

津巴布韦太古宙克拉通金矿化年龄综述

李科^{1,2}, 王腾^{1,2}, 方联华^{1,2}

(1. 四川省鑫冶矿业投资股份有限公司, 成都 610084; 2. 四川省冶金地质勘查局, 成都 610041)

摘要: 文章通过系统梳理津巴布韦克拉通成矿年代学研究成果, 结合野外观测工作、赋矿岩体间接年龄测定以及热液矿物的同位素年龄测定, 总结了其区内典型地区如 Harare-Shamva 绿岩带、Midlands 绿岩带、Mutare 绿岩带及 Limpopo 活动带北缘的金矿化时限分布特征, 提出主金矿化年龄分布范围为 2 660 Ma—2 610 Ma, 接近于新太古代地壳块体稳定克拉通化阶段末期, 属同构造期或后构造期成矿; 另一期矿化作用时限为 2 420 Ma—2 380 Ma, 与后克拉通化作用中大岩墙的侵位、区域性应力转换拉伸以及再活化作用引起的广泛的岩浆作用有关。两期矿化作用事件可与其它地区典型克拉通相类比。

关键词: 金矿化年龄; 太古宙; 克拉通; 津巴布韦

中图分类号: P613, P618.51 **文献标识码:** A

0 引言

津巴布韦太古宙克拉通以每平方千米产出黄金数量多而著称。自 19 世纪末欧洲殖民者大量涌入开启现代机械化采矿活动以来, 至今已有一百余年历史; 期间 1905 年—2007 年间, 年产黄金平均超过 10 t, 1916 年和 1999 年黄金产量分别达到 28.94 t 和 27 t, 为历史之最。2008 年因恶性通货膨胀导致年产黄金跌破 3 t, 达到历史低点。此后, 黄金生产逐步走向稳中有升之路。

区内地质工作在 20 世纪末伴随着工业生产进入到了“黄金”时期, 相关地质研究也达到高峰, 与之相关的学术研究走在行业前沿。相对于金矿床地质特征认识、工业/成因类型划分, 与克拉通密切相关的成矿年代学研究曾在上世纪 90 年代兴起于一时, 研究深度与世界同步, 但其后便没有更高精准度和先进的测试技术应用于实践, 没有形成专门性论述; 更不用说为中国国内的广大地学者注意和熟知。

本文在基于搜集零散年龄数据的基础之上, 将通过系统梳理和讨论其区内典型地区 (Harare-

Shamva、Midlands、Mutare 绿岩带及 Limpopo 活动带北缘) 金矿化的时限分布, 旨在丰富大家对津巴布韦克拉通金矿化的认识, 以及促进交流。

1 地质构造单元与成矿背景

津巴布韦大地构造单元组合如图 1 所示, 可划分为两大类型^[1-2]: 克拉通基底杂岩、绿岩带及大岩墙; 变沉积岩—变火山岩组成的年轻造山活动带。

(1) 造山活动带

造山活动带由较年轻的变沉积岩—变火山岩组成, 位于西部、西北部、北部和南部。其以 Zambezi 造山活动带位于北部、Mozambique 造山活动带位于东部、Limpopo 造山活动带位于南部, 与克拉通为分界。在西部和西北部, 主要出露较年轻的褶皱变形的 Magondi 盆地沉积岩和 Karoo 超群, 两者大部分又被三叠系沙层所覆盖^[1]。

(2) 克拉通基底杂岩、绿岩带及大岩墙

位于津巴布韦的中部、中东部和中南部地区, 属津巴布韦克拉通范畴。

基底杂岩构造复杂, 侵入和变质变形作用强烈,

收稿日期: 2015-11-13; 责任编辑: 王传泰

作者简介: 李科(1986—), 男, 工程师, 理学硕士, 主要从事境外地质矿产勘查与研究。通信地址: 四川省成都市金牛区金牛万达广场 SOHO-B 座 3504 室; 邮政编码: 610084; E-mail: liaget@hotmail.com

