

doi: 10.19509/j.cnki.dzkq.2017.0313

陈超,王芳,赵夫旺,等.河北省石湖金矿含金石英脉中锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].地质科技情报,2017,36(3):103-109.

河北省石湖金矿含金石英脉中锆石 U-Pb 年龄及其地质意义

陈超¹, 王芳¹, 赵夫旺², 张福祥¹, 牛树银¹, 马宝军¹,
高银仓², 王建成², 路亚飞², 曹亚琦¹, 张小青¹

(1.河北地质大学, 石家庄 050031; 2.石家庄综合地质大队, 石家庄 050081)

摘 要:河北省石湖金矿位于阜平幔枝构造核部中南段,其围岩主要是太古宇阜平群,是冀西目前已发现的唯一大型金矿。为研究石湖金矿的成矿时代,重点对含金石英脉中锆石进行了阴极发光分析和 LA-ICP-MS U-Pb 同位素测年。结果表明:锆石形态为自形一半自形,环带特征明显, Th/U 比值大多大于 0.1,为典型的岩浆锆石。锆石 U-Pb 年龄主要分为两组,其中一组 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄主要位于 $(2\,569\pm 41)-(2\,014\pm 38)\text{Ma}$ 之间,年龄数据在谐和图上基本位于一致曲线下方,显示放射成因铅明显有不同程度的丢失,其年龄数据与一致曲线的上交点年龄为 $(2\,492\pm 82)\text{Ma}$,表示岩浆锆石的结晶年龄,可代表阜平群 TTG 片麻岩的结晶年龄;另一组 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $(136\pm 4)\text{Ma}$,结合含矿地质体之间的空间位置关系,综合表明石湖金矿主要成矿事件发生在 $(136\pm 4)\text{Ma}$ 之后。石英脉中没有热液锆石,锆石来自围岩。

关键词:石湖金矿; 锆石; U-Pb 年龄; 含金石英脉; 幔枝构造; 麻棚岩体; 阜平群

中图分类号: P597

文献标志码: A

文章编号: 1000-7849(2017)03-0103-07

在太行山中段麻棚地区,众多金银多金属矿床(点)产于太古宇阜平群之中,总体围绕燕山期麻棚岩体分布,已经成为冀西最重要的矿集区,例如冀西石湖金矿就位于麻棚岩体东侧。为此,弄清石湖金矿、阜平群、麻棚岩体之间的年代关系,有利于厘定本区成矿、成岩演化。锆石 U-Pb 测年技术是目前国内外最重要的同位素测年方法之一,已经成为探索地质体(成岩、成矿)时空演化的重要手段^[1-6]。关于本区岩体、地层的 U-Pb 同位素年龄,前人有较多专题研究。例如,近年通过锆石 U-Pb 同位素测年,前人对本区成矿岩体成岩年龄取得了较为一致的认识,认为麻棚岩体成岩年龄为 $131\sim 125\text{Ma}$ ^[7-10]。但对于古老的阜平群的年龄是大于还是小于 2.8Ga 这一问题依然存在争议^[11-15]。对于本区金银多金属矿的成矿年龄,进展也不大。目前仅有个别学者利用 Rb-Sr 法和 Ar-Ar 法对石湖金矿的成矿年龄进行了探讨,测得成矿年龄约为 140Ma ^[16],略早于成矿岩体(麻棚岩体) 130Ma 的年龄。显然,对本区阜平群和成矿的年龄仍需要从新的角度去研究。

石湖金矿属于岩浆期后热液石英脉型—断裂蚀

变岩型金矿,围岩主要是紧邻的石英闪长玢岩和阜平群,含金石英脉内的锆石可以来源于围岩,也可以是热液锆石。近些年利用热液锆石 U-Pb 法测年对金矿精确定年取得了较好的进展^[17-19]。鉴于此,笔者采集了石湖金矿含金石英脉样品,拟对其中的锆石进行 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 法年龄测定,以讨论本区成岩、成矿年龄。

1 成矿地质背景

石湖金矿地处河北省灵寿县陈庄镇,是冀西目前发现的唯一大型金矿,位于华北克拉通内部古元古代形成的中央造山带中段。按照幔枝构造观点(幔枝构造是地幔热柱演化的三级构造单元,主要由核部岩浆—变质杂岩、外围拆离滑脱层和上叠断陷火山—沉积盆地组成^[20-21]),它位于太行山阜平幔枝构造核部中南段。区域出露地层主要为中太古界阜平群,岩性以黑云斜长片麻岩、浅粒岩、斜长角闪岩等为主。区内最大的侵入岩体为燕山期中酸性麻棚岩体,出露面积约 65.0km^2 。岩体外围发育大量

收稿日期: 2016-11-01

编辑: 刘江霞

基金项目: 国家自然科学基金项目(40872137);河北省自然科学基金项目(D2015403013);河北省教育厅项目(ZC2016060);河北地质大学博士基金项目(BQ201320)

作者简介: 陈超(1981—),男,讲师,主要从事构造地质学与构造成矿控矿的教学与科研工作。E-mail: goldcc@163.com

岩脉,例如 NW 向的辉绿岩脉,NE 向的闪长玢岩脉以及近 SN 向的花岗斑岩脉、花岗闪长岩脉等。区内主要发育两期构造活动:阜平期形成近 EW 向陈庄复式褶皱构造及韧性变形带;燕山期在利用和改造早期构造的基础上,形成了以 NNE—NE 向、NW 向断裂为主的构造体系,该体系的断裂构造是本区

重要的导矿和储矿构造。本区成矿地质条件优越,金银多金属矿点众多(例如石湖金矿东侧有西石门金矿、西侧有土岭金矿、南西侧有丑泥口金矿以及周围相关银铅锌矿等),找矿潜力较大,是太行山中段最重要的矿产基地(图 1)。

