doi:10.12097/j.issn.1671-2552.2023.09.003

江西众埠街大型铅锌矿床 Rb-Sr 同位素年龄及 成矿流体特征

蔡报元^{1,2},黄志斌^{1,2},张彦伟^{1,2},余光模³,吴星星^{1,2},王维洋^{1,2},马天^{1,2} CAI Baoyuan^{1,2}, HUANG Zhibin^{1,2}, ZHANG Yanwei^{1,2}, YU Guangmo³, WU Xingxing^{1,2}, WANG Weiyang^{1,2}, MA Tian^{1,2}

1.江西省地质调查勘查院基础地质调查所,江西南昌 330030;

2.江西有色地质矿产勘查开发院,江西南昌 330030;

3.江西省自然资源事业发展中心,江西南昌 330025

1. Basic Geological Survey Institute, Geological Survey and Exploration of Jiangxi Province, Nanchang 330030, Jiangxi, China;

2. Jiangxi Institute of Geological Prospecting and Mineral Resource for Nonferrous Metal, Nanchang 330030, Jiangxi, China;

3. Jiangxi Natural Resources Development Center, Nanchang 330025, Jiangxi, China

摘要:江西众埠街矿床位于钦杭成矿带东段,是近年来取得重大找矿突破的大型铅锌多金属矿床。为研究众埠街矿床成矿作 用,对成矿阶段的石英、方解石开展流体包裹体和氢-氧同位素研究,采用闪锌矿 Rb-Sr 定年方法测定众埠街大型铅锌多金属 矿床的成矿时代,通过闪锌矿 Sr 同位素初始比(⁸⁷ Sr/⁸⁶ Sr),判断成矿物质来源。测得闪锌矿 Rb-Sr 等时线年龄为 359±7 Ma, 表明铅锌成矿期为早石炭世。闪锌矿 Sr 同位素初始(⁸⁷ Sr/⁸⁶ Sr),值介于 0.6937~0.7163 之间,平均值为 0.709,表明成矿物质来 源于壳幔混合。流体包裹体显微测温结果显示,均一温度范围为 154~310℃,盐度范围为 0.70%~5.70% NaCl_{eqv}。石英氢-氧 同位素结果显示, δD_{v-SMOW}值变化范围为-75.4‰~58.1‰, δ¹⁸ O_{H2}0值为 1.0‰~8.1‰。综合研究表明,成矿流体主要为岩浆 水,混合少量的大气降水。众埠街铅锌矿为岩浆热液型矿床,与沉积型锰矿床没有成因联系。

关键词:众埠街铅锌矿;Rb-Sr同位素测年;流体包裹体;氢-氧同位素;钦杭成矿带

中图分类号:P618.4;P597⁺.3 文献标志码:A 文章编号:1671-2552(2023)09-1453-14

Cai B Y, Huang Z B, Zhang Y W, Yu G M, Wu X X, Wang W Y, Ma T. Rb-Sr isotopic dating and ore-forming fluid characteristics of the Zhongbujie large Pb-Zn deposit, Jiangxi Province. *Geological Bulletin of China*, 2023, 42(9):1453-1466

Abstract: Zhongbujie is a large Pb–Zn polymetallic deposit that has achieved major prospecting breakthroughs in recent years, located in the eastern section of the Qinhang metallogenic belt. In order to study the mineralization of the Zhongbujie deposit, this paper carried out fluid inclusions and H–O isotope studies of quartz and calcite in the metallogenic stage. The Rb–Sr isochronous dating method of sphalerites was used to determine the metallogenic age of the Zhongbujie deposit and the study of $({}^{87}$ Sr/ 86 Sr)₁ of sphalerite is used to determine the ore –forming material. The obtained sphalerite isochron age is 359±7 Ma, indicating that the lead –zinc metallogenic period is the Early Carboniferous. The (87 Sr/ 86 Sr)₁ of sphalerite ranges from 0.6937 to 0.7163, with an average value of 0.709, indicating that the ore–forming material of the ore bodies was derived from crust–mantle hybrid. The microscopic temperature results of fluid inclusions show that the homogeneous temperature ranges from 154°C to 310°C, and the salinity ranges from 0.70% to 5.70% NaCl_{eav}. The results of quartz H–O isotope show that the δD_{V-SMOW} value ranges from –75.4‰ to –58.1‰, and the $\delta^{18}O_{H_2O}$

收稿日期:2022-06-08;修订日期:2022-12-05

资助项目:江西省地质局项目《江西省乐平众埠街成矿热液运移机制及富集过程》(编号:KF202006)、江西省地质勘查项目《江西省乐平 市众埠街锰铅锌矿普查》(编号:20180003)

作者简介:蔡报元(1985-),男,硕士,高级工程师,从事地质矿产勘查与调查研究工作。E-mail:262386813@qq.com

value ranges from 1.0% to 8.1%. Comprehensive analysis shows that the ore-forming fluid is mainly magmatic water mixed with a small amount of atmospheric precipitation. The Zhongbujie lead-zinc deposit is a magmatic hydrothermal deposit and has no genetic connection with the sedimentary manganese deposits.

Key words: Zhongbujie Pb-Zn polymetallic deposit; Rb-Sr isotopic dating; fluid inclusion; H-O isotopes; Qinhang metallogenic belt

江西众埠街锰铅锌多金属矿为 20 世纪 70 年代 发现的中型锰铅锌矿床。2015 年至今,江西省地质 调查勘查院基础地质调查所对众埠街锰铅锌(矿床 深部和外围)进一步勘查,累计投入钻探工作量约 3×10⁴ m,取得了重大勘查成果,新增锰矿矿石量为 1200×10⁴ t,新增铅+锌金属量约 24×10⁴ t,加上前期 勘查成果,锰矿石量达 3000×10⁴ t,铅锌金属量达约 70×10⁴ t,锰、铅锌矿床均达大型规模。

前人围绕众埠街矿床成矿背景、矿床特征、成 矿时代、矿床成因等进行了诸多研究(顾连兴, 1987:蒋江波等,2019),但长期以来对成矿年代认 识不统一,造成对矿床成因认识的差异,锰矿和铅 锌矿为同一成矿系统,还是不同的成矿系统在空间 位置上的叠加耦合认识不一。部分学者认为,江西 乐华锰矿和铅锌矿是同一成矿系统,同为中石炭世 海底热液在不同背景下的产物,铅锌在还原环境里 以硫化物的形式析出,锰在氧逸度较高的环境里以 碳酸盐的形式沉淀(顾连兴,1987)。另有部分学者 认为,乐华锰矿为海底热液在化学沉积作用下成 矿,成矿时间为中石炭世;铅锌矿床为岩浆热液型 矿床,成矿时间为燕山期,锰矿和铅锌矿两者之间 没有成因联系(蒋江波等,2019)。众埠街矿区锰矿 化与铅锌矿化之间的成因联系不明,影响了对本区 成矿作用的系统认识,也制约了下一步找矿方向。

