

湘南骑田岭矿集区的深部构造特征 及其对区域成矿的制约

李建国¹⁾, 李建康²⁾, 王登红²⁾, 刘健¹⁾, 何晗²⁾

1) 山西省地球物理化学勘查院, 山西运城, 044004; 2) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037

内容提要:湘南骑田岭矿集区是我国重要的有色金属基地之一, 具有断裂构造异常发育, 存在多期次岩浆活动、多类型矿床和矿种组合的特点。为了揭示深部地壳结构对区域成矿特征的制约, 本文布置了穿越黄沙坪铅锌矿床和骑田岭花岗岩体的人工地震剖面, 数据采集采用了直线多次叠加的技术方法, 采取大炮和小炮相结合的激发方式进行实验工作, 共完成物理点 651 个。实验结果表明, 骑田岭矿集区深、中、浅部存在着比较明显的地震构造波组, 莫霍面深度约为 33~38km; 在骑田岭岩体深部存在明显的莫霍面不连续性, 呈现出类似于“逆断层”的构造特征和无反射波组或弱波组异常; 反射速度反演结果也表明骑田岭岩体深部存在着下凹状低速异常。这些深部构造特征说明区域存在幔源物质上涌和参与成岩成矿作用的通道, 该构造通道可对应于茶陵—郴州—临武深大断裂带, 暗示地幔物质的混入可能是湘南骑田岭矿集区发生大规模成矿作用的内在原因之一。而且, 莫霍面“逆断层”构造特征显示区域上曾遭受较强烈的构造挤压作用, 是区域中生代多次构造挤压作用的体现。这种构造挤压作用致使岩石圈增厚, 发生较大规模的拆沉作用和深部岩浆上侵活动, 为区域成矿作用提供必要的物质和能量。

关键词:反射地震剖面; 地壳结构; 湘南骑田岭矿集区; 黄沙坪; 南岭成矿带

湘南骑田岭矿集区位于我国湖南省郴州市, 是我国重要的有色金属基地之一。区域骑田岭花岗岩体的出露面积约 520km², 在该岩体的内部和外围, 产出有柿竹园钨锡钼铋铅锌矿床、黄沙坪铅锌矿床、宝山铅锌矿床、芙蓉锡矿床、新田岭钨矿床、香花岭锡多金属矿床等(图 1)。这些矿床的成矿作用与深部花岗岩浆的活动有密切关系, 且表现出多矿种组合、多期成矿和矿种组合多变的特点。矿集区北部的东坡矿田以钨锡钼铋成矿为主, 南部的香花岭矿床以锡钽铌等稀有金属矿化为主, 东部瑶岗仙矿床以钨矿化为主, 西部的黄沙坪—宝山矿田存在上“铅锌”下“钨锡”的矿化特征, 骑田岭岩体内部的芙蓉矿田以锡成矿为主, 骑田岭岩体北部接触带产出的新田岭矿床以钨矿为主。这种多样性说明区域上经历了多类型、多期次岩浆的侵位活动, 发生了多类型的成矿作用。

在南岭成矿带尺度上, 骑田岭矿集区位于自西部少花岗岩地区向东部多花岗岩地区的过渡部位。根据地震和重力资料, 南岭地区莫霍面深度由东南

的 30km 向北西加深至 41km, 骑田岭矿集区恰位于莫霍面从隆起向凹陷的转折部位(饶家荣等, 1993)。而且, 骑田岭矿集区还位于扬子和华夏板块碰撞、钦杭构造带自 NE 向 NNE 向转折的深层构造带上(杨明桂等, 1997)。这种特殊的构造位置决定骑田岭矿集区可能具有与众不同的地壳结构, 这可能是造成骑田岭矿集区成矿特点的重要原因。

基于以上原因, 国家深部探测专项的“南岭成矿带岩浆系统结构深部探测实验研究”课题在骑田岭矿集区布置了人工反射地震研究, 以期揭示区域地壳结构及其对区域成矿的制约。

1 区域地质概况

骑田岭矿集区位于南岭成矿带中段, 处于华南湘桂粤北海西印支凹陷区内。茶陵—郴州—临武大断裂穿过矿集区, 该深大断裂带在湖南省内延伸约 200km, 是加里东以来武功山—诸广山地块由南东向北西仰冲所形成的碰撞逆冲推覆断裂带, 是湘南主要的控矿构造(饶家荣等, 1993; Gilder et al.,

注: 本文为国家深部探测专项“南岭成矿带地壳岩浆系统结构探测实验研究”(SinoProbe-03-01)、地质大调查项目“我国稀有、稀散资源战略调查研究”(1212011220805)资助成果。

收稿日期: 2014-02-25; 改回日期: 2014-03-13; 责任编辑: 黄敏。

作者简介: 李建国, 高级工程师, 长期从事地球物理探测工作。Email: sxljg6586@163.com。通讯作者: 李建康, 男, 博士, 副研究员, 主要从事矿床学研究。Email: Li9968@126.com。

