安徽铜陵新桥铜金矿床黄铁矿Rb/Sr同位素年龄数据

——燕山晚期成矿作用的证据

王彦斌[1)] 唐索寒[1)] 王进辉[1)] 曾普胜[2)] 杨竹森[2)] 蒙义峰[2)] 田世洪[2)]

1）中国地质科学院地质研究所，北京，100037； 2）中国地质科学院矿产资源研究所，北京，100037

内容提要 本文采用亚样品取样和Rb/Sr同位素方法对安徽铜陵新桥铜—硫—铁—金矿床层状矿体矿石矿物——黄铁矿直接进行Rb-Sr等时线法测定，获得了112.6±7.8Ma的Rb-Sr等时线年龄，它代表了主成矿期成矿作用的时代。结合已有地质资料认为燕山晚期成矿作用在新桥铜—硫—铁—金矿床的形成中居重要作用。

关键词 铜陵新桥铜矿 成矿时代 黄铁矿 Rb-Sr等时线

安徽铜陵新桥铜—硫—铁—金矿床位于我国著名的铜陵矿集区内，其成矿时代和矿床成因的研究一直受到关注。而该区成矿时代和矿床成因的认识主要有两种：① 认为成矿时代为燕山期，铜—硫—铁—金矿与燕山期岩浆活动有关（冶金工业部地质局南京地质勘探公司803队❶）；② 认为主体成矿时代为石炭纪，与石炭纪海底喷流沉积有关，燕山期岩浆热液叠加（徐克勤等，1978；顾连兴等，1986；Gu et al.，2000）。所有这些争论主要是由于不能准确确定矿床主成矿期成矿时代。其成矿到底主要是岩浆控矿（燕山期岩浆活动）为主，还是地层控矿（海西期火山喷发形成为主）为主。因此采用先进的方法准确可靠地测定矿床的成矿时代是确定矿床成因的关键之一。而矿床形成时代的精确测定一直是矿床地质学研究的一个难点，本矿区由于缺乏辉钼矿、云母类矿物，阻碍了应用Re-Os、Ar-Ar等新方法进行成矿时代的精确定年。近年来，利用矿石矿物（如：闪锌矿、黄铁矿）或与成矿有关的脉石矿物（如萤石）的Rb-Sr同位素体系来直接获得成矿年龄已获得成功（Nakai et al.，1990；Brannon et al.，1992；Tretbar et al.，2000；Yang et al.，2001；杨进辉等，2000）。由于新桥铜—硫—铁—金矿床矿体主要由黄铁矿矿石组成，所以本文采用直接测定矿石矿物黄铁矿的Rb-Sr同位素年龄，以探究金属矿床硫化物同位素直接定年是否可行以及新桥铜—硫—铁—金矿床的成因。

1 矿床地质

新桥铜—硫—铁—金矿床位于长江中下游成矿带铜陵矿集区铜陵—顺安东西向基底断裂的南侧，舒家店背斜南西倾伏端与大成山背斜北东倾伏端的斜列交汇地带。根据区域褶皱叠加过程及卷入的地层时代，认为在印支期形成的NE向褶皱基础上，燕山运动早期（侏罗纪）受近南北向挤压，形成近EW向褶皱（Zhai et al.，1996）。一些NNE走向的小尺度的褶皱叠加在先存的NE向褶皱上，这些褶皱形成在晚燕山期（白垩纪）。近南北向的新桥—木镇隐伏断裂是本区的基底深断裂，矿区断裂构造主要为NE向层间断裂和NW向的三条横断层，前者为成矿主要构造，是矿液活动和沉淀的良好空间；后者为成矿后断裂。

矿体按野外产状分为矿区内占主体的层状矿体和规模较小的夕卡岩矿体。层状矿体底板为上泥盆统五通组上段（D_3w^2）砂页岩，顶板为下二叠统栖霞组或上石炭统船山组的灰岩。矿体主要占据了上石炭统黄龙组、部分上石炭统船山组灰岩和少部分火成岩体（石英二长闪长岩）的空间。主矿体呈似层状产于上石炭统黄龙组下部白云段中，走向长2550m，倾向延伸1810m，垂直平均厚度21m，产状与围岩一致。但是沿矿体和赋矿地层接触带，矿体与中石炭统

