

邯郸永年县洪山碱性岩体剥蚀程度分析

李随民¹⁾, 周正柱²⁾, 李榭¹⁾, 李玉成³⁾, 赵书梅³⁾, 韩腾飞⁴⁾, 孙志伟⁴⁾, 方勇勇¹⁾

1) 河北地质大学, 石家庄, 050031; 2) 河北省地矿局第四地质大队, 河北承德, 067000;

3) 河北省地矿局第一地质大队, 河北邯郸, 0750002; 4) 河北省地质调查院, 石家庄, 050081

内容提要: 邯郸永年洪山碱性岩体及其周边成矿条件优越, 已发现金、铜矿化点多处。研究显示金、铜矿床(点)在形成及分布上与洪山岩体有着密切的成因联系。金矿化主要分布在岩体北侧的火山凝灰岩中; 铜矿化分布较广, 但矿化以岩体中心区域为主。由于岩体剥蚀深度研究程度较低, 位于岩体顶部或上方的铜金矿化主体部分是否已遭受风化剥蚀, 区内铜金矿化深部找矿潜力如何等问题均亟需分析确定。据此, 本文依据岩体“盖层”厚度恢复法、相对隆升剥蚀程度识别法、夷平面法和磷灰石裂变径迹法等综合判别洪山岩体剥蚀深度。不同剥蚀程度判别方法所得结论基本吻合, 得出洪山岩体中心区域隆升剥蚀程度最大, 在 2km 左右; 岩体南北两侧剥蚀程度逐渐减小。在岩体剥蚀深度分析基础上, 给出了区内铜金矿床找矿方向, 认为金矿化有利找矿区域在岩体南侧火山凝灰岩分布区, 岩体中心部位铜矿化找矿前景不容乐观。

关键词: 剥蚀程度; 铜金矿化; 找矿方向; 洪山岩体; 邯郸

邯郸—邢台地区(简称邯邢地区)是我国重要的矽卡岩型铁矿分布区。燕山期邯邢地区有两次大规模岩浆侵入活动, 第一次以闪长岩为主, 岩体侵位于奥陶纪灰岩中, 主要发生磁铁矿化, 邯邢式铁矿的形成与该期闪长岩的侵入有关; 第二次为洪山杂岩体形成, 该岩体由喷出、侵入两种岩相组成, 主要伴生铜、金矿化。其中金矿化分布在喷出相中, 铜矿化主要出露在侵入相中。目前已在岩体及其周边发现小型金矿床一处, 铜矿化点多处。区内已有的研究工作多集中在金、铜矿化成矿规律、控矿因素和物质来源等方面(Yao Shixin et al., 1993; Xu Guilin et al., 2005, 2006; Zhang Jingsen et al., 2015; Li Zhiye et al., 2017; Li Suimin et al., 2016), 对岩体剥蚀情况研究程度较低。已有的研究显示区内金、铜矿化的成矿作用与洪山碱性岩体的侵位具有密切的时空与成因联系, 金铜元素受温度、压力等物理化学条件制约, 在空间上表现有一定的垂向分带性。因此, 研究和判别岩体剥蚀程度可为区内铜、金矿床的找矿工作提供理论依据和技术支撑, 具有重要的

理论和实践意义。

1 洪山岩体地质特征

洪山岩体位于邯郸市永年县城西约 5 km, 侵位在石炭纪一二叠纪碎屑岩地层中, 岩体地表呈一不规则的椭圆状, 长轴延伸方向为北西西向, 长约 8 km, 短轴北北东向, 长约 6 km, 出露面积约 46 km²。鼓山—紫山断裂将岩体切穿, 岩体向南东倾伏, 断层西侧埋藏较深(图 1b)。

河北省地矿局地质一队和中国地质大学(北京)分别对洪山岩体凝灰岩、正长斑岩、粗面斑岩中锆石采用 LA-ICP-MS 进行 U-Pb 年龄测试, 三种岩石锆石年龄在 128.6~132.8 Ma 之间(Quan Rui et al., 2015, 2016; Liu Xinyao et al., 2016), 这与其他研究者的测试结果相吻合(Chen et al. 2004; Zhou Lin et al., 2005)。表明组成洪山岩体的不同类型岩石为岩浆连续演化产物。洪山岩体碱度($K_2O + Na_2O$) 在 8.88%~12.33% 之间变化, 均值为 10.89%, 属碱性岩体。根据洪山岩体岩石类型和岩

注: 本文为河北省国土资源厅项目(编号 2013045650)和河北省地矿局项目(编号 454-0601-YBN-QEXZ)联合资助成果。

收稿日期: 2019-10-14; 改回日期: 2020-06-13; 网络发表日期: 2020-06-23; 责任编辑: 张招崇; 责任编辑: 周健。

作者简介: 李随民, 男, 1971 年生。博士, 教授, 主要从事矿床学方面的教学和研究工作。Email: smli71@163.com。

引用本文: 李随民, 周正柱, 李榭, 李玉成, 赵书梅, 韩腾飞, 孙志伟, 方勇勇. 2020. 邯郸永年县洪山碱性岩体剥蚀程度分析. 地质学报, 94(11): 3263~3271. doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2020238.

Li Suimin, Zhou Zhengzhu, Li Tong, Li Yucheng, Zhao Shumei, Han Tengfei, Sun Zhiwei, Fang Yongyong. 2020. Analysis of denudation degree in the Hongshan alkaline rock mass, Yongnian County, Hebei Province. Acta Geologica Sinica, 94(11): 3263~3271.

