日期:**2016-10-24

基金项目:中国地质调查“陕西商南—丹凤航空物探(磁、放)调查”(12120115039801),“秦岭及天山等重点成矿区带航空物探调查”(DD20160066、12120120300016006)项目和国家高技术研究发展计划(863计划)(2013AA063901、2013AA063905)共同资助

作者简介:骆遥(1982-),男,辽宁沈阳人,高级工程师,长期从事航空地球物理探测工作。E-mail: geophy@vip.qq.com

it's inferred that some ophiolites may be existed in Mianyuzui-Qingyouhe area.

Keywords: aerogamma spectrometry; aeromagnetometry; airborne geophysical response of ophiolite; Danfeng Group; North Qinling Orogenic Belt

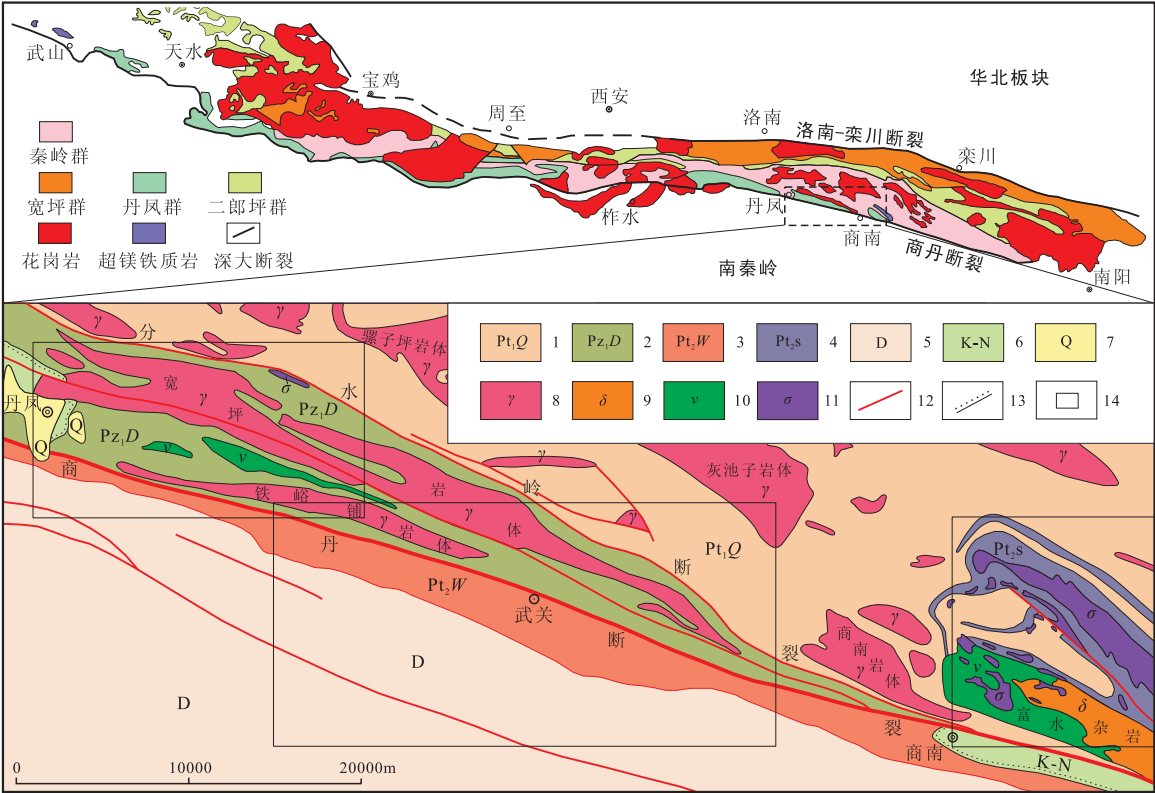
秦岭造山带是典型的复合型大陆造山带,经历了长期复杂演化,对其形成与演化仍有不同认识,北秦岭构造带则更富争议,丹凤蛇绿岩就是其中一个重要问题。通常认为丹凤蛇绿岩沿商丹断裂北缘断续出露,丹凤群是重要的蛇绿混杂岩带(张秋生等,1984;SUN,1988;张国伟等,1993;周鼎武等,1995a;赵如意等,2015);相反则认为丹凤群是岛弧火山岩而非蛇绿岩(高长林等,1990;薛锋等,1993;张旗等,1995;裴先治等,2001;RATSCHBACHER et al.,2003);也有观点认为丹凤群是裂谷火山岩(杨森楠,1985)。作为重建古洋的最直接证据,丹凤蛇绿岩存在与否及其分布,直接约束着秦岭造山带的时空演化格局。但古洋消减、大陆造山带形成过程中,蛇绿岩以构造侵位的方式产出,多受到构造作用的破坏,加之秦岭造山带多期构造作用叠加和改造,更加剧对蛇绿岩的破坏和改造,采用常规地质方法识别较为困难。丹凤蛇绿岩的鉴别多通过地球化学手段,包括放射虫的古生物学证据,但地球化学采样点往往有限,对大范围蛇绿岩的研究特别是蛇绿岩预测可以借助航空地球物理探测技术。除了人们熟知的海洋磁测发现海底扩张的磁条带证据,航空磁测对识别蛇绿岩产生的强磁异常也具有显著优势(姚正煦等,2001;AIRO et al.,2004;ECCLES et al.,2005;HE et al.,2014)。航空 γ 能谱测量对岩性划分有着广泛的应用(梁月明等,2007),高分辨率 γ 能谱测量则可以识别蛇绿岩的典型放射性特征(TZORTZIS et al.,2005)。结合航空磁测、航空 γ 能谱测量的优势,通过对区域断裂、岩性进行识别与划分,有望为蛇绿岩厘定提供新的技术手段。笔者借助商南—丹凤一带最新获取的高精度航空磁测和航空 γ 能谱资料,对其进行分析,建立了商南松树沟蛇绿岩的典型地球物理响应模式,通过该响应模式厘定了丹凤蛇绿岩的空间分布,同时在鲃鱼嘴—清油河一带识别出可能的蛇绿岩。

