

文章编号:1671-1947(2001)03-0133-06

阿尔金北缘大平沟金矿床成因初探

杨 风¹, 陈柏林², 陈宣华², 王小凤², 王克卓¹, 陈正乐², 李学智¹, 杨 屹¹

(1. 新疆地质调查院第一地质调查所, 新疆 乌鲁木齐 830011;

2. 中国地质科学院 地质力学研究所, 北京 100081)

摘 要: 大平沟金矿床是阿尔金北缘地区近年来新发现的为数有限的金矿床之一, 受韧性剪切带构造控制, 矿化类型主要为蚀变糜棱岩型及少量钾长石石英脉型。稀土元素、流体、包裹体特征和稳定同位素研究显示成矿物质主要来源于变质岩, 成矿温度 198~290 °C, 成矿流体密度为 0.791~0.971 g/cm³, 盐度 2.36%~5.5%, 成矿压力 42~70 MPa, 成矿深度为 1.61~2.68 km。成矿流体主要来源于变质岩, 有少量岩浆水和大气降水的混入, 金矿化年龄 200 Ma, 属于印支期中温动力变质热液型金矿床。

关键词: 中温动力变质热液型; 大平沟金矿床; 成因; 印支期; 阿尔金北缘地区。

文献标识码: A

中图分类号: P618.51

矿床形成的实质是地壳中有用元素在地质作用影响下从分散到聚集的地球化学过程。对热液矿床来说, 这个过程中包括矿质和矿液的来源和成因机制、矿液的运移条件、成矿物质的运移形式和析出条件等。系统地阐述上述内容对正确认识矿床成因、探讨成矿机制、建立成矿模式是至关重要的, 在找矿预测方面也具有重要的指导意义。大平沟金矿床作为阿尔金北缘地区近年来新发现的为数有限的金矿床之一, 还未进行过这方面系统的研究工作。本文在认识成矿地质背景基础上, 着重分析了成矿物质来源, 特别是从成矿的地球化学特征(稀土元素、稳定同位素)和成矿流体包裹体特征及其变化等综合因素考虑, 对大平沟金矿床的成因进行初步分析。

1 矿床地质概述

大平沟金矿床位于新疆维吾尔自治区若羌县, 其大地构造位置是青藏高原北侧, 阿尔金走滑断裂系北段与祁连山西段交会复合部位, 区域上属于阿尔金北缘构造带中段的太古宇隆起区^[1,2]。矿区出露太古宇达格拉格布拉克群(Ardg)中深变质岩, 主要岩性为褐灰—褐红色变粒岩、灰绿色变粒岩夹片岩、灰绿

色片岩夹变粒岩, 其中褐红色钾长变粒岩是金矿体的直接赋矿围岩。岩层倾向南, 倾角 68~75°。在褐红色钾长变粒岩中发育韧性剪切带, 岩石普遍糜棱岩化, 并发生构造动力退变质作用, 形成各种糜棱岩和绢云母绿泥片岩等。

金矿化严格受韧性剪切带控制, 韧性剪切带呈北西西走向, 倾向南南西, 倾角 65~85°。韧性剪切带的控矿作用表现为: 首先, 韧性剪切带及其演化过程中形成的韧—脆性剪切带是惟一的赋矿构造; 第二, 韧性剪切带及其演化形成的韧—脆性变形带控制了金矿化带及金矿体的形态、产状和分布; 第三, 由于控矿构造是韧性—脆性构造变形, 金矿化表现为蚀变糜棱岩型为主, 少量为石英脉型, 同时, 矿化蚀变方式表现为交代蚀变作用; 第四, 韧性剪切带中石英脉型金矿体的分布主要有与糜棱岩面理呈小角度的 P 型及与剪切带边界平行的 D 型。

2 成矿物质来源分析——稀土元素特征

稀土元素特征是成矿物质的重要指示剂^[3]。大平沟金矿床变粒岩、糜棱岩、条带状钾长石英脉(含金石英脉)和烟灰色石英脉的稀土元素分析结果及特征参数列于表 1 中。图 1 给出了球粒陨石标准化稀土配分型式。