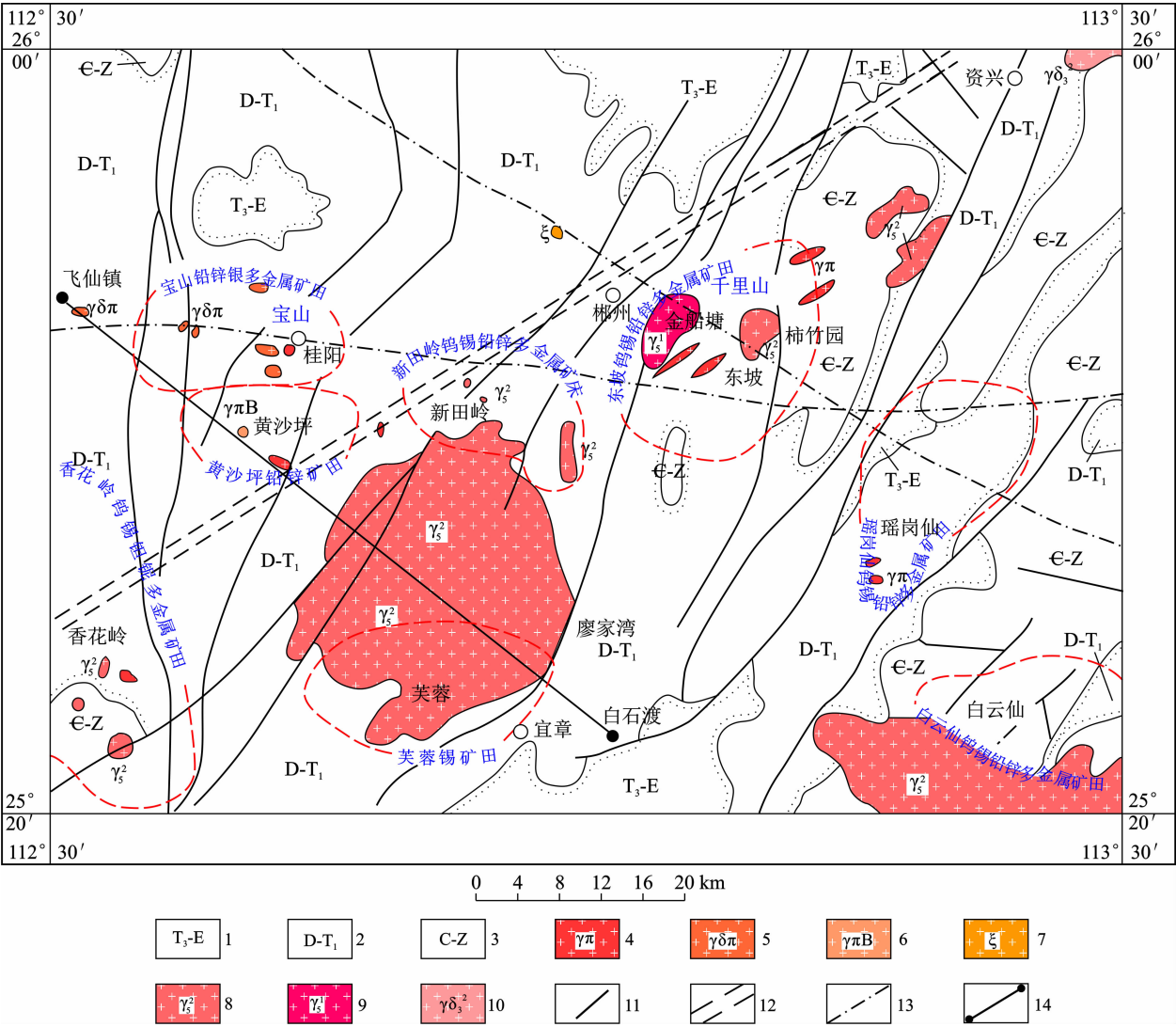


图1 骑田岭矿集区地质图(根据湖南省湘南地质队,1991^①资料编制)

Fig. 1 The Geological map of Qitianling ore-concentrated area (revised from Southern Hunan Geological Team, 1991^①)

1—上三叠统一下第三系;2—泥盆系一下三叠统;3—寒武系—震旦系;4—花岗斑岩;5—花岗闪长斑岩;6—花岗斑岩质隐爆角砾岩;7—正长岩;8—燕山早期花岗岩;9—印支期花岗岩;10—加里东期花岗闪长岩;11—断裂;12—茶陵—郴州—临武深断裂带;13—重磁推断基底断裂;14—飞仙镇—黄沙坪—白石渡人工反射地震剖面位置

1— Upper Triassic-Paleogene; 2—Devonian-Triassic; 3—Cambrian-Sinian; 4—granitic porphyry; 5—granodiorite-porphyry; 6—granite-porphyritic crypto explosive breccia; 7—syenite; 8—granite of early Yanshanian; 9—granite of Indosinian; 10—granodiorite of Caledonian; 11—fault; 12—Chaling-Chenzhou-Linwu deep fault belt; 13—basement faults inferred from gravity and magnetic; 14—the location of Feixianzhen-Huangshaping-Baishidu artificial reflection seismic profile

1996; Chen et al. , 1998; Wang et al. , 2003)。矿集区出露的地层是以边缘海槽盆相砂泥质岩石为主的震旦系—志留系和以浅海台地相碳酸盐岩为主的泥盆系—中三叠统。

骑田岭矿集区内岩浆岩十分发育,岩石种类较多,但以酸性—中酸性岩为主,尚有少量碱性、基性岩脉。湘南地质队用超单元填图法(湖南省湘南地质队,1991^①),在骑田岭花岗岩体地区识别出 90 多个不同产状和大小不等的侵入体(岩株、岩瘤、岩

脉),将骑田岭岩体划分成菜岭和芙蓉两个超单元。朱金初等(2009)把骑田岭岩体分为三个侵入阶段:分别为 163~160Ma,主要为角闪石黑云母二长花岗岩,出露面积约占 45%;第二阶段侵位于 157~153Ma,主要为黑云母花岗岩,出露面积约占 40%;第三阶段侵位于 150~146 Ma,主要为细粒(有时含斑)黑云母花岗岩,出露面积约占 12%。前两个阶段花岗岩构成岩基的主侵入相,第三阶段花岗岩为补充侵入相。

骑田岭矿集区经历了加里东期、海西—印支期、燕山期、喜马拉雅期 4 个构造发展阶段,形成了既复杂又有规律的构造格局。其中新华夏系构造与区域成矿关系密切。在新华夏系构造中,褶皱、断裂较发育,规模较大,构造线以东北 18°~25°方向展布,多为南北向构造上经归并复合而成。褶皱平面上呈平行状、斜列状,剖面形态呈斜歪、倒转,局部正常。断裂大都斜贯矿集区,具多期次活动特征,同向倾斜,倾角较陡,以压性为主,兼具扭性,多呈舒缓波状产出。新华夏系主要形成于燕山期,对内生成矿物质的迁移、富集及分布有着明显的依存关系。

围绕骑田岭岩体,区内产出一批享有盛誉的大型—超大型钨、锡、铅、锌等有色金属矿床。钨、锡矿主要分布于东坡矿田、香花岭矿田、芙蓉矿田,矿床类型可大致分为蚀变岩体型、斑岩型、云英岩型、矽卡岩型、裂隙充填交代型(构造蚀变带型、石英脉型、网脉大理岩型)及砂锡矿床。铅锌矿集中分布于坪宝地区及东坡矿田,以产于碳酸盐岩中与酸性、中酸性花岗岩类有关的接触交代型及交代—充填型铅锌矿最为重要。

