

青海省风火山地区砂岩铜矿成矿时代的 裂变径迹热年代学证据

杨祖龙¹ 张德全² 余宏全² 丰成友²

(1. 湖北国土资源职业学院, 湖北 荆州 434000;

2. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037)

提 要: 风火山盆地古近纪和新近纪沉积包括下部连续沉积的早始新世—早渐新世风火山群和早渐新世雅西措群, 以及不整合其上的早中新世五道梁群。风火山地区的砂岩铜矿全部产于风火山群 1 岩组的灰(绿)色砂岩层中。采自风火山群 1 岩组含矿层和非含矿层中的 3 个磷灰石样品, 分别获得了(22.5±2.3) Ma、(33.1±6.0) Ma 和(28.0±3.6) Ma 的裂变径迹年龄数据。其中 33.1~28.0 Ma 代表了该地区砂岩铜矿的成矿年龄, 22.5 Ma 则代表了成矿后构造热事件的年龄。风火山砂岩铜矿的成矿年龄处在其上覆的雅西措群沉积年龄范围内, 显示砂岩铜矿是盆地早期沉积物压实脱水流体的产物。

关 键 词: 砂岩铜矿; 成矿年龄; 裂变径迹; 风火山

中图分类号: P618.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-36579(2008)02-0293-05

2001—2003 年, 按照中国地质调查局的部署, 青海省地质调查院对风火山盆地砂岩铜矿开展了调查评价工作, 大致查明了二道沟、托托敦宰、日阿尺等地质矿化体的规模、产状及分布情况^[1]。笔者对上述矿化体及其围岩中的磷灰石进行了裂变径迹热年代测定, 对查明该区砂岩铜矿成矿的时代和研究矿床成因有着重要意义。

1 区域地质及矿床地质概况

风火山盆地位于昆仑山和唐古拉山之间, 是青藏高原腹地的古近纪和新近纪沉积盆地, 金沙江缝合带呈近东西向沿风火山盆地中心地带的基底中通过。近年来, 通过立典性的研究, 在地层层序、时代、沉积环境和沉积充填史, 盆地性质及其与高原地壳缩短关系等方面都取得了重大进展^[2-4]。盆地基底由三叠系、二叠系和石炭—二叠系浅变质岩系组成(图 1), 盆地古近纪和新近纪沉积盖层包括下部连续沉积的风火山群^[4]和雅西措群^[3]以及上部的五道梁群, 上下两套地层之间的接触关系显示为角度不整合,

总厚度达余万米。风火山群沉积于始新世—早渐新世, 分布于盆地的中心(图 1), 是风火山盆地中分布最广的一套地层单元, 主要由河流—湖泊—扇三角洲形成的砂岩、泥岩和砾岩组成, 夹灰绿色含铜砂岩、灰黑色生物碎屑灰岩, 下部夹少量灰白色薄层状石膏岩, 厚度大于 5000 m; 雅西措群(早渐新世)主要见于风火山群的北侧(图 1), 局部见于盆地南部, 为湖泊—河流相泥岩、含膏泥岩与粉砂岩、细砂岩韵律互层, 岩层中普遍夹有石膏薄层和石膏结核层, 厚度为 670 m; 五道梁群大多零星分布在盆地的南北两侧(图 1), 表现为一套内陆湖泊相碳酸盐岩沉积, 发育少量扇三角洲相砂岩、未固结砂泥以及底砾岩沉积, 并在局部地区发育黑色油页岩, 地层时代为早中新世。

风火山群是该区砂岩铜矿的含矿地层, 自下而上分为 3 个岩组: 砂岩夹灰岩组(1 岩组)、砂岩组(2 岩组)和砂砾岩组(3 岩组)。其中砂岩夹灰岩组(1 岩组)是风火山群中分布最广的岩石单元, 最大厚度 5176 m, 是该地区砂岩型铜矿的最主要的含矿层

