

# 胶东东部金青顶金矿床围岩蚀变岩带的地球化学、形成机理及找矿方向的研究<sup>①</sup>

杨敏之 李治平

**提 要** 通过对金青顶金矿床地质、蚀变岩石类型、蚀变矿物、蚀变岩石化学、痕量元素地球化学、蚀变石英包体的物理化学、氢氧同位素地球化学的研究,确定了主要金矿体、主要成矿阶段的围岩蚀变岩的分带特征。研究了围岩蚀变岩带的形成机理,建立了壳源深熔花岗岩—热液流体—碱酸交代作用的蚀变岩带形成模式。指出了围岩蚀变岩带的找矿信息。

**关键词** 蚀变岩的分带 蚀变矿物系列 形成机理 形成模式 找矿方向

金青顶金矿床位于牟平—乳山金矿带的中部地区。是胶东东部近年来发现的大型金矿床之一。金青顶金矿床产于昆嵛山花岗岩北北东—北东向断裂带内。金矿体周围的花岗岩围岩均发育有石英绢云岩、黄铁绢云岩等各种蚀变岩。前人工作只提及过有绢云母化、钾化和硅化、并未系统进行研究工作。近矿围岩蚀变岩带分带性、发育特征的研究,直接有助于金矿脉的深部和外围的地质找矿。同时围岩蚀变岩带是金矿成矿热液流体性质、形成物理—化学条件、金矿搬运富集的信息。加强金青顶石英脉型金矿床围岩蚀变岩带的系统研究,对阐明金青顶金矿床成因、提高深部及外围成矿预测的能力都是颇有意义的。

## 一、金青顶金矿床围岩蚀变岩带产出的地质背景

金青顶金矿床矿区内主要出露乳山黑云母二长花岗岩。矿区东西部出现有上太古界胶东群黑云变粒岩、斜长角闪岩、角闪变粒岩等变质岩。变质相属中级角闪岩相。胶东群地层走向北 $50^{\circ}$ — $80^{\circ}$ 东。

乳山黑云母二长花岗岩岩体呈北北东向展布。出露面积 1555 平方公里。东南部被三佛山花岗岩所侵位。乳山黑云母二长花岗岩的 K—Ar 同位素年龄为  $134.4 \pm 3.81$  百万年<sup>②</sup>。三佛山花岗岩为  $98.69 \pm 2.43$  百万年,相当于早白垩世、燕山运动中—晚期侵入。乳山黑云母二长花岗岩(22 个岩石化学分析结果)属铝过饱和—正常系列的过渡类型。利用 CIPW 方法确定乳山黑云母二长花岗岩为二长花岗岩。ANKC 值 1.01。S<sup>87</sup>/S<sup>34</sup> 比值 0.7103~0.7115。稀土元素配分模式与胶东群斜长角闪岩相似,为轻稀土富集型, Eu/Sm = 0.19~0.26, 具有蠕虫状、净边和似文象等交代结构。在 Q—Ab—Or 图中,乳山黑云母二长花岗岩大部分落于

<sup>①</sup>国家自然科学基金资助项目 4860068

<sup>②</sup>由天津地质研究院同位素实验室测定

低温槽周围。在 Na—K—Ca 图中乳山黑云母二长花岗岩落于交代型花岗岩内。据此，乳山黑云母二长花岗岩应属壳源深熔型花岗岩（相当于 S 型花岗岩）。乳山黑云母二长花岗岩岩浆主要来源于壳源（胶东群地层），并有幔源物质的加入。

金青顶金矿床的矿体成脉状产于乳山黑云母二长花岗岩的断裂带内。浅部金矿脉走向北 15° 东为主，倾向北西  $\angle 85^\circ$ ；深部金矿脉走向北 45° ~ 50° 东，倾向南东  $\angle 75^\circ$ 。金矿脉受两组断裂复合控制。金矿体和蚀变岩带南北延长 1100m，延深大于 600m。金矿有四种矿石类型：银金矿—黄铜矿—黄铁矿矿石、银金矿—闪锌矿—黄铜矿—方铅矿矿石和自然金黄铁矿—石英型矿石、碲金银矿—黄铁矿矿石。金是以自然金 (Au83.55~85.96%)、银金矿 (Au72.99~76.24%) 和碲金银矿 (Au24.30~25.03%) 等矿物形式存在。

据 7 个主要开采中段坑道地质观察，各种矿脉的穿切关系和矿物之间的相互关系，金青顶金矿床有 3 个成矿阶段：1. 含金黄铜矿—黄铁矿石英脉阶段；2. 含金多金属硫化物石英脉阶段；3. 菱铁石英脉阶段。

金青顶金矿床为壳源深熔花岗岩—中温热液石英脉型金矿床。

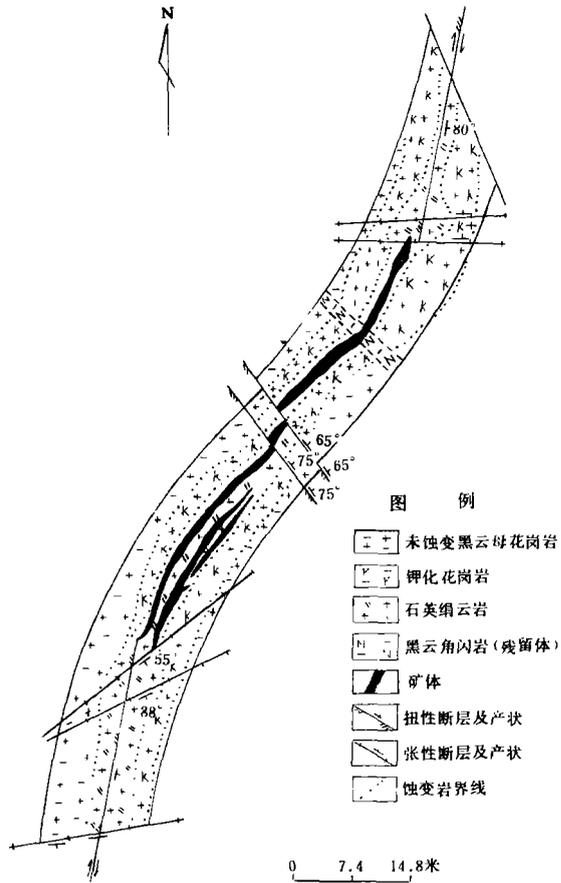


图 1 乳山金矿床—75 米中段平面地质图

Fig. 1 Plane map of 75-metre level of Rushan gold ore deposit

## 二、围岩蚀变的分带、岩石类型、蚀变矿物系列

(一)围岩蚀变岩的分带(图 1):