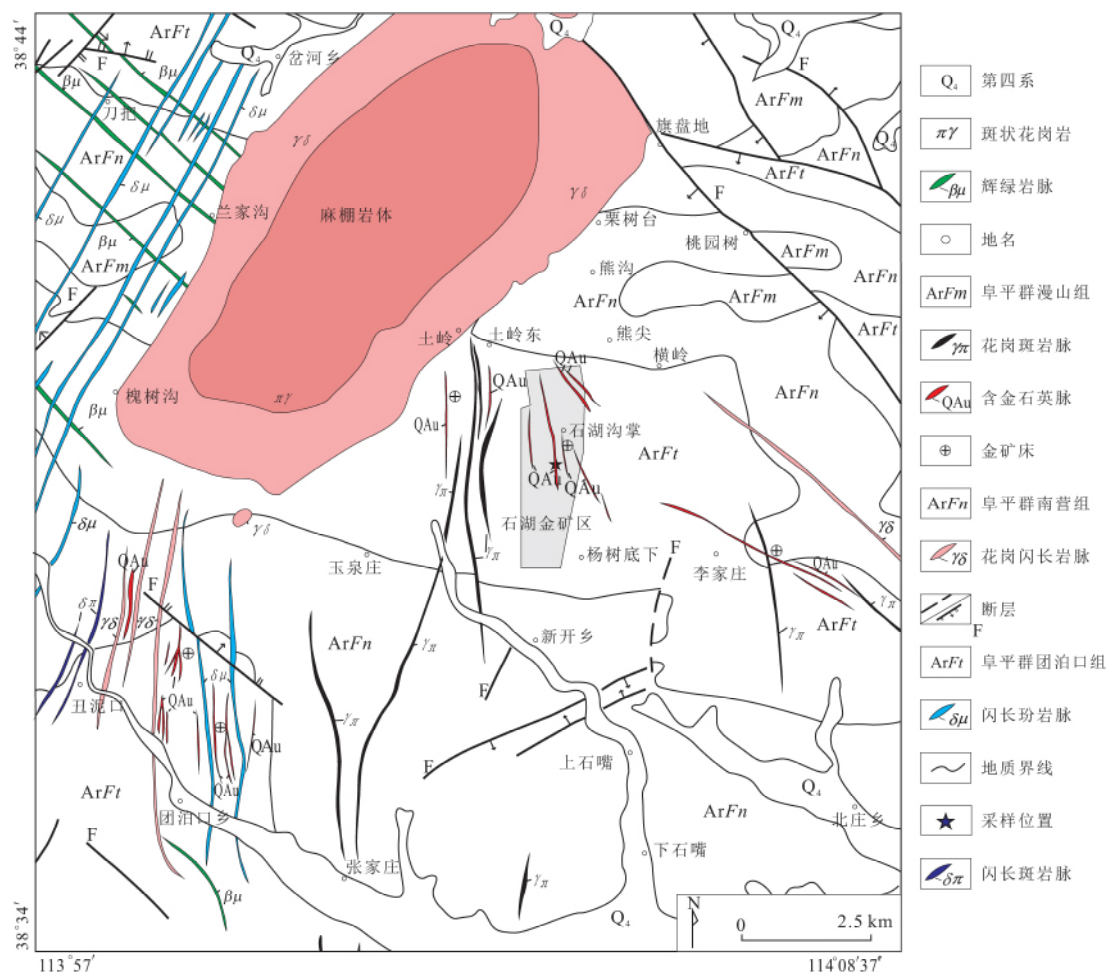


图 1 石湖金矿区域地质图

Fig.1 Regional geological map of the Shihu gold deposit

2 样品特征和分析方法

本次分析的样品均采自石湖金矿 101 脉 180 中段新鲜的石英脉型金矿石样品,样品编号:Ysh1。矿石自形一半自形粒状结构,脉状构造,多金属硫化物主要以条带状、网脉状与石英共生,矿石矿物主要有黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、黄铜矿等,脉石矿物主要为石英。

锆石样品利用标准重矿物分离技术分选,然后在双目镜下挑选出不同晶形、不同颜色和透明度好的锆石,在玻璃板上用环氧树脂固定,并抛光至锆石中心。在原位分析之前,通过双目镜和阴极发光(CL)图像详细研究锆石的晶体形貌和内部结构特

征,以选择同位素分析的最佳点。鉴于本次锆石形态特征,测试点尽量选择晶形较好、振荡环带结构清晰的部位进行测年,以确保测得的结果都是岩浆年龄。

锆石 U-Pb 测年在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室利用激光剥蚀电感耦合等离子体质谱仪(LA-ICP-MS)测定。ArF 准分子激光发生器产生 193 nm 深紫外光束,经匀化光路聚焦于锆石表面。激光束斑直径为 33 μm ,剥蚀频率 10 Hz,剥蚀时间 30 s,以高纯 He 气作为载气,与 Ar 气和少量 N_2 气混合后进入质谱仪。激光剥蚀系统由瑞索公司制造,型号为 Resonetics-S155。电感耦合等离子体质谱仪由热电公司制造,型号为 iCAP Qc。数据处理采用 ICPMSDataCal^[22-24] 进行,

