

## 黑龙江省老柞山金矿成矿模式探讨

周喜文, 李宪洲, 李晓敏

(吉林大学地球科学学院, 长春 130061)

**[摘要]**老柞山金矿经历了早、晚两期成矿地质作用。通过对矿质来源、控矿构造、流体特征、成矿时代等控矿因素的分析, 确定早期成矿作用为中高温热液蚀变岩型, 矿体受北西西—东西向张性断裂控制, 成矿年龄为 $(239 \pm 34)$  Ma, 与华力西晚期的岩浆活动有关; 晚期成矿作用为中温热液充填脉型, 矿体受北北西—北西向压扭性断裂控制, 其成因与燕山期的岩浆活动有关。两期成矿作用的成矿物质主要来自于上地幔, 并有部分壳源物质的加入。

**[关键词]**成矿模式 成矿时代 控矿构造 老柞山金矿

**[中图分类号]**P618.5 **[文献标识码]**A **[文章编号]**0495-5331(2002)02-0018-05

矿床成因研究是总结成矿作用规律的前提和基础。老柞山金矿床成因复杂, 矿体形态多样, 对其成矿机制进行系统研究对指导采矿、勘探以及进一步寻找新矿体具有重要意义。

## 1 矿区、矿床地质特征

老柞山金矿田位于黑龙江省东北部, 双鸭山市与七台河市之间, 区域大地构造位置处于佳木斯复合地体的中部<sup>[1]</sup>。区内出露的地层以古老的元古宙麻山岩系为主, 偶见中生代沉积岩系, 全区大部被第四系所覆盖(图1)。麻山岩系主要由变质表壳岩和混合花岗质岩石组成, 金矿体主要赋存在其中的混合花岗岩之中。矿区构造主要受两条近东西向展布的韧性剪切带控制, 并形成一系列近东西向或北西西向的次级断裂构造, 矿体分布主要受这些断裂构造控制。区内岩浆岩十分发育, 其中规模较大且与成矿关系密切的主要是华力西期和燕山期花岗岩。

老柞山金矿田由东、中、西3个矿带的数百条矿体组成, 存在早、晚两期成矿作用<sup>[1]</sup>。早期成矿作用为热液蚀变岩型, 是主成矿期, 包括3个成矿阶段, 即: 磁黄铁矿—毒砂—方解石—石英阶段、胶状黄铁矿—白铁矿—玉髓状石英阶段和粗粒毒砂—方解石—石英阶段, 其中第一阶段为主成矿阶段。矿体规模较大, 多呈不规则的透镜状、串珠状、囊状, 分

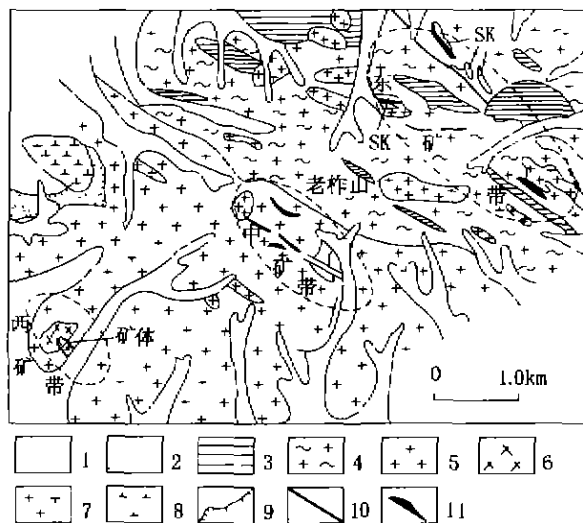


图1 老柞山金矿矿区地质略图

SK—夕卡岩; 1—第四系; 2—侏罗系; 3—下元古宙麻山群; 4—前寒武纪花岗岩; 5—华力西期花岗岩; 6—燕山期花岗岩; 7—花岗岩闪长岩; 8—闪长岩; 9—不整合界线; 10—断裂; 11—矿体

布于古老的变质混合岩之中, 常与夕卡岩相伴而生, 受北西西—东西向张性断裂破碎带控制。矿体与围岩界线清楚, 但多呈不规则的锯齿状。矿石类型以磁黄铁矿型和毒砂型为主, 少量为多金属硫化物—方解石型矿石。东、中矿带主要由这期成矿作用形成; 晚期成矿作用为热液石英脉型, 主要出现在西矿带, 矿体规模较小, 呈厚度不等的细脉状产出, 受北西—北北西向压扭性断裂控制。矿石类型主要为金属硫化