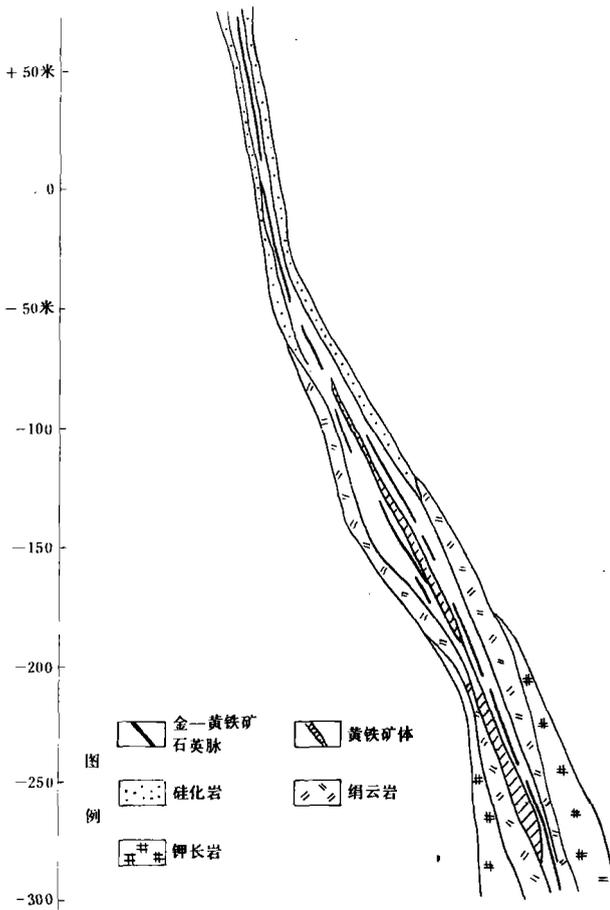


图 2 山东乳山金矿床金矿体及其蚀变岩垂直分布图

Fig. 2 Vertical distribution of ore bodies and altered rocks in Rushan gold ore deposit

金青顶金矿—75 米、—115 米、—155 米、—195 米、—235 米等 5 个中段主要金矿体(2 号脉)在主要成矿阶段(第 I 成矿阶段含金—黄铜矿—黄铁石英脉阶段)近矿的花岗岩均有蚀变,从新鲜花岗岩到含金—黄铜矿—黄铁矿—石英脉体出现明显的蚀变岩的对称分带(图 1):新鲜的黑云母二长花岗岩→钾化花岗岩→绢云母化钾化花岗岩→石英绢云岩→黄铁绢云岩→含金黄铜矿→黄铁石英脉。各蚀变岩带间呈过渡关系。含金矿化蚀变岩带地表长 1100 米,宽 1~16 米、一般 8 米±。上部钾化带变窄,硅化带增厚(+50 米、0 米、-50 米,图 2),下部钾化带变宽,硅化带变狭(-195 米,-235 米)(图 2)。金矿脉体上部为单脉(脉宽 0.5~0.8 米),矿石内方铅矿、闪锌矿增多,  $Au/Ag = 0.154 \sim 0.290$  ( $Au_{6-14}$  克/吨、 $Ag_{43-65, 76}$  克/吨、从 +63 米到 -50 米);中部为复脉(-75 米,-195 米,由几个单脉组成的复脉,单个脉宽

0.05~0.1 米),  $Au/Ag = 0.343$  ( $Au_{55.88}$  克/吨、 $Ag_{162.7}$  克/吨);下部主要为网脉(-235 米,单个脉宽 0.02~0.05 米),  $Au/Ag = 0.31$  ( $Au_{13.07}$  克/吨、 $Ag_{42}$  克/吨),在黄铜矿—黄铁矿矿石内出现碲金银矿、银金矿和碲银矿等矿物。

(二)围岩蚀变岩的岩石类型:

从新鲜的花岗岩到金矿脉出现有 5 种岩石,各岩石内的矿物含量见表 1、图 3。

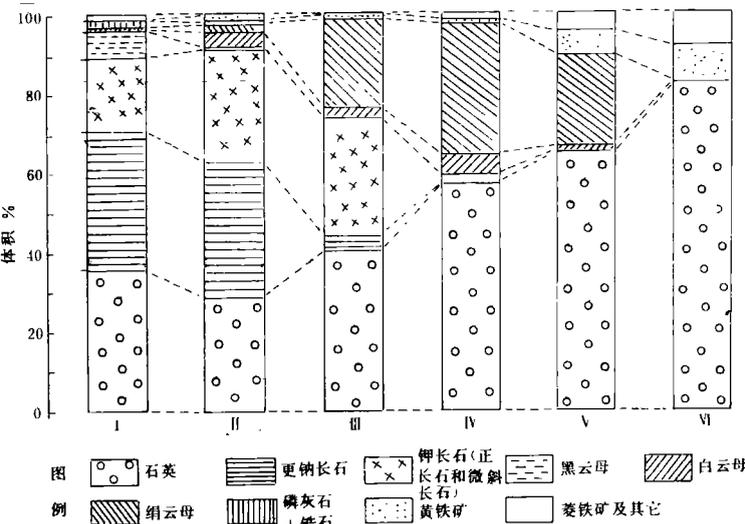


图 3 乳山金矿床围岩蚀变带中矿物含量变化

说明: I、未蚀变黑云母花岗岩 II、钾化花岗岩 III、绢云母化钾化花岗岩 IV、石英绢云岩 V、黄铁绢云岩、VI、黄铁石英脉

Fig. 3 Mineral amounts of alteration zones in the wallrock of Rushan gold ore deposit (uolume %)

1、中粗粒黑云母二长花岗岩(未蚀变岩石):灰白色,中粗粒半自形结构,主要由石英、钠更长石( $An_{10-20}$ 、正长石(三斜度 $\Delta = 0.23 \sim 0.30$ )、黑云母(1M型铁黑云母)、白云母组成。副矿物有锆石、磷灰石和绿帘石。