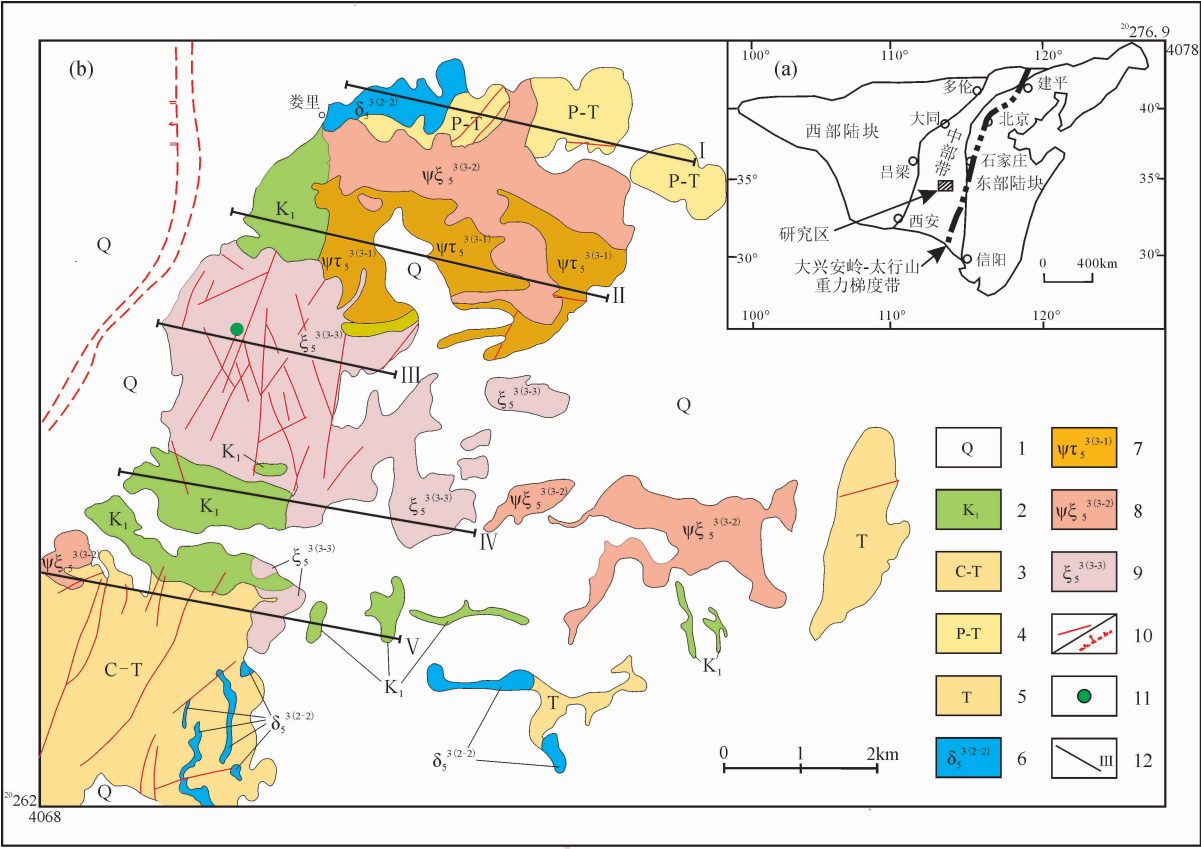


图 1 洪山岩体地质简图及剖面位置

Fig. 1 Geological map of Hongshan rock mass and position of profile line

1—第四系;2—白垩系娄里组;3—石炭系—三叠系;4—二叠系—三叠系;5—三叠系;6—第二次闪长岩;7—第一次黑云辉石粗面斑岩;
8—第二次黑云辉石正长岩;9—第三次浅色正长岩;10—断层及推测正断层;11—铜矿床位置;12—剖面位置及编号
1—Quaternary; 2—Louli Formation of Cretaceous; 3—Carboniferous-Triassic; 4—Permian-Triassic; 5—Triassic; 6—diorite of the second intrusion; 7—diotite-pyroxene-trachyte porphyry of the first intrusion; 8—biotite-pyroxene-syenite of the second intrusion; 9—light-colored syenite of the third intrusion; 10—fault and presumed normal fault; 11—copper deposit; 12—position of profile line and number

相特征,可将洪山岩体细分为三次岩浆火山活动过程(Li Yucheng et al., 2016)。其中:第一次为火山活动,形成一套粗面质火山岩系(K₁和 $\psi\tau_s^{3(3-1)}$)。该期形成时间最早,大致在 132 Ma 左右。第二次岩浆侵入($\psi\xi_s^{3(3-2)}$),主要形成辉石(角闪)正长岩系列,为一颜色相对较深的碱性系列;第三次为颜色相对较浅的钙碱性系列岩石大规模侵入($\xi_s^{3(3-3)}$),形成以浅色正长岩为主的洪山岩体主体。第二、第三次岩浆活动大致时间范围为 132~127 Ma。

根据岩石学特征及其野外产状,结合洪山岩体演化情况,将洪山岩体划分为喷出相-超浅成侵入相、侵入相两种岩相。其中:喷出相-超浅成侵入相岩石类型以粗安玢岩-粗面岩为主,侵入相由早期暗色和晚期浅色两种岩石类型组成。

(1)喷出相-超浅成侵入相(K₁和 $\psi\tau_s^{3(3-1)}$):岩性主要为早白垩世娄里组凝灰岩(K₁)和粗面岩

($\psi\tau_s^{3(3-1)}$)组合。主要分布在岩体的南北两侧边部,呈近东西向带状分布(图 1b)。在地形上主要分布在地势低洼处或沟槽中。该套岩石组合主要由一套凝灰岩、粗安玢岩、粗面岩、黑云辉石粗面岩和辉石粗面岩等中性及中偏碱性岩浆岩组成。该系列岩石形成较早,为早期火山活动产物。其中:娄里组(K₁)主要由凝灰岩组成,岩石为黄褐、棕黄、浅灰、深灰等杂色,晶屑凝灰结构,块状或角砾构造。岩屑、晶屑矿物主要为微斜长石、次为辉石、黑云母,形状不规则,晶屑大小一般 0.2~2 mm,岩屑一般 2~5mm,但少见。胶结物为凝灰质、正长石,少量磁铁矿等,含量 30%~60%,呈隐微晶状,粒度一般<0.05 mm。粗面岩($\psi\tau_s^{3(3-1)}$)和粗面斑岩多呈灰黑绿色,斑状结构、粗面结构,块状构造。斑晶含量 15%左右,主要为自形晶板柱状钾长石(微纹长石、正长石)组成,基质主要为微小板条状定向排列的钾

长石组成,粒径 0.1~1mm 左右。

(2)侵入相:根据组成洪山岩体的不同岩石特征,可将区内侵入相岩石分为两大系列:主要由霓辉正长岩系组成的颜色较深的碱性系列,和主要由浅色正长岩系组成的钙碱性系列。其中:暗色碱性系列形成早,钙碱性的浅色正长岩系列形成晚。