**[收稿日期]**2001-03-22; **[修订日期]**2001-10-15; **[责任编辑]**曲丽莉。

**[第一作者简介]**周喜文(1970年-), 男, 讲师, 1992年毕业于中国地质大学, 现攻读博士学位, 主要从事前寒武纪地质与成矿作用方面的研究工作。

物—毒砂—石英型,品位较高。在东矿带矿体裸露部位有表生期氧化型矿石产出。围岩蚀变早成矿期以硅化、绿泥化和碳酸盐化为主,且与成矿关系密切;晚期则主要表现为硅化、绢云母化和叶蜡石化<sup>[1]</sup>。

## 2 成矿物质来源

### 2.1 矿源层和储矿层

老柞山金矿床产于古老的麻山群变质岩系之中,其围岩是大规模出露的混合岩或混合花岗质片麻岩。经化学分析,这些混合岩的含金量普遍在  $30 \times 10^{-9}$  以上,无疑其在金矿的形成过程中起到了重要的作用。由于这些花岗质岩石主要是由麻山群经深部重融后上侵而成,在重融过程中导致岩石中分散的金得以活化、迁移和富集。因此可以认为麻山岩系是形成金矿的初始矿源层。进一步研究发现,金在岩石中的含量还与其所受的变形程度有关,强韧性变形形成的糜棱岩中,金含量明显高于变形弱的岩石(表1)<sup>[2]</sup>。这表明韧性变形有利于金的转移和富集,而强韧性变形所形成的各种糜棱岩可视为金的再生矿源层。在花岗岩与大理岩的接触部位有类夕卡岩生成,其质地脆弱、岩性活泼,易受侵蚀交代,可成为很好的储矿层。

表1 不同变形程度的变质岩中金的含量  $10^{-9}$

序号	变质岩石	变形—变质程度	样品数	金含量	
				变化范围	平均值
1	黑云斜长变粒岩	未变形,角闪岩相	5	0.3~2.5	1.3
2	斜长角闪岩	未变形,角闪岩相	6	0.3~4.2	1.8
3	糜棱岩化斜长角闪岩	轻微变形,角闪岩相	12	0.3~4.2	3.9
4	糜棱岩化黑云斜长变粒岩	轻微变形,角闪岩相	10	0.3~7.4	2.0
5	绿泥绿帘钠长糜棱岩	强变形,绿片岩相	22	0.7~47.4	4.5
6	白云(石英)钠长糜棱岩	强变形,绿片岩相	33	1.0~62.5	9.9
7	石英糜棱岩	强变形,绿片岩相	4	16.7~77.8	39.6
8	石英(钠长)糜棱片岩	强变形,绿片岩相	27	5.0~1310.0	172.0

据文献[2]改编

### 2.2 稳定同位素特征

老柞山金矿的矿石组成以金属硫化物为主,其次为方解石和石英。因此测定其组成物的硫、碳、氧、铅等稳定同位素组成含量,可推断其成矿物质的来源。分析结果表明,老柞山金矿床的  $\delta^{34}\text{S}$  值均为正值,早期矿石的  $\delta^{34}\text{S}=3.1\text{‰} \sim 4.8\text{‰}$ ,晚期矿石的  $\delta^{34}\text{S}=2.2\text{‰} \sim 5.3\text{‰}$ ,多数集中在  $4.0\text{‰} \sim 5.0\text{‰}$  之

