

内蒙古长山壕金矿区花岗岩同位素年代学研究及地质意义^{*}

肖伟^{1,2} 聂凤军^{1**} 刘翼飞¹ 刘研¹

XIAO Wei^{1,2}, NIE FengJun^{1**}, LIU YiFei¹ and LIU Yan¹

1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037

2. 国土资源部信息中心, 北京 100812

1. Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 100037, China

2. Information Center of Ministry of Land and Resources, Beijing 100812, China

2011-10-20 收稿, 2012-01-12 改回.

Xiao W, Nie FJ, Liu YF and Liu Y. 2012. Isotope geochronology study of the granitoid intrusions in the Changshanbao gold deposit and its geological implications. *Acta Petrologica Sinica*, 28(2):535–543

Abstract The Changshanbao gold deposit is super large gold deposit found in the western part of Inner Mongolia in recent years. Although gold mineralization occurs in the metamorphic rocks of the Proterozoic Bayan Obo Group as stratoid layer, stratiform and lenticular, the gold mineralization has a close spatial relationship with various types of granitoid intrusions. The paper has systematically studied the chronology of granitoid intrusions with LA-ICP-MS. The zircon grains separated from the altered granite porphyry and monzonitic granite porphyry samples have given average LA-ICP-MS U-Pb ages of 290.9 ± 2.8 Ma, with MSWD value of 1.4 and 287.5 ± 1.9 Ma, with MSWD value of 2.4 respectively. Meanwhile, the zircon grains separated from the two fresh biotite granite samples have given average LA-ICP-MS U-Pb ages of 267.9 ± 1.2 Ma, with MSWD value of 0.95 and 274.0 ± 2.3 Ma, with MSWD value of 1.4 respectively. Based on the zircon LA-ICP-MS U-Pb age data mentioned above and combined with other geological evidences, it has been suggested that the granite porphyry, the monzonitic granite porphyry and their related gold deposit were formed in the early period of Early Permian, and which suffered the superposition of the tectonic-magmatic activity between the late period of Early Permian and the early period of Middle Permian. The presence of the biotite granite cutting through the gold-bearing veins is a good example. The granitoid intrusions were probably the products of Hercynian tectonic-magmatic activities, and played an important role during the ore-forming processes of the Changshanbao gold deposit. Preliminary results show that the Changshanbao gold deposit is a product of Hercynian tectonic-magmatic and fluid-related activities, and belongs to mesothermal vein-type gold deposit related to intrusive rocks.

Key words Gold deposit; Zircon LA-ICP-MS dating; Isotope chronology; Granitoid intrusions; Changshanbao; Inner Mongolia

摘 要 长山壕金矿床是近年来在内蒙古中西段找到的一特大型金矿床。尽管金矿化在中元古界白云鄂博群变质沉积岩内呈层状、似层状和透镜状产出,但是与各类花岗岩类侵入岩具有密切空间分布关系。本次研究采用 LA-ICP-MS 方法分别对有关花岗岩类侵入岩进行了系统年代学研究,花岗斑岩和二长花岗斑岩样品的锆石 U-Pb 年龄值分别为 290.9 ± 2.8 Ma (MSWD = 1.4) 和 287.5 ± 1.9 Ma (MSWD = 2.4); 2 件黑云母花岗岩样品的年龄值分别为 267.9 ± 1.2 Ma (MSWD = 0.95) 和 274.0 ± 2.3 Ma (MSWD = 1.4)。根据上述同位素年龄数据,同时结合金矿区野外地质调查和岩(矿)相学证据,可以认为,长山壕金矿区花岗斑岩和二长花岗斑岩及相关金矿床的形成时间为早二叠世早期,并且遭受到早二叠世晚期-中二叠世早期构造-岩浆活动的叠加改造,矿区切穿含金矿脉黑云母花岗岩体的存在就是很好的例证。强烈的中酸性岩浆作用为金矿床的形成提供了动力、热力和物质来源,初步研究结果表明,长山壕金矿床是海西期构造-岩浆作用及相关流体活动的产物,属于与侵

* 本文受国家重点自然科学基金项目(41030421)和地质调查项目(1212010911029)联合资助。

第一作者简介:肖伟,男,1981年生,博士生,助理研究员,主要从事国土资源信息化工作, E-mail: wxiao@infomail.mlr.gov.cn

** 通讯作者:聂凤军,男,1956年生,研究员,博士生导师,主要从事金属矿床和地球化学研究, E-mail: nfej@mx.cei.gov.cn

入岩有关的中温热液脉型金矿床。

关键词 金矿床; 锆石 LA-ICP-MS 测年; 同位素年代学; 花岗岩类侵入体; 长山壕; 内蒙古

中图法分类号 P588.121; P597.3

1 引言

长山壕金矿床位于内蒙古乌拉特中旗新忽热苏木北的浩尧尔忽洞地区, 东南距包头市 210km, 地理坐标为东经 109°11'00"~109°17'00", 北纬 41°38'00"~41°41'00"。该矿床是近年来宁夏核工业地质勘查院及其国外合作伙伴加拿大金山矿业公司在白云鄂博铁-铌-稀土元素矿床西部找到的一处特大型金矿床, 系统的钻(坑、槽)探结果表明, 该矿床的黄金储量大于 120t, 平均品位为 0.84g/t。金矿化大都在白云鄂博群砂岩、粉砂岩、碳质板岩、千枚岩和片岩中呈层状、似层状和脉状产出, 并且与各类花岗岩类侵入岩脉(株)具有密切的空间分布关系。尽管人们大都认为长山壕金矿床与各类花岗岩类侵入岩具有一定的关系, 但是目前尚未具有确凿的数据来证明两者在成因上的关联性, 更无同位素年龄数据来证实它们的形成时间。本文在前人工作的基础上, 对长山壕金矿床矿区中的花岗岩类侵入岩开展了较系统的地质和同位素年代学研究, 旨在阐明中酸性岩浆活动与金成矿作用的关系, 为建成立矿模式和确定找矿标志提供科学依据, 进而推动该区隐伏金矿床找矿勘查工作的进行。

2 成矿环境

长山壕金矿床从大地构造位置上看位于华北板块与西伯利亚板块之间的显生宙造山带内, 华北板块北缘白云鄂博裂谷带的西端, 地处高勒图和合教-石崩断裂带所夹持地带(图 1), 是中蒙边境巨型成矿带的组成部分(聂风军等, 2010)。区内基底主要为太古界五台群变质岩和早元古界色尔腾山群变质岩, 盖层由中元古界白云鄂博群及显生宙沉积岩组成。中元古界白云鄂博群不整合覆盖在太古界五台群变质岩或早元古界色尔腾山群变质岩上, 其上与侏罗系和第三系呈不整合接触(内蒙古自治区地质矿产局, 1991)。