1 地质背景

秦岭造山带作为中国大陆中央造山带(系)的主要组成部分,由2条主缝合带(商丹带和勉略带)和

3个块体(华北地块南缘及北秦岭、秦岭地块、扬子地块)组成(张国伟等,2001),经历了新元古代、古生代、早中生代和晚中生代四次造山作用及构造运动,相应发生了四期花岗质岩浆作用(WANG et al.,2015),岩浆作用非常发育。研究区位于丹凤—商南一带,大地构造上包括北秦岭构造带、商丹缝合带和南秦岭(秦岭地块)(图1)。研究区内北秦岭分布有秦岭群和丹凤群,南秦岭是以浅变质沉积岩系为主的刘岭群。秦岭群主要由角闪岩相变质岩系及变质变形岩体组成,丹凤群从原秦岭群南侧一套基性火山岩系解体而来(肖思云等,1988),是一套以火山岩为主体,变质级达高绿片岩相、低角闪岩相的沉积—火山岩系。丹凤群沿凤县一周至一丹凤一带呈狭长透镜状断续展布,向东尖灭于商南县,西延进入祁连造山带(宋志高,1993)。对丹凤群的划分仍有分歧,这里笔者将分水岭断裂以南商丹断裂以北的岩石—构造—地层组合统称为丹凤群,商南松树沟则作为一个独立的构造单元(图1)。分水岭断裂以北的秦岭群中广泛有加里东期的花岗岩和花岗伟晶岩,规模较大的花岗岩体有灰池子岩体、骡子坪岩体等(冯张生等,2013;朱焕巧等,2015)。丹凤群特别是商丹断裂带中则广泛发育线状复合型花岗岩体和岩脉,较大的花岗岩体有宽坪岩体、铁峪铺岩体等(冯张生等,2013;王菊婵等,2015)。丹凤群的形成时代历来争议较大,多数学者认为属于早古生代(张国伟等,1988,2001;孙勇,1991;宋志高,1993),与之矛盾的是丹凤群也有一大批新元古代的同位素年龄报道(裴先治等,2001;张宗清等,2006),由于认识的差异,同位素年龄应用时分歧很大。丹凤资峪—郭家沟一带被认为是丹凤群主要出露的蛇绿岩,并在郭家沟蛇绿岩中与火山岩呈互层的薄层硅质岩中发现有放射虫化石证据(CUI et al.,1996)。赵如意等(2015)则在分水岭断裂一带识别出与蛇纹石化橄榄岩、变辉长岩、变枕状玄武岩紧密共生的变质玄武岩,认为具有蛇绿岩特征。

尽管如此,丹凤群作为极复杂的构造混杂岩带,由于无法确认其蛇绿岩中的堆晶结构,而地球化学特征呈现的非典型性都是否定丹凤蛇绿岩的主要焦点(张旗等,2001)。



1. 秦岭群;2. 丹凤群;3. 武关岩群;4. 松树沟单元;5. 泥盆系;6. 白垩系-新近系;7. 第四系;8. 花岗岩;9. 闪长岩;10. 辉长岩;11. 橄榄岩;12. 断裂;13. 不整合界线;14. 蛇绿岩研究区块

图 1 研究区大地构造位置及地质简图(大地构造简图据张国伟等,2001 修改;
地质简图据 1:200000 地质图商南幅修改)

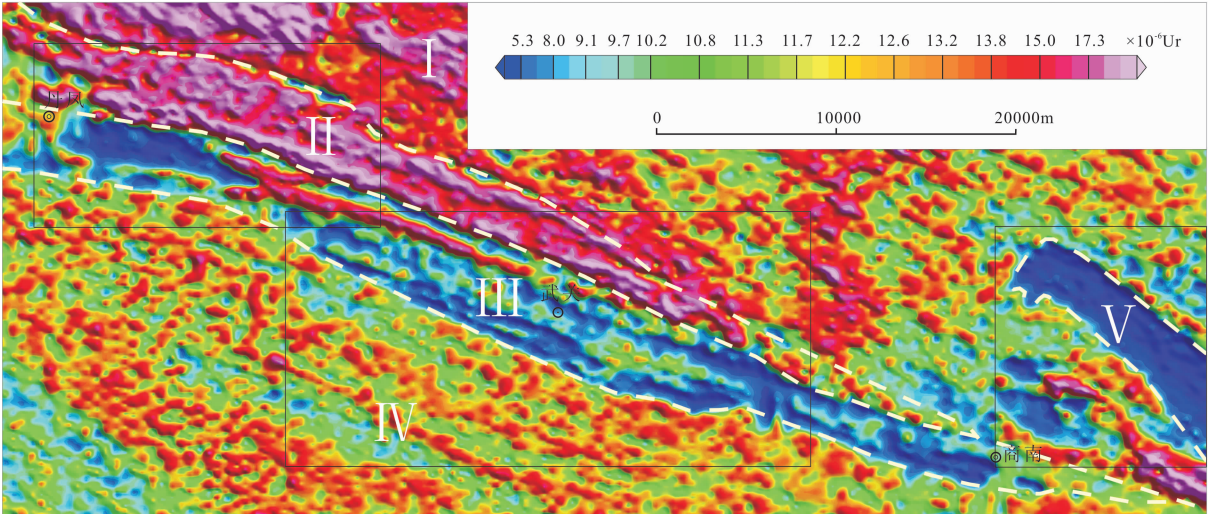
Fig.1 Simplified geological map of Shangnan-Danfeng area in North Qilong Orogenic Belt and its neighboring area (Tectonic sketch map modified after ZHANG et al. , 2001; Geological map modified after 1:200 000 Geological Map of Shangnan)

2 地球物理场特征

研究区内地球物理资料为 2015 年 9~11 月执行陕西商南—丹凤航空物探(磁、放)调查获取的 1:50000 高精度航磁、航空 γ 能谱资料。航磁资料按《航空磁测技术规范》(DZ/T 0142-2010)进行了正常场校正等各项校正及切割线调平、微调平处理,最终网格化为网格距为 150m $\times$ 150m 的航磁 ΔT 网格。航空 γ 能谱资料按《航空伽玛能谱测量规范》(EJ/T 1032-2005)利用系统标定系数进行了各项改正,最终换算为 K、U、Th 含量,总道数据换算为等效 U 含量,并通过网格化形成网格距为 150m $\times$ 150m 的网格数据,图 2 给出了航空 γ 能谱总量分布。航磁 ΔT 数据由于受斜磁化影响,磁场同磁性地质单元存在偏差,笔者对其采取了化极处理以最

