

doi: 10.11720/wtyht.2020.0075

郑向光, 卢琳, 刘会毅, 等. 小秦岭地区矿田构造深部探测初步认识[J]. 物探与化探, 2020, 44(4): 894-904. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.0075>

Zheng X G, Lu L, Liu H Y, et al. The preliminary understanding of deep structure exploration in the orefield of Xiaolinling area[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(4): 894-904. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.0075>

小秦岭地区矿田构造深部探测初步认识

郑向光¹, 卢琳¹, 刘会毅¹, 刘晓龙², 徐坤¹, 张治林¹

(1. 陕西地矿第二综合物探大队有限公司, 陕西 西安 710016; 2. 陕西地矿第六地质队有限公司, 陕西 临潼 710311)

摘要: 通过地震剖面、钻孔资料对比, 利用 1:5 万重力资料和广域电磁测深资料对小秦岭地区矿田构造深部特征进行了探讨。初步认为: 小秦岭地区太华群埋深 1 500、2 500、3 500 m 处是重要的构造界面, 特别是 1 500 m 处可能限制了大多数的石英脉矿体就位, 1 500~2 500 m 网格状电磁剖面南倾、北倾视电阻率交汇部位有可能形成较大规模金矿体; 巡马道断裂结构复杂, 其上盘可能以构造片岩、碎裂岩为主, 3 500 m 深部可能存在燕山期侵入岩体, 具有寻找石英脉型金矿的前景, 又具备形成构造蚀变岩型金矿的条件; 太要断裂呈“阶梯状”北倾, 其北 1.5~3 km 范围内, 第四系下伏太华群埋深在 800~1 500 m, 该断裂西宽东窄, 东西两段断距存在差异; 提出了该地区深部找矿应重点关注巡马道断裂中西段两侧电性结构特征复杂地段的认识。

关键词: 小秦岭地区; 矿田构造; 深部探测

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2020)04-0894-11



0 引言

小秦岭地区是我国重要的黄金产地之一, 一直是国内矿产勘查与地质研究工作的热点, 随着浅表资源的减少和环境保护压力的增加, 开展深部找矿成为必然趋势。陕西地矿第二综合物探大队有限公司作为协作单位, 有幸参加了“小秦岭整装勘查区深部地质结构及隐伏矿体综合物探普查”项目, 目的是通过地物化协同勘查, 揭示小秦岭地区深部地质结构特征, 为寻找隐伏矿体提供依据。地质学者普遍认为小秦岭金矿田受南、北区域性断裂所控制, 成矿与燕山期岩浆活动关系密切, 本次 1:5 万重力测量和广域电磁测深工作旨在通过重力场特征及电性结构特征研究, 揭示小秦岭地区金矿田 3 000 m 以浅的地层、岩浆岩、构造等特征, 特别是要查明北部太要断裂和南部巡马道断裂深部结构特征, 圈定隐伏岩体, 为深部找矿优选钻探验证地段提供依据。

笔者主要介绍 1:5 万重力和广域电磁法测量现阶段主要成果和一些认识。

小秦岭地区地质工作总体可分为 20 世纪 60~80 年代发现与初步勘探和 80 年代至今的专项课题研究及开采两个阶段。该地区作为陕西省内重要的金矿基地, 地质工作程度较高, 针对矿集区的区域地质特征、矿床地质特征、地物化遥特征、矿床成因与成矿模式等做了大量研究, 并对成矿远景区和找矿靶区做了区域划分和预测, 基础地质资料丰富、详实, 为该区矿产开发起到了重要的指导作用。有专家预测“小秦岭之下还有小秦岭”, 目前人们的采矿活动主要处于地表以下 500~800 m, 探矿活动最深达 0 标高以下 500 m 左右, 核心资料分属不同矿业公司, 对小秦岭构造深部结构、岩浆岩分布特征等虽有一定的认识, 但缺乏有力的地球物理依据。前人依据地质、化探及中小比例尺物探资料圈定的找矿靶区范围过大, 已不能满足整装勘查及深部找矿的需求。

收稿日期: 2020-02-17; 修回日期: 2020-05-23

基金项目: 陕西省勘查基金项目(61201707319)

作者简介: 郑向光(1971-), 男, 陕西临潼人, 高级工程师, 从事地质物化探工作。Email: 748639323@qq.com

1 地质特征及成矿背景

1.1 地质特征

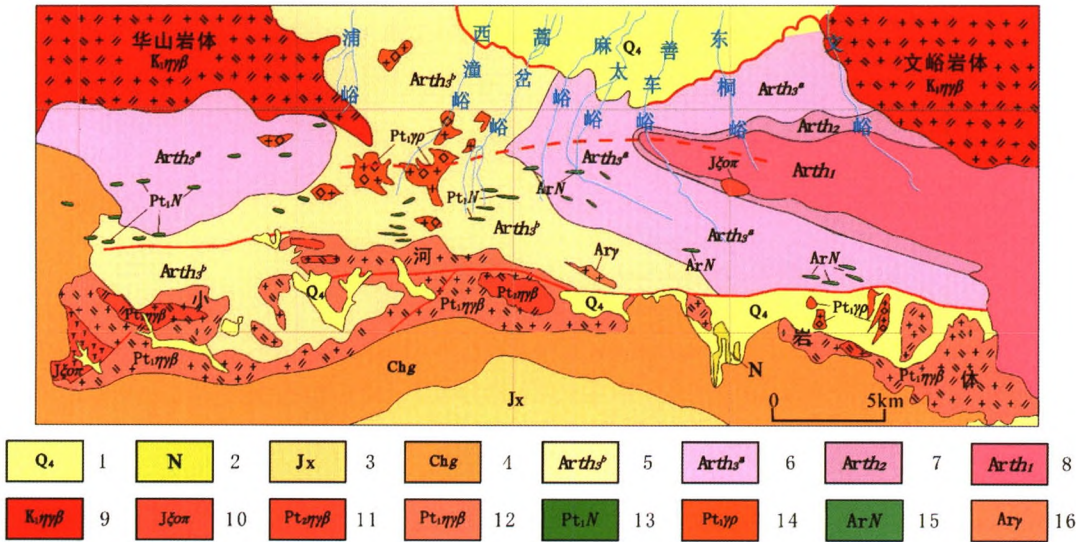
小秦岭位于华北陆块南缘,秦岭造山带北缘,中生代以前为华北克拉通的组成部分,具有典型的克拉通边缘特征^[1]。太华群为小秦岭的重要组成部分,为秦岭北缘太要断裂与南部巡马道断裂围限,受南、北两条岩浆岩带控制,小秦岭金矿田主要赋存于华山—文峪岩体之间的太华群中^[2-3]。

1.1.1 地层

据“陕西小秦岭金矿床矿田构造研究与靶区优选”项目对太华群原岩恢复认为:太华群正变质原岩为酸性岩类、基性岩类,即混合岩化花岗岩、角闪

岩、辉石角闪岩,副变质岩原岩为砂(泥)岩类、灰岩类、泥板岩类,并提出太华群上、中、下三分法^[4]。图 1 显示该区地层从新到老依次为:

第四系(Q₄)黄土、黄红色黏土;新近系(N)钙质、黏土胶结砾岩砂岩层;蓟县系巡检司组(Jx)硅质条纹、条带白云岩,板状白云岩;长城系高山河组(Chg)安山玢岩夹凝灰质板岩、紫红色石英岩夹板岩;太华群上亚群二段(Arth₃^b)黑云母斜长片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩夹含铁石英岩透镜体;太华群上亚群一段(Arth₃^a)黑云母斜长片麻岩、黑云角闪斜长片麻岩、斜长角闪岩夹磁铁石英岩;太华群中亚群(Arth₂)石英岩、大理岩、斜长角闪片麻岩夹石墨斜长大理岩;太华群下亚群(Arth₁)混合岩、条带状混合岩、混合岩化黑云斜长片麻岩、角闪斜长片麻岩。



