

# 河北张家口金矿石英的标型特征 及其成因意义

银剑钊 史红云\*

(中国地质大学, 北京 100083)

**关键词:** 张家口金矿 石英 标型特征 矿床成因

**提 要:** 本文详尽地研究了张家口金矿两种主要含矿石英(乳白色石英和烟灰色石英)的气液包裹体特征、显微变形特征、成分标型特征、气液包裹体成分特征及晶胞参数标型特征, 对比了两种石英含金性的差异与上述各类特征间的关系, 并将该矿床的石英标型特征与国内外一些典型矿床的石英标型特征进行了对比, 在此基础上得出: 烟灰色石英与乳白色石英具有不同的气液包裹体特征、显微变形特征和微量元素特征; 张家口金矿的成矿溶液为一种具低中等盐度、弱碱性、 $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{Cl}^-$ 型及  $\text{Na}^+ - \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-}$ 型、中深成、中高温热水溶液。结合矿床产出的地质背景, 文章最后得出: 张家口金矿为中高温、中深成变质热液型金矿床。

在世界范围内的金矿床中石英为最常见的一种矿物, 并往往成为寻找金矿的最明显标志。作为金的主要载体矿物, 石英与金矿化的密切关系是众所周知的。

## 1 矿区地质背景概况

河北省张家口金矿床位于华北地台北缘中段燕山台褶带内。赋矿围岩为太古界桑干群角闪岩相—麻粒岩相变质岩系, 矿体产于—平缓的逆掩推覆韧性剪切带内。矿体主要为贫硫化物石英脉型。矿化可分为四个阶段: 钾长石—石英阶段、乳白色石英阶段、石英—多金属硫化物阶段、碳酸盐阶段。金矿物以自然金为主, 它们以包体金、裂隙金的形式赋存于石英、黄铁矿、方铅矿及黝铜矿等矿物中。

## 2 不同类型石英的一般特征

石英是张家口金矿一种极为重要的矿石矿物, 它在矿化的四个阶段中均有产出, 而与金矿成矿关系密切的主要为乳白色石英(形成于第二矿化阶段)和烟灰色石英(形成于第三矿化阶段)。本文将重点对这两种石英加以研究和讨论。

\* 银剑钊现在的单位是地矿部矿床地质研究所, 史红云是在国家标准物质研究中心。  
本文于1992年12月22日收到, 1993年11月5日改回。

## 2.1 乳白色石英

乳白色石英为矿区内脉体的主要组成部分，半透明、油脂光泽，多呈颜色较为均匀的致密块状，也见有晶簇状、角砾状及蜂窝状等。镜下呈他形粒状结构，颗粒间紧密镶嵌，比较洁净，仅见有少量呈自形晶、半自形晶星散状分布的黄铁矿颗粒。

在两面光薄片中可以见到大量密集分布的气液包裹体，统计表明，单个包裹体一般为0.003—0.009 mm，且液相大于气相。包裹体数量很大，应是造成石英呈乳白色的主要原因。包裹体多数是以液相为主的气液相，有的为单一的气相或液相。个别包裹体中见有气泡或固体质点在液体中活动，有的甚至活动很强烈。包裹体的体腔形态有管状、纺锤形及不规则状等。

乳白色石英脉在宏观上发育有各种节理和裂隙，有的节理为密集平直的剪节理，并可在手标本上看到这些节理间的相对微小位移。镜下也见到石英的塑性变形形迹，如：蠕动塑性变形形迹、被其它物质充填了的微裂隙、呈共轭状分布的包裹体和受压应力后被压扁拉长的包裹体变形形迹等。石英的波状消光和条带状消光也普遍存在，并形成所谓的聚片双晶。石英的变形也引起了其光性的改变，使其从一轴晶变为二轴晶， $2V$ 可达 $8^{\circ}$ — $9^{\circ}$ <sup>①</sup>。刚性形变表现为石英的强烈破碎，或在石英晶体中出现无数微裂隙，它们纵横交错，把石英切割成无数细小碎块，这为成矿物质提供了良好的沉淀场所。

在薄片中还可见到一种所谓的“焊接构造”，表现为石英颗粒的不平直接接触，而呈锯齿状或月牙状相互镶嵌在一起，实乃石英重溶后再结晶的一种表现形式。

所有这些信息均表明，张家口金矿的乳白色石英脉经历了漫长的地质历史演化，受到了多种地质作用的影响。

大量样品的爆裂法测温表明<sup>②</sup>，乳白色石英的爆裂峰集中在 $390$ — $310^{\circ}\text{C}$ 间，最大脉冲多在 $350^{\circ}\text{C}$ 左右。均一温度多在 $310$ — $260^{\circ}\text{C}$ 之间。此类石英杂质元素种类少、含量低，且贫碱性元素。单矿物研磨2小时后，以2g样品加20 ml二次蒸馏水制成混浊液，测定其pH值为7.05，呈现中性。