众所周知,精确测定热液矿床的成矿年代,对 总结成矿规律、正确认识矿床成因,指导勘查工作 都具有非常重要的作用(裴荣富等,1994;陈毓川 等,1994;刘建明等,1998;毛景文等,2000;2005; 2006;Stein et al.,2001;Zheng et al.,2017;2018)。铅 锌矿床由于缺少准确定年所需的矿物(张长青等, 2005;2009),其成矿年龄的精确测定一直较困难 (李文博等,2002)。随着高精度低检出限质谱仪及 制取超纯水和超纯酸等技术的出现,现已实现实验 流程的超低本底(5~6 pg),不仅一定程度上满足了 同源、同时、封闭性的测年基本条件,也可降低测试 本底误差,提高测试的精度(Li et al.,2006;侯明兰 等,2006;张长青等,2008;郑伟,2016)。目前,国内 外已经报道了不少成功的实例,例如,闪锌矿单矿物 Rb-Sr 法(Reesman et al.,1968;Brannon et al., 1992;Nakai et al.,1993;Pettke et al.,1996;张长青等,2008;胡乔青等,2012;郑伟等,2013a;Liu et al., 2015;2018;2019;周云等,2021;肖晓牛等,2022),以及闪锌矿中流体包裹体 Rb-Sr 法(Nakai et al., 1990)。利用闪锌矿 Rb-Sr 定年法可获得可靠且具有地质意义的成矿年龄。

本文采集了不同勘探线、不同钻孔、不同标高 的含铅锌矿脉样品,通过矿床地质特征、显微岩相 学、流体包裹体及氢氧同位素的研究,探讨成矿流 体的性质、成分及特征。选取主成矿阶段的闪锌矿 开展 Rb-Sr 同位素定年,精确确定成矿时代。

1 区域地质概况

钦州-杭州成矿带(简称钦杭带)是中国重要的 成矿带之一,隶属于扬子地块与华夏地块在新元古 代时期碰撞拼接所形成的板块结合带(毛景文等, 2011;图1)。钦杭成矿带内的有色金属、贵金属、稀 有金属、非金属等矿产在中国占有重要地位,是华南 地区重要的铜铅锌金银多金属成矿带(杨明桂等, 1997;2009),带内金铜铅锌铁等紧缺矿产资源找矿前 景良好,引起越来越多的关注和研究(毛景文等, 2004;Yuan et al.,2007;2018;周永章等,2012;2015; Mao et al.,2013;2014;郑伟,2013b;2017;2018;Zeng et al.,2015;Zhao et al.,2016;2017;赵海杰等,2021)。

众埠街铅锌多金属矿床位于钦杭结合带东段, 隶属于钦杭成矿带北带扬子陆缘前缘万年岛弧地 体内,北边为上高-乐平弧后蛇绿构造混杂断裂带, 南侧为德兴-弋阳弧间蛇绿构造混杂断裂带,新元 古界万年群为褶皱基底,构成北东向的复式背斜 (图1)。区域出露地层从老到新依次为新元古代地 层,岩性为千枚岩、变质砂岩等浅变质岩;早石炭 世—中三叠世地层,岩性以浅海为主,夹碎屑岩;晚 三叠世—白垩纪地层,岩性为陆相含煤碎屑岩、火 山碎屑岩、碳酸盐岩;第四系为冲洪相积层。

区域构造非常复杂,经历了晋宁期—加里东期



Fig. 1 Simplified tectonic division of Zhongbujie mining area

挤压造山、海西期一印支期拉张沉降、燕山期强烈的陆内岩浆活动、差异沉降。不同时期、不同层次及不同环境下形成的构造活动相互叠加,形成了晋 宁期近东西向紧闭基底褶皱+加里东期北东向网结 状韧(脆)性剪切变形带+燕山期差异沉降为特点的 基本格局(杨明桂等,2009)。

区域岩浆活动主要集中在晋宁期和燕山期,晋 宁期以超基性、中基性侵入—喷出岩为主,燕山期 为中酸性—酸性侵入岩、火山碎屑岩或熔岩,加里 东期—印支期的岩浆活动表现较弱(李红忠,2017)。 钦杭成矿带东段乐-德成矿亚带内的燕山期岩浆岩出 露分布格局显示,由北东向南西分布面积逐渐减小, 且以浅成相岩体为主,在北东如铜厂一带有浅成相的 斑岩侵入体出露,向南西至银山一带则主要出露喷出 相岩浆岩,而至乐平一带基本无岩浆岩出露,仅在局 部有超浅成相花岗斑岩小规模出露,这种分布格局 和岩性的空间变化说明钦杭成矿带东段乐-德成矿 亚带内中生代地质体总体受剥蚀程度较低,且由北 东向南西剥蚀程度下降(黄乾峰等,2015)。

2 矿床地质

矿区地层由老到新依次为:新元古界青白口系

万年群、石炭系、白垩系、第四系。新元古界青白口 系万年群程源组为一套以千枚岩为主夹变质粉砂 岩-细砂岩的岩石组合。石炭系黄龙组分上段、下 段,上段为灰岩,下段为白云质灰岩。白垩系分冷 水坞组和石溪组,冷水坞组岩性为砂岩、流纹岩及 流纹质凝灰岩,石溪组岩性为砾岩夹砂岩,砾石成 分为千枚岩及灰岩碎块。第四系为残坡积和冲积 层,由含砾粘土、砂质粘土组成(李红忠,2017)。

构造以断裂为主,可分为4组,为北东东—近东 西向、北北西—南北向、北西向和北北东向。矿区 岩浆岩主要有花岗斑岩、闪长岩、煌斑岩脉(图2)。

众埠街矿床存在锰和铅锌多金属 2 种矿化类型,空间位置上呈"上锰下铅锌"关系。锰矿体主要 呈似层状、层状,产于黄龙组灰岩底部与下伏新元 古界万年群浅变质岩不整合面之上。锰矿体呈台 阶状分布,按照矿体的赋存标高分为3个台阶,浅部 锰矿体称为Ⅰ台阶锰矿,中部为Ⅱ台阶锰矿,深部 为Ⅲ台阶锰矿(图3)。Ⅰ台阶锰矿体走向近南北 向,走向长900 m,倾向东,倾斜长83~347 m,沿走 向北缓南陡。Ⅰ台阶矿体在不整合面平缓位置厚 度大,不整合面陡峻位置厚度变薄,局部尖灭,陡峻 位置再往深部变缓处,出现Ⅱ台阶锰矿、Ⅲ台阶锰 矿(图3)。矿体平均水平宽度164 m。矿体埋藏深 度最浅41 m,最深393 m,矿体赋存标高-350~8 m。 Ⅰ台阶锰矿平均品位 Mn 22.89%,TFe 15.90%;Ⅱ 台阶铁锰矿石平均品位 Mn 19.63%,TFe 23.38%。