1—第四系;2—新近系;3—蓟县系巡检司组;4—长城系高山河组;5—太华群上亚群二段;6—太华群上亚群一段;7—太华群中亚群;8—太华群下亚群;9—黑云二长花岗岩;10—石英正长斑岩;11—中粒黑云二长花岗岩;12—细粒黑云二长花岗岩;13—元古宙基性岩脉;14—花岗伟晶岩;15—太古宙基性岩脉;16—太古宙花岗岩

1—Quaternary;2—Tertiary;3—Xunjiansi formation of Jixian system;4—Gaoshanhe formation of Changcheng system;5—the second upper subgroup of the Taihua group;6—the first upper subgroup of the Taihua group;7—the middle subgroup of the Taihua group;8—the under subgroup of the Taihua group;9—biotite monzonitic granite;10—quartz syenite porphyry;11—middle-grain biotite monzonitic granite;12—fine-grain monzonitic granite;13—Proterozoic basic veins;14—granite pegmatite;15—Archaic basic veins;16—Archaean granite

图 1 小秦岭地区地质略图^[5]

Fig.1 Geological sketch in Xiaolinling area^[5]

1.1.2 岩浆岩

区内岩浆岩主要有燕山期黑云二长花岗岩(K₁γβ)、石英正长斑岩(Jξoπ);晋宁期中粒黑云二长花岗岩(Pt₂γβ)、基性岩(Pt₁N)、花岗伟晶岩(Pt₁γρ);熊耳期细粒黑云母二长花岗岩(Pt₁γβ);阜平期基性岩(ArN)、花岗岩(Arγ)。

1.1.3 构造

该区以近 EW 向构造线为主体,由太华群组成的复式背斜构造向西倾伏,NE、NW 及 SN 向断层

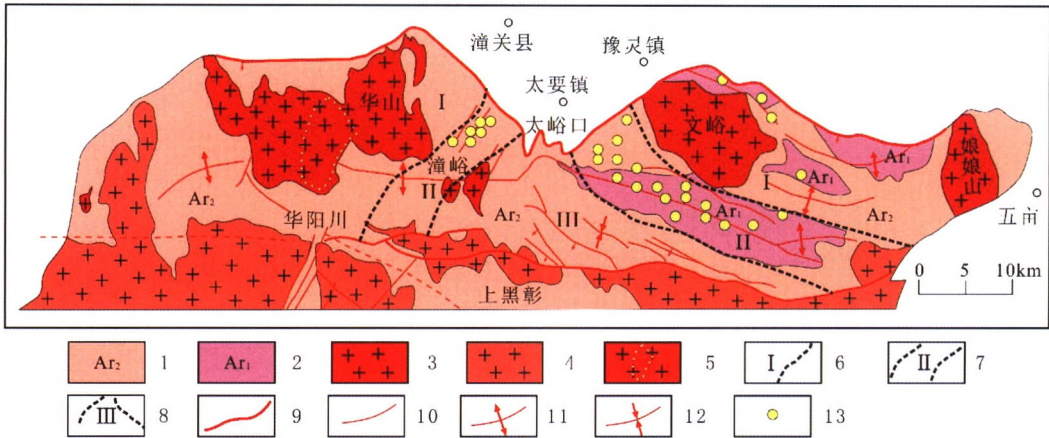
(石英脉)切割早期褶皱轴线,构成了以 EW 向构造线为主导,NE、NW、SN 向断层(石英脉)为特征,受北部燕山期岩体、南部小河岩带夹持的复杂构造格架^[6-10]。

1.2 成矿背景

潼关小秦岭地区太华群是最主要的老地层,北部太要断裂带与汾渭盆地相隔,南为巡马道断裂带与小河岩体带相邻,其西部与东部分别为断层与华山岩体和文峪岩体相隔。太华群被区域性断裂带所

围限,断裂带限制了潼关小秦岭金矿集区的范围。在断裂的围限区内发育金罗班—大月坪复式背斜区,该大背斜南边为八套脑—梁家坪背向斜区,西部为三关庙—侯家铺背向斜区。区内金矿床的空间展布与这些背斜展布空间形态一致,背斜控制了金矿床(矿点)的空间分布,含金石英脉(金矿体)大多沿

褶皱背斜所派生的断层系充填,这些小断层为容矿构造,控制了单个矿体的空间形态。因此,区域大断裂—褶皱—褶皱派生的断层系在相对应的层次上对矿集区—矿床(矿点)—矿体(含金石英脉)具有明显的对应和控制作用^[11-14](图2)。



1—太华群上亚群;2—太华群下亚群;3—燕山期花岗岩;4—晋宁期花岗岩;5—顶部混染相;6—无-弱矿化带;7—强矿化带;8—弱矿化带;
9—区域性断裂;10—小断裂;11—背斜构造;12—向斜构造;13—金矿床
1—the upper subgroup of the Taihua group;2—the under subgroup of the Taihua group;3—granites in Yanshanian period;4—granites in Jinningian period;5—contamination phase on the top;6—barren or weak mineralized zone;7—strong mineralized zone;8—weak mineralized zone;9—regional fault;10—minor fault;11—anticline;12—syncline;13—gold deposits

图2 小秦岭地区地质构造略图
Fig.2 Geological structure sketch in Xiaoqinling area

2 地球物理特征

2.1 物性特征

2.1.1 密度特征

从表1、图3、图4可看出:除基性岩脉外,太华群和不同时期侵入岩体普遍存在明显密度差异,重力场能有效地识别太华群和岩体,但对太华群进一步精细刻画较难实现,仅仅依据重力资料也无法对

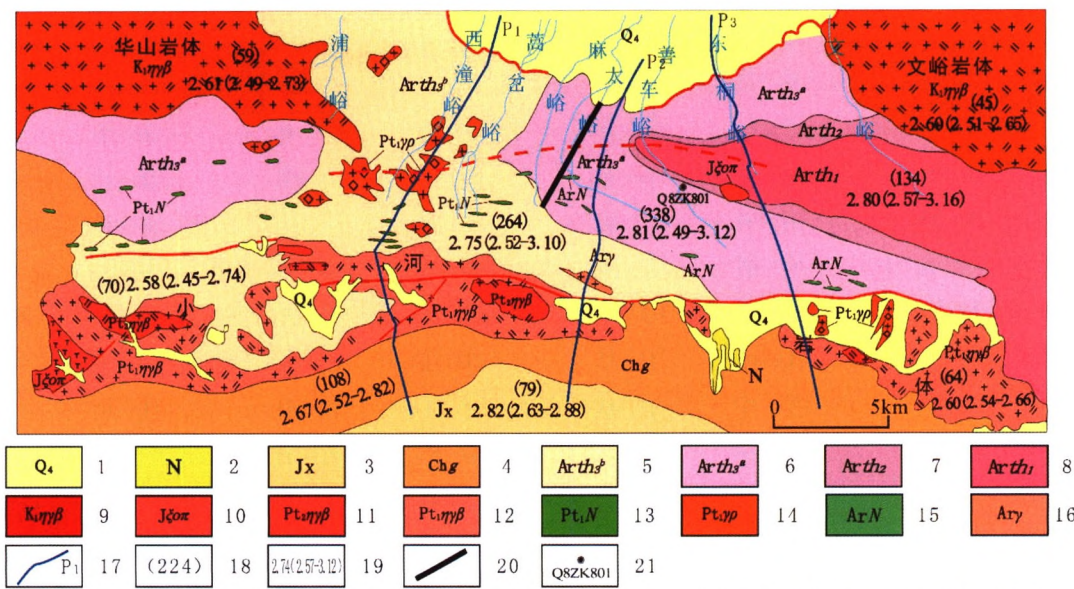
岩体侵入时代进行定性。

2.1.2 电阻率特征

从表2中可以看出:与全区相比,以石英岩、大理岩、斜长角闪片麻岩为主的太华群中亚群为高电阻特征,高山河组石英岩、太华群上亚群一段及基性岩脉与全区电阻率背景值相近,华山岩体、太华群下亚群电阻率略低,巡检司组、文峪岩体、元古宙二长花岗岩表现为低电阻,花岗伟晶岩电阻率最低。