注：本文为国土资源部国际合作与科技司重点项目（编号 20010209）、地质调查项目（编号 200110000004）和国土资源部专项（编号 20010103）的成果。

收稿日期：2003-12-25；改回日期：2004-04-06；责任编辑：章雨旭。

作者简介：王彦斌，男，1966年生。研究员，从事同位素地质年代学和地球化学研究工作。通讯地址：100037，北京市西城区百万庄大街26号，中国地质科学院地质研究所；电话：010—68999763；Email：yanbinw@cags.net.cn。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

黄龙组、部分上石炭统船山组灰岩普遍存在局部穿切关系。矿体上盘下二叠统栖霞组粉砂岩角砾还被矿体胶结(Xu et al.,2001)。层状矿体的矿石类型主要是以含铜黄铁矿矿石为主。矿石中金属矿物主要为黄铁矿、胶黄铁矿、磁黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、菱铁矿等，脉石矿物主要为石英、白云石、方解石以及少量硬石膏、石膏、重晶石等。在岩体接触带附近还出现蛇纹石、石榴子石、透辉石。围岩蚀变主要有黄铁矿化、绿泥石化、夕卡岩化、大理岩化、硅化、绢云岩化、高岭石化等。

矿区内规模远较层状矿体小的夕卡岩矿体产于矶头岩株与灰岩的接触带上，受接触带控制。该岩珠为两相侵入体，岩相上，该岩珠中心为石英闪长岩，边部为石英闪长斑岩。钻孔资料显示岩株侵入上石炭统黄龙组到下二叠统栖霞组灰岩－260m 到－500m 标高，与侵入体有关的夕卡岩蚀变和硫化物矿化普遍。岩体接触带大理岩化和角岩化较强。矿体呈透镜状或不规则状，规模较小，远离岩体有尖灭之趋势。主要矿石类型为磁铁矿矿石。矿床从石英闪长岩到侵入体到碳酸盐岩的矿化分带为：磁铁矿化带——→黄铁矿、黄铜矿化带——→含金方铅矿矿化带——→闪锌矿矿化带，并认为矿化分带归因于与侵入有关的热液流体的演化(赵一鸣等,1997)。矶头岩株石英闪长岩的锆石 SHRIMP 的 U-Pb 年龄精确为140Ma(王彦斌等,2004)，其闪长玢岩的成岩年龄为110Ma (全岩 K-Ar 年龄，翟裕生等,1992)。

2　实验方法和结果

新桥矿区以黄铁矿矿石为主体，次为黄铁矿型铜矿石。空间上的分布规律是菱铁矿、铅锌矿石在外，黄铁矿型铜矿石在中，磁铁矿矿石及叠加的磁铁矿型铜矿石在内。矿石金属矿物以黄铁矿为主(占90%以上)，其次为磁黄铁矿、黄铜矿、磁铁矿、方铅矿、闪锌矿、菱铁矿等。显微镜下黄铁矿可分为3个世代：世代Ⅰ，胶状黄铁矿，主要黄铁矿中常见胶状黄铁矿之残余，前者是后者重结晶的产物；世代Ⅱ，中粗粒自形或半自形黄铁矿，以立方体为特征，该时代黄铁矿矿石为块状；世代Ⅲ，少量细粒黄铁矿呈脉状穿插。

采集新桥铜矿层状主矿体的大小为15×10×10 cm^3的黄铁矿矿石样品，矿石矿物主要为黄铁矿(占90%以上)。经过在显微镜下观察，挑选第Ⅱ世代的同期黄铁矿样品11件。将样品(15×10×10 cm^3)分别取不同部位样品和亚样品粉碎至80～100目(杨进辉等,2000)，然后在双目显微镜下挑选出纯度大于99%的第Ⅱ时代黄铁矿。

在玛瑙钵中将挑选出的黄铁矿粉碎至200目，用盐酸在超声波振动器内清洗10～12 h，再用去离子水冲洗3～5次，干燥后称取0.5 g 左右样品于 Teflon 烧杯中，加入 Rb、Sr 稀释剂，用氢氟酸和硝酸混合酸溶解。待样品完全溶解后，蒸干。用盐酸溶解样品，溶液载入 Dowex50w×8(H^+)(200～400目)离子交换柱，分离 Rb、Sr 和其他元素。收集 Rb、Sr 解析液，蒸干。