锆石 U-Pb 谐和图和加权平均年龄图利用 Isoplot/Ex_ver3 软件^[25]制作。

3 锆石特征及分析结果

3.1 锆石特征

一般,含金石英脉中的锆石类型较为复杂,除了可能有热液直接晶出的热液锆石之外,还可能来自围岩的岩浆锆石和变质锆石等。因而,有效地鉴定出含金石英脉中的锆石类型,对于探讨流体演化和成岩成矿时代具有重要意义。尽管目前准确区分出热液锆石、岩浆锆石和变质锆石仍存在一定难度和不确定性,但是前人仍总结出部分鉴别规律。例如,在化学特征上,岩浆锆石 Th/U 比值较高,普通铅含量低;热液锆石 Th/U 比值很高,普通铅含量高;变质锆石 Th/U 比值低(一般小于 0.1),普通铅含量较低。在内部结构上,岩浆锆石振荡环带清晰,呈亮色的 CL;热液锆石无振荡环带,无阴极发光;变

质锆石呈黑色不分带的 CL,呈冷杉状、星云状等多种增生结构。在结晶习性上,岩浆锆石为自形,晶面简单,柱状或长柱状等;热液锆石为不规则状、多孔洞状、海绵状等,晶体的棱柱不明显;变质锆石外形呈圆卵形、不规则状,晶面复杂,有溶蚀^[17,26]。

石湖金矿石英脉矿石样品中锆石含量丰富,透射光下大多无色透明,部分锆石干净无裂纹,多数锆石为长柱状自形晶,柱面发育,粒度大多较小,长轴大多在 60~100 μm 之间,长宽比多数小于 2。阴极发光亮度较强,大多振荡环带明显,锆石内部环带宽缓(图 2)。Th、U 质量分数总体适中, $w(\text{U})$ 为 $279.53 \times 10^{-6} \sim 2\,156.91 \times 10^{-6}$,主要集中在 $405.98 \times 10^{-6} \sim 1\,381.56 \times 10^{-6}$ 之间; $w(\text{Th})$ 为 $20.91 \times 10^{-6} \sim 969.45 \times 10^{-6}$,主要集中于 $102.06 \times 10^{-6} \sim 290.50 \times 10^{-6}$ 之间;Th/U 比值在 0.03~0.89 之间,平均值 0.27,锆石 Th/U 比值大多大于 0.1。以上特征指示该石英脉中的锆石主要为岩浆成因。

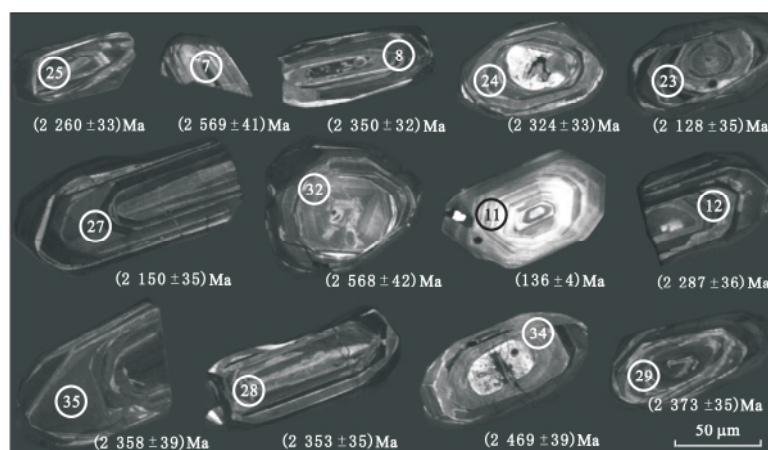


图 2 含金石英脉中锆石阴极发光照片

Fig.2 Cathodoluminescence images of zircons from gold-bearing quartz veins

3.2 分析结果

利用 LA-ICP-MS 对 YSH1 样品中 36 颗锆石进行了测试分析(表 1),除了 1 个点(YSH1-16, 普通铅含量太高且年龄也不谐和)不参与统计计算外,其余数值可分为两组,第一组 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 年龄为 $(2\,992 \pm 43) \sim (1\,922 \pm 35)$ Ma,主要集中于 $(2\,569 \pm 41) \sim (2\,014 \pm 38)$ Ma 之间。用谐和度 $> 80\%$ 的年龄数据分别制作谐和年龄图和加权平均年龄图(图 3)。年龄数据在谐和图上基本位于一致曲线下方,显示放射性成因铅明显有不同程度的丢失,其年龄数据总体组成一条不谐和直线与一致曲线相交,上交点年龄为 $(2\,492 \pm 82)$ Ma,代表岩浆锆石的结晶年龄。该组年龄表明锆石的结晶年龄在一定误差范围内靠近新太古代晚期,含金石英脉中锆石不是

燕山期热液沉淀结晶所致,而是来源于阜平群。第二组样品 YSH1-11 锆石的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 (136 ± 4) Ma,与上述第一组年龄差别很大,且该锆石为自形短柱状、CL 图像中具有清晰的振荡环带,具有典型岩浆锆石的特征,不属于热液锆石,推测该锆石为燕山期岩浆锆石混入至含金石英脉中所致。

4 讨 论

4.1 阜平群的时限问题

太行山中段阜平地区长期以来是我国前寒武纪变质岩的重点研究区域。区域内出露一套以片麻岩为主,并含少量镁质大理岩、变粒岩、斜长角闪岩及浅粒岩的变质岩系而以“阜平群”命名,该套变质岩

表 1 石湖金矿含金石英脉中锆石 LA-ICP-MS U-Pb 分析结果

Table 1 LA-ICP-MS U-Pb analytical data of zircons from gold-bearing quartz veins in the Shihu gold deposit

