

黔东北燕山期构造变形特征及对华南“大塘坡式” 锰矿勘查的影响

——以普觉锰矿床犁式正断层为例*

叶飞^{1,4}, 潘文^{1,2,4**}, 李典³, 覃智贵¹, 左勇¹, 周宁¹, 周灵¹, 占朋才¹

(1 贵州省地矿局一〇三地质大队, 贵州 铜仁 554300; 2 中国地质大学地球科学学院, 湖北 武汉 430074;

3 中国地质大学, 北京 100083; 4 贵州省锰矿资源预测评价科技创新人才团队, 贵州 铜仁 554300)

摘要 黔东北地区大地构造位置位于扬子板块西南部, 自元古宙以来经历了多期次构造变形。不同期次的构造叠加对区内早期形成的沉积型矿产的埋藏和保存产生了重要影响。文章针对黔东北地区燕山期构造变形, 采用中小尺度构造解析的方法开展露头尺度的构造样式、叠加关系剖析研究, 同时, 对研究区广泛发育的犁式正断层及其对南华纪“大塘坡式”锰矿的找矿勘查进行深入探讨。现有勘查成果认为犁式正断层为燕山早期—燕山晚期应力体制转换产物, 该类断层倾角随深度增加而渐趋于缓, 断距和断层错断区域伴随深度增加而加大, 并伴生少量次级陡倾角分支断裂。冷水溪犁式断裂及其分支断裂将贵州松桃普觉超大型锰矿床体切割为多个独立单元, 造成锰矿层不连续, 且在矿区内形成了大小规模不等的断层错断区域。同时, 由于冷水溪断层上盘下降, 上盘锰矿体的埋藏深度增加, 断层错断区域亦伴随深度加深而加大。对冷水溪犁式断层及其对锰矿体之间关系的分析, 有利于深入研究整个黔湘渝地区“大塘坡式”锰矿的埋藏与保存特征, 对助推区域上深部锰矿勘查, 合理规避勘探风险具有重要的现实意义。

关键词 地质学; 燕山期; 倒转地层; 犁式断层; 锰矿勘查; 黔东北

中图分类号: P618.32

文献标志码: A

Structural deformation of northeastern Guizhou during Yanshanian period and its influence on exploration of Datangpo manganese deposits in South China: A case study of plow-type normal faults in Pujue Mn deposit

YE Fei^{1,4}, PAN Wen^{1,2,4**}, LI Dian³, QIN ZhiGui¹, ZUO Yong¹, ZHOU Ning¹, ZHOU Ling¹ and ZHAN PengCai¹

(1 No. 103 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Resources, Tongren 554300, Guizhou, China; 2 College of Geoscience, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China; 3 China University of Geosciences, Beijing 100083,

China; 4 Science and Technology Innovation Party of Prediction and Evaluation of Manganese Resources in

Guizhou Province, Tongren 554300, Guizhou, China)

Abstract

Northeastern Guizhou is located in the southwest of Yangtze plate, which has undergone multiple tectonic de-

* 本文得到中国地质调查局成都地调中心“贵州 1:5 万大坝场等 2 幅区域地质调查(编号: 1212201010000150011-12)”、贵州省科技支撑项目“贵州省深部锰矿地球物理精细探测新技术研发(编号: 黔科合支撑[2019]2868)”、贵州省地矿局重大科研项目“贵州‘梵净山’地貌特征成因分析(编号: 黔地矿科合[2018]06 号)”、贵州省地矿局重大科研项目“黔东北若干超大型锰矿床三维地质建模与数据挖掘(编号: 黔地矿科合[2017]2 号)”和贵州省科技支撑项目“锰矿勘查与开发大数据管理与智能处理系统研发应用(编号: 黔科技支撑[2017]2951)”联合资助

第一作者简介 叶飞, 男, 1984 年生, 硕士, 高级工程师, 长期从事矿产地质勘查、区域地质调查工作。Email: 282252163@qq.com

** 通讯作者 潘文, 男, 1970 年生, 博士研究生, 研究员, 长期从事矿产地质勘查、区域地质调查工作。Email: 345704348@qq.com

收稿日期 2018-07-20; 改回日期 2019-05-06。秦思婷编辑。

formation since Proterozoic. Structural superimposition at different stages had an important influence on the burial and preservation of sedimentary deposit of the early stage. In this paper, tectonic deformation in northeastern Guizhou in Yanshanian period was analyzed by using analytical method for meso- and micro-scale geological structures, and outcrop-scale structural styles and superposition relation were studied. In addition, extensively developed listric normal fault in the study area and ore-search prospective of “Datangpo type” manganese deposits were investigated. Listric normal fault is considered to be stress regime transition products of Early Yanshanian to Late Yanshanian period. The fault dip gradually decreases with depth, while the fault throw and fault gap increase with depth, associated with a few secondary steep dip branching faults. Denudational fault and its branching faults in Lengshuixi cut the superlarge manganese deposit into several independent units at Pujue Town in Songtao County, which caused discontinuity of manganese ore and gaps of varying sizes in the mining area. Moreover, the burial depth of manganese ore in the hanging wall and the gap increases with depth because of the declining of upper wall of Lengshuixi fault. The analysis of the relation between Lengshuixi listric fault and manganese orebody is conducive to the further study of the burial and preservation characteristics of “Datangpo type” manganese deposits in the whole region of Guizhou, Hunan and Chongqing; besides, it could help to promote the exploration of manganese deposits in upper and deep regions, and it has important practical significance for reasonable avoidance of exploration risk.

Key words: geology, Yanshanian period, inverted strata, plow-type fault, manganese exploration, northeast Guizhou

华南板块由扬子与华夏两大陆块于1.1~0.9 Ga拼贴而成,二者之间被江南造山带所分割(王敏等,2012)(图1),经历了原特提斯、古特提斯、新特提斯和太平洋-印度洋俯冲汇聚的影响,具有复杂的地块拼合和造山带演化历史(戴传固等,2015)。中国贵州东北部地区(黔东南)大地构造位于华南板块内上扬子陆块东南缘褶皱带的川黔逆冲构造带(苏金宝等,2014;颜丹平等,2018)。该区域是著名的南华纪“大塘坡式”超大型锰矿分布区域(谢小峰等,2015;周琦等,2016),具有良好的铅锌矿、煤矿、油气和页岩气勘探开发潜力(田海芹等,2006;久凯等,2012;兰天龙,2013;廖震文等,2015;赵爽等,2016;张太富,2016)。区域上的构造运动不仅反映了区域地球动力学演化的过程,也对区内矿产资源的形成与保存产生重要影响,因此,对该区构造的解析具有重要的理论和经济意义。

黔东南地区自晋宁期基底形成以来经历了多次构造改造,先后经历了武陵运动、加里东运动、燕山运动和喜马拉雅运动等多期次造山运动(廖震文等,2015)。整体上形成了以NE向、NNE向为主的构造格架。不同时期、不同行迹的构造相互叠加改造,形成了十分复杂的构造面貌(兰天龙,2013;廖震文等,2015;赵爽等,2016)。在区域上,前人通过板溪群(下江群)与梵净山群(四堡群)之间的角度不整

合面,早、晚古生代地层之间的不整合面以及上、下白垩统之间的角度不整合面,将黔北地区划分为3个构造旋回期,即武陵构造旋回期、加里东构造旋回期以及燕山构造旋回期—喜马拉雅构造旋回期(戴传固等,2013a;2013b;2013c;周荔青等,2004)。各构造层内发育不同的沉积建造、岩浆岩组合、变质作用以及构造样式组合,其中,燕山运动形成的侏罗山式褶皱奠定了黔北地区主要的构造面貌,对早期形成的“大塘坡式”锰矿等矿产资源的埋藏与保存的影响较大(戴传固等,2005a;2005b;2013a;2013b;2013c)。现有勘查成果显示,华南“大塘坡式”锰矿主要的控矿断层为燕山早期—燕山晚期应力体制转换下的产物(袁良军等,2013;张遂等,2016;谢小峰等,2015)。

前人对黔东南地区褶皱带的构造研究,主要集中在角度不整合面及其区域对比、总体构造格架与动力学的研究结果,认为区内武陵构造旋回期—加里东构造旋回期、海西构造旋回期—印支构造旋回期活动方式先期以南北向挤压为主,后期转化为以南北向引张为主,至燕山时期构造活动以南北向左旋直扭运动为主,至喜马拉雅期的新构造活动时期,构造以西侧地块的侧向挤压为主,表现为较强烈的断块运动,而印度板块向北碰撞推挤青藏板块作用力退居次要地位,应力场重新调整,由此奠定了现今

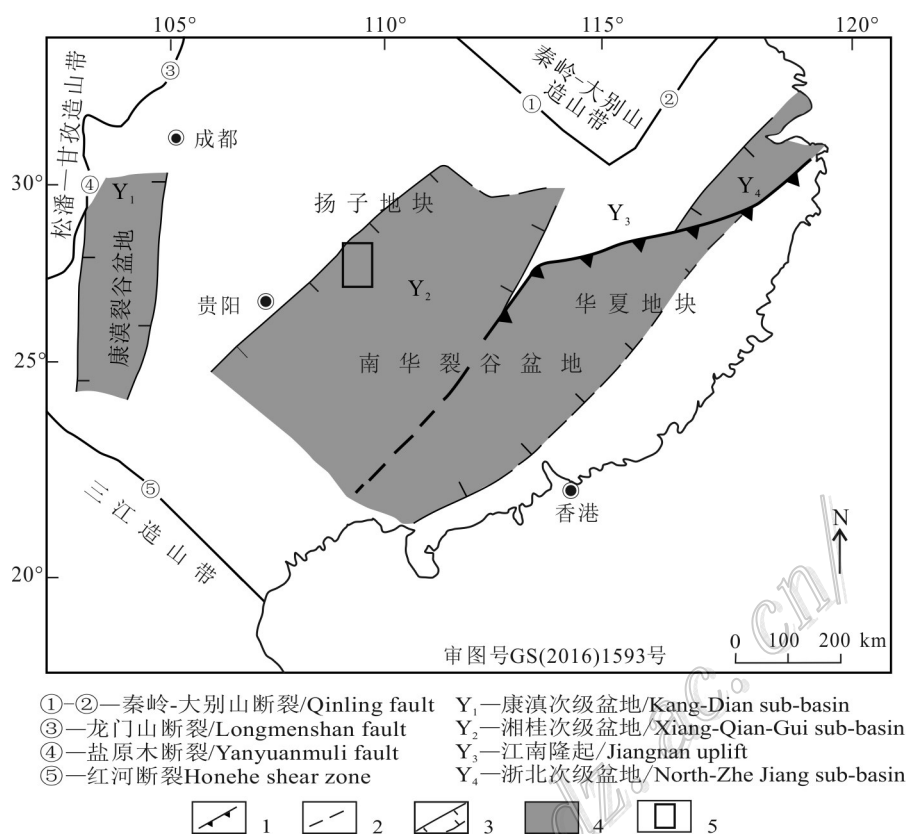


图1 华南新元古代大地构造纲要示意图(据王剑等,2011)