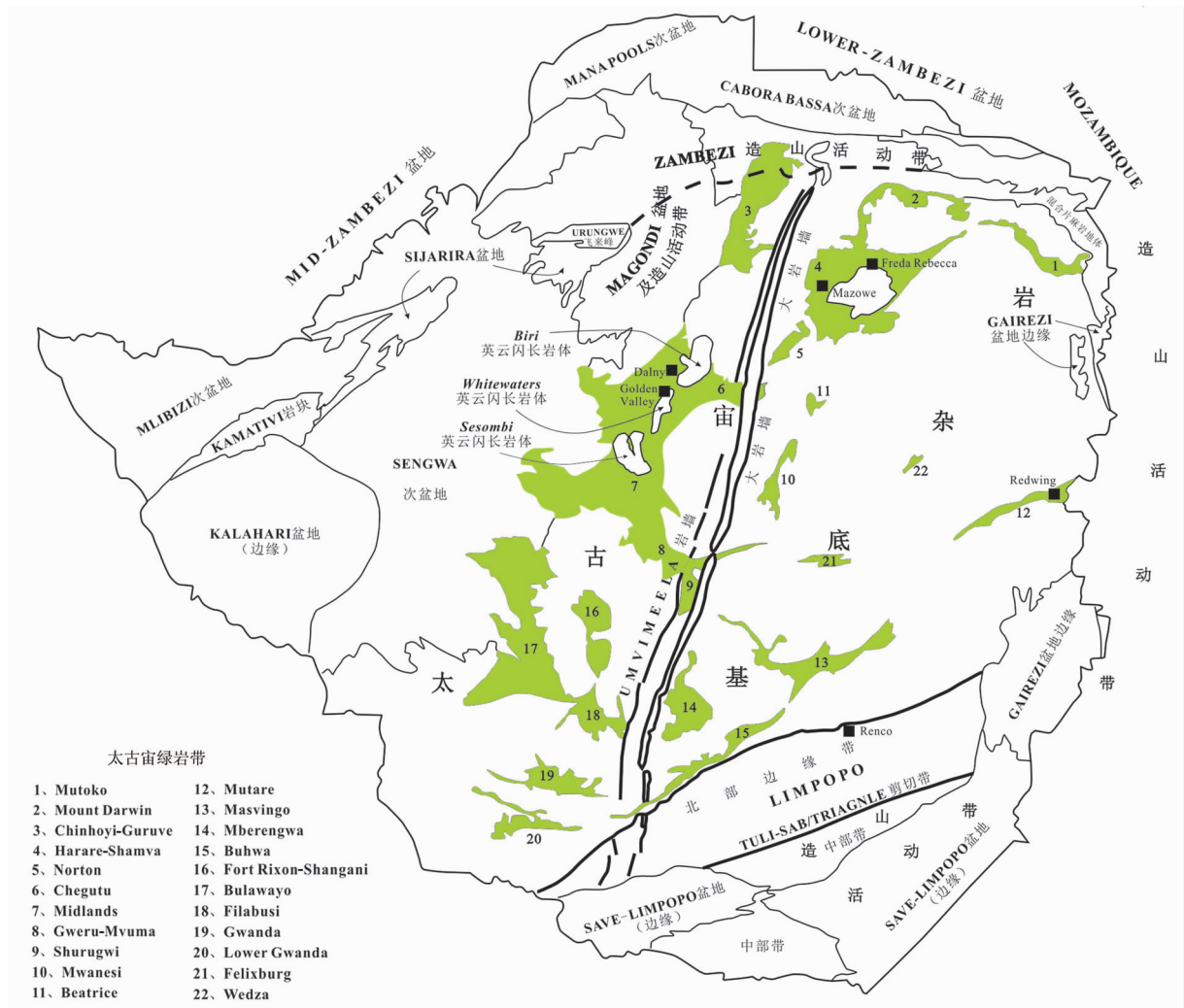


图1 津巴布韦大地构造单元划分及太古宙绿岩带分布

Fig. 1 Map showing division of geotectonic units and distribution of Archean greestone belts in Zimbabwe

由强烈变形和区域变质了的古太古宙花岗质片麻岩和花岗岩类组成,其中的花岗岩类由粗粒的结晶岩类组成,成分从英云闪长岩至石英二长岩,纯花岗岩非常少见;片麻质岩石为片理化或条带状灰色片麻岩和深黑色的杂色混合岩,主要成分为英云闪长质。

伴随着稳定克拉通化及陆壳增生^[3],太古界绿岩系广泛超覆在地壳基底之上,主要由双峰式基性、超基性和中酸性火山岩,以及相关侵入岩、碎屑质变沉积岩和条带状铁质建造组合构成^[1]。该套岩石组合呈一系列显著的伸展线状就位,宽数十千米,长可达几百千米,为金矿化的最重要矿源层和赋矿层位^[4]。境内主要分布有22条绿岩带^[2](见图1),发育于三个连续的地层单元中:Sebakwian群、Bulawayan群和Shamvaian群。每条绿岩带虽具有其独特的构造和岩石特征,但通常强烈发育褶皱和断裂,并伴有较大的走滑韧性剪切,彼此间以基底杂岩中

的花岗岩类和片麻岩相隔。各绿岩带的变质相级别和变形程度各异,但主要为低至中级绿片岩相^[1]。

富含铂族元素、铬、金、镍、铜等金属的津巴布韦大岩墙呈SSW—NNE向横跨全境,作为后克拉通化作用的区域应变转换标志,也是太古界与元古界的分界过渡。

2 花岗岩-绿岩地体金矿化特征

Foster等^[4]根据金矿床的层控和非层控特征,以及有关的容矿岩石岩性及其地层位置,系统收集了每个产量超过311 kg的290个金矿床资料(截止到1977年),并研究了金矿床的地质特征和地球化学特征,将太古宙津巴布韦金矿床划分为层控型和非层控型。层控型是限于铁建造和火山碎屑岩容矿

型矿床,是津巴布韦最重要的含金层控矿床,境内约13%的黄金产自前者,5%来自后者。非层控型细分为脉状和矿化剪切带型,属于一个连续系列的两个端元,具有各自独特的典型矿物和化学特征,其中脉状类型是津巴布韦最常见的金矿类型,与矿化剪切带型一起贡献了该国黄金产量的五分之四。

在太古宙花岗岩-绿岩地体中,大量“非层控型”金矿呈现出后生特点,其通过构造约束将矿化年龄限定为同构造期或后构造期年龄,接近于地壳块体的稳定克拉通化阶段^[4]。即津巴布韦克拉通的金矿化特征显示,剪切带型和脉状型金矿化在空间上与绿岩表壳岩系、地壳尺度的剪切带以及花岗岩类侵入岩体紧密相关,含金石英脉和剪切带内矿化是由与区域变质作用和花岗岩类侵入作用有关的热液活动形成的^[5]。