分析点	²³² Th	²³⁸ U	Th/ U	同位素比值			<i>t</i> /Ma	
	<i>w</i> _B /10 ^{−6}	U		²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb(1σ)	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U(1σ)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U(1σ)	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb(1σ)	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U(1σ)
YSH1-1	110.18	1 017.47	0.11	0.139 1±0.003 6	3.978 3±0.115 3	0.204 9±0.003 7	2 216±44	1 201±20
YSH1-2	264.61	1 370.36	0.19	0.129 9±0.003 2	4.127 0±0.133 2	0.227 4±0.005 3	2 098±43	1 321±28
YSH1-3	290.50	737.44	0.39	0.157 1±0.003 9	6.750 6±0.229 0	0.306 8±0.007 3	2 424±43	1 725±36
YSH1-4	203.67	943.74	0.22	0.146 8±0.003 6	6.043 2±0.193 8	0.294 2±0.006 3	2 309±43	1 662±31
YSH1-5	263.29	508.33	0.52	0.147 7±0.003 7	6.054 8±0.215 4	0.292 7±0.007 4	2 319±43	1 655±37
YSH1-6	173.07	771.27	0.22	0.178 7±0.004 7	6.949 2±0.243 0	0.277 7±0.006 0	2 643±43	1 580±31
YSH1-7	102.06	417.43	0.24	0.171 1±0.004 2	9.843 2±0.301 3	0.412 9±0.008 8	2 569±41	2 228±40
YSH1-8	38.37	599.49	0.06	0.150 3±0.003 3	9.360 4±0.289 5	0.446 4±0.010 6	2 350±32	2 379±47
YSH1-9	20.91	649.19	0.03	0.150 4±0.003 2	7.874 2±0.207 7	0.375 7±0.007 0	2 350±37	2 056±33
YSH1-10	263.80	1 182.10	0.22	0.126 0±0.002 7	4.035 4±0.133 7	0.229 4±0.005 8	2 042±39	1 331±30
YSH1-11	134.89	392.18	0.34	0.054 4±0.003 7	0.156 3±0.010 0	0.021 3±0.000 7	387±152	136±4
YSH1-12	97.79	592.69	0.16	0.144 8±0.003 1	7.242 2±0.227 6	0.359 2±0.009 5	2 287±36	1 978±45
YSH1-13	201.63	857.89	0.24	0.152 4±0.003 1	6.052 6±0.170 5	0.284 5±0.005 8	2 373±34	1 614±29
YSH1-14	508.17	569.35	0.89	0.164 8±0.003 9	6.253 9±0.180 9	0.272 9±0.005 8	2 505±41	1 555±30
YSH1-15	490.22	2 156.91	0.23	0.124 0±0.002 6	1.936 0±0.049 6	0.112 2±0.002 1	2 014±38	686±12
YSH1-16	76.02	569.01	0.13	0.535 3±0.018 8	63.297 4±3.878 9	0.772 8±0.033 1	4 342±46	3 691±120
YSH1-17	116.06	490.32	0.24	0.158 5±0.003 1	8.472 6±0.219 2	0.382 8±0.006 8	2 440±33	2 089±32
YSH1-18	653.45	970.16	0.67	0.143 4±0.002 7	5.349 0±0.132 6	0.267 9±0.005 0	2 269±33	1 530±25
YSH1-19	44.58	1 244.85	0.04	0.117 1±0.002 3	3.247 1±0.088 9	0.199 0±0.004 1	1 922±35	1 170±22
YSH1-20	28.86	279.53	0.10	0.157 2±0.003 0	10.688 0±0.259 3	0.489 2±0.009 3	2 426±32	2 567±40
YSH1-21	182.49	1 248.45	0.15	0.161 2±0.005 0	3.563 7±0.154 0	0.157 4±0.003 7	2 469±52	943±21
YSH1-22	191.19	654.50	0.29	0.146 5±0.002 8	5.859 1±0.142 8	0.287 8±0.005 5	2 305±33	1 630±27
YSH1-23	407.23	878.88	0.46	0.132 1±0.002 6	4.603 6±0.142 1	0.250 7±0.006 7	2 128±35	1 442±34
YSH1-24	50.13	496.62	0.10	0.148 1±0.002 9	6.794 6±0.184 2	0.329 6±0.006 8	2 324±33	1 836±33
YSH1-25	136.71	695.46	0.20	0.142 8±0.002 8	6.090 9±0.197 1	0.306 4±0.008 2	2 261±33	1 723±40
YSH1-26	969.45	1 653.30	0.59	0.221 6±0.005 8	6.396 7±0.237 2	0.205 6±0.004 6	2 992±43	1 205±24
YSH1-27	433.03	1 553.98	0.28	0.133 8±0.002 7	3.664 9±0.115 0	0.195 3±0.004 3	2 150±35	1 150±23
YSH1-28	79.49	657.56	0.12	0.150 6±0.003 1	7.317 0±0.191 7	0.349 2±0.006 5	2 354±35	1 931±31
YSH1-29	111.96	776.64	0.14	0.152 3±0.003 2	6.723 4±0.192 6	0.316 9±0.006 8	2 373±35	1 775±33
YSH1-30	261.97	1 381.56	0.19	0.130 6±0.002 9	3.609 1±0.140 2	0.196 2±0.005 4	2 106±40	1 155±29
YSH1-31	222.54	1 034.78	0.22	0.152 4±0.003 3	4.658 6±0.114 8	0.219 7±0.003 4	2 373±37	1 281±18
YSH1-32	160.08	537.94	0.30	0.171 0±0.004 3	8.667 0±0.241 3	0.364 3±0.006 0	2 568±42	2 003±28
YSH1-33	643.18	1 337.82	0.48	0.145 2±0.003 3	3.900 8±0.098 5	0.193 1±0.003 0	2 290±38	1 138±16
YSH1-34	62.90	409.70	0.15	0.161 3±0.003 7	7.790 0±0.216 7	0.347 3±0.006 5	2 469±39	1 922±31
YSH1-35	217.13	1 179.91	0.18	0.151 0±0.003 4	6.206 3±0.174 2	0.295 0±0.005 4	2 358±39	1 667±27
YSH1-36	189.64	405.98	0.47	0.160 2±0.003 8	9.000 3±0.263 6	0.404 0±0.008 1	2 458±41	2 187±37