大限度的消除斜磁化影响,化极采用的磁偏角为 -10° 、磁倾角为 60° ,图 3 给出了化极后的磁异常。

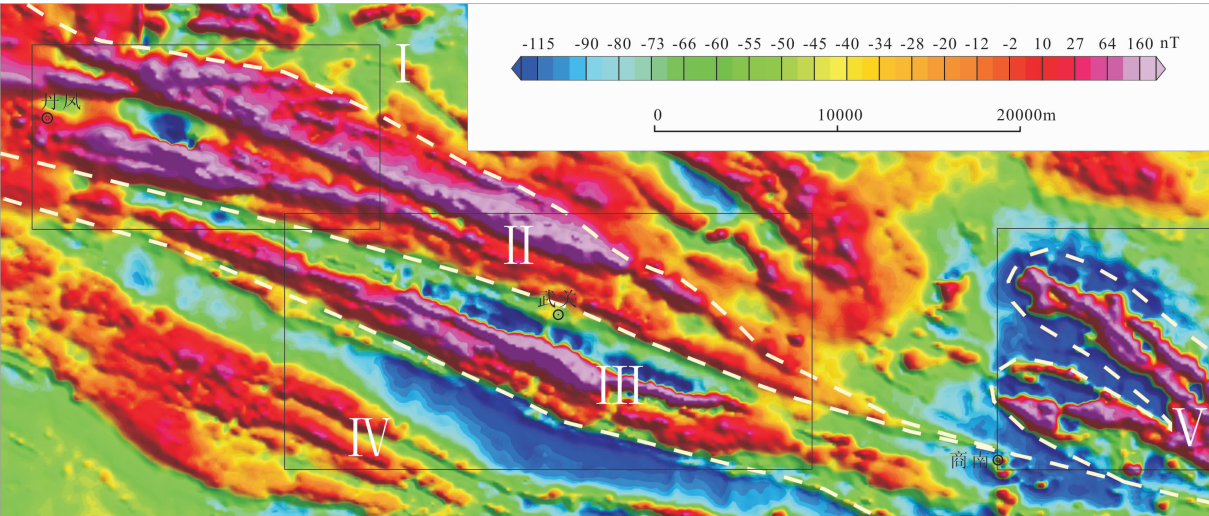
地球物理资料表明航磁、航空 γ 能谱能够分别从磁性构造单元和放射性构造单元的角度反映区域地质特征。航空 γ 能谱场更多反映了浅部-中浅部地质构造特征,研究区自北向南依次划分为秦岭群中高辐射场区(I)、丹凤群(第一岩段)高辐射场区(II)、丹凤群低辐射场区(III)、南秦岭中辐射场区(IV)以及相对独立的松树沟低辐射场区(V),其中秦岭群中高场同丹凤群第一岩段高场为一条断续的低值带分隔(图 2)。航空 γ 能谱场中以商南松树沟低辐射场区(V)和沿丹凤—商南一带展布的丹凤群低辐射场区(III)(夹含铁峪铺岩体等高辐射构造单元)最为瞩目,前者是松树沟镁铁质-超镁铁质岩的直接反映,后者则是丹凤群第二岩段的主要反映,但其超出了丹凤群范围向南进入裴先治等(1998)建立的武关岩群。



I. 秦岭群中高辐射场区; II. 丹凤群高辐射场区; III. 丹凤群低辐射场区; IV. 南秦岭中辐射场区; V. 松树沟低辐射场区

图 2 丹凤—商南一带航空 γ 能谱总量及构造分区图

Fig. 2 Aerogammaspectrometric map of Shangnan-Danfeng area and its tectonic subareas



I. 秦岭群磁场区; II. 丹凤群磁场区; III. 武关磁场区; IV. 南秦岭磁场区; V. 松树沟富水磁场区

图 3 丹凤—商南一带航磁化极异常及构造分区图

Fig. 3 Reduction to the pole of aeromagnetic map of Shangnan-Danfeng area and its tectonic subareas

航空磁力场则反映了浅部-中部-深部地质构造特征,研究区磁场自北向南依次划分为秦岭群变化磁场区(I)、丹凤群中高磁场区(II)、武关变化磁场区(III)、南秦岭低缓变化磁场区(IV)以及就位于秦岭群的松树沟富水磁场区(V)。武关变化磁场区(III)主要对应张国伟等(1988,2001)提出的商丹缝合带弧前沉积楔形体,其高磁异常带同商丹断裂边界地质体南缘主韧性剪切带对应,同时 III 区主体上

也对应裴先治等(1998)建立的武关岩群。从磁场特征上看 III 区更接近丹凤群中高磁场区(II),特别是同丹凤群第二岩段磁场特征相似,且强磁场区域均属于低辐射场范围。上述 γ 能谱场、磁场的分布特征揭示裴先治等(1998)建立的武关岩群同丹凤岩群,特别是丹凤群第二岩段可能具有类似的地球物理特性,是商丹断裂边界地质体的重要组成。从磁性上看,边界地质体南缘主韧性剪切带对应的正磁

异常带规模不亚于地质图(图 1)中商丹脆性断裂对应的Ⅱ区、Ⅲ区磁场分区界限,该剪切带应是商丹断裂系统中一条极重要的深大断裂。另外,松树沟富水磁场区的正磁异常响应了基性超基性岩,与秦岭群明显不同应予独立分区。

整体上看航空 γ 能谱场(图 2)、航空磁场(图 3)直接反映了区内地质构造特征,同图 1 的地质图有着极大的相关性,但又区别于区域地质图甚至是大比例尺地质图,反映出磁性构造单元、放射性构造单元响应地质特征所具有的特殊性和复杂性,同时也从另一方面揭示了该区地质问题的复杂程度。