收稿日期: 2007-10-10; 改回日期: 2007-12-03

基金项目: 科技部“十一五”国家科技支撑计划项目(2006BAB01A06)资助。

作者简介: 杨祖龙, 男, 1965 年生, 讲师, 从事矿产勘查和岩土工程专业教学和研究; E-mail: yangor1005@163.com。

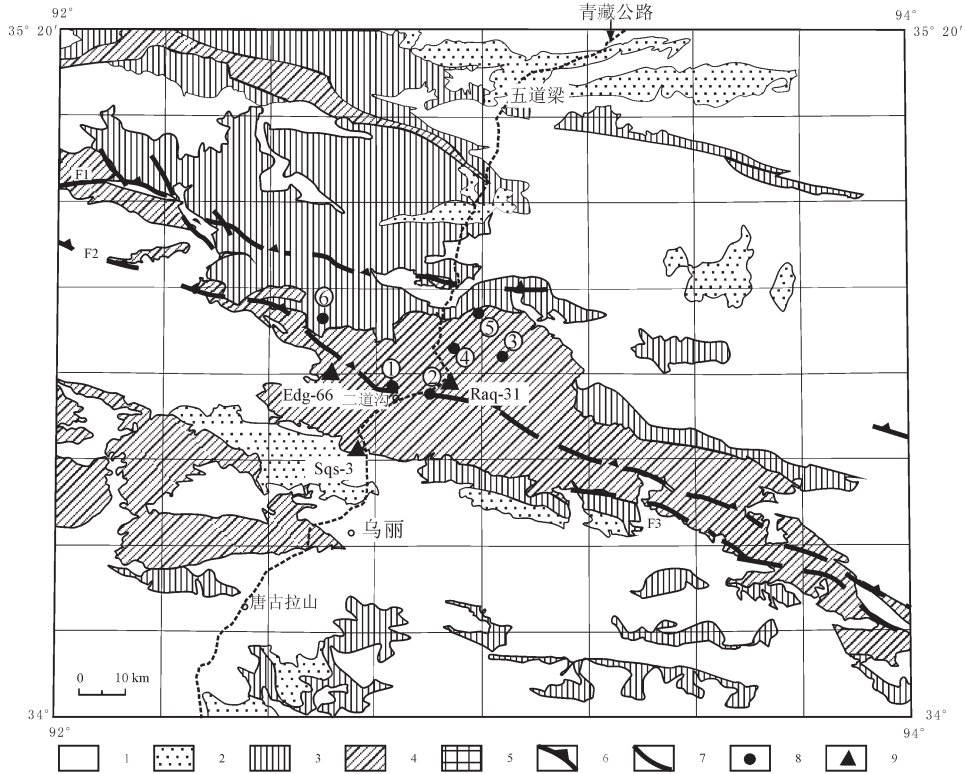


图 1 风火山地区地质略图

1—第四系;2—五道梁群;3—雅西措群;4—风火山群;5—三叠—二叠系;6—深大断裂;7—区域断裂;8—砂岩铜矿产地;
 9—裂变迹样品采样位置;①—二道沟(Cu);②—日阿曲(Cu);③—托托敦宰(Cu);④—风火山北坡(Cu);
 ⑤—达底尕首(Cu);⑥—扎麻西孔(Cu-Ag);F1—西金乌兰湖—歇武断裂带(金沙江—红河断裂带的北界断裂),
 F2—苟鲁山克措—玉树断裂带(金沙江—红河断裂带的南界断裂),F3—羊曲河—囊谦断裂带

Fig.1 Geological sketch map of the Fenghuoshan area.

1-Quaternary;2-Wudaoliang Group;3-Yaxicuo Group;4-Fenghuoshan Group;5-Triassic-Permian;6-Deep fault;
 7-Regional fault;8-Sandstone copper occurrence;9-Location of fission track samples;①-Erdaogou(Cu);②-Riaqu(Cu);
 ③-Tuotodunzai (Cu);④-North slope of Fenghuoshan (Cu);⑤-Dadiduoshou (Cu);⑥-Zhamaxikong (Cu-Ag);
 F1-Xijir Ulan Lake-Xiwu fault (northern boundary fault of the Jinsha River-Red River fault belt);F2-Goulushan-
 Yusu fault (southern boundary fault of the Jinsha River-Red River fault belt);F3-Yangqu River-Nangqen fault

位。该岩组中的岩类的颜色有红色和灰(绿)色,铜矿化全部赋存于灰(绿)色的砂岩中。构成铜矿(化)体的含矿岩石为灰(绿)色中厚层钙质中细粒(含铜)长石石英砂岩、灰(绿)色(含铜)含砾砂岩、灰(绿)色粉砂岩等。