表1 地质单元密度统计
Table 1 Density stastics of geological units

地质单元	代号	样本数	均值/(g·cm ⁻³)	众数/(g·cm ⁻³)	最小值/(g·cm ⁻³)	最大值/(g·cm ⁻³)
全区		1687	2.73	2.63	2.45	3.16
蓟县系巡检司组	Jx	79	2.82	2.85	2.63	2.88
长城系高山河组	Chg	108	2.67	2.63	2.52	2.82
太华群上亚群二段	Arth ₃ ^b	317	2.75	2.69	2.55	3.13
太华群上亚群一段	Arth ₃ ^a	484	2.79	2.73	2.49	3.12
太华群中亚群	Arth ₂	101	2.67	2.63	2.52	3.08
太华群下亚群	Arth ₁	134	2.8	2.63	2.57	3.16
华山岩体	K ₁ ηγβ	59	2.61	2.6	2.49	2.73
文峪岩体	K ₁ ηγβ	36	2.61	2.61	2.51	2.65
晋宁期二长花岗岩	Pt ₂ ηγβ	120	2.59	2.59	2.45	2.74
熊耳期二长花岗岩	Pt ₁ ηγβ	45	2.59	2.58	2.51	2.7
酸性岩脉	Pt ₁ γρ	126	2.6	2.59	2.51	2.7
基性岩脉	Pt ₁ N、Ar/N	69	2.89	2.88	2.67	3.09



1—第四系;2—新近系;3—蓊县系巡检司组;4—长城系高山河组;5—太华群上亚群二段;6—太华群上亚群一段;7—太华群中亚群;8—太华群下亚群;9—黑云二长花岗岩;10—石英正长斑岩;11—中粒黑云二长花岗岩;12—细粒黑云二长花岗岩;13—元古宙基性岩脉;14—花岗伟晶岩;15—太古宙基性岩脉;16—太古宙花岗岩;17—物探剖面及编号;18—采集标本数;19—平均密度及范围($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$);20—地震剖面;21—钻孔及编号

1—Quaternary;2—Tertiary;3—Xunjiansi formation of Jixian system;4—Gaoshanhe formation of Changcheng system;5—the second upper subgroup of the Taihua group;6—the first upper subgroup of the Taihua group;7—the middle subgroup of the Taihua group;8—the under subgroup of the Taihua group;9—monzonitic granite;10—quartz syenite porphyry;11—middle-grain biotite monzonitic granite;12—fine-grain monzonitic granite;13—Proterozoic basic veins;14—granite pegmatite;15—Archaic basic veins;16—Archeoan granite;17—magnetotelluric sounding profile and stratum code;18—number of specimens collected;19—average density and range($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$);20—seismic section;21—boreholes and their numbering

图 3 小秦岭地区密度色块分区

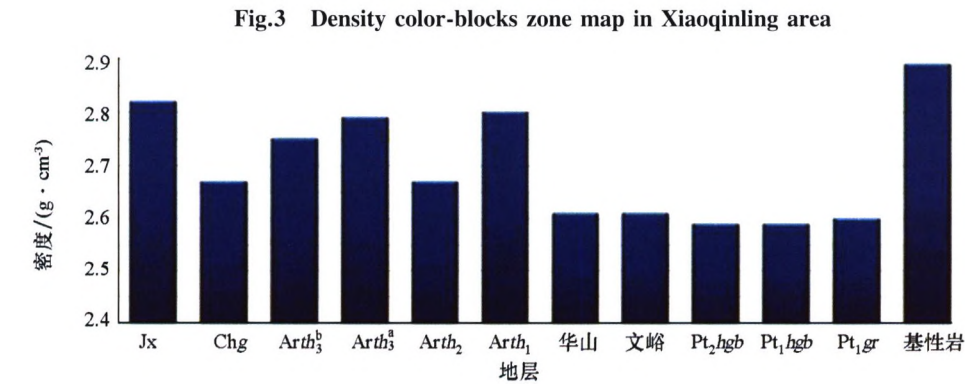


图 4 小秦岭地区物性标本密度统计

Fig.4 Statistical results of density of physical specimens in Xiaolinling area

表 2 地质单元标本电阻率参数特征统计

Table 2 Geological units specimen resistivity parameter characteristic statistics table

地质单元	代号	样本数	均值/ $(\Omega \cdot \text{m})$	众数/ $(\Omega \cdot \text{m})$	最小值/ $(\Omega \cdot \text{m})$	最大值/ $(\Omega \cdot \text{m})$
全区		1687	3925	4476	7	59729
蓊县系巡检司组	Jx	79	4776	2161	169	47144
长城系高山河组	Chg	108	7931	4387	237	57012
太华群上亚群二段	Arth ₃ ^b	317	3072	1885	36	41192
太华群上亚群一段	Arth ₃ ^a	484	3584	4347	7	36136
太华群中亚群	Arth ₂	101	5938	12652	250	46950
太华群下亚群	Arth ₁	134	3790	3059	101	19274
华山岩体	K ₁ γγβ	59	2714	3820	33	9486
文峪岩体	K ₁ γγβ	36	1743	2068	137	4488
晋宁期二长花岗岩	Pt ₂ γγβ	120	2570	2037	109	16673
熊耳期二长花岗岩	Pt ₁ γγβ	45	1873	2474	181	6425
酸性岩脉	Pt ₁ γγ	126	2855	549	139	23047
基性岩脉	Pt ₁ N、ArN	69	9285	4477	164	59729

2.1.3 磁性特征

从表 3 中可以看出:与全区相比,太华群、华山岩体、文峪岩体及基性岩脉磁化率均值相近,常见值(众数)太华群中亚群和华山岩体、文峪岩体较高,表明太华群中磁异常主要与其磁性矿物不均匀分布有关,燕山期侵入岩体具有较强磁性,其余地层或岩体均为无磁性或弱磁性特征。

2.2 地球物理场特征

2.2.1 布格重力异常特征及地质解释

由图 5、图 6 可以看出:布格重力异常严格受北部太要断裂、南部巡马道断裂控制,两条断裂间的太华群总体上呈重力高异常特征,东部呈 NW、NWW 或近 EW 走向,西部为 NE 走向,沿太要断裂、巡马道断裂表现为密集的重力异常梯度带,太要断裂以北为第四系覆盖区,重力异常呈现从高向低缓慢减小的趋势,反映太要断裂以北第四系下伏有高密度体。华山