众埠街铅锌多金属矿是一个以铅锌为主,伴生银



1一第四系;2一白垩系冷水坞组砂岩、流纹岩及凝灰岩;3一白垩系石溪组厚层状砂砾岩;4一石炭系黄龙组上段灰岩;
5一石炭系黄龙组下段白云质灰岩;6一青白口系万年群程源组绢云千枚岩;7一花岗斑岩;8一闪长岩;9一整合地层界线;
10一实测断层及编号;11一推测断层及编号;12一铅锌矿勘探线及编号;13—采样钻孔及编号



因 5 放牛肉 匯 9 水 05 子 均 永 风 时 西 尔 志 因

Fig. 3 The geological cross-section of the exploration line No.83 in the Zhongbujie Mn polymetallic deposit

等多金属的隐伏矿床,分脉状及似层状2种。脉状铅 锌矿主要受北东向裂隙带控制,似层状铅锌产于锰 矿下盘不整合面的构造破碎带中,脉状铅锌矿为众 埠街铅锌矿床主要类型,资源储量占据了绝大部分。

脉状铅锌矿带长约 1200 m、宽 150~500 m,走向 20°~40°,总体倾向南东,倾角 65°~70°,倾向斜 长控制最深为 1100 m(图 4)。矿带内圈出铅锌工 业矿体 20 余条,矿体平均厚度 1.80~12.96 m,以 4~7 线矿体厚度最大,往两端矿带及矿体厚度都减 小。在 3 线垂直方向上,矿体向深部延深方向收拢, 条数减少,厚度增大的特征。

铁锰矿矿物组合有一定的分带性。不同台阶的锰矿矿石矿物不同, I 台阶锰矿石的矿石矿物以硬锰矿为主,有少量的软锰矿、水锰矿。 II、III 台阶锰矿石的矿石矿物为菱锰矿、菱铁矿、赤铁矿,少量的褐锰矿、软锰矿及水锰矿。锰矿石的结构有隐晶结构、胶状结构、鲕粒结构、乳浊结构等;构造有条带状构造、纹层状构造、叠层状构造、角砾状构造等。

铅锌矿石的矿物成分主要有金属硫化物、碳酸

盐、石英、绿泥石、绢云母等。矿石矿物主要有方铅 矿、闪锌矿、黄铁矿,偶见辉铜矿、磁黄铁矿、毒砂、 黄铜矿、赤铁矿、褐铁矿,脉石矿物主要为方解石、 绿泥石、石英、绢云母等。铅锌矿石结构为:半自形 晶—他形晶结构、交代溶蚀结构、碎裂结构。矿石 构造为脉状构造、浸染状构造、块状构造等。

众埠街锰矿石自然类型按氧化程度划分为:氧 化锰矿石和碳酸锰矿石。众埠街铅锌矿石自然类 型:按矿石结构、构造及有用矿物组成划分为脉状 方铅闪锌矿石(图5),按氧化程度,全部为原生硫化 矿石。矿石工业类型为原生硫化物铅锌混合矿石。

锰矿体上盘为白云质灰岩,与锰矿体呈渐变接触,锰矿体往上数十米内大都见有锰铁矿化,锰矿 矿化呈浸染状,靠近矿体锰铁矿化强,呈褐红色。 锰矿体下盘围岩为万年群浅变质岩,与锰矿体呈突 变接触,接触界面平整光滑。铅锌矿化蚀变主要有 硅化、绿泥石化、黄铁矿化、碳酸盐化等。根据蚀 变强弱和蚀变矿物组合,可将蚀变围岩划分出2个 蚀变带:硅化绿泥石化带和碳酸盐化绿泥石化黄铁





矿化硅化带,主要矿化赋存在后者,2个蚀变带 没有明显的界线,呈渐变的过渡关系。

研究矿物共生组合、矿石结构构造和各小 (细)脉的相互切割、穿插关系可知,将铅锌成 矿过程划分为2期,早期形成铅锌主矿体(工 业矿体)阶段,晚期叠加铅锌线(细)脉(非工 业矿体)阶段。早期成矿阶段可以分为3期, 即石英硫化物期、碳酸盐硫化物期和碳酸盐 期。石英硫化物期主要形成闪锌矿、方铅矿、 黄铁矿、石英等,该期为铅锌矿床主成矿期;碳 酸盐硫化物期以形成方解石、黄铁矿、方铅矿 为主,少量石英;碳酸盐期主要是生成碳酸盐 矿物,如方解石。

3 样品采集和分析方法

本次用于流体包裹体研究的 21 件样品取 自众埠街铅锌多金属矿床不同勘探线的多个 钻孔(ZK302、ZK7001、ZK702、ZK1101、 ZK301、ZK2301、ZK4011和ZK1901)不同位 置,这 21 件样品均为早期成矿阶段的石英硫 化物期、碳酸盐硫化物期和碳酸盐期。通过岩 相学研究,对代表性流体包裹体样品显微测 温,同时挑选部分样品进行了氢、氧同位素测 试分析。用于 Rb-Sr 同位素测年的闪锌矿样 品采自众埠街矿床 ZK302、ZK301、ZK7001、 ZK702、ZK2301五个钻孔,共计6件样品,这6 件样品为硫化物脉,脉幅 1~3 cm。

流体包裹体显微测温及氢-氧同位素测试 在南京宏创地质勘查技术服务有限公司分析测 试。测温工作使用仪器为 Likanam THSMG-600 型冷热台,测温范围为-196~600℃,精度



图 5 众埠街矿区脉状铅锌矿石 Fig. 5 Typical ore types of the Zhongbujie Pb-Zn polymetallic deposit

为±1℃。氢、氧同位素测试使用仪器为 MAT253 型 稳定同位素质谱仪,对石英进行氧同位素和流体包 裹体氢同位素分析。氢同位素分析使用连续流方 式进行分析,精度±1‰,氧同位素使用五氟化溴测 定,氢、氧同位素测试结果均以 SMOW 为标准。

闪锌矿的 Rb-Sr 同位素测年工作在中国地质 调查局武汉地质调查中心同位素地球化学实验室 完成。前处理步骤:①将样品破碎至 80~100 目,在 双目镜下挑选闪锌矿纯度达 99%。②将已挑纯的硫 化物单矿物样品放置稀盐酸中浸泡 12 h,超纯水清洗 后,放入超纯水中用超声波机清洗 3~5 遍,烘干备 用。③称取适量硫化物单矿物样品,加入⁸⁵ Rb+⁸⁴ Sr混 合稀释剂,用适量王水溶解样品,采用阳离子树脂 (Dowex50×8)交换法分离和纯化铷、锶。④用热电 离质谱仪 TRITON 分析 Rb、Sr 同位素组成,用同位 素稀释法计算试样中的 Rb、Sr 含量及锶同位素比值。