1—扬子与华夏结合带;2—推测扬子、华夏结合带;3—次级盆地边界线;4—盆地范围;5—“大塘坡式”锰矿位置

Fig. 1 Sketch tectonic map of South China during Neoproterozoic (modified after Wang et al., 2011)

1—Suture of Yangtze and Cathaysia block; 2—Inferred boundary of suture of Yangtze and Cathaysia block; 3—Sub-basins and their boundaries; 4—Basin range; 5—Location of the Datangpo-type manganese orefield

构造应力场方向,决定了黔西以近东西向为主的最大水平主应力方向,而各种构造体系也进一步发展、转化、新生,成为与东西向应力适应的新的构造体系。应力状态的复杂性是几种因素共同作用的结果,而板块运动则是造成应力状态复杂变化的主要原因(蒋炳铨,1984;乐光禹等,1994;余开富等,1995;王亮,2003;戴传固等,2005a;2006;2010a;2010b;2013a;2013b;2013c;崔敏等,2009;刘彦良等,2009;邓新等,2010;徐宏杰等,2014;斯春松等,2016;吴开彬等,2016)。然而,在总体构造格架内,褶皱带内部各期构造尺度、构造样式的研究以及相互叠加关系的研究还有待加强,尤其是后期构造对矿藏的埋藏与保存的影响的研究还比较薄弱,制约了华南“大塘坡式”锰矿深部找矿过程中优质、高效、经济的勘查工程部署。因此,本文在大量野外地质调查工作的基础上,系统对各期次构造样式及叠加

关系开展研究,尤其是针对与“大塘坡式”锰矿勘查具有关键指导意义的燕山期构造开展系统研究,目的是系统塑造黔东南地区构造面貌并为“大塘坡式”锰矿勘查工程的部署提供参考。

1 地质背景

1.1 区域构造背景及演化历史

研究区大地构造位置处于上扬子地台区,隶属于雪峰山造山带(冷济高等,2016;颜丹平等,2018),夹于NW向齐岳山断裂与SE向梵净山-走马穹隆构造带之间,是川黔隔槽式逆冲构造带的一部分(谢尚克等,2011;吴根耀等,2012;颜丹平等,2017)。研究区地层总体较为完整连续,由古到新发育新元古界、古生界及新生界(冷济高等,2016)。超基性、基性、中酸性岩浆岩均有出露,以新元古代岩浆作用最为

强烈,前人对下江群芙蓉坝组、碎屑锆石年龄谱系及下江群、新寨组(板溪群马底驿组)梵净山群回香坪组第6段凝灰岩进行了锆石测年,分别获得了 $(813.5 \pm 9.6)\text{Ma}$ 、 $(840 \pm 5)\text{Ma}$ 的年龄值,证实该套火山岩属新元古界。根据区域内不整合地层接触关系,由古到新可将黔东南地区依次划分为武陵期、加里东期、燕山期—喜马拉雅期3个构造旋回期(戴传固等,2013a;2013c)。

区域上,泥盆系之下不同时代的地层超覆在早古生代地层之上形成的区域性不整合面是志留纪末期和泥盆纪初期的加里东构造事件的反映(梅冥相等,2005;邓新等,2010;戴传固等,2013a;2013b;2013c),但这一不整合面在不同地方的特点说明区域上加里东期运动持续时间较长,可能为多幕运动(梅冥相等,2005),且变形强度也呈现由北西向南东逐渐增强的特点(戴传固等,2013a;2013c)。研究区缺失泥盆系,以区内都匀运动界面、广西运动界面为代表的角度不整合面将区内地层分为加里东期构造层和燕山期—喜马拉雅期构造层。本文限于篇幅,主要讨论区内燕山期—喜马拉雅期构造层中的构造样式及其对矿产埋藏与保存的影响。

研究区燕山期构造层—喜马拉雅期构造层内的地层主要由二叠系及三叠系组成,缺失区域上普遍发育的上白垩统茅台组顶部“红层”盖层(戴传固等,2013a;2013b;2013c),总体为一套半局限台地-开阔台地相沉积,代表了志留纪末期的加里东运动之后(区域上称之为广西运动),研究区由滇黔桂古陆环境演变为滇黔桂盆地沉积环境(梅冥相等,2005)。燕山运动是贵州省最为强烈的构造运动,奠定了现今主要的构造格局。构造变形体现为隔槽式、隔挡式、穹盆构造等多种构造组合(戴传固等,2014),使加里东运动形成的北东向构造活化,并继承了冲断方向,从而进一步使其发展壮大(吴根耀等,2012)。受燕山运动影响,研究区及区域上普遍隆起,缺失下白垩统(戎嘉余等,2012)。根据燕山期区域性的斜跨叠加褶皱(吴根耀等,2012)体现的先后关系,前人将燕山运动分为2期:早期称燕山运动,为叠瓦状向北西扩展的冲断带;晚期称为燕山末期—喜马拉雅运动,发育向东南扩展的冲断带,斜跨叠加褶皱以及后期的脆性走滑断层和正断层(吴根耀等,2012)。燕山早、晚2期构造叠加形成的犁式正断层,是研究区内锰矿最为重要的控矿因素之一(袁良军等,2013;张

遂等,2016;谢小峰等,2017)。

1.2 普觉锰矿地质特征

普觉锰矿区主要出露下寒武统,震旦系在矿区内南西角有零星出露,南华系各组段均隐伏于地下。矿区内主要的构造线呈NE向-NNE向,主要的褶皱构造为盘山背斜,主要断裂为平头断裂、水银厂断裂和冷水溪断裂,均位于区域性红石断裂的南东侧。矿区内总体构造复杂程度中等(图2)。南华系大塘坡组第一段为区内“大塘坡式”锰矿的唯一赋存层位,其下部一般形成1~3层块状、条带状锰矿体,局部地区夹少量玻屑凝灰岩薄层及透镜体(张遂等,2016)。

普觉锰矿详查报告指明,在该矿区内,冷水溪型式断层将矿体切割为2个大型工业(图3)锰矿体(I号和II号2个矿体)(张遂等,2016)。其中,I号矿体位于矿区的北西侧,倾向NW,平均倾角 18° ,控制长度近7000 m、宽2000 m左右,矿体厚1.61~13.40 m,平均5.21 m,Mn平均品位11.7%~24.5%,平均16.5%,锰矿矿石资源量约1.6亿t;II号矿体位于矿区南部,倾向NW,平均倾角 27° ,控制长度近2900 m、宽700 m,矿体厚1.50~10.9 m,平均4.08 m,Mn平均品位10.4%~21.0%,平均15.4%,锰矿矿石资源量0.3亿t。

2 大塘坡式锰矿生成环境和产出分布特征

锰是地壳中广泛分布的元素,具有重要的工业意义(Maynard, 2010)。通过全球锰矿已发表论文的综合研究表明,根据矿物学、化学成分以及构造环境的不同,锰矿常常具有多种成因(Zarasvandi et al., 2013),主要的沉积型锰矿主要分为沉积成因、(火山)热水成因、后生成因、表生成因、生物成因(Kuleshov, 2011)5类。

沉积成因和(火山)热水成因锰矿的形成常与火山作用密切相关,含锰沉积物广泛分布在古代和现代的火成岩中(Brusnitsyn et al., 2012),形成于浅海的锰矿常与中性火山作用有关,形成于深海盆地的锰矿常与基性火山作用有关,并且常遭受后期强烈的造山作用改造而富集(Nakagawa et al., 2009; 2011)。锰质通过热水沿构造裂隙喷溢出来后常沉积在局限盆地中(Del Rio Salas et al., 2008)。成锰盆地的发育通常受到同沉积断层的控制(Gauthier-La-

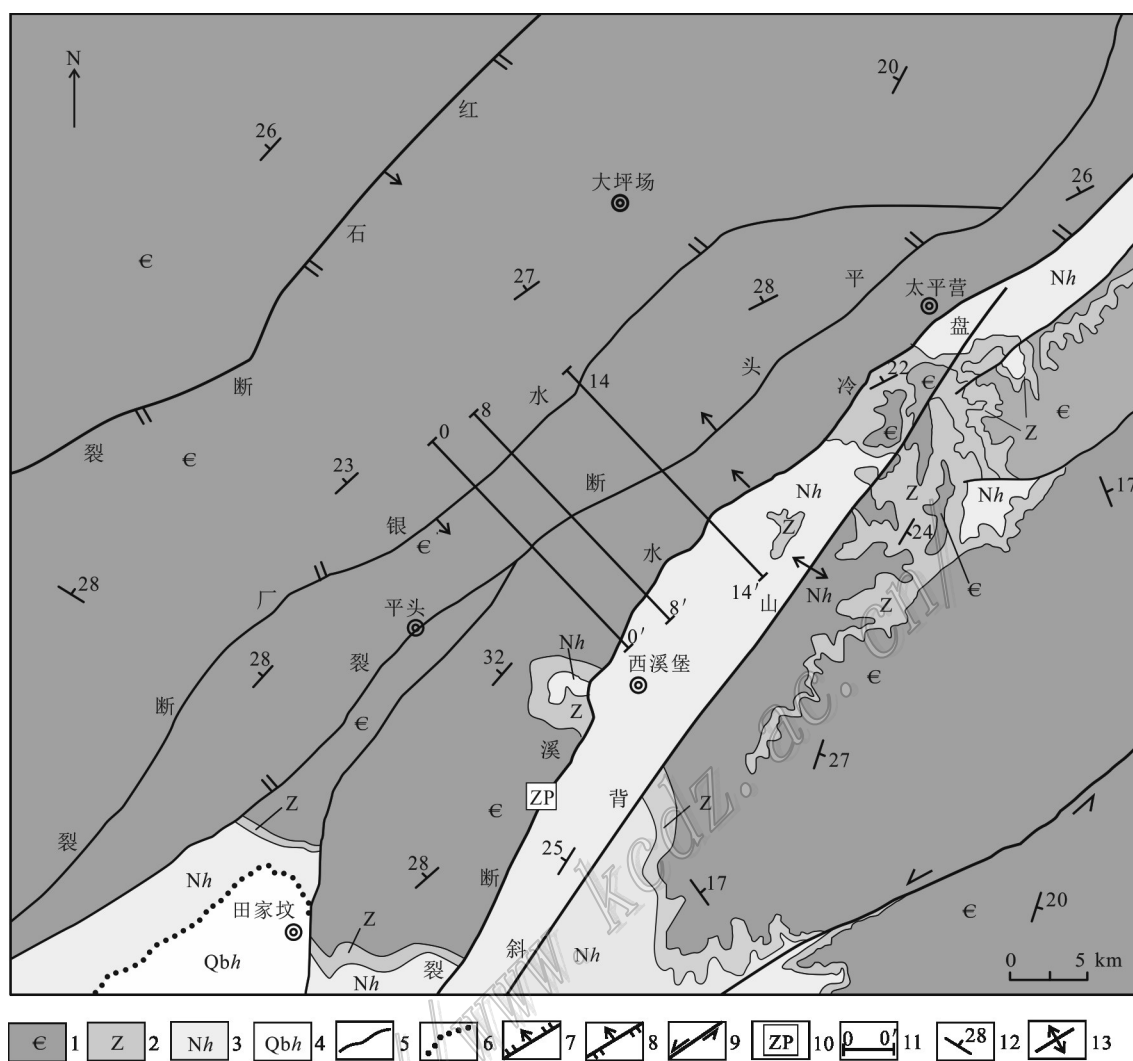


图2 普觉锰矿区地质略图

1—寒武系;2—震旦系;3—南华系;4—前南华系板溪群;5—整合地质界线;6—角度不整合地质界线;7—正断层;
8—逆断层;9—走滑断层;10—照片位置;11—勘探线及编号;12—倾角;13—背斜