## 2.2 烟灰色石英

几乎所有内生金矿床中均有与成矿关系最密切的烟灰色石英发育，张家口金矿也不例外。作为张家口金矿主要成矿阶段的产物和找矿标志，烟灰色石英紧密依附于乳白色石英而存在，其分布不均匀，与浸染状黄铁矿、方铅矿等多金属硫化物共生。

烟灰色石英与早期形成的乳白色石英有的呈渐变接触关系（可能暗示着其由乳白色石英脉重熔演化而来）；有的具有明显的接触界线，接触面呈弯曲状，并分布有浸染状黄铁矿、方铅矿等多金属硫化物。也见有较早的粗晶黄铁矿溶融扩散的形迹。

关于烟灰色石英的显色机理，除了镜下观察到的这类石英普遍含有极微细的金属硫化物、镜铁矿等外，尚与其含有较多的杂质元素有关。另外，烟灰色石英包裹体中相对富含 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 等成分，也可造成石英的显色。此外，在“焊接构造”形成过程中，金属硫化物同时发生扩散，进而造成石英的染色。这可以从随着远离金属硫化物石英颜色渐浅得以证实。

烟灰色石英的爆裂温度一般比乳白色石英低 $20$ — $30^{\circ}\text{C}$ <sup>①</sup>。其起爆温度在 $270^{\circ}\text{C}$ 左右，并

① 曹成，1986，河北宣化张家口含金石英脉的成因矿物学研究（未刊稿）。

可延续到 580℃；有时出现两个爆裂区间：190—230℃，290—480℃，可能为不同阶段不同温度的热液叠加所致。此类石英含有较多的气液包裹体，并有一定数量的活动型包裹体（主要为气泡在活动），这应是热液沸腾的证据。此外，烟灰色石英中尚有一定数量的含 CO<sub>2</sub> 包裹体和 NaCl 子矿物存在，有的还具有清晰的立方体晶形。

乳白色石英和烟灰色石英的特征综合于表 1。其中由烟灰色石英所测的溶液 pH 值为 7.20，呈弱碱性，有利于 Au 的沉淀，这也是烟灰色石英富含金的原因之一。

表 1 张家口金矿乳白色石英及烟灰色石英特征对比  
Table 1 Comparison of characteristics between milky quartz and ashy quartz from the Zhangjiakou gold deposit

石英类型		乳白色石英	烟灰色石英
特征	Na	0.00	0.01
	Fe	0.05	0.8
	Cu	<0.001	0.002
	Pb	<0.001	0.04
	Zn	0.03	0.04
	Mo	0.00	0.004
	Cr	0.00	<0.001
	Ba	0.00	0.03
	Sr	0.00	<0.01
	合计	0.082	0.937
一般特征		乳白色，油脂光泽，半透明，他形块状构造	烟灰色，弱油脂光泽，弱半透明，他形块状构造
退色温度			280—350℃
变形形迹		波状消光明显，呈二轴晶，塑性变形纹，脆性裂理，角砾状构造	波状消光，塑性变形纹
包裹体特征	爆裂温度范围	310—570℃	270—580℃
	形态	管形，似六边形，椭圆形及他形	他形，椭球形
	相态	气液相为主，有少量活动相态	气液相为主，富 CO <sub>2</sub> ，有活动气泡
	子矿物	少见	常见 NaCl 子矿物
	相对密度	大	较大
	大小	0.003—0.05 mm	0.003—0.009 mm
	混浊液 pH 值	7.05	7.20
主要矿物共生组合		粗晶黄铁矿，方铅矿及少量自然金	细粒黄铁矿，方铅矿，自然金及其它含金矿物

注：表中数据据曹成（1986）。

### 3 石英的成分标型

这里所指的成分, 主要指石英中的微量元素。张家口金矿7个石英单矿物中微量元素的化学分析(表2)表明, 矿区石英中普遍含有较高数量的Al、K、Na、Cu、Pb、Zn、S、Fe、Ca及C, 不含Rb, 含有微量的Sr、As、Sb、Bi、Co、Ni。由表2还可以看出: 烟灰