野外观测发现,风火山群和雅西措群以及盆地基底岩系中发育一系列走向 NWW 的逆冲断层(图 1)和紧闭褶皱,褶皱两翼地层倾角陡,通常在 50~80°。不整合在风火山群和雅西措群之上的五道梁群仅发育很弱的后期变形作用,其地层产状平缓(倾角一般小于 30°),表明风火山群和雅西措群经历的强烈后期变形作用主要是发生在雅西措群沉积之后、五道梁群沉

积之前(晚渐新世时期,约 23 Ma)^⑤。这期变形作用不但造成了二道沟—五道梁地区南北地壳的强烈短缩,也使风火山地区的砂岩铜矿层发生了变形;矿层被褶皱重复出现、被断裂破坏和产生位移。

风火山地区的砂岩铜矿主要分布于二道沟(Cu)、日阿曲(Cu)、托托敦宰(Cu)、风火山北坡(Cu)、达底尕首(Cu)和扎麻西孔(Cu-Ag)等地(图 1)。在上述矿区中,铜矿化全部呈层状或似层状体,产于风火山群 1 岩组中一下部的灰(绿)色砂岩中,从而构成走向 NWW、顺层分布的矿化带。矿化带走向上很稳定,通常长为 1~10 km,最长者达 30 km。单个矿体一般长 400 m 左右,厚大多在 1~4 m,

往深部延伸不大,平均含 Cu 1%~4%,矿体产状与地层产状一致。除扎麻西孔矿区属 Cu、Ag 共生矿体外,其余矿区均为单一铜矿体。原生带中的矿石矿物主要是辉铜矿,少量黄铁矿、铜蓝、黄铜矿,偶见方铅矿、闪锌矿、斑铜矿、辉银矿、自然铜、自然铋等。辉铜矿是风火山地区所有铜矿体最常见的矿石矿物,其常呈各种不同形态的集合体充填在岩石中的碎屑孔隙之间,且与重结晶的碳酸盐矿物共生。

常见的与矿化有关的热液蚀变主要是碳酸盐化,碳酸盐化蚀变主要表现为浅灰绿色含铜砂岩的胶结物中有大量重结晶方解石(含量通常为 10%~15%),它们多呈浸染状、团块状、各种枝叉状、网状集合体,与辉铜矿共生产出,偶见方解石交代长石碎屑。特别是在方解石中有原生流体包裹体,从而可以确定这些方解石的热液成因。

2 成矿年龄——磷灰石的裂变径迹定年

2.1 样品及其试验结果

在该研究区共采集了 3 个样品(图 1):Sqs-3 样品采自风火山盆地南部桑恰山西青藏公路沿线剖面,紫红色含砾砂岩(河床沉积),无矿;Raq-31 样品采自风火山日阿曲 Tc1 探槽中的砂岩铜矿石,含辉铜矿约 2%;Edg-66 采自风火山二道沟 VI 号矿带中段剖面含矿层顶部,灰绿色含砾砂岩,Cu $30 \times 10^{-6} \sim 35 \times 10^{-6}$ 。层序对比可知,Sqs-3 样品位于盆地的最下部层位(风火山群 1 岩组下部),Raq-31 样品位于 Sqs-3 样品之上的主含矿层下部(风火山群 1 岩组中—上部),Edg-66 样品采自于含矿层顶部(风火山群 1 岩组中—上部),位于 Raq-31 样品之上。

上述样品均在中国科学院高能物理研究所分析研究室完成,首先进行磷灰石精选(将样品粉碎,用掏洗、磁选、重液等常规方法分离出磷灰石),然后将

磷灰石颗粒在聚四氟乙烯板上,滴调配好的环氧树脂,再烘干固化。磷灰石在恒温 25℃ 的 6.6% HNO₃ 溶液中蚀刻 30 s。采用外探测器法定年,将低铀白云母贴在光薄片上,与 SRM 962 标准铀玻璃一起构成定年组件。样品均置于反应堆内辐照,照射的中子注量为 1×10^{16} 中子/cm²。之后将云母外探测器置于 25℃ 的 HF 中蚀刻 35 min,揭示诱发裂变径迹。