(1)脉状型金矿化

含金脉体由厚几厘米至20 m的板状或透镜状矿体组成,沿走向延伸几十米至1 000 m以上,最大延深度达到2 000 m。

主要矿物为石英,常伴有少量碳酸盐矿物,如方解石、铁白云石、菱铁矿和白云石。在许多脉状矿床中有多期石英矿化,还常伴有晚期网脉状石英。硫化物仅组成矿脉物质的一小部分(一般不超过4%)^[6],呈浸染状产在石英内或矿脉的微裂隙中;典型的硫化物常富集在石英内和矿脉边几厘米内的蚀变围岩中或矿脉的围岩捕虏体中。白钨矿是含金石英脉的常见组分,呈粗粒结晶集合体和分散小颗粒产出,或呈薄的不连续的切割容矿主脉的富白钨矿细脉产出。金呈粗粒锯齿状块体、细粒浸染状产出,或产在石英的微裂隙中。金还呈细粒包体出现,甚至呈固溶体产在硫化物矿物中,特别是黄铁矿、毒砂、黄铜矿和方铅矿中^[7]。

石英脉体附近的近矿围岩蚀变强烈,但多仅限1~2 m的范围内。铁镁质围岩的常见蚀变类型为青磐岩化,产出一套典型的绿泥石、绢云母-碳酸盐岩矿物组合。花岗质容矿岩石的长石矿物常强烈绢云母化,产生一种绢英岩化的蚀变外壳。相对韧性的超基性围岩,则形成一套滑石、碳酸盐和阳起石蚀变组合。

(2)剪切带型金矿化

矿化剪切带包括受剪切岩石带内的石英和碳酸盐细脉,且大部分细脉近平行于剪切方向。硫化物矿物和金产在石英细脉中,但硫化物的大量富集常出现在石英细脉之间的围岩薄层中。硫化物矿物与

脉状矿床中见到的相似,但富铁矿物,如黄铁矿、磁黄铁矿和毒砂常占优势,也比脉状矿床中的更丰富。

围岩蚀变类型与脉状矿床相似,但液-岩反应的结果可用于测定离矿体的距离,例如,Herrington等^[8]在Dalny矿体7 m处见到明显的蚀变,Mann等^[9]在距离矿体70 m处见到砷元素土壤异常。

3 金矿化年龄

3.1 相对年龄

断层、岩墙及侵入岩体的相互交切关系可以为可靠地约束金矿化的年龄时限^[10-12]。在克拉通中北部的Harare-Shamva绿岩带(见图1中4号绿岩带)中,Mazowe花岗岩体侵入同火山期的石英斑岩体和上Bulawayan群(2 700 Ma~2 650 Ma)^[2]的长英质火山岩中,含金石英脉和剪切带切穿上述所有岩石单元,紧跟其后,一条石英斑岩岩墙侵入整个组合^[13-14]。因此,Mazowe花岗岩体限定了金矿化的最大年龄值,斑岩岩墙则为最小年龄时限。同样地,切割Bindura花岗岩体且为Freda和Rebecca矿床控矿构造的矿化剪切带,其最大年龄值被此花岗岩体所限定;而在Bindura花岗岩体以西相对未经变形的Glendale英云闪长岩体(图2),代表了一套未发生矿化作用的花岗岩类岩体,普遍推断为后矿化期侵入^[2,14-15],可作为最小矿化年龄参考值。

在克拉通东部Mutare绿岩带(见图1中12号绿岩带),这种交切关系同样适用,Redwing等矿床的控矿剪切带切割Penhalonga花岗闪长岩体,后者侵入(结晶)时间构成矿化最大年龄时限^[16]。

在克拉通中西部Midlands绿岩带(见图1中7号绿岩带),一部分金矿床与同火山期至构造后期的英云闪长岩紧密相关,如Whitewaters英云闪长岩套和Sesombi英云闪长岩套(见图1),在其中可识别两类含金构造,第一类别平行于或者低角度斜交于初始S1组构,第二类别则高角度切割S1组构^[17]。此类同火山期侵入岩体提供最大矿化年龄参考,而切割S1组构的构造作为平行一类的最小年龄值。

与克拉通南部毗邻的Limpopo造山活动带北缘,Renco矿床中已识别三类交切构造。未矿化的NEE向受剪切麻粒岩被矿化紫苏花岗闪长岩体切割,后者被更晚期的矿化辉石岩交切^[18-20]。因此,紫苏花岗闪长岩体则构成赋存于其内的矿化体的最