表2 张家口金矿石英微量元素含量

Table 2 Trace element contents of quartz from the Zhangjiakou gold deposit

样品编号	颜色特征	石英微量元素含量 (g/t)									
		Au	Ag	Al	Na	K	Ca	Rb	Sr	As	Sb
PD 1-04	乳白色	0.00	2.02	220	140	50	39.65	0.00	0.91	22.62	0.83
HS 2-06	乳白色	0.032	0.23	120	140	100	78.85	0.00	0.26	35.68	2.68
XS 5-01	乳白色	0.018	0.51	51	200	38	58.19	0.00	0.13	21.47	1.86
HS 1-01	烟灰色	0.034	0.49	49	160	49	78.71	0.00	0.085	22.53	0.87
XS 1-04	烟灰色	0.096	0.55	280	150	100	250.7	0.00	0.72	29.94	2.73
XS 5-02	烟灰色	0.034	0.00	74	130	20	37.88	0.00	0.10	28.5	2.38
XD-012	烟灰色	0.43	10.32	130	190	49	78.25	0.00	0.043	30.30	1.50
平均值	乳白色(3)	0.017	0.92	130.3	160	82.67	58.90	0.00	0.433	26.59	1.79
	烟灰色(4)	0.1485	2.84	133.25	157.5	54.5	111.38	0.00	0.237	27.82	1.87

  

样品编号	颜色特征	石英微量元素含量 (g/t)									
		Bi	S	Cu	Pb	Zn	Fe	Co	Ni	C	
PD 1-04	乳白色	1.23	371	5.37	86.36	1.94	690	6.04	15.65	220	
HS 2-06	乳白色	17.92	137.4	6.75	0.00	5.95	1200	5.70	34.47	120	
XS 5-01	乳白色	4.57	8.93	10.5	0.00	4.74	1400	11.82	81.67	220	
HS 1-01	烟灰色	4.65	68.70	5.33	0.00	2.88	1300	9.00	0.00	61	
XS 1-04	烟灰色	5.51	274.8	12.10	41.71	11.84	1700	11.67	146.2	230	
XS 5-02	烟灰色	4.09	59.08	10.26	41.25	13.21	6600	5.77	94.72	400	
XD-012	烟灰色	1.17	164.9	7.06	1700	7.03	1700	8.94	10.30	560	
平均值	乳白色(3)	7.91	172.4	7.54	28.786	4.21	1096.7	7.887	43.93	186.7	
	烟灰色(4)	4.605	141.87	8.688	445.7	8.965	2825	8.845	62.81	312.75	

注: 括号内为样品数。

测试单位: 中国地质大学(北京)化学分析室。

色石英比乳白色石英的Au、Ag、Ca、Pb、Zn、Fe、Co、Ni、Cu、C含量高, 这与前面所述烟灰色石英中含有较多的金属硫化物等杂质成分及较高的Au、Ag含量一致。

为更好地探讨矿区石英中微量元素间的关系, 尤其是Au与其它微量元素间的关系, 本文对表2中的微量元素在计算机上进行了相关分析处理, 所得结果列于表3。由此表可以看出, Au与Ag、Al、Na、Ca、As、S、Pb、Zn、Co、C之间均存在着不同程度的正相关关系, 而与表中其它元素间则存在着不同程度的负相关关系。

表 3 张家口金石英中微量元素的相关矩阵  
Table 3 Correlation matrix of trace elements in quartz from the Zhangjiakou gold deposit

	Au	Ag	Al	Na	K	Ca	Sr	As	Sb	Bi	S	Cu	Pb	Zn	Fe	Co	Ni	C	
Au	1.000																		
Ag	0.951	1.000																	
Al	0.084	0.073	1.000																
Na	0.489	0.503	-0.323	1.000															
K	-0.016	-0.133	0.594	-0.210	1.000														
Ca	0.119	-0.087	0.670	-0.038	0.705	1.000													
Sr	-0.322	-0.217	0.869	-0.428	0.412	0.382	1.000												
As	0.331	0.168	0.241	-0.331	0.609	0.305	-0.098	1.000											
Sb	-0.062	-0.294	0.191	-0.242	0.487	0.482	-0.054	0.720	1.000										
Bi	-0.303	-0.441	0.051	-0.336	0.753	0.284	-0.015	0.692	0.678	0.100									
S	0.054	0.169	0.903	-0.380	0.416	0.336	0.903	0.083	-0.162	0.107	1.000								
Cu	-0.066	-0.268	0.178	0.074	0.048	0.519	0.000	0.127	0.723	0.078	-0.210	1.000							
Pb	0.979	0.990	0.024	0.496	-0.136	-0.063	-0.313	0.244	-0.196	-0.392	0.075	-0.191	1.000						
Zn	0.231	-0.004	0.196	-0.255	0.049	0.435	-0.135	0.521	0.749	0.110	-0.119	0.771	0.106	1.000					
Fe	-0.063	-0.176	-0.200	-0.386	-0.512	-0.204	-0.354	0.158	0.374	-0.136	-0.385	0.468	-0.079	0.738	1.000				
Co	0.180	0.063	0.094	0.702	0.131	0.585	0.051	0.323	0.071	-0.172	-0.177	0.509	0.069	0.005	-0.323	1.000			
Ni	-0.222	-0.418	0.366	-0.136	-0.215	0.631	0.230	0.160	0.744	0.185	-0.015	0.960	-0.357	0.737	0.395	0.433	1.000		
C	0.774	0.757	0.053	0.260	-0.384	-0.114	-0.244	0.221	0.076	-0.498	0.021	0.239	0.797	0.514	0.433	-0.032	0.068	1.000	