Fig. 2 Geological sketch of the Pujiao manganese mining area

1—Cambrian; 2—Sinian; 3—Nanhua System; 4—Banxi Group of Pre-Nanhua System; 5—Conformable geological boundary; 6—Angular unconformity geological boundary; 7—Normal faults; 8—Reverse faults; 9—Strike-slip faults; 10—Photo location; 11—Exploration line and its serial number; 12—Dip angle; 13—Anticline

faye et al., 2003)。

中国的锰矿储量排名在世界第五,在这些锰矿中有70%是沉积型锰矿,主要含锰岩石为泥岩、黑色页岩、碳酸盐岩以及硅质岩-泥岩-灰岩,成矿时代从元古代到整个中生代(Xie et al., 2006; 2013)。

中国南方新元古代大塘坡期是重要的锰矿成矿期,湘、黔、川、鄂、桂、赣、浙等省(区)的大塘坡组都有含锰矿层位,在湖南西部和贵州东部地区形成了大型锰矿床。黔东北地区处于扬子陆块东南缘一个

以中-新元古代(晚前寒武纪 800~1400 Ma)浅变质岩系为中、上层基底的复杂褶皱带,出露的基底岩层为中元古界梵净山群,为一巨厚的变质火山岩系和陆源碎屑岩系,其上不整合覆盖着新元古代早期的浅变质岩系——板溪群(或下江群)。

新元古代Rodinia超大陆开始裂解,产生较强烈的岩浆活动,使华南地块与其余的Rodinia超大陆分离,华夏地块与扬子地块之间由碰撞挤压体系转化为离散拉张走滑体系,梵净山群和板溪群代表的基

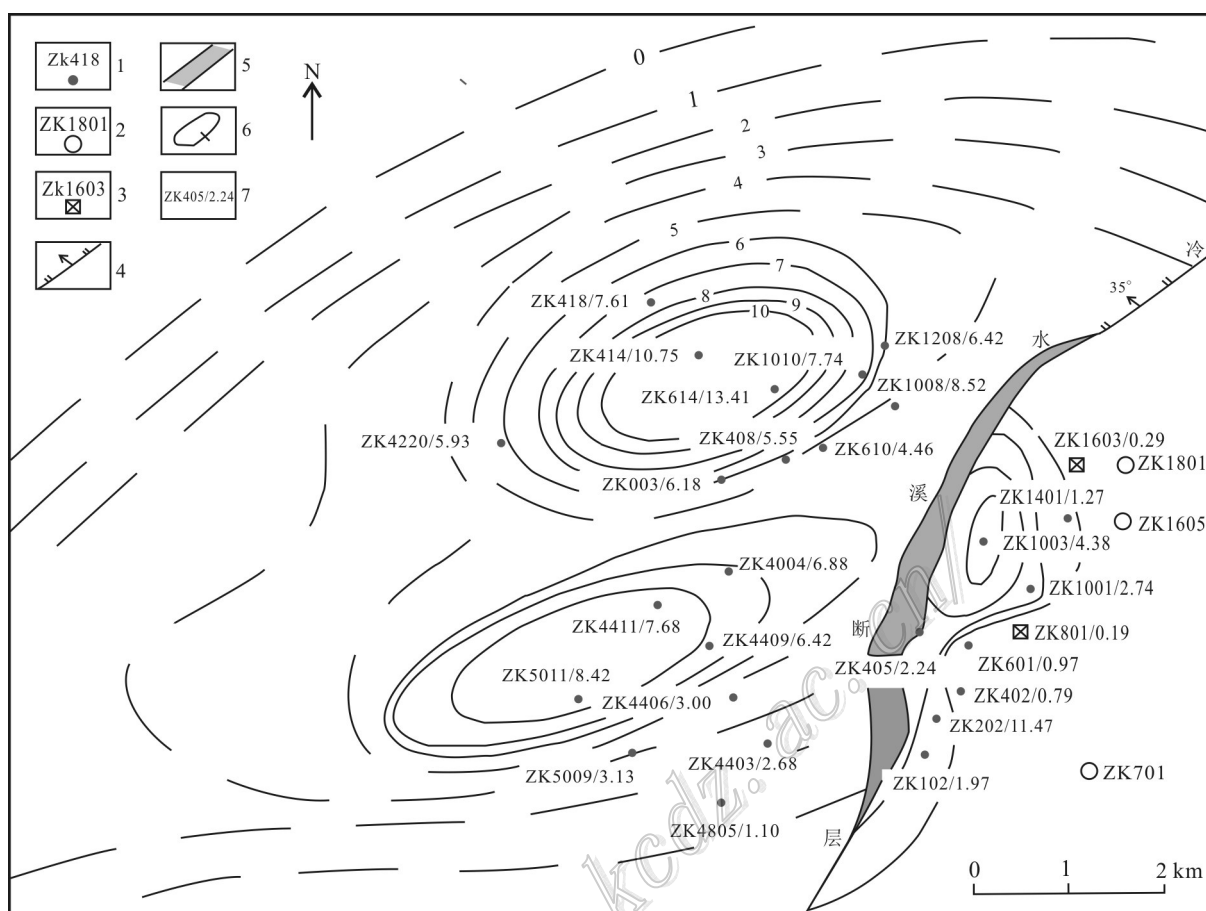


图3 松桃普觉锰矿矿体厚度等值线图(据张燧等,2016)

1—见矿钻孔及编号;2—未见矿钻孔及编号;3—矿化钻孔及编号;4—冷水溪正断层;5—冷水溪断层错断区域;6—矿体厚度等值线(m);7—钻孔编号/矿层厚度(m)

Fig. 3 Contour map of thickness of Pujue manganese orebody (after Zhang et al., 2016)

1—Ore-intersecting drill hole and its number; 2—Barren drill hole and its number; 3—Mineralized drill hole and its number; 4—The Lengshuixi fault; 5—Fault zone; 6—Contour of orebody thickness(m); 7—Serial number of drill hole/thickness of ore bed (m)

底拉张,南华裂谷作用开始(王剑等,2001)。裂陷中心被认为位于现今桂东-湘东-赣中-浙西一带,最后由加里东造山运动导致南华裂谷盆地最终关闭(王剑,2001)。新元古代初期南华裂谷盆地拉张形成了地处裂谷盆地中的黔湘渝毗邻地区形成了一系列NE向-NEE向地堑式同沉积断陷盆地并伴有火山活动,此时正值冰雪覆盖的全球雪球事件,盆地内依次沉积了Sturtian冰期的两界河组及铁丝垅组、间冰期的大塘坡组、Marinoan冰期的南沱组冰碛砾岩。

在大塘坡组底部凝灰岩层内获得锆石U-Pb年龄为(663±4)Ma,为大塘坡组提供了直接的年龄证据,显示大塘坡组沉积时代为新元古代中期(Zhou

et al., 2004)。

对于华南“大塘坡式”锰矿床成因目前尚存在较多争议,历来有生物成因(赵东旭,1994)、火山喷发沉积成因(杨绍祥,2006)、热水成因(杨瑞东,2010)、海水中碳酸盐岩快速沉积成矿(杨瑞东,2002)多成因说法。近年来,通过对区内“大塘坡式”锰矿中软沉积变形、底辟构造、渗漏管构造等沉积特征的研究,结合大塘坡组第一段C、O、S等稳定同位素与微量元素特征研究,周琦等(2012)认为,该类型锰矿与古天然气渗漏有关,并提出了古天然气渗漏成矿模型,锰矿形成于沉积盆地的中心部位,在该理论指导下陆续发现了松桃道坨、桃子坪、普觉、高地等多个超大型锰矿。

3 讨论

3.1 燕山期侏罗山式褶皱成因及构造意义

研究区主体为燕山期侏罗山式褶皱,虽然位于川黔隔槽式逆冲构造带内,但总体表现为背斜紧闭陡峭,向斜平缓开阔的阻挡式褶皱的特点(苏金宝等,2014;颜丹平等,2018)。褶皱轴面西倾,也与区域上整体东倾的特点不一致。断展式背斜还在部分地区形成了大面积的倒转地层。

结合区域构造演化历史,区内野外构造特征反映了研究区内大地构造应属于陆内褶皱冲断带。区域上地球物理地震剖面结果进一步说明此区存在此类对应的构造组合和构造层次,如深层基底卷入逆冲构造、多层滑脱面控制下的双重逆冲构造以及浅层次的叠瓦状构造(颜丹平等,2018)。前人通过平衡剖面的研究表明,区内存在2个滑脱层:一个是下寒武统碎屑岩,作为滑脱层影响了区内志留纪—奥陶纪地层;另一个是志留系下统碎屑岩层,影响了志留纪—三叠纪地层。作为滑脱层的地层单元中粉砂岩及粉砂质泥岩等软弱成分调节了滑脱层上、下构造层明显的差异性构造变形(颜丹平等,2018)。整个区域上可能还存在更深部的滑脱层(杨坤光等,2012a;2012b),由于多个滑脱层的存在,导致了后期断层运动过程中,上、下界面所受到的阻力不同,正断层下盘出现滑脱,形成断层断层错断区域;其规模随着埋藏深度增加而进一步加大。同时,在多个滑脱面之间,由于岩石力学性质差异,不同类岩石,由于韧性差异,在同等力作用下,发生了幅度不等的变形,塑性较强岩石中,发生较小的形变,塑性较弱岩石,发生了较为强烈形变。断层运动过程中,在塑性较强岩石中,由于形变较弱,形成了较缓的倾角,在塑性较弱岩石中,则形成了较陡的倾角,进而发展成为犁式断层。

从运动学角度分析,区内滑脱层自西向东,由古变新,并且表现为逐渐抬升的特点,表明缩短变形呈现由东部深滑脱层向西部浅滑脱层传递的现象(解国爱等,2013),因此,逆冲方向是从SE向NW扩展的。前人研究发现基底也卷入了变形,因此不是典型的薄皮构造,但基底的变形却只有较小的逆冲断距,也表明确实是从深部到浅部传递(颜丹平等,2018)。从东到西,褶冲带逐渐卷入的地层也逐次变新,符合滑脱层东西侧的区域变化。