在整个同位素分析过程中,用 NBS987、NBS607 和 GBW04411 标准物质分别对仪器和分析流程进 行监控。NBS987 的⁸⁷ Sr/⁸⁶ Sr 同位素组成测定值为 0.71032 ±0.00004 (2 σ),与其标准值 0.71024 ± 0.00026(2 σ)在误差范围内一致;NBS607 的 Rb、Sr 含量与⁸⁷ Sr/⁸⁶ Sr 值分别为 Rb = 523.60×10⁻⁶, Sr = 65.54×10⁻⁶和⁸⁷ Sr/⁸⁶ Sr = 1.20050±0.00004(2 σ),与其 标准值(523.90±1.01、65.485±0.30、1.20039± 0.00020(2 σ)) 在误差范围内一致; GBW04411的 Rb、Sr含量与⁸⁷ Sr/⁸⁶ Sr 值分别为 Rb = 249.90×10⁻⁶、 Sr = 158.80×10⁻⁶和⁸⁷ Sr/⁸⁶ Sr = 0.76009±0.00003 (2 σ), 与其标准值(249.47±1.04、158.92±0.70、 0.75999±0.00020(2 σ)) 在误差范围内一致。同位 素分析样品制备的全过程均在超净化实验室内完 成,全流程 Rb、Sr 空白分别为 2×10⁻¹⁰和 5×10⁻¹⁰。 等时线年龄计算采用 Isoplot 软件(Ludwig,2003)。 其中衰变常数 λ 值为 1.42×10⁻¹¹a⁻¹,等时线回归计 算时⁸⁷ Rb/⁸⁶ Sr 值采用 0.5%误差,⁸⁷ Sr/⁸⁶ Sr 值采用 0.03%误差。

4 分析结果

4.1 岩相学特征

根据流体包裹体岩相学显微特征,结合在室温 下的相态及加热过程中的相变化特征,可将众埠街 铅锌矿床各成矿期的流体包裹体划分为三大类:富 液两相包裹体、富气两相包裹体和单相包裹体。

众埠街铅锌多金属矿床的流体包裹体主要为 I型富液气液两相包裹体,气液相比大多数为5%~ 15%,该类包裹体主要发育在石英-硫化物期的石英 中,大小不均一,长轴范围为2~20 μm,多呈长条 形、椭圆形、不规则形等(图6)。富气两相包裹体主 要发育在石英-硫化物期的石英中,气液相比为



图 6 众埠街铅锌矿床主要流体包裹体类型 Fig. 6 Types of fluid inclusions from the Zhongbujie Pb-Zn polymetallic deposit L_{H,0}一液相 H₂O;V_{H,0}一气相 H₂O;V_{CO2}一气相 CO2;Q一石英

51%~70%,大小不均一,形态呈椭圆形、长条形状。 石英-硫化物期主要为富液两相和富气两相包裹体,未见含双眼皮的富CO,包裹体、含子晶包裹体。

Ⅲ型单相包裹体,此类包裹体主要在碳酸盐阶段中出现,但是数量较少。主要为纯气相包裹体, 形态为椭圆形、不规则形等,长轴范围为4~20 μm。

4.2 流体包裹体热力学

采集了 8 个钻孔 21 个样品,有 7 个样品包裹体 较少或不见,未测得这 7 个样品的均一温度、冰点等 数据,最后获得了 6 个钻孔 14 个样品(不同孔深) 共计 83 组数据(表 1)。

用于测温的流体包裹体主要发育在早期成矿 阶段石英-硫化物期中的石英、碳酸盐期中的方解 石。测试和计算结果见表 2,其中盐度计算公式应 用 Hall et al.(1988)的方法得到,密度通过相关计 算公式(刘斌等,1987;卢焕章等,2004)求得。

石英-硫化物期石英中发育包裹体以富液两 相包裹体为主,加热时包裹体气泡逐渐减小,最后 消失,均一为液相。测得石英中富液两相包裹体 冰点温度为-3.7~-0.4℃,平均值为-2.2℃,相对 应的流体盐度为 0.7%~6% NaCl_{eqv},平均值为 3.7% NaCl_{eqv}。完全均一温度为 154~322℃,峰值 为 200~280℃(图 7)。石英中富气两相包裹体均 一温度为 272~321℃,平均为 296.5℃,冰点温度的





范围为-3.7~-2.3℃,平均值为-3.0℃,相对应的流体盐度范围为 3.9%~6% NaCl_{eqv},平均值为 4.95% NaCl_{eqv}(图 8)。碳酸盐阶段方解石内发育富液气液两相包裹体,均一温度介于 188~226℃之间,冰点温度的范围为-3.4~-1.3℃,对应盐度为 2.2%~ 5.6% NaCl_{evv}。

样品号	寄主矿物	成矿阶段划分	包裹体 数量 /个	类型	相比 /%	完全均— 温度 /℃	冰点 ⁄℃	盐度 /%NaCl eqv
ZK302-969.69	石英	石英−硫化物	9	V+L	10~15	274~322	-3.5~-2.5	4.2~5.7
ZK302-384.6	石英	石英-硫化物	5	V+L	10~15	212~257	-3.0~-1.8	3.1~5.0
ZK301-842.1	石英	石英-硫化物	5	V+L	10~15	198~278	-2.5~-0.8	1.4~4.2
ZK301-604.9	石英	石英−硫化物	4	V+L	10~20	221~289	-2.0~-1.4	2.4~3.4
ZK7001-948.7	方解石	碳酸岩盐	11	V+L	5~15	188~226	-3.4~-1.3	2.2~5.6
ZK7001-889.7	石英	石英-硫化物	5	V+L	10~15	189~221	-2.4~-1.2	2.1~4.0
ZK7001-677.7	石英	石英−硫化物	3	V+L	10	178~191	-2.1~-0.8	1.4~3.5
ZK702-769.7	石英	石英-硫化物	15	V+L	51~7 0	272~321	-3.7~-2.3	3.9~6.0
ZK702-708.5	石英	石英-硫化物	5	V+L	10~15	234~285	-2.6~-1.5	2.6~4.3
ZK702-667.5	石英	石英−硫化物	5	V+L	10~15	238~277	-2.9~-1.3	2.2~4.8
ZK1101-639	石英	石英−硫化物	5	V+L	5~15	175~204	-2.2~-0.8	1.4~3.7
ZK1101-544.1	石英	石英-硫化物	3	V+L	10~15	205~221	-1.2~-0.5	0.9~2.1
ZK2301-563.5	石英	碳酸盐硫化物	4	V+L	10~15	154~201	-1.4~-0.4	0.7~2.4
ZK2301-752.8	石英	碳酸盐硫化物	3	V+L	10	168~177	-1.5~-0.8	1.4~2.6