图表分析结果反映出, 含金石英脉与金矿化围岩

收稿日期: 2001-07-08. 张哲编辑。

基金项目: 国家 305 项目(96-915-06-01)和新一轮国土资源大调查项目(K1.1.2.3)联合资助。

的稀土配分具有相似性，它们都具有轻稀土强烈富集的特征，Eu 异常和 Ce 异常不明显，只是在糜棱岩和纯净的无矿化烟灰色石英脉中具有弱的 Ce 异常，这说明了它们可能具有同源性。其中钾长变粒岩稀土总量为 421.57×10^{-6} ，随着片理化和糜棱岩化作用，蚀变糜棱岩中稀土总量降至 209.72×10^{-6} ，在含金的条带状钾长石石英脉中稀土总量更少，而在烟灰色石英脉中，稀土总量降至最低，为 8.572×10^{-6} 。

3 流体包裹体特征及其反映的成矿物化条件
3.1 石英包裹体一般特征

所测样品为大平沟金矿床钾长石石英脉型金矿石中的石英。测定结果显示，样品中流体包裹体均较发育，但包裹体普遍很小，一般 $1 \sim 4 \mu\text{m}$ ，部分 $5 \sim 8 \mu\text{m}$ ，个别 $10 \sim 12 \mu\text{m}$ 。包裹体多密集成群分布或沿微裂隙分布。包裹体形态以小圆粒状、小椭圆粒状等为主，但由于包裹体很小，镜下小气泡常呈小黑点，有的在常温下跳动。室温下都为气液两相，其气相比一般为 $10\% \sim 40\%$ ，部分气相比很小，气相呈小点。包裹体中 CO_2 含量普遍较低，说明成矿流体中 CO_2 的数量很少。对包裹体镜下观察未发现成矿流体有过沸腾迹象。

表 1 大平沟金矿床矿石和围岩稀土元素分析结果和特征参数
Table 1 Contents and parameters of REE of ore and wall rocks from Dapinggou gold deposit

样品号	岩石名称	元 素 含 量/ 10^{-6}															
		La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	
D7 - 1 *	变粒岩	109.4	185.5	18.02	75.55	11.21	2.6	8.76	0.94	4.77	0.87	2.12	0.25	1.46	0.12	18.52	
D7 - 10 *	糜棱岩	41.96	115.5	6.98	30.32	4.63	1.18	3.71	0.48	2.48	0.42	1.07	0.12	0.75	0.12	9.2	
D7 - 11 **	条带状钾长石石英脉	9.83	14.8	1.86	6.55	1.1	0.37	0.92	0.1	0.47	0.09	0.2	0.03	0.2	0.03	2.09	
D7 - 14 **	烟灰色石英脉	1.48	4.69	0.36	1.34	0.25	0.05	0.2	0.03	0.1	0.016	0.035	0.004	0.013	0.004	0.36	

样品号	岩石名称	REE	LREE/ HREE	(La/ Yb) _N	(La/ Sm) _N	(Gd/ Yb) _N	Eu	Ce
D7 - 1	变粒岩	421.57	39.04	50.52	6.14	4.84	0.80	1.01
D7 - 10	糜棱岩	209.72	37.55	37.72	5.70	3.99	0.87	1.62
D7 - 11	条带状钾长石石英脉	36.55	31.63	33.14	5.62	3.71	1.12	0.83
D7 - 14	烟灰色石英脉	8.572	41.44	76.75	3.72	12.41	0.68	1.55

分析者：国家地质实验测试中心；*为等离子光谱分析结果，**为等离子质量分析结果；REE 单位为 10^{-6} 。

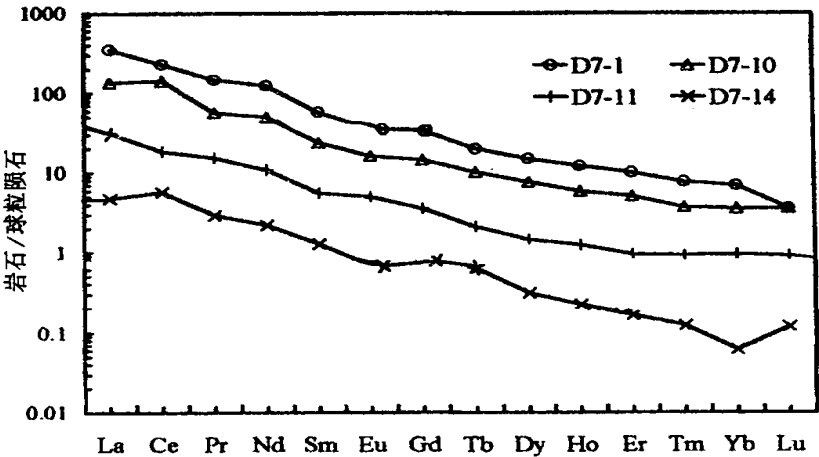


图 1 大平沟金矿金矿石和围岩稀土配分模式图
(球粒陨石标准化数据据 Boynton, 1984)