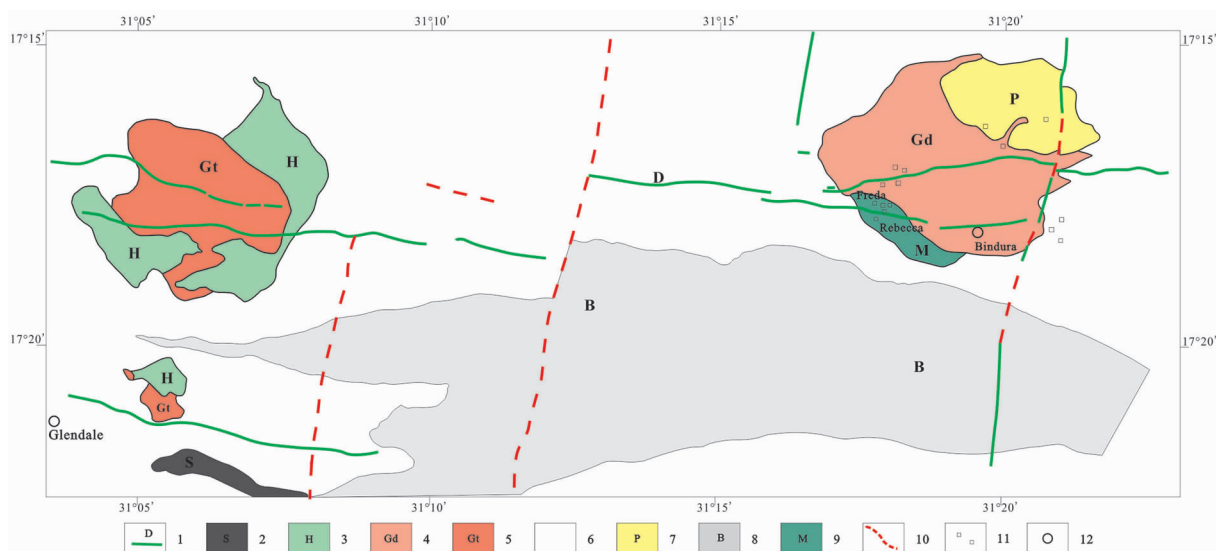


图2 Harare-Shamva 绿岩带 Bindura 地区地质构造简图

Fig. 2 Geological sketch of the Bindura Granitoid terrain in Harare-Shamva greestone belt

1. 玄武岩岩墙; 2. 蛇纹石化橄榄岩; 3. 辉长岩; 4. Bindura 花岗闪长岩; 5. Glendale 英云闪长岩; 6. 杂砂岩(变沉积岩); 7. 副片麻岩;
8. 基性、超基性变火山岩; 9. 变闪长岩; 10. 断层; 11. 矿井; 12. 城镇

大年龄;而辉石岩年龄,一方面作为自身矿化类型的最大年龄值,另一方面作为紫苏花岗闪长岩类矿化的最小年龄值。

3.2 同位素年龄

Wilson 等^[21]利用高精度锆石 SHRIMP U-Pb 法测定修正了津巴布韦太古宙地层年龄,测试对象为新太古界长英质火山岩中的同岩浆源锆石(当时并未测定金矿化年龄)。之后一段时期,大量地质年代学工作和各种测试方法集中于克拉通内金矿化“绝对”时间及其与克拉通演化之间的关系研究,测定数据(表1)支撑了野外观测结果,即太古宙克拉通内的金矿化是在克拉通稳定及花岗岩体侵入就位之后形成。

在 Harare-Shamva 绿岩带的 Mazowe 矿化集中区,Vinyu^[22]利用常规锆石 U-Pb 法测定的 Mazowe 花岗岩体的结晶年龄为 $2\,664\text{ Ma} \pm 15\text{ Ma}$,限定了该地区剪切带类型矿化的最大年龄;随后 Frei 等^[23]通过石榴子石单矿物 Pb-Pb 逐步淋滤法获得直接矿化年龄 $2\,618\text{ Ma} \pm 19\text{ Ma}$,Vinyu 等^[14]通过一组多矿物(石榴子石、绿帘石、符山石、石英、黄铁矿) Pb-Pb 淋滤法测得直接矿化年龄 $2\,659\text{ Ma} \pm 13\text{ Ma}$,Oberthur 等^[13]在此基础上采用白钨矿 Sm-Nd 同位素研究获得两组成矿年龄数值: $2\,604\text{ Ma} \pm 84\text{ Ma}$ (Stori's Golden 矿床)和 $2.41\text{ Ga} \pm 0.20\text{ Ga}$ (Mazowe 矿床)。在 Bindura 矿集区,Vinyu^[14]利用

常规锆石 U-Pb 法测定的 Bindura 花岗(闪长)岩体的结晶年龄为 $2\,649\text{ Ma} \pm 6\text{ Ma}$,同样限定了该区剪切带类型矿化的最大年龄,而其西侧相对未经变形和矿化的 Glendale 英云闪长岩体的结晶年龄限定在 $2\,618\text{ Ma} \pm 6\text{ Ma}$ (见图2)。

在 Mutare 绿岩带,Schmidt 等^[16]通过系统研究代表性的 Redwing 和 Rezende 矿床,测得 Penhalonga 花岗闪长岩体的结晶年龄为 $2\,741\text{ Ma} \pm 3\text{ Ma}$ (常规锆石 U-Pb 法上交点年龄值);通过热液方铅矿 Pb-Pb 模式年龄获得直接矿化年龄为 $2\,650\text{ Ma}$ 左右。

在 Midlands 绿岩带,针对区域性整体花岗岩侵入事件的标志性岩体,Hawkesworth 等^[10]最早获取了 Sesombi 英云闪长岩套的全岩 Rb-Sr 等时线年龄 $2\,633\text{ Ma} \pm 140\text{ Ma}$;Taylor 等^[24]报道了全岩 Pb-Pb 等时线年龄 $2\,579\text{ Ma} \pm 154\text{ Ma} / -173\text{ Ma}$,以及亏损地幔型的全岩 Sm-Nd 等时线年龄 2.68 Ga 。尽管上述 Pb-Pb、Sm-Nd 及 Rb-Sr 等时线年龄误差较大,也不十分精确,但可与 Harare-Shamva 绿岩带及 Mutare 绿岩带中的同类型花岗岩体的侵入年龄相类比(见表1、图3)。当用于判定与 S1 组构相平行或斜交的剪切带型金矿化年龄时,可以认为 Midlands 带内的矿化时间与花岗岩体的侵入时间同期或置后,该观点可以通过 Darbyshire 等^[17]对区域内热液白钨矿的 Sm-Nd 等时线年龄值(见表1)来佐证。