Rb、Sr 同位素分析在中国地质科学院地质研究所同位素实验室 MAT-261固体同位素质谱计上完成，实验流程见文献(张宗清等,2002)。Sr 同位素质量分馏用$^{88}Sr/^{86}Sr=8.37521$校正。标准测定结果：NBS987 $SrCO_3$的$^{87}Sr/^{86}Sr=0.710229\pm13(2\sigma)$。Rb/Sr 比值测定精度1%－2%。Rb，Sr 流程空白10^{-9}～10^{-10}g。黄铁矿单矿物 Rb-Sr 同位素分析结果见表1。

表 1　铜陵新桥铜金矿床黄铁矿 Rb-Sr 年龄同位素分析结果

Table 1　Rb-Sr isotopic data for pyrite samples from Xinqiao Cu-Au deposit, Tongling

样品号	Rb ($\times10^{-6}$)	Sr ($\times10^{-6}$)	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr\pm2\sigma$
XQ-1	3.052	3.560	2.482	0.715156±0.000018
XQ-2	5.410	5.835	2.685	0.715861±0.000024
XQ-3	1.793	5.373	0.9661	0.713014±0.000018
XQ-4	2.666	4.511	1.712	0.714249±0.000011
XQ-5	1.506	2.844	1.533	0.713654±0.000013
XQ-6	2.066	3.096	1.932	0.714251±0.000035
XQ-7	1.043	3.384	0.8923	0.712716±0.000010
XQ-8	0.770	3.019	0.7389	0.712462±0.000012
XQ-9	3.264	3.471	2.723	0.715746±0.000014
XQ-10	5.197	3.728	4.036	0.717714±0.000013
XQ-11	1.503	2.844	1.533	0.713654±0.000013

年龄用 Ludwig (1999) 的 ISOPLOT 程序，$\lambda(^{87}Rb)=1.42\times10^{-11}a^{-1}$，采用误差$^{87}Rb/^{86}Sr=1.5\%$，$^{87}Sr/^{86}Sr=0.01\%$计算。其结果见图1，黄铁矿单矿物 Rb-Sr 等时线年龄为112.6±7.8Ma，$I_{sr}=0.71131\pm0.00023$，MSWD=3.0。

3　成矿时代的讨论

对黄铁矿进行的微量元素分析结果为(单位为μg/g，应用中国地质科学院国家地质实验测试中心 Excell 仪器分析)：Rb，0.31～0.94；Sr，2.65～3.18；Co，1.37～29.4；Ni，7.38～14.6；Ti，7.05～

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

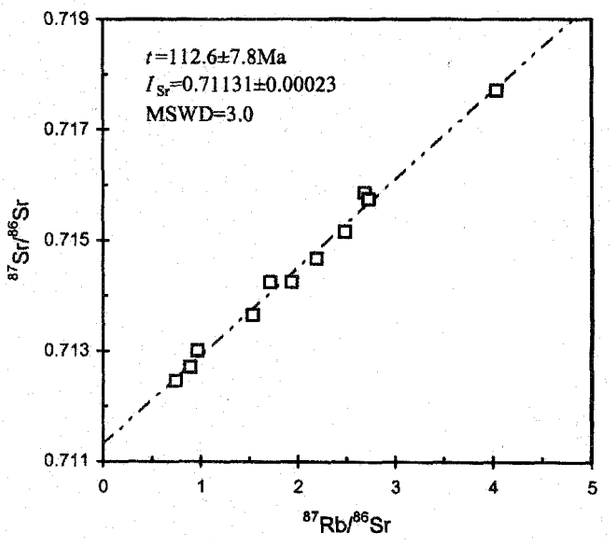

图1 新桥铜金矿床黄铁矿的 Rb-Sr 等时线年龄

Fig. 1 Rb-Sr diagram for analyses of pyrite from Xinqiao Cu-Au deposit

57.1；V，0.4～2.0；Cr，28.0～63.1；Cu，17.2～225；Pb，12.9～30.0；Zn，60.3～63.1。黄铁矿中 Rb、Sr 含量很低，黄铁矿中 Rb、Sr 等微量元素主要以包裹体形式(Lueders et al.，1999，Lindaas et al.，2002)或机械混入物形式赋存在矿物的晶格间或吸附在矿物的表面(陈光远等，1989)。成矿过程中，黄铁矿结晶温度高(227～320℃)在中温热液条件下迅速结晶并形成完好晶形，从而保持良好的封闭状态，不再受热液的影响(陈光远等，1989，杨进辉等，2000)。黄铁矿亚样品的 Rb-Sr 同位素年龄(113 Ma)代表了主成矿期成矿作用的时代。