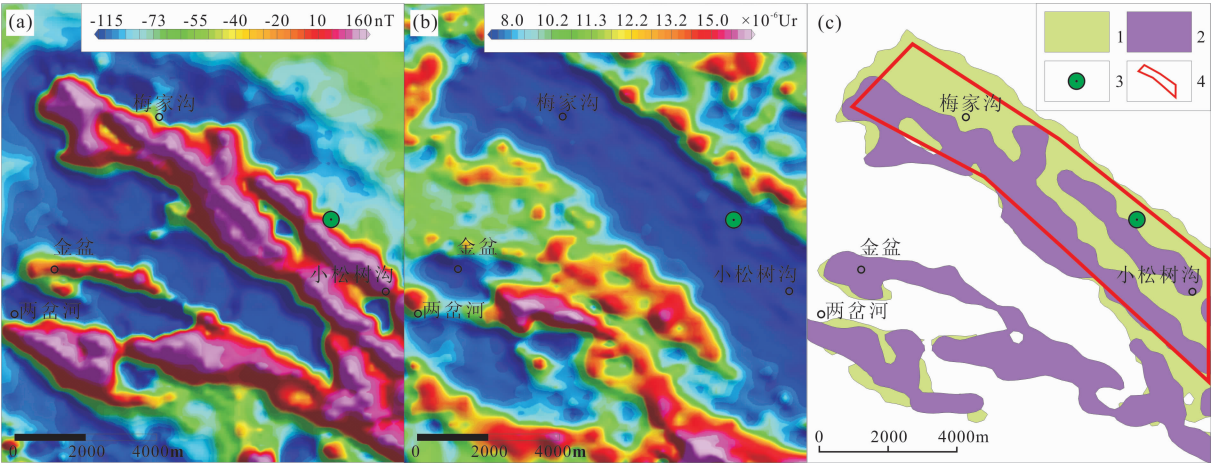
3 蛇绿岩模式与丹凤蛇绿岩

3.1 松树沟蛇绿岩响应模式

航空 γ 能谱分区、航磁分区中存在一个独特的地质单元就位于秦岭群,即松树沟能谱场分区或范围更广的松树沟富水磁场区(图 2、图 3、图 4),松树沟蛇绿岩也是北秦岭构造带中唯一公认的蛇绿岩。松树沟蛇绿岩位于北秦岭构造带南缘,商丹断裂带北侧,由地幔橄榄岩和镁铁质岩石单元组成(张旗等,2001)。橄榄岩主要为细粒纯橄岩、中粗粒纯橄岩和方辉橄榄岩,另有透辉橄榄岩、橄榄透辉岩等,并普遍蛇纹石化;镁铁质岩主要由斜长角闪岩,石榴子石斜长角闪岩(榴闪岩)和角闪片岩组成,夹有少量透镜状大理岩(周鼎武等,1995b)。超镁铁岩空

间上被包裹在镁铁质岩中,内部面理发育与镁铁质岩呈构造接触关系(裴先治等,1996)。航空 γ 能谱场表明商南松树沟地区存在明显的超低辐射场(图 4b),放射性核素平均含量为 K:0.51% (探测核素 ^{40}K)、U: 1.28×10^{-6} (探测核素 ^{214}Bi)、Th: 3.12×10^{-6} (探测核素 ^{208}Tl)、总量为 3.69×10^{-6} ,满足蛇绿岩的放射性特征(TZORTZIS et al., 2005),具有典型性。从放射性元素在岩石中分布的一般规律看,火成岩中放射性元素较沉积岩高,并随着火成岩岩石酸性增加放射性元素含量有规律的增加。因此,松树沟基性超基性岩的超低放射性异常是本区蛇绿岩地球物理标志之一。地面异常检查中实测 4 组橄榄岩放射性核素平均含量为 K:0.18%、U: 0.73×10^{-6} 、Th: 0.45×10^{-6} 、总量为 1.38×10^{-6} ,表明空地联系较好,同时也确认了上述识别标志。

磁异常则恰相反,随着火成岩岩石酸性的增加磁性通常减弱,基性-超基性岩通常表现为较强的磁异常特征(XIONG et al., 2016),例如雅鲁藏布江航磁异常带就是雅鲁藏布江蛇绿岩带最宏观的表现形式(姚正煦等,2001;HE et al., 2014)。松树沟蛇绿岩在航磁上显示为负磁场背景上具有北西走向的正异常(图 4a),主要由镁铁质-超镁铁质岩及铬铁矿引起。根据“高磁低放”的蛇绿岩响应特征,笔者圈定了低辐射场和强磁异常范围,识别出该区基性超基性岩的分布情况(图 4c),其中低放射性水平以总量 8×10^{-6} 为上限,磁性边界以含正磁异常区的



1. 航空 γ 能谱识别的基性超基性岩;2. 航磁识别的基性超基性岩;3. 铬铁矿;4. 蛇绿岩范围

图 4 商南松树沟(a)航磁(b)航空 γ 能谱及(c)基性超基性岩分布图

Fig. 4 Characteristics of (a) aeromagnetic and (b) aerogamma spectrometric survey data and (c) mafic-ultramafic rock identified in Songshugou area of the North Qinling Orogenic Belt

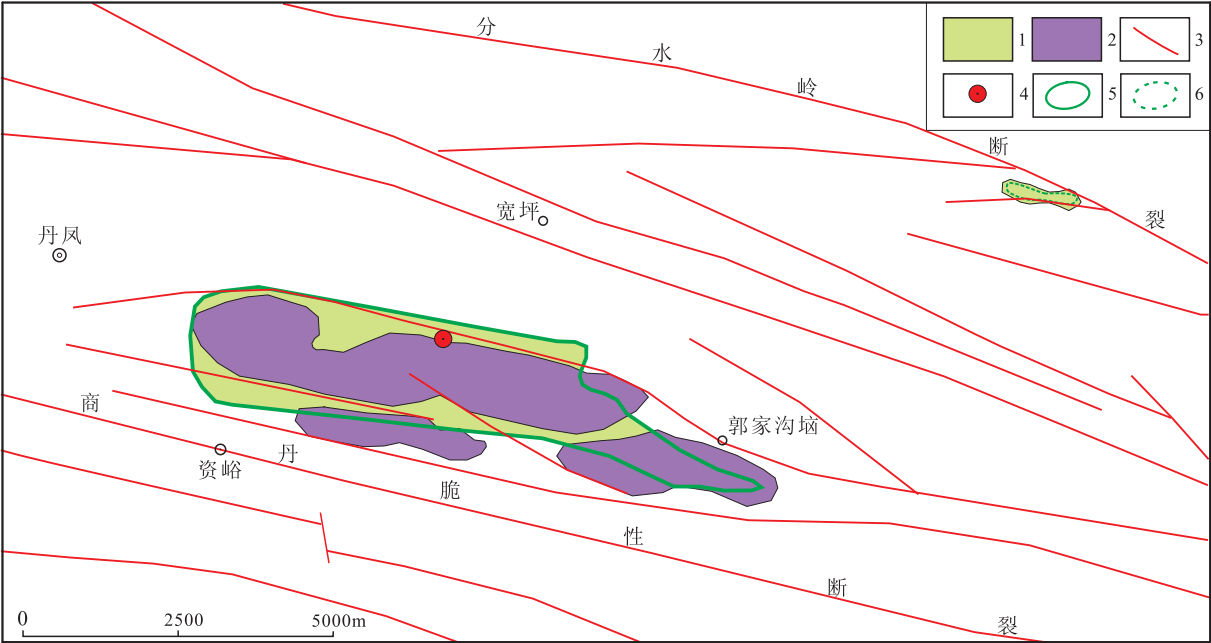
化极垂向一阶导数零线确定。图 4 清晰的显示了松树沟蛇绿岩显著的磁放耦合特征,磁异常同放射性异常并不完全重合则说明航磁、航空 γ 能谱反映了不同地球物理特性的基性-超基性岩,同时也揭示岩性的变化与非均一性。该区内铬铁矿恰赋存在航空 γ 能谱识别的基性超基性岩与航磁识别的基性超基性岩接触带上,一定程度上为蛇绿岩型铬铁矿找矿提供了新思路。综合上述地球物理场特征,注意到航放异常高值到低值过渡带的影响,笔者审慎的厘定了松树沟蛇绿岩范围(图 4c),该结果同地质认识基本一致。值得注意的是富水杂岩西部,金盆、两岔河一带也存在一定的高磁低放耦合特征,但并不如松树沟明显且放射性水平相对高,只有金盆以西出现了一处低于松树沟蛇绿岩等效 U 平均含量的小圈闭,难于厘定为蛇绿岩。富水杂岩实际上是在松树沟蛇绿岩片构造侵位之后侵入于表壳杂岩和蛇绿岩片中的幔源岩浆杂岩体,本身并非蛇绿岩(周鼎武等,1995b)。