矿区内出露的中元古界白云鄂博群包含尖山组、哈拉霍疙特组和比鲁特组, 但缺失最下部的都拉哈拉组和最上部的白音宝拉格组和呼吉尔图组, 其中比鲁特组沉积岩是金矿床的直接容矿围岩。尖山组主要出露在矿区的西部、北部和南部; 哈拉霍疙特组在矿区的南北两侧广泛出露; 比鲁特组地层出露在矿区中部, 自下而上可划分为 4 个岩性段, 所有的已知金矿化带都赋存在第一与第二岩性段(内蒙古自治区地质矿产局, 1991; 黄占起等, 2002; 胡鸿飞, 2006; 胡鸿飞等,

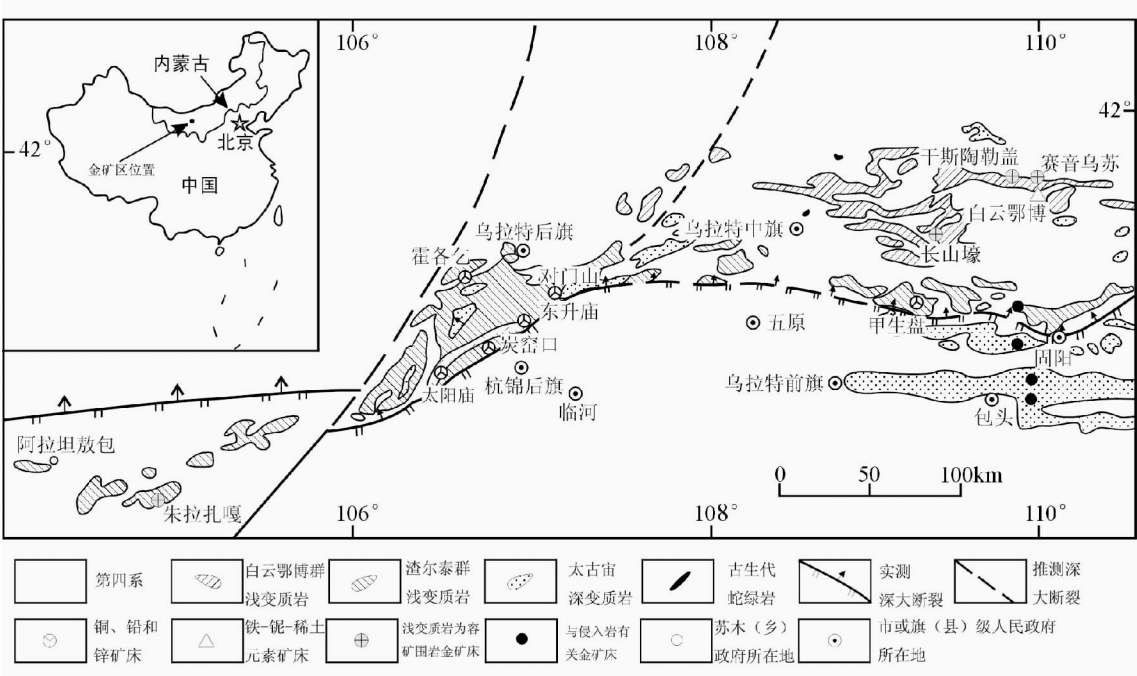


图 1 长山壕及邻区代表性金属矿床分布简图 (据聂风军等, 2010 修改)

Fig. 1 Simplified geological map showing the regional distribution of representative metallic deposits occurring in the changshanhaohao and its neighbouring area (after Nie *et al.*, 2010)

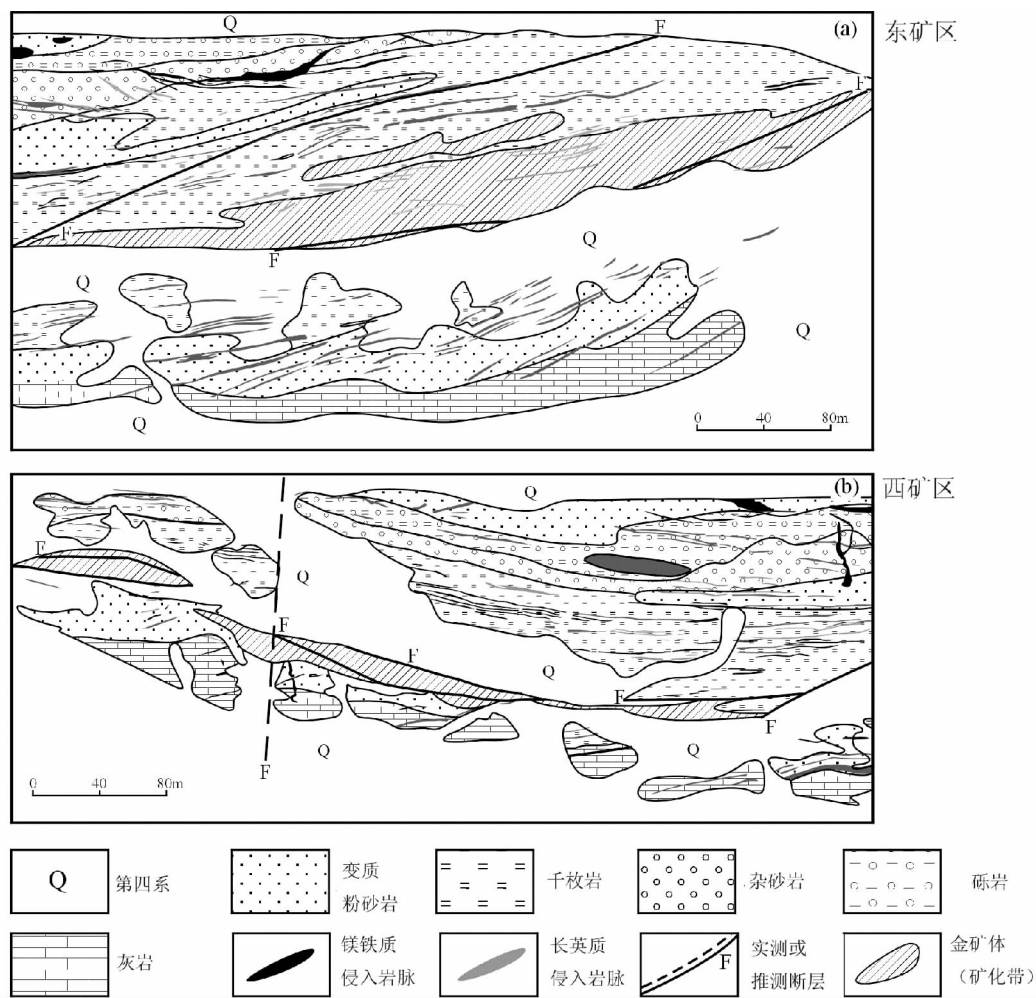


图2 长山壕金矿床地质简图(据聂凤军等,2010 修改)
Fig.2 Sketch geological map of the Changshanbao gold deposit (after Nie *et al.* , 2010)