表 1 典型绿岩带和 Limpopo 活动带中各构造/岩体的相互关系及金矿化的间接和直接同位素年龄约束
Table 1 Relation of typical Harare-Shamva, Midlands, Mutare greenstone Belt and tectonic-intrusion in Limpopo mobile belt and geochronological constraints on the gold mineralization

典型成矿带	金矿化切穿构造/单元	间接时限年龄		直接矿化年龄		数据来源
		稳健年龄/Ma	其它年龄/Ma	稳健年龄/Ma	其它年龄/Ma	
Harare-Shamva 绿岩带	Mazowe 花岗岩体	2664±15 (常规锆石 U-Pb 法){4}				文献[22]
					2659±13 (多矿物 Pb-Pb 淋滤法){10}	文献[14]
					2618±19 (石榴子石 Pb-Pb 逐步淋滤法){10}	文献[23]
					2604±84 (白钨矿 Sm-Nd 等时线年龄){13}	文献[13]
					2410±200 (白钨矿 Sm-Nd 等时线年龄){13}	文献[13]
Mutare 绿岩带	石英斑岩岩墙					
	Bindura 花岗岩体	2649±6 (常规锆石 U-Pb 法){5}				文献[14]
	Glendale 英云闪长岩体	2618±6 (常规锆石 U-Pb 法){14}				文献[14]
Mutare 绿岩带	细粒花岗岩闪长岩体		2742±3 (常规锆石 U-Pb 法上交点年龄){1}	ca. 2650 (方铅矿 Pb-Pb 模式年龄){9}		文献[16]
	Penhalonga 粗粒花岗岩闪长岩体		2741±3 (常规锆石 U-Pb 法上交点年龄){2}			文献[16]
			2633±140 (全岩 Rb-Sr 等时线年龄){3}			文献[10]
主矿化期	Sesombi 花岗岩闪长岩体		2579±154/-173 (全岩 Pb-Pb 等时线年龄){3}			文献[24]
			2680 (全岩 Sm-Nd 等时线年龄){3}			文献[24]
	平行 S1 面理 剪切带(缓倾斜)			2688±64 (白钨矿 Sm-Nd 等时线年龄){8}		文献[17]
次矿化期	切穿 S1 面理剪切带 (D2 平行组构)			2413±71(白钨矿 Sm-Nd 等时线年龄){1}		文献[17]
	NEE 向剪切带					
紫苏花岗岩 闪长岩赋矿	紫苏花岗岩闪长岩体	2571±5 (常规锆石 U-Pb 法){6}			1875±6 (黑云母 Rb-Sr 年龄){12}	文献[18]
	辉石岩岩墙		2399±19 (辉石和石榴子石 Pb-Pb 逐步淋滤法){15}			文献[18]
辉石岩 岩墙赋矿					2399±19 (辉石和石榴子石 Pb-Pb 逐步淋滤法){7}	文献[18]

注:大括号{ }中数字对应于 Fig. 3(Notice: Numbers in curly braces correspond to Fig. 3)