需要指出的是,尽管松树沟模式建立了蛇绿岩标准的磁性、放射性响应特征,但如同地球物理反演一样其仍存在多解性,模式虽能够快速识别并圈定具有蛇绿岩特征的镁铁质-超镁铁质岩及空间展布,

但其是否真正属于蛇绿岩,是否具有变质橄榄岩单元、堆晶单元、沉积单元(枕状玄武岩、玄武岩、硅质岩等)的“三位一体”结构特征,仍然需要进一步详尽的地质、地球化学调查。

3.2 丹凤蛇绿岩的地球物理证据

丹凤资峪—郭家沟一带变质镁铁质火山岩露头良好,是丹凤蛇绿岩研究的经典地区(张宗清等,2006),该区航空 γ 能谱测量表现为明显的低放射性场,低值区呈透镜状展布(图 2),表现出基性超基性岩特征。航磁上该区域对应强磁场区,磁异常最高达 966nT 为研究区最高,化极后异常北部仍有较强的负磁异常(图 3),上述特征满足前面建立的蛇绿岩模式。笔者根据低放射性异常总量为 8×10^{-6} 的临界区间划分了反映资峪—郭家沟一带与蛇绿岩有关的基性超基性岩,认为该范围为蛇绿岩分布范围。笔者也参照化极磁异常及化极磁异常的垂向一阶、二阶导数划分了航磁反映的基性超基性岩及主要断裂。图 5 显示资峪—郭家沟一带基性超基性岩分布在航磁划分的 2 条大断裂间,具有被断裂切割的特点。商丹边界地质体的丹凤蛇绿岩中发育有高角度韧性逆冲迭瓦剪切带,张伟国等(1988)识别的二条主剪切带则对应了航磁关于断裂的划分。地球物理



1. 航空 γ 能谱识别的基性超基性岩;2. 航磁识别的基性超基性岩;3. 航磁划分的主要断裂;4. 铁矿;5. 蛇绿岩范围;6. 蛇绿岩预测范围

图 5 丹凤资峪—郭家沟一带基性超基性岩及主要断裂图

Fig. 5 Mafic-ultramafic rock and the main fault identified by aeromagnetic and aerogamaspectrometric data in Danfeng area of the North Qinling Orogenic Belt

场对基性超基性岩及主要断裂的划分表明丹凤蛇绿岩为断裂分割,其就位方式显示出构造侵位的特点,响应特征表现的磁放耦合特性可以同松树沟蛇绿岩相比拟,成为支持丹凤蛇绿岩的宏观证据。

为了进一步分析丹凤蛇绿岩,笔者从放射性核素含量关系来进一步探讨蛇绿岩的响应特征。根据厘定的丹凤蛇绿岩和松树沟蛇绿岩的范围,分别提取 K、U、Th 元素含量同总量的关系,可以看出丹凤蛇绿岩放射性核素含量分布(图 6a)与松树沟蛇绿岩(图

6b)具有相似分布,表现出近乎相同线性相关性,但丹凤蛇绿岩放射性核素平均含量要更高些,其中 K 含量为 0.75%,U 含量为 2.02×10^{-6} ,Th 含量为 4.31×10^{-6} ,总量为 5.38×10^{-6} ,这就加剧了放射性核素分布的偏移,同时放射性核素分布更为离散,使得分布区间更宽。该分布特征进一步表明识别的基性超基性岩具有同松树沟蛇绿岩的类似特性,成为支持丹凤蛇绿岩的另一证据,图 6 表征的离散程度则说明丹凤蛇绿岩受到的后期破坏和改造十分剧烈。

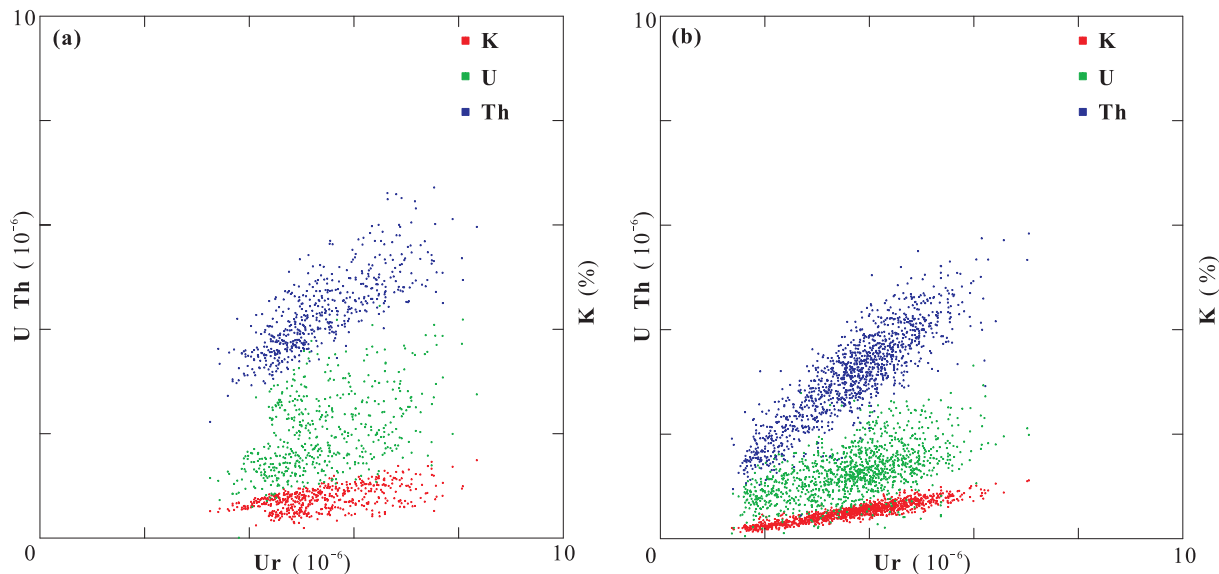


图 6 (a)丹凤蛇绿岩与(b)松树沟蛇绿岩放射性核素含量分布图

Fig. 6 Radioactive elements distribution of (a) Danfeng ophiolite and (b) Songshugou ophiolite