2 骑田岭矿集区人工地震剖面的地质特征

本次研究在骑田岭矿集区布置了一条飞仙镇—黄沙坪—白石渡人工反射地震剖面,剖面自西向东穿过骑田岭岩体,长度为 78km(图 1)。剖面可分为西段、中段和东段。西段从桂阳县飞仙镇至骑田岭复式岩体最西侧,全长约 41km,出露的地层以泥盆系、石炭系灰岩和二叠系砂岩为主。中段为骑田岭岩体,长度约 27km。剖面东段自骑田岭岩体东接触带至白石渡,长度为 10km,主要出露栖霞组灰岩和黄龙船山组的白云质灰岩,以及龙潭组含煤岩系,近岩体接触带岩石有角岩化。

剖面上可分辨的断裂有 35 条,以压性断裂为主,呈北东向密集展布。地层中的断裂规模较小,断裂最大延伸不超过 6km,骑田岭岩体中的断裂规模较大,产状较陡,延伸超过 10km。剖面除穿过骑田岭岩体外,还在西段穿过何家渡和黄沙坪小岩体(株)。何家渡岩体主要为花岗闪长斑岩,次为石英斑岩,沿断裂侵入,走向北西,倾向北东,长约 600m,最大宽度 360m,出露面积 0.22km²。黄沙坪矿区已发现出露和隐伏的小岩体有 20 余个,岩体一般呈岩枝(脉)产出,少数呈岩豆、岩瘤产出,属一个燕山早期的复合花岗岩类岩枝群体。可分为已有出露地表

的石英斑岩岩枝群和隐伏的花岗斑岩岩枝群,出露面积分别为 0.23km²和 0.29km²。

黄沙坪矿床位于剖面的西段,为一大型钨锡铅锌多金属矿床,产出矽卡岩磁铁钨钼铜铅锌氧化物—硫化物混合型矿体和碳酸盐岩、斑岩中裂隙充填交代脉型铅锌铜硫化物矿体。何家渡(大坊)金矿区也位于剖面的西段,大致可分为受接触断裂破碎带控制的矿脉、受接触角砾岩带控制的矿脉和受碎裂岩或裂隙控制的矿脉。芙蓉矿田的白腊水锡矿床位于剖面的骑田岭岩体内部,该矿田是近年来发现的大型锡矿床,属于破碎蚀变岩型锡矿床。矿区内岩石蚀变非常普遍,蚀变程度高,种类多。

3 人工反射地震的数据采集及处理方法

在骑田岭(飞仙镇—黄沙坪—白石渡)人工地震反射剖面,数据采集采用了直线多次叠加的技术方法,人工地震共完成生产物理点 651 个。为获得浅、中、深结合的全地壳反射地震探测高质量成果剖面,采取大炮和小炮相结合的激发方式进行实验工作,其中:小炮采用中间激发,两边接收(960 道),炮间距 120m;大炮激发单边全排列接收(960 道),大炮药量为 100kg,炮间距 2400m。人工地震探测覆盖次数选择为 80 次,采用法国 CGG Seceral 公司生产的 428XL 地震仪完成数据采集。详细数据采集参数见表 1。

表 1 湘南骑田岭(飞仙镇—黄沙坪—白石渡)人工地震反射剖面数据采集参数一览表

Table 1 The data acquisition parameters in Feixianzhen-Huangshaping-Baishidu artificial reflection seismic profile, southern Hunan

项目	项目	主要参数
接收系统	观测系统	9600m—120m—20m—120m—9600m
	仪器型号	428XL
激发因素	井深	20m
	炸药量	18kg(小炮),100kg(大炮)
接收因素	炮间距	120m(小炮),2400m(大炮)
	道间距	20m
	总接收道数	960 道(中间激发)
	覆盖次数	80 次
	记录长度	20s
	采样间隔	2ms
	前放增益	12db
	记录频带	全频段
	记录格式	SEG-D

针对南岭成矿带骑田岭矿集区复杂的地表和地下地震地质条件,对深地震反射资料数据的处理需要注意静校正、低信噪比资料构造成像、频率、线性干扰及高能量面波干扰的压制、偏移速度场的建立等问题。实验中应用了无射线层析成像静校正技术,该方法应用有限差分方法正演模拟地震波的首波初至,通过多次迭代反演获得近地表速度结构;叠前时间偏移技术采用基于起伏地表地震数据资料的叠前时间偏移技术(PSG_MIG),其偏移条件建立在起伏地表的基础上,能够更好地使绕射波收敛,同相轴更加聚焦。在处理过程中按照前期试验成果,确定了地震资料处理技术流程(图 2)。

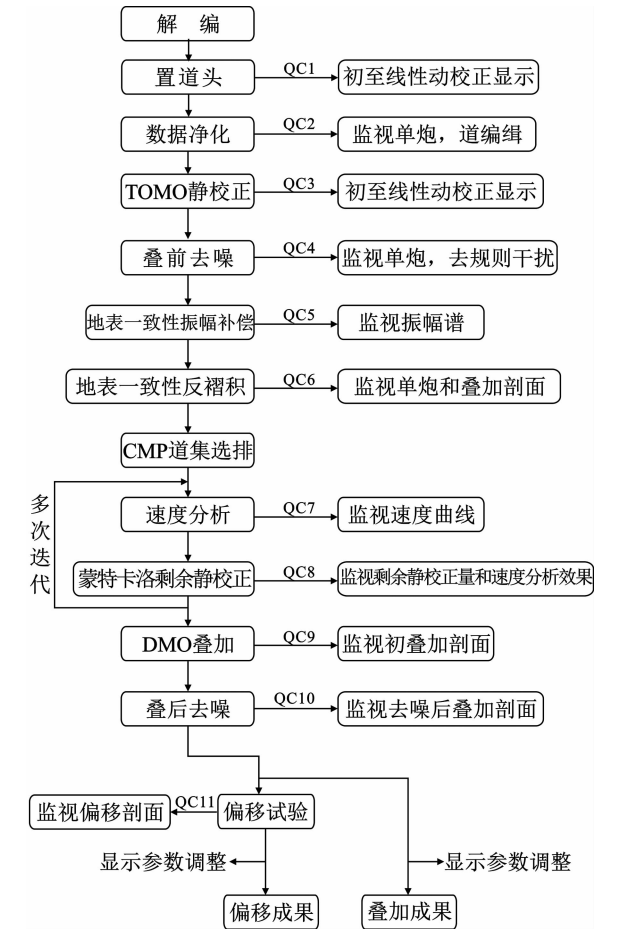


图 2 湘南骑田岭矿集区人工地震反射剖面数据处理技术流程
Fig. 2 The processing procedure of artificial reflection seismic data in Qitianling ore-concentrated area, southern Hunan