谢华光等(1995)报道新桥铜硫矿层状主矿体含铜黄铁矿矿石6件样品的 Rb-Sr 同位素等时线年龄为313±33Ma，笔者对其数据又用 ISOPLOT(2.10版)重新计算为313±93Ma，I_{Sr}=0.7103±0.0012，MSWD=102，由于矿石在热液成矿过程中，热液流体处于开放非平衡体系，其获得的年龄数据是成矿热液与矿石进行物质交换、同位素混合作用的产物，而且此年龄误差较大，笔者认为此年龄值不具有定年意义。而本文采用的亚样品测年方法不同于从同一地质体不同采样位置采样进行测年的传统方法，而是在一块较大手标本(15cm 内)的不同部位取亚样品，它比地质体不同空间位置所采样品更可能在成矿作用过程中达到同位素初始比值的均一，有利于达到同位素平衡，可以获得较为合理的等时线。

众所周知，在地壳演化过程中，成矿过程总是受到一个特定区域内的重要构造—热事件或其他异常地质事件的影响和制约。依据新的同位素资料和已有的区域成矿背景地质资料(毛景文等，2004；周涛发等，2000；曾普胜等，2002；杨竹森等，2002)。笔者等初步认为新桥矿床成矿过程有三期成矿作用：① 第一期为中石炭世"矿胚层"形成阶段。中石炭世沉积作用形成硫化物矿胚层，硫同位素分析证明原同生沉积的硫化物和膏盐参与到成矿系统(Xu. G et al.，2001；Zhai et al.，1992)；② 第二期为早白垩世(140 Ma)，夕卡岩矿体产于矶头石英闪长岩岩株与灰岩的接触带上，受接触带控制，矿化分带归因于与侵入有关的热液流体的演化(赵一鸣等，1997)。而与接触交代成矿有关的矶头岩株石英闪长岩的锆石 SHRIMP 的 U-Pb 年龄精确为140Ma(王彦斌等，2004)，矶头岩株石英二长闪长岩的锆石结晶年龄代表这一期夕卡岩矿体的成矿年龄。③ 第三期为早白垩世晚期(110Ma)，本研究利用矿石矿物黄铁矿 Rb-Sr 同位素直接测定的新桥铜金矿床主成矿时代(113Ma)，与地质事实相符。由于选择的同位素样品黄铁矿采自层状矿体，远离矶头岩株，黄铁矿亚样品的 Rb-Sr 同位素年龄(113Ma)代表了主成矿期成矿作用的时代，即新桥铜金矿床主成矿期热液成矿作用发生在约113Ma。这一年龄与矶头岩株边部相闪长斑岩的成岩年龄110Ma (全岩 K-Ar 年龄，Zhai et al.，1992)几乎同时。上述同位素年龄说明燕山晚期成矿作用是新桥铜—硫—铁—金矿床成矿十分重要的时期。

4 结论

(1) 采用亚样品取样和直接应用硫化物矿物(如黄铁矿)对新桥铜—硫—铁—金类型的矿床进行 Rb/Sr 同位素方法测定，可以获得矿石矿物的成矿年龄。

(2) 新桥铜金矿床主成矿期热液成矿作用发生在约113Ma。

致谢 本文的研究工作一直得到张宗清研究员的指导和帮助，野外工作则得到侯增谦研究员的指导和帮助，作者表示诚挚的感谢。

注 释

❶ 冶金工业部地质局南京地质勘探公司803队. 1971. 安徽省铜陵县新桥铜硫铁矿储量报告.

参 考 文 献

陈光远，邵伟，孙岱生. 1989. 胶东金矿成因矿物学与找矿. 重庆出

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

版社，1～452.