岩体和文峪岩体表现为团块状局部重力低,小河岩体以南为 EW 向重力低异常带,西端转为 NEE 方向。

2.2.2 航磁异常特征及地质解释

由图 7 可看出:航磁 ΔT 化极异常呈 EW 走向,具有与布格重力异常相似的南北低、中部高的特征,同样严格受北部太要断裂、南部巡马道断裂控制。太要断裂以北、巡马道断裂以南均为负磁异常背景区,磁场较为平稳,异常基本在 $-100 \sim -200$ nT,对应无磁的新生界沉积地层(Q)、长城系石英岩(Chg)和晋宁期二长花岗岩($Pt_2\eta\gamma\beta$)。南北两条断裂之间的强磁区,大面积异常幅值基本在 $-100 \sim 50$ nT,与深变质太华群变质核杂岩体对应;幅值在 $50 \sim 100$ nT 航磁异常与太华群内磁性较强的斜长角闪岩、角闪片麻岩、磁铁石英岩等局部富集有关。西北角全区磁异常最高点,异常幅值在 $100 \sim 200$ nT,与燕山期华山岩体相对应。

表 3 地质单元标本磁化率参数特征统计

Table 3 Geological units specimen magnetic susceptibility parameter characteristic statistics table

地质单元	代号	样本数	均值/ $(10^{-6}4\pi \cdot SI)$	众数/ $(10^{-6}4\pi \cdot SI)$	最小值/ $(10^{-6}4\pi \cdot SI)$	最大值/ $(10^{-6}4\pi \cdot SI)$
全区		1687	1616	11.5	0.2	34994
蓟县系巡检司组	Jx	79	11.23	11.5	1.4	137.1
长城系高山河组	Chg	108	73.96	6	0.2	2493
太华群上亚群二段	$Arth_3^b$	317	2109	104	6.3	34980
太华群上亚群一段	$Arth_3^a$	484	1968	338	4.1	28417
太华群中亚群	$Arth_2$	101	1606	3172	5.9	32493
太华群下亚群	$Arth_1$	134	2327	12.9	3.5	34994
华山岩体	$K_1\eta\gamma\beta$	59	2652	1136	17.5	4666
文峪岩体	$K_1\eta\gamma\beta$	36	2608	1456	928.7	4084
晋宁期二长花岗岩	$Pt_2\eta\gamma\beta$	120	827	13.5	2	5516
熊耳期二长花岗岩	$Pt_1\eta\gamma\beta$	45	531	8.4	6	5466
酸性岩脉	$Pt_1\gamma\rho$	126	807	7.5	1	10123
基性岩脉	$Pt_1N、ArV$	69	1786	118	44.2	11959

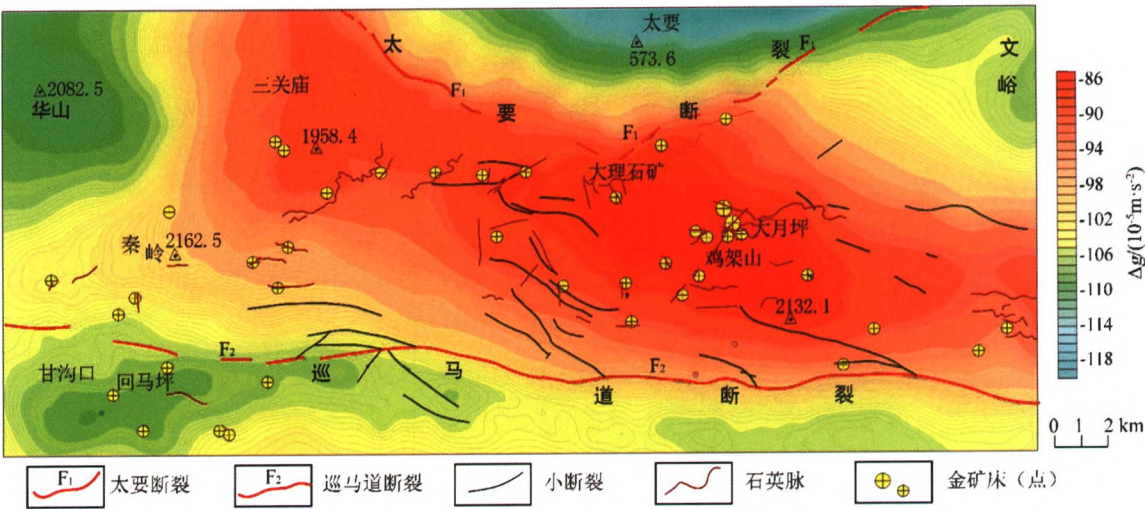


图 5 小秦岭地区 1:5万布格重力异常

Fig.5 1:50000 Bouguer gravity anomaly diagram in Xiaoqinling area

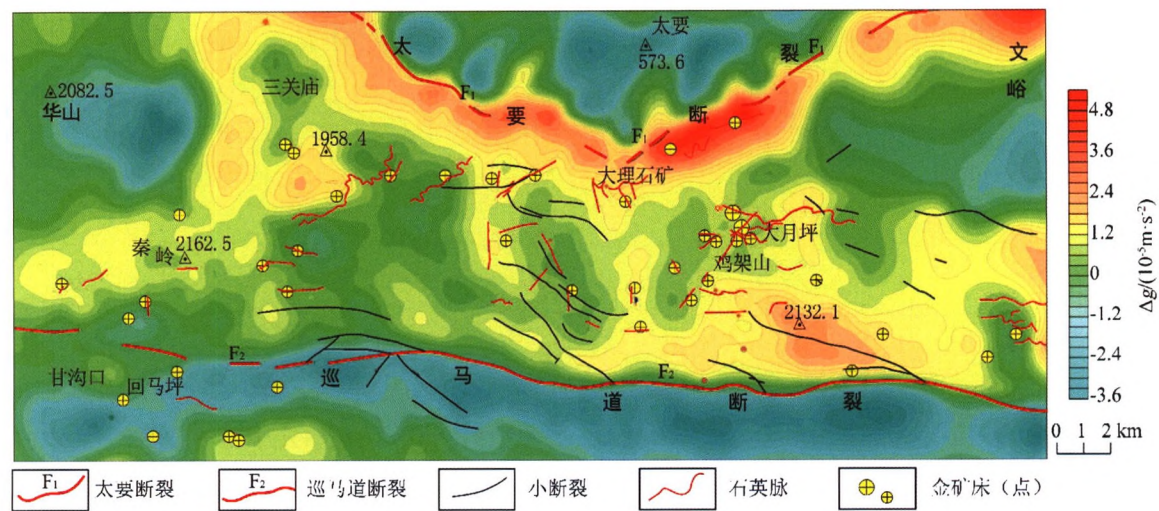


图 6 小秦岭地区 1:5万剩余布格重力异常
Fig.6 1:50000 residual bouguer gravity anomaly map

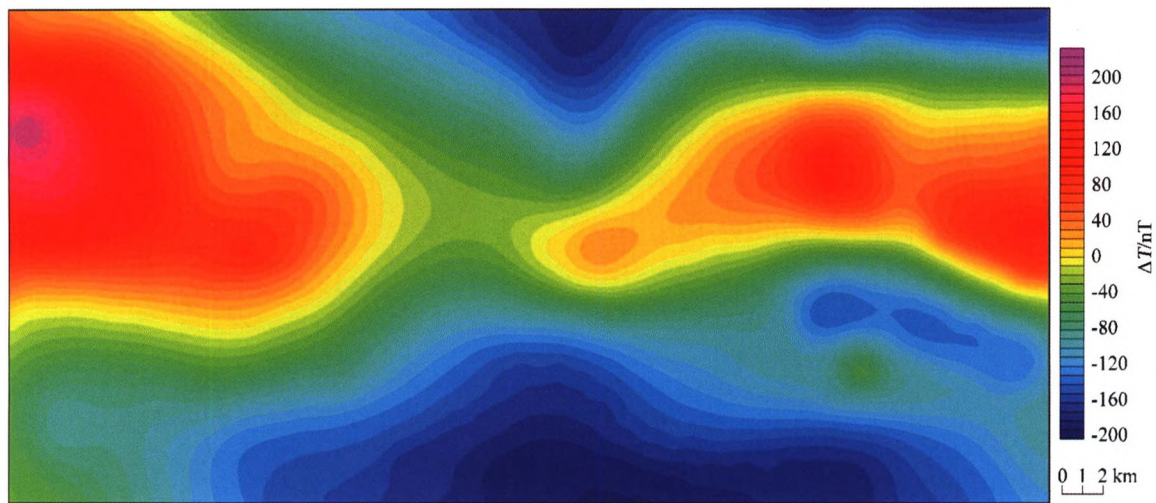


图 7 小秦岭地区航磁 ΔT 化极异常(据参考文献[15]修编)