2008)。

矿区及外围各个地质时期和各种成因类型侵入岩分布广泛,其中以加里东晚期和海西中、晚期花岗岩类侵入岩最为常见。在矿区范围内各类侵入岩脉十分发育,并且具有呈群或带分布的趋势。主要岩石类型有辉绿岩、煌斑岩、闪长玢岩、花岗斑岩和二长花岗斑岩,其中后两者与金矿体具有密切空间分布关系。另外,在矿区的北部和南部,产出规模不等,几何形态各异和形成时代不同的花岗岩类侵入岩基(株)十分发育,主要岩石类型有花岗闪长岩、斜长花岗岩和黑云母花岗岩,其中后者明显侵入到含矿地层。

矿区褶皱为北东向展布的浩尧尔忽洞向斜,其核部为比鲁特组沉积岩,内、外翼分别为哈拉霍疙特组和尖山组火山-沉积岩。受多期次断裂构造的影响,局部地段可具有大量次级紧密褶曲和香肠状构造。断裂主要是一条左向滑动的韧性剪切带和一条近北西向展布的平移断层,其中前者明显被后者所切割破坏。整个剪切带呈近东西向到北东向分布,由一系列近似于平行的单个挤压破碎带和片理化带所构成,长度为4500m,宽度50~200m,为本区最重要的导矿和容矿构

造(内蒙古自治区地质矿产局,1991;黄占起等,2002;胡鸿飞,2006;胡鸿飞等,2008;聂凤军等,2010)。

3 矿体地质

长山壕金矿床中矿体的几何形态和产出规模严格受地层、构造破碎带和片理化带控制,各主要矿体大都在白云鄂博群比鲁特组碳质粉砂岩、碳质板岩、黑色千枚岩、千枚状板岩和红柱石-十字石-石榴子石片岩中呈板状,似板状和透镜体状产出。整个金矿化区由东、西2个矿化带所构成,呈北东向展布,长度为4500m,宽度为20~200m(图2),(内蒙古自治区地质矿产局,1991;黄占起等,2002;胡鸿飞,2006;胡鸿飞等,2008;聂凤军等,2010)。迄今为止,东矿带发现和圈定了28个金矿体,占矿床总储量的76.95%;西矿带发现和圈定了16个金矿体,占矿床总储量的23.05%。东矿带各矿体呈北东向展布,倾向北西,矿体在平面上呈平行或雁行状排列,间隔距离为10~20m;西矿带各矿体呈近东西向或北

东向展布,倾向南东,矿体在平面上呈雁行状排列,间隔距离为10~20m。矿体倾角一般为75°~85°之间,局部近似于直立。矿体沿走向和倾向比较稳定,但具有膨胀收缩的特点。矿体的平均厚度数十米至数米,最厚可达47.64m,厚度变化系数一般在17.73%~66.84%之间。矿体中金的分布比较均匀,金品位一般在0.5~1.5g/t,品位变化比较稳定,品位变化系数一般在12.41%~35.44%之间(宁夏核工业地质勘查院,2005^①)。矿石类型由石英细脉矿石和板岩类混合矿石组成。石英细脉矿石富含金属硫化物矿物,常见的有黄铁矿、磁黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿、辰砂等,其中脉石矿物以石英为主,其次有少量的绢云母和方解石;板岩类混合矿石中发育细脉状、膜状金属硫化物,其矿物主要为黄铁矿、磁黄铁矿和少量的黄铜矿,脉石主要又绢云母、石英、绿泥石、钠长石以及部分碳酸盐类矿物组成。矿床中各矿体的热液蚀变强度不如典型热液型金矿床那样明显,但是热液蚀变的存在是一毋庸置疑的地质事实,且围绕金矿化呈带状分布。主要的热液蚀变类型有硅化、黄铁矿化、黑云母化、碳酸盐化和绢云母化(聂凤军等,2010)。矿体中金主要呈游离自然金颗粒,少量呈包裹体以及简单联合体赋存于毒砂中。

4 岩体地质

长山壕金矿区及外围各个地质时期,各种产出规模和不同几何形态花岗岩类侵入岩分布广泛,其中部分岩体与金矿化具有密切时空分布关系。在所研究的花岗岩类侵入体中,与金矿体具有一定成因联系的岩体大体可以划分2种类型,其一是,在矿区范围内呈岩脉(墙)或(枝)产出,常常构成金矿体的顶板或底板。部分岩脉的边部遭受到明显的硅化和绢云母化,其本身就是矿(化)体的组成部分,代表性岩脉有花岗斑岩和二长花岗斑岩;其二是,呈岩株或岩基状在金矿化的外围产出,侵入到含矿沉积岩地层中。尽管迄今为止尚未在此类侵入岩体中发现和圈定金矿化体,但是其与地层接触带中的金含量较高,局部形成异常,对含矿地层的叠加改造作用是十分明显的。为了对长山壕矿区与金矿体有关的花岗岩类侵入岩岩相学特征有所了解,这里对花岗斑岩、二长花岗斑岩和黑云母花岗岩进行简要论述。

4.1 花岗斑岩

花岗斑岩呈脉状侵入到矿区中元古界白云鄂博群变质沉积岩地层中,约占侵入岩面积的20%,单个脉体长度为10~70m,平均值为25m,宽度为1~10m,平均值为4m。一般来讲,这些岩脉大都呈近东西走向,向南或北倾斜,倾角为50°~80°。岩脉大都沿矿体的底部产出,常常构成其顶板或底板。岩石呈斑状结构,斑晶为斜长石、钾长石和石英。斜长石斑晶呈自形斑状,钾长石斑晶也呈自形斑状,具卡式双晶,不具微斜条纹构造。斑晶大小一般为1~2mm之间,占岩石总量的10%。基质为斜长石、钾长石、石英、黑云母、白

云母等,粒度细小,一般在0.05~0.1mm之间。矿物主要成分为斜长石(30%~35%)+钾长石(30%~35%)+石英(30%~35%)+黑云母、白云母(7%~8%),其次,石榴子石含量为1%~2%,锆石含量小于1%。