2、钾化花岗岩带:广泛发育于矿脉的外带。外侧为新鲜的花岗岩,内侧为石英绢云岩、厚度几米—十几米。钾微斜长石分布不均,具有块状构造,变斑晶中粗粒结构、交代残留结构发育。黑云母蚀变为白云母,析出金

红石和磁铁矿。钠更长石被钾微斜长石交代。副矿物锆石被溶蚀,晶体棱角消失。

3、绢云母化钾化花岗岩带:与钾化花岗岩成渐变过渡关系。具有块状构造,交代残留结构、假象交代斑状结构。主要组成矿物有石英、钾微斜长石、钠更长石、绢云母、白云母和锆石、金红石、磷灰石。钠更长石被细鳞片状绢云母交代,绢云母集合体保留钠更长石斑晶外形。黑云母全部被白云母所交代,并伴有毛发状金红石。原生石英被溶蚀成团块状。

4、石英绢云岩:邻近金矿体、宽 10~40 厘米。与黄铁绢云岩带成过渡关系。具块状构造,中粗粒变斑晶结构、束状构造。主要组成矿物为石英、绢云母。黑云母消失。钠更长石消失,全部蚀变为细鳞状绢云母、束状绢云母。钾微长石多被石英和白云母交代。具六方长柱状磷灰石出现。

5、黄铁石英绢云岩带:紧靠金矿脉。具有晶洞状构造、鳞片变晶结构、网脉状构造。宽 2—10 厘米。上部中段(+50 米、0 米)多被硅化带所代替。到深部-225 米中段多被网脉状含金黄铁石英脉所替代。主要组成矿物有水云母、绢云母、石英、黄铁矿和磷灰石、金红石、原生石英全部消失,出现梳状构造石英集合体和细粒自形晶石英晶体。黄铁矿具{210}晶形,呈细晶粒。

乳山金矿床围岩蚀变岩蚀变矿物含量变化表\*(%)

表 1

Table I Alteration mineral amounts of the altered zones in the wallrock of Rushan Au—deposit

岩石类型	薄片数	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		石 英	钠更长石	钾长石	黑云母	白云母	绢云母	磷灰石	锆 石	黄铁矿
黑云母花岗岩	17	35.76	35.15	18.72	6.40	0.83	0.00	1.61	0.44	0.00
钾长石化花岗岩	13	28.72	34.20	28.33	0.12	4.00	2.28	0.20	0.18	0.19
绢云母化钾长石化花岗岩	14	40.26	3.83	30.04	0.00	2.80	22.3	0.19	0.12	0.46
石英绢云岩	12	57.10	0.00	2.74	0.00	4.79	33.38	0.31	0.09	0.36
黄铁绢云岩	11	66.12	0.00	0.00	0.00	1.54	23.11	0.00	0.00	5.53
黄铁矿石英脉	8	82.84	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	0.00	9.14

\* 利用电子计数器采用直线法统计

乳山金矿床围岩蚀变岩内云母类矿物的 X 光粉晶衍射分析结果\*

表 2

Table 2 Analysis of X—ray powder diffraction of mica minenrals in the altered rocks of Rushan gold ore deposit

样品号	J-75-015			J-75-004			J-75-020			J-115-010		
矿物名称	1M 型黑云母			1M 型白云母			2M <sub>1</sub> 型绢云母			2M <sub>2</sub> 型水云母		
要 点 序 号	hkl	I	dA°	hkl	I	dA°	hkl	I	dA°	hkl	I	dA°
1	001	100	10.106	001	74	10.029	002	61	10.091	002	34	10.069
2	003	90	3.351	002	11	5.024	004	29	5.007	004	20	4.986
3	112	5	3.186	112	7	3.695	020	12	4.513	020	7	4.901
4	130	6	2.632	093	100	3.353	110	14	4.486	006	100	3.334
5	004	20	2.513	112	16	3.113	006	100	3.337	131	8	2.5522
6	201	5	2.444	023	1	2.773	202	21	2.568	043	7	2.125
7	060	5	1.541	220	1	2.221	131	16	2.555	0010	18	1.994
8	—	—	—	005	20	2.0145	133	10	2.459	137	6	1.976
9	—	—	—	060	1	1.439	222	7	2.147	155	6	1.540
10	—	—	—	—	—	—	0010'	25	2.006	331	6	1.499

\* 天津地质研究院地质实验室卓肇昆、沈建都同志分析、实验条件:CuKa 靶、30kv、15mA.

(三) 蚀变矿物系列(图 4):

从新鲜花岗岩到含金黄铁矿石英脉, 出现四个蚀变矿物系列: 1、钠更长石 → 2M<sub>1</sub> 型水云母; 2、钠更长石 → 最大微斜长石 → 中间微斜长石 → 高钠中间微斜长石; 3、1M 型黑云母 → 退色 1M 型黑云母 → 1M 型白云母 → 2M<sub>1</sub> 型绢云母; 4、石英 → 溶蚀石英 → 再生石英 → 脉石英。

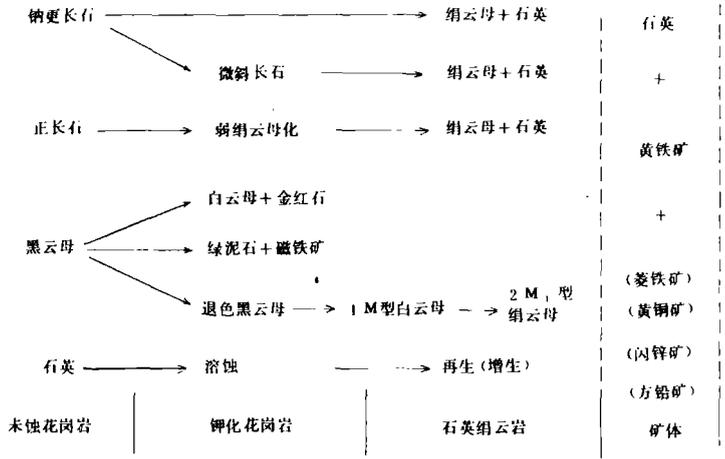


图 4 乳山金矿蚀变带矿物间的关系

Fig. 4 Relation among minerals in the altered zones of Rushan gold ore deposit.