由于矿集区岩浆岩十分发育,为求得中深层速度场的展布信息,反射波速度反演方法利用精细速度谱分析结果和叠加偏移剖面建立初始模型,采用一维反演方法,即针对自激自收反射波场的速度和界面进行反演,基本技术流程参见图 3。为合理且高精度的建立初始反射波速度模型,本次研究在常

规速度分析的基础上,选择合适的大道集进行了精细速度分析,同时在纵横向速度变化较大的复杂构造部位,加密速度谱的点数和速度扫描的分析精度,谱点间距一般为 25~30 个 CDP。

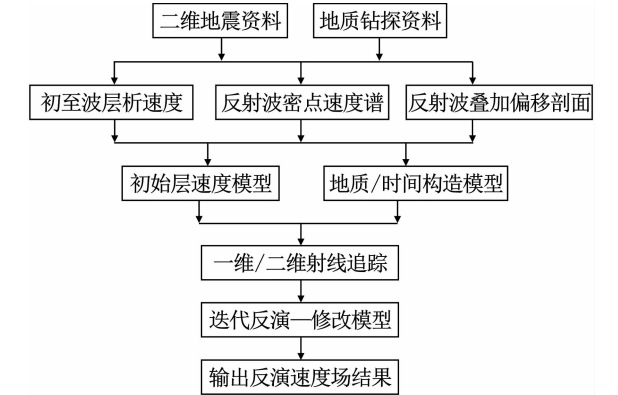


图 3 自激自收反射波速度场反演技术流程
Fig. 3 The velocity-inverting process of reflected seismic wave acquired through self-exciting and self-receiving

4 人工反射地震探测的实验结果

根据前文所述的人工反射地震的采集技术和处理流程,本次研究得到 0~20s、0~6s 两个尺度的反射叠加时间剖面,剖面清晰的反映出浅部(0.5~2.5s)、中部(4.5~7s 左右)和深部(9~10.5s 左右)的地震波组特征(图 4、图 5)。

根据反射波速度场数据的处理方法,得到了地震剖面的反射波速度场特征展布图,该图较好地表现出岩浆岩和地壳结构面的成层性和分块性(图 5)。反演层速度整体变化范围为 4000.0~8000.0m/s,其纵横向的高低异常变化主要受地下岩体和结构面的起伏变化影响。

5 讨论

5.1 骑田岭矿集区剖面的结构特征

地震时间剖面成果显示,在浅部 0.5~2.5s 左右(图 4),除骑田岭岩体外均存在着 1~3 组能量较强反射波组,反射波组连续性一般,能量中强,波组在横向上产状变化相对较大。骑田岭岩体一带主要以无反射波组和弱反射波组为主要特征出现,深度可达到 4.0s 左右;在何家渡—太和镇段地震波组分布较繁杂(图 4),构造形迹比较清晰,解译出的“断裂”与地质剖面中的 $F_5 \sim F_{20}$ 有比较好的对应关系。这些特征说明,岩体中断裂的延伸深度较小,岩体外接触带中的断裂有较大的延伸规模,对区域成矿有一定的控制作用。

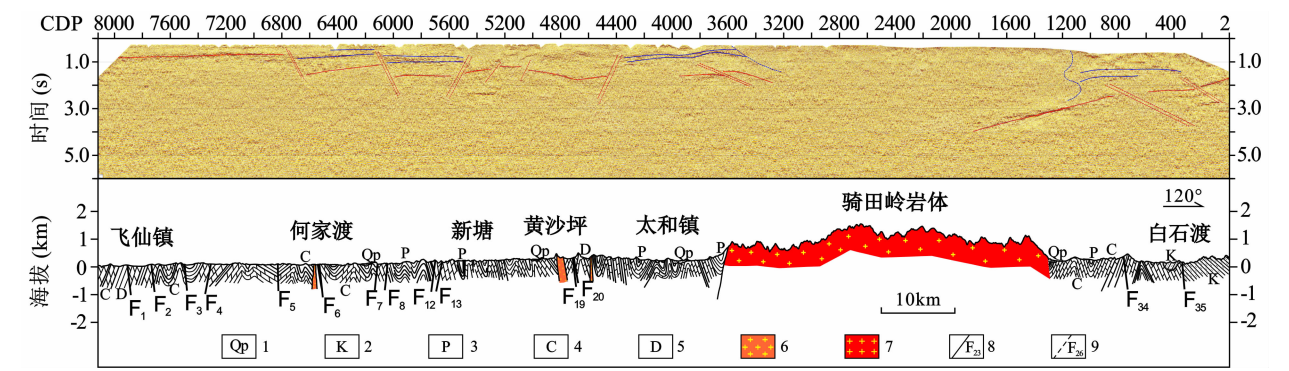


图 4 湘南骑田岭矿集区剖面(飞仙镇—黄沙坪—白石渡)人工地震叠加时间剖面图(0~6s)

Fig. 4 The artificial seismic profile from 0 s to 6 s in Qitianling ore-concentrated area (Feixianzhen-Huangshaping-Baishidu), southern Hunan

1—第四系;2—白垩系砂岩;3—二叠系砂岩;4—石炭系灰岩、白云岩;5—泥盆系灰岩;6—花岗斑岩;
7—花岗岩;8—断层及编号;9—推测断层及编号

1—Quaternary; 2—Cretaceous sandstone; 3—Permian sandstone; 4—Carboniferous limestone and dolomite; 5—Devonian limestone;
6—granite porphyry; 7—granite; 8—fault with number; 9—inferred fault with number