4.2 二长花岗斑岩

二长花岗斑岩呈脉状侵入到矿区中元古界白云鄂博群变质沉积岩地层中,约占侵入岩面积的30%,单个脉体长度为10~60m,平均值为20m,宽度为1~15m,平均值为6m。一般来讲,这些岩脉大都呈近东西走向,向南或北倾斜,倾角为40°~60°。岩脉大都沿矿体的底部产出,常常构成其顶板或底板。岩石呈斑状结构,斑晶以斜长石为主,钾长石次之,均呈自形板状,粒度一般在1~2mm之间;基质为粒状、他形粒状斜长石、钾长石和石英,粒度一般为0.1~0.2mm之间。斑晶主要成分为斜长石、钾长石,含量为10%~15%;基质主要成分为斜长石、钾长石、石英、黑云母、白云母等,斜长石与钾长石含量大于45%,石英含量为20%,黑云母与白云母含量为15%~20%;副矿物为磷灰石,含量大约为1%。

4.3 黑云母花岗岩

黑云母花岗岩呈岩基、小岩株出露于矿区北部和南部,距比鲁特岩组内金矿化带数百米至数公里不等,侵入岩体内尚未发现金矿化。岩石呈花岗结构,斜长石多呈半自形板状,具弱环带构造和聚片双晶,钾长石多成他形板状,也有的呈半自形板状,具卡式双晶,有的晶体不具显微条纹构造,有的具显微条纹构造。石英一般呈他形粒状,黑云母呈叶片状,含量较多。矿物粒度一般在0.5~2mm之间。岩石轻微蚀变,可见绢云母交代斜长石,局部钠长石小颗粒交代钾长石。矿物主要成分为斜长石(35%~40%)+钾长石(30%~35%)+石英(25%~30%)+黑云母(6%~7%),其次,石榴子石、锆石含量均小于1%。

5 分析结果

5.1 元素地球化学

代表性花岗斑岩、二长花岗斑岩和黑云母花岗岩样品的主量分析是在核工业地质分析测试研究中心完成,分析采用X荧光光谱仪,测试精度:Fe₂O₃和FeO的RSD<10%,其它主元素的RSD<2%~8%。由于花岗斑岩和二长花岗斑岩主元素特征基本类似,因此本文仅分别对花岗斑岩和黑云母花岗岩的主元素特征进行论述。

花岗斑岩样品共3件,全岩的SiO₂含量变化范围为

① 宁夏核工业地质勘查院. 2005. 内蒙古自治区乌拉特中旗浩尧尔忽洞矿区东矿带金矿详查. 内蒙古自治区国土资源厅内部地质勘探报告. 8~35

表1 长山壕金矿区花岗岩类侵入体主元素分析结果表 (wt%)

Table 1 Major element analyses of the granitoid intrusions in the Changshanhao gold deposit (wt%)

样品号	WZK117 -1.1	WZK117 -1.2	WZK117 -1.3	CSHG -5	CSHG -6	CSHG -7
岩石类型	花岗斑岩			黑云母花岗岩		
SiO ₂	74.62	75.05	74.82	74.06	73.46	75.4
Al ₂ O ₃	13.11	12.94	12.98	13.18	13.52	12.88
Fe ₂ O ₃	1.66	1.73	1.76	1.88	1.95	1.3
MgO	0.19	0.23	0.15	0.45	0.57	0.28
CaO	1.11	1.1	1.13	1.42	1.43	1.15
Na ₂ O	4.06	4.06	4.09	3.35	3.54	4.04
K ₂ O	4.19	4.09	4.04	4.4	4.29	4.13
MnO	0.07	0.075	0.069	0.052	0.056	0.049
TiO ₂	0.065	0.066	0.067	0.24	0.25	0.13
P ₂ O ₅	0.034	0.034	0.036	0.12	0.079	0.043
LOI	0.72	0.47	0.68	0.69	0.7	0.43
Total	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8
ALK	8.25	8.15	8.13	7.75	7.83	8.17
K ₂ O/Na ₂ O	1.03	1.01	0.99	1.31	1.21	1.02
AKI	0.63	0.63	0.63	0.59	0.58	0.63
A/NCK	1.40	1.40	1.40	1.44	1.46	1.38
Fe ₂ O ₃ /MgO	8.74	7.52	11.73	4.18	3.42	4.64
AR	3.66	3.74	3.72	2.70	2.80	3.72
里特曼指数	2.15	2.07	2.08	1.93	2.01	2.06

注:Fe₂O₃ 为全铁;ALK = K₂O + Na₂O; AKI = (Na₂O + K₂O)/Al₂O₃; A/NCK = Al₂O₃/(Na₂O + K₂O + CaO);AR 为碱度率指数

74.62%~75.05%,平均值为74.83%,K₂O含量变化范围为4.04%~4.19%,平均值为4.11%,Na₂O含量变化范围为4.06%~4.09%,平均值为4.07%,K₂O + Na₂O变化范围为8.13%~8.25%,平均值为8.18%,K₂O/Na₂O变化范围为0.98~1.03,平均值为1.01,A/NCK变化范围为1.39~1.40,显示铝略过饱和(表1)。在SiO₂-K₂O图解上,样品落入高钾钙碱区(图3),里特曼指数变化范围为2.07~2.15,属于钙碱性系列(表1)。综上所述,样品元素分析结果显示花岗斑岩具有高硅、高碱的特征,岩石属于准铝质-过铝质高钾钙碱性系列。

黑云母花岗岩样品共3件,全岩的SiO₂含量变化范围为73.46%~75.40%,平均值为74.31%,K₂O含量变化范围为4.13%~4.4%,平均值为4.27%,Na₂O含量变化范围为3.35%~4.04%,平均值为3.64%,K₂O + Na₂O变化范围为7.75%~8.17%,平均值为7.92%,K₂O/Na₂O变化范围为1.02~1.31,平均值为1.18,A/NCK变化范围为1.38~1.46,显示铝略过饱和,在SiO₂-K₂O图解上,样品落入高钾钙碱区(图3),里特曼指数变化范围为1.93~2.06,属于钙碱性系列(表1)。综上所述,样品元素分析结果显示,黑云母花岗岩也具有高硅高碱的特征,岩石属于准铝质-过铝质高钾钙碱性系列。

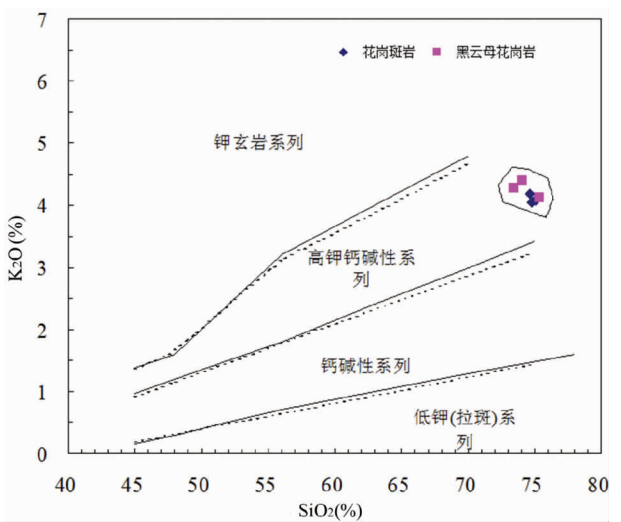


图3 长山壕金矿区侵入岩的SiO₂-K₂O图解
Fig. 3 SiO₂ versus K₂O diagram for granitoid intrusions in the Changshanhao gold deposit