在丹凤蛇绿岩东北部靠近分水岭断裂断续分布有低放射性异常带,构成图 2 中丹凤群高辐射场区(Ⅱ)和秦岭群中高辐射场区(Ⅰ)的分区边界,该带整体上临近航磁划分的分水岭断裂,均为中高航磁异常区,笔者将其中规模最大的一片低辐射区圈定为基性超基性岩,该基性超基性岩对应地质图上的橄榄岩,规模仍很小,难以直接厘定为蛇绿岩,但在航磁、航放上具有蛇绿岩响应特征,可预测为蛇绿岩。最近赵如意等(2015)在该处发现出露有蛇纹石化方辉橄榄岩、糜棱岩化变辉长岩和变质玄武岩,并确认为蛇绿岩,则进一步验证了地球物理建立的蛇绿岩响应模式。

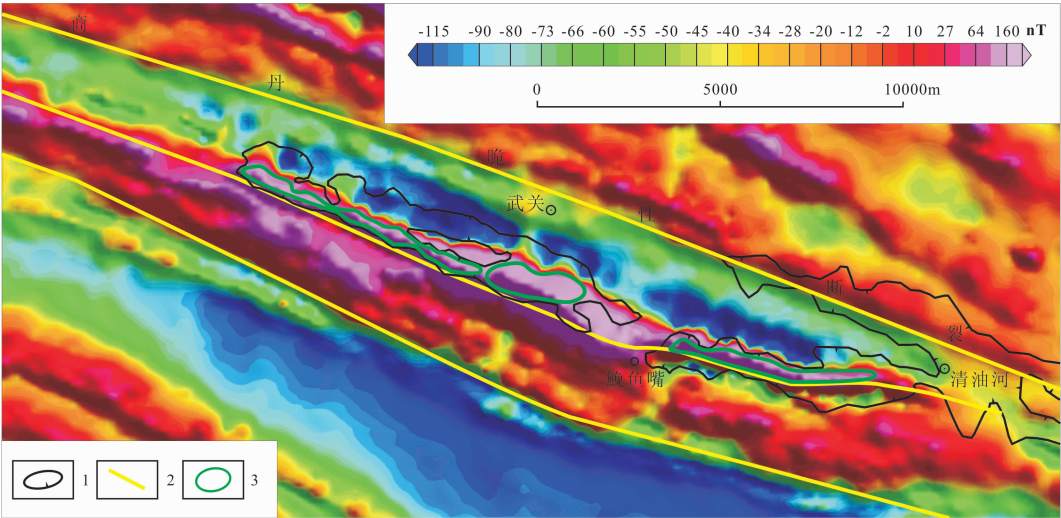
3.3 鲑鱼嘴蛇绿岩讨论

丹凤群低辐射场区(Ⅲ)除了资峪—郭家沟一带蛇绿岩外,在武关—商南一带也十分引人注目,特别是鲑鱼嘴一带对应了本区磁场强度次高的磁异常(最高为 835nT),具有蛇绿岩特征。笔者在化极磁

异常上标示了武关—清油河一带航空 γ 能谱低值异常两处主要圈闭,两处低值圈闭分别位于鲑鱼嘴东西两侧,圈闭内总量低于 8×10^{-6} ,同强磁异常带部分重叠(图 7)。鲑鱼嘴一带强磁异常带正对应张国伟等(1988)指出的油坊沟—鲑鱼嘴韧性剪切带,是该剪切带在航磁上的直接反映。根据磁异常笔者划分了 3 条主要断裂,自北向南依次为商丹(脆性)断裂、鲑鱼嘴断裂(韧性剪切带)、商丹边界地质体南部边界断裂,除鲑鱼嘴韧性剪切带外均是武关磁场区(Ⅲ)的分区界线(图 3)。张国伟等(1988)提出商丹脆性断裂和鲑鱼嘴韧性剪切带之间是以杂砂岩、凝灰岩为主的弧前沉积楔形体,裴先治等在 1:50000 区域地质填图中将其彻底从南秦岭泥盆纪刘岭群中解体命名为武关构造地层体(裴先治等,1998)。武关岩群由试马寨大理岩—钙质片岩、吊庄云母片岩、八里坡大理岩、毛坪长英质片岩、鲑鱼嘴斜长角闪

岩、花岭长英质糜棱岩构成(裴先治等,1998),其中强磁异常带主要对应鲃鱼嘴斜长角闪岩、毛坪长英质片岩等。上述资料表明鲃鱼嘴—清油河一带航空 γ 能谱低值异常及航磁异常带对应基性岩,其中高磁异常带为 1967 年航磁测量发现,1976 年航磁测量再次证实该异常带。该带地面磁测 ΔZ 强度最大达到 14 935 γ (相当于 14 935nT),虽对应地表的角闪岩但仍不足以产生如此规模的磁异常,该异常应为基性超基性岩引起,具有很好的找矿前景。考虑到该带对应航空 γ 能谱低值异常圈闭及其表现出的磁放耦合关系,笔者确认鲃鱼嘴—清油河一带存在

超镁铁质岩,并审慎的推测该区可能残存有蛇绿岩(图 7)。航磁显示的断裂分割关系以及鲃鱼嘴西侧航放低值圈闭中存在升高趋势的放射性水平表明可能残存的蛇绿岩其被破坏程度较丹凤蛇绿岩更为严重。磁场特征及丹凤群低辐射场区表明武关岩群可划入丹凤群特别是狭义的丹凤群,丹凤群的扩展一定程度上又为鲃鱼嘴蛇绿岩的推断提供了构造上的前提。根据磁性特征,现有的武关岩群南侧边界或商丹边界地质体南侧边界应向南推进约 2km,即图 7 中划分的最南端断裂应为武关岩群或商丹边界地质体同南秦岭的分界线。