顾连兴，徐克勤. 1986. 论长江中下游中石炭世海底块状硫化物矿床. 地质学报，60(2):176～188.

毛景文，Holly Stein，杜安道，周涛发，梅燕雄，李永峰，藏文栓，李进文. 2004. 长江中下游地区铜金(钼)矿 Re-Os 年龄测定及其对成矿作用的指示. 地质学报，78(1):121～131.

王彦斌，刘敦一，蒙义峰，曾普胜，杨竹森，田世洪. 2004. 安徽铜陵新桥铜—硫—铁—金矿床中石英闪长岩和辉绿岩锆石 SHRIMP 年代学及其意义. 中国地质，31(2):169～173.

徐克勤，朱金初. 1978. 我国东南部几个断裂拗陷带中沉积(或火山沉积)热液叠加类铁铜矿床成因的探讨. 福建地质科技情报. 4:1～68.

杨竹森，侯增谦，蒙义峰，王训诚，曾普胜，田世洪，姜章平，姚孝德. 2002. 安徽铜陵矿集区流体系统与成矿. 矿床地质，21(增刊):1080～1083.

谢华光，王文斌，李文达. 1995. 安徽新桥铜硫矿床成矿时代及成矿物质来源. 火山地质与矿产，16(2):101～107.

杨进辉，周新华. 2000. 胶东地区玲珑金矿矿石和载金矿物 Rb-Sr 等时线年龄与成矿时代. 科学通报，45(14):1547～1553.

周涛发 岳书仓. 2000. 长江中下游铜、金矿床成矿流体系统的形成条件及机理. 北京大学学报，36(5):697～707.

翟裕生，姚书振，林新多. 1992. 长江中下游铁铜(金)成矿规律. 北京:地质出版社，1～235.

赵一鸣，林文蔚，毕承思，张轶南. 1997. 中国含金夕卡岩矿床的分布和主要地质特征. 矿床地质，16(3):193～203.

张宗清，张国伟，唐索寒. 2002. 南秦岭变质地层同位素年代学. 北京:地质出版社，1～256.

曾普胜，裴荣富，侯增谦，蒙义峰，杨竹森，王训诚，田世洪，徐文艺，姜章平. 2002. 安徽铜陵地块沉积—喷流块状硫化物矿床. 矿床地质，21(增刊):532～535.

References

Brannon J C, Podosek F A, McLimans R K. 1992. Alleghenian ageofthe Upper Mississippi Valley zinc-lead deposit determined by Rb-Sr dating of sphalerite. Nature, 356:509～511.

Chen Guangyuan, Shao wei, Sun Daisheng. 1989. Genetic mineralogy of gold deposits in Jiaodong region with emphasis on gold prospecting. Chongqing: Chongqing Pub. House, 1～452 (in Chinese with English abstract).

Gu L X, Hu W X, He J X. 2000. Regional variations in ore composition and fluid features of massive sulphide Deposits in South China: Implications for genetic modelling. Episodes, 23 (2): 110～118.

Gu L X, Xu K Q. 1986. On the carboniferous submarine massive sulphide deposits in the lower reaches of the Changjiang (Yangtze) River. Acta Geologica Sinica, 60(2): 176～188(in Chinese with English abstract).

Ludwig K R. 1999. User manual for Isoplot/Ex, version 2.10, a geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochronological Centre Special Publication No. 1a.

Lindaas S E, Kulis J, Campbell. 2002. Near-infrared observation and microthermometry of pyrite-hosted fluid inclusions. Economic Geology, 97, 603～618.

Lueders V, Ziemann M, 1999. Possibilities and limits of infrared light microthermometry applied to studies of pyrite-hosted fluid inclusions. Chemical Geology, 154:169～178.

Nakai S, Halliday A N, Kesler S E. 1990. Rb-Sr dating of sphalerites from Tennessee and the gnesis of Mississippi Valley type ore deposits. Nature, 346: 354～357.

Pan Yuanming, Dong Ping. 1999. The Lower Changjiang (Yangtze Revier) metallogenic belt, east central China: intrusion-and wall rock-hosted Cu-Fe-Au, Mo, Zn, Pb, Ag deposits. Ore Geology Reviews, 15,177～242.