另据表 4 知，与水晶的微量元素相比，本区石英的 K、Na、Fe 含量偏高；与一般脉石英相比，则 Al、K、Na 明显偏低，Fe 含量略低；与胶东金矿石英相比，Al、K、Na、Ca 均低很多，而 Fe、Pb、Ni 又高很多，显示了两个金矿区的差异。

表 4 不同矿区的不同类型石英微量元素含量对比  
Table 4 Comparison of trace elements in different types of quartz from different ore districts

	分 类	Al	K	Na	Fe	Ca	Pb	Ni	资料来源
水晶	最小值	8	0	1.0	0				〔3〕
	最大值	1000	100	8.0	19				
脉石英	最小值	200	10	100	50				
	最大值	9000	1200	1200	9000				
胶东金矿	最小值—最大值	9.8—9000	1.1—4700	0—1300	1.5—1400	7.8—2200	1—135	4—25	
	平均值	2103.16	1448.14	383.75	302.56	421.69	18.18	4.48	
张家口金矿	最小值—最大值	51—280	20—100	130—200	690—6600	37.88—250.7	0—1700	0—146.2	本文
	平均值	132 (7)	58 (7)	158.6 (7)	2084.3 (7)	88.89 (7)	467.33 (7)	63.84 (7)	

注：① 单位：ppm；② 括号内为样品数。

将张家口金矿石英与稀有金属伟晶岩、高温钨、锡矿脉、不同深度的金矿脉及胶东金矿中的石英进行对比（表 5）可以看出，张家口金矿石英中的 Na 平均值（158.6 ppm）与中深成金矿石英中 Na 的平均值（160）接近，其它元素如 Al、K 明显偏小，与其它类型矿床差别甚大。据研究<sup>〔2〕</sup>，含金石英脉的围岩对石英中某些杂质的含量有一定影响：若围岩为花岗岩类，则石英中 Al、K 含量较高；若围岩为斜长角闪岩类，则 Al、K 含量明显降低（表 6）。张家口金矿的围岩主要为斜长角闪岩或斜长角闪岩质岩石，故其 Al、K 值低。

矿化元素方面，张家口金矿以富 Cu、Pb、Co，贫 Zn、As、Sb、Bi 为特征（表 5）。

另据表 7 可知，石英中的 (Al+K+Na) 以及 Ca 含量有随 Au 或 (Au+Ag) 含量增加而渐高的趋势，即 Au 含量与 (Al+K+Na) 及 Ca 含量呈正消长关系。

特别值得注意的是，矿区石英内含有较高的碳值（表 7），且碳质含量与金含量呈正相关关系。C 与 Au 的相关系数为 0.774（表 3）。石英的这种高碳质含量亦是其呈烟灰色的原因之一。

有关资料表明<sup>①</sup>，碳质在 Au 的迁移、富集及沉淀过程中有着重要作用：碳化和石墨化在金成矿过程中有着特殊意义，除碳质的吸附作用、还原作用及碳质点特殊的电动势形成的弱电流可促进含矿溶液中金的络合物及含金硫化物的迁移、富集和沉淀外，在 CO<sub>2</sub> 从成矿溶液中逸出并同围岩中二价阳离子反应而生成碳酸盐的过程中也可引起金的沉淀。

如此看来，张家口金矿石英中的碳质对金的迁移、富集和沉淀起过一定的作用。

① 任洪茂、银剑钊，1989，碳质在金的迁移、富集和沉淀过程中的作用综述，第四届全国矿床会议论文摘要汇编。

表 5 不同类型矿床石英微量元素特征(单位:ppm)  
Table 5 Characteristics of trace elements in quartz from  
different types of ore deposits

矿床类型	Al	K	Na	矿化元素	资料来源
稀有金属伟晶岩石英	2800	278	297	Nb,Ta,Sn,Bc,Ge	[3]
高温钨矿脉石英	3000	—	297	Bc,Bi,W,Ta,As	
高温锡矿脉石英	—	—	—	Li,Bc,Sn,Nb	
深成金矿石英	4550	—	286—519	Au,Ag(达1.2)、As、Pb(1—9) W(11—690)、Sb(6)	
中深成金矿石英	3500	—	160	Au(3.3—14)、Ag(0.8—4.5)、 As(85—840)、Bc(22—46)、Pb (26—180)、W(31—99)、Sb(19—20)	
浅成金矿石英	13700	4483	315	Au(变化大)、Ag(113)、Pb(18) Cu(31)	
水晶矿石英	37	3	—	矿化元素无异常,接近克拉克值	
无矿脉石英	—	—	111	矿化元素无异常	本文
胶东金矿石英	$\frac{93-9000}{2103.16}$ (35)	$\frac{1.1-4700}{1448.14}$ (35)	$\frac{0-1300}{363.75}$ (35)	Au(0.58)、Ag(2.65)、Cu(20.96) Pb(18.18)、Zn(17.56)、Ba (86.46)	
张家口金矿石英	$\frac{51-280}{132}$ (7)	$\frac{20-100}{58}$ (7)	$\frac{130-200}{158.6}$ (7)	Au(0.092)、Ag(2.02)、Cu(88.89) Pb(267.05)、Zn(6.927)、As (27.291)、Sb(1.836)、Bi(6.02) Co(8.42)、C(258.7)、Sr(0.321)	