1、云母类矿物: 围岩蚀变岩内出现四种云母类矿物。经 X 光粉晶衍射分析结果(表 2)表明钾化花岗岩内的黑云母为 1M 型退色黑云母; 绢云母化花岗岩内出现 2M<sub>1</sub> 型绢云母和 1M 型白云母; 黄铁绢云岩内出现的云母为 2M<sub>1</sub> 型水云母、2M<sub>1</sub> 型绢云母和 1M 型白云母。

差热分析结果鉴别出黄铁绢云岩和石英绢云岩内的云母为水云母, 在 665°~688°C、1110°C 出现吸热反应。

2、微斜长石类矿物(图 5): 通过 X 光粉晶衍射特征谱线、红外吸收光谱分析结果的对比和结构分析(表 3、表 4), 确定了三个蚀变岩带内有三种微斜长石: 最大微斜长石(红色)产于黑云母二长花岗岩内; 中间微斜长石(淡红色)产于钾化花岗岩内; 高钠中间微斜长石(淡红色—粉红色)产于绢云母化、钾化花岗岩内。最大微斜长石具有高的 Or 值(Or89.28%) 较低的三斜度  $\Delta P$  ( $\Delta P = 0.66$ )<sup>①</sup>, 高钠中间微斜长石具较低的 Or 值(Or80.51% 较高的三斜度 ( $\Delta P = 0.89$ )。这是由于微斜长石晶格四面体构造位置上 Al<sup>3+</sup> 代替 Si<sup>4+</sup> 的程度所制约。最大微斜长石 T<sub>2</sub> 位置上 Al<sup>3+</sup> 只占 3.69%, 在 T<sub>1m</sub> 位置上占 13.32%, T<sub>1o</sub> 位置上占 79.32%。高钠中间微斜长石 T<sub>2</sub> 位置上 Al<sup>3+</sup> 占 5.85%, T<sub>1m</sub> 位置上占 0.39~5.34%, T<sub>1o</sub> 位置上占 88.61%, 故高钠中间微斜长石有较高的三斜度( $\Delta P$ )。

利用电子计算机计算了各种微斜长石的晶格常数(表 4), 与 Or 值对比研究说明 Or 含量增加时晶格常数值高, 这是与 K<sup>+</sup> 离子半径值大于 Na<sup>+</sup> 离子半径值所致 (K<sup>+</sup> = 1.33 Å、Na<sup>+</sup> = 0.98 Å)。

①利用  $\Delta P$  (三斜度) = 12.5 (d<sub>131</sub> - d<sub>131</sub>) 公式计算

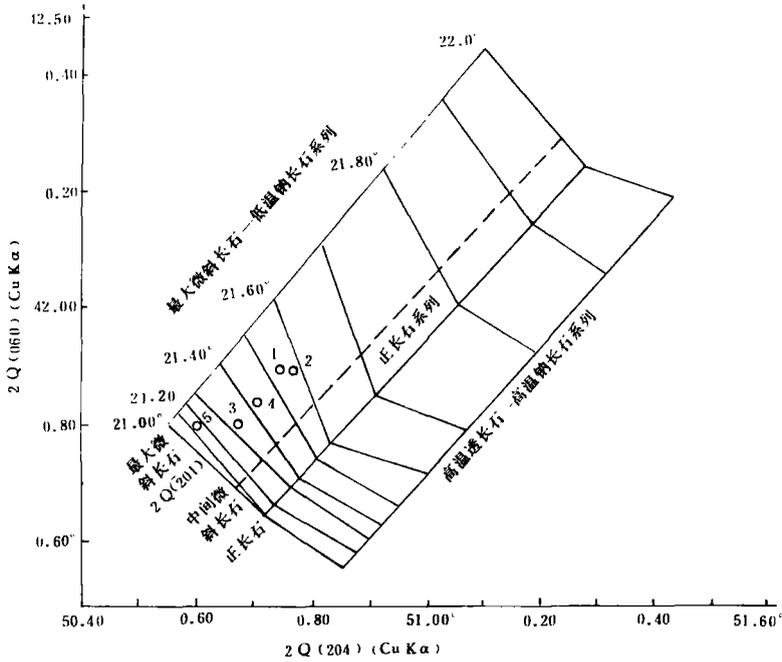


图 5 乳山金矿床围岩蚀变带及花岗岩内微斜长石 2Q204 与 2Q060 对比图

1. 绢云母化钾化花岗岩 3. 4. 钾化花岗岩 5. 斑状花岗岩。

Fig. 5 Microcline 2Q204 and microcline ZQ060 Plot

乳山金矿床围岩蚀变岩内最大微斜长石-中间微斜长石系列 X 光衍射特征谱线 \* 表 3

Table 3 Serial characteristic spectral lines of X-ray diffraction of maximum microclines—medium microclines in altered rocks in the wallrock of Rushan gold ore deposit.

样品号	矿物名称	hkl	201		131		131		060		204	
		2Q, d 值	2Q	d								
J-5-009	高钠中间微斜长石		21.10	4.210	29.44	3.034	30.16	2.963	41.80	2.161	50.66	1.802
J-75-006	高钠中间微斜长石		21.08	4.214	29.56	3.022	30.24	2.955	41.90	2.156	50.76	1.799
J-75-019	中间微斜长石		21.10	4.210	29.28		30.16	2.963	41.90	2.156	50.74	1.799
J-115-001	中间微斜长石		21.08	4.230	29.28		30.22	2.957	41.84	2.159	50.70	1.801
J-5-005	最大微斜长石		21.00	4.230	29.56	3.022	30.10	2.969	41.80	2.161	50.60	1.804

\* 天津地质研究院 X 光实验室卓肇昆、沈建都测定、实验条件: Cuka 靶 30kv 15mv

乳山金矿床围岩蚀变带内最大微斜长石—中间微斜长石的结构特征\*

表 4

Table 4 Construction characteristics of maximum—medium microclines in the altered rocks of Rushan gold ore deposit.