Fig. 1 REE distribution pattern of ores and rocks form Dapinggou gold deposit
(The standardized data of chondrite after Boynton, 1984)

3.2 均一温度

4件样品29个均一温度测定值介于134~393之间,样品平均分别为204、231、143和247,属中偏低的温度范畴,在直方图上均一温度频数呈现出两个峰值,峰值范围分别位于130~170和190~270左右(图2),表明成矿过程经历两个成矿阶段。

3.3 成矿流体密度和盐度

盐度是根据气-液包裹体水溶液的冷冻温度确定的。根据包裹体成分资料及矿石(指石英脉)中方解

石发育有限的事实,假定成矿流体按NaCl-H₂O体系来处理,4件样品的盐度均小于6%。较低的盐度表明不是地下热卤水或同生海水成矿,而是与大多数中低温热液金矿(一般小于6%,极少超过11%)相似^[4]。

由于包裹体均一温度和盐度计算出的流体密度显示,本区成矿流体密度为0.791~0.971 g/cm³,平均0.897 g/cm³,均小于1.0 g/cm³,但接近于1.0 g/cm³。盐度和密度数据反映出本区流体具有岩浆热液和变质热液共同来源^[4]。

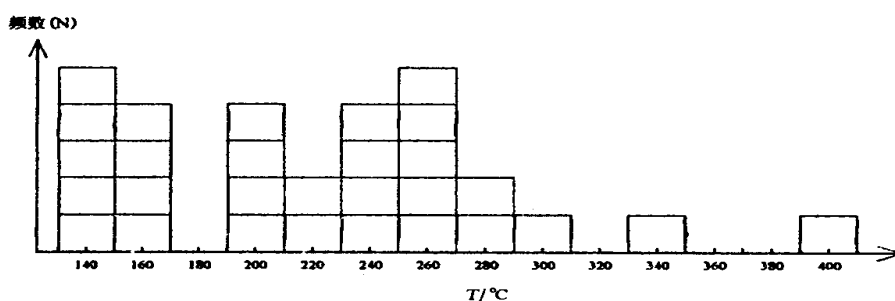


图2 大平沟金矿石中流体包裹体均一温度频数直方图

Fig. 2 Frequency distribution of inclusion homogenization temperature of quartz from Dapinggou gold deposit

3.4 成矿压力和成矿深度计算

运用何知礼(1982)所提出的5%、10%和20%的NaCl-H₂O体系相图,依据均一温度、盐度、密度可求得成矿流体包裹体形成时的压力,其结果为28~72 MPa(表2),若按地压梯度(26 MPa/km)计,则成矿深度为1.08~2.77 km。主要成矿压力为42~70 MPa,成矿深度为1.61~2.68 km。从单个样品来看,D6-5的石英形成深度比较大,这与该样品石英的结构特点相一致。

如果考虑矿物包裹体压力代表的是矿物结晶时所捕获的成矿流体的压力,而由于矿脉中矿物的结晶作用发育于流体压力最低的时候,那么,按照陈柏林^[5]提出的脉状金矿床成矿深度的估算方法,则成矿深度为3.59~6.00 km,这与含金石英脉中的石英具有一定变形的特点是吻合的。

3.5 捕获温度

按NaCl-H₂O体系,由上述均一温度、成矿流体包裹体形成压力可求得温度校正(22~64),并求得包裹体形成时的温度(即捕获温度)变化于198~

290之间,并具有198~235和285~290两个峰值(表2),该温度更贴近成矿温度。

4 矿石氢氧同位素特征及其反映的成矿流体来源

4.1 氢氧同位素特征

大平沟金矿床氢氧同位素测定结果(表3)显示,¹⁸O_Q = 11.2‰~13.0‰,与花岗岩相当(7‰~13‰,福尔,1986)。相应包裹体水的氢同位素D = -57‰~-59‰(2号样品D7-5因纯度影响未计入)。根据Clayton等(1972)给出石英-水体系中氧同位素分馏随温度变化的关系式:¹⁸O_{石英} - ¹⁸O_水 = A(10⁶ T⁻²) + B(当T = 200~500时,A = 3.38, B = -3.40),并由包体捕获温度求得的成矿流体中水的¹⁸O_水为2.24‰~4.04‰。将其与相应的D值投于D - ¹⁸O图上(图3)可发现,投影点位于变质水与岩浆岩混合区之左侧偏上方,表明以变质水为主,并有少量岩浆水和大气降水混入。同国内其他金矿床相比,与福建肖板金矿床^[6]非常相似,比冶岭头金矿床^[7]雨水影响小;与江西大背坞