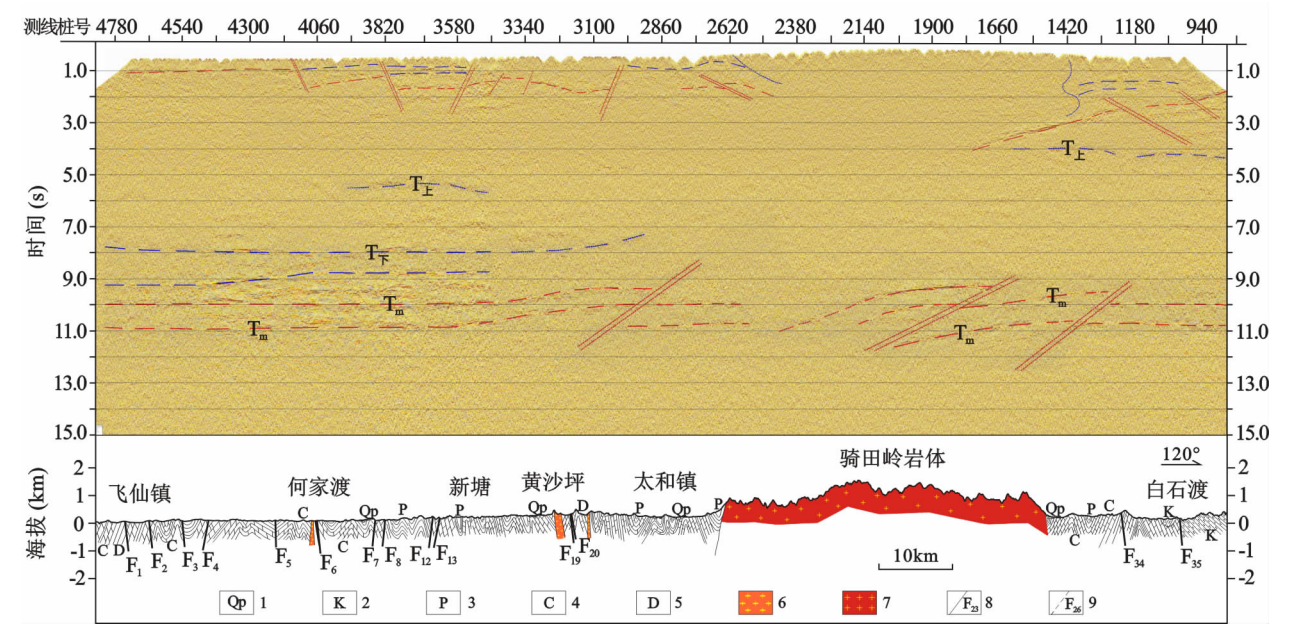


图 5 湘南骑田岭矿集区剖面(飞仙镇—黄沙坪—白石渡)人工地震叠加时间剖面图(0~20s)(图例同图 4)

Fig. 5 The artificial seismic profile from 0 s to 20 s in Qitianling ore-concentrated area(Feixianzhen-Huangshaping-Baishidu), southern Hunan (the legend are same with that in fig. 4)

在骑田岭矿集区的深、中部显示出三个比较明显的地震构造波组,其中最深的地震构造波组(定名为 T_m)出现在 9~10.5s 左右(图 5),波组能量强,连续性和稳定性较好,深度预计 33~38km 左右(平均速度用 7000m/s),深度与区域莫霍面的深度数据一致(饶家荣等,1993),推测为莫霍面的地震反射(T_m)。在 7s 和 4.5s 左右出现两个地震构造波组,波组能量一般,连续性较差,判断是上、下地壳界面的反射(分别定名为 $T_{上}$ 、 $T_{下}$)。但在骑田岭岩体深

部,上、下地壳界面的反射波组比较模糊,这可能是深部岩浆的上侵活动的结果。

在自黄沙坪矿区至骑田岭岩体东接触带范围内,莫霍面存在着明显的反射波组异常。深部的莫霍面 T_m 构造波组在骑田岭一带不连续,反射波组产状变化较复杂,以 3~4 组似“逆断裂”构造特征表现,弧状绕射波清晰,多次挤压构造活动的形迹比较明显。在骑田岭岩体的西部,自上而下出现大范围的无反射波组或弱波组异常,该异常穿越了莫霍面,

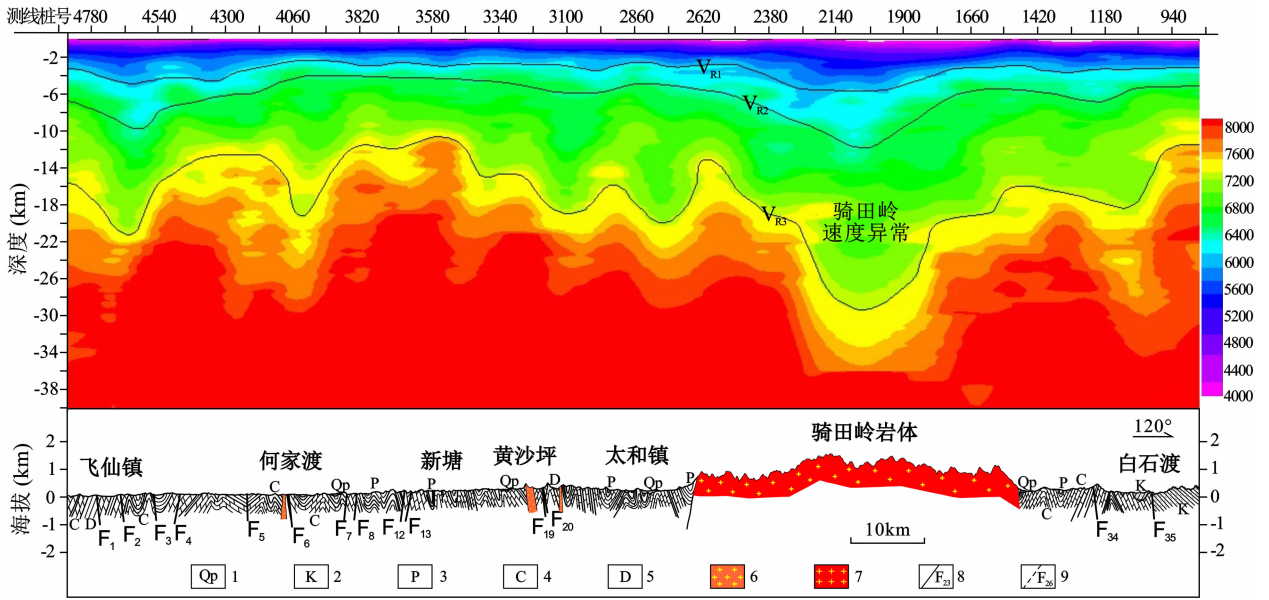


图 6 湘南骑田岭剖面(飞仙镇—黄沙坪—白石渡)反射波速度反演图(图例同图 4)