Fig.7 Aeromagnetic polarized anomaly diagram(revised according to reference[15])

对比 1:5万重力、航磁异常,并结合前人资料可得出以下认识:

1) 太要断裂以北浅黄色重力异常带和重力低异常区,说明靠近断裂的第四系下伏有高密度地质体,西宽东窄,为该断裂北部山前堆积与凹陷沉积物的特征反映;表明太要断裂晚期为正断层,北倾,表现为山前凹陷、北盘下沉的运动学特征;推断太要断裂北部第四系下伏太华群。

2) 太要断裂南侧出露太华群,分布有华山岩体和文峪岩体,重力异常梯级带沿该断裂呈线性分布,局部被错断或扭曲,说明该断裂具有控制深部岩浆侵位的巨大作用,是区域性多期活动大断裂,后期改造强烈。

3) 沿巡马道断裂存在的显著重力梯级带,其北侧为太华群、南侧为小河岩体群,小河岩体及其南侧长城系安山玢岩夹凝灰质板岩、石英岩夹板岩不整

合于太华群之上。重力异常特征表明:该断裂是长城系—蓟县系与太华群的分界线,又是花岗质岩浆岩带控制断裂,晚期碎裂岩横切带内不同类型岩石,表现为南盘下降,北盘上升陡倾,长期、多次活动的特点。

4) 太华群重力高异常东部呈 NW 走向、西部为 NE 走向,说明形成太华群内断裂的挤压应力方向为近 SN 向或 NNE—SSW 向,且断层断距有限,并未破坏太华群宏观结构。

5) 含金石英脉爆裂温度变化趋势(图 8)是以文峪岩体、华山岩体为中心形成成矿温度梯度中心。巡马道断裂北侧秦岭梁附近形成的第三个温度梯度中心^[5,16],温度变化趋势由南向北,该地段存在有明显重力低异常,预示着该地段可能存在燕山期隐伏侵入岩体。

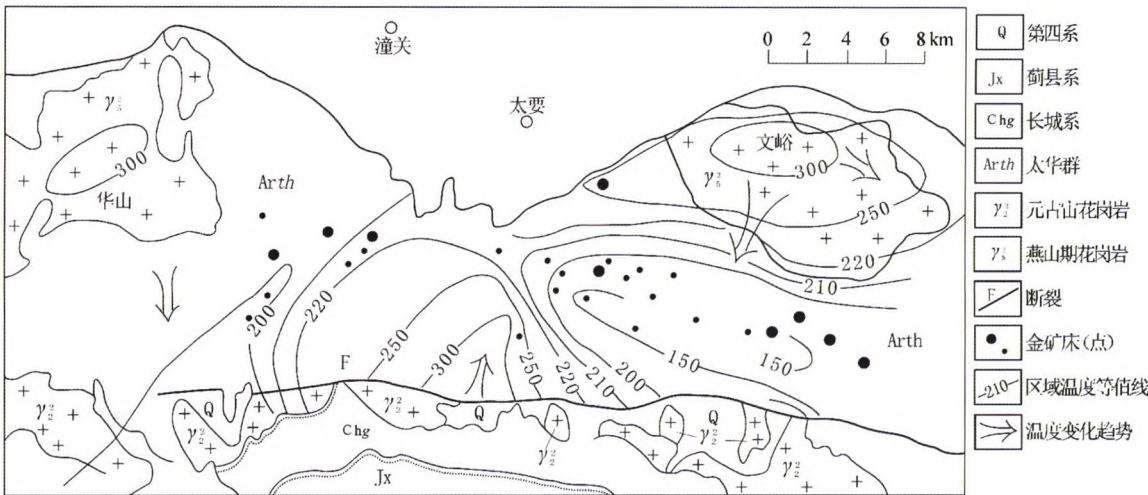


图 8 含金石英脉爆裂温度变化趋势^[5]

Fig.8 Trend graph of burst temperature of gold-bearing quartz veins^[5]

2.2.3 广域电磁剖面特征及综合解释

1) P1、P2、P3 剖面电性特征。图 9 清晰地显示了巡马道断裂、太要断裂及太华群电性结构特征。总的来看,太华群以高电阻率为主要特征,两条区域性断裂均表现为高低电阻率的分界带。太要断裂以北和巡马道断裂以南为显著的低电阻异常区,3 条剖面结构特征一致;巡马道断裂以南与太要断裂以北相比,电阻率值略高,但仍为低阻特征,由西向东低电阻带由宽变窄,中西部的 P1、P2 剖面电阻率差异较大,特征较为复杂,东部的 P3 剖面表现为相对稳定的高电阻特征,表明巡马道断裂以南中西段与东段深部地质体存在较大差异,而不仅仅是现今地质图上标注的晋宁期、熊耳期黑云二长花岗岩。据区域地质资料,巡马道断裂西端出露南部有燕山期老牛山岩体,北部有华山岩体,这些岩体在形成过程中,对小秦岭地区太华群乃至巡马道断裂有一定程度的改造作用,而这种改造有可能使该断裂局部产生岩石破碎或热液沿断裂活动,导致中西段及太华群电性结构变化复杂。也可能在巡马道断裂中西段深部就存在隐伏的燕山期侵入体,证据有二:一是前人做的石英脉爆裂温度等值线图出现的第 3 个温度中心位于该地段;二是巡马道断裂深部 P1、P2 剖面不同于 P3 剖面视电阻率特征,其西部老岩体中沿 NE 向断裂已有燕山期石英正长斑岩 (Jξoπ) 出露 (图 3)。

2) 电磁剖面综合解释。以 P2 剖面为例,结合重力资料进行综合地质解释。图 10 清楚地显示了北部太要断裂、南部巡马道断裂及太华群的密度和电阻率特征。太华群表现为重力高异常,两条区域性断裂均为重力异常突变位置,不同的是太要断裂

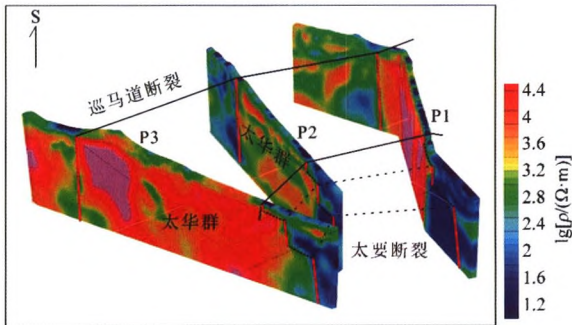


图 9 P1、P2、P3 剖面反演电阻率示意

Fig.9 Schematic of inversion resistivity of P1, P2 and P3 profiles

向北重力异常持续降低,巡马道断裂向南重力异常逐渐抬升,但相对于太华群来说,仍为重力低异常。依据电性结构模型约束,该剖面布格重力异常曲线拟合程度好,说明该结构与地质体特征具有一定的对应关系,综合重力、电磁及地震资料,对 P2 剖面进行了综合地质解释 (图 10c)。与图 11 对比,太华群中相对连续的低阻层对应了地震剖面不同深度的推覆构造层或构造拆离面。