5.2 同位素年龄

锆石的U、Th和Pb同位素分析是在中国地质科学院矿产资源研究所LA-ICP-MS实验室完成,锆石定年分析所用仪器为Finnigan Neptune型LA-ICP-MS及与之配套的Newwave UP 213激光剥蚀系统。采用单点剥蚀的方式,数据分析前用锆石GJ-1进行调试仪器,使之达到最优状态,锆石U-Pb定年以锆石GJ-1为外标,U、Th含量以锆石M127(U: 923 × 10⁻⁶; Th: 439 × 10⁻⁶; Th/U: 0.47)为外标进行校正(Slama *et al.*, 2008)。测试过程中在每测定5~7个样品前后重复测定两个锆石GJ-1对样品进行校正,并测量一个锆石Plesovice,观察仪器的状态以保证测试的精确度。数据处理采用ICPMSDataCal 4.3程序(Liu *et al.*, 2008),测量过程中大多数分析点²⁰⁶Pb/²⁰⁴Pb > 1000,未进行普通Pb校正,²⁰⁴Pb由离子计数器检测,²⁰⁴Pb含量异常高的分析点可能受包体等普通铅的影响,对²⁰⁴Pb含量异常高的分析点在计算时剔除,锆石年龄谐和图用Isoplot 3.0程序获得(侯可军等, 2009)。样品分析过程中,Plesovice标样作为未知样品的分析结果为338.1 ± 0.77Ma (n = 7, 2σ),对应的年龄推荐值为337.13 ± 0.37(2σ),两者在误差范围内完全一致(Slama *et al.*, 2008)。

在进行锆石LA-ICP-MS U-Pb测年之前,首先将所测样品的锆石颗粒与国际标准锆石91500用环氧树脂制靶,并对靶中的锆石作阴极发光和背散射电子相分析。所测样品锆石晶形均较好,具有明显的岩浆锆石的特点(图4)。

样品WZK117-1.2采自于矿区内花岗斑岩脉,对其中的20粒锆石进行了LA-ICP-MS U-Pb同位素测年,锆石中的U和Th的含量范围分别为97 × 10⁻⁶~3791 × 10⁻⁶、54 × 10⁻⁶~2625 × 10⁻⁶(表2),Th/U比值范围为0.12~1.25,平均值

表 2 长山壕矿区花岗质岩类侵入体的锆石 LA-ICP-MS 测年结果

Table 2 LA-ICP-MS data for zircons from the granitoid intrusions in the Changshanhao gold deposit

测点号	Th/U	同位素比值						年龄(Ma)			
		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	
		比值	±1σ	比值	±1σ	比值	±1σ	年龄	±1σ	年龄	±1σ
wzk117-1.2 花岗斑岩(采样位置: 钻孔)											
1.1	0.25	0.0511	0.00044	0.31911	0.00469	0.04538	0.00051	281	4	286	3
2.1	0.26	0.05186	0.00072	0.33726	0.00834	0.04685	0.00056	295	6	295	3
3.1	0.31	0.05227	0.00038	0.32812	0.00366	0.04577	0.00047	288	3	288	3
5.1	1.25	0.05017	0.00031	0.32231	0.00296	0.04673	0.00031	284	2	294	2
9.1	0.92	0.05383	0.00058	0.33643	0.00555	0.04543	0.00059	294	4	286	4
11.1	0.56	0.05407	0.00153	0.34684	0.01613	0.04602	0.00063	302	12	290	4
13.1	0.86	0.05427	0.00035	0.3412	0.00546	0.04561	0.00068	298	4	287	4
15.1	0.71	0.05228	0.00038	0.33772	0.00528	0.04687	0.00066	295	4	295	4
18.1	0.77	0.05215	0.0005	0.32864	0.00597	0.04568	0.00069	289	5	288	4
20.1	0.98	0.05328	0.00069	0.33842	0.01679	0.04537	0.0014	296	13	286	9
CSH-10 二长花岗斑岩(109°16'13" E, 41°40'16"N)											
3.1	1.36	0.05248	0.00043	0.33535	0.00362	0.04640	0.00040	294	3	292	2
4.1	0.55	0.05438	0.00069	0.34686	0.00421	0.04648	0.00047	302	3	293	3
5.1	1.48	0.05201	0.00020	0.32280	0.00203	0.04505	0.00022	284	2	284	1
6.1	0.99	0.05389	0.00032	0.33870	0.00233	0.04568	0.00024	296	2	288	1
7.1	1.14	0.05301	0.00031	0.33665	0.00253	0.04610	0.00022	295	2	291	1
13.1	1.06	0.05291	0.00066	0.32850	0.00542	0.04511	0.00060	288	4	284	4
14.1	1.11	0.05383	0.00028	0.33961	0.00207	0.04579	0.00021	297	2	289	1
16.1	1.06	0.05389	0.00062	0.33701	0.00312	0.04546	0.00038	295	2	287	2
17.1	1.05	0.05504	0.00051	0.34334	0.00402	0.04526	0.00030	300	3	285	2
18.1	1.21	0.05162	0.00023	0.32173	0.00257	0.04520	0.00031	283	2	285	2
20.1	1.26	0.05259	0.00031	0.32849	0.00301	0.04532	0.00035	288	2	286	2
CSHG-4 黑云母花岗岩(109°16'3"E, 41°41'10"N)											
1.1	0.73	0.05206	0.00082	0.30828	0.00592	0.04297	0.00046	273	5	271	3
3.1	0.91	0.05197	0.00029	0.31332	0.00348	0.04376	0.00045	277	3	276	3
7.1	0.55	0.05196	0.00058	0.30834	0.00386	0.04312	0.00038	273	3	272	2
8.1	0.64	0.05364	0.00035	0.32207	0.00264	0.04360	0.00027	283	2	275	2
9.1	0.71	0.05204	0.00079	0.31600	0.00621	0.04395	0.00034	279	5	277	2
10.1	0.50	0.05151	0.00109	0.31152	0.00851	0.04366	0.00041	275	7	275	3
14.1	0.73	0.05131	0.00049	0.30094	0.00335	0.04261	0.00041	267	3	269	3
16.1	0.79	0.05263	0.00017	0.31430	0.00338	0.04327	0.00042	278	3	273	3
CSHG-7 黑云母花岗岩(109°16'3"E, 41°41'10"N)											
1.1	0.61	0.05158	0.00041	0.30227	0.00335	0.04249	0.00028	268	3	268	2
4.1	1.61	0.05205	0.00034	0.29939	0.00241	0.04175	0.00026	266	2	264	2
5.1	0.25	0.05417	0.00067	0.31168	0.00478	0.04180	0.00064	275	4	264	4
6.1	0.75	0.05099	0.00135	0.30155	0.01265	0.04237	0.00038	268	10	267	2
7.1	0.92	0.05204	0.00023	0.30617	0.00206	0.04270	0.00024	271	2	270	1
9.1	0.19	0.05264	0.00090	0.30690	0.00885	0.04226	0.00090	272	7	267	6
11.1	1.26	0.05149	0.00076	0.30111	0.00616	0.04256	0.00069	267	5	269	4
13.1	0.49	0.05232	0.00041	0.30729	0.00381	0.04260	0.00042	272	3	269	3
14.1	0.73	0.05252	0.00040	0.30795	0.00332	0.04255	0.00037	273	3	269	2
15.1	0.24	0.05186	0.00030	0.30456	0.00400	0.04257	0.00045	270	3	269	3
18.1	1.19	0.05287	0.00154	0.30668	0.00931	0.04217	0.00154	272	7	266	9
19.1	0.79	0.05216	0.00048	0.30683	0.00335	0.04265	0.00022	272	3	269	1