Tretbar D R, Arehart G B, Christensen J N. 2000. Dating gold deposition in a Carlin-type gold deposit using Rb/Sr methods on the mineral galkhaite. Geology, 28:947～950.

Xu Keqin, Zhu Jinchu. 1978. Origin of the sedimentary (or volcanosedimentary)iron-copper deposits in some fault depression belts in Southeast China. Fujian Geology, (4): 1～68(Chinese text).

Xie Huaguang, Wang Wenbin, Li Wenda. 1995. The genesis and metallogenetic epoch of Xinqiao Cu-S deposit, Anhui. Volcanology & Mineral Resources, 16(2): 101～107(in Chinese with English abstract).

Xu G, Zhou J. 2001. The Xinqiao Cu-S-Fe-Au deposit in the Tongling mineral district, China: synorogenic remobilization of a stratiform sulfide deposit. Ore Geology Reviews, 18: 77～94.

Wang Yanbin, Meng Yifeng, Zeng Pusheng, Yang Zhusen, Tian Shihong. 2004. SHRIMP U-Pb geochronology from Xinqiao Cu-S-Fe-Au deposit in the Tonglin Mineral district, Anhui. Geology in China, 31(2):169～173(in Chinese with English abstract).

Yang Jinhui, Zhou Xinhua. 2000. Rb-Sr isochron ages of pyrite and ore from Linglong gold deposits and their geological significances. Chinese Science Bulletion, 2000, 45(14): 1547～1553 (in Chinese).

Yang Jin-Hui, Zhou Xin-Hua. 2001. Rb-Sr, Sm-Nd, and Pb isotope systematics of pyrite: Implications for the age and genesisof lode gold deposits. Geology, 29:711～714.

Yang Zhusen, Hou Zengqian, Meng Yifeng, Wang Xuncheng, Zeng Pusheng, Tian Shihong, Jiang Zhangping and Yaoxiaode. 2002. Regional-scale fluid system and its mineralization in Tongling ore-cluster-area, Anhui. Mineral Deposits, Supp. 21:1080～1083.

Zeng Pusheng, Pei Rongfu, Hou Zengqian, Meng Yifeng, Yan Zhusen, Wang Xuncheng, Tian Shihong, Xu Wenyi, Jiang Zhangping. 2002. SEDEX-type massive sulfide deposits in Tongling block, Anhui, China. Mineral Deposits, Supp. 21:532～535.

Zhai Y S, Yao S Z, Lin X D. 1992. The Metallogeny of the Fe-Cu (Au) Deposits in the Middle—Lower Yangtze Region. Beijing: Geological Publishing House, 1～235 (in Chinese) Zhai Y S, Xiong Y L, Yao S Z, Lin X D. 1996. Metallogeny of copper and iron deposits in the Eastern Yangtze Craton, east-central China. Ore Geol. Rev. 11, 229～248.

Zhang Zongqing, Zhang Guowei, Tang Suohan. 2002. Geochronology of metamorphic sequences from Southern Qinling. Beijing: Geological Publishing House, 1～256.

Zhao Yiming, Lin Wenwei, Bi Chengsi, et al. 1997. The distribution and geological characteristics of auriferous skarn deposits in China. Mineral Deposits, 16(3): 193～203 (in Chinese with English abstract).

Zhou Taofa, Yue Shucang. 2000. Forming conditions and mechanism for the fluid ore-forming system of the copper, gold deposits in the middle and lower reaches of the Yangtze River Area. Universitatis Pekinensis, 36(5):697～707(in Chinese with English abstract).

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Rb-Sr Dating the Pyrite of the Xinqiao Cu-S-Fe-Au Deposit, Tongling, Anhui Province

WANG Yanbin[1)], TANG Suohan[1)], WANG Jinhui[1)], ZENG Pusheng[2)], YANG Zhusen[2)], MENG Yifeng[2)], TIAN Shihong[2)]

1) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing*, 100037

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

Abstract

Significant effort has been made in an attempt to date hydrothermal activity that generated the Xinqiao Cu-S-Fe-Au deposit in Tongling. New direct Rb-Sr dating of pyrite from the deposit provides direct timing constraints on sulfide and gold mineralization. Pyrite samples yield a Rb-Sr isochron age of 112.6±7.8Ma. It is concluded that the Xinqiao polymetallic deposit was formed by hydrothermal solutions related to late Yanshanian plutonism (110 Ma). Results obtained for the deposit indicate that the Rb-Sr geochronometer has a potential to directly date mineralization in stratabound sulfide deposits.