南部巡马道断裂结构复杂,宽度 2~3 km,其深部 3 500 m 处,低阻体对应密度为 2.54 g/cm³,地表出露的老岩体密度为 2.56~2.61 g/cm³,图 8 中第 3 个温度梯度中心位于该地段秦岭梁附近,推测该低密度体与燕山期侵入岩体有关;北部太要断裂呈“台阶状”,北倾,断距接近 1 500 m,其深部 1 000~1 500 m 的低阻异常,钻孔岩心密度显示太华群深部密度有变大的趋势,故推测新近系下伏仍为太华群;1 500、2 500、3 500 m 低电阻率异常带与地震剖面构造层或拆离面大致对应,据此推断不同深度低阻层可能为推覆构造界面。

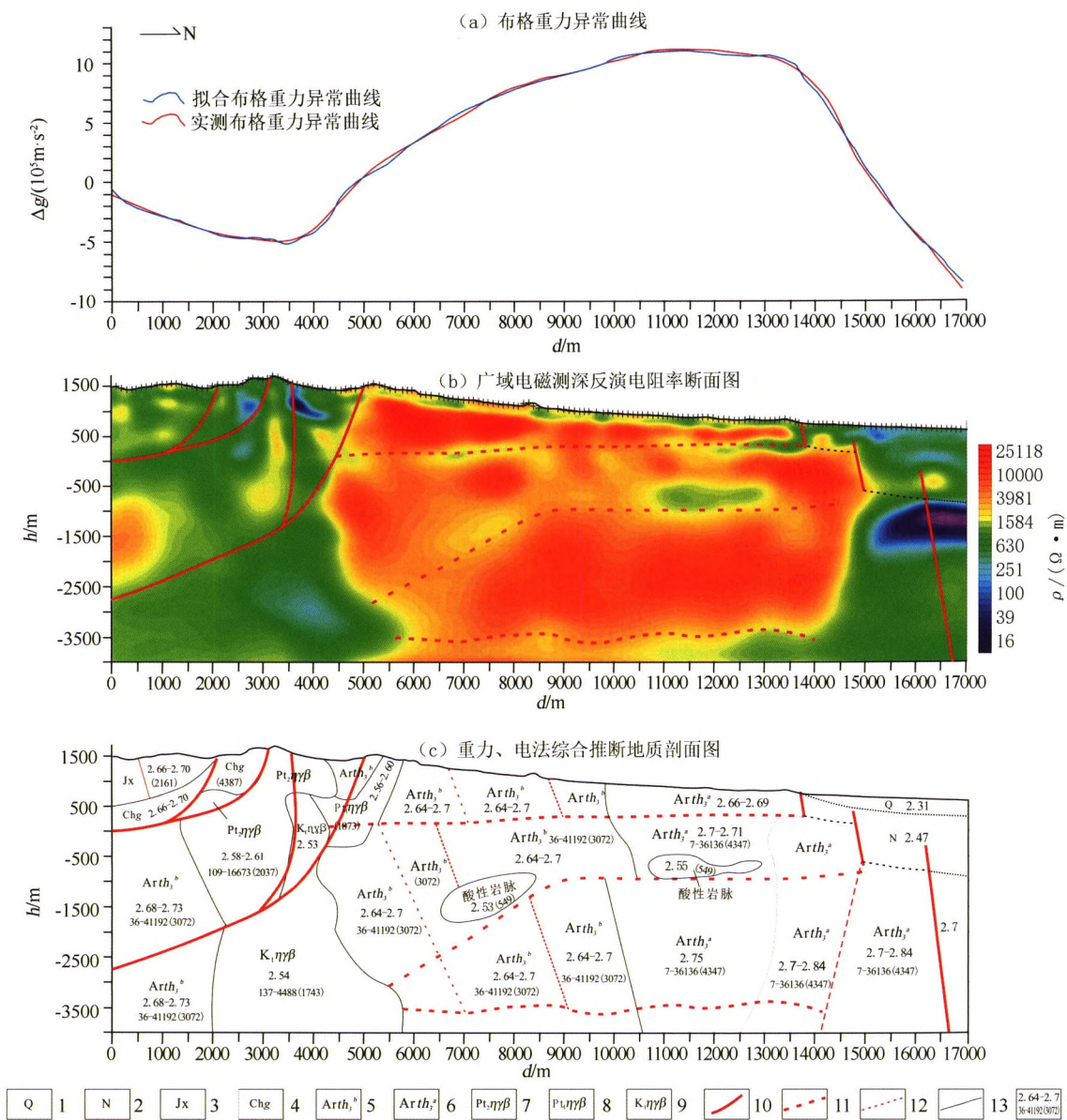


图 10 P2 剖面综合地质解释

Fig.10 Comprehensive geological interpretation map in Xiaolinling area

3 探讨与结论建议

3.1 关于小秦岭地区矿田构造的探讨

区域构造显示燕山期北东构造带控制整个秦岭地区的成矿带,小秦岭地区尽管以 EW 向构造为主导,受太要断裂和巡马道断裂所控制,形成了 NE、

NW、SN 向断裂(石英脉)格局,但总体应仍然服从区域构造体系,也就是说无论是哪个方向充填的石英脉矿体,均受 NE 向燕山期岩浆热液控制,巡马道断裂以南已发现有金矿床,表明石英脉群向南继续延伸,说明燕山期岩浆热液活动越过深大断裂而存在。图 10 显示出 500、1 500、3 500 m 三个重要的深部构造层,3 km 以上为自北向南的逆冲构造,北倾,晚期

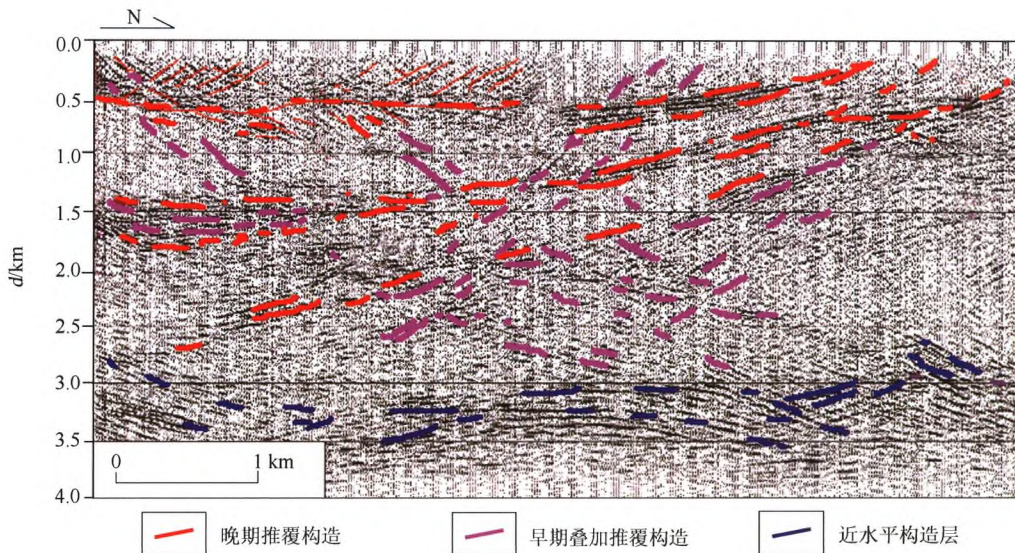


图 11 小秦岭地区太华群太峪段地震剖面
Fig.11 Seismic profile of Taihua formation in Taiyu of Xiaoqinling area