注:① 横线上为最小值—最大值,横线下为平均值,括号内为样品数;② 元素符号后括号内为平均含量。

表 6 含矿石英中 Al、K 含量与围岩关系(单位:ppm)  
Table 6 Relations between Al,K contents of gold-bearing  
quartz and country rocks

金矿床	团结沟	玲珑东山	玲珑西山	三山岛	夏甸	夹皮沟	栖霞	张家口
金矿床围岩	花岗斑岩	花岗岩	花岗岩	花岗岩	花岗岩	斜长角闪岩	斜长角闪岩	斜长角闪岩
金矿石英 Al 含量	6950(8)	3186(7)	2726(13)	2900(6)	1680(5)	1680(4)	9.8(4)	132(7)
金矿石英 K 含量	1990(8)	2386(7)	2069(13)	1740(6)	1044(5)	300(4)	1.7(4)	58(7)
资料来源	[2]	[3]				[2]	[3]	本文

注:括号内为样品数。

表 7 张家口金矿石英微量元素特征  
Table 7 Characteristics of trace elements in quartz  
from the Zhangjiakou gold deposit

样号	颜色特征	石英中特征元素及元素组合含量(g/t)									
		Au	Ag	Au + Ag	Al + K + Na	Ca	Cu + Pb + Zn	Fe	Co + Ni	As + Sb + Bi	C
PD 1-04	乳白色	0.00	2.02	2.02	410	39.65	93.67	690	21.69	24.68	220
HS 2-06	乳白色	0.032	0.23	0.262	360	78.85	12.70	1200	40.17	56.28	120
XS 5-01	乳白色	0.018	0.51	0.528	289	58.19	15.24	1400	93.49	27.90	220
HS 1-01	烟灰色	0.034	0.49	0.524	258	78.71	8.21	1300	9.00	28.05	61
XS 1-04	烟灰色	0.096	0.55	0.646	530	250.7	65.64	1700	157.87	41.18	230
XS 5-02	烟灰色	0.034	0.00	0.034	224	37.88	64.72	6600	100.49	34.97	400
XD-012	烟灰色	0.43	10.32	10.75	369	78.25	1714.99	1700	19.24	32.97	560
平均值		0.0920	2.02	2.112	348.6	88.89	282.173	2084.3	63.14	35.147	258.7

#### 4 气液包裹体成分标型

研究气液包裹体的成分,不仅可以定量、半定量地确定成矿的物化条件(温度、压力、pH值及Eh值等),而且可以确定矿床成因及进行盲矿体的寻找。不同成因类型的矿床,其气液包裹体成分也有所不同:如辉钼矿石英脉中的石英包裹体主要含水,其次为 $N_2$ , $Na^+$ 比 $K^+$ 含量大一个数量级;含铜石英脉以含大量 $CO_2$ 和其它酸性气体为特征,并富含 $Cl^-$ 和 $Na^+$ ;黑钨矿石英脉中的石英包裹体内, $H_2O$ 和 $CO_2$ 与其它酸性气体含量大致相等,阳离子组与辉钼矿石英脉中的大致相同<sup>[3]</sup>。

金矿中石英的气液包裹体有其特殊性,据原苏联南乌拉尔金矿石英气液包裹体的研究<sup>[4]</sup>,气相中以富含 $CO_2$ ,并含有 $H_2$ 、 $CH_4$ 为特征;液相中含 $Cl^-$ 、 $HCO_3^-$ 较高,碱金属离子 $Na^+/K^+ = 1.7-2.0$ 。

张家口金矿自西而东不同部位石英中包裹体成分如表 8 所示,表中显示矿区石英包裹体气相成分有 $H_2O$ 、 $CO_2$ 、 $H_2$ 、 $O_2$ 、 $N_2$ ;液相成分有 $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$ 、 $NO_3^-$ 、 $Na^+$ 、 $K^+$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Ca^{2+}$ 。