早期暗色碱性系列岩石($\phi\zeta_5^{3(3-2)}$):主要分布在岩体北部的低平地带,呈北西西向展布,北与二叠系接触,南与其他岩石组合接触。该岩石组合的特征是含黑云母、霓辉石较多,含量在 2%~3% 左右,主要呈绿色、暗绿色、暗灰色、灰色、浅肉红色等,粗—细粒结构和斑状结构,块状构造。主要矿物有正长石、条纹长石,粒度多在 0.5~2 mm 之间,碱性长石含量较高,约占 70%~80%。少量黑云母、辉石等,副矿物组合为磁铁矿、榍石、磷灰石。该组合在空间上显示一定的岩性变化。从岩石组合的边部到核部,矿物颗粒由细粒到中细,局部为粗粒;在岩石组合的不同部位,暗色矿物(特别是辉石)的含量变化很大。

晚期浅色正长岩系列($\xi_5^{3(3-3)}$):是洪山岩体的主体岩石相,由辉石正长岩、正长岩、碱性正长岩等组成。岩石呈肉红色—浅肉红色,粒状及似斑状结构。根据粒度可进一步细分为粗粒正长岩(5~10 mm)、中粒正长岩(5~2 mm)和细粒正长岩(0.2~2 mm);主要矿物为条纹长石、正长石,碱性长石含量占 30%~60% 左右,另有少量钠长石、角闪石、辉石、黑云母、石英、霓辉石等,副矿物组合为榍石、磷灰石和磁铁矿。河北地质大学方勇勇教授对区内浅色正长岩进行大量镜下观察后认为,浅色细粒正长岩具平衡结构,较粗粒径的碱性长石往往具动态不平衡结构,反应多期次岩浆涌动的热液作用的结果。结合岩石间的接触关系认为浅色正长岩中粒径越粗形成越晚。

现有的研究资料和勘探成果显示,洪山岩体及其周边发现的金、铜矿床与岩体形成及演化有着密切的成因联系(Yao Shixin et al., 1993; Xu Guilin et al., 2005, 2006; Zhai Yanchao, 2015; Li Suimin et al., 2016; Li Yuchen et al., 2016)。其中,岩体边部火山凝灰岩为浅成低温热液型金矿分布区,岩体顶部及其四周为斑岩型、热液脉型铜矿分布区。岩体的形成与金铜矿化具有时空上的一致性。铜金矿体的赋存部位及保存程度与洪山岩体的剥蚀深度之间有着密切联系。

2 洪山岩体剥蚀程度分析

2.1 岩体“盖层”厚度恢复法

确定侵入形成的绝对深度最可靠的方法是以查明侵入体形成时覆在岩体之上的“盖层”的厚度。由于原来覆在岩体之上的盖层不同程度地被剥蚀,须以岩体侵位的最新地层为上限,保留地层为下限,据地质剖面 and 岩体侵位推算剥蚀程度。

为探讨分析洪山岩体风化剥蚀程度,以洪山岩体为中心,向两侧各布设了两条剖面,共计五条地质剖面(图 1)。其中最北部和最南部的两条剖面(I 号、V 号)横穿二叠纪、三叠纪地层;II 号、IV 号剖面线横穿白垩纪凝灰岩和洪山岩体,中部的 III 号剖面主要横穿洪山岩体。

从五个剖面图(图 2)可看出,区内剥蚀最老的地层为二叠系下统山西组,三叠系刘家沟组、和尚沟组地层为成岩时的盖层。区内地层产状平缓,倾角一般 0°~25°,洪山岩体形成时主要侵位于早二叠世山西组地层中,岩体上覆地层为三叠系中下统。因此,可按二叠系下统一三叠系下统的地层厚度估算剥蚀程度。根据研究区区域地质调查报告资料,二叠系厚度约 900m 左右;区内可见三叠系下统刘家沟组、和尚沟组,中统流泉组,缺失三叠系上统。三叠系中下统厚度在 870~1000m 之间。

位于洪山岩体中心部位的 III 号剖面,岩体中心无地层捕虏体出现,表明自二叠系山西组至三叠系下统的地层已剥蚀,总厚度在 2000m 左右,显示该区域剥蚀程度较深。

III 号剖面两侧的 II 号、IV 号剖面,位于洪山岩体南、北两侧,靠近岩体南北两侧区域岩性为娄里组二段火山岩,岩性以凝灰熔岩为主。该段火山岩被洪山岩体($\xi_5^{3(3-3)}$)侵入或隔离,未见顶。区域地质资料显示该段地层厚度大于 521m,下部娄里组一段厚度大于 223m,岩性以凝灰岩为主。II 号、IV 号剖面地表为娄里组二段(岩性凝灰熔岩),结合区内 II 号剖面线附近的 ZK11-2 和 ZK16-1 钻孔资料(Li Suimin et al., 2016),娄里组二段含矿层位钻孔中厚度在 15~35m 之间,表明娄里组二段已剥蚀近 500m 左右,该地段剥蚀程度较洪山岩体中心区域减弱,推测岩体两侧剥蚀深度在 1500m 左右。

本次在洪山岩体最北、最南侧布设了两条剖面(I 号和 V 号)。其中:最北侧 I 号剖面显示,洪山碱性杂岩体($\phi\zeta_5^{3(3-2b)}$)呈岩枝状侵位于白垩纪第一次侵入的闪长岩体($\delta_5^{3(2-2)}$)中,代表了洪山杂岩体的