表 1 众埠街铅锌多金属矿床原生包裹体显微测温结果 Table 1 Microthermometry data of the fluid inclusions from the Zhongbujie Pb-Zn polymetallic deposit



图 8 众埠街铅锌矿床石英-硫化物成矿阶段流体包裹体盐度(a)和冰点(b)频率直方图 Fig. 8 Cumulative frequency histograms of salinities(a) and freezing points(b) for fluid inclusions in quartz and calcite from the Zhongbujie Pb-Zn polymetallic deposit

同一成矿阶段(石英硫化物阶段)3~7 勘探线 样品(ZK302、ZK301、ZK7001、ZK702)的流体包裹 体完全均一温度比 11~23 线(ZK1101、ZK2301)的 峰值要高,3~7 线样品的均一温度峰值为 190~ 280℃,11~23 线样品的均一温度峰值为 170~ 210℃。不同深度的流体均一温度不同,同一钻孔深 部的均一温度比上部的样品温度高(图9)。 位素分析结果见表 2。测试的石英 δD_{v-SMOW} 值变化 范围为-75.4‰~-58.1‰, $\delta^{18}O_{v-SMOW}$ 值变化范围为 14.9‰~12.6‰。结合流体包裹体测温结果,利用矿 物-水同位素分馏方程 1000ln $\alpha_{\overline{A}\overline{p}-x}$ =3.38×10⁶/ T^2 -3.40 (Clayton et al., 1972),计算出成矿流体的 $\delta^{18}O_{H_{2}O}$ 值为 1.0‰~8.1‰。

4.4 闪锌矿 Rb-Sr 同位素组成

4.3 氢氧同位素

本次氢氧同位素分析测试了4件样品,氢、氧同

众埠街矿区闪锌矿锶同位素的测试结果(表 3) 显示,闪锌矿的 Rb 含量较低,变化范围为 0.0377×



表 2 众埠街铅锌多金属矿床石英氢-氧同位素组成

 Table 2
 H–O isotopic analyses of quartz from the Zhongbujie

 Pb–Zn polymetallic deposit

样品号	矿物	δD _{V-SMOW} δ	0 ¹⁸ O _{V-SMOW}	$\delta^{18}O_{H_2O}$	温度 /℃
		-74.1	14.9	/ 700	302
ZK302-969.69	石 英	-75.4		8.1	302
ZK302-384.6	石英	-64.9	12.9	3.4	238
ZK7001-889.7	石英	-58.1	12.6	1.0	202

10⁻⁶~0.9123×10⁻⁶, Sr 含量为 0.0384×10⁻⁶~3.114× 10⁻⁶。同位素比值⁸⁷ Rb/⁸⁶ Sr 变化范围较大,介于 0.8455~18.50 之间,平均值为 6.5401, *I*_{sr}值变化较 小,介于 0.6937~0.7163 之间,平均值为 0.709。

闪锌矿的 Rb-Sr 同位素分析结果所示。采用 Ludwig 的 Isoplot 计算,获得的 6 个闪锌矿测试数 据,其中 4 个闪锌矿样品构成很好的线性关系(图 10),得到等时线年龄为 359 ±7 Ma。样品 1 和样品 3 由于样品量少,提纯到的闪锌矿纯度较低,测得的 数据可信度低,故这 2 件样品数据未进行等时线年 龄计算。

5 讨 论

5.1 成矿时代

本次进行 Rb-Sr 同位素分析的 6 件铅锌硫化 物脉样品,为同条或平行的铅锌矿体,具备同源、同 时、封闭性和一致性的前提条件。选择未见裂隙, 且结晶较好的矿石矿物为研究对象,这样闪锌矿纯 度较高,最大程度地满足了 Rb-Sr 同位素测年的前 提条件。本次选取了 6 件符合要求的样品,剔除了 闪锌矿纯度较低的 2 件样品。从图 10 可看出,4 个 样点几乎全部落在等时线上(Rb-Sr 等时线年龄 *t*=359±7 Ma),说明矿石矿物形成过程中锶同位素 是均一的,而且得到了很好的封闭,因此拟合的等 时线年龄具有很高的精度。

锰矿体呈层状,严格受黄龙组与万年群的不整 合面控制,在不整合面平缓处矿体厚度较大,在陡 峻处矿体厚度较薄、甚至缺失,充分表明锰矿成矿 受不整合面古地形控制的特征。矿石尚见锰质与 碳酸盐、硅质岩和砂泥质相间而成的沉积微层理构 造。锰矿层的矿物成分简单,仅为一套沉积作用的 矿物组合,矿层与围岩界线清晰,未见热液蚀变(顾 连兴,1987)。正因为锰矿是沉积作用成矿,说明锰 矿成矿时代早于上覆盖层黄龙组的年龄。根据区域 地质资料,赣东北黄龙组为晚石炭世地层(318.1~ 299.0 Ma)(中国区域地质志·江西志,2017),新元 古代至泥盆纪众埠街区域一直处于剥蚀区,未有地 层沉积,故锰矿的成矿时代为中—晚石炭世。前面 实验所做的闪锌矿 Rb-Sr 等时线年龄(t=359±7 Ma),表明铅锌矿早期成矿阶段的成矿年龄为359 ± 7 Ma, 略早于锰矿。

5.2 成矿物质来源

⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 值是判断成岩成矿物质来源的重要指标,在矿床地质研究中常利用其来示踪成矿物质来源、岩浆流体、深源流体的壳幔混染作用(侯明兰等,2006)。为避免放射性⁸⁷Rb 衰变对锶同位素造成显著影响,将成矿时代换算到 359 Ma,采用软件Geokit(路远发,2004)分别对硫化物进行了初始同位素计算(表 3)。从表 3 可以看出,众埠街矿床闪锌矿等时线年龄给出的初始同位素比值非常接近,且比值较高,介于 0.6937~0.7163 之间,平均值为 0.709,小于大陆地壳锶同位素⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 平均值 0.719 (孙省利,2001),而高于地幔 Sr 的初始值 0.707 (Faure,1986),显示成矿物质来源为壳幔混合。矿

表 3 众埠街铅锌多金属矿床闪锌矿 Rb-Sr 同位素组成

Table 3	Rb-Sr	isotopic	analyses	of	sphaler	ite fro	m the	Zhongh	ouiie	Pb-	-Zn	polvmetalli	ic depos	sit