Fig. 6 The inversion velocity of reflected seismic wave in Qitianling seismic profile

(Feixianzhen-Huangshaping-Baishidu), southern Hunan (the legend are same with that in fig. 4)

上、下地壳地震构造单元。

由反射波反演速度剖面可见,整体速度变化为 4000~8100m/s,反演剖面深度可达 40000m。纵向上看速度变化可分为 4 个速度层, V_{R1} 速度小于 6000m/s,深度在 4000m 以浅; V_{R2} 速度在 6000~6600m/s,深度在 3000m~10000m 范围内; V_{R3} 速度 6600~7400m/s,深度在 5000m~27000m 范围内; V_{R3} 层以下速度 7400~8100m/s,深度大于 13000m。在骑田岭岩体一带速度结构层整体为下凹形状,纵向深度 27000m 以浅,速度表现为中低速(图 6)。这种深部速度的异常特征是骑田岭岩体深部地质特征的反映。

5.2 地壳结构对区域成岩成矿的制约

人工地震解译成果表明,自黄沙坪矿田到骑田岭岩体东接触带,莫霍面(T_m)构造波组不连续,呈现出多个似“逆断裂”构造特征;而且,较大范围内无反射波组或弱波组异常。这些深部构造特征暗示骑田岭岩体的形成可能与幔源岩浆的“上侵”有关,造成了地壳结构地震波组特征“消失”或模糊。在空间位置上,莫霍面的似“逆断裂”构造和下凹状波组异常与骑田岭岩体和区域茶陵—郴州—临武深大断裂带的位置大体一致,这说明茶陵—郴州—临武深大断裂带的影响力可能达到莫霍面,可能是地幔物质上涌、地壳重熔和花岗岩浆侵位的通道。这与前人的认识基本一致:茶陵—郴州—临武深大断裂带是南岭钨锡铅锌多金属成矿带中最主要的控岩控矿深

断裂带(洪大卫等,2002;华仁民等,2010;饶家荣等,2012)。因此,由区域成岩成矿年龄,如骑田岭岩体侵位年代介于 161~146Ma 之间(朱金初等,2009;李华芹等,2006),黄沙坪矿床、芙蓉矿床和新田岭矿床的成矿年龄主要集中在 150~160Ma(毛景文等,2004;王登红等,2010;王登红,2010;李建康等,2013),可以推断茶陵—郴州—临武深大断裂带在燕山期曾发生较强烈的活动。鉴于区域没有较强烈的喜马拉雅期构造—岩浆活动记录,骑田岭矿集区的人工反射地震剖面的“逆断层”等构造特征可能是该构造带燕山期构造活动的反映。

骑田岭岩体深部存在的下凹状反射波速度异常说明骑田岭岩体的根部可能一直延伸到莫霍面,这与人工反射地震剖面中“逆断层”状构造的空间位置大体一致(图 5),都暗示地幔物质参与了骑田岭矿集区的成岩成矿过程。这与前人在骑田岭等湘南花岗岩体中发现地幔来源物质的同位素证据相吻合(陈培荣等,1998;包志伟等,2000;范春方等,2000;柏道远等,2005;李超等,2012)。产于骑田岭岩体内部的芙蓉锡矿,其围岩蚀变以花岗岩的强烈绿泥石化为特点,而铁、镁质流体的出现也可能意味着幔源流体的参与(王登红等,2003)。因而,地幔物质的参与可能正是湘南骑田岭矿集区发生大规模成矿作用的原因,进一步佐证了地幔物质对南岭成矿带钨、锡等有色金属成矿的重要性。即南岭成矿带的钨可能直接来源于地幔,多期次地幔柱活动或地幔上涌导

致大规模成矿(聂荣峰等,2007),成矿流体与地幔柱的活动有关,为地幔、地壳和大气水的混合产物,以地幔流体为主(刘云华等,2006),地幔物质混入量的差异可能通过影响与矿化有关的花岗岩岩浆演化的过程而决定钨、锡矿化的差异(席斌斌等,2007)。

另一方面,由图5可知,骑田岭矿集区浅部和深部的“构造形迹”存在一定的错位:浅部的“断裂构造”位于岩体西侧外接触带,深部的“逆断层”状构造主要存在于骑田岭岩体深部,这种特征是区域构造—岩浆活动过程的体现。深部大规模的构造和岩浆活动导致骑田岭岩浆的侵位,由于多期次的岩浆侵位活动,早期存在于岩体内部的断裂构造被不断弥合,但岩体外接触带的较密集的断裂构造得以保留。外接触带的断裂为成矿物质迁移和能量聚集提供了通道,可能是区域发生较大规模的铅锌、钨锡、金和石墨等成矿作用的原因之一,以至于形成何家渡(大坊)金矿和黄沙坪铅锌矿、鲁塘石墨矿及一系列矿点和矿化点。

5.3 地壳结构对区域成岩成矿构造环境的指示

骑田岭矿集区人工反射地震的剖面中,莫霍面“逆断层”显示的莫霍面缩短特征一致,说明了区域曾经遭受较强烈挤压作用的特征。骑田岭矿集区存在一系列近南北向褶皱系,该褶皱系被骑田岭岩体穿入,是印支期挤压构造的反映(席斌斌等,2007);骑田岭矿集区也存在大量的近南北向压性断裂,许多断裂穿过骑田岭岩体,反映出区域在骑田岭岩体侵位后,仍曾遭受挤压作用(张岳桥等,2012)。这些特征反映出骑田岭矿集区在骑田岭岩体侵位前后,遭受了较长时间的東西向挤压应力,与南岭成矿带在中生代曾遭受长期挤压构造的地质特征一致(张岳桥等,2012),可对应于 $165\pm 5\text{Ma}$ 以来多个板块向东亚的极性运动,而形成的“东亚汇聚”,及其引起的我国东部中生代的大规模成矿作用(董树文等,2012)。