同时,由于多个滑脱层的存在,在3个滑脱层之间形成了由顶板逆冲断层带和底板逆冲断层带组合形成的双重逆冲构造(崔敏等,2009;苏金宝等,2014;徐宏杰等,2014),该类型构造催生了犁式正断层的发育。双重逆冲构造特征在区内露头尺度上普遍发育(图4a~h)。

区内燕山运动地层以梵净山穹隆构造为中心,东侧地层由西向东收缩,西侧地层沿滑脱层由东向西收缩,滑脱面上发育的逆断层向西扩展,在地表形成了断展褶皱(苏金宝等,2014;颜丹平等,2018)。地震剖面也显示深部与隐伏断裂相关的褶皱亦多属断展褶皱(颜丹平等,2018)。因此,断展褶皱陡翼部分则可能形成了区内的倒转褶皱。考虑到区域上逆冲断层扩展方向大致由东到西(戴传固等,2015;颜丹平等,2018),而断展褶皱的倒转翼和正常翼均为西倾,因此,研究区褶皱轴面也应西倾,说明造成倒转地层的断展褶皱的挤压应力方向应为自西向东,与区域上总体逆冲断层扩展方向相反。因此,区内倒转地层应为燕山期逆冲推覆断层的次级反冲构造所形成的断展褶皱所致(汤双立等,2011)。区域上,侏罗山式褶皱轴面多为东倾(崔敏等,2009;解国爱等,2013;苏金宝等,2014;徐宏杰等,2014;颜丹平等,2018),而黔东南地区的褶皱包括形成倒转地层的断展褶皱轴面多为西倾,因此,黔东南地区的侏罗山式褶皱可能是总体在向西滑脱冲断的大背景下的局部向东反冲作用所形成。

3.2 燕山期褶皱对普觉锰矿勘查的影响

在燕山期构造作用下,含锰岩系作为软弱滑脱层,向区内向斜核部聚集,使得向斜核部矿层加厚,而两翼矿层减薄甚至完全滑脱;同时,在盘山背斜两翼矿层加厚,核部矿层减薄甚至完全滑脱,并由于后期断层活动,严重影响了矿体的延续性,限于篇幅,将另文介绍。

3.3 燕山期断层构造对普觉锰矿勘查的影响意义

黔东南地区普遍发育犁式断层(又名铲形断层、箕形断层),该类断层的深部存在一个或多个弯曲向上断面,深部产状渐趋于缓并伴有分支陡立断裂(图5a、b)。前人认为,黔东南地区犁式断层形成于燕山早期挤压应力体制向燕山晚期拉张应力体制转换期,即为燕山期产物(谢小峰等,2015)。大量的勘探结果表明,该类断层对华南南华纪“大塘坡式”锰矿起到了重要的埋藏与保存的作用。

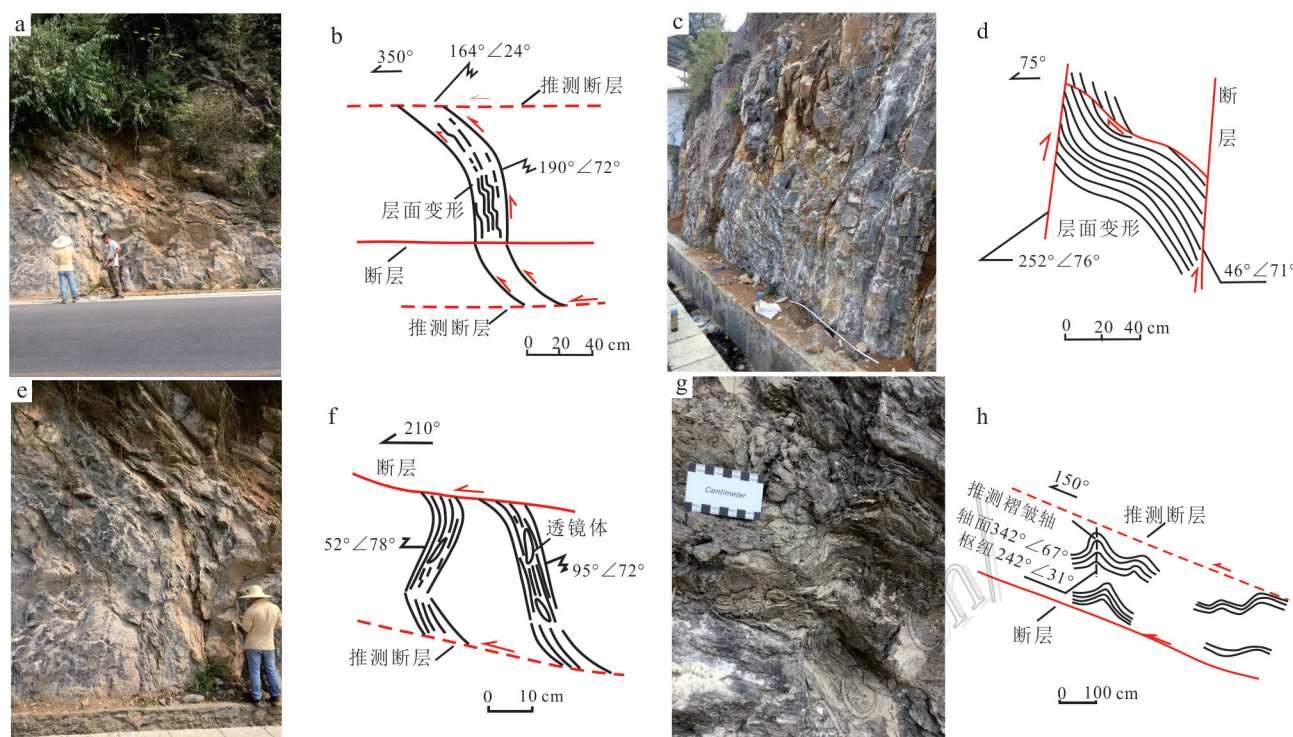


图 4 黔东南地区燕山期露头尺度双重逆冲构造和相关次级小构造及素描图

a, b. 双重逆冲带内上盘向北的分支断裂, 断层运动方向通过不对称褶皱判断; c, d. 顶板逆冲断层和底板逆冲断层; e, f. 双重逆冲带内上盘向北的分支断裂, 断层运动方向通过断层带内角砾判断; g, h. 逆冲断层间不对称褶皱指示上盘向南运动

Fig. 4 The outcrop scale double thrust structure and related sub-minor structures and sketches in Yanshanian period in northeastern Guizhou

a, b. Northward branching fault in the upper wall of the duplex thrust zone, fault movement direction judged by asymmetric folds; c, d. Roof thrust and floor thrust faults; e, f. Northward branching fault in the upper wall of the duplex thrust zone, fault movement direction judged by breccia in fault zone; g, h. Asymmetric folds between thrust faults indicating that the hanging wall is southward

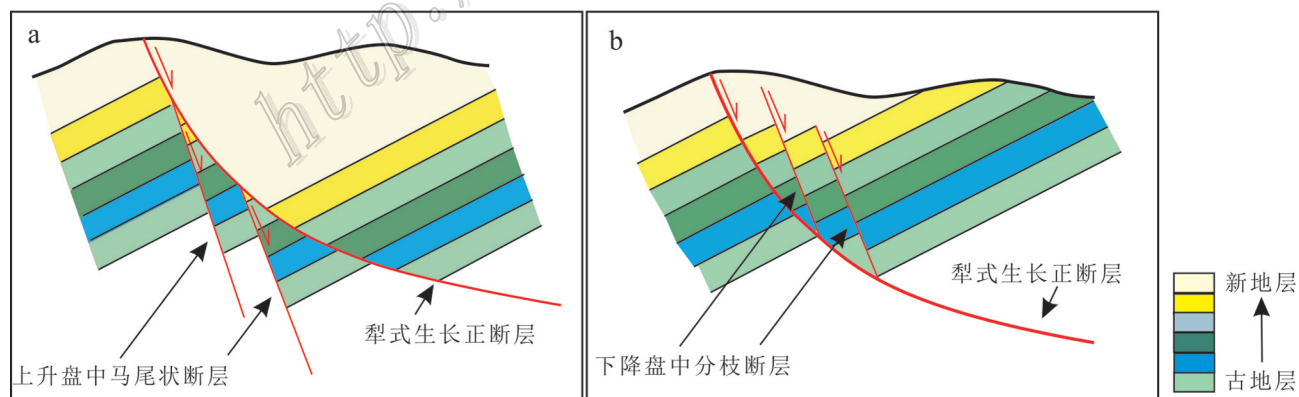


图 5 剖面上分枝犁式正断层示意图(据谢小峰等, 2015)

a. 犁式生长正断层上升盘晚期发育的向下马尾状断层; b. 犁式正断层下降盘中发育的向上分枝断层

Fig. 5 Simplified map of branch listric normal fault in profile (after Xie et al., 2015)

a. Branching faults of the upper plate of the branch listric normal fault; b. Branching faults of the lower plate of the branch listric normal fault

普觉超大型锰矿床中最重要的控矿构造为冷水溪断层。该断层位于矿区东部,由北向南西贯穿整个矿区,勘查工作中被多个深部钻孔揭穿。该断层在矿区南东地表露头处上盘为寒武系下统杷榔组黄灰色钙质、粉砂质黏土岩,下盘为前南华系板溪群浅紫红色变余粉砂质板岩,中部为黑色断层泥,厚约0.8 m(图6a,b,坐标X:19312229,Y:3100641);冷水溪断层将普觉成锰盆地分割成多个规模不一的独立单元,并具有多期活动的特点。断层走向NE 30°~50°,倾向NW,走向延伸大于20 km,断距800~1000 m,破碎带宽5~15 m,见断层角砾、断层泥,次断面较发育,角砾成分以含砾砂岩、粉砂岩为主,其次为硅质岩、粉砂质页岩等,角砾呈次棱角状-棱角状产出,大小多为5 mm×25 mm,极大者100 mm×200 mm。对锰矿破坏很大,为勘查区锰矿体东部边界。冷水溪断层为一条上陡(60°)、下缓(35°~40°)的正断层,具有典型的犁式断层特征。

大量钻探工程证实,冷水溪犁式断层的空间展布形态、断距及断层错断区域等特征对矿层的产出部位具有重要影响。如在8号勘探线(图7a~c)中, F_1 断层在地表倾角约60°~70°,向下逐渐变缓至20°~35°,上陡、下缓,凸面向下呈犁形,上盘为前南华系板溪群至下寒武统,下盘为前南华系板溪群至南华系。断层向深部延至310~360 m后出现分支断裂,在其下盘产生 F_{1-1} 、 F_{1-2} 两条马尾状断层,分枝