间。表明该矿床的硫源比较单一,基本上是以幔源为主,有少量壳源物质的加入。通过对矿石中方解石的碳、氧同位素测定可知<sup>[3]</sup>,老柞山金矿的  $\delta^{13}\text{C}=-5.33\text{‰} \sim -2.64\text{‰}$ ,平均为  $-4.15\text{‰}$ ,处在初生碳和海相沉积碳的变化范围之内,偏重于深部来源,同样表现出以幔源为主,壳幔混源的特征; $\delta^{18}\text{O}$  值为  $10.27\text{‰} \sim 13.7\text{‰}$ ,平均为  $11.74\text{‰}$ ,经过换算的  $\delta^{18}\text{O}(\text{水})$  值为  $3.73\text{‰} \sim 7.58\text{‰}$ ,平均  $5.4\text{‰}$ 。由于深源岩浆水的  $\delta^{18}\text{O}$  值一般不会超过  $7.5\text{‰}$ ,由此说明老柞山金矿的氧也具有壳幔混源的特征。综合上述同位素的分析结果,可以认为老柞山金矿的成矿热液主要来自于深部岩浆,同时有少量壳源物质的加入。此外,值得注意的是,早晚两期的矿石铅同位素分析结果显示也具有幔源特征,凡其与周围两期花岗岩中的铅同位素组成之间呈现出了很好的相关一致性(图2)。在以  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  和  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  为坐标的图上,以 18.25 为界分成 I、II 两区。早成矿期矿石铅与华力西期花岗岩( $\gamma_4$ )中钾长石铅均落在了 II 区,而晚成矿期矿石铅与燕山期花岗岩( $\gamma_5$ )中钾长石铅全落到了 I 区,表明早期成矿作用可能与  $\gamma_4$  有关,晚期成矿作用可能与  $\gamma_5$  有关。

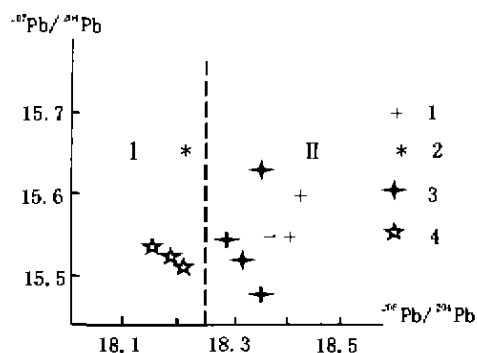


图2 岩石铅与矿石铅同位素组成图

1— $\gamma_4$  钾长石中铅;2— $\gamma_5$  钾长石中铅;  
3—早成矿期矿石铅;4—晚成矿期矿石铅

## 3 流体包裹体特征

### 3.1 流体成分

本区矿物中的流体包裹体较多,但普遍较小( $<5 \mu\text{m}$ ),仅少数可达  $10 \mu\text{m}$  以上,多为原生的气液两相包体,个别可见含子晶的三相包体。镜下可见,早晚两期包裹体的气液比差别很大,早期流体的气液比普遍大于  $40\%$ ,晚期则多小于  $30\%$ 。通过气相色谱和爆裂淋滤法对早晚两期成矿作用中主要矿石矿物的流体包裹体成分分析结果表明(表2),早期流体的组成以气相为主,特别是  $\text{CO}_2$  的含量非常

高,平均将近是晚期流体的 10 倍,这与镜下的观察结果一致。普遍认为成矿流体中的  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  比值与金的矿化程度有关,即比值愈高矿化愈好。本区早成矿期流体中的  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$  比值平均为 1.74,而晚期只有 0.71,二者相差一倍以上,说明早期的成矿环境更有利于金的矿化和富集。本矿床早期形成的矿体规模远远大于晚期矿体的事实证明上述判断是合理的。此外,早期流体中的  $\text{N}_2$  含量很高,平均达  $23.38 \times 10^{-6}$ ,远高于晚期流体中的  $\text{N}_2$  含量 ( $5.48 \times 10^{-6}$ ),其在金矿化中的作用还不得而知,

但至少可以认为是金成矿有利的标志之一。晚期流体的组成以液相为主,其中各种阳离子和酸根离子的含量都明显高于早期流体,盐度也较高。两期流体的共同特点是 pH、Eh 值偏低,都含有  $\text{H}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}$  等还原性气体,反映两期成矿热液都具有弱酸性和还原性的特点。通过上述对早晚两期成矿流体成分特征的分析,并考虑到各自的成矿规模,可以认为高气液比、低盐度、弱酸性和还原性的成矿热液将有利于金的沉淀和富集。