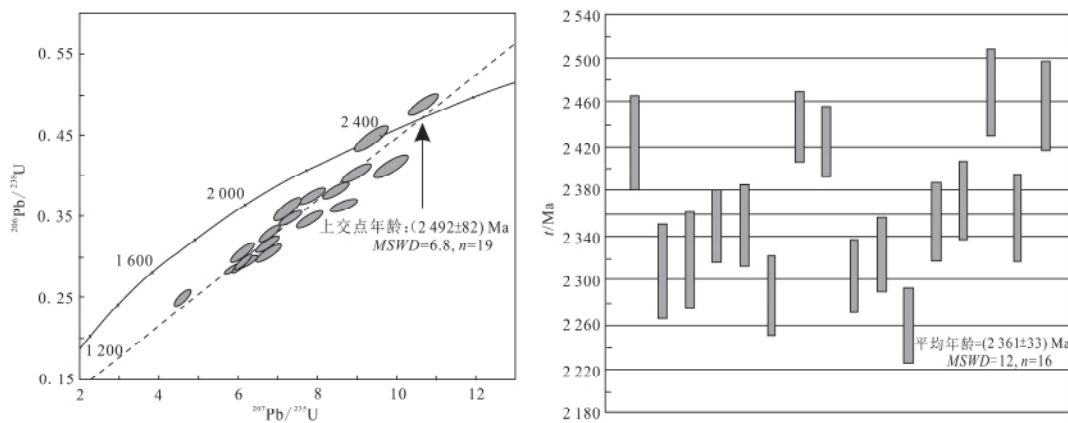


图 3 含金石英脉中锆石 U-Pb 谐和年龄和加权平均年龄图

Fig.3 Concordia diagram and weighted average age diagram of zircon U-Pb data from gold-bearing quartz veins in the Shihu gold deposit

系的形成时代、岩石成因长期被前寒武纪研究者们所关注^[12,14]。对该套岩系的岩石成因至少有2种不同认识:一种观点认为本区岩石属阜平群,是以沉积作用为主的表壳岩系^[12];第二种观点认为本区为阜平杂岩,由不同时代、不同成因等各种高级变质岩组成,主体为TTG片麻岩^[14]。对于阜平群(也称“阜平杂岩”)的主要形成时间也有着较大分歧,已有的年代学结果统计如表2所示,总的来说,有以下3种观点:一种观点认为阜平群主要为表壳岩系,形成时间应早于2 800 Ma^[12-13,27-28];第二种观点认为阜平群表壳岩系的形成时间应晚于2 800 Ma^[29-31];第三种观点认为阜平杂岩主体为TTG(英云闪长岩—奥长花岗岩—花岗闪长岩)质片麻岩,结晶年龄在2 500 Ma左右^[14,32-34],这一年龄结论得到了后来研究者的直接或间接支持^[11,35-36]。例如,Zhao等^[35]对阜平杂岩中不同的岩石单元进行了锆石 U-Pb 年代学测定,阜平英云闪长岩、奥长花岗岩、花岗闪长岩深成岩年龄为(2 523±14), (2 499±10), (2 486±8) Ma。龙泉关二长花岗岩、花岗质深成岩成岩年龄分别为(2 510±22)~(2 507±11) Ma,湾子岩群表壳泥质和碎屑岩年龄为(2 507±14)~(2 502±5)

Ma,南营花岗质片麻岩年龄在(2 077±13)~(2 024±21) Ma之间^[35]。

石湖金矿的赋矿围岩主要为阜平群团泊口组黑云斜长片麻岩,矿区含金石英脉中锆石显示岩浆锆石特征,其 U-Pb 上交点年龄为(2 492±82) Ma,其年龄与前人^[11,14,32-36]所测得阜平 TTG 片麻岩 2.5 Ga 左右接近,表明本次所测得锆石可能来自赋矿围岩,是由于后期构造活动使得硅质进入裂隙形成石英脉的过程中,混入了部分围岩(阜平群 TTG 片麻岩)锆石所致。本次研究结果在一定程度上佐证了前人^[11,14,32-36]阜平 TTG 片麻岩是深成侵入体的认识。

4.2 石湖金矿的成矿年龄

石英脉型金矿床成矿时代的精确测定一直是近年矿床学研究的难点和重点。随着测试技术的进步,利用同位素测年来限定金矿床成矿时代的可靠性大大提高,其中部分金矿床(例如胶东乳山金矿、海南抱伦金矿等)通过测定其含金石英脉中热液锆石的 U-Pb 年龄,准确地限定了成矿时代。对于石湖金矿,本矿区含金石英脉中锆石基本为岩浆锆石,没有发现热液锆石,因而只能通过地质体之间野外的接触关系来确定其成矿时代。在矿井下或者矿石