为 0.59,具有岩浆锆石的特点。样品中 10 个测点给出的²⁰⁶Pb/²³⁸U 加权平均年龄值为 290.9 ± 2.8Ma,MSWD = 1.4(表 2、图 5),代表花岗斑岩的结晶年龄属于早二叠世早期。

样品 CSH-10 采自于矿区内二长花岗斑岩脉,对其中的 20 粒锆石进行了 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测年,锆石中的 U 和 Th 的含量范围分别为 188 × 10⁻⁶ ~ 1051 × 10⁻⁶、118 × 10⁻⁶ ~ 1222 × 10⁻⁶(表 2),Th/U 比值范围为 0.41 ~ 1.86,平均值为 1.13,具有岩浆锆石的特点。样品中 11 个测点给出



图4 长山壕金矿区花岗岩类侵入岩的代表性锆石阴极发光图像、LA-ICP-MS分析点及 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 视年龄

Fig. 4 CL images, localities of the points for LA-ICP-MS measurements and the $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ apparent ages of typical zircons from granitoid intrusions in the Changshanhao gold deposit

的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄值为 $287.5 \pm 1.9\text{Ma}$, $\text{MSWD} = 2.4$ (表2、图5), 代表二长花岗斑岩的结晶年龄, 属于早二叠世早期。

样品CSHG-4采自于矿区北侧黑云母花岗岩基、样品CSHG-7采自于矿区南侧黑云母花岗岩株, 分别对其中的20粒锆石分别进行了LA-ICP-MS U-Pb同位素测年, 其中一件样品锆石中的U和Th的含量范围分别为 $117 \times 10^{-6} \sim 1765 \times 10^{-6}$ 、 $54 \times 10^{-6} \sim 1427 \times 10^{-6}$, Th/U比值范围为0.15~0.97, 平均值为0.68; 另外一件样品锆石中的U和Th的含量范围分别为 $70 \times 10^{-6} \sim 2407 \times 10^{-6}$ 、 $53 \times 10^{-6} \sim 1892 \times 10^{-6}$ (表2), Th/U比值范围为0.19~1.70, 平均值为0.87。两件样品中的锆石都具有岩浆锆石的特点。前一个样品中8个测点给出的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄值为 $274.0 \pm 2.3\text{Ma}$, $\text{MSWD} = 1.4$; 后一件样品中12个测点给出的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄值为 $267.9 \pm 1.2\text{Ma}$, $\text{MSWD} = 0.95$ (表2、图5)。样品CSHG-4测年结果显示, 矿区北侧黑云母花岗岩基侵位于早二叠世晚期; 样品CSHG-7测年结果则显示, 矿区南侧黑云母花岗岩株侵位于中二叠世早期。

6 讨论

6.1 花岗岩类侵入体的形成时代

长山壕金矿区及邻区各个地质时期和各种成因类型侵入岩分布广泛, 其中以花岗岩类侵入岩最为常见, 主要的花岗岩类侵入岩类型有花岗斑岩、二长花岗斑岩、花岗闪长岩、斜长花岗岩和黑云母花岗岩等。从矿区及其外围花岗质侵入体的锆石LA-ICP-MS U-Pb测年结果可以看出, 长山壕金矿区花岗质岩浆侵入活动主要可以分为两期: 第一期为早二叠世早期

(293~286Ma)的花岗岩浆侵入活动, 以岩脉、岩墙或岩枝状产于矿区内, 岩浆活动持续时间大约为7Ma; 第二期为早二叠世末至中二叠世早期(274~268Ma)花岗岩浆侵入活动, 花岗岩以岩基状侵位于早二叠世晚期, 花岗岩以岩株状侵位于中二叠世早期, 岩浆活动持续时间大约为6Ma; 两期花岗岩类侵入体的形成时代相差17Ma。根据以上测年结果, 结合野外地质调查结合和岩(矿)相学证据, 我们可以认为长山壕金矿区及邻区花岗岩类侵入岩主要形成于海西期。

6.2 金成矿作用

华北板块在元古代末期汇聚造山作用后, 从中元古代初期开始转变为伸展-裂解构造背景。由于裂解作用, 华北板块的北部边缘, 已被拉裂但未被分离而形成平行华北地块北部边界平行排列的两条巨大裂陷槽或裂谷(内蒙古自治区地质矿产局, 1991; 聂凤军等, 2000, 2010; 胡鸿飞, 2006) (图1), 沉积了白云鄂博群和渣尔泰山群。该阶段为白云鄂博群沉积阶段, 由于裂陷盆地还原环境中大量有机质对金及其它成矿组分具有较强的吸附和络合作用, 导致成矿物质的相对聚集和沉淀(聂凤军等, 2010), 在此时期, 白云鄂博群在区域上为富铁和贵金属层位, 长山壕矿区比鲁特岩组下部第一、二岩性段沉积了大量的金属硫化物。矿区地表和钻孔中可观察到金属硫化物细脉沿岩层层理面发育, 并在岩石中可见星点状、斑点状的黄铁矿和黄铜矿。岩芯取样分析结果显示金的含量在 $0.1 \times 10^{-6} \sim 0.3 \times 10^{-6}$ 之间(宁夏核工业地质勘查院, 2005)。因此, 我们可以认为在这一时期, 长山壕金矿区白云鄂博群地层中局部地段可能形成了金的“矿胚”或“矿源层”。