1. 航空 γ 能谱低值异常圈闭; 2. 航磁划分的主要断裂; 3. 蛇绿岩预测范围

图 7 鲃鱼嘴—清油河一带蛇绿岩识别图

Fig. 7 Mafic-ultramafic rock and ophiolite identified by aeromagnetic and aerogamaspectrometric data in Mianyuzui area of the North Qinling Orogenic Belt

4 结论

针对长期争论的北秦岭蛇绿岩问题,笔者利用最新获取的高精度航空 γ 能谱、航磁资料对丹凤—商南一带地区的地球物理场进行分析,划分了商丹段主要磁性、放射性构造单元。通过航空 γ 能谱、航磁资料首次建立了商南松树沟蛇绿岩的地球物理响应模式,并利用该模式反映出的航磁、航放特征厘定了丹凤资峪—郭家沟一带蛇绿岩范围,从地球物理学角度给出了支持丹凤蛇绿岩的证据。同时,笔者推断了分水岭蛇绿岩(该蛇绿岩已被证实)和鲃鱼嘴—清油河一带基性超基性岩,认为鲃鱼嘴—清油河一带可能残存有蛇绿岩,而鲃鱼嘴南部正磁场区

反映的断裂(磁场分区界线)表明商丹断裂边界地质体南部边界要比目前的地质认识南偏 2 km 左右。除分水岭蛇绿岩外,丹凤蛇绿岩均就位于商丹边界地质体中,遭受多期断裂构造的强烈改造,成为丹凤蛇绿岩长期以来悬而未决的主要原因。通过航空地球物理调查能快速限定构造或地质体边界,判别其空间展布规律,进而划分出镁铁质-超镁铁质岩,从宏观上间接限定可能的蛇绿岩空间范围,为解决丹凤蛇绿岩问题提供新的思路和重要技术手段。

参考文献(References):

冯张生,张夏涛,焦金荣,等. 陕西省丹凤地区花岗伟晶岩型铀矿特征及找矿方向[J]. 西北地质, 2013, 46(2):

- 159-166.
- FENG Zhangsheng, ZHANG Xiatao, JIAO Jinrong, et al. Characteristics and prospecting direction of granitic pegmatite-type uranium in Danfeng area, Shaanxi province [J]. *Northwestern Geology*, 2013, 46(2): 159-166.
- 高长林, 秦德余, 吉让寿, 等. 东秦岭俯冲消减古洋壳的地球化学鉴定[J]. *石油实验地质*, 1990, 12(2): 135-146.
- GAO Changlin, QIN Deyu, JI Rangshou, et al. A geochemical determination of the subduction ocean crust in East Qinling mountains[J]. *Experimental Petroleum Geology*, 1990, 12(2): 135-146.
- 梁月明, 黄旭钊, 周道卿, 等. 航空物探在酸性岩岩性划分中的效果[J]. *物探与化探*, 2007, 31(6): 520-525.
- LIANG Yueming, HUANG Xuzhao, ZHOU Daoqing, et al. The effects of applying aerogeophysical survey to lithologic division of acid rocks[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2007, 31(6): 520-525.
- 裴先治, 张维吉, 王全庆, 等. 东秦岭松树沟蛇绿岩的形成环境探讨[J]. *西安地质学院学报*, 1996, 18(3): 1-7.
- PEI Xianzhi, ZHANG Weiji, WANG Quanqing, et al. The formation environment of Songshugou Ophiolite in the Eastern Qinling[J]. *Journal of Xi'an college of Geology*, 1996, 18(3): 1-7.
- 裴先治, 李厚民, 李国光. 东秦岭武关岩群的组成特征及其大地构造意义[J]. *西安工程学院学报*, 1998, 20(1): 1-5.
- PEI Xianzhi, LI Houmin, LI Guoguang. Composition and formation of the Wuguan group in the East Qinling and its tectonic implication[J]. *Journal of Xi'an Engineering University*, 1998, 20(1): 1-5.
- 裴先治, 李厚民, 李国光. 东秦岭丹凤岩群的形成时代和构造属性[J]. *岩石矿物学杂志*, 2001, 20(2): 180-188.
- PEI Xianzhi, LI Houmin, LI Guoguang. A Study of formation epoch and tectonic attribute of the Danfeng group Complex in East Qinling mountains[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 2001, 20(2): 180-188.
- 宋志高. 北秦岭丹凤群向西延入祁连造山带的地质意义[J]. *中国地质科学院院报*, 1993, 27, 28: 15-26.
- SONG Zhigao. The westward extension of the early paleozoic Danfeng group into the Qilian Orogen and its geological significance[J]. *Bulletin of the Chinese Academy of Geological Sciences*, 1993, 27, 28: 15-26.
- 孙勇. 东秦岭古洋盆与加里东运动[J]. *地质论评*, 1991, 37(6): 555-559.
- SUN Yong. The ancient ocean and Caledonian Orogeny in the East Qinling[J]. *Geological Review*, 1991, 37(6): 555-559.
- 王菊婢, 崔海洲, 杨海宏, 等. 陕西商丹地区铀矿成矿特征及成矿作用研究[J]. *陕西地质*, 2015, 33(2): 63-69.
- WANG Juchan, CUI Haizhou, YANG Haihong, et al. Uranium metallogenesis in Shangxian-Danfeng area of Shaanxi province[J]. *Geology of Shaanxi*, 2015, 33(2): 63-69.
- 肖思云, 张维吉, 宋子季, 等. 北秦岭变质地层[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1988.
- XIAO Siyun, ZHANG Weiji, SONG Ziji, et al. The metamorphic strata of the Northern Qinling in China[M]. Xi'an: Xian Jiaotong University Press, 1988.
- 薛锋, 张国伟. 秦岭造山带丹凤变质岛弧火山岩系的岩石组合与地球化学特征[J]. *地球化学*, 1993(1): 80-92.
- XUE Feng, ZHANG Weiguo. Rock association and geochemistry of the Danfeng meta-volcanics in the qinling orogenic belt: its formation setting and mechanism and tectonic implications[J]. *Geochimica*, 1993(1): 80-92.
- 杨森楠. 东秦岭古生代陆间裂谷系的演化[J]. *地球科学*, 1985, 10(4): 53-62.
- YANG Senna. The evolution of Qinling intercontinental rift system in paleozoic[J]. *Earth Science*, 1985, 10(4): 53-62.
- 姚正熙, 周伏洪, 薛典军, 等. 雅鲁藏布江航磁异常带性质及其意义[J]. *物探与化探*, 2001, 25(4): 241-252.
- YAO Zhengxu, ZHOU Fuhong, XUE Dianjun, et al. The property of the Yarlung Zangbo River aeromagnetic anomaly zone and its significance[J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2001, 25(4): 241-252.
- 张国伟, 等. 秦岭造山带的形成及其演化[M]. 西安: 西北大学出版社, 1988.
- ZHANG Guowei, et al. Formation and evolution of the Qinling Orogenic Belt[M]. Xi'an: Northwest University Press, 1988.
- 张国伟, 李曙光. 秦岭造山带的蛇绿岩[J]. *地质研究*, 1993, 26: 13-24.
- ZJANG Guowei, LI Shuguang. The ophiolites in the Qinling Orogenic Belt[J]. *Di Xue Yan Jiu*, 1993, 26: 13-24.
- 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.
- ZHANG Guowei, ZHANG Benren, YUAN Xuecheng, et al. Qinling Orogenic Belt continental dynamics[M]. Beijing: Science Press, 2001.
- 张旗, 张宗清, 孙勇, 等. 陕西商县—丹凤地区丹凤群变质玄武岩的微量元素和同位素地球化学[J]. *岩石学报*, 1995, 11(1): 43-54.
- ZHANG Qi, ZHANG Zongqing, SUN Yong, et al. Trace