表2 有关阜平群的主要测年数据

Table 2 The main related age data of the Fuping Group

序号	采样位置	测试样品	测年方法	测试年龄/Ma	主要结论	资料来源
1	阜平县大柳树村阜平岩群底部	黑云片麻岩中碎屑锆石	U-Pb	2 800±	阜平群不老于 2 800 Ma	文献[30]
2	平山县孟家庄阜平岩群中部	浅粒岩中碎屑锆石	U-Pb	2 700~2 900	阜平群不老于 2 900 Ma	
3	阜平县大柳树村阜平岩群底部	角闪岩、麻粒岩和片麻岩	Sm-Nd	2 790±	阜平群不老于 2 790 Ma	文献[31]
4	阜平岩群不同层位	变质岩中碎屑锆石	U-Pb	2 800±	阜平群不老于 2 800 Ma	文献[29]
5	平山县南甸阜平群下部南营组	斜长角闪岩	Sm-Nd	3 290±18	阜平超群陈庄群的下限年龄	文献[12]
6	阜平县龙泉关南营组	黑云斜长片麻岩中锆石	U-Pb	2 825	阜平超群湾子群的上限年龄	文献[27]
7	平山东庄	花岗片麻岩	Sm-Nd	2 886	阜平群上限大 2 800 Ma, 下限不小于 3 000 Ma	文献[28]
8	阜平县大柳树村阜平群下部	斜长角闪岩	Sm-Nd	3 352±50	阜平群 2 800~3 400 Ma	文献[13]
9	阜平县东城铺大石峪片麻岩	角闪斜长片麻岩中锆石	U-Pb	2 690±60	阜平 TTG 系列岩体结晶年龄	文献[33]
10	阜平县平阳村平阳片麻岩	黑云斜长片麻岩中锆石	U-Pb	2 510		
11	阜平县坊里附近	黑云斜长片麻岩中锆石	U-Pb	2 535±8		
12	阜平县大柳树村附近	黑云斜长片麻岩	Sm-Nd	2 500~2 550	阜平群主体(黑云斜长片麻岩)成岩年龄	文献[34]
13	阜平县西漕口村附近	黑云斜长片麻岩中岩浆锆石	U-Pb	2 505±7	阜平 TTG 片麻岩结晶年龄	文献[14]
14	阜平杂岩区	阜平片麻岩中锆石	U-Pb	2 500±	阜平云英闪长、奥长、花岗闪长深成岩年龄分别为(2 523±14), (2 499±10)和(2 486±8) Ma	文献[35]
15	阜平杂岩区	湾子表壳岩中锆石	U-Pb	2 500±	湾子岩群表壳泥质和碎屑岩年龄为(2 502±5) Ma 和(2 507±14) Ma	
16	阜平杂岩区	龙泉关眼球状片麻岩中锆石	U-Pb	2 500±	龙泉关二长花岗岩、花岗质深成岩成岩年龄分别为(2 510±22) Ma 和(2 507±11) Ma	
17	阜平杂岩区	南营花岗片麻岩中锆石	U-Pb	2 050±	南营花岗质片麻岩年龄(2 077±13)~(2 024±21) Ma 之间	
18	平山县板桥沟	伟晶岩脉中锆石	U-Pb	1 872±19	核部残留 2 500 Ma 母岩年龄	文献[36]
19	平山县小觉地区	黑云变粒岩中变质锆石	U-Pb	2 550±4	区域变质作用时间不小于 2 550 Ma, 后期叠加的深熔作用时间约 2 470 Ma, 它们同属于阜平期	文献[11]
20	平山县小觉地区	斜长角闪岩中岩浆锆石, 后期变质叠加	U-Pb	2 490±10		
21	平山县小觉地区	花岗闪长质岩石中深熔新生锆石	U-Pb	2 470±9		
22	平山县小觉地区	钾长浅粒岩中深熔变质锆石	U-Pb	2 440±10		

标本上均可清楚看见硫化物(硅化)呈细脉状或者浸染状分布于赋矿围岩石英闪长玢岩、阜平群片麻岩中,这说明主成矿时代一定晚于赋矿围岩。石英闪长玢岩和麻棚岩体的成岩年龄在 $135\sim 125\text{ Ma}$ 之间^[7-8,16,37]。例如,李阳等^[7]测得麻棚岩体过渡相花岗闪长岩 SHRIMP U-Pb 年龄为 $(125.0\pm 3.4)\text{ Ma}$;李林林等^[8]测得麻棚岩体由边部向核部石英闪长岩、花岗闪长岩、似斑状花岗岩 3 个相带锆石的 LA-ICP-MS U-Pb 年龄分别为 (126.4 ± 2.4) , (125 ± 2.0) , $(126.2\pm 2.0)\text{ Ma}$;曹焱^[16]利用 LA-ICP-MS 法测得麻棚岩体中心相花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 $(130.5\pm 1.8)\text{ Ma}$,过渡相花岗闪长岩锆石 U-Pb 年龄为 $(130.8\pm 1.3)\text{ Ma}$,闪长岩脉锆石 U-Pb 年龄为 $(131\pm 2.0)\text{ Ma}$,石英闪长玢岩锆石 U-Pb 年龄为 $(130\pm 1.4)\text{ Ma}$;王启超等^[37]测得麻棚岩体全岩 Rb-Sr 法年龄为 $(135\pm 8.8)\text{ Ma}$ 。这说明石湖金矿的主成矿时代至少应晚于 135 Ma 。

关于石湖金矿年龄,仅有个别学者主要对含金石英脉中石英($^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法)、石英和黄铁矿(Rb-Sr 法)进行了测年,取得了 140 Ma 左右的同位素年龄(其中 $^{40}\text{Ar}-^{39}\text{Ar}$ 法测年正等时线年龄为 $(141\pm 4)\text{ Ma}$,反等时线年龄为 $(139\pm 7)\text{ Ma}$;Rb-Sr 法等时线年龄为 139 Ma),并结合麻棚岩体成岩年龄,认为石湖金矿成矿年龄的上限为 130 Ma ^[16]。其实,Ar-Ar 法测年可能会由于同位素体系不封闭而导致测试年龄偏大,而 Rb-Sr 法测年也可能由于 Rb/Sr 比值太低而导致其实验结果不准。不同于前人测年结果,本次对含金石英脉中锆石进行的 LA-ICP-MS U-Pb 测年发现,样品 YSH1-11 锆石为岩浆锆石,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $(136\pm 4)\text{ Ma}$,该锆石也是后期形成石英脉时混入所致,来源于赋矿岩体。虽然只有一个样品,但也能说明一次地质事件,说明含金石英脉及成矿时代均应晚于 $(136\pm 4)\text{ Ma}$ 。