新元古代晚期到古生代晚期, 古亚洲洋壳开始分别与南北两侧的古大陆块体发生俯冲作用, 受此构造活动影响, 古洋壳与古大陆块、古洋壳与微陆块、微陆块与微陆块、微陆块与古大陆块体发生多期次碰撞和对接(Zhang *et al.*, 1989; 王荃等, 1991; 徐备和陈斌, 1997; 邵治安等, 2002)。在这一时期, 古亚洲洋壳对华北陆台多期次俯冲作用诱发了中酸性和碱性岩浆活动, 在两条裂陷槽中侵入了大量的中酸性和碱性岩体, 长山壕金矿区及外围发育早二叠世早期和早二叠世末至中二叠世早期的两期花岗岩类侵入岩即是很好的例证。长山壕金矿区及外围两期花岗质岩浆作用与金成矿作用之间的关系主要可以体现为两个方面, 第一, 为成矿提供重要的物质来源; 第二, 为成矿物质提供重要的热源。就早二叠世早期的花岗质岩浆作用而言, 由于受古亚洲洋壳俯冲作用引起的各类构造作用的影响, 花岗质岩浆在矿区范围内沿着构造作用形成的软弱面或断裂通道侵入, 矿化组分以及含矿流体则沿岩浆向上运移, 并且在构造破碎带和背斜枢纽带内形成脉状, 似层状或条带状金矿体。野外地质调查显示, 矿区地表常见到顺层发育的花岗斑岩脉和二长花岗斑岩脉, 岩脉本身不含矿, 但其两侧岩层中的金品位普遍较高, 热液作用明显, 岩脉常常构成金矿体的顶板或底板, 其本身就是矿(化)体的组成部分。因此, 可以认为矿区早二叠世早期花岗

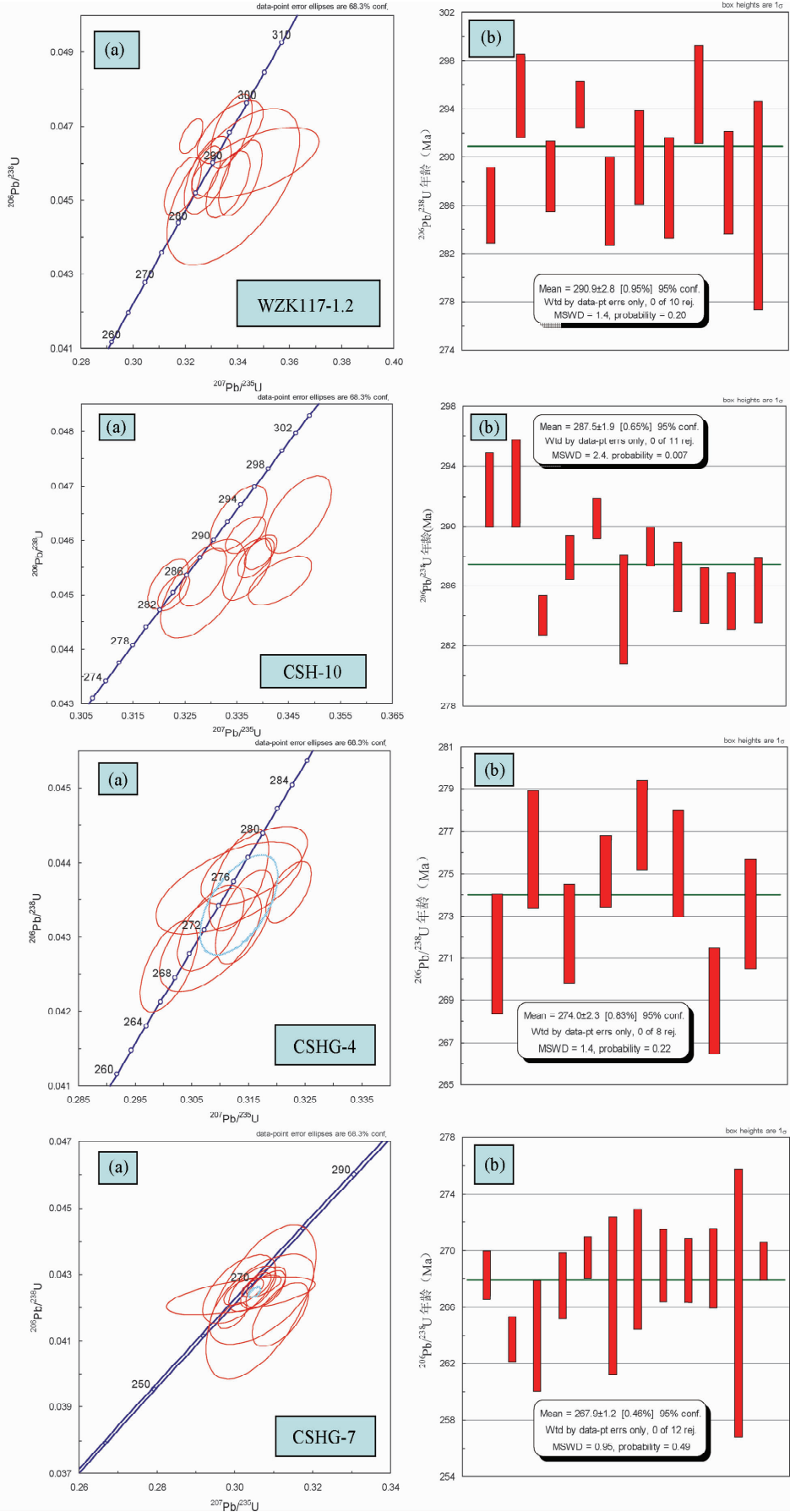


图5 长山壕金矿床的侵入岩的锆石 U-Pb 谐和曲线(a)和 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄(b)
Fig.5 U-Pb concordia (a) and weighted mean age plots (b) of zircons from the granitoid intrusions in the Changshanhao gold deposit

质岩浆侵入的时代和该矿区金矿化的时代基本一致,为同成矿期岩浆作用,其为金矿化提供了重要的物质来源和热源。早二叠世末至中二叠世早期的花岗质岩浆作用则同样是由于受古亚洲洋壳俯冲作用引起的各类构造作用的影响,致使矿区及外围断裂活动加剧,矿区北部、南部发生大面积的岩浆侵入,导致黑云母花岗岩呈岩株或岩基状在金矿化的外围大量产出,并侵入到含矿沉积岩地层中。野外地质调查表明,黑云母花岗岩体与地层接触带中的金含量较高,局部形成金异常,说明岩浆侵入对金元素的富集起到了一定作用,并且矿区内存在切穿含金矿脉的黑云母花岗岩体。因此,可以认为早二叠世末至中二叠世早期的花岗质岩浆侵入的时代晚于金矿化的时代,为成矿期后岩浆作用,其可能为金矿化提供了重要的热源。