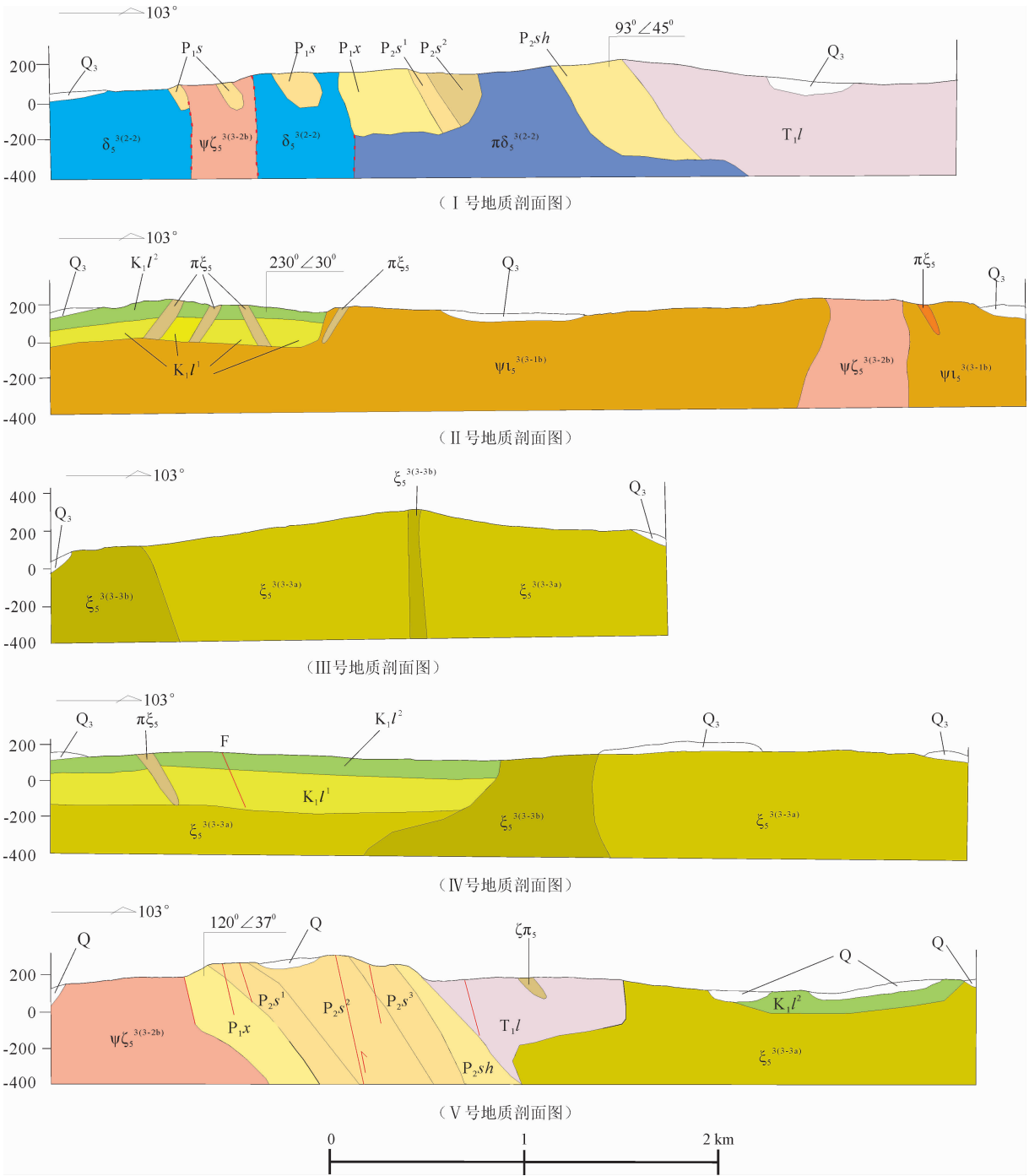


图 2 洪山岩体五条地质剖面图(剖面位置见图 1,岩体及地层符号同图 1)

Fig. 2 Five geological section of Hongshan rock mass (position of section and code of stratigraphic and rock in Fig. 1)

北部边缘地带。呈岩枝状的辉石正长岩体中心及边部有 P_1s 地层残留,切割最老的地层为二叠系山西组,东翼出现三叠系下统刘家沟组,二叠纪地层以顶垂体形式出现在岩体中,推测岩体剥蚀程度较浅,岩体盖层未完全剥蚀,剥蚀厚度不超过 900m,即该区段岩体基本处于未剥蚀状态。

最南侧 V 号剖面显示,洪山碱性杂岩体演化晚期($\xi_5^{3(3-3a)}$)的正长岩侵位于白垩系娄里组(K_1l^2)

火山凝灰岩之下,可大致代表洪山岩体的南部边缘地带。剖面中二叠系下统下石盒组和三叠系下统刘家沟组保留,显示 V 号剖面较 I 号剖面剥蚀程度更弱,剥蚀深度小于 900m。

上述五条地质剖面分析显示,区内剥蚀程度最大地段在洪山岩体中心部位,岩体上覆约 2000m 盖层已被风化剥蚀,致使岩体出露地表;向两侧剥蚀程度逐渐减弱,剥蚀深度在 1500m 左右;继续向南、北

两侧,由于岩体上覆沉积盖层未完全剥蚀,剥蚀深度不超过 900m。

“盖层”厚度恢复显示,洪山岩体最大剥蚀地段在岩体中心(Ⅲ号剖面位置),上覆近 2000m 的地层已被全部剥蚀。向南、北两侧剥蚀程度逐渐减弱。

2.2 相对隆升剥蚀程度识别

(1)岩脉及捕虏体发育状况判别:岩体顶部是否保存有顶垂体及岩体中围岩捕虏体和残留体的多少可作为判别剥蚀程度的一种标志。一般来说,保存较多者其剥蚀程度较浅,保存较少或不存在则剥蚀较深。而析离体较多分布于岩体内,所以析离体多说明剥蚀较深。洪山岩体整体上成分接近,以碱性正长岩为主,岩体侵入到石炭纪—三叠纪围岩中,围岩岩性相似,均以粉砂岩、泥页岩为主。表明洪山岩体或围岩存在差异性风化的可能性较小。岩体中部Ⅲ号剖面显示,岩体中不存在顶垂体和捕虏体,岩体大面积出露(图 2),岩脉发育较少,反映剥蚀较深;而岩体两侧岩脉逐渐发育,且在岩体上部还有较大的顶垂体,说明岩体剥蚀程度逐渐变浅。这与采用岩体“盖层”法分析的结果相类似。

(2)岩相分布:野外观察及室内镜下薄片鉴定均显示,组成洪山杂岩体主体的中心侵入相,具有明显的带状对称分相特征,可分为三个相带:① 边缘相:分布在岩体南北两侧,为细粒正长岩和正长斑岩,以后者比较常见,局部可以见到由暗色矿物裂晶和熔岩组成的角砾,含角砾的正长斑岩,晶质细,向次火山岩过渡。② 过渡相:分布在洪山沟以南一带,由中粗粒、中细粒正长岩、斑状正长岩组成,特点是粗细粒度不等,同时出现,粗细粒间无明显界限。③ 内部相:分布在洪山主峰周围,构成高山地形,主要由粗粒正长岩和斑状正长岩组成。在纵向方向上,洪山岩体中心区域中心相的出现与剥蚀深度关系密切(图 3)。据此分析,洪山岩体主峰区域剥蚀程度最深,向岩体南北两侧,剥蚀程度逐渐减小。根据洪山岩体岩相分布特征,结合岩体上覆二叠系—三叠系的地层厚度估算,洪山岩体隆升剥蚀程度在 2000 以上,岩体顶部或上部也已遭受一定程度剥蚀。