实验结果见表 1,本次试验外探测器白云母记录的径迹数 Nd=6269,标准铀玻璃的外探测器云母记录的裂变径迹密度 $\rho_d = 10.15 \times 10^5$ 。

$$T = \ln(1 + \zeta g \lambda_d \rho_d \rho_s \rho_i^{-1}) / \lambda_d$$

$$\sigma = T [1/N_s + 1/N_i + 1/N_d + (\delta \tau / \zeta)]$$

P(χ^2)为松分布检验值(单位%),当 P(χ^2)>5% 时样品年龄为组合年龄,P(χ^2)≤5% 时为平均年龄。其中, ρ_s 为矿物中 U²³⁸ 自发裂变径迹密度(单位 10⁵/cm),Ns 为所测径迹数; ρ_i 为云母外探测器记录的矿物中 U²³⁵ 诱发裂变径迹密度(单位 10⁵/cm),Ni 为所测径迹数; γ_{si} 为 Ns 和 Ni 之间的相关系数; λ_d 为 U²³⁸ 的衰变常数 ($1.55125 \times 10^{-10}/a$); ζ 是实验室磷灰石定年的 Zeta 常数;g 为几何因子。

2.2 实验结果及讨论

此次在研究区获得的磷灰石裂变径迹年龄(表 1)分别为(22.5±2.3) Ma(Sqs-3 样品),(33.1±6.0) Ma(Raq-31 样品),(28.0±3.6) Ma(Edg-66 样品)。

刘志飞等^[9]通过磁性地层年龄测定结果给出的年龄数据为:风火山群 1 岩组下部河流相沉积于 56.0~52.0Ma(相当于 Sqs-3 样品所在的层位)、1 岩组中—上部湖相沉积(即含矿层)形成于 52.0~46.7Ma(相当于 Raq-31 和 Edg-66 样品所在的层位)、风火山群 2 岩组(河流及扇三角洲相)为 46.7~39.7Ma、风火山群 3 岩组(河流相为主)为 39.7~32.0

表 1 风火山地区磷灰石裂变径迹分析结果

Table 1 Fission track analysis of apatite from the Fenghuoshan area

样号	样品层位	$\rho_s(Ns)$	$\rho_i(Ni)$	γ_{si}	P(χ^2)/%	T/Ma	所在地层年龄 ^[9] /Ma
Sqs-3	风火山群 1 岩组下部紫红色含砾砂岩	2.280(112)	17.570(863)	0.84	91.2	22.5±2.3	56.0~52.0
Raq-31	风火山群 1 岩组中—上部砂岩铜矿石	5.114(38)	26.782(199)	0.98	31.0	33.1±6.0	52.0~46.7
Edg-66	风火山群 1 岩组中—上部含矿层顶部紫红色砂岩	4.537(324)	31.004(2214)	0.50	0	28.0±3.6	52.0~46.7

Ma;整合覆盖于风火山群之上的雅西措群的磁性地层年龄为 32.0~30.0 Ma;不整合于雅西措群之上的五道梁群为 23.0~16.0 Ma。3 件样品的裂变径迹年龄皆小于其所处岩组(风火山群 1 岩组)的磁性地层年龄值,说明这些磷灰石样品形成之后均遭受热事件影响而退火。一个重要概念是“部分退火带”(PAZ)。PAZ 是相应地壳某一深度范围的温度带,在该带内裂变径迹将发生部分退火,即裂变径迹长度逐渐缩短,以致消失,与此同时产生新的径迹。处于 PAZ 之下的裂变径迹将被全部退火而消失,只有 PAZ 之上的裂变径迹才得以完整保留。磷灰石裂变径迹的 PAZ 温度为 60~110°C^[6]。

通过对矿石中重结晶方解石(热液成因)内流体包裹体测温,获得铜矿石中的流体包裹体均一温度为 73~130°C,峰值为 90~110°C(关于风火山地区砂岩铜矿的流体包裹体研究,将另文发表)。这一温度区间正是磷灰石裂变径迹的 PAZ 温度区间(60~110°C),说明与砂岩铜矿成矿作用有关的热流体活动,是使裂变径迹时钟重新启动^[9]的主要原因。因此,Raq-31 样品的磷灰石裂变径迹年龄(33.1±6.0) Ma 和 Edg-66 样品的磷灰石裂变径迹年龄(28.0±3.6) Ma 应该代表了本区砂岩铜矿的成矿年龄。这一时期是青藏高原东缘斑岩铜钼金大规模成矿(如江达—芒康—祥云铜钼金成矿带)的主要时期^[7-8]。