断层产状变陡,倾角约70°。分枝断层断距40~100 m,该断层导致在8号勘探线上矿体内部出现约80 m的断层错断区域。越往深部,断层滑脱面越趋于平缓,断层错断区域宽度增加。最终至深部(垂深约1000 m)主断裂断距约750 m,在横向上形成了一个约1115 m的矿层断层错断区域。类似的,在0号勘探线上,断层在地表倾角为60°~70°,往深部逐渐变缓至20°~35°,凸面向下呈犁形,断层上盘为寒武系变马冲组,下盘为南华系南沱组。越往深部断层倾角趋于平缓,矿层被断层错断区域宽度趋于增宽。最终至深部(垂深约1000 m)主断裂断距约950 m,在横向上形成了一个约1335 m的矿层错断区域。与其他勘探线中的断层特征类似,在14号勘探线上,断层在地表倾角约60°~70°,往深部逐渐变缓至10°~30°,凸面向下呈犁形,断层上盘为寒武系变马冲组地层,下盘为南华系大塘坡组上部地层。断层往深部延至300~450 m后,发育2条分支断裂 F_{1-1} 、 F_{1-2} ,其中 F_{1-1} 倾角约65°,断距约30 m; F_{1-2} 倾角约70°,断距约110 m。使得矿体内部出现约50 m的矿层错断区域。越往深部,断层倾角趋于平缓,矿层被断层错断区域宽度趋于增加。最终至深部(垂深约1050 m)主断裂断距约900 m,在横向上形成了一个约500 m的断层错断区域。因此,冷水溪断层具有如下特征:①断层产状上陡、下缓,凸面向下形似犁形;②断距往深部逐渐加大,最大

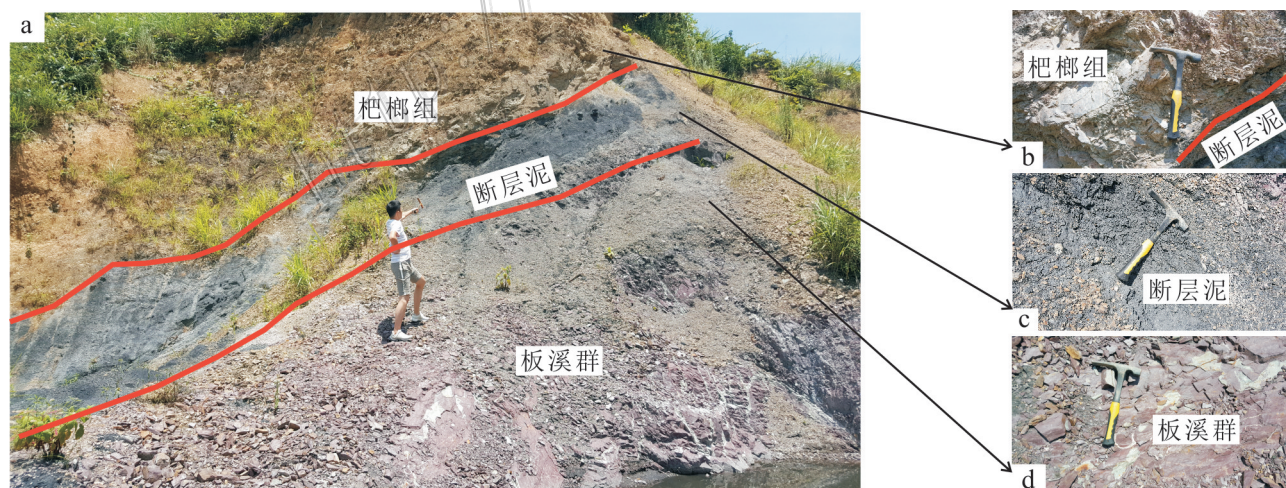


图6 冷水溪断层地表露头

a. 冷水溪断层地表露头;b. 冷水溪断层上盘;c. 断层泥;d. 冷水溪断层下盘

Fig. 6 The surface outcrop of the Lengshuixi fault

a. The surface outcrop of the Lengshuixi fault; b. The upper plate of the Lengshuixi fault; c. Fault gouge; d. Footwall of the Lengshuixi fault

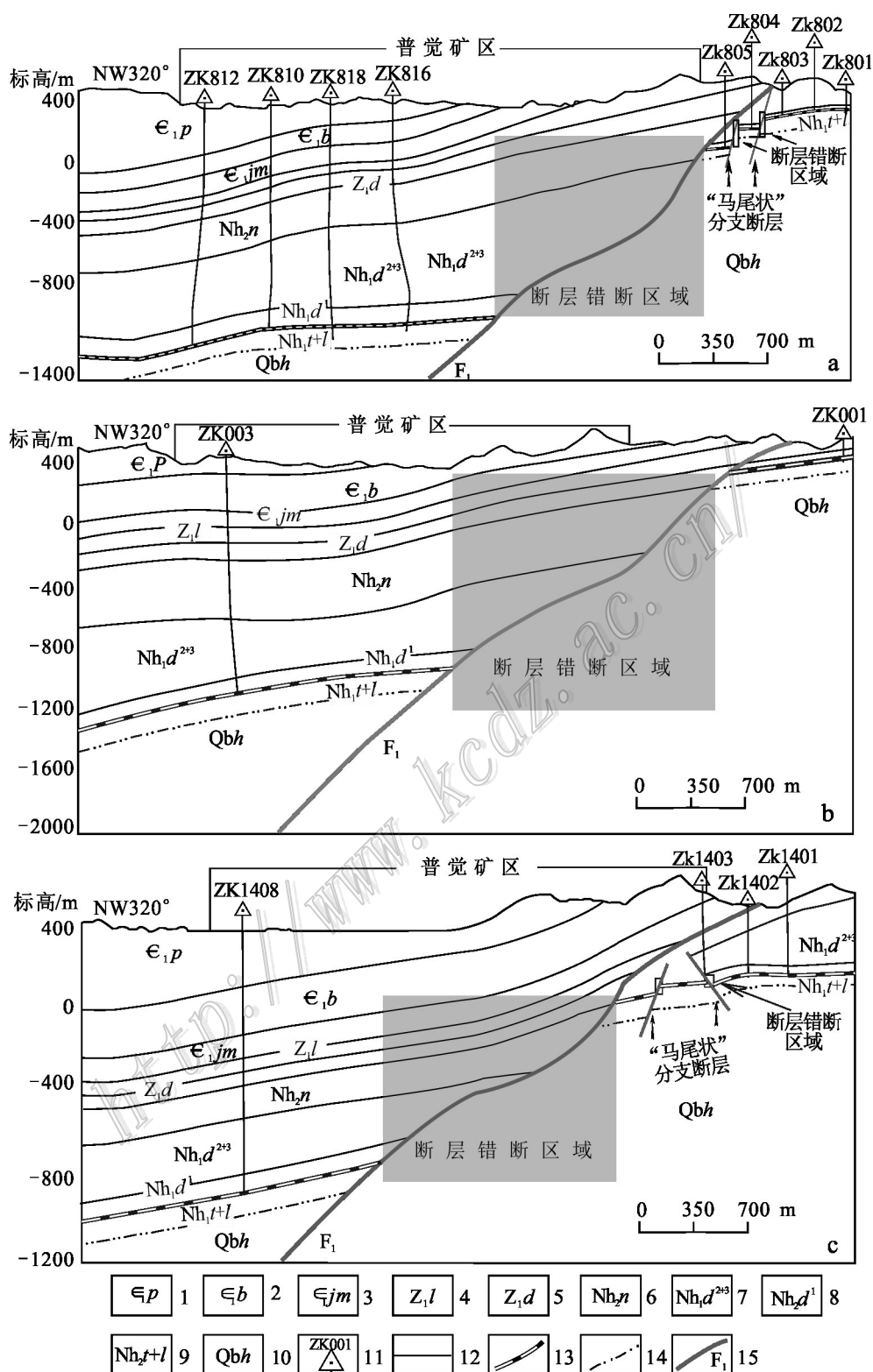


图7 普觉锰矿区勘探线剖面略图

a. 8#勘探线剖面略图; b. 0#勘探线剖面略图; c. 14#勘探线剖面略图

1—杷榔组; 2—变马冲组; 3—九门冲组; 4—留茶坡组; 5—陡山沱组; 6—南沱组; 7—大塘坡组第二段; 8—大塘坡组第二段; 9—铁丝垌组; 10—前南华系板溪群; 11—钻孔及编号; 12—锰矿层; 13—整合地质界线; 14—角度不整合地质界线; 15—断层

Fig. 7 Geological section along the exploration line of the Pujue manganese mining area

a. Geological section along No. 8# exploration line; b. Geological section along No. 0# exploration line; c. Geological section along No. 14# exploration line

1—Palang Formation; 2—Bianmachong Formation; 3—Jiumenchong Formation; 4—Liuchapo Formation; 5—Doushantuo Formation; 6—Nantuo Formation; 7—The first member of Datangpo Formation; 8—The second member of Datangpo Formation; 9—Tiesiao and Liangjiehe Formation; 10—Banxi Formation; 11—Drill hole and its number; 12—Manganese deposit; 13—Conformable boundary; 14—Angular unconformable boundary; 15—Fault

断距达 950 m; ③ 错断区域随深部增加而加大, 最大可达约 1500 m; ④ 时而发育分支断裂, 且分支断裂产状较陡。

犁式断层在深部地球物理勘探中也有反映, 例如在普觉锰矿紧临的西溪堡锰矿段中, 大地电磁法工作显示在 52~60 点间, 视电阻率等值线横向不连续, 出现相对低阻异常带(图 8)。该低阻异常带即是冷水溪断裂及其次级隐伏断层的异常反映。视电阻率异常图显示冷水溪断层倾向北西, 浅部倾角 50°~70°, 往深部逐渐趋于平缓至 10°~15°, 断距从浅部的仅数十米过渡到深部达到近千米。地球物理勘探与钻孔资料反映的冷水溪断裂特征一致。

前人认为, 犁式正断层的倾角随深度增加逐渐变缓, 与地质体中韧性逐渐增加产生底层流动或滑脱有关(Shelton et al., 1986); 同时, 与断层形成后下伏岩石拱张作用、断层下盘页岩的压实作用有关。袁良军等(2013)认为, 区内犁式正断层与大塘坡组底部黑色碳质页岩中蒙脱石转变为伊利石过程中释放的高孔隙流体压力有关。区域上的“大塘坡式”锰矿均赋存大塘坡组第一段中-下部, 其中黑色碳质页岩中包含了大量伊利石, 即赋存具有高孔隙流体压力, 为区内犁式正断层的产生提供了内部动力学基础。同时, 由于区内锰矿层上覆岩层多以脆性岩石为主, 而下部大塘坡组整体表现为韧性岩石, 造成了断层在对应界面中, 上、下所受到摩擦阻力不同, 下盘出现滑脱, 在矿区中形成了断层错断区域, 最终在下部高孔隙流体压力作用下, 正断层下盘岩层上翘形成凸起面, 上盘沿断面下滑形成凹陷, 呈现出形似“犁”形断裂, 故称为犁式断裂, 该类断层直接影响了区内锰矿体后期保存, 且对深部矿体的影响程度远大于浅部矿体, 目前对犁式正断层的认识, 有助于后期开展深部勘查工作。犁式断层在运动过程中, 由于上、下盘岩石韧性、脆性差异不断变化, 会产生一条或多条产状较陡的分支断层, 分支断裂的断距、矿层错断区域均小于主断裂, 将一个完整矿体分割成 2 个或数个矿体, 以及一个大型矿层错断