通过地质体之间接触关系及同位素测试结果综合表明:石湖金矿的成矿时代应晚于 $(136\pm 4)\text{ Ma}$,含金石英脉中混入了部分围岩物质。

5 结 论

(1)对石湖金矿石英脉中锆石的形态学特征、Th/U 比值的研究表明,其主要为典型的岩浆锆石。

(2)石湖金矿石英脉中锆石的 U-Pb 年龄主要集中于 $(2\ 569\pm 41)\sim(2\ 014\pm 38)\text{ Ma}$ 之间。在年龄数据谐和图上基本位于一致曲线下方,显示放射性成因铅明显有不同程度的丢失,其年龄数据经分析后与一致曲线相交,上交点年龄为 $(2\ 492\pm 82)\text{ Ma}$,代表岩浆锆石的结晶年龄,可以代表阜平地区

TTG 片麻岩的结晶年龄。

(3)石湖金矿含金石英脉形成于 $(136\pm 4)\text{ Ma}$ 之后,表明主要成矿事件发生在 $(136\pm 4)\text{ Ma}$ 之后。石英脉中没有热液锆石,锆石来自围岩,成矿期含金石英脉中应有围岩物质混入。

参考文献:

- [1] Pelletier E, Cheilletz A, Gasquet D, et al. Hydrothermal zircons: A tool for ion microprobe U-Pb dating of gold mineralization (Tamlalt-Menhouhou gold deposit-Morocco)[J]. Chemical Geology, 2007, 245(3/4): 135-161.
- [2] Zhou Q, Jiang Y H, Zhao P, et al. SHRIMP U-Pb dating on hydrothermal zircons: Evidence for an Early Cretaceous epithermal event in the middle Jurassic Dexing porphyry copper deposit, southeast China[J]. Economic Geology, 2012, 107(7): 1507-1514.
- [3] Zhu J, Peng S G, Peng L H. U-Pb dating of hydrothermal zircons from the Neoproterozoic Liushanyan VMS Cu-Zn deposit, Central China: Evidence for a Triassic deformation event[J]. Resource Geology, 2016, 66(3): 227-239.
- [4] Burda J, Gawęda A, Klötzli U. U-Pb zircon age of the youngest magmatic activity in the High Tatra granites (Central Western Carpathians)[J]. Geochronometria, 2014, 40(2): 134-144.
- [5] 胡鹏, 陈能松, 徐先兵, 等. 赣皖交界婺源地区中生代花岗岩体的锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质科技情报, 2014, 33(4): 24-30.
- [6] 岳相元, 周雄, 张永涛, 等. 青海引胜沟岩体的锆石 U-Pb 年代学、地球化学特征及其地质意义[J]. 地质科技情报, 2016, 35(4): 29-37.
- [7] 刘阳, 李程明, 郑杰, 等. 太行山北段麻棚岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其意义[J]. 地质与勘探, 2010, 46(4): 622-627.
- [8] 李林林, 韩宝福, 苗国均, 等. 太行山阜平杂岩中麻棚-赤瓦屋岩体的时代、侵位深度及构造意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2012, 31(3): 289-306.
- [9] 刘小滨. 太行山中段麻棚岩体成因矿物学及其与成矿的关系[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2009.
- [10] Cao Y, Li S R, Xiong X X, et al. Laser ablation ICP-MS U-Pb zircon geochronology of granitoids and quartz veins in the Shihu Gold Mine, Taihang Orogen, North China: Timing of gold mineralization and tectonic implication[J]. Acta Geologica, 2012, 86(5): 1211-1224.
- [11] 程裕淇, 万渝生, 高吉凤. 河北平山小觉地区阜平群变质作用和深熔作用同位素年代研究的初步[J]. 地质学报, 2000, 74(1): 30-38.
- [12] 王启超, 赵永利, 王琴廷, 等. 太行山区阜平超群的地质时代及层序[J]. 地层学杂志, 2001, 25(增刊): 391-397.
- [13] 沈保丰, 李俊建, 林源贤, 等. 阜平群下部 Sm-Nd 同位素年龄及其地质意义[J]. 地质学报, 2005, 79(6): 784-789.
- [14] 孙敏, 关鸿. 阜平杂岩年龄及其地质意义: 兼论前寒武高级变质地体的定年问题[J]. 岩石学报, 2001, 17(1): 145-156.
- [15] Guan H, Sun M, Wilde S A, et al. SHRIMP U-Pb zircon geochronology of the Fuping Complex: Implications for formation and assembly of the North China craton[J]. Precambrian Research, 2002, 113: 1-18.
- [16] 曹焱. 冀西灵寿县石湖金矿床的矿物地球化学及深部远景预测[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012.