样品号	矿物名称	顺序号	Or%	$\Delta p$	$\Delta z$	$\eta$	$\delta$	Al 在四面体位置中分配				晶格常数*					
								Al <sub>Ta</sub>	Al <sub>Tm</sub>	Al <sub>To</sub>	Al <sub>Tm</sub>	a <sub>0</sub>	b <sub>0</sub>	c <sub>0</sub>	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
J-5-009	高钠中间微斜长石	1	80.51	0.89	0.7644	1.50	0.60	0.8861	0.0039	0.0585	0.0585	8.4816	12.9155	7.1873	90.917	115.954	87.586
J-75-019	高钠中间微斜长石	2	80.51	0.79	0.7936	1.57	0.66	0.8334	0.0534	0.0516	0.0516	8.5558	12.925	7.193	90.704	115.838	87.681
J-75-006	中间微斜长石	3	82.26	0.84	0.7644	1.45	0.60	0.8611	0.0211	0.0589	0.0589	8.5415	12.945	7.195	90.675	116.002	87.974
J-115-001	中间微斜长石	4	82.26	0.76	0.7644	1.47	0.60	0.8211	0.0611	0.0589	0.0589	8.5585	12.943	7.196	90.595	115.811	87.625
J-5-005	最大微斜长石	5	89.28	0.66	0.8526	1.94	0.77	0.7932	0.1332	0.0369	0.0369	8.5937	12.963	7.203	92.269	116.565	87.296

\* 天津地质研究院 X 光分析实验组卓肇昆、沈建都测定

胶东乳山金矿床各种蚀变岩石在 10000 Å 标准几何体积中所含组份的原子个数表\*\*

表 5

Table 5 Atom numbers of altered rocks in Rushan gold ore deposit within 10000 Å standard geometrical wolum.

岩石名称	黑云母花岗岩		钾化花岗岩			石英绢云岩			黄铁绢云石英岩		
编号	J-75-018		J-75-019			J-75-020			J-75-021		
化学成分	重量百分含量 %	Zi*	重量 %	Zi	加入(+)带出(-)	重量 %	Zi	加入(+)带出(-)	重量 %	Zi	加入(+)带出(-)
	SiO <sub>2</sub>	70.03	184.78	70.25	185.36	+0.58	72.14	186.74	+1.96	77.20	198.54
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.12	46.99	15.20	47.24	+0.25	15.95	48.64	+1.65	11.35	34.39	-12.60
TiO <sub>2</sub>	0.24	0.47	0.27	0.53	+0.05	0.20	0.39	-0.08	0.13	0.25	-0.22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.27	3.67	1.65	2.67	-1.00	0.55	0.87	-2.80	0.92	1.45	-2.22
FeO	0.26	0.57	0.22	0.48	-0.09	0.44	0.95	+0.38	1.50	3.22	+2.65
MgO	0.20	0.79	0.32	1.26	+0.47	0.38	1.46	+0.67	0.97	3.71	+2.92
CaO	1.53	4.32	1.46	4.12	-0.20	1.46	4.04	-0.28	0.43	1.18	-3.14
K <sub>2</sub> O	4.18	13.86	4.76	15.99	+2.13	5.28	17.39	+3.53	3.82	12.50	-1.36
Na <sub>2</sub> O	4.42	22.29	4.29	21.91	-0.38	0.10	0.50	-21.79	0.10	0.49	-21.80
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.11	0.06	0.13	+0.02	0.06	0.13	+0.02	0.01	0.02	-0.09
MnO	0.08	0.18	0.08	0.17	-0.01	0.08	0.18	-0.00	0.08	0.17	-0.01
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.52	9.17	0.68	11.99	+2.82	2.08	35.99	+26.82	2.40	41.26	+32.09
CO <sub>2</sub>	0.49	1.76	0.63	2.26	+0.50	0.59	2.08	+0.32	1.67	5.85	+4.09
总计	99.39		99.89			99.31			100.58		
体重	2.63		2.62			2.58			2.56		

\*  $Zi = \frac{\text{体重}}{16.6} \times \text{原子数}$  \*\* 据鲁德尼科的原子体积法

### 三、围岩蚀变岩带的岩石化学、元素地球化学特征

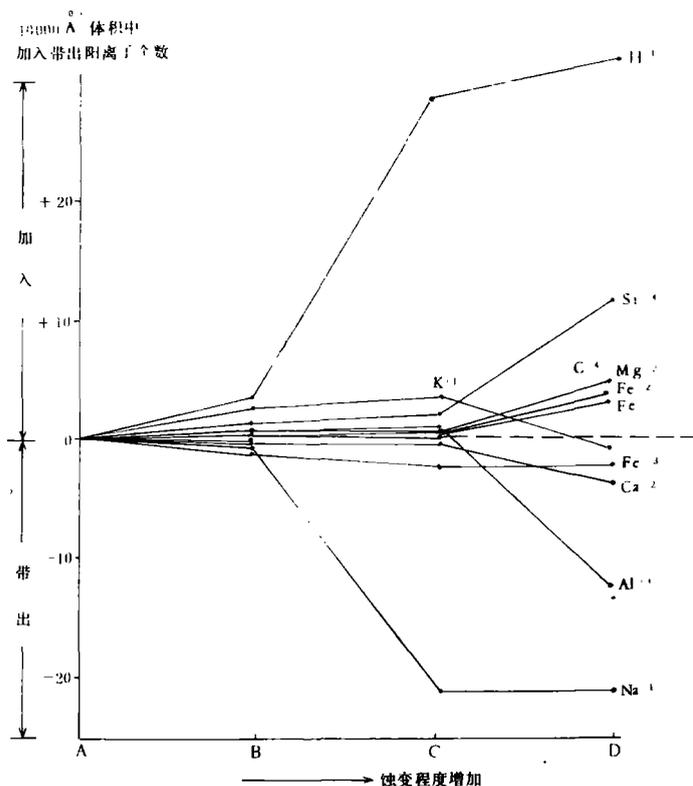


图6 乳山金矿床蚀变岩带组分含量变化图解

说明:A、黑云母花岗岩;B、钾化花岗岩;C、石英绢云岩;D、黄铁绢云岩。

Fig. 6 Compositional Variations of the altered rocks in Russhan gold ore deposit

(一)岩石化学及组分的加入带出平衡: 各种蚀变岩和原岩黑云母二长花岗岩的岩石化学分析结果, 利用 A·鲁德尼科的原子体积法计算了蚀变岩带形成作用过程中组分的加入和带出平衡(图 6、表 5)。计算结果表明: 1、从新鲜花岗岩→钾化花岗岩→绢云母化钾化花岗岩→石英绢云岩→黄铁绢云岩。深部上升热液流体加入到花岗岩内的有 H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>O、SiO<sub>2</sub>, 从花岗岩内带出的组分有 CaO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Na<sub>2</sub>O、FeO 等, 2、从组分的活动性上看, 活动性组分有 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、H<sup>+</sup>、Si<sup>4+</sup>, 惰性组分有 Fe<sup>2+</sup>、Mg<sup>2+</sup>、Ca<sup>2+</sup> 和 Al<sup>3+</sup>。3、大量 K<sub>2</sub>O、H<sub>2</sub>O、SiO<sub>2</sub> 的加入促使钠更长石分解蚀变为绢云母、水云母, 带出大量 Ca<sup>2+</sup> 促使方解石的形成(CO<sub>2</sub> 来自热液)。