2.3 夷平面法

太行山南缘地区古近纪—新近纪以来的构造活动以断裂的断陷、隆升为特征,分为三个相对稳定夷平时期和三个快速隆升阶段,形成北台期、太行期和唐县期三级夷平面(表 1)。每个夷平面都代表着一段构造相对稳定,外动力地质作用侵蚀夷平的时期。

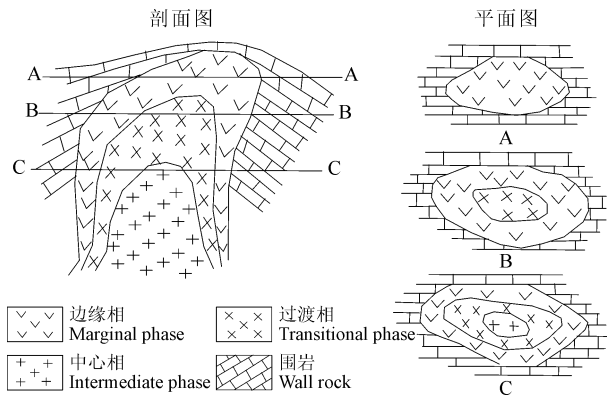


图 3 岩相分布与剥蚀深度关系
Fig. 3 Relationship between facies distribution and denudation depth

剥蚀浅时,往往只出现边缘相;剥蚀程度较深时,边缘相-过渡相-中心相三个相带才有可能全部可出露
Marginal phase usually appears as denudation is shallow. It is possible for all three phases of marginal phase-transition phase-central phase to be exposed, when the degree of denudation is deep

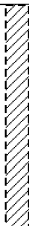
而三个夷平面之间则为构造活动强烈,地壳快速抬升,侵蚀作用加强,夷平面解体的阶段。根据三级夷平面的分布高度和形成年代,可以计算出受构造运动控制的夷平面解体、变形时期的隆升幅度和隆升速率(Ma Yinsheng et al., 2007; Gong Mingquan, 2010; Zhang Meng et al., 2014)。

北台期夷平面和太行期夷平面最大海拔差为 787 m,相当于北台期夷平面解体变形时期(表 1)。渐新世太行期夷平面发育,其后在中新世—上新世中期遭受解体变形,其残余夷平面构成现今太行山南段的中山顶部,直至上新世晚期,构造运动相对稳定,唐县期夷平面发育形成。从表 1 中可以看出,太行期夷平面和唐县期夷平面最大海拔差为 1300 m,大致相当于中新世—上新世中期太行山南段的最大隆升幅度,其隆升速率为 0.0067 mm/a。根据以上分析,夷平面信息给出的证据显示太行山南段的主要隆升时期为中新世至上新世中期。该时期南太行山隆升近 2000m。

太行山南缘发育一组正断层,除山前断裂错断了第四系沉积物,表现为活动断裂以外,其他断裂均被唐县面堆积物覆盖,没有错断唐县面,说明第四纪以来它们的活动性微弱。Gong Mingquan(2010)研究显示第四纪以来太行山南段的快速隆升过程可进一步划分为六次相对快速抬升和六个相对稳定堆积时期,形成六级阶地。但该期间总体上升幅度不大,约 100m。

表 1 太行山南段新生代构造隆升高度及时间示意表

Table 1 Table of height and time of Cenozoic tectonic uplift in southern Taihang

地质时代			同位素 年龄(Ma)	夷平面及分布高度(m)		隆升幅度(m)	备注
代	纪	世					
新 生 代	第四纪 (Q)	全新世 (Q ₄ /Qh)	0.012			隆升100m	第四纪以来 太行山南段 隆升过程可 进一步分为 六次相对快 速抬升和六 个相对稳定 堆积时期， 形成六级阶 地，总体上 升幅度约 100m左右
		更新世 (Q ₁ Q ₂ Q ₃ /QP)	2.48(1.64)				
	新近纪 (N)	上新世 (N ₂)	5.3			夷平面解体 隆升300~1300m	
		中新世 (N ₁)	23.3				
	古近纪 (E)	渐新世 (E ₃)	36.5	太行期（分布高度1100~1600m）			
		始新世 (E ₂)	53	41~48Ma			
		古新世 (E ₁)	65	北台期(分布高度1887m)			
	中生代	白垩纪 (K)	晚白垩世 (K ₂)	135(140)	109~117Ma		
早白垩世 (K ₁)							

上述分析显示,自早白垩世洪山碱性杂岩体形成以来,太行山南段因地壳抬升,隆升了近 2000m。这与前述采用“盖层”厚度恢复法和相对隆升剥蚀程度估算的洪山岩体隆升幅度相吻合。

2.4 裂变径迹及抬升冷却历史模拟

裂变径迹年代学以其载体矿物较低的封闭温度在研究地质隆升剥蚀历程方面显示出明显优势,被广泛应用于造山带、构造演化和盆地热史等方面的研究(Gleadow et al., 2002; Willett et al., 2003; Lei Yongliang et al., 2008; Zheng Yong et al., 2009; Li Shubo et al., 2015)。

Li Shubo et al. (2015)对洪山岩体正长岩中磷灰石裂变径迹样品的径迹密度及表观年龄测量显示,正长岩中 26 粒磷灰石样品的裂变径迹年龄为 41.4±5.2Ma。Li Shubo et al. (2015)分析的南太