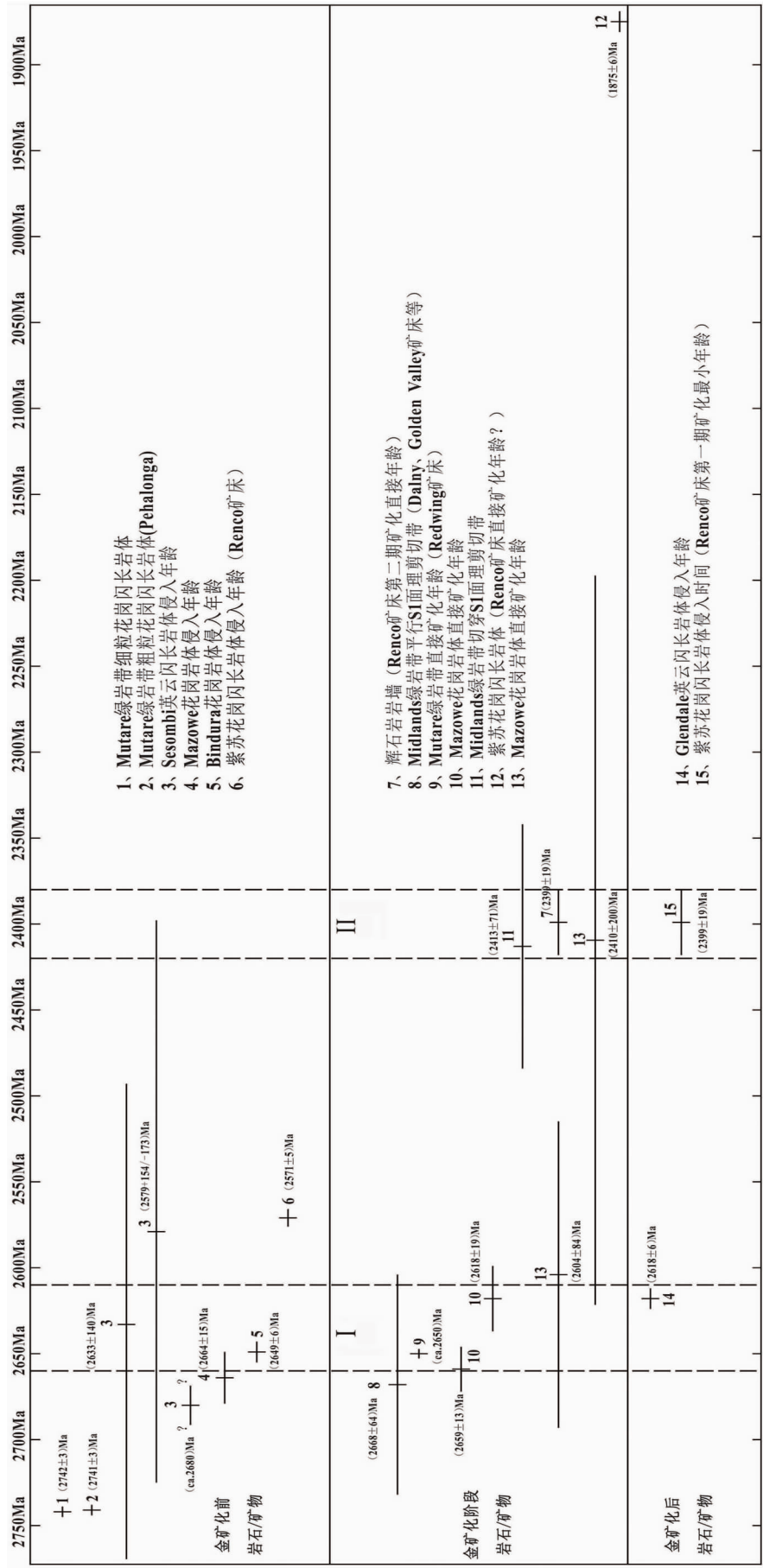


图 3 典型绿岩带和 Limpopo 活动带中金矿化作用的地质年代学约束
Fig. 3 Geochronological constraints on the gold mineralization in typical Harare-Shamva, Midlands, Mutare greenstone Belt and Limpopo mobile belt

在 Limpopo 造山活动带的 Renco 金矿床内, Blenkinsop 等^[18]最早识别出两类矿化,通过直接测定与矿化相关的黑云母 Rb-Sr 年龄,认为与紫苏花岗闪长岩有关的主矿化时间在 1 880 Ma 左右;通过辉石和石榴子石 Pb-Pb 逐步淋滤法间接测定的辉石岩岩墙侵入时间为 $2\,399\text{ Ma} \pm 19\text{ Ma}$,代表了与岩墙侵入同期的第二种矿化类型,与津巴布韦大岩墙侵入时间可类比($2\,460\text{ Ma} \pm 16\text{ Ma}$ ^[25])。然而,通过交切关系及常规锆石 U-Pb 法获得的紫苏花岗闪长岩体的侵入时间,显示主矿化作用的最大年龄达到 $2\,571\text{ Ma} \pm 5\text{ Ma}$ ^[18]。考虑到在整个津巴布韦克拉通内,上述 1 880 Ma 直接矿化年龄值无法与任何已知金矿化时间相类比,可将其解释为 2 000 Ma 左右在 Limpopo 带北缘和 Triangle 剪切带发育的构造热事件过程中的“热重置”结果^[26],Renco 矿床的主矿化时间段可限定为 $2\,571\text{ Ma} \pm 5\text{ Ma}$ 至 $2\,399\text{ Ma} \pm 19\text{ Ma}$ 之间。

4 讨论

上述三条典型绿岩带中花岗岩体侵入年龄的相似性和一致性,以及与其相关的大多数直接矿化年龄测定值均分布于不同岩体侵入时间区段内的特点,暗示了克拉通主矿化年龄可能在 $2\,660\text{ Ma}$ — $2\,610\text{ Ma}$ 之间(见图 3)。而在 Harare-Shamva 绿岩带中通过 Pb-Pb 逐步淋滤法测定的热液型磁黄铁矿和电气石成矿年龄分别为 1.93 Ga 和 2.02 Ga^[27],两个较年轻的年龄值表明古元古代期间上述主矿化很可能经历了再活化过程^[28]。

因此,津巴布韦克拉通内的主要金矿化年龄范围最有可能为 $2\,660\text{ Ma}$ — $2\,610\text{ Ma}$;区域构造背景研究中,该年龄值与 NW—SE 或 E—W 向的挤压和以左旋转换挤压为主的主变形期(D1)相一致^[2]。

在全球典型太古宙绿岩型金矿研究中,津巴布韦主金矿化作用与产于澳大利亚、加拿大等地的太古宙绿岩地体中的脉金矿床可相类比,可定义为全球性事件。此阶段,金矿化被认为与赋矿围岩的变质作用峰期同步或稍晚于后者^[29-30],与之相关的岩浆作用、变质作用和构造作用都相对集中,比如加拿大 Superior Province 的 $2\,710\text{ Ma}$ — $2\,670\text{ Ma}$ ^[30];西澳大利亚 Yilgarn 克拉通内的中酸性岩浆活动及变质作用集中于 $2\,690\text{ Ma}$ — $2\,660\text{ Ma}$,金矿化作用集中于 $2\,660\text{ Ma}$ — $2\,630\text{ Ma}$ ^[31-32];而津巴布韦新太古

代 TTG 岩套侵入事件集中于 2.7 Ga — 2.6 Ga ^[1]。

此外,在邻区 Limpopo 活动造山带及克拉通局部地区,存在另一期矿化作用,时限为 $2\,420\text{ Ma}$ — $2\,380\text{ Ma}$ (见图 3),可能与后克拉通化作用中大岩墙的侵位($2\,460\text{ Ma} \pm 16\text{ Ma}$)^[25],区域性应力转换拉伸以及再活化作用引起的广泛的岩浆作用有关,与以 NNE—SSW 向挤压为主的 D2 变形期相一致^[2]。在全球范围内,可与加拿大 Timmins 地区的 Hollinger、McIntyre、Coniaurum 等金矿床的矿化年龄相类比^[33]。