表 2 大平沟金矿床成矿物化条件一览表

Table 2 The physical-chemical mineralizing condition of Dapinggou gold deposit

样 号	测 点	均一温度 /	盐 度 / %	流体密度 / (g/cm ³)	流体压力 / MPa	温度较正值 /	捕获温度 /	平均捕获温度	平均形成深度 / km
V3 - 1	1	268	3.34	0.791	28	22	290	234	1.77
	3	164	3.01	0.924	53	48	212		
	5	150	3.01	0.938	57	50	200		
D7 - 16	9	200	3.50	0.889	42	35	235	235	1.61
	10	200	2.03	0.879	42	35	235		
D6 - 5	4	134	5.35	0.971	72	64	198	205	2.68
	5	158	5.35	0.950	68	58	216		
	6	142	5.35	0.962	69	60	202		
D7 - 15	1	259	5.2	0.828	34	27	286	268	1.72
	2	252	5.5	0.842	38	30	282		
	3	247	3.81	0.835	47	38	285		
	4	167.7	5.5	0.939	60	52	219		

表 3 大平沟金矿床及有关矿床氢 - 氧同位素组成表

Table 3 H- O isotope contents of Dapinggou and other gold deposits

序号	样号	位置	岩 性	矿物	¹⁸ O _Q / ‰	¹⁸ O _水 / ‰	D/ ‰	备 注
1	D6 - 3	大平沟	石英脉金矿床	石英	+ 12.5	+ 3.54	- 59	本项目采样, 地矿部 矿床地质研究所测试
2	D7 - 5	大平沟	石英脉金矿床	石英	+ 13.0	+ 4.04	- 109	
3	D7 - 11	大平沟	钾长石石英脉金矿床	石英	+ 11.4	+ 2.24	- 57	
4	D7 - 15	大平沟	石英脉金矿床	石英	+ 11.2	+ 2.24	- 57	
5	福建肖板	构造蚀变岩 - 石英脉型	石英	- 11.4	+ 2.95	- 51	- 51	据陈柏林 ^[6] 5 个样品平均
6	江西大背坞	石英脉金矿床	石英	+ 16.6	+ 10.48	- 60	- 60	据王平安 ^[8] 3 个样品平均
7	浙江治岭头	石英脉金矿床	石英	—	+ 0.78	- 60	- 60	据郑明华 ^[7] 3 个样品平均
8	北京得田沟	石英脉金矿床	石英	+ 12.1	+ 5.6	- 88	- 88	据李中坚等 ^[9]

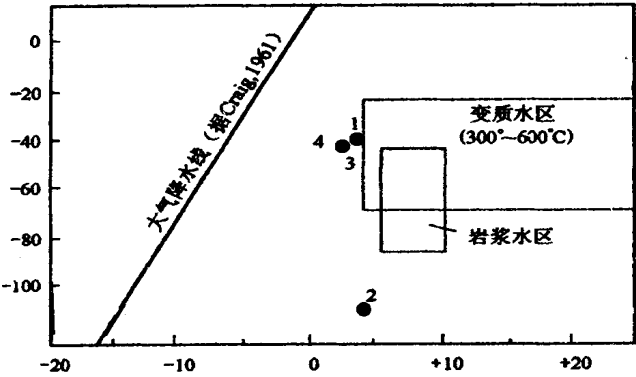


图 3 大平沟金矿床氢氧同位素投影图

Fig. 3 Diagram showing oxygen and hydrogen isotopic composition of the ore from Dapinggou deposit
序号同表 3 (The numbers stand for the corresponding samples in Table 3.)

金矿床^[8]相比, 雨水影响要大些, 只是后者 ¹⁸O 更高些; 与北京得田沟金矿^[9]相比, 后者岩浆水比例要

大得多, 几乎无变质水的参与.