样品序号	样品位置	样品名称	Rb/10 ⁻⁶	Sr/10 ⁻⁶	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	$^{87}{ m Sr}/^{86}{ m Sr}$	2σ	$I_{\rm Sr}$
1	ZK302-756.1	闪锌矿	0.4062	0.1277	9.203	0.7407	0.000027	0.6937
2	ZK302-969.69	闪锌矿	0.2437	0.0384	18.5	0.8086	0.00103	0.7141
3	ZK7001-601.5	闪锌矿	0.0337	0.0428	2.27	0.7137	0.00011	0.7021
4	ZK702-688.9	闪锌矿	0.5053	0.2659	5.499	0.7444	0.0018	0.7163
5	ZK301-604.9	闪锌矿	0.9123	3.1140	0.8455	0.7182	0.00004	0.7139
6	ZK2301-590.7	闪锌矿	0.7600	0.7512	2.923	0.7288	0.00009	0.7138



图 10 众埠街铅锌多金属矿床闪锌矿 Rb-Sr 同位素等时线图 Fig. 10 Rb-Sr isochron of sphalerite from the Zhongbujie Pb-Zn polymetallic deposit

区闪锌矿 δ^{34} S 值为 1.1‰~3.0‰, 黄铁矿 δ^{34} S 值为 1.7‰~3.5‰, 显示金属硫化物的 δ^{34} S 分布范围较 窄, 硫同位素组成较稳定, 指示成矿物质来源于深 源岩浆(蒋江波等, 2019)。

5.3 成矿流体来源与演化

不同成矿阶段流体的物理化学性质差异可能 是由于成矿流体的来源和演化不同所致,而氢和氧 同位素是示踪成矿流体来源的有效手段(Hoefs, 1997;郑永飞等,2000;Pirajno,2009)。4 件石英脉 样品的δ¹⁸O_{fluid}值为 1.0%~8.1‰,与岩浆水的范围 (5.5‰~9.5‰)相当或稍低,δD_{SMOW}值(-58.1‰~ -75.4‰)低于岩浆水(-80‰~-40‰)(Sheppard, 1986)。在δ¹⁸O-δD图解(图 11)中,众埠街矿化阶 段的氢、氧同位素投点落在岩浆水与大气降水之 间,且略向大气降水线漂移,可能与两者之间发生 的氢氧同位素平衡交换反应有关。在氧同位素组 成分布图(图 12)中,众埠街成矿流体δ¹⁸O_{fluid}值分 布范围较窄,与岩浆水十分接近。综合分析表明, 众埠街成矿流体主要为岩浆水,并混入一定量的大 气降水。

5.4 锰矿床与铅锌矿床成因联系

前人认为,锰矿和铅锌矿是同一成矿系统(顾 连兴,1987)。蒋江波等(2019)认为,锰矿体锰矿体 与铅锌矿体是在不同时代、不同地质背景下形成的 2个独立成矿系统。

锰矿成矿作用表现为明显的沉积作用特征。 锰铁碳酸盐、富锰石英岩与硅质层、紫红色泥砂岩 层、粉砂质泥质层交互,说明锰矿的成矿环 境为氧化环境的近陆潮坪沉积。少量脉状 锰矿石穿切角砾状锰矿石,锰矿石中的交代 残余主要为低价态锰矿物,如褐锰矿交代锰 铁碳酸盐矿物,说明锰矿仅受到后期小规模 还原环境热液作用的影响。

铅锌矿的成矿作用为明显的热液成矿 作用,铅锌矿石均为脉状,穿切万年群的片 理,穿切闪长玢岩,金属硫化物为致密块状, 闪锌矿温度计显示其成矿温度为中温,但矿 物粒径均较细小,说明矿物结晶快速,应为 近地表的浅成环境;铅锌矿石中未观察含有 氧化锰类矿物,早、晚期金属硫化物脉也缺

乏高价硫矿物,说明铅锌矿的成矿始终保存了还原 环境,这与锰矿前期为氧化环境,后期为还原环境 的情况有本质差别。

综合分析表明,众埠街铅锌矿床为岩浆热液型 矿床,成矿年龄为359±7 Ma,锰矿床为沉积型矿床 (蔡报元等,2017;中国区域地质志·江西志, 2017),形成年龄为318.1~299.0 Ma。铅锌矿的成 矿年龄略早于锰矿,两者在产出空间、时间上存在 明显差异,应为没有成因联系的两类矿床。





同位素关系图(底图据 Sheppard, 1986; Taylor, 1997)



the Zhongbujie Pb-Zn polymetallic deposit



图 12 众埠街铅锌多金属矿床氧同位素组成分布图(底图据 Sheppard, 1986;郑永飞等, 2000)

Fig. 12 Distribution of δ^{18} O values of hydrothermal fluids from the Zhongbujie Pb–Zn polymetallic deposit

6 结 论

(1)众埠街矿床存在锰和铅锌多金属 2 种矿化 类型,空间位置上呈"上锰下铅锌"关系。锰矿床为 沉积型矿床,铅锌矿为岩浆热液型矿床,产出空间、 时间上存在明显差异,应为无成因联系的两类矿床。

(2)众埠街铅锌多金属矿床流体包裹体主要为 Ⅰ型富液相流体包裹体,均一温度为154~310℃,盐 度为0.70%~5.70% NaCl_{eqv},为低温低盐度流体。 众埠街铅锌多金属矿床流体主要为岩浆水,后期有 大气降水加入。

(3) 众埠街铅锌矿成矿期为早石炭世,成矿年 龄为 359±7 Ma。闪锌矿的锶同位素初始比值非常 接近,介于 0.6937~0.7163 之间,平均值为 0.709,指 示成矿物质可能来源于壳幔混合源区。

致谢:感谢中国地质科学院矿产资源研究所郑 伟博士对论文的悉心指导,感谢审稿专家对论文提 出的许多宝贵意见。

参考文献

- Brannon J C, Podosek F A, McLimans R K.A Permian Rb-Sr Age for Sphalerite from the Upper Mississippi Valley Zinc – Lead District, southwest Wisconsin [J].Nature, 1992, 356: 509–511.
- Clayton R N, O'Neil J R, Mayeda T K. Oxygen Isotope Exchange between Quartz and Water [J].Journal of Geophysical Research, 1972, 77(17): 3057–3067.
- Faure G. Principles of Isotope Geology [M]. John Wiley & Sons (2nd edition), 1986: 183-199.
- Hall D L, Sterner S M, Bodnar R J. Freezing point and depression of NaCl-KCl-H₂O solution[J].Economic Geology,1988,83(1): 197–202.

Hoefs J. StableIsotope Geochemistry [M]. 4th Edition. Berlin: Springer Verlag, 1997: 1–201.