区域及数个小型矿层错断区域组合。分支断层断距较主断层小, 矿层错断区域也较主断层小。因此, 在区内锰矿产勘查工作中, 应对工作区内犁式正断层引起足够重视, 正确判断断层性质, 断层与断层之间的关系, 合理推断矿层错断区域, 规避勘查风险。

华南南华系“大塘坡式”锰矿在整个黔湘渝毗邻区均有发育, 其矿床成因、赋存环境和区域构造特征均具有一致性, 因此, 通过对普觉锰矿典型的犁式正断层研究, 探寻其空间展布形态、断距变化、矿层错断区域范围将有助于指导整个黔湘渝地区锰矿的地质勘查工作, 提升勘查效率。

4 结 论

(1) 黔东北地区中生代侏罗山式褶皱带内存在加里东期褶冲构造, 并被后期的燕山期构造所叠加。

(2) 黔北地区燕山期侏罗山式褶皱为自西向东扩展的隔挡式褶皱, 其中的断展褶皱形成了区内的倒转地层。

(3) 研究区主体为燕山期侏罗山式褶皱, 虽然位于川黔隔槽式逆冲构造带内, 但总体表现为背斜紧闭陡峭, 向斜平缓开阔的隔挡式褶皱的特点。

(4) 黔东地区犁式正断层是燕山期产物, 在黔东地区广泛发育, 对区内锰矿体后期保存具有直接影响。

(5) 普觉锰矿区冷水溪犁式正断层在剖面上呈现下缓上陡, 凸面向下的“犁”形, 次级断裂发育并具分支复合特征; 在垂向上, 发育数条产状较陡的次级分支断层, 断距随深度增加而逐渐加大。

(6) 普觉锰矿冷水溪犁式正断层断距有向深部逐渐加大, 其矿层错断区域亦伴随深度加深而加大。该断层特征在黔湘渝锰矿区具有普遍性, 对区域矿产勘查具有借鉴意义。

致 谢 感谢中国地质大学(北京)徐林刚教授、中国地质调查局朱同兴研究员、张予杰主任和安

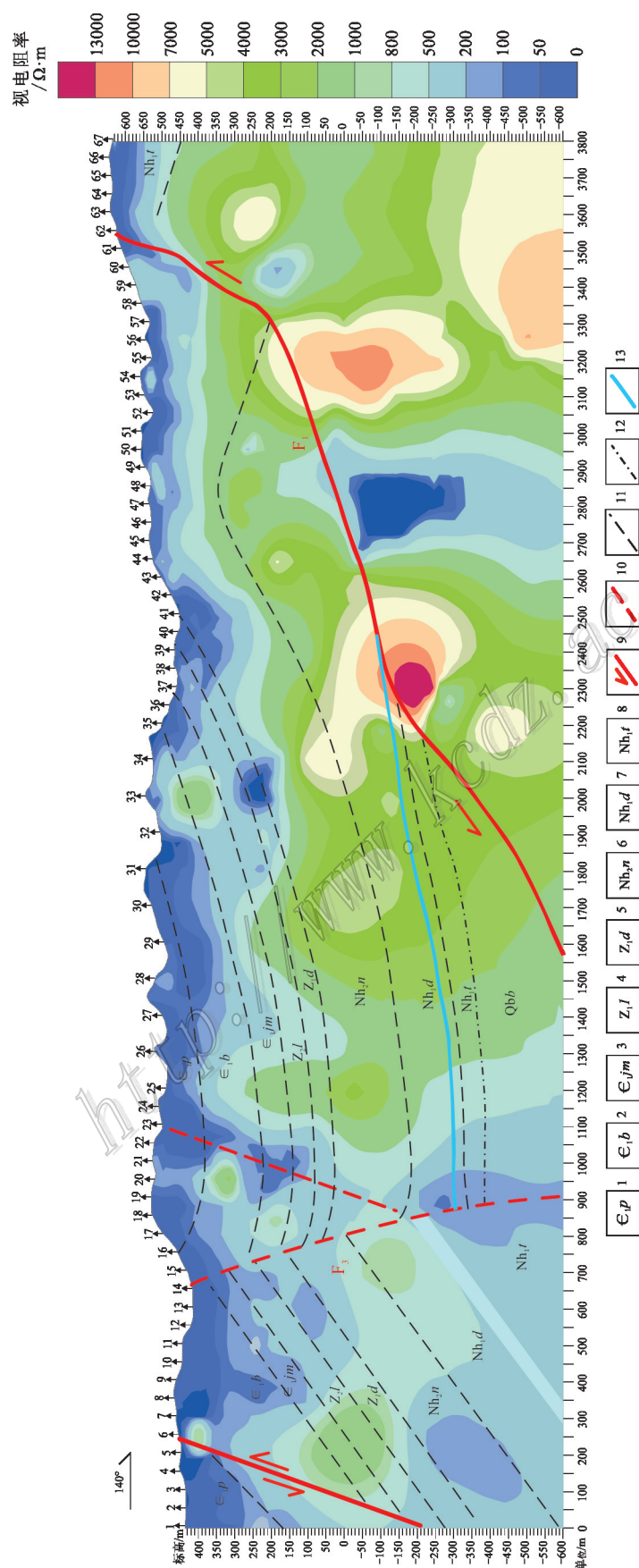


图8 贵州省松桃县普觉锰矿区2号线EH4物探测量视电阻率等值线综合成果图(杨炳南等,2010)

1—杷榔组;2—变马冲组;3—九门冲组;4—留茶坡组;5—陡山沱组;6—南沱组;7—大塘坡组;8—铁丝拗组;9—铁丝网组;10—推测整合地质界线;
12—推测角度不整合地质界线;13—锰矿体

Fig. 8 Line 2 EH4 geophysical comprehensive measured apparent resistivity contour map of the Pujue manganese deposit(after Yang et al., 2010)

1—Balang Formation; 2—Bianmachong Formation; 3—Liuchapo Formation; 4—Liuchapo Formation; 5—Doushantuo Formation; 6—Doushantuo Formation; 7—Dangpo Formation; 8—Tiesiao Formation; 9—Normal fault controlled by drill hole; 10—Inferred fault; 11—Conformable geological boundary; 12—Angular unconformable geological boundary; 13—Manganese orebody

显银高级工程师在野外调查和室内资料收集过程中的大力支持,并提出大量建设性意见,为本文增色不少。匿名评审专家对论文提出了宝贵修改意见,在此一并致以诚挚的谢意!

References

- Brunitsyn A and Zhukov I. 2012. Manganese deposits of the Devonian Magnitogorsk palaeovolcanic belt (southern Urals, Russia)[J]. *Ore Geology Reviews*, 47: 42-58.
- Cui M, Tang L J, Guo T L, Ning F, Tian H Q and Hu D F. 2009. Structural style and thrust breakthrough model of fold in southeast Guizhou[J]. *Geoscience (Journal of China University of Geosciences)*, 34(6): 907-913(in Chinese with English abstract).
- Dai C G, Li S and Zhang H. 2005a. Initiative discussion on tectonic evolution of southwest segment of Jiangnan orogenic belt: Taking an example from East Guizhou and the adjacent areas[J]. *Guizhou Geology*, 2: 98-102(in Chinese with English abstract).
- Dai C G, Li S, Tang Q C, Wang M and Zhang H. 2005b. Structure of metamorphic core complex and its property to control the mineralization in the eastern area of Guizhou[J]. *Guizhou Geology*, 4: 224-228(in Chinese with English abstract).
- Dai C G, Zhang H and Wang M. 2006. Characteristics of architectural facies in east Guizhou and its neighboring areas[J]. *Guizhou Geology*, 3: 217-222(in Chinese with English abstract).
- Dai C G, Chen J S and Lu D B. 2010a. Wuling orogeny in eastern Guizhou and adjacent regions and its geological significance[J]. *Journal of Geomechanics*, 16(1): 78-84(in Chinese with English abstract).
- Dai C G, Chen J S, Lu D B, Ma H Z and Wang X H. 2010b. Appearance and geological significance of Caledonian movement in southeastern Guizhou and adjacent areas[J]. *Geological Bulletin of China*, 29(4): 530-534(in Chinese with English abstract).
- Dai C G, Qin S R, Chen J S and Lu D B. 2013a. Characteristics of deep concealed faults in Guizhou[J]. *Geological Science and Technology Information*, 32 (6): 1-6, 13 (in Chinese with English abstract).
- Dai C G, Wang M, Chen J S and Wang X H. 2013b. Tectonic movement characteristics and its geological significance of Guizhou[J]. *Guizhou Geology*, 30 (2): 119-124 (in Chinese with English abstract).
- Dai C G, Zheng Q Q, Chen J S, Wang M and Zhang H. 2013c. The metallogenic geological background of the Xuefeng-Caledonian tectonic cycle in Guizhou[J]. *Earth Science Frontiers*, 20 (6): 219-225(in Chinese with English abstract).
- Dai C G, Zheng Q Q, Chen J S, Zhang H and Dai Y R. 2014. Geological background study of metallogenic the Hexian-Yanshanian tectonic cycle in Guizhou[J]. *Guizhou Geology*, 31(2): 82-88(in Chinese with English abstract).
- Dai C G, Hu M Y, Chen J S, Wang M and Wang X H. 2015. The important geological events of Guizhou Province and its geologic significance[J]. *Guizhou Geology*, 32(1): 1-9, 14(in Chinese with English abstract).
- Del Rio Salas R, Ruiz J, Ochoa-Landín L, Noriega O, Barra F, Meza-Figueroa D and Paz-Moreno F. 2008. Geology, geochemistry and Re-Os systematics of manganese deposits from the Santa Rosalia Basin and adjacent areas in Baja California Sur, Mexico[J]. *Mineralium Deposita*, 43(4): 467-482.
- Deng X, Yang K G, Liu Y L and Yu Z M. 2010. Characteristics and tectonic evolution of Qianzhong uplift[J]. *Earth Science Frontiers*, 17 (3): 79-89(in Chinese with English abstract).
- Gauthier-Lafaye F and Weber F. 2003. Natural nuclear fission reactors: Time constraints for occurrence, and their relation to uranium and manganese deposits and to the evolution of the atmosphere[J]. *Precambrian Research*, 120(1-2): 81-100.
- Ji R. 1984. Study on the Cenozoic and its gravel deformation in eastern Yunnan and western Guizhou[J]. *Guizhou Geology*, 1: 127-134(in Chinese).
- Jiang B Q. 1984. The mechanical mechanism of the barrier and slot formation in eastern Sichuan Province[J]. *Acta Geologica Sichuan*, 100: 1-12(in Chinese).
- Jiu K, Ding W L, Li Y X, Zhang J C and Zeng W T. 2012. Structural characteristics and fracture of Lower Cambrian shale gas reservoir in northern Guizhou[J]. *Natural Gas Geoscience*, 23(4): 797-803 (in Chinese with English abstract).
- Shelton J and Sun J Z. 1986. Listric normal fault, an illustrated summary[J]. *Geological Science and Technology Information*, (1): 35-39 (in Chinese abstract).
- Kuleshov V. 2011. Manganese deposits: Communication 1. Genetic models of manganese ore formation[J]. *Lithology and Mineral Resources*, 46(5): 473.
- Lan T L. 2013. Geological characteristics and prospecting direction of Pb-Zn deposits in northeast Guizhou[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 28(2): 216-223(in Chinese with English abstract).
- Le G Y, Zhang S J and Yang W N. 1994. Structural deformation patterns and tectonic stress field in west-central Guizhou[J]. *Chinese Journal of Geology*, 1: 10-18.
- Leng J G, Gong D J, Li F and Li P. 2016. Analysis of shale gas exploration prospect of Niutetang formation in northeast Guizhou[J]. *Earth Science Frontiers*, 32 (2): 29-38(in Chinese with English abstract).
- Liao Z W, Wang S W, Sun X M and Jiang X F. 2015. Rb-Sr fixed age of sphalerite from MVT lead-zinc deposits in northeastern Guizhou and its geological significance[J]. *Mineral Deposits*, 34(4): 769-785(in Chinese with English abstract).
- Liu Y L, Yang K G and Deng X. 2009. Activity history of the Zhenyuan-Guiyang fault zone and its constraints on the evolution of the Central Guizhou Uplift[J]. *Geological Science and Technology Information*, 28(3): 41-47(in Chinese with English abstract).