综上所述,长山壕金矿床成矿作用可以划分为三个主要阶段:第一阶段为矿区地层中金的矿源层形成阶段;第二阶段为金矿化阶段;第三阶段为金矿化的叠加改造阶段。

7 结论

(1) 长山壕金矿床金矿化在中元古界白云鄂博群砂岩、粉砂岩、碳质板岩、千枚岩和片岩中呈层状、似层状和网脉状产出,并且与花岗岩类侵入岩(脉)具有密切空间分布关系。

(2) 矿区内花岗岩类侵入岩的 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测年显示,与金矿化密切相关的花岗斑岩锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄值为 $290.9 \pm 2.8\text{Ma}$, MSWD = 1.4, 二长花岗斑岩锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄值为 $287.5 \pm 1.9\text{Ma}$, MSWD = 2.4, 指示它们均为早二叠世早期构造-岩浆活动的产物。

(3) 矿区外围黑云母花岗岩同位素测年显示,两件黑云母花岗岩锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄值分别为 $267.9 \pm 1.2\text{Ma}$, MSWD = 0.95 和 $274.0 \pm 2.3\text{Ma}$, MSWD = 1.4, 指示它们为早二叠世晚期至中二叠世早期构造-岩浆活动的产物。

(4) 长山壕金矿床的形成时间为早二叠世早期,并且遭受到早二叠世晚期至中二叠世早期构造-岩浆活动的叠加改造,金矿化作用可能与海西期构造-岩浆活动及相关流体活动有关,是地壳特定演化阶段的产物。

(5) 长山壕金矿床属于与侵入岩有关的中温热液脉型金矿床。

References

Hou KJ, Li YH and Tian YY. 2009. In situ U-Pb zircon dating using laser ablation-multi ion counting-ICP-MS. *Mineral Deposits*, 28(4): 481–492 (in Chinese with English abstract)

Hu HF. 2006. The discussion on gold deposit origin in Proterozoic rift zone of the western segment of northern margin of north China platform. *Journal of Lanzhou University*, 42: 189–193 (in Chinese with English abstract)

Hu HF, Dai S, Tang YH *et al.* 2008. Metallogenic characteristics and genesis of gold deposits in western rift zone of the northern margin of

north China platform. *Geology and Prospecting*, 44(1): 9–14 (in Chinese with English abstract)

Huang ZQ, Shen CL and Wang SG. 2002. Ore prospects of platinum-group element deposits hosted in black shales in the Langshan-Zha'ertaishan area, Inner Mongolia. *Geological Bulletin of China*, 21(10): 663–667 (in Chinese with English abstract)

Bureau of Geology and Mineral Resources of Inner Mongolian Autonomous Region. 1991. *Regional Geology of Inner Mongolian Autonomous Region*. Beijing: Geological Publishing House, 1–725 (in Chinese with English abstract)

Liu YS, Hu ZC, Gao S, Gunther D, Xu J, Gao C and Chen H. 2008. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard. *Chemical Geology*, 257: 34–43

Nie FJ, Jiang SH and Zhang JH. 2000. Exploration significance of sediment-hosted gold deposits in North China platform. *Gold Geology*, 6(1): 15–21 (in Chinese with English abstract)

Nie FJ, Jiang SH and Hou WR. 2010. Geological features and genesis of gold deposits hosts by low-grade metamorphic rocks in central-western Inner Mongolia. *Mineral Deposits*, 29(1): 58–70 (in Chinese with English abstract)

Shao JA, Hong DW and Zhang LQ. 2002. Genesis and Sr-Nd isotopic characteristics of igneous rocks in Inner Mongolia. *Geological Bulletin of China*, 21(12): 817–822 (in Chinese with English abstract)

Slama J, Kosler J, Condon DJ, Crowley JL, Gerdes A, Hanchar JM, Horswood MSA, Morris GA, Nasdala L, Norberg N, Schaltegger U, Schoene B, Tubrett MN and Whitehouse MJ. 2008. Plesovice zircon: A new natural reference material for U-Pb and Hf isotopic microanalysis. *Chemical Geology*, 249: 1–35

Wang Q, Liu XY and Li JY. 1991. *Plate Tectonics between Cathaysia and Angaraland in China*. Beijing: Peking Univ. Publ. House, 1–151 (in Chinese with English abstract)

Xu B and Chen B. 1997. Structure and its evolution of Mid-Paleozoic orogenic belt in between North China and Siberian plates, northern Inner Mongolia. *Science in China (Series D)*, 27(3): 227–232 (in Chinese)

Zhang YP and Tang KD. 1989. Pre-Jurassic tectonic evolution of intercontinental region and the suture zone between the North China and Siberian platforms. *Journal of Southeast Asian Earth sciences*, 3(1–4): 47–55

附中文参考文献

侯可军, 李延河, 田有荣. 2009. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位铀-铅定年技术. *矿床地质*, 28(4): 481–492

胡鸿飞. 2006. 华北板块北缘西段中元古代裂谷带金矿床成因探讨. *兰州大学学报*, 42: 189–193

胡鸿飞, 戴霜, 唐玉虎等. 2008. 华北板块北缘西段裂谷系金矿床成矿特征及成因探讨. *地质与勘探*, 44(1): 9–14

黄占起, 沈存利, 王守光. 2002. 内蒙古狼山-渣尔泰山地区与黑色岩系有关的铂族元素矿床找矿前景. *地质通报*, 10: 663–667

内蒙古自治区地质矿产局. 1991. *内蒙古区域地质志*. 北京: 地质出版社, 1–725

聂凤军, 江思宏, 张建华. 2000. 华北地台沉积岩型金矿床的找矿勘查意义. *黄金地质*, 6(1): 15–21

聂凤军, 江思宏, 侯万荣等. 2010. 内蒙古中西部浅变质岩为容矿围岩的金矿床地质特征及形成过程. *矿床地质*, 29(1): 58–70

邵济安, 洪大卫, 张履桥. 2002. 内蒙古火成岩 Sr-Nd 同位素特征及成因. *地质通报*, 21(12): 817–822

王荃, 刘雪亚, 李锦轶. 1991. *中国华夏与安加拉古陆间的板块构造*. 北京: 北京大学出版社, 1–151

徐备, 陈斌. 1997. 内蒙古北部华北板块与西伯利亚板块之间中生代造山带的结构及演化. *中国科学(D辑)*, 27(3): 227–232