4.2 成矿流体来源

包裹体特征显示, 大平沟金矿床成矿温度以 190 ~ 249 为主, 属中温范畴; 成矿流体以变质水为主, 有少量岩浆水的混合, 并受到大气降水的影响, 如果考虑到造山带地区岩浆属地壳重熔型的因素, 则反映出成矿流体中变质水占明显优势的特征.

总之, 该金矿床成矿流体密度为 0.791 ~ 0.971 g/cm³, 盐度 2.36 % ~ 5.5 %, 成矿压力 42 ~ 70 MPa, 成矿深度为 1.61 ~ 2.68 km. 考虑到本区韧性剪切变形强烈, 动力退变质作用明显, 则属于中温动力变质热液矿床.

5 成矿时代初步分析

大平沟金矿床的成矿时代, 根据现有地质资料初步认为是中生代早期, 主要依据是:

首先, 从我国西北地区金矿床的成矿时代特点分析, 主要成矿期为晚古生代, 部分延续到印支期, 并具

自西向东逐渐变新的特点,如西准噶尔地区金矿成矿时代在 $340 \sim 270 \text{ Ma}^{[10]}$ 。穆龙套式金矿床也主要与海西期花岗岩有关,Rb - Sr 等时线年龄为 $231 \pm 10 \text{ Ma}^{[11]}$;甘肃、新疆交界一带马庄山金矿 $298 \pm 28 \text{ Ma}^{[12]}$;金窝子金矿 $230 \pm 5.7 \text{ Ma}^{[13]}$;祁连山西段的寒山金矿床和鹰嘴山金矿床为 $213 \sim 224 \text{ Ma}^{[14,15]}$;小秦岭地区金矿床成矿年龄以 $208 \sim 237 \text{ Ma}$ 为主^[16]。上述特征是与我国西北地区大地构造演化密切相关的,西北地区主要为古生代板块构造演化和碰撞造山成矿期成矿,西北地区东部则受到中国中部印支期古特提斯构造域及其成矿作用的叠加和改造。

其次,从阿尔金北缘地区构造演化和地壳隆升历史分析,阿尔金北缘地区花岗岩的成岩年龄为印支期,其中拉配泉地区花岗岩成岩年龄为 207 Ma ,大平沟金矿床东南侧钾长花岗岩 300°C 温度的 Ar - Ar 坪年龄 200 Ma ,他们具有相似的成岩环境、岩石化学和地球化学特征;大平沟金矿床的含金石英脉主矿体虽然没有发育在钾长花岗岩中,但是钾长花岗岩中也发育了需要在 $300 \sim 350^\circ\text{C}$ 条件下才能形成的典型韧性剪切变形带,且在矿区东南角也具有一定的金矿化显示。同时,成矿流体包裹体捕获温度高值在 $285 \sim 290^\circ\text{C}$,而且考虑岩体温度场特点,那么金矿床形成的深度与大平沟钾长花岗岩在 300°C 时的深度接近。

所以,大平沟金矿床的成矿年龄应该在 200 Ma 左右,属于印支期。

6 矿床成因和形成过程初探

大平沟金矿的形成作用过程可以概括如下。

太古宙,原始矿源层形成,并经历变质改造作用,褶皱基底形成;元古宙,浅海相盖层沉积;早古生代,洋壳扩张,板块构造演化,早古生代末,板块碰撞造山,导致前泥盆系强烈褶皱变形。在浅层次褶皱变形的同时,深层次表现为韧性变形。

印支期,阿尔金北缘断裂的伸展剥离作用使深部韧性剪切带不断抬升剥蚀并叠加脆性和脆性变形,造就了韧性剪切带金矿床成矿的有利条件。深层次韧性剪切变形引发构造动力分异作用,加上深部钾长花岗岩侵位所带来的热和部分流体的作用,加速了动力变质分异作用,形成含金动力变质热液,向中浅层次韧

脆性变形带迁移,并以交代形式为主形成蚀变糜棱岩型金矿化,继续向浅部脆性裂隙迁移后,在蚀变糜棱岩型金矿化基础上又叠加形成少量充填为主的石英脉型金矿化,最终形成金矿床。由于本区原岩变质岩多数为钾长变粒岩,构造动力变质和分异作用形成的含金动力变质热液中,钾质含量比较高,因此大平沟金矿床钾化非常明显,并形成含钾长石石英脉富矿体。