- Li W B, Huang Z L, Yin M D.Dating of the Giant Huize Zn-Pb Ore Field of Yunnan Province, Southwest China: Constraints from the Sm-Nd System in Hydrothermal Calcite [J]. Resource Geology, 2006, 57 (1): 90–97.
- Liu J, Wu G, Qiu H N, et.al.⁴⁰ Ar/³⁹ Ar Dating, Fluid Inclusions and S–Pb Isotope Systematics of the Shabaosi Gold Deposit, Heilongjiang Province[J].China.Geol.J.,2015,50: 592–606.
- Liu J, Li T G, Duan C.Rb–Sr Isochron Dating and Isotopic Geochemistry Characteristics of the Bajiazi Large Gold Deposit, Jilin Province China[J]. Acta Geologica Sinica., 2018, 92: 1432–1446.
- Liu J, Zhang L J, Wang S L, et al. Formation of the Wulong Gold Deposit, Liaodong Gold Province, NE China: Constraints from Zircon U-Pb Age, Sericite Ar-Ar Age, and H-O-S-He Isotopes[J]. Ore Geology Reviews, 2019, 109: 130–143.
- Ludwig K R. User's Manual for Isoplot/ex. Version 3. 00: a Geochronological Toolkit for Microsoft Excel [M]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2003,4: 1–70.
- Mao J W, Cheng Y B, Chen M H, et al. Major Types and Time-space Distribution of Mesozoic Ore Deposits in South China and their Geodynamic Settings[J].Minerium Deposita,2013,48: 267–294.
- Mao J W, Pirajno F, Lehmann B, et al. Distribution of Porphyry Deposits in the Eurasian Continent and their Corresponding Tectonic Settings[J]. Journal of Asian Earth Science, 2014, 79: 576–584.
- Nakai S, Halliday A N, Kesler S E, et al. Rb-Sr Dating of Sphalerites from Tennessce and the Genesis of Mississippi Vally -type Ore Deposit[J]. Nature, 1990, 346: 354-357.
- Nakai S, Halliday A N, Kesler S E, et al. Rb–Sr Dating of Sphalerites from Mississippi Vally – type (MVT) Ore Deposit [J]. Geochemica et Cosmochimica Acta, 1993, 57: 417–427.
- Pettke T, Diamond L W. Rb Sr Dating of Sphalerite Based on Fluid Inclusion-host Mineral Isochrons; a Clarification of Why it Works[J]. Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic

Geologists, 1996, 91(5): 951-956.

- Pirajno F. Hydrothermal Processes and Mineral System [M]. Berlin: Springer, 2009: 1-125.
- Reesman R H. The Rb-Sr Analysis of Some Sulfide Minneralization[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1968, 5: 23-26.
- Sheppard S M F.Characterization and Isotopic Variations in Natural Water[J]. Reviews in Mineralogy, 1986, 16(1): 165–183.
- Stein H J, Markey R J, Morgan J W, et al. The Remarkable Re Os Chronometer in Molybdenite: How and Why it Works [J]. Terra Nova, 2001, 13: 479–486.
- Taylor H P. Oxygen and Hydrogen Isotope Relationships in Hydrothermal Mineral Deposits [C]//Barnes H L. Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits [M]. 3rd Edition. New York, John Wiley, 1997: 229–302.
- Yuan S D, Peng J T, Shen N P, et al.⁴⁰ Ar –³⁹ Ar Isotopic Dating of the Xianghualing Sn – polymetallic Orefield in Southern Hunan and its Geological Implication [J]. Acta Geologica Sinica, 2007, 81 (2): 278–286.
- Yuan S D, Mao J W, Zhao P L, et al. Geochronology and Petrogenesis of the Qibaoshan Cu – polymetallic Deposit, Northeastern Hunan Province: Implications for the Metal Source and Metallogenic Evolution of the Intracontinental Qinhang Cu–polymetallic Belt, South China[J]. Lithos, 2018, 302/303: 519–534.
- Zeng C Y, Zhou Y Z, Zheng Y, et al. Plate Tectonism of Qinzhou Bay– Hangzhou Bay Juncture Orogenic Belt (South China) before Mesozoic Tectonic Transition Event[J].Earth Science Frontiers,2015,20(2): 54–63.
- Zhao P L, Yuan S D, Mao J, et al. Geochronological and Petrogeochemical Constraints on the Skarn Deposits in Tongshanling Ore District, Southern Hunan Province: Implications for Jurassic Cu and W Metallogenic Events in South China[J]. Ore Geology Reviews, 2016, 78: 120–137.
- Zhao P L, Yuan S D, Mao J W, et al. Zircon U–Pb and Hf–O Isotopes Trace the Architecture of Polymetallic Deposits: a Case Study of the Jurassic Ore–forming Porphyries in the Qin–Hang Metallogenic Belt, China []]. Lithos, 2017, 292/293: 132–145.
- Zheng W, Mao J W, Zhao H J, et al. Geochemistry, Sr Nd Pb Hf Isotopes Systematics and Geochronological Constrains on Petrogenesis of the Xishan A–type Granite and Associated W–Sn Mineralization in Guangdong Province, South China[J]. Ore Geology Reviews, 2017, 88: 739–752.
- Zheng W, Yu X F.Geochronological and Geochemical Constraints on the Petrogenesis and Geodynamic Setting of the Daheishan Porphyry Mo Deposit, Northeast China[J].Resource Geology, 2018, 68: 1–21.
- 蔡报元,李红忠,欧阳淇生,等.江西省乐平市众埠街锰矿地质特征及 外围找矿方向[J].矿产与地质,2017,31(5):903-907.
- 陈毓川,王平安,秦克令,等.秦岭地区主要金属矿床成矿系列划分及 区域成矿规律探讨[J].矿床地质,1994,13(4):289-298.
- 顾连兴.江西乐华层状锰矿与脉状铅-锌矿的成因联系[J].地质论评, 1987,33(3):267-274.
- 侯明兰,蒋少涌,姜耀辉,等.胶东蓬莱金成矿区的 S-Pb 同位素地球

化学和 Rb-Sr 同位素年代学研究[J]. 岩石学报, 2006, 22(10): 2524-2533.