### 3.2 包裹体测温

表 2 老柞山金矿流体包裹体成分分析结果

成矿期	测试矿物	pH	Eh (V)	盐度 (wt%)	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2\text{O}$	CO	$\text{CH}_4$	$\text{N}_2$	$\text{Na}^+$	$\text{NO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$
早成矿期	毒砂	6.28	-0.5	3.09	145.3	326.2	2.36	0.32	8.93	0.85	4.09	3.65	1359.3
	毒砂	4.65	-0.32	2.81	2286.3	281.7	13.07	0.53	12.86	2.23	4.60	3.09	1274.6
	磁黄铁矿	6.28	-0.5	0.9	600.4	1048.0	1.01	1.4	73.17	0.57	1.45	0.98	421.7
	磁黄铁矿	6.4	-0.5	1.13	1561.4	881.6	1.13	0.62	15.37	0.68	1.62	1.09	282.9
	毒砂	6.08	-0.48	3.02	77.9	144.0	1.58	0.65	6.57	1.55	6.64	4.45	1771.3
晚成矿期	平均	5.94	-0.46	2.19	934.3	536.3	3.83	0.70	23.38	1.18	3.68	2.65	1021.9
	毒砂	6.74	-0.55	4.92	84.9	125.0	2.72	0.85	5.35	1.63	12.10	8.11	2630.2
	毒砂	4.37	-0.32	6.23	73.9	98.7	2.62	0.62	5.61	1.84	11.03	7.40	3088.9
	平均	5.56	-0.44	5.58	79.4	111.9	2.69	0.74	5.48	1.74	11.57	7.76	2859.6

注:表中数据液体单位为 mol/L,气体单位为  $10^{-6}$ ;测试单位:沈阳地质矿产研究所。

早晚两期流体包裹体的均一法测温结果显示,早期流体呈现两个明显的温度区间(括号中为所测包体数目),即:320~360℃(34)、280~300℃(15)。晚期流体主要表现为 220~260℃(15)。考虑到均一温度代表成矿温度的下限及其他影响因素,推断早期成矿作用的温度为 300~380℃,晚期作用的温度为 220~280℃。

## 4 控矿构造

老柞山金矿床的控矿构造主要体现在两个方面,即成矿前为韧性剪切带控矿,成矿期和成矿后为断裂构造控矿。

### 4.1 韧性剪切带控矿

老柞山金矿区存在两条明显的韧性剪切带,二者都沿 NWW—EW 向延伸,控制宽度约为 1.0~1.5 km,长度约 5 km 左右。一条以中矿带为中心,另一条以东矿带为中心。由于东、中矿带的矿体无一例外地存在于这两条韧性剪切带之中,说明韧性剪切带对金矿的形成具有严格的控制和限制作用。这种限制作用主要体现在两个方面,一方面是控制了晚期脆性断裂的活动范围,从而限制了矿体的分布;另一方面是为金矿的形成提供了再生矿源层。

由于韧性剪切带是一个岩性和构造的软弱带,

在其后的构造应力场作用下,应力首先在这些软弱带中集中,已有的断裂重新活动或产生新的断裂,从而限制了后生断裂的形成途径。造成在韧性剪切带内后生脆性断裂密集分布,而在带外则不够发育,本区东矿带和中矿带所呈现的就是这种特点。由于这种岩性活泼的脆性断裂往往又是矿液储存的理想场所,所以韧性剪切带可以间接控制矿体的分布。同时,韧性剪切变形变质作用还会引起金的活化和迁移,形成再生矿源层。大量研究表明<sup>[4-7]</sup>,岩石在变形变质过程中会释放出大量流体,这些以  $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$  为主要成分的流体在产生和运移过程中会带出金、硫等成矿物质,构成含矿流体。这些流体在外应力作用下趋向于向开放的环境迁移,而韧性剪切变形产生的大量微裂隙无疑是一个理想的空间。随着含矿流体的流入、成矿物质的积累,韧性剪切带中的金含量不断增高,从而成为对成矿极为有利的再生矿源层。老柞山金矿的绝大多数矿体分布于再生矿源层及其旁侧的裂隙中,充分显示了韧性剪切带的控矿意义。