印支期以来,特别是早新生代以来,本区抬升剥蚀,直到目前金矿床出露地表状态。

参考文献:

- [1]新疆维吾尔自治区地质矿产局.新疆维吾尔自治区地质志[M].北京:地质出版社,1993.
- [2]崔文军,唐哲民,邓晋福,等.阿尔金断裂系[M].北京:地质出版社,1999.
- [3]陈德潜,陈刚.实用稀土元素地球化学[M].北京:冶金工业出版社,1990.
- [4]李荫清,等.流体包裹体在矿床学和岩石学中的应用[M].北京:北京科学技术出版社,1988.
- [5]陈柏林.从构造的脉动性探讨脉状金矿床成矿深度[A].见:大陆构造及陆内变形暨第六届全国地质力学学术讨论会论文集[C].北京:地震出版社,1999.152—155.
- [6]陈柏林,吴淦国,黄仁生,等.福建尤溪肖板金矿床成因探讨[J].矿床地质,1998,17(增刊):319—322.
- [7]郑明华,等.论浙江冶岭头金银矿床的成矿物质来源[J].矿床地质,1986,5(1):39—52.
- [8]王平安,董法先,刘建民,等.江西大背坞金矿床地质、地球化学特征[J].矿床地质,1998,17(1):57—69.
- [9]李中坚,等.北京怀柔崎峰寨-琉璃庙地区含金构造与找矿研究[M].北京:北京科学技术出版社.
- [10]李华芹,陈富文,蔡红.新疆西准噶尔地区不同类型金矿床 Rb - Sr 同位素年代研究[J].地质学报,2000,74(5):181—192.
- [11]叶庆同.我国南天山造山带矿床成矿系列和成矿规律[J].矿床地质,1998,17(增刊):37—40.
- [12]李华芹,陈富文,蔡红,等.新疆东部马庄山金矿成矿作用同位素年代学研究[J].地质科学,1999,34(2):251—256.
- [13]李华芹,陈富文,蔡红,等.新疆东部金窝子金矿成因讨论[J].地质论评,1999,45(3):247—254.
- [14]毛景文,杨建民,张招崇,等.甘肃寒山剪切带型金矿床地质、地球化学和成因[J].矿床地质,1998,17(1):1—13.
- [15]毛景文,张作衡,杨建民,等.甘肃鹰嘴山金矿床地质和成矿地球化学[J].矿床地质,1998,17(4):297—306.
- [16]卢欣祥,尉向东,董有,等.小秦岭-熊耳山地区金矿时代[J].矿床地质,1998,17(增刊):365—368.

A DISCUSSION ON THE GENESIS OF DAPINGGOU GOLD DEPOSIT OF XINJIANG, NORTHWEST CHINA

YANG Feng¹; CHEN Bai-lin²; CHEN Xuan-hua²; WANG Xiao-feng²; WANG Ke-zhuo¹;
CHEN Zheng-le²; LI Xue-zhi¹; YANG Yi¹

(1. Xinjiang Geological Survey Research Institute, Urumqi 830011, China; 2. Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100081, China)

Abstract : Dapinggou gold deposit, as one of the several recently found in north area of Altyn Mountain, is controlled by ductile shear zone. It is characterized by mainly altered mylonite-type with partly quartz vein-type. Information from REE characteristics shows that the source materials of the deposit are derived mainly from the metamorphic rocks. While inclusion study indicates that the ore fluid comes from dynamic metamorphic water source with a little influence of magmatic and meteoric water. The ore fluid is featured by density of $0.791 \sim 0.971 \text{ g/cm}^3$ and salinity of $2.36\% \sim 5.5\%$. The gold deposit forms at $1.61 \sim 2.68 \text{ km}$ below the surface with a temperature of $198 \sim 290$ and pressure of $42 \sim 70 \text{ MPa}$. The gold mineralization age is about 200 Ma . So Dapinggou gold deposit is a medium-temperature dynamic metamorphic hydrothermal type formed in Indo-Chinese epoch.

Key words : medium-temperature dynamic metamorphic hydrothermal type; Dapinggou gold deposit; genesis; Indo-Chinese epoch; north area of Altyn Mountain

作者简介 : 杨风 (1964 —), 男, 高级工程师, 1988 年毕业于长春地质学院地矿系, 主要从事矿产地质勘察和研究工作; 通讯地址: 新疆乌鲁木齐 新疆地质调查院第一地质调查所, 邮政编码 830011.