行山其余 3 件早白垩世中基性杂岩体(涉县符山闪长岩体、林县东冶辉长岩体、闪长岩体)中的磷灰石裂变径迹年龄也在 50~40 Ma 之间,在一定程度上表明南太行山主要隆升期为 50~40 Ma。Zhou Ling et al. (2005)对洪山正长岩体中锆石 SHRIMP 测年为 135±2.7Ma,Liu Xinyao et al. (2016)对洪山岩体中的粗面斑岩锆石测年为 128.6±1.0Ma,Quan Rui et al. (2015, 2016)对洪山岩体中凝灰岩和矿化正长斑岩中锆石测年结果分别为 132.8±1.1Ma 和 130.45~131.4Ma。上述不同学者对组成洪山岩体的不同岩石类型锆石测年结果显示,洪山岩体侵位于早白垩世。磷灰石裂变径迹的表观年龄远小于形成于早白垩世的洪山岩体成岩年龄,说明磷灰石样品形成之后受后期热事件影响而发生退火,Li Shubo et al. (2015)认为该表观年龄即为退火时的

热事件年龄,记录了洪山岩体磷灰石在隆升过程中经过退火带的时限,代表了岩石剥露去顶的冷却年龄,说明洪山岩体在古近纪存在一次抬升冷却事件。该时间与表 1 中北台期夷平面解体隆升运动相吻合。

根据磷灰石裂变径迹年龄和长度分布可进行热史反演,从而获得温度随时间变化的更多信息。Li Shubo et al. (2015)采用 Laslett et al. (1987)的扇形退火模型对磷灰石进行径迹长度模拟,得到温度 T 与时间 t 的关系。模拟结果显示,南太行山地区 100~54 Ma 为构造稳定夷平时期,这与前人太行山地区北台期夷平面的产生在误差范围内一致(Wu Chen et al., 1996)。54 Ma 之后,太行山南段开始活化,区域冷却和隆升速率加快,之前夷平状态遭到破坏,北台期夷平面解体。研究显示,南太行山地区初始隆升始于 100 Ma 以前,但 50 Ma 之前的构造抬升相对平静。50~30 Ma、尤其约 10 Ma 以来隆升速度加快,是太行山地区的主要隆升期。

Li Shubo et al. (2015)以南太行山地区地表年平均气温 20 ℃ 为基准,假设当时地温梯度为 30 ℃/km,根据模拟磷灰石温度-时间演化曲线与区域隆升速率推测,晚白垩世以来南太行山地区隆升幅度至少在 3000m(120 ℃地温均被剥蚀去顶)以上。由于热模拟是基于一定的时间-温度限制来进行的,主观性较大,估算结果存在一定误差。与前述几种剥蚀深度估算结果相比,热模拟估算误差较大,仅具参考价值。

3 洪山岩体找矿方向分析

3.1 金矿找矿方向分析

研究区金矿主要分布在洪山岩体北侧白垩系娄里组火山凝灰岩地层中。Li Suimin et al. (2016)采用分带指数法与广义衬值法对洪山岩体北侧娄里金矿区 ZK11-2 和 ZK16-1 两个钻孔岩芯测试数据进行了分析,两钻孔均出现明显的“前尾晕共存”及“反向分带”现象。结合微量元素垂向变化规律,得出娄里金矿区两个钻孔的垂向分带都由两个完整的小循环组成,金矿化主要与低温元素(As、Cd)关系密切。金矿体的形成经历了两次热液活动叠加。根据钻孔岩性和元素含量变化,推测金矿区深部地段中一高温元素含量会依次升高,出现金矿化体可能性不大。这与娄里金矿床成矿温度较低,埋藏较浅,属浅成低温热液型金矿的认识相吻合(Zhang Jingsen et al., 2015; Li Ziyue et al., 2017)。即金矿体主要赋

存于火山凝灰岩中,地层深部找矿潜力不佳。

根据洪山岩体剥蚀程度及火山凝灰岩空间分布等情况分析,区内金矿主要分布在洪山岩体南、北两侧。研究区凝灰岩为早期岩浆喷发产物。岩石受断裂影响,劈理片理发育,较松散,易风化破碎,受隆升剥蚀影响,风化剥蚀强烈,仅残存于低凹处。目前仅在岩体北侧娄里村附近发现数条金矿体和矿化体,与其成矿条件类似的岩体南侧,不仅有娄里组火山凝灰岩分布,也有 Au 元素化探异常显示,且在娄里组火山凝灰岩盖层下有洪山岩体最晚期岩体($\delta_5^{3(3-3a)}$)侵入,热液活动强烈。具备浅成低温热液金矿的成矿地质条件,可作为下一步寻找金矿工作的重点区域。

3.2 铜矿找矿方向分析

区内铜矿床的形成与洪山岩体形成及演化关系密切,铜矿化主要赋存在正长岩(里三窑、洪山沟-洪山寺)、正长斑岩(洪山沟矿化点、德家庄矿化点)、隐爆角砾岩三种岩性中。其他岩石类型(如火山凝灰岩、基性岩等)中矿化较少。根据与酸性岩体有关的斑岩型(热液型)铜矿床成矿规律,岩浆演化后期含矿热液富集沉淀部位多为岩体顶部或上部围岩中。洪山岩体中心区域以中一中粗粒正长岩为主,结合岩体剥蚀程度推测,该地段岩体顶部已遭受近百米以上的剥蚀,赋存于岩体顶部或上部围岩中的铜矿(化)体亦遭受一定程度的破坏,仅在局部地段有剩余矿(化)体存在。洪山岩体主峰地段剥蚀程度最为强烈,向岩体四周剥蚀程度逐渐减弱,可能保存部分矿化层位。此外,已有的化探异常也显示在岩体东侧、南侧区域有 Cu 元素异常分布。综上所述,在洪山岩体主峰南侧、东侧具有形成铜矿床成矿地质条件。其中,南侧地段基岩出露较好,已有的野外填图和剖面测量显示,南侧为隐爆角砾岩分布的重点区域。该区域应为研究区寻找与洪山正长斑岩-隐爆角砾岩有关铜矿化的重点地段。

4 结论

(1)根据岩体“盖层”厚度恢复法和岩脉及捕虏体、岩体相带分布特征等,得出洪山岩体剥蚀程度最大地段在中心部位,隆升剥蚀 2000m 以上。向岩体两侧剥蚀程度逐渐减弱;夷平面分析表明太行山南段因地壳抬升降升了近 2 km;磷灰石裂变径迹年龄及抬升冷却历史模拟,表明洪山岩体在 41.4 ± 5.2Ma 时期,区域开始隆升,北台期夷平面解体。不同剥蚀程度判别方法所得结论基本吻合,洪山岩