- element and isotopic geochemistry of metabasalts from Dafeng group (DFG) in Shangxian-Danfeng area, Shanxi province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1995, 11(1): 43-54.
- 张旗, 周国庆. 中国蛇绿岩[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- ZHANG Qi, ZHOU Guoqing. Ophiolites of China[M]. Beijing: Science Press, 2001.
- 张秋生, 朱永正. 东秦岭古生代蛇绿岩套[J]. 长春地质学院学报, 1984, (3): 1-13.
- ZHANG Qiusheng, ZHU Yongzheng. The palaeozoic Ophiolite the Northerneast-Qinling[J]. *Journal of Changchun College of Geology*, 1984, (3): 1-13.
- 赵如意, 姜常义, 李卫红, 等. 东秦岭丹凤地区分水岭蛇绿岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、岩石地球化学特征及其构造意义[J]. 地球学报, 2015, 36(4): 473-482.
- ZHAO Ruyi, JIANG Changyi, LI Weihong, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating, petro-geochemical characteristics and geological significance of Fenshuiling Ophiolite in Danfeng area of Eastern Qinling mountains[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 2015, 36(4): 473-482.
- 张宗清, 张国伟, 刘敦一, 等. 秦岭造山带蛇绿岩、花岗岩和碎屑沉积岩同位素年代学和地球化学[M]. 北京: 地质出版社, 2006.
- ZHANG Zongqing, ZHANG Guowei, LIU Dunyi, et al. I-sotopic geochronology and geochemistry of ophiolites, granites and clstic sedimentary rocks in Qinling Orgenic Belt[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006.
- 周鼎武, 张成立, 韩松, 等. 东秦岭早古生代两条不同构造—岩浆杂岩带的形成构造环境[J]. 岩石学报, 1995a, 11(2): 115-126.
- ZHOU Dingwu, ZHANG Chengli, HAN Song, et al. Tectonic setting on the Two Different Tectonics-Magma complex of the East Qinling in Early paleozoic[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1995a, 11(2): 115-126.
- 周鼎武, 张泽军, 董云鹏, 等. 东秦岭商南松树沟元古宙蛇绿岩片的地质地球化学特征[J]. 岩石学报, 1995b, 11(增刊): 154-164.
- ZHOU Dingwu, ZHANG Zejun, DONG Yunpeng, et al. Geological and geochemical characteristics on proterozoic Songshugou Ophiolite peice from Shangnan country, Qinling [J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1995b, 11(supl.): 154-164.
- 朱焕巧, 李卫红, 惠争卜, 等. 陕西丹凤三角地区花岗伟晶岩铀-稀有元素矿化特征及成矿作用分析[J]. 西北地质, 2015, 48(1): 172-178.
- ZHU Huanqiao, LI Weihong, HUI Zhengpu, et al. Mineralization characteristics and metallogenesis of granitic pegmatite Uranium and other rare metals in the Danfeng triangle Area, Shaanxi [J]. *Northwestern Geology*, 2015, 48(1): 172-178.
- SUN Yong. REE geochemistry of the East Qinling Ophiolites[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1988, 33(14): 1195-1197.
- AIRO M -L, LOUKOLA-RUSKEENIEMIB K. Characterization of sulfide deposits by airborne magnetic and gamma-ray responses in eastern Finland[J]. *Ore Geology Reviews*, 2004, 24(1-2): 67-84.
- CUI Zhilin, SUN Yong, WANG Xueren. A discovery of Radiolaria from Danfeng Ophiolites, North Qinling and its tectonic significance [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1996, 41(11): 916-919.
- ECCLES J D, CASSIDY J, LOCKE C A, et al. Aeromagnetic imaging of the Dun Mountain Ophiolite Belt in northern New Zealand: insight into the fine structure of a major SW Pacific terrane suture[J]. *Journal of the Geological Society*, 2005, 162(4): 723-735.
- TZORTZIS M, TSERTOS H. Natural radioelement concentration in the Troodos Ophiolite Complex of Cyprus[J]. *Journal of Geochemical Exploration*, 2005, 85(2): 47-54.
- XIONG Shengqing, YANG Hai, DING Yanyun, et al. Distribution of igneous rocks in China revealed by aeromagnetic data[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2016, doi: 10.1016/j.jseaes.2016.08.016.
- HE Lanfang, HU Xiumian, ZHA Yabing, et al. Distribution and origin of high magnetic anomalies at Luobusa Ophiolite in Southern Tibet[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2014, 59(23): 2898-2908.
- RATSCHBACHER L, HACKER B R, CALVERT A, et al. Tectonics of the Qinling (Central China): tectonostratigraphy, geochronology, and deformation history [J]. *Tectonophysics*, 2003, 336(1-2): 1-53.
- WANG Xiaoxia, WANG Tao, ZHANG Chengli. Granitoid magmatism in the Qinling orogen, central China and its bearing on orogenic evolution[J]. *Science China-Earth Sciences*, 2015, 58(9): 1497-1512.
- ROGERS J J W, SANTOSH M. Conifuration of Columbia, a Mesoproterozoic Supercontinent [J]. *Gondwana Research*, 2002, 5(1): 5-22.