(二)痕量元素地球化学: 11 种痕量元素在蚀变岩带内的含量变化(表 6)表明黑云母二长花岗岩蚀变为石英绢云岩、黄铁绢云岩过程中 Au、Ag、Cu、Pb、Zn、Rb、Ba、Rb/Sr 增加, Ni、Co、V 增加, Sr 含量减少。这是与钠更长石在蚀变作用时分解析出 CaO、导致 Sr 减少(Ca<sup>2+</sup> → Sr<sup>2+</sup>)。热液流体加入 K<sub>2</sub>O, 使蚀变带内 Rb、Ba、Pb 的含量增加(Rb<sup>+</sup> → K<sup>+</sup>、2K<sup>+</sup> → Ba<sup>2+</sup>、2K<sup>+</sup> → Pb<sup>2+</sup>)。

(三)稀土元素地球化学: 围岩蚀变带内各种岩石内稀土元素含量分析结果见表 7。蚀变岩带岩石内稀土元素分布模式见图 7。表明: 1、蚀变岩均富含轻稀土元素; 2、蚀变岩、新鲜花岗岩内稀土元素均未有 δEu 值亏损, 稀土元素分布模式具有明显相似性, 这表明蚀变岩内稀土元素来源于花岗岩; 3、绢云母化花岗岩内稀土元素含量减少, 说明在碱交代作用过程中稀土元素有淋失现象({Ce(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>}<sup>2-</sup> 络合物在碱性条件下稳定进入溶液)。

乳山金矿床围岩蚀变岩和矿脉内痕量元素含量表 \*

表 6

Table 6 Contents of trace elements of ore veins and altered rocks in Rushan gold ore deposit

样品序号	J-75-018	J-75-019	J-75-020	J-75-022
岩石及矿脉 元素 (P. P. m)	黑云母花岗岩	钾化花岗岩	石英绢云岩	含金黄铁矿-石英脉
Au	0.006	0.006	0.035	10.09
Ag	0.067	0.046	0.164	33.54
Cu	25	22	84	16600
Pb	46	40	15	180
Zn	50	41	160	2600
Ni	2.0	2.3	3.9	5.2
Co	4.1	3.1	3.4	20
V	4.9	9.8	12.5	22
Rb	92	91	146	8
Sr	940	760	46	14
Ba	4500	4000	2800	320
Ba/Rb	48.91	43.96	19.18	40
Rb/Sr	0.098	0.12	3.17	0.57

\* 冶金部天津地质研究院化学分析室分析

乳山金矿床围岩蚀变岩及矿脉矿石内稀土元素含量表 \* (P. P. m)

表 7

Table 7 REE contents of ore veins and altered rocks in Rushan gold ore deposit

样品序号	岩石名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
J-75-018	黑云母花岗岩	40	70	5	16	3.6	0.87	1.8	1.8	1.39	0.99	0.99	0.97	0.16	11.5
J-75-019	钾化花岗岩	55	100	12.7	29.7	6.2	1.1	3.9	3.0	2.86	2.72	2.70	2.70	0.16	21.2
J-75-020	石英绢云岩	25.5	68	5	14.5	2.5	0.9	1.4	0.59	0.51	0.42	0.40	0.42	0.16	2.8
J-75-022	含金黄铁矿- 石英脉矿石	2.7	2.6	0.9	0.9	0.5	0.05	0.2	0.09	0.18	0.19	0.042	0.042	0.09	0.33

\* : 由天津地质研究院化学分析室分析



乳山金矿床围岩蚀变岩内石英包裹体均一法测温结果\*表

表 8

Table 8 Homogeneous temperatures of liquid inclusions of quartz in the altered rocks of Rushan gold ore deposit

岩石名称	黑云母花岗岩	钾化花岗岩	石英绢云岩	含金黄铁矿石英脉
样品序号	J-75-018	J-75-019	J-75-020	J-75-021
最高温度值(°C)	505	340	300	275°
主期温度上限(°C)	505	340	300	265°
主期温度变化范围(°C)	505-210	340-200	300-200	265°-165°
平均温度(°C)	357.5	270	250	215°
含 CO <sub>2</sub> 部分均一温度	26	26	30	—
测定包体个数	18	20	11	17

\* 天津地质研究院包体实验室测定

乳山金矿床围岩蚀变岩内石英流体包裹体类型及其特征

表 9

Table 9 Inclusion types of quartz in the altered rocks of Rushan gold ore deposit and their features

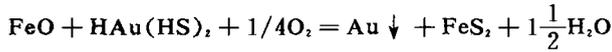
岩石类型	包裹体类型	气相比例	盐度	均一温度°C	特征描述
黑云母花岗岩	CO <sub>2</sub> 包体	95-100%	7.8-11%	24.7-26.9	以 CO <sub>2</sub> 包体和含 CO <sub>2</sub> 包体为主,包裹体数量多,个体较大,形状较规则,盐度相对低
	含 CO <sub>2</sub> 包体	25-70%		4-27.6	
	液相包裹体	5-45%		505	
	气相包裹体	45-70%		210	
钾化花岗岩	液相包体	5-35%	14.5%-16.7%	340-200	含 CO <sub>2</sub> 包裹体相对较少,盐度高,气液比小
	含 CO <sub>2</sub> 包体	25-75%		22.9-26	
	CO <sub>2</sub> 包体	75-100%		26.2-227	
石英绢云岩	含 CO <sub>2</sub> 包体	> 40%		30	气液包体发育,个体较大,边界清楚,气液比较大,含 CO <sub>2</sub> 包体较多
	液相包体	25-40%		300-200	
	次生液相包体	< 10%		100-130	
黄铁矿石英脉	液相包体	< 30%	10.2-10.3%	265-165	以液相包体为主,包体小,具定向排列