Sqs-3 样品紫红色含砾砂岩采自风火山盆地南部桑恰山西青藏公路沿线剖面、为风火山群 1 岩组下部河流相沉积岩,获得裂变径迹年龄为(22.5±2.3) Ma,这个年龄值不但小于样品所在的层位的磁性地层年龄值,而且也小于在层序上位于它之上的 Raq-31 样品和 Edg-66 样品的磷灰石裂变径迹年龄值。如果确认 Raq-31 样品和 Edg-66 样品的磷灰石裂变径迹年龄代表砂岩铜矿成矿年龄的话,则 Sqs-3 样品的磷灰石裂变径迹年龄是成矿后构造热事件的年龄。由于该样品位于风火山盆地的南侧,紧靠羊曲河—囊谦断裂带^[9](风火山—囊谦褶皱和逆冲断裂带的南界,图 1),大地电磁资料揭示该断裂带及其以南地壳存在大规模的岩浆储库,并在 24~18 Ma 形成高钾火山岩带,对应于青藏高原第 2 次隆升作用^[10]。因此,青藏高原第 2 次隆升作用是 Sqs-3 样品紫红色含砾砂岩中磷灰石的裂变径迹时钟再次启动^[6]的主要原因,这一年龄(22.5±2.3 Ma)也与不整合与雅西错群之上的五道梁群的地层年龄

(23.0~16.0 Ma)是一致的,代表了青藏高原第 2 次主隆升作用产生的构造热事件年龄,这一时期是青藏高原斑岩铜钼大规模成矿(如冈底斯成矿带的东段)的主要时期^[7-8]。

上述分析表明,风火山地区的砂岩铜矿是在风火山群 3 岩组和雅西措群沉积期间形成的,显然是盆地早期沉积物压实脱水流体的产物。

从风火山盆地砂岩铜矿的成矿作用分析可以看出,砂岩铜矿的形成年龄(33.1~28.0 Ma)晚于含矿层的沉积年龄(52.0~46.7 Ma),但与含矿层上覆沉积物的沉积年龄相当,亦即随着盆地上部继续沉积加厚,由重力作用导致的压实使盆地下部沉积物脱水,在构造应力作用下被加热并形成循环流体,流体在循环过程中逐步溶解和吸收地层中的成矿物质(Cu, S 等),从而形成低盐度、含 Cu 的 NaCl-H₂O 流体,Cu 以各种阴离子团形成稳定性较高的络合物(CuCl⁰,CuCl₂⁻,CuCl₃⁻²)迁移,温度的降低(90~110°C)和流体的中性化(由酸性氧化条件向中性还原条件转化)导致流体中 Cu 的溶解度降低、铜的络合物分解和铜矿物的大量沉淀,从而形成了砂岩铜矿。

风火山砂岩铜矿的形成年龄大于五道梁群的地层年龄,说明与青藏高原第 2 次隆升作用的构造热事件无关。

感谢袁万明教授帮助完成了样品的分离和实验室裂变径迹年龄测定工作。

参考文献(References):

- [1] 刘志勇,张开诚,宋宝忠,等.风火山地区铜矿床特征及成因研究[J].西北地质,2006,39(4):24-32.
Liu Zhiyong, Zhang Kaicheng, Song Baozhong, et al. Genesis and characteristics of copper deposits in Fenghuoshan Mountains[J]. Northwestern Geology, 2006, 39(4):24-32(in Chinese with English abstract).
- [2] 李廷栋.青藏高原地质科学研究的新进展[J].地质通报,2002,21(7):370-376.
Li Tingdong. New progress in the geoscience study of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Geological Bulletin of China, 2002, 21(7):370-376(in Chinese with English abstract).
- [3] 刘志飞,王成善.可可西里盆地早渐新世雅西措群沉积环境分析及古气候意义[J].沉积学报,2000,18(3):355-361.
Liu Zhifei, Wang Chengshan. Depositional environment and paleoclimatic significance of the Early Oligocene Yaxicuo Group in the HohXil basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(3):355-361(in Chinese with English abstract).
- [4] 刘志飞,王成善.青藏高原北部可可西里盆地第三纪风火山群沉积