根据前人的研究成果,湘南地区的构造挤压过程可推断如下:在印支期,华南陆块与特提斯构造域发生碰撞造山作用,产生陆内挤压褶皱及其后随的伸展变形和岩浆活动,岩浆活动主要发生在晚三叠世 $230\sim 210\text{Ma}$;而后,在中晚侏罗世至早白垩世($170\sim 135\text{Ma}$),南岭成矿带发育与古太平洋洋壳向东亚大陆俯冲作用有关的陆内挤压造山,形成近于南北向的褶皱系和断裂;自 135Ma 开始,整个华南地区发生了区域性伸展构造作用(席斌斌等,2007)。骑田岭矿集区位于钦杭构造带,是各类构造

—岩浆活动的活跃区(杨明桂等,1997)。因而,南岭成矿带的构造挤压事件在骑田岭矿集区具有强烈的反映,骑田岭矿集区莫霍面的“逆断层”状构造可能与之具有一致的大地构造背景。

中生代发生的多次构造挤压作用导致南岭地区的岩石圈增厚,并在燕山期发生大规模的拆沉作用,进而使南岭成矿带的岩石圈减薄了 50km 以上(邓晋福,2008)。骑田岭矿集区因位于钦杭构造带,其岩石圈的减薄程度更高(伍光英,2005)。减薄的岩石圈导致软流圈上涌,由此产生的化学不平衡和物理不稳定可能成为本区燕山期强烈的岩浆构造事件的深部因素(邓晋福等,1999;邢集善等,2009),为大规模的成矿作用提供了必要的热、流体、挥发组分和成矿元素,形成了巨量金属堆积的独特地质背景(吴自成等,2010)。

6 结论

(1)在以骑田岭矿集区为代表的南岭大花岗岩省,在人工反射地震的探测研究中,采取大炮和小炮相结合的激发方式可以获得较好的探测结果。小炮和大炮的井深均为 20m 。小炮药量 18kg ,采用中间激发,两边接收(960 道),炮间距 120m ;大炮激发单边全排列接收(960 道),药量为 100kg ,炮间距 2400m 。

(2)骑田岭矿区的人工反射地震剖面清晰地反映出浅部、中部和深部的地震波组特征。在从黄沙坪矿区到骑田岭岩体东接触带的范围为,莫霍面存在类似于“逆断层”的构造特征,存在较大范围内无反射波组或弱波组异常;矿集区的地壳存在较明显的两层结构形态;在浅部,除骑田岭岩体外均存在着 $1\sim 3$ 组能量中强的反射波组。在骑田岭岩体深部,反射速度反演结果也存在着“漏斗”状低速度异常。

(3)从黄沙坪到骑田岭岩体东接触带的范围内,莫霍面构造波组不连续,存在多个似“逆断裂”构造和较大范围的无反射波组或弱波组异常。在时空上,这种构造特征可对应于茶陵—郴州—临武深大断裂在燕山期的构造活动,也说明区域岩体的形成可能与幔源岩浆的上侵活动有关,暗示区域存在幔源物质上升的通道,证明了地幔物质参与成矿是骑田岭矿集区发生大规模成矿作用的因素之一;同时,深部岩浆的上侵活动造成岩体外接触带产出密集的断裂构造,为区域成矿物质和能量的迁移提供了通道。

(4)骑田岭矿集区人工反射地震的剖面中,莫霍

面“逆断层”构造显示莫霍面的缩短特征,说明区域曾经遭受较强烈挤压作用的特征,这与区域的构造地质特征和地质演化史一致,指示了出区域成岩成矿的构造环境。

致谢:本次人工反射地震的探测实验研究得到中国地质科学院董树文研究员、高锐研究员、吕庆田研究员、陈宣华研究员、李秋生研究员和中国地震局张先康研究员等专家的指导,地震资料处理过程中得到了中国科学院地质与地球物理研究所于光明博士后、长安大学孙渊教授、北京派特森科技发展有限公司薛爱民研究员、李兵博士技术支持,在此一并表示感谢,同时感谢评审专家提出修改意见。

注 释

①湖南省湘南地质队. 1:5 万区域地质调查报告(永春幅和宜章幅). 1991.

参 考 文 献

柏道远, 陈建超, 马铁球, 王先辉. 2005. 湘东南骑田岭岩体 A 型花岗岩的地球化学特征及其构造环境. 岩石矿物学杂志, 24(4): 255~272.

包志伟, 赵振华, 熊小林. 2000. 广东恶鸡脑碱性正长岩的地球化学及其地球动力学意义. 地球化学, 29(5): 462~468.

陈培荣, 章邦桐, 孔兴功, 蔡笔聪, 凌洪飞, 倪琦生. 1998. 赣南寨背 A 型花岗岩体的地球化学特征及其构造地质意义. 岩石学报, 14(3): 289~298.

邓晋福, 莫宣学, 赵海玲, 罗照华, 赵国春, 戴圣潜. 1999. 中国东部燕山期岩石圈~软流圈系统大灾变与成矿环境. 矿床地质, 18(4): 309~314.

邓晋福. 2008. 中国地球物理场特征及深部地质与成矿. 北京: 地质出版社, 212.

董树文, 李廷栋, 陈宣华, 魏文博, 高锐, 吕庆田, 杨经绥, 王学求, 陈群策, 石耀霖, 黄大年, 周琦. 2012. 我国深部探测技术与实验研究进展综述. 地球物理学报, 55(12): 3884~3901.

范春方, 陈培荣. 2000. 赣南陂头 A 型花岗岩的地质地球化学特征及其形成的构造环境. 地球化学, 29(4): 358~366.

洪大卫, 谢锡林, 张季生. 2002. 试析杭州~诸广山~花山高 ϵNd 值花岗岩带的地质意义. 地质通报, 21(6): 348~354.

华仁民, 李光来, 张文兰, 胡东泉, 陈培荣, 陈卫锋, 王旭东. 2010. 华南钨和锡大规模成矿作用的差异及其原因初探. 矿床地质, 29(1): 9~23.

李超, 屈文俊, 王登红, 周利敏, 陈郑辉, 杜安道. 2012. Os 同位素在花岗岩物质来源示踪中的初步研究: 以湖南骑田岭岩体为例. 大地构造与成矿学, 36(3): 357~362.

李华芹, 路远发, 王登红, 陈毓川, 杨红梅, 郭敬, 谢才富, 梅玉萍, 马丽艳. 2006. 湖南骑田岭芙蓉矿田成岩成矿时代的厘定及其地质意义. 地质论评, 52(1): 113~121.