2、石英绢云岩带内蚀变矿物的形成:在偏碱性溶液变为弱酸性溶液时,富含 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>、CO<sub>2</sub>,在中温热液条件(经热力学计算各种长石发生绢云母化的温度更长石—中性长石 T < 378°C,钠长石 T < 185°C)下,钠长石,钠更长石蚀变为绢云母:



**(五) 蚀变岩带形成过程中金的搬运富集：**

据蚀变岩内石英包体成分、包体均一法测温和金络合物的稳定性说明在绢云母化作用石英绢云岩形成过程中，中—碱性溶液中 Au 以 Au(HS)<sub>2</sub><sup>-</sup> 络合物形式搬运（据矿脉石英包体成分内富有 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、并且 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > Cl<sup>-</sup> > F<sup>-</sup> 所指示），在中温热液条件活化迁移。当溶液 PH 值降低 PH = 6.5 时则 Au(HS)<sub>2</sub><sup>-</sup> 不稳定，溶液中有 Fe<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup>、Pb<sup>2+</sup> 存在，还原条件下 Au(HS)<sub>2</sub><sup>-</sup> 解体，金沉淀成矿：



**乳山金矿床围岩蚀变岩内石英包体内成分分析结果 \***

表 10

Tabl 10 Chemical composition of fluid inclusions of quartz in altered rocks

样品编号	测定矿物	产出岩石名称	采样位置	样品重量(克)	液相成分 (P.P.m)										气相成分 (mg/100g)		
					K	Na	Ca	Mg	Fe	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> O	
J-75-018	石英	黑云母花岗岩	-75 米中段 2号脉	3.5	0.38	0.88	0.55	0.05	0.10	1.25	0.10	1.14	1.43	6.86	微量	59.64	
J-75-019	石英	钾化花岗岩		3.5	1.08	0.72	0.25	0.06	0.08	1.36	0.10	0.50	1.14	12.45	微量	70.05	
J-75-020	石英	石英绢云岩		3.2	3.32	2.49	0.08	0.53	1.24	0.30	0.05	0.28	0.91	14.81	微量	79.42	
J-75-022	石英	含金黄铁矿—石英脉		4.0	0.52	1.62	0.52	2.80	4.20	1.15	0.10	1.29	4.28	16.00	—	118.05	

\* 南京大学地球科学系包体实验室测定

**(六) 蚀变岩带的形成模式：**

据蚀变岩带的岩石类型、蚀变矿物种类、蚀变带岩石中石英包体内 H<sub>2</sub>O 和绢云母内氢氧同位素测定结果(表 11)说明蚀变岩带的形成是在构造断裂继承活动，沿断裂构造深部壳源深熔花岗岩—岩浆期后热液和壳下热液流体富有 K<sup>+</sup>、Na<sup>+</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O、Au、Ag、Cu、Pb、Zn 流体上升与黑云母二长花岗岩发生碱—酸渗透交代作用形成的；花岗岩围岩受热液流体作用造岩矿物钠更长石蚀变为绢云母，黑云母蚀变为白云母、钠更长石被微斜长石交代，花岗岩围岩带出 FeO、MgO、CaO、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，深部上升热液流体加入 H<sub>2</sub>O、SiO<sub>2</sub>、K<sub>2</sub>O、Na<sub>2</sub>O，沿金矿脉从外向内扩散—渗透交代作用形成的。在交代作用过程中有大气降水加入（据 δD‰、δ<sup>18</sup>O‰测定值）。

蚀变岩带是在乳山黑云二长花岗岩侵入后，燕山运动早白垩世时北北东向、北东向构造断裂活动，深部热液流体上升，热液流体与花岗岩产生扩散渗透交代作用，蚀变岩带形成金矿富集成矿。

据上述蚀变岩带的地质产状、分带特征、蚀变岩类型、蚀变矿物系列、蚀变岩岩石化学、元素地球化学、蚀变岩带形成的物理化学条件建立了构造—热液流体—物化环境—碱酸交代四位一体的蚀变带形成模式(图 8)。蚀变岩带的形成主要有三个阶段：1、构造活动—深部热液流体上升阶段；2、金活化—碱酸扩散—渗透交代作用阶段；3、金沉淀富集—蚀变岩带形成