- Maynard J B. 2010. The chemistry of manganese ores through time: A signal of increasing diversity of earth-surface environments[J]. *Econ.Geol.*, 105(3): 535-552.
- Mei M X, Ma Y S, Deng J, Li H and Zheng K. 2005. The formation of Palaeogeography in Caledonian movement and the formation of Yunnan Guizhou Guangxi Basin and exploration potentials of deep oil and gas in Yunnan, Guizhou and Guangxi Basin[J]. *Earth Science Frontiers*, 3: 227-236(in Chinese with English abstract).
- Nakagawa M, Santosh M and Maruyama S. 2009. Distribution and mineral assemblages of bedded manganese deposits in Shikoku, southwest Japan: Implications for accretion tectonics[J]. *Gondwana Research*, 16(3-4): 609-621.
- Nakagawa M, santosh M and Maruyama S. 2011. Manganese formations in the accretionary belts of Japan: Implications for subduction-accretion process in an active convergent margin[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 42(3): 208-222.
- Rong J Y, Wang Y, Zhan R B, Huang B, Wang G X, Li Y and Deng X J. 2012. Evidence of the expansion of the middle and northern part of Guizhou in the Late Eelurian period of Tongzi ascendant-Silurian[J]. *Journal of Stratigraphy*, 36 (4): 679-691(in Chinese with English abstract).
- Si C S, Zhang R H, Yao G S, Guo Q X, Zhu Z H, Lou Z H, Jin C, Jin A M and Huan X. 2016. Study on tectonic processes and preservation conditions of oil and gas in northern Guizhou depression and its periphery[J]. *Journal of China University of Mining Technology*, 45(5): 1010-1021(in Chinese with English abstract).
- Su J B, Dong S W, Zhang Y Q, Li Y, Chen X H, Cui J J and Zhang D J. 2014. Structural style and deep dynamics of tectonic belts of Sichuan, Guizhou and Hunan[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 44(2): 490-506(in Chinese with English abstract).
- Tang S L, Yan D P, Wang C L and Zhang W C. 2011. Thin-thick crust tectonic transition process in Xuefeng mountain, South China: Evidence from the Sangzhi-Anhua profile[J]. *Geoscience*, 25(1): 22-30(in Chinese with English abstract).
- Tian H Q, Guo T L, Hu D F, Tang L J, Wo Y J, Song L Y and Yang Z Q. 2006. Marine Lower assemblage and prospects for oil and gas exploration in the Central Guizhou Uplift and its surrounding areas[J]. *Journal of Palaeogeography*, 4: 509-518(in Chinese with English abstract).
- Wang J, Liu B J and Pan G T. 2001. Neoproterozoic rifting history of South China significance to Rodinia Breakup[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, (3): 135-145(in Chinese with English abstract).
- Wang L. 2003. The relationship between deep structure and regional minerals in southeast Guizhou[J]. *Guizhou Geology*, 2: 75-79(in Chinese with English abstract).
- Wang M, Dai C G, Wang X H, Chen J S, Ma H Z, Peng C L and Yang K D. 2012. Sedimentation age of the Fanjingshan Group in East Guizhou Province: Evidence from in-situ zircon LA-ICP-MS U-Pb dating[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 31(6): 843-857(in Chinese with English abstract).
- Wang P F. 2017. Research on the electrical structure and identification of Datangpo manganese deposits in Guizhou Songtao Region (Master's Thesis)[D]. Supervisor: Wang X B. Chengdu: Chengdu University of Technology.
- Wu G Y, Wang W F and Chi H X. 2012. Late transformation of basin evolution and marine sediments in southern Guizhou depression and adjacent area[J]. *Journal of Palaeogeography*, 14(4): 507-521 (in Chinese with English abstract).
- Wu K B, Zeng G Q, Chen G X and Yang K G. 2016. Features of deep structures in Guizhou revealed by Bouguer gravity anomaly[J]. *Geological Science and Technology Information*, 35(1): 190-199 (in Chinese with English abstract).
- Xie G A, Jia D, Zhang Q L, Wu X J, Shen L, Lü B S and Zou X. 2013. Physical modeling of the Jura-type folds in eastern Sichuan[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 87(6): 773-788.
- Xie G A, Jia D, Zhang Q L, Wu X J, Shen L, lv Y Z and Zou X. 2013. Physical Simulation of Jurassic wrinkle tectonic belt in East Sichuan[J]. *Acta Geologica Sinica*, 87(6): 773-788(in Chinese with English abstract).
- Xie J, Yang X, Du J and Xu W. 2006. Geochemical characteristics of sedimentary manganese deposit of Guichi, Anhui Province, China[J]. *Journal of Rare Earths*, 24(3): 374-380.
- Xie J, Sun W, Du J, Xu W, Wu L, Yang X and Zhou T. 2013. Geochemical studies on Permian manganese deposits in Guichi, eastern China: Implications for their origin and formative environments[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 74: 155-166.
- Xie S K, Wang Z J and Wang J. 2011. Late Ordovician lithofacies paleogeography in northeast Guizhou[J]. *Journal of Palaeogeography*, 13(5): 539-549(in Chinese with English abstract).
- Xie X F, Yang K G, Zhou Q, Du Y S, Wang J W, Jiang T R and Yang B N. 2015. Characteristics of plow normal faults and their role in prospecting and prediction: Taking Songtao Xixipu large manganese deposit in eastern Guizhou as an example[J]. *Geological Science and Technology Information*, 34(6): 33-39(in Chinese with English abstract).
- Xu H J, Sang S X, Yi T S, Zhao X, Liu H H, Li L, Zhao Z G and Xie Y. 2014. Characteristics of geostress field and tectonic origin in western Guizhou[J]. *Journal of Central South University(Science and Technology)*, 45(6): 1960-1966(in Chinese with English abstract).
- Yan D P, Qiu L, Chen F, Li L, Zhao L and Yang W X. 2018. Tectonic and formation mechanism of Mesozoic intraplate orogenic belt in Xuefengshan, South China Block[J]. *Earth Science Frontiers*, 25 (1): 1-13(in Chinese with English abstract).
- Yang B N and Zhou M P. 2010. Report on the results of EH4 geophysical prospecting in Xixinbao manganese mine, Songtao County, Guizhou Province[R]. 17-28(in Chinese).
- Yang K G, Li X G, Dai C G and Zhang H. 2012a. Superimposed structural deformation under fault adjustment and control: Taking Yanshanian structure in Guizhou as an example[J]. *Geological Science and Technology Information*, 31(5): 50-56(in Chinese with English abstract).

English abstract).