自南向北逆冲前缘局限在北部,发育深度 1 500 m 至地表,倾角 0°~30°,3 000~3 500 m 发育近水平构造层。若燕山期热液来源于深部 1 500m,那么 500 m 以浅的太华群中,热液影响范围仅可能是 NE 向断裂经过的北部地区约 4~5 km 范围内,若热液来源于更深部 3 km 处的深部断面,影响范围可达 4~8 km。可以看出 500 m 以下的断层为低角度断层,北部略南倾,南部为近水平拆离面;1 000 m 深处,北部断层产状向南,南部与浅部相同;1 500 m 深处为该区域主要构造界面(水平拆离面),早期北倾构造界面与晚期南倾构造界面形成了网格状,3 000 m 附近有 500 m 厚近水平波状起伏构造带,是本区域深部水平拆离与岩浆岩带^[17-19]。小秦岭地区 P2 剖面东南的 ZK801 钻孔孔深 1 918 m(0 标高以下 600 m),岩心显示 500、1 000、1 500 m 附近均出现蚀变碎裂岩、构造片岩,1 500 m 以浅碎裂岩、构造片岩及含石英脉较发育,最深到 1 537 m 仍出现了绢云绿泥石英片岩夹方解石石英脉矿体,至 1 846 m 蚀变碎裂岩依然存在^[20-21]。P2 剖面与之对应的太华群,埋深 1 500、2 500、3 500 m 出现了相对连续的低阻层,说明电磁剖面探测结果有一定的可信度,根据 P2 剖面电性特征就可以讨论矿田与构造有关的问题。

1 500 m 以浅,燕山期岩浆热液充填的石英脉以该构造层为限从南向北变浅,也就是说充填石英脉的断裂深度多数应小于该构造层,这些断裂应以脆性张扭性为主,因其切割地层深度有限,断距小,即使以“断裂(石英脉)群”出现,其重力异常特征并不显著,所以 NE、NW 向石英脉群所在地段仍表现为以太华群为特征的重力高异常。

1 500~3 000 m 范围内,局部区域形成的网格状结构,在交汇部位有可能充填热液成矿,P2 剖面在这些部位出现的视电阻率变化应予以重视,特别是出现的视电阻率异常带南倾、北倾交汇的部位,是最有可能的赋矿部位。

3 500 m 的水平波状起伏构造层,其上下电性结构差异显著,上为太华群,下可能是岩浆岩带,具备一定的形成构造蚀变岩型金矿的条件。

太要断裂以北 1.5~3 km 范围内,第四系下伏太华群埋深在 800~1 500 m;太要断裂为北倾,倾角 65°~80°^[22],西段断距 2 000~2 500 m,东段断距约 3 000 m。

巡马道断裂结构要比太要断裂复杂,从西向东差异大,电性结构图显示,地质体呈碎块状,有证据表明,该断裂及其南部构造碎裂岩发育,最新资料研究认为,该断裂中西段深部存在燕山期隐伏岩体的可能性较大,高山河组下伏地层为太华群,那么就可能会存在构造蚀变岩型金矿。

3.2 结论与建议

通过重力测量和广域电磁剖面测量,大致查明了小秦岭潼关地区深部结构特征:

1) 太要断裂呈“台阶状” 65°~80°北倾,太要以西太华群埋深 800~1 500 m,以东埋深 1 000~3 000 m,表现为西宽东窄,以山前堆积与凹陷沉积物特征。

2) 巡马道断裂作为长城系—蓟县系与太华群的分界线,又是花岗质岩浆岩带控制断裂,晚期碎裂岩横切了带内不同类型岩石,表现为南盘下降,北盘上升陡倾,长期、多次活动的特点。该断裂结构复

杂,向南陡倾。断裂以南深部可能以构造片岩、碎裂岩为主,3 500 m 以深可能存在燕山期隐伏岩体,具有形成石英脉型金矿的优势,同时又有形成构造蚀变岩型金矿的条件。

3) 太华群存在 3 个重要的构造界面,石英脉型金矿可能主要存在于 1 500 m 以浅的范围,1 500~2 500 m 石英脉型矿体可能会减少,在局部视电阻率变化地段可能是这一区域南倾、北倾推覆构造交汇部位,有可能形成规模较大的石英脉金矿体;3 500 m 的水平波状起伏构造层,有可能是水平波状韧性剪切带,同样存在构造蚀变岩型金矿的可能。

4) 该地区深部找矿重点应关注巡马道断裂中西段两侧电性结构特征复杂的地段,建议通过钻探 2 500 m 深孔揭示广域电磁剖面电性结构在该地段的低阻、高阻所表达的地质体,为该地区深部找矿和资料揭示提供切实依据。

致谢:文章在编写过程中,吸收了陕西地矿集团总工程师王根宝、西安地质调查中心教授级高工冯治汉、陕西地矿第六地质大队有限公司总工程师白和、西安地质矿产勘查开发院有限公司教授级高工杨海及陕西省自然资源厅勘查处周新民等专家的认识,在此一并致谢!

参考文献 (References):

- [1] 赵振华,涂光炽.中国超大型矿床[M].北京:科学出版社,2003:523-524.
Zhao Z H, Tu G Z. China super large deposit [M]. Beijing: Science Press, 2003: 523-524.
- [2] 朱桂繁.陕西小秦岭金矿区近东西向矿脉构造与成矿特征研究[D].北京:中国地质大学(北京),2018.
Zhu G F. Structural and mineralization characteristics of near east-west trending veins in Xiaojinling gold field, Shaanxi Province [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2018.
- [3] 杨宗让.秦岭造山带大型矿集区成矿系统研究[D].西安:长安大学,2012.
Yang Z R. Studies on the mineralization system of large ore-cluster areas in Qinling orogenic belt [R]. Xi'an: Chang'an University, 2012.
- [4] 陕西小秦岭金矿床矿田构造研究与靶区优选报告[R].西安地质矿产勘查开发院有限公司,2016.
Ore field structure research and target optimization of the Xiaojinling gold deposit, Shaanxi [R]. Xi'an Institute of Geological and Mineral Exploration Co., Ltd., 2016.
- [5] 杨海,王飞,汪佩佩,等.定量构造测量[M].北京:地质出版社,2017.
Yang H, Wang F, Wang P P. et al. Quantitative structural survey [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2017.
- [6] 王晋定,王大钊,詹小飞,等.小秦岭金成矿区南矿带构造控矿规律和矿床定位样式[J].大地构造与成矿学,2018,42(6):

1064-1077.