- 环境分析[J]. 沉积学报, 2001, 19(1):28-36.
- Liu Zhifei, Wang Chengshan. Depositional environment of the Tertiary Fenghuoshan Group in the HohXil basin, northern Tibetan Plateau [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2001, 19 (1):28-36 (in Chinese with English abstract).
- [5] 刘顺, 王成善, 伊海生, 等. 青藏高原中部风火山地区第三纪地壳南北缩短量研究[J]. 地震地质, 2001, 23(1):122-125.
- Liu Shun, Wang Chengshan, Yi Haisheng, et al. Tertiary N-S direction crustal shortening of Fenghuoshan area in central Qinghai-Xizang Plateau [J]. Seismology and Geology, 2001, 23(1): 122-125(in Chinese with English abstract).
- [6] 袁万明, 王世成, 王兰芬. 东昆仑五龙沟金矿床成矿热历史的裂变径迹热年代学证据[J]. 地球学报, 2000, 21(4):389-395.
- Yuan Wanming, Wang Shicheng, Wang Lanfen. Metallogenic thermal history of the Wulonggou gold deposits in East Kunlun Mountains in the Light of fission track thermochronology[J]. Acta Geoscientia Sinica, 2000, 21(4):389-395(in Chinese with English abstract).
- [7] 侯增谦, 钟大赉, 邓万明. 青藏高原东缘斑岩铜钼金成矿带的构造模式 [J]. 中国地质, 2004, 31(1):1-14.
- Hou Zengqian, Zhong Dalai, Deng Wanming. A tectonic model for porphyry copper-molybdenum-gold metallogenic belts on the eastern margin of the Qinghai Tibet Plateau [J]. Geology in China, 2004, 31(1):1-14(in Chinese with English abstract).
- [8] 芮宗瑶, 李光明, 张立生, 等. 青藏高原的金属矿产[J]. 中国地质, 2006, 33(2):363-373.
- Rui Zongyao, Li Guangming, Zhang Lisheng, et al. Metallic ore deposits on the Qinghai-Tibet Plateau [J]. Geology in China, 2006, 33(2):363-373(in Chinese with English abstract).
- [9] Yin An, Harrison T. M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen[J]. Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 2000, 28:211-80.
- [10] 赖绍聪. 青藏高原新生代三阶段造山隆升模式: 火成岩岩石学约束 [J]. 矿物学报, 2000, 20(2):182-190(in Chinese with English abstract).
- Lai Shaocon. Three-phase uplifting model of Qinghai-Tibet Plateau during Cenozoic: igneous petrology constraints [J]. Acta Mineralogica Sinica, 2000, 20(2):182-190(in Chinese with English abstract).

Evidence from fission track thermochronology for the mineralization ages of sandstone copper deposits in the Fenghuoshan area, Qinghai

YANG Zu-long¹, ZHANG De-quan², SHE Hong-quan², FENG Cheng-you²

(1. Hubei Geosciences Professional College, Jingzhou 434000, Hubei, China;

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

Abstract: The Paleogene and Neogene sediments in the Fenghuoshan basin include the continuously deposited early Eocene to early Oligocene Fenghuoshan Group and early Oligocene Yaxicuo Group in the lower part and their overlying early Miocene Wudaoliang Group. All the sandstone copper deposits in the Fenghuoshan area occur in gray (green) sandstone of the first formation of the Fenghuoshan Group. Three apatite samples collected from the ore-bearing and barren beds of the first formation of the Fenghuoshan Group yielded fission track ages of 22.5 ± 2.3 , 33.1 ± 6.0 and 28.0 ± 3.6 Ma respectively. Of these ages, the age of $33.1-28.0$ Ma is the mineralization age of the sandstone copper deposits of the area, while the 22.5 ± 2.3 Ma age is the age of the post-mineralization tectono-thermal event. The mineralization ages of the sandstone copper deposits are in the range of ages of deposition of their overlying early Oligocene Yaxicuo Group, indicating that the sandstone copper deposits are the product of compaction and dehydration of the early-stage sediments in the basin.

Key words: sandstone copper deposit; mineralization age; fission track; Fenghuoshan

About the first author: YANG Zu-long, male, born in 1965, lecturer, engages in the teaching and study of mineral exploration and geotechnical engineering; E-mail: yangor1005@163.com.