5 结语

通过系统梳理津巴布韦克拉通成矿年代学研究成果,根据 Harare-Shamva、Midlands、Mutare 绿岩带及 Limpopo 活动带北缘的金矿化时限分布特征,提出了津巴布韦太古宙克拉通金矿化年龄具有以下特征:

(1)主金矿化年龄分布范围为 $2\,660\text{ Ma}$ — $2\,610\text{ Ma}$,接近于新太古代地壳块体稳定克拉通化阶段末期,属同构造期或后构造期成矿。

(2)另一期矿化作用时限为 $2\,420\text{ Ma}$ — $2\,380\text{ Ma}$,与后克拉通化作用中大岩墙的侵位、区域性应力转换拉伸以及再活化作用引起的广泛的岩浆作用有关。

(3)上述两期金矿化作用事件可与全球典型克拉通的金矿化相类比。

致谢: 成文及资料收集过程中得到津巴布韦地质调查局 Forbes Mugumbate 博士的无私帮助和指导,审稿人对本文提出了诸多的建设性意见,在此一并预致谢意。

参考文献:

- [1] Wilson J F. The granite-gneiss greenstone shield, Zimbabwe [C]//Hunter D R. Precambrian of the Southern Hemisphere. Amsterdam: Elsevier, 1981: 454—488.
- [2] Campbell S D G, Pitfield P E J. Structural controls of gold mineralization in the Zimbabwe Craton—Exploration guidelines [M]. Harare: Zimbabwe Geological Survey, 1994: 6—10.
- [3] Horstwood M S A, Nesbitt P W, Noble S R, et al. U-Pb zircon evidence for an extensive early Archean craton in Zimbabwe: A reassessment of the timing of craton formation, stabilization, and growth[J]. Geology, 1999, 27(8): 707—710.

- [4] Foster R P, Wilson J F. Geological setting of archaean gold deposits in Zimbabwe [C]// Foster R P. Gold'82 the Geology, Geochemistry and Genesis of Gold Deposits. Rotterdam; A. A. BALKEMA, 1984; 521–551.
- [5] Foster R P, Fabiani W M B, Carter A H C, et al. The tectonic and magmatic framework of Archaean lode-gold mineralization in the Midlands greenstone belt, Zimbabwe [C]// Laderia E A. Brazil Gold'91 the economics, geology, geochemistry and genesis of gold deposits. Rotterdam; A. A. BALKEMA, 1991; 359–366.
- [6] Phaup A E. Gold mines of Southern Rhodesia-introduction[C]// Haughton S H. The geology of some ore deposits in Southern Africa(2). Johannesburg; Geological Society of South Africa, 1969; 739.
- [7] Foster R P, Mann A G, Stowe C W, et al. Archaean gold mineralisation in Zimbabwe [C]// Anhaeusser C R, Maske S. Ore deposits of Southern Africa. Johannesburg; Geological Society of South Africa, 1986; 2376.
- [8] Herrington R J. Late Archaean structure and gold mineralization in the Kadoma region of the Midlands greenstone belt, Zimbabwe[C]// Coward M P, Ries A C. Early Precambrian Processes. London; The Geological Society, 1995; 173–191.
- [9] Mann A G, Foster R P. Dalny gold mine[C]// Morrison E R, Harrison N M. Metallogenesis'76, Excursion Guidebook. Johannesburg; Geological Society of South Africa (Rhodesian Branch), 1976; 47–51.
- [10] Hawkesworth C J, Moorbath S, O'Nions R K, et al. Age relationships between greenstone belts and granites in the Rhodesian Archaean Craton[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1975, 25(3): 251–262.
- [11] Jemielita R A, Davies D W, Krogh T E. U-Pb evidence for Abitibi gold mineralization postdating greenstone magmatism and metamorphism[J]. Nature, 1990, 346: 831–834.
- [12] Kent A J R, Hagemann S G. Constraints on the timing of lode-gold mineralisation in the Wiluna greenstone belt, Yilgarn Craton, Western Australia[J]. Australian Journal of Earth Sciences, 1996, 43(5): 573–588.
- [13] Oberthür T, Blenkinsop T G, Hein U F, et al. Gold mineralization in the Mazowe area, Harare-Bindura-Shamva greenstone belt, Zimbabwe; II. Genetic relationships deduced from mineralogical, fluid inclusion and stable isotope studies, and the Sm-Nd isotopic composition of scheelites[J]. Mineralium Deposita, 2000, 35(2–3): 138–156.
- [14] Vinyu M L, Jelsma H A, Frei R. Timing between granitoid emplacement and associated gold mineralization: examples from the ca. 2.7 Ga Harare-Shamva greenstone belt, Northern Zimbabwe[J]. Canadian Journal of Earth Sciences, 1996, 33(7): 981–992.
- [15] Klemm D D, Krautner H G. Hydrothermal alteration and associated mineralization in the Freda-Rebecca gold deposit-Bindura District, Zimbabwe[J]. Mineralium Deposita, 2000, 35(2): 90–108.
- [16] Schmidt-Mumm A, Chenjerai K G, Blenkinsop T G, et al. Redwing gold deposit, Mutare Greenstone Belt, Zimbabwe: Geology, Mineralogy, Geochemistry and inclusion studies[C]// Oberthür T. Metallogenesis of selected Gold Deposits in Africa. Hannover; Geologisches Jahrbuch. Reihe D, Mineralogie, Petrographie, Geochemie, Lagerstättenkunde, Heft 100, 1994; 423–460.
- [17] Darbyshire D P F, Pitfield P E J, Campbell S D G. Late Archaean and Early Proterozoic gold-tungsten mineralization in the Zimbabwe Archaean craton; Rb-Sr and Sm-Nd isotope constraints[J]. Geology, 1996, 24(1): 19–22.
- [18] Blenkinsop T G, Frei R. Archaean and Proterozoic mineralization and tectonics at the Renco mine (Northern Marginal Zone, Limpopo Belt, Zimbabwe) [J]. Economic Geology, 1996, 91(7): 1225–1238.
- [19] Kisters A F M, Kolb J, Meyer F M. Gold mineralization in high grade metamorphic shear zones of the Renco mine, Southern Zimbabwe[J]. Economic Geology, 1998, 93(5): 587–601.
- [20] Kolb J, Meyer M F. Fluid inclusion record of the hypozonal orogenic Renco gold deposit (Zimbabwe) during the retrograde P–T evolution[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 2002, 143(4): 495–509.
- [21] Wilson J F, Nesbitt R W, Fanning C M. Zircon geochronology of Archaean felsic sequences in the Zimbabwe Craton: a revision of Greenstone Stratigraphy and a model for crystal growth[C]// Coward M P, Ries A C. Early Precambrian Processes. London; Geological Society, 1995; 109–126.
- [22] Vinyu M L. The geochronology and geochemistry of mineralized and unmineralized post-orogenic granitoids from the Harare-Shamva greenstone belt [D]. Harare; University of Zimbabwe, 1994.
- [23] Frei R, Kamber B S. Single mineral Pb-Pb dating[J]. Earth and Planetary Science Letters, 1995, 129(1–4): 261–268.
- [24] Taylor P N, Kramers J D, Moorbath S, et al. Pb/Pb, Sm-Nd and Rb-Sr geochronology in the Archaean craton of Zimbabwe [J]. Chemical Geology: Isotope Geoscience section, 1991, 87(3–4): 175–196.
- [25] Hamilton J O. Sr Isotope and Trace Element Studies of the Great Dyke and Bushveld Mafic Phase and their Relation to Early Proterozoic Magma Genesis in Southern Africa [J]. Journal of Petrology, 1977, 18(1): 24–52.
- [26] Kamber B S, Biino G G. The evolution of high-T low-P granulites in the northern marginal zone sensu stricto, Limpopo Belt, Zimbabwe-the case for petrography[J]. Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen, 1995, 75(3): 427–454.
- [27] Frei R, Pettke T. Mono-sample Pb-Pb dating of pyrrhotite and tourmaline: Proterozoic vs Archaean intracratonic gold mineralization in Zimbabwe[J]. Geology, 1996, 24(9): 823–826.
- [28] Richards J P, Wagner P A, Frei R, et al. Mono-sample Pb-