将该矿床石英气液包裹体成分的各种比值与不同类型矿床及胶东金矿进行对比(表 9)可见,张家口金矿石英中极富 $H_2O$ ,且 $H_2O \gg CO_2$ 。这可能与张家口金矿的形成温度较其它矿床偏低有关<sup>[3]</sup>。

据 $(CO_2 + H_2 + CH_4)/N_2$ 值可以看出,与钨、钼、铜矿床及胶东金矿相比,张家口金矿石英的该值较大,即成矿溶液更富 $CO_2$ 与 $H_2$ 而贫 $N_2$ 。表明张家口金矿处于相对较浅成的部位<sup>[3]</sup>。

但从 $Na^+/K^+$ 比值来看,张家口金矿与伟晶岩脉、钼石英脉、钨石英脉及胶东石英脉型金矿类似,又说明它们形成温度及深度相近。

出现上述偏差的原因,一是样品代表性问题,二是说明上述特征值不是确定矿床形成温度高低、形成深浅的绝对判别标志,应慎重使用。

另据表 8,张家口金矿石英内的 $Cl^- \gg F^-$ ,与原苏联南乌拉尔金矿及胶东金矿石英气液



表 8 张家口金石英的气液包裹体成分  
Table 8 Composition of gas-liquid inclusions in quartz  
from the Zhangjiakou gold deposit

样号	颜色特征	液相成分 (mg/g)							
		F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>+</sup>
PD 1-04	乳白	0	8.89	0	2.85	2.63	0.51	0	0
HS 1-04	烟灰	0	10.37	0	10.22	4.87	0.38	0	0.36
XS 1-02	乳白	0	5.24	0.11	3.58	2.78	0	0	0.54
XS 2-01	乳白	0	6.63	0	0.89	1.59	0.26	0	0.26
XS 4-07	烟灰	0	2.52	0	2.21	1.64	0	0	2.14
XD-05	乳白	0	7.15	0.92	2.25	2.45	0.92	0.15	0.46
XD-08	烟灰	0	0.97	0	1.74	0.77	1.74	0.57	7.33
		0.44	1.04	—	—	1.47	0.08	—	—
		0.01	3.0	—	2.9	1.13	0.79	0.36	1.74

  

样号	颜色特征	气相成分 (ppm)						
		H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO
PD 1-04	乳白	1266.58	21.22	0.02	1.25	0.78	0	0
HS 1-04	烟灰	1088.19	21.40	0.01	2.6	1.61	0	0
XS 1-02	乳白	1127.09	21.28	0.03	1.22	1.1	0	0
XS 2-01	乳白	872.68	4.2	0	3.09	1.69	0	0
XS 4-07	烟灰	321.79	2.93	0.01	1.89	0	0	0
XD-05	乳白	632.9	5.1	0.01	0.52	1.23	0	0
XD-08	烟灰	196.63	0	0	0.9	0	0	0
		187	11.5	0.59	—	8.85	—	—
		6.9	0.022	—	—	—	—	—

  

样号	颜色特征	H <sub>2</sub> O	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub>	资料来源
		CO <sub>2</sub>	K <sup>+</sup>	F <sup>-</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	N <sub>2</sub>	
PD 1-04	乳白	59.69	5.61			0.43	27.23	本文*
HS 1-04	烟灰	50.85	12.82			0.985	13.298	
XS 1-02	乳白	52.964				0.683	19.37	
XS 2-01	乳白	207.78	6.115			0.134	2.485	
XS 4-07	烟灰	109.826				0.877		
XD-05	乳白	117.204	2.663		3.067	0.315	4.698	
XD-08	烟灰		0.443		12.86	1.794		
		16.261	18.375	2.364			1.366	
		313.64	1.392	300	4.833	0.967		[1]

\* 测试单位：中国地质大学（北京）。

包裹体成分相似。

此外，张家口金石英气液包裹体成分还以  $Na^+ > K^+$ 、 $Ca^{2+} > Mg^{2+}$  且  $SO_4^{2-}$  含量较高为特征。

据金的成矿实验资料及地球化学特征分析，金可与溶液中的  $Cl^-$ 、 $SO_4^{2-}$  等离子组成含 Cl

表 9 不同类型矿床石英气液包裹体成分特征值  
Table 9 Characteristic values of the composition of gas-liquid inclusions in quartz from different types of ore deposits

矿床类型 特征值	伟晶岩-Mo-W-Cu石英脉矿				胶东金矿		张家口金矿
	伟晶岩脉	Mo 石英脉	W 石英脉	Cu 石英脉	石英脉型	蚀变岩型	
H <sub>2</sub> O/CO <sub>2</sub>	1.08	12.01	0.85	0.62	10.53	8.19	116.03(8)
(CO <sub>2</sub> + H <sub>2</sub> + CH <sub>4</sub> )/N <sub>2</sub>	3.24	0.33	3.29	3.45	2.53		11.36(6)
Na <sup>+</sup> /K <sup>+</sup>	6.43	8.75	6.67	23.20	5.15	1.07	6.71(7)
Cl <sup>-</sup> /F <sup>-</sup>					6.45	38.79	151.18(2)
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /Cl <sup>-</sup>							0.773(8)
资料来源	〔3〕						本文