- Wang J D, Wang D Z, Zhan X F, et al. Structural controls on mineralization and distribution of orebodies in the southern ore belt of the Xiaojinling district [J]. Geotectonica et Metallogenia, 2018, 42 (6): 1064-1077.
- [7] 张欢欢,陈虹,白和,等.陕西小秦岭金矿床“三位一体”勘查区找矿预测地质模型及找矿意义[J].地质力学学报,2018,24(3):350-370.
Zhang H H, Chen H, Bai H, et al. Geological model for prospecting prediction in “Trinity” prospecting area in the Xiaojinling gold deposit in Shaanxi and its prospecting significance [J]. Journal of Geomechanics, 2018, 24 (3): 350-370.
- [8] 李长寿,张欢欢,白和,等.陕西小秦岭金矿田石英脉型金矿床石英热释光特征及其找矿意义[J].矿产勘查,2019,10(4):801-809.
Li C S, Zhang H H, Bai H, et al. Shaanxi shi-ying tian Xiaojinling gold vein type gold deposit quartz thermoluminescence characteristics and prospecting significance [J]. Mineral Exploration, 2019, 10 (4): 801-809.
- [9] 李惠,张国义,高延龙,等.小秦岭金矿集中区深部第二富集带预测的构造叠加晕模型[J].物探与化探,2008,32(5):525-528.
Li H, Zhang G Y, Gao Y L, et al. The structural superimposed halo model for prognosis of No.2 enrichment zone at the depth of the Xiaojinling gold ore concentration area [J]. Geophysical et Geochemical Exploration, 2008, 32 (5): 525-528.
- [10] 杨海,王飞,汪佩佩.小秦岭 Q315 金矿床原生晕及深部成矿潜力[J].西北地质,2019,52(1):199-209.
Yang H, Wang F, Wang, P P. Primary halo and deep metallogenic potential of the Q315 gold deposit in Xiaojinling [J]. Northwestern Geology, 2019, 52 (1): 199-209.
- [11] 白和.小秦岭 Q8 号金矿床地质特征及深部资源潜力分析[J].陕西地质,2003,21(1):19-27.
Bai H. Geology of the gold deposit Q8 and the deep seated of potential mineral resources in Xiaojinling [J]. Geology of Shaanxi, 2003, 21 (1): 19-27.
- [12] 胡正国,郭福祺.小秦岭太华群金的成矿作用特征探讨——以潼峪地区为例[J].黄金科技动态,1990,2:1-9.
Hu Z G, Guo F Q. Discussion on the characteristics of gold mineralization in the Taihua group of the Xiaojinling mountains: A case study in the Qionglai area [J]. Gold Science Technology, 1990, 2: 1-9.
- [13] 文月贵,王和平,黄娅娅.小秦岭 Q9325、Q141、Q127 号矿脉地质特征及深部找矿前景分析[J].陕西地质,2019,37(1):16-22.
Wen Y G, Wang H P, Huang Y Y. Geology and deep ore prospecting for gold-bearing veins Q9325, Q141 and Q127 in Xiaojinling, Shaanxi Province [J]. Geology of Shaanxi, 2019, 37 (1): 16-22.
- [14] 倪云鹏,金路,杨春四,等.小秦岭北矿带北麓地质特征与找矿模型[J].地质与勘探,2019,55(5):1143-1152.
Ni Y P, Jin L, Yang C S, et al. Geological characteristics and prospecting model in the northern slope of the northern metallogenic belt in Xiaojinling mountains [J]. Geology and Exploration,

- 2019,55(5):1143-1152.
- [15] 熊盛青,范正国,黄旭钊,等. 全国找矿突破战略行动整装勘查区航磁图册[M].北京:地质出版社,2013.
- Xiong S Q, Fan Z G, Huang X Z, et al. The aeromagnetic atlas of the national exploration prospecting breakthrough strategic action [M]. Beijing: Geological Publishing Press, 2013.
- [16] 杨渊,张林,史朝洋,等. 综合物探法在小秦岭地区中酸性岩体圈定及空间解析中的应用[J]. 物探化探计算技术, 2019, 41(3):386-393.
- Yang Y, Zhang L, Shi C Y, et al. Application of integrated geophysical exploration method in delineation of intermediate acidic rock mass in the Xiaoqinling area and its spatial resolution [J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2019,41(3):386-393.
- [17] 王力群,肖文进. 小秦岭变质核杂岩构造基本特征及其构造控矿模式分析[J]. 西北地质科学, 2000, 21(1):77-85.
- Wang L Q, Xiao W J. Analysis on the basic characteristics of the Xiaoqinling metamorphic core complex and its ore-controlling model[J]. Northwest Geoscience, 2000,21(1):77-85.
- [18] 胡正国,钱壮志. 小秦岭西段拆离—变质杂岩核构造[J]. 地质找矿论丛, 1994, 9(2):58-66.
- Hu Z G, Qian Z Z. Detachment-metamorphic complex core structure configuration in western segment of Xiaoqingling [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 1994,9(2):58-66.
- [19] 顾登辉,周建. 陕西小秦岭金矿地质勘探工作值得借鉴的几个问题[J]. 世界有色金属, 2019, 14:238-240.
- Gu D H, Zhou J. Several problems worthy of reference for geological exploration work in Xiaoqinling gold deposit, Shaanxi [J]. World Nonferrous Metals, 2019,14:238-240.
- [20] 陕西小秦岭金矿田深部及外围金矿整装勘查区关键基础地质研究报告[R]. 陕西省地质矿产勘查开发局第六地质队, 2016.
- Key and basic geological research report of Shaanxi Xiaoqinling gold ore field, [R]. Shaanxi Geological and Mineral Sixth Geological Team Co., Ltd., 2016.
- [21] 刘晓龙,张晓斌,张欢欢,等. 陕西善车峪金矿区 Q195 号矿脉地质特征及深部资源潜力分析[J]. 矿产勘查, 2018, 9(3):388-397.
- Liu X L, Zhang X B, Zhang H H, et al. Geological characteristics of No. Q195 vein and the analysis of resource potential in the deep part, Shancheyu gold deposit area, Shaanxi [J]. Mineral Exploration, 2018,9(3):388-397.
- [22] 田庆水,王孟霞,郑燕,等. 太要断裂东段覆盖区地球物理特征及推断解释[J]. 西北地质, 2019, 52(3):253-264.
- Tian Q S, Wang M X, Zheng Y, et al. Geophysical characteristics of loess-covered area in the eastern segment of Taiyao fault, Xiaoqingling mountains [J]. Northwest Geology, 2019, 52(3):253-264.

The preliminary understanding of deep structure exploration in the orefield of Xiaoqinling area

ZHENG Xiang-Guang¹, LU Lin¹, LIU Hui-Yi¹, LIU Xiao-Long², XU Kun¹, ZHANG Zhi-Lin¹

(1. No. 2 Comprehensive Geophysical Survey Party Co., Ltd., Shaanxi Bureau of Geology and Mineral Resources, Xi'an 710016, China; 2. No. 6 Geological Party Co., Ltd., Shaanxi Bureau of Geology and Mineral Resources, Lintong 710311, China)

Abstract: According to the measured gravity data and wide-area magnetotelluric sounding study as well as the seismic section and borehole data, the authors investigated the deep structure of Xiaoqingling area. It is considered that the buried depths at 1 500 m, 2 500 m and 3 500 m of Taihua Group in Xiaoqingling area are important tectonic interfaces, especially at 1 500 m, which may limit the emplacement of most quartz vein orebodies. The intersection of the S-dipping and N-dipping resistivity of the grid magnetotelluric profile at 1 500~2 500 m may indicate the formation of large-scale gold orebodies. The fault structure of Xunmadao is complex, and its upper plate may be dominated by structural schist and rifting rocks. The Yanshanian intrusive rock mass may exist at the depth of 3 500 m, which has the prospect of finding quartz vein-type gold deposits and the conditions for forming tectonic alteration rock-type gold deposits. The Taiyao fault dips northward in the stepladder form. Within the range of 1.5~3 km to the north, the underlying Quaternary Taihua Group is buried at the depth of 800~1 500 m. The fault is wide in the west and narrow in the east. The deep prospecting in this area should pay attention to the recognition of the complex structural features of the electrical structure on both sides of the middle and western sections of the Xunmadao fault.

Key words: Xiaoqinling area; structure of orefield; deep detection

(本文编辑:蒋实)