李建康, 王登红, 梁婷, 许以明, 张怡军, 梁华英, 卢焕章, 赵斌, 李建国, 屈文俊, 周四春, 王汝成, 韦龙明, 林锦福. 2013. 南

岭区域成矿与深部探测的研究进展及其对西藏钨锡找矿的指示. 地球学报, 34(1): 58~74.

刘云华, 付建明, 龙宝林, 君奇, 刘国庆, 杨晓君, 杨永强. 2006. 南岭中段主要锡矿床 He、Ar 同位素组成及其意义. 地质论评, 35(5): 774~786.

毛景文, 李晓峰, Bernd L, 陈文, 蓝晓明, 魏绍六. 2004. 湖南芙蓉锡矿床锡矿石和有关花岗岩的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄及其地球动力学意义. 矿床地质, 23(2): 164~175.

聂荣锋, 王旭东. 2007. 赣南钨矿研究进展. 中国钨业, 22: 1~5.

饶家荣, 王纪恒, 曹一中. 1993. 湖南深部构造. 湖南地质, (S7): 1~100.

饶家荣, 肖海云, 刘耀荣, 柏道远, 邓延林. 2012. 扬子华夏古板块会聚带在湖南的位置. 地球物理学报, 55(2): 484~502.

王登红, 陈毓川, 李华芹, 陈正宏, 余金杰, 路远发, 李奇崛. 2003. 湖南芙蓉锡矿的地质地球化学特征及找矿意义. 地质通报, 22(1): 50~56.

王登红, 陈郑辉, 陈毓川, 唐菊兴, 李建康, 应立娟, 王成辉, 刘善宝, 李立兴, 秦燕, 李华芹, 屈文俊, 王彦斌, 陈文, 张彦. 2010. 我国重要矿产成岩成矿年代学研究新数据. 地质学报, 84(7): 1030~1040.

王登红. 2010. 南岭有色~贵金属成矿潜力及综合探测技术研究. 北京: 地质出版社, 472.

吴自成, 刘继顺, 舒国文, 王伟, 马慧英. 2010. 南岭燕山期构造~岩浆热事件与锡田锡钨矿成矿. 地质找矿论丛, 25(3): 201~205.

伍光英. 2005. 湘东南多金属矿集区燕山期花岗岩类及其大规模成矿作用. 博士学位论文, 中国地质大学(北京), 227.

席斌斌, 张德会, 周利敏. 2007. 南岭地区几个与锡(钨)矿化有关的岩体的岩浆演化. 地质通报, 26(12): 1591~1599.

邢集善, 杨巍然, 邢作云, 刘建华, 邵建设. 2009. 中国东部中生代软流圈上涌与构造-岩浆-矿集区. 地学前缘, 16(4): 225~239.

杨明桂, 梅勇文. 1997. 钦~杭古板块结合带与成矿带的主要特征. 华南地质与矿产, (3): 52~59.

张岳桥, 董树文, 李建华, 崔建军, 施炜, 苏金宝, 李勇. 2012. 华南中生代大地构造研究新进展. 地球学报, 33(3): 257~279.

朱金初, 王汝成, 张佩华, 谢才富, 张文兰, 赵葵东, 谢磊, 杨策, 车旭东, 于阿朋, 王禄彬. 2009. 南岭中段骑田岭花岗岩基的锆石 U~Pb 年代学格架. 中国科学(D 辑), 39(8): 1112~1127.

Chen J F, Jahn B M. 1998. Crustal evolution of southeastern China: Nd and Sr isotopic evidence. Tectonophysics, 284(1~2): 101~133.

Gilder S A, Gill G, Coe R S, Zhao XX, Liu Z W, Wang G X, Yuan K R, Liu W L, Kuang G D, Wu H R. 1996. Isotopic and paleomagnetic constraints on the Mesozoic tectonic evolution of south China. J Geophys Res, 101(B7): 16137~16154.

Wang Y J, Fan W M, Guo F, Peng T P, Lia C W. 2003. Geochemistry of Mesozoic mafic rocks adjacent to the Chenzhou-Linwu fault, South China: implications for the lithospheric boundary between the Yangtze and Cathaysia blocks. Int Geol Rev, 45: 263~286.

The Deep Tectonic Features of Qitianling Ore-Concentrated Area in Southern Hunan Province and Its Constrains to the Regional Ore-Forming Processes

LI Jianguo¹⁾, LI Jiankang²⁾, WANG Denghong²⁾, LIU Jian¹⁾, HE Hanhan²⁾

1) *Institute of Geophysical and Geochemical Survey, Yuncheng, Shanxi, 044004;*

2) *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037*

Abstract

The Qitianling ore-contrated area in Southern Hunan province, one of the most important nonferrous metal bases in China with extensive fault structure, sufured multiperiod magmatic activity such as the intrusion of Qitianling granite, and produced many types of ore deposits with multi-mineral such as Huangshaping Pb-Zn deposit. In order to analyze the constrains of deep tectonic features to the ore-forming processes in Qitianling area, an artificial seismic profile crossing the Huangshaping deposit and Qitianling granite body was finished. The seismic data collected from 651 physical points was stacked linearly, and the artifical earthquake was excited through big shots combining with small shots. The reflection seismic profile showed that three obvious wave groups were existed in the upper, middle and deep part of Qitianling area, and Moho locates at the depth of 33~38 km. In the depth of the Qitianling granitic intrusion, the seismic wave groups reflect that Moho is not continuous in the tectonic style of reverse fault and funnel, which is consistent with the distribution shape of seismic wave velocity. These features illustrated the exitence of an upwelling pathway for mantle material, which possible ascribed to the intrusion of granitic magma and the regional mineralization. The pathway can correspond to the Chaling-Chenzhou-Linwu deep faults, indicating that the participation of mantle material was one of the key factors for the large-scale mineralization in Qitianling area. The features of Moho suggested that strong squeezing action ever occurred in Mesozoic in Qitianling area, finally leading to the thickning of lithospheric mantle, and then the delamination and magma intrusion. In such process, mineralization material and energy were provided.

Key words: artificial reflection seismic profile; crust structure; Huangshaping deposit, Qitianling ore-concentrated area, southern Hunan; Nanling mineralized belt