注：括号内为样品数。

络阴离子和金的硫代硫化络阴离子进行搬运，在中高温时，富含 Cl<sup>-</sup>有利于金的搬运，随着温度降低，富硫溶液则更有利于金的搬运。当 Cl<sup>-</sup>和 Na<sup>+</sup>占优势时，二者可与金形成 Na(AuCl<sub>4</sub>)、Na(AuCl<sub>2</sub>)、Na[Au(Cl<sub>3</sub>OH)]以及 Na[Au(Cl<sub>2</sub>S)] 等络合物，它们具有较高的溶解度，有利于金的搬运。事实是否如此，有待进一步探讨。

综上所述，张家口金矿石英气液包裹体成分特征为：气相成分富含 H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>，并含有 H<sub>2</sub> 及 N<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>；液相成分阳离子以 Na<sup>+</sup>、Ca<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup>为主，阴离子主要为 Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>。

胡小蝶等用冷冻法测试了张家口金矿包裹体的盐度<sup>〔1〕</sup>，结果为 3.5—16 wt. %，平均为 10.82 wt. %。

刘家齐报道了我国不同成因类型金矿石英包裹体的成分特征<sup>①</sup>，并总结出：地台古老变质岩系中的金矿床包裹体成分富含 Ca<sup>2+</sup>、Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>及 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，含盐度较高（14—16 wt. % NaCl）；准地台变质岩系中金矿床包裹体成分以含 Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>为主，含盐度低（0.5—7 wt. % NaCl）；混合岩化热液型金矿床包裹体成分富含 Na、K<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>、HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>，含盐度为 6—12 wt. % NaCl；地槽型喷发-沉积建造岩系中金矿床包裹体成分富 Na<sup>+</sup>、K<sup>+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、Cl<sup>-</sup>，含盐度为 11—19 wt. % NaCl；地下热卤水渗滤型金矿床包裹体成分富 Ca<sup>2+</sup>、K<sup>+</sup>、Sb<sup>3+</sup>、As<sup>3+</sup>、Cl<sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>，盐度 1—4 wt. %。

据此，张家口金矿属地台古老变质岩系金矿床，与实际地质情况一致；但从其含盐度来看，其平均值更接近于混合岩化热液型金矿床石英包裹体的含盐度，这可能意味着混合岩化作用也不同程度地参与了该金矿的成矿作用。

总之，张家口金矿的成矿溶液为一种具低中等盐度、弱碱性、Na<sup>+</sup>-Ca<sup>2+</sup>-Cl<sup>-</sup>型及 Na<sup>+</sup>-Ca<sup>2+</sup>-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>型、中深成、中高温热水溶液。

## 5 石英晶胞参数标型

石英的晶胞参数随其成矿阶段的不同、矿石的贫富及围岩类型的差异等产生较大幅度的

① 刘家齐，1989，论我国不同成因类型金矿床流体包裹体化学成分特征，第四届全国矿床会议论文摘要汇编。

变化。依据石英的晶胞参数，可以区分石英含金性的好坏，同时在某种程度上可以评价矿床的规模。

本文对矿区不同部位的10个石英单矿物样品进行了X射线粉晶衍射谱的测定，并在微机上用9214程序计算了每个石英的晶胞参数，结果如表10所示，其标型意义如下：

(1) 10个样品中除序号为3的样品其晶胞参数较标准 $\alpha$ -石英晶胞参数小外，其余9个均大于标准值，且10个样品的平均值也大于标准值。这显然与样品中混入的杂质质量较高有关（主要与结构铝及一些碱性元素呈类质同象混入石英晶格中有关）。

(2) 除1号样品外，矿区石英的晶胞参数有随其(AI+K+Na)含量增加而增大的趋势。

表 10 张家口金矿石英晶胞参数  
Table 10 Unit cell parameters of quartz from the  
Zhangjiakou gold deposit