- 胡乔青,王义天,王瑞廷,等.陕西凤太矿集区二里河铅锌矿床的成矿 时代:来自闪锌矿 Rb-Sr 同位素年龄的证据[J].岩石学报,2012,28 (1):258-266.
- 黄乾峰,张云蛟,戴塔根,等.区域地质体空间分布格局对矿田找矿潜 力指示探讨——以江西乐华多金属矿田为例[J].矿物学报,2015 (增刊):21-22.
- 蒋江波,吴堑虹,张云蛟,等.江西乐华锰铅锌矿床中层状锰矿与脉状 铅锌矿成因联系[J].矿产与地质,2019,33(4):613-622.
- 江西省地质矿产勘查开发局.中国区域地质志江西志[M].北京: 地质 出版社,2017.
- 李红忠,蔡报元,龚兴,等.江西省乐平市众埠街铅锌矿床地质特征及 找矿方向[J].矿产与地质,2017,31(6):1048-1053.
- 李文博,黄智龙,许德如,等.铅锌矿床 Rb-Sr 定年研究综述[J].大地 构造与成矿学,2002,26(4):436-441.
- 刘斌,段光贤.NaCl-H₂O溶液包裹体的密度式和等容式及其应用[J]. 矿物学报,1987,7(4):345-351.
- 刘建明,沈洁,赵善仁,等.金属矿床同位素精确定年的方法和意义[J]. 有色金属矿产与勘查,1998,7(2):107-113.
- 卢焕章,范宏瑞,倪培,等.流体包裹体[M].北京:科学出版社,2004: 1-492.
- 路远发.Geokit: 一个用 VBA 构建的地球化学工具软件包[J].地球化 学,2004,33(5):459-464.
- 毛景文,王志良.中国东部大规模成矿时限及其动力学背景的初步探 讨[J].矿床地质,2000,19(4):289-296.
- 毛景文,谢桂青,李晓峰,等.华南地区中生代大规模成矿作用与岩石 圈多阶段伸展[J].地学前缘,2004,11(1):45-55.
- 毛景文,谢桂青,张作衡,等.中国北方中生代大规模成矿作用的期次 及其地球动力学背景[J].岩石学报,2005,21(1):169-188.
- 毛景文,胡瑞忠,陈毓川,等.大规模成矿作用与大型矿集区[M].北 京:地质出版社,2006:58-70.
- 毛景文,陈懋弘,袁顺达,等.华南地区钦杭成矿带地质特征和矿床时 空分布规律[J].地质学报,2011,85(5):636-658.
- 表荣富,吴良士.金属成矿省演化与成矿[J].地学前缘,1994,1(3/4): 95-99.
- 孙省利.西秦岭泥盆系西成矿化集中区烃碱流体成矿系列研究[D]. 成都理工学院博士学位论文,2001:43-44.
- 肖晓牛,邢波,余新明,等.闽中梅仙矿集区丁家山铅锌矿床成矿时代 厘定及成矿物质来源:来自闪锌矿 Rb-Sr 同位素的证据[J].地质 通报,2022,41(11):2026-2034.
- 杨明桂,梅勇文.钦-杭古板块结合带与成矿带的主要特征[J].华南地 质与矿产,1997,3:52-58.
- 杨明桂,黄水保,楼法生,等.中国东南陆区岩石圈结构与大规模成矿 作用[J].中国地质,2009,36(3):528-543.
- 张长青,毛景文,吴锁平,等.川滇黔地区 MVT 铅锌矿床分布、特征及 成因[J].矿床地质,2005,24(3):336-348.
- 张长青,李向辉,余金杰,等.四川大梁子铅锌矿床单颗粒闪锌矿铷锶 测年及地质意义[J].地质论评,2008,54(4):145-151.
- 张长青,余金杰,毛景文,等.密西西比型(MVT)铅锌矿床研究进展[J].

矿床地质,2009,28(2):195-210.

- 赵海杰,郑伟,欧阳志侠,等.钦杭成矿带南段阳春盆地中侏罗世钨铅 锌矿床的厘定及意义[J].岩石学报,2021,37(3):927-942.
- 郑伟,陈懋弘,赵海杰,等.广东天堂铜铅锌多金属矿床 Rb-Sr 等时线 年龄及其地质意义[J].矿床地质,2013a,32(2):259-272.
- 郑伟,赵海杰,陈懋弘,等.广东鹦鹉岭多金属矿床辉钼矿的 Re-Os 同 位素定年及其意义[J].矿物岩石,2013b,33(3):38-46.
- 郑伟.云开地区阳春盆地燕山期多金属矿床成矿系列[D].中国地质 大学(北京)博士学位论文,2016:1-298.
- 郑伟,欧阳荷根,赵海杰,等.广东锡坪钼铜多金属矿床辉钼矿 Re-Os 同位素定年及其地质意义[J].岩石学报,2017,33(3):843-858.

- 郑伟,欧阳志侠,陈友良,等.钦杭成矿带南段旗鼓岭铜钨钼多金属矿 床的辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及成矿物质来源[J].地质学报, 2018,92(1):94-106
- 郑永飞,陈江峰.稳定同位素地球化学[M].北京:科学出版社,2000: 143-192.
- 周永章,曾长育,李红中,等.钦州湾一杭州湾构造结合带(南段)地质演 化和找矿方向[J].地质通报,2012,31(2/3):486-491.
- 周永章,郑义,曾长育,等.关于饮-杭成矿带的若干认识[J].地学前缘,2015,22(2):1-6
- 周云,段其发,曹亮,等.湖南花垣矿集区李梅铅锌矿床闪锌矿 Rb-Sr 定 年与成矿物质示踪[J].地球科学与环境学报,2021,43(4):661-673.

《地质通报》第42卷第10期要目预告

共和盆地自生自储型氮气的初步发现	陈建洲等
柴达木盆地北缘中段侏罗系页岩有机质孔隙演化特征	张云鹏等
桂林岩溶地貌发育演化过程地文期的解析研究	罗书文等
银额盆地额济纳旗伊很乌苏地区下白垩统巴音戈壁组的微体化石及沉积环境	白宇明等
国家管辖范围外区域海洋空间规划	王子昂等
甘孜-理塘蛇绿混杂岩带晚三叠世洋岛型岩石组合识别及其构造意义:来自岩石学、地球化学和年代学的证据	严松涛等
于奇东地区断裂体系发育特征	靳加林等
贵州中三叠世拉丁期兴义动物群云贵龙属一新材料头骨特征	… 鲁昊等
复杂造山带多尺度构造变形的观测方法——来自南天山库米什地区研究的启示	… 冯乾文
赣西七宝山钻铅锌矿床碧玉岩的发现及对矿床成因的制约	孙建东等
滇东南荒田钨矿床成矿流体来源及演化:来自白钨矿地球化学的约束	周瑞辉等
广西镇龙山岩浆热液成矿系统——来自成矿流体、成矿物质的证据	陈港等
基于自然解决方案的黄河中游国土空间生态修复——以陕西省榆林市国土空间生态修复为例	郭迟辉等
西藏易贡高位远程滑坡研究进展与展望	… 袁浩等
基于 SBAS-InSAR 和改进 BP 神经网络在城市地面沉降中的预测研究	周定义等
福建龙海市土壤营养元素全量特征及有效量预测	·· 赵辰等