体剥蚀深度在 2000m 以上, 岩体两侧剥蚀深度减弱。

(2) 赋存于火山凝灰岩中的金矿体, 有利找矿地段为岩体南、北两侧。结合已有地质资料和岩体剥蚀情况, 推测洪山岩体南侧剥蚀程度较弱, 是寻找金矿的有利区域。洪山岩体中心部位剥蚀程度较强, 赋存于岩体上方或顶部的热液脉型或斑岩型铜矿已遭受剥蚀, 找矿前景不容乐观。

注 释

① 河北地质局第一区调大队三分队. 1984. 册井沙河、武安、永年县等幅区域地质调查报告。

References

- Chen B, Jahn B M, Arakawa Y, Zhai M G. 2004. Petrogenesis of the Mesozoic intrusive complexes from the southern Taihang Orogen, North China Craton: elemental and Sr-Nd-Pb isotopic constraints. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 148: 489~501.
- Gleadow A J W, Kohn B P, Brown R W, Sullivan P B O, Raza A. 2002. Fission track thermotectonic imaging of the Australian continent. *Tectonophysics*, 349: 5~21.
- Gong Mingquan. 2010. Uplifting process of southern Taihang Mountain in Cenozoic. Doctor's degree thesis of Chinese Academy of Geological Science.
- Lei Yongliang, Gong Daohao, Wang Xianmei, Zhong Dalai, Wang Xuesong, Zhang Jin. 2008. Discussion about using different modes of apatite fission track thermochronology to constrain cooling histories of rocks: an example from the batholith in Dulong River region, west Yunnan. *Progress in Geophysics*, 23 (2): 422~432 (in Chinese with English abstract).
- Li Shubo, Wang Yuejun, Zhang Yuzhi, Zhang Limin, Liang Hao, Qiu Wei. 2015. Meso-Cenozoic uplifting of South Taihang Mountains: Constraints from apatite fission track data. *Geotectonica et Metallogenia*. 39 (3): 460~469 (in Chinese with English abstract).
- Li Suimin, Li Yucheng, Han Yuchou, Kong Linhai, Zhao Shumei, Wang Jingtao, Wang Junge. 2016. The characteristics of vertical primary halo zoning in the Louli gold deposit, Handan City, Hebei Province. *Geology in China*, 43 (5): 1637~1644 (in Chinese with English abstract).
- Li Yuchen, Jia Liqing, Zhao Shumei, Wang Junge, Zhang Liangliang. 2016. The petrographic characteristics of the Hongshan volcanic structure from southern Taihang Mountains. *Modern Mining*, 565 (5): 142~145 (in Chinese with English abstract).
- Li Ziyi, Xin Huan, Li Suimin, Li Yuchen. 2017. Fluid inclusions test of Louli gold deposit and their geological significance. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 32 (2): 205~213 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xinyao, Dong Guochen, Li Yucheng, Quan Rui. 2016. Geochemistry and LA-ICP-MS zircon U-Pb dating for trachyte porphyry of Hongshan syenite from the southern Taihang Mountains. *Geological Bulletin of China*, 35 (1): 43~54 (in Chinese with English abstract).
- Ma Yinsheng, Zhao Xun, Zhao Xitao, Wu Zhonghai, Gao Linzhi, Zhang Yueqiao, Zhao Ting, Wu Zhenhan, Yang Shouzheng. 2007. The Cenozoic rifting and up lifting process on the southern margin of Taihangshan uplift. *Acta Geoscientica Sinica*, 28 (3): 219~233 (in Chinese with English abstract).
- Quan Rui, Dong Guochen, Li Yuchen, Liu Xinyao, Yang Yang, Ren Long. 2015. Zircon U-Pb ages, geochemistry characteristics and Hf isotopic compositions of the Hongshan volcanic rocks from southern Taihang Mountains. *Geoscience*,

- 29 (6): 1284~1295 (in Chinese with English abstract).
- Quan Rui, Dong Guochen, Miao Guang, Li Yucheng, Liu Xinyao, Yang Yang, Ren Long. 2016. Zircon U-Pb ages, Hf isotopic compositions and geochemistry characteristics of the Hongshan ore-bearing syenite porphyries from southern Taihang Mountains. *Geological Review*, 62 (4): 1064~1080 (in Chinese with English abstract).
- Willett S, Fisher D, Fuller C, Yeh E C, Lu C Y. 2003. Erosion rates and orogenic-wedge kinematics in Taiwan inferred from fission-track thermochronometry. *Geology*, 31: 945~948.
- Wu Chen, Zhang Xiuqing, Ma Yonghong. 1996. The upland morphologic surface and Neozoic tectonic movement in North China. *North China Earthquake Sciences*, 14 (4): 40~50 (in Chinese with English abstract).
- Xu Guilin, Shi Xiaolan. 2005. Geological characters of Fengchang gold deposit and its forming conditions in Wu'an, Hebei Province. *Geological Survey and Research*, 28 (3): 160~167 (in Chinese with English abstract).
- Xu Guilin, Shi Xiaolan, Xu Hongcai. 2006. Geological features and mineralization condition analysis of Yingli gold deposit. *Geology and Prospecting*, 42 (2): 13~18 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jiying, Liu Lixiang. 2013. Study on emplacement depth and denudation extent of mineralized porphyry body in middle Nanjing-Zhenjiang Mountains. *Journal of Geology*. 37 (1): 41~48 (in Chinese with English abstract).
- Yao Shixin, Wu Liangshi, Pei Rongfu. 1993. Geological, geochemical and mineralizational characteristics of Hongshan intrusive complex in Handan-Xingtai area, Hebei Province. *Geology and Prospecting*. 5: 11~16 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jingsen, Zhai Yanchao, Gao Mingshang, Zhang Jing. 2015. Characteristics of fluid inclusions in quartz veins from the gold mineralization zone in Hongshan complex, Handan. *Journal of Hebei University of Engineering (Natural Science Edition)*, 32 (4): 98~103 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Meng, Li Pengxiao. 2014. Discussion on the main uplift period of the southern segment of Taihang Mountains. *Territory & Natural Resources Study*, 4: 55~57 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Yong, Yu Xinqi, Wang Deen, Wang Chen. 2009. Exhumation history of the Fuling granite, southern Anhui: New insights from apatite fission track analysis. *Geological Review*, 55 (3): 385~394 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Ling, Chen Bing. 2005. Petrogenesis and significance of Hongshan syenite from southern Taihang Mountains: Zircon SHRIMP chronology, chemical composition and Sr-Nd isotope characteristics. *Advances in Natural Science*, 15 (11): 1357~1365 (in Chinese with English abstract).