- Pb dating of pyrrhotite and tourmaline: Proterozoic vs Archean intracratonic gold mineralization: Comment and Reply[J]. *Geology*, 1997, 25(7): 669–671.
- [29] Groves D I, Goldfarb R J, Gebre-Mariam M, et al. Orogenic gold deposits: a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types[J]. *Ore Geology Reviews*, 1998, 13(1–5): 7–27.
- [30] Kerrich R, Cassidy K F. Temporal relationships of lode gold mineralization to accretion, magmatism, metamorphism and deformation-Archean to present: a review[J]. *Ore Geology Reviews*, 1994, 9(4): 263–310.
- [31] Kent A J R, Cassidy K F, Fanning C M. Archean gold mineralization synchronous with the final stages of cratonization, Yilgarn Craton, Western Australia [J]. *Geology*, 1996, 24(10): 879–882.
- [32] Witt W K, Vanderhor F. Diversity within a unified model for Archean gold mineralization in the Yilgarn Craton of Western Australia: an overview of the late-orogenic, structurally controlled gold deposits[J]. *Ore Geology Reviews*, 1998, 13(1–5): 29–64.
- [33] Bell K, Anglin C D, Franklin J M. Sm-Nd and Rb-Sr isotope systematics of scheelites. Possible implications for the age and genesis of vein-hosted gold deposits[J]. *Geology*, 1989, 17(6): 500–504.

A Review on the timing of gold mineralization in the Zimbabwe Archean Craton

LI Ke^{1,2}, WANG Teng^{1,2}, FANG Lianhua^{1,2}

(1. *Sichuan Xinye Investment Corporation of Mining & Exploration, Chengdu 610084, China*

2. *Sichuan Bureau of Metallurgical Geology & Exploration, Chengdu 610041, China*)

Abstract: Combing metallogenic geochronological results of the Zimbabwe Craton, unequivocal field relationships, robust isotope systems constrain the timing of gold mineralization in major greenstone belts such as Harare-Shamva Belt, Midlands Belt, Mutare Belt and Northern Marginal Zone of the Limpopo Belt. The two phases of gold mineralization of 2 660 Ma—2 610 Ma and 2 420 Ma—2 380 Ma have been established. The former is syn-tectonic and approximate to end of stable cratonization of the Neoarchean crust and the latter related to the post-cratonization emplacement of the great dyke and extension resulted from regional stress transformation and wide-spread magmatism from reactivation. The phases can be correlated to those of typical cratons all over the world.

Key Words: timing of gold mineralization; archaean eon; craton; Zimbabwe