阶段。

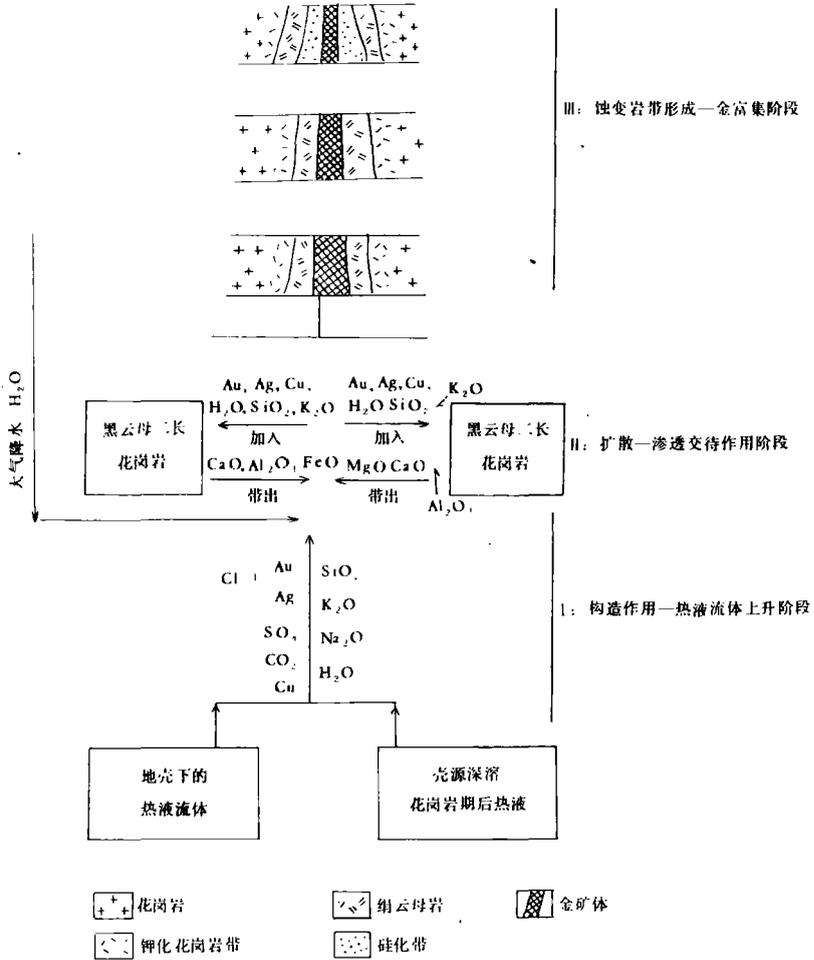


图 8 胶东乳山金矿床围岩蚀变岩带形成模式简图

Fig. 8 Model of formation of altered rocks in Rushan gold ore deposit

### 五 蚀变岩带的找矿意义

金青顶金矿脉近矿处均发育有黄铁绢云岩、石英绢云岩、钾微斜长石化花岗岩，这些蚀变岩是金矿脉找矿的直接标志。

蚀变岩带分布的范围是金矿化晕的范围，圈定蚀变岩带、编制蚀变岩带的分布图，直接有助于深部找矿和金矿探矿工作。

蚀变岩带分带性及其发育程度标志了成矿热液流体作用的性质和强度，指示了成矿溶液的性质、组分、物理化学环境。

以蚀变岩带作为金矿找矿标志有以下几个方面:

(一)在微斜长石化花岗岩内找黄铁绢云岩化带、绢云岩带发育地段。

(二)据上部单脉体发育硅化带、中部复脉体发育绢云岩带、深部网脉体发育钾化带、黄铁绢云岩化带。在硅化带下部可能出现绢云岩化带、钾化带,伴有复脉和网脉体。

(三)北北东向断裂转向北东向断裂带,两组断裂交汇处及两组断裂扭转处绢云岩带、黄铁绢云岩发育处。

(四)蚀变岩带内 **Rb**、**Ba**、**Co**、**Ni**、**Au**、**Ag** 痕量元素异常发育地段。蚀变岩带内痕量元素地球化学晕的圈定、特别是 **Rb**、**Ba** 异常地段。

(五)据蚀变岩带发育特征和现有矿化点的地质条件,有以下地区是金矿找矿有利地区:

- 1、金青顶深部及 1 号脉深部
- 2、巫山—育林山
- 3、双山子—福祿地
- 4、三甲—丛家

乳山金矿床围岩蚀变岩石英包体内  $H_2O$  和绢云母内氢氧同位素测定结果表 \* 表 11

Table 11 H—*isotope analysis of sericite and  $H_2O$  in quartz inclusion of altered rocks*

样品编号	岩石名称	测定矿物	$\delta^{18}O_{\text{石英}}\text{‰}$	$\delta^{18}O_{H_2O}\text{‰}$	$\delta D_{H_2O}\text{‰}$	均一法测温 $^{\circ}C$
J-75-018	黑云母花岗岩	石英	+11.15	+8.87	—	505
J-75-019	钾化花岗岩	石英	+11.27	+5.70	—	340
J-75-022	石英绢云岩	绢云母	+10.13	+3.31	-120.2	300
J-75-023	含金黄铁石英脉	石英	+10.66	+2.50	-120.2	265

\*:由国家地震局地质研究所氢氧同位素实验室上官志冠测定

## 六 结 论

通过工作,明确了金青顶壳源深溶花岗岩—热液—石英脉型金矿床围岩蚀变岩带的分带特征、空间分布、时间演化。确定了金青顶金矿床围岩蚀变岩带产出的地质—构造—环境及蚀变带形成的物理—化学条件。确立了判别蚀变岩带分带的岩石学、矿物学、地球化学标志,建立了构造—热液流体—物化环境—交代作用四位一体的蚀变岩带的形成模式。指出了找矿方向和找矿地区。

## 主要参考文献

- [1] 杨敏之, 胶东花岗岩—热液型金矿床围岩蚀变矿物系列、形成模式及找矿意义, 金矿床矿物成因学论文集, 1985
- [2] 杨敏之, 我国东北甲区铅矿化有关热液蚀变黑云母的物理化学性质及其成因, 地质学报, 44 (2), 1964
- [3] 杜乐天, 碱交代作用地球化学原理, 中国科学, (B 辑), (1) 1986
- [4] Barnes H · L · , Geochemistry of Hydrothermal ore deposits, second Edition. 1979
- [5] Seward T · M · , This Complexes of Gold and the Transport of in hydrothermal ore solutions. , Geochim. etvocosmochim. Acta. 37 (379) 1973
- [6] Schuarty G · M · , alteration of Biotite under Mesoothermal Conditions, Economic Geology, Vol · 53, 1958, 164—177

**RESEARCH ON GEOCHEMISTRY, FORMATIONAL MECHANISM OF  
ALTERATION ZONES IN THE HOST ROCKS OF JINQING  
DING GOLD DEPOSIT AND ITS SIGNIFICANCE ON THE  
FURTHER GOLD EXPLORATION IN JIAODONG AREA**

*Yang Minzhi*

*Li Zhiping*

**Abstract**

Jinqingding Au — deposit is one of the large — sized deposits in Jiaodong area yet found in recent years. It is a crustal — sourced — anatectic granite — related mesothermal quartz vein Au — deposit (270 — 215° c), occurring in NNE — NE fracture zone developed in Rushan biotite — monzogranite of the early Cretaceous age ( $134.4 \pm 3.81$ my).

Based on the results of geology, altered rock types, altered mineralogy, petrochemistry, geochemistry of trace elements including REE and O, H isotopes, physicochemistry of fluid inclusion are determined the major wallrock alterations zoning and the major metallogenic stages and the temporal evolution and spatial distribution of the alteration zones i. e. fresh granite — potassium granite — sericite — potassium granite — quartz — sericite rock — pyrite — sericite rock — gold vein. And the structure environment, time interval in which the altered rocks were formed are elucidated. Further more, are put forward the marks of petrology, mineralogy and geochemistry to discriminate altered rock zones and established the formational model for alteration (i. e. identity of structural environment — hydrothermal fluid — physicochemistry condition — replacement) and located 4 targets for future Au — exploration in Rushan area.