参 考 文 献

- 龚明权. 2010. 新生代太行山南段隆升过程研究. 中国地质科学院博士学位论文.
- 雷永良, 龚道好, 王先美, 钟大赉, 王雪松, 张进. 2008. 应用裂变径迹不同模式约束岩体冷却史的初步探讨——以滇西独龙江岩体为例. *地球物理学进展*, 23 (2): 422~432.
- 李庶波, 王岳军, 张玉芝, 张立敏, 梁浩, 邱惟. 2015. 南太行山中新生代隆升过程: 磷灰石裂变径迹证据. *大地构造与成矿学*, 39 (3): 460~469.
- 李随民, 李玉成, 韩玉丑, 孔令海, 赵淑梅, 王京涛, 王俊革. 2016. 邯郸娄里金矿床原生晕垂向分带特征研究. *中国地质*, 43 (5): 1637~1644.
- 李小明, 王岳军, 谭凯旋, 彭头平. 2005. 云开地块中生代隆升剥露作用的裂变径迹研究. *科学通报*, 50 (6): 577~583.
- 李玉成, 贾立芹, 赵书梅, 王俊革, 张良良. 2016. 太行山南段洪山火山机构岩相学特征. *现代矿业*, 5: 142~145.
- 李紫烨, 邢欢, 李随民, 李玉成. 2017. 娄里金矿床包裹体测试及地质

意义. 地质找矿论丛, 32(2): 205~213.

刘昕曜, 董国臣, 李玉成, 权瑞. 2016. 太行山南段洪山岩体中粗面斑岩地球化学特征及 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年. 地质通报, 35(1): 43~54.

马寅生, 赵逊, 赵希涛, 吴中海, 高林志, 张岳桥, 赵汀, 吴珍汉, 扬守政. 2007. 太行山南缘新生代的隆升与断陷过程. 地球学报, 28(3): 219~233.

权瑞, 董国臣, 李玉成, 刘昕曜, 杨洋, 任龙. 2015. 太行山南段洪山火山岩的锆石 U-Pb 年龄、地球化学特征及 Hf 同位素组成. 现代地质, 29(6): 1284~1295.

权瑞, 董国臣, 缪广, 李玉成, 刘昕曜, 杨洋, 任龙. 2016. 太行山南段洪山矿化正长斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素组成及地球化学特征. 地质论评, 62(4): 1064~1080.

吴忱, 张秀清, 马永红. 1996. 华北山地地貌面与新生代构造运动. 华北地震科学, 14(4): 40~50.

徐桂林, 石晓兰. 2005. 河北武安地区冯昌金矿地质特征及成矿条件分析. 地质调查与研究, 28(3): 160~167.

徐桂林, 石晓兰, 许洪才. 2006. 营里金矿地质特征及成矿条件分析. 地质与勘探, 42(2): 13~18.

杨悻熒, 刘理湘. 2013. 宁镇中段矿化斑岩体的侵位深度及剥蚀程度研究. 地质学刊, 37(1): 41~48.

姚士新, 吴良士, 裴荣富. 1993. 河北邯邢地区洪山岩体地质地球化学及铜金矿化特征. 地质与勘探, 5: 11~16.

于炳松, 赵志丹, 苏尚国. 2012. 岩石学. 北京: 地质出版社, 26~27.

张景深, 翟艳超, 高明尚, 张静. 2015. 邯郸洪山金矿化区石英脉流体包裹体特征. 河北工程大学学报(自然科学版), 32(4): 98~103.

张蒙, 李鹏霄. 2014. 太行山南段主要隆升时期探讨. 国土与自然资源研究, 4: 55~57.

郑勇, 余心起, 王德恩, 汪诚. 2009. 安徽绩溪伏岭岩体隆升时代的磷灰石裂变径迹证据. 地质论评, 55(3): 385~394.

周凌, 陈斌. 2005. 南太行洪山正长岩体的成因和意义: 锆石 SHRIMP 年代学、化学成分和 Sr-Nd 同位素特征. 自然科学进展, 15(11): 1357~1365.

Analysis of denudation degree in the Hongshan alkaline rock mass, Yongnian County, Hebei Province

LI Suimin^{*1)}, ZHOU Zhengzhu²⁾, LI Tong¹⁾, LI Yucheng³⁾, ZHAO Shumei³⁾,
HAN Tengfei⁴⁾, SUN Zhiwei⁴⁾, FANG Yongyong¹⁾

- 1) Hebei Geo University, Shijiazhuang, 050031;
2) The Fourth Geological Team of Hebei Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Chende, Hebei, 067000;
3) The First Geological Team of Hebei Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Handan, Hebei, 056003;
4) Hebei Geological Survey Institute, Shijiazhuang, 050081

* Corresponding author: sml71@163.com

Abstract

Many mineralized spots of gold and copper have been found in alkaline rock masses and their surroundings, demonstrating superior ore-forming geological conditions. The research shows that the formation and distribution of gold and copper deposits are closely related to the Hongshan rock mass. The gold mineralization is mainly distributed in the volcanic tuff on the north side of the rock mass, while copper mineralization is widely distributed in the central area of the rock mass. It has not been intensively studied due to high degree of erosion of rock mass. Deep prospecting potential of copper-gold mineralization is also not clear and needs to analyzed. According to the ‘cover layer’ thickness restoration method of the rock mass, relative uplift denudation degree identification method, planation surface method and the apatite fission track method, the conclusions of different discrimination methods is basically consistent. The results show that the denudation degree of central region of the Hongshan rock mass is the largest, about 2 km. The degree of denudation decreases gradually along both sides of the rock mass. Based on the above analysis, the prospecting strategy for the copper and gold deposits is proposed. The favorable prospecting area of gold mineralization distribute in the volcanic tuff which lies on the southern side of the rock mass. However, the copper mineralization in the central part of the rock mass is not optimistic.

Key words: denudation degree; copper-gold mineralization; prospecting direction; Hongshan rock mass; Handan