- Yang K G, Li X G, Dai C G, Zhang H and Zhou Q. 2012b. Genetic analysis of trough wrinkles in southeast Guizhou[J]. *Earth Science Frontiers*, 19 (5): 53-60(in Chinese with English abstract).
- Yang R D, Ouyang Z Y, Zhu L J, Wang S J, Jiang L J, Zhang W H and Gao H. 2002. A new understanding of manganese carbonate deposits in early sinian datangpo stage[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, (4):329-334(in Chinese with English abstract).
- Yang R D, Wei H R, Xu L Q, Cheng M L, Wen X F and Wei X. 2010. Geochemical characteristics of manganese deposits in Datangpo Formation from Gaojiang to Xinyuan in Guizhou Province[J]. *Mineral Deposits*, 29(S1): 395-396(in Chinese with English abstract).
- Yang S X and Pang K T. 2006. Mineralization model for the manganese deposits in northwestern Hunan: An example from Minle manganese deposit in Huayuan, Hunan[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 26(2):72-80(in Chinese with English abstract).
- Yu K F and Wang S D. 1995. Uniform movement and its paleotectonic characteristics and petroleum geological significance in southern Guizhou[J]. *Guizhou Geology*, (3): 225-232(in Chinese with English abstract).
- Yuan L J. 2013 Characteristics of F1 plow faults in Xizibao large-scale manganese ore deposit, Songtao, Guizhou Province and discussion on the damage and preservation of manganese[J]. *Guizhou Geology*, 3(116): 170-176 (in Chinese with English abstract).
- Zaravandi A, Lentz D, Rezaei M and Pourkaseb H. 2013. Genesis of the Nasirabad manganese occurrence, Fars province, Iran: Geochemical evidences[J]. *Chemie der Erde-Geochemistry*, 73(4): 495-508.
- Zhang S, Zhang P Y and Shen H Q. 2016. Detailed investigation report of Pujiao manganese mine (integration) in Songtao County, Guizhou Province[R]. (in Chinese).
- Zhang T F. 2016. Mineralization of Pb-Zn deposits by fault structures in northeastern Guizhou[J]. *Resource Information and Engineering*, 31(2): 25-26(in Chinese with English abstract).
- Zhao D X. 1994. Types and biogenic mineralization of manganese rock in Gaoyan Rhodochrosite ore, north Sichuan Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, (2):171-183(in Chinese with English abstract).
- Zhao S, Pan W, Yang S T, Yin T L, Jiang T R and Tian J J. 2016. Geological characteristics and genesis of Lower Cambrian Pb-Zn deposits in western Hunan and northeast Guizhou[J]. *Guizhou Geology*, 33(4): 257-264(in Chinese with English abstract).
- Zhou L Q and Liu C Y. 2004. Biogas accumulation in Cenozoic strike-slip rift basin in Yunnan, Guizhou and Guangxi[J]. *Natural Gas Industry*, 12: 10-13, 181-182(in Chinese with English abstract).
- Zhou Q and Du Y S. 2012. Ancient natural gas leakage and manganese mineralization: Taking Nanhua "Datangpo" manganese deposit in eastern Guizhou as an example[M]. Beijing: Geological Publishing House. 2012: 84-95 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Q, Du Y S, Yuan L J, Zhang S and Yu W C. 2016. The structure of the Nanhua period Wuling rift basin and its controlling effect on manganese in the adjacent area of Guizhou, Hunan and Chongqing[J]. *Earth Science*, 41(2): 177-188(in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- Shelton J, 孙家振. 1986. 犁式正断层综述[J]. *地质科技情报*, (1):35-39.
- 崔敏, 汤良杰, 郭彤楼, 宁飞, 田海芹, 胡东风. 2009. 黔东南地区褶皱构造样式及其断层突破模式[J]. *地球科学(中国地质大学学报)*, 34(6): 907-913.
- 戴传固, 李硕, 张慧. 2005a. 试论江南造山带西南段构造演化——以黔东南及邻区为例[J]. *贵州地质*, 2: 98-102.
- 戴传固, 李硕, 唐黔春, 王敏, 张慧. 2005b. 黔东南地区变质核杂岩构造及其控矿作用[J]. *贵州地质*, 4: 224-228.
- 戴传固, 张慧, 王敏. 2006. 试论黔东南及邻区大地构造相特征[J]. *贵州地质*, 3: 217-222.
- 戴传固, 陈建书, 卢定彪, 马会珍, 王雪华. 2010a. 黔东南及邻区武陵运动及其地质意义[J]. *地质力学学报*, 16(1): 78-84.
- 戴传固, 陈建书, 卢定彪, 马会珍, 王雪华. 2010b. 黔东南及邻区加里东运动的表现及地质意义[J]. *地质通报*, 29(4): 530-534.
- 戴传固, 秦守荣, 陈建书, 卢定彪. 2013a. 试论贵州深部隐伏断裂特征[J]. *地质科技情报*, 32(6): 1-6, 13.
- 戴传固, 王敏, 陈建书, 王雪华. 2013b. 贵州构造运动特征及其地质意义[J]. *贵州地质*, 30(2): 119-124.
- 戴传固, 郑启铃, 陈建书, 王敏, 张慧. 2013c. 贵州雪峰—加里东构造旋回期成矿地质背景研究[J]. *地学前缘*, 20(6): 219-225.
- 戴传固, 郑启铃, 陈建书, 张慧, 代雅然. 2014. 贵州海西—燕山构造旋回期成矿地质背景研究[J]. *贵州地质*, 31(2): 82-88.
- 戴传固, 胡明扬, 陈建书, 王敏, 王雪华. 2015. 贵州重要地质事件及其地质意义[J]. *贵州地质*, 32(1): 1-9, 14.
- 邓新, 杨坤光, 刘彦良, 余振兵. 2010. 黔中隆起性质及其构造演化[J]. *地学前缘*, 17(3): 79-89.
- 吉汝安. 滇东黔西新生界及其砾石变形的研究[J]. *贵州地质*, 1: 127-134.
- 蒋炳铨. 1984. 川东一带隔挡、隔槽式褶皱形成力学机制[J]. *四川地质学报*, 100: 1-12.
- 解国爱, 贾东, 张庆龙, 吴晓俊, 沈礼, 吕赞珊, 邹旭. 2013. 川东侏罗山式褶皱构造带的物理模拟研究[J]. *地质学报*, 87(6): 773-788.
- 久凯, 丁文龙, 李玉喜, 张金川, 曾维特. 2012. 黔北地区构造特征与下寒武统页岩气储层裂缝研究[J]. *天然气地球科学*, 23(4): 797-803.
- 兰天龙. 2013. 浅议黔东南地区铅锌矿地质特征与找矿方向[J]. *地质找矿论丛*, 28(2): 216-223.
- 乐光禹, 张时俊, 杨武年. 1994. 贵州中西部的构造格局与构造应力场[J]. *地质科学*, 1: 10-18.
- 冷济高, 龚大建, 李飞, 李鹏. 2016. 黔东南地区牛蹄塘组页岩气勘探前景分析[J]. *地学前缘*, 23(2): 29-38.
- 廖震文, 王生伟, 孙晓明, 蒋小芳, 周清, 许新英, 郭阳. 2015. 黔东南地区MVT型铅锌矿床闪锌矿Rb-Sr定年及其地质意义[J]. *矿床*

- 地质, 34(4): 769-785.
- 刘彦良, 杨坤光, 邓新. 2009. 镇远-贵阳断裂带活动历史及其对黔中隆起演化的制约[J]. 地质科技情报, 28(3): 41-47.
- 梅冥相, 马永生, 邓军, 李浩, 郑宽. 2005. 加里东运动构造古地理及滇黔桂盆地的形成——兼论滇黔桂盆地深层油气勘探潜力[J]. 地学前缘, 3: 227-236.
- 戎嘉余, 王怿, 詹仁斌, 唐鹏, 黄冰, 吴荣昌, 王光旭, 李越, 邓小杰. 2012. 论桐梓上升——志留纪埃隆晚期黔中古陆北扩的证据[J]. 地层学杂志, 36(4): 679-691.
- 斯春松, 张润合, 姚根顺, 郭庆新, 朱振宏, 楼章华, 金宠, 金爱民, 黄羚. 2016. 黔北坳陷及周缘构造作用与油气保存条件研究[J]. 中国矿业大学学报, 45(5): 1010-1021.
- 苏金宝, 董树文, 张岳桥, 李勇, 陈宣华, 崔建军, 张交东. 2014. 川黔湘构造带构造样式及深部动力学制约[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 44(2): 490-506.
- 汤双立, 颜丹平, 汪昌亮, 张维宸. 2011. 华南雪峰山薄皮-厚皮构造转换过程:来自桑植-安化剖面的证据[J]. 现代地质, 25(1): 22-30.
- 田海芹, 郭彤楼, 胡东风, 汤良杰, 沃玉进, 宋立珩, 杨志强. 2006. 黔中隆起及其周缘地区海相下组合与油气勘探前景[J]. 古地理学报, 4: 509-518.
- 王剑, 刘宝珺, 潘桂棠. 2001. 华南新元古代裂谷盆地演化——Rodinia超大陆解体的前奏[J]. 矿物岩石, (3): 135-145.
- 王亮. 2003. 贵州东南部深部构造与区域矿产的关系[J]. 贵州地质, 2: 75-79.
- 王敏, 戴传固, 王雪华, 陈建书, 马会珍, 彭成龙, 杨凯迪. 2012. 贵州梵净山群沉积时代——来自原位锆石 U-Pb 测年证据[J]. 岩石矿物学杂志, 31(6): 843-857.
- 王品丰. 2017. 贵州松桃“大塘坡式”锰矿电性结构特征及识别研究(硕士论文)[D]. 导师: 王绪本. 成都: 成都理工大学.
- 吴根耀, 王伟锋, 迟洪星. 2012. 黔南坳陷及邻区盆地演化和海相沉积的后期改造[J]. 古地学报, 14(4): 507-521.
- 吴开彬, 曾广乾, 陈国雄, 杨坤光. 2016. 布格重力异常揭示的贵州深部构造特征[J]. 地质科技情报, 35(1): 190-199.
- 谢尚克, 汪正江, 王剑. 2011. 黔东南地区晚奥陶世岩相古地理[J]. 古地学报, 13(5): 539-549.
- 谢小峰, 杨坤光, 周琦, 杜远生, 王佳武, 蒋天锐, 杨炳南. 2015. 型式正断层特征及其在找矿预测中的作用:以黔东南松桃西溪堡大型锰矿床为例[J]. 地质科技情报, 34(6): 33-39.
- 徐宏杰, 桑树勋, 易同生, 赵霞, 刘会虎, 李林, 赵志根, 谢焰. 2014. 黔西地应力场特征及构造成因[J]. 中南大学学报(自然科学版), 45(6): 1960-1966.
- 颜丹平, 邱亮, 陈峰, 李林, 赵磊, 杨文心, 张翼西. 2018. 华南地块雪峰山中生代板内造山带构造样式及其形成机制[J]. 地学前缘, 25(1): 1-13.
- 杨炳南, 周明平. 2010. 贵州省松桃县西溪堡锰矿整装勘查区 EH4 物探测量成果报告[R].
- 杨坤光, 李学刚, 戴传固, 张慧, 周琦. 2012a. 断层调整与控制作用下的叠加构造变形:以贵州地区燕山期构造为例[J]. 地质科技情报, 31(5): 50-56.
- 杨坤光, 李学刚, 戴传固, 张慧, 周琦. 2012b. 黔东南隔槽式褶皱成因分析[J]. 地学前缘, 19(5): 53-60.
- 杨瑞东, 欧阳自远, 朱立军, 王世杰, 姜立君, 张位华, 高慧. 2002. 早震旦世大塘坡期锰矿成因新认识[J]. 矿物学报, (4): 329-334.
- 杨瑞东, 魏怀瑞, 许利群, 程玛莉, 文雪峰, 魏晓. 2010. 贵州从江高增新元古代大塘坡组锰矿沉积地球化学特征[J]. 矿床地质, 29(S1): 395-396.
- 杨绍祥, 劳可通. 2006. 湘西北锰矿床成矿模式研究——以湖南花垣民乐锰矿床为例[J]. 沉积与特提斯地质, (2): 72-80.
- 余开富, 王守德. 1995. 贵州南部的都匀运动及其古构造特征和石油地质意义[J]. 贵州地质, (3): 225-232.
- 袁良军, 周琦, 谢小峰. 2013. 贵州松桃西溪堡大型锰矿床 F1 型式断层特征及对锰矿体破坏与保存作用探讨[J]. 贵州地质, 3(116): 170-176.
- 张遂, 张平壹, 沈红钱. 2016. 贵州省松桃县普觉锰矿(整合)详查报告[R].
- 张太富. 2016. 断裂构造对黔东南铅锌矿的成矿作用[J]. 资源信息与工程, 31(2): 25-26.
- 赵东旭. 1994. 川北高燕锰矿的锰质岩类型和生物成矿作用[J]. 岩石学报, (2): 171-183.
- 赵爽, 潘文, 杨胜堂, 尹廷龙, 蒋天锐, 田景江, 陈玲, 覃智贵. 2016. 湘西-黔东南地区下寒武统铅锌矿床地质特征及成因探讨[J]. 贵州地质, 33(4): 257-264.
- 周荔青, 刘池阳. 2004. 滇黔桂地区新生代走滑拉分裂陷盆地生物气成藏规律[J]. 天然气工业, (12): 10-13, 181-182.
- 周琦, 杜远生. 2012. 古天然气渗漏与锰矿成矿——以黔东南地区南华纪“大塘坡式”锰矿为例[M]. 北京: 地质出版社. 84-95.
- 周琦, 杜远生, 袁良军, 张遂, 余文超, 杨胜堂, 刘雨. 2016. 黔湘渝毗邻区南华纪武陵裂谷盆地结构及其对锰矿的控制作用[J]. 地球科学, 41(2): 177-188.