- [17] 毕诗建,李建成,赵新福.热液锆石 U-Pb 定年与石英脉型金矿成矿时代:评述与展望[J].地质科技情报,2008,27(1):69-76.
- [18] Hu F F, Fan H R, Yang J H, et al. Mineralizing age of the Rushan lode gold deposit in the Jiaodong Peninsula: SHRIMP U-Pb dating on hydrothermal zircon[J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(15): 1629-1636.
- [19] 张小文, 向华, 钟增球, 等. 海南尖峰岭岩体热液锆石 U-Pb 定年及微量元素研究: 对热液作用及抱伦金矿成矿时代的限定[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2009, 34(6): 921-930.
- [20] 牛树银, 罗殿文, 叶东虎, 等. 幔枝构造及其成矿规律[M]. 北京: 地震出版社, 1996.
- [21] 牛树银, 孙爱群, 王宝德. 地幔热柱与资源环境[M]. 北京: 地质出版社, 2007.
- [22] Liu Y S, Hu Z C, Gao S, et al. In situ analysis of major and trace elements of anhydrous minerals by LA-ICP-MS without applying an internal standard[J]. Chemical Geology, 2008, 257(1/2): 34-43.
- [23] Liu Y S, Gao S, Hu Z C, et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons of mantle xenoliths[J]. Journal of Petrology, 2010, 51: 537-571.
- [24] Liu Y S, Hu Z C, Zong K Q, et al. Reappraisal and refinement of zircon U-Pb isotope and trace element analyses by LA-ICP-MS[J]. Chinese Science Bulletin, 2010, 55(15): 1535-1546.
- [25] Ludwig K R. ISOPLOT 3.00: A Geochronological Toolkit for Microsoft Excel[M]. California, Berkeley: Berkeley Geochronology Center, 2003: 39.
- [26] 李长民. 锆石成因矿物学与锆石微区定年综述[J]. 地质调查与研究, 2009, 33(3): 161-174.
- [27] 王启超, 高明文, 范嗣昆, 等. 关于阜平超群的时代归属问题的讨论[J]. 地质地球化学, 1992(2): 封 3-4.
- [28] 李勤, 张德生. 河北省早前寒武纪变质基底的划分和对比[J]. 前寒武纪研究进展, 2002, 25(1): 52-58.
- [29] 刘敦一, Page R W. 太行山—五台山前寒武纪变质岩系同位素地质年代学研究[J]. 中国地质科学院院报, 1984, 8: 57-79.
- [30] 伍家善, 耿元生, 徐惠芬, 等. 阜平群变质地质[J]. 中国地质科学院地质研究所所刊第 19 号, 1989: 1-213.
- [31] 张宗清, 伍家善, 叶笑江. 阜平群下部太古代变质岩石的 REE、Rb-Sr 和 Sm-Nd 年龄及其意义[J]. 地球化学, 1991, 20(2): 118-127.
- [32] 王凯怡, 郝杰. 单颗粒锆石离子探针质谱定年结果对五台造山事件的制约[J]. 科学通报, 1997, 42(12): 1295-1298.
- [33] 关鸿, 孙敏, 徐平. 阜平杂岩中几种不同类型片麻岩的锆石激光探针等离子质谱年代学研究[J]. 岩石学报, 1998, 14(4): 460-470.
- [34] 刘树文, 梁海华, 赵国春, 等. 太行山早前寒武纪杂岩的同位素年代学和地质事件[J]. 中国科学: 地球科学, 2000, 30(1): 18-24.
- [35] Zhao G C, Wilde S A, Cawood P A, et al. SHRIMP U-Pb zircon ages of the Fuping complex: Implications for Late Archean to Paleoproterozoic accretion and assembly of the North China Craton [J]. American Journal of Science, 2002, 302: 191-226.
- [36] 李基宏, 杨崇辉, 杜利林. 河北平山深熔伟晶岩锆石成因及 SHRIMP U-Pb 年龄[J]. 自然科学进展, 2004, 14(7): 774-781.
- [37] 王启超, 马俊良, 张建中. 河北省灵寿阜平接壤地带麻棚金矿田的地球化学特征及矿床成因[J]. 地球化学, 1995, 24(1): 56-68.

Zircon U-Pb Ages of Gold-Bearing Quartz Veins in the Shihu Gold Deposit of Hebei Province and Its Geological Significance

Chen Chao¹, Wang Fang¹, Zhao Fuwang², Zhang Fuxiang¹, Niu Shuyin¹,
Ma Baojun¹, Gao Yincang², Wang Jiancheng², Lu Yafei², Cao Yaqi¹, Zhang Xiaoqing¹

(1. Hebei GEO University, Shijiazhuang 050031, China;

2. Comprehensive Geological Institute of Shijiazhuang, Shijiazhuang 050081, China)

Abstract: The Shihu gold deposit, currently the only large gold deposit in the western Hebei, is located in the middle-southern section of Fuping mantle branch and its surrounding rocks are mainly Archean Fuping Group rocks. In order to deeply study the metallogenic age of this gold deposit, this paper focuses the zircons from gold-bearing quartz veins with analysis of cathodoluminescence image features and U-Pb ages by LA-ICP-MS. The results show that the zircons mainly display characteristics of magmatic zircon, with idiomorphic-hypidiomorphic texture and oscillatory zones, main Th/U ratio above 0.1. Two main groups of zircon U-Pb ages were obtained, the $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ages of $(2\,569 \pm 41) - (2\,014 \pm 38)$ Ma and the $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ages of (136 ± 4) Ma respectively. The first ages are mainly below the discordia, indicating the varying degree of losses of radiogenic lead. And an upper intercepted age of $(2\,492 \pm 82)$ Ma shows the crystallization age of magmatic zircon probably from the Fuping Group TTG gneiss. Combining the second age with the spatial position relation of ore bearing geological bodies, it shows that the main metallogenic events of Shihu gold deposit occurred after (136 ± 4) Ma. In addition, the hydrothermal zircons have not been found in gold-bearing quartz veins in the current and zircons are from the surrounding rock.

Key words: Shihu gold deposit; zircon; U-Pb age; gold-bearing quartz vein; mantle branch structure; Mapeng granitic intrusion; Fuping Group