Key words: Rb-Sr dating; pyrite; Tongling mineral district; Xinqiao Cu-S-Fe-Au deposit; Anhui

（上接第537页） SAFOD 主孔采取从地面到2200 m 深为垂直钻井，随后向地震震源区转向倾斜打钻，终孔于4000 m 深的圣安德列斯断层震源区内。主孔的工程和观测项目划分为三个阶段进行，采取了钻井—观测—钻井—观测，最后深入到震源区内进行20年长期观测的独特的程序。观测内容包括地震、流体压力、温度、应变、倾斜等多种项目，2004年5月继续开始进行主孔钻井以及各种观测（Zoback et al.，1998，2004）。SAFOD 采取开放式管理，仅在2000年，就有近10所美国国内外大学和科研单位参加先导孔进行的各种观测与研究并取得多项科研成果，每年发表10篇以上的论文。其中，J. Andres Chavarria 和 Peter Malin 等人（2003）发表的，利用井下观测地震转换波得到的圣安德列斯断层2～4 km 规模的次级断裂系统精确定位，其精度靠地面观测是绝对无法达到的。

3 中国大陆科学钻探深井长期地球物理综合观测规划与前景

综上所述，深井长期观测是现代地球科学的发展方向，也是我国地学界当前势在必行的创新科技项目。目前，进行中的中国大陆科学钻探工程（简称 CCSD）为我国首次开展深井长期观测提供了最好的机遇。

CCSD 工程现场位于华北、华南块体交界的苏鲁超高压变质带内，郯庐断裂带东侧。以科学研究为主要目标的 CCSD 不仅进行全岩心取样分析和各种测井，最终将在5000 m 主孔底部设置仪器，对我国东部的地震、地球物理场状态及变动进行十五年的长期综合观测研究（Xu et al.，1998）。通过深井仪器进行的直接观测，将揭示大陆地壳深部的物质组成与结构构造，探索地下深部应力、地球物理场状态与变化，监测地震活动，揭示地震发生规律，观察研究全球性环境变化与变迁等多学科研究。近年来对苏鲁超高压变质带的研究虽然已经取得一些科研成果（徐纪人等，2003，2004；赵志新等，2004），但是仅有地面观测已经无法支持更深入的研究。深井长期观测将推动地学研究中长期未能解决的，如超高压变质带的俯冲折返机制等重大基础科研问题的研究。此外，作为伸入地球内部“望远镜”和“显微镜”，CCSD 深井观测将监视郯庐断裂带等活动构造的地壳运动，在减轻地震、地质灾害，实现地震预报等方面发挥重要的作用。从长远看，它将为我国资源、环境、灾害预防以及科研等方面提供科学资料，发挥积极作用。

根据上述宗旨和中国大陆科学钻探实施状况，在充分调查研究了世界深井观测状况与进展的基础上，我们制定了 CCSD 深井长期综合观测规划。计划充分利用已有的 CCSD 预先导孔以及即将完成的5000 m 主孔，引进并设置井下综合观测仪器，进行高感度地震以及高精度应变、地磁、倾斜、地温等地球物理场的长期观测与研究。根据国外经验，深井观测站可以监视周围100 km 范围内的0级左右极微震活动；水晶温度计可以达到1/1000℃的观测精度；应变仪的观测精度可达10^{-10}，均比地面观测精度高出1～2个数量级。CCSD 主孔深井观测站设置成功后，将成为世界最深的长期观测站。在仪器设置前，计划利用可回收智能型应变仪进行不同深度的初期应力测量。该技术属于世界先进水平，其优点为可以在不破坏井壁的情况下高精度测量应力值（Ishii et al.，2002）。

CCSD 深井地震、地球物理长期观测将连续进行15年，分为三个五年计划进行。第一个五年期间要完成预先导孔与主孔内仪器设置、预观测，最终进入正常观测；建立数据库，逐步实现资料共享；进行深井不同深度上的垂直与地面水平的对比观测等多项观测研究项目（Xu et al.，2004）。

（下转第553页）

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net