序号	样号	颜色	$a_0(\text{\AA})$	$c_0(\text{\AA})$	$c_0/a_0$	$V_0(\text{\AA})^3$	含金量 (g/t)	Al+K+Na (g/t)
1	PD 1-04	乳白色	4.91455	5.40543	1.099	113.0652	0.00	419
2	HS 2-06	乳白色	4.91862	5.41919	1.102	113.5406	0.032	360
3	XS 1-02	乳白色	4.91056	5.40097	1.099	112.7885		
4	XS 1-01	乳白色	4.91618	5.40873	1.100	113.2094	0.018	
5	HS 1-01	烟灰色	4.91299	5.40603	1.100	113.0057	0.034	258
6	XS 1-04	烟灰色	4.92312	5.41571	1.100	113.6757	0.096	530
7	XS 3-05	烟灰色	4.92063	5.41362	1.100	113.6189		
8	XS 4-07	烟灰色	4.91724	5.40892	1.0999	113.2619		
9	XS 5-02	烟灰色	4.91720	5.41063	1.100	113.2961	0.034	224
10	XI-012	烟灰色	4.91919	5.41330	1.100	113.4438	0.43	369
平均值			4.917028	5.410253	1.1001	113.28038		358.5

实验条件：Cu靶，电压50 kV，电流80 mA，扫描速度8 DEG/MIN

标准 $\alpha$ -石英晶胞参数： $a_0=4.91300(\text{\AA})$   $c_0=5.40500(\text{\AA})$   
 $c_0/a_0=1.100$   $V_0=112.98470(\text{\AA})^3$

测试单位：中国地质大学（北京）X光室史红云测试。

(3) 表中乳白色石英晶胞参数的平均值为 $\bar{a}_0=4.91498(\text{\AA})$ ， $\bar{c}_0=5.40858(\text{\AA})$ ， $\bar{V}_0=113.1509(\text{\AA})^3$ ；烟灰色石英晶胞参数的平均值则分别为： $\bar{a}_0=4.91840(\text{\AA})$ ， $\bar{c}_0=5.41137(\text{\AA})$ ， $\bar{V}_0=113.36668(\text{\AA})^3$ 。

显然，烟灰色石英晶胞参数的平均值较乳白色石英的大，这与前述烟灰色石英较乳白色石英含有更多的杂质元素有关。此外，乳白色石英代表早期成矿阶段较高温条件下形成的贫矿石英，烟灰色石英则代表着中期成矿阶段较低温条件下形成的富矿石英，据此可以得出：晶胞参数愈大，石英的形成温度愈低，含矿性愈好；反之，石英的晶胞参数愈小，形成温度愈高，其含矿性愈差。

## 6 结 论

通过对张家口金矿两种不同类型石英的微量元素、晶胞参数等特征的研究发现，烟灰色

石英较乳白色石英含有较多的微量杂质元素，且其晶胞参数较大，含金性也较好。另由气液包裹体成分研究得知：张家口金矿的成矿溶液为一种具低中等盐度、弱碱性、 $\text{Na}^+\text{-Ca}^{2+}\text{-Cl}^-$ 型及 $\text{Na}^+\text{-Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}$ 型、中深成、中高温热水溶液。结合矿床产出的地质背景，本文认为张家口金矿为中高温、中深成变质热液型金矿床。

### 参 考 文 献

- 1 胡小蝶，赵嘉农，李双保。张宣地区太古代变质岩中脉金的成矿作用。天津地质矿产研究所所刊，1990，第22号：60—65。
- 2 吴尚全。团结沟斑岩金矿床石英的标型特征及其成因意义。矿物学报，1984（1）：21—28。
- 3 陈光远，邵伟，孙岱生。胶东金矿成因矿物学与找矿。重庆出版社，1989，305—323。
- 4 邵洁涟。金矿找矿矿物学。中国地质大学出版社，1990，7—45。

## Typomorphic Characteristics of Quartz from the Zhangjiakou Gold Deposit in Hebei Province and Their Genetic Significance

Yin Jianzhao Shi Hongyun

(China University of Geosciences, Beijing, 100083)

**Key words:** Zhangjiakou gold deposit; quartz; typomorphic characteristic; genesis of the ore deposit

### Abstract

The Zhangjiakou gold deposit in the northwest of Hebei is a large-size quartz vein type deposit on the northern margin of the North China platform. The present paper deals in detail with characteristics of two major types of ore-bearing quartz (milky quartz and ashy quartz) from this deposit in such aspects as gas-liquid inclusions and their compositional characteristics, micro-deformation, and typomorphic characteristics of the composition and of the cell parameters. In addition, a discussion is made on the relationship between gold content and different typomorphic characteristics of quartz, together with a comparison of typomorphic characteristics of quartz between this deposit and some other typical gold deposits of the world. The above study shows that ashy quartz is different from milky quartz in such characteristics as gas-liquid inclusions, micro-deformation and trace elements, and that the ore-forming solution of the Zhangjiakou gold deposit must have been a kind of  $\text{Na}^+\text{-Ca}^{2+}\text{-Cl}^-$  type and  $\text{Na}^+\text{-Ca}^{2+}\text{-SO}_4^{2-}$  type mesothermal-hypothermal solution with moderate salinity and weak alkalinity. These results combined with the geological setting of the deposit have led the authors to conclude that the Zhangjiakou gold deposit is of metamorphic mesothermal-hypothermal type.