### 4.2 断裂构造控矿

断裂构造控制着矿液的运移、储存和矿体的分布。从矿体的形态分布及与围岩的接触关系判断,老柞山金矿床的早期成矿作用受 NWW—EW 向张

性断层破碎带控制,其证据如下:①矿体多呈不规则的囊状、鸡爪状、树枝状,沿走向变化无常,忽宽忽窄;②矿体与围岩界线呈不规则的锯齿状;③矿体内部及边缘见有已胶结的围岩断层角砾岩,角砾棱角清楚,成分复杂,胶结物为浸染状的含矿磁黄铁矿;④在矿体周围常见有早期的大理岩和夕卡岩类物质,这种岩性活泼、质地柔软的岩石在张应力作用下极易发生断裂,从而成为矿液储存的最佳场所。老柞山金矿床晚期成矿作用主要受NW—NNW向压扭性断裂构造控制。矿体呈脉状,延伸从几十米到几百米不等,脉宽也不过几十厘米。脉体边界平直,断层面光滑平整,呈现出典型压扭性断裂的特征。在晚成矿期之后,本区存在一次较明显的构造活动,形成NW—NW向的压扭性断层破碎带,对早期矿体产生了较明显的压碎、挫断等改造作用。

## 5 成矿时代

稳定同位素特征表明,老柞山金矿的成矿物质主要来源于下地壳深部,铅同位素特征更进一步反映两期成矿作用可能分别与华力西期和燕山期的岩浆活动有关。据K—Ar同位素年龄测定,本区华力西期花岗岩存在两期作用。早期为黑云母花岗岩,侵入年龄为371~284 Ma;晚期为白岗质花岗岩,年龄为264~218 Ma。为准确获得早期成矿的时代,选择早成矿期的磁黄铁矿和毒砂作Rb—Sr等时线年龄分析,5个样品的同位素分析结果经回归处理后得到了一条很好的等时线(图3),其年龄值为(239±34) Ma。据此可以认定早期成矿作用与华力西晚期的岩浆活动有关。燕山期岩浆活动频繁,岩体众多。野外观察和含金性分析表明,早期的闪长玢岩与晚期成矿关系密切,其成岩年龄为123~146 Ma,估计成矿时代应稍晚些。

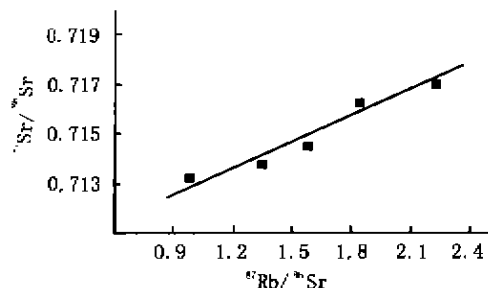


图3 早成矿期Rb—Sr等时线图

相关系数 $r = 0.9689$  ( $n = 5$ ), 斜率 $b = 0.03294$

## 6 成矿模式探讨

通过上述分析,可以得出老柞山金矿成矿作用

模式如下:早在2200~2500 Ma前,老柞山地区处于稳定的大陆边缘环境,形成了以粘土质长石砂岩、泥灰岩为主的沉积岩系,夹有少量的中基性侵入岩体。随后地壳下沉,温度、压力升高,产生角闪岩相—麻粒岩相区域变质作用,并伴随着大型韧性剪切变形和花岗质重融作用发生,导致原岩中极为分散的金元素发生活化、迁移,并逐步在有利的岩石中富集形成再生矿源层(如糜棱岩、混合花岗岩)。在花岗岩与碳酸岩的接触部位发生交代作用,生成类夕卡岩。大约400 Ma开始(华力西至印支期),佳木斯地块变得极不稳定,强烈的构造运动伴随着大规模岩浆活动,在原有的韧性剪切带形成了一系列NW—EW向张性断裂破碎带。在(239±34) Ma左右,华力西晚期的岩浆期后热液不断上侵,使再生矿源层中的金再度活化、迁移并以络合物的形式进入热液,经过反复淋滤后形成一种具有弱酸性和还原性的富矿热液,最终进入上述NW—EW向张性断裂破碎带中冷凝、沉淀形成早期矿体。同时胶结并交代松散的围岩和断层角砾使之成为矿体的一部分。由于大理岩和夕卡岩类岩性活泼、质地较软,易被热液侵入和交代,所以早期矿体常与夕卡岩相伴而生。但这并不意味着该矿床为夕卡岩型矿床。燕山期本区构造岩浆活动再次频繁,形成一系列NW—NNW向压扭性断裂。该断裂一方面对早期矿体进行了改造,使之延伸方向偏转;另一方面成为晚期含矿岩浆热液的储存场所,形成晚期矿脉。之后随着造山运动的发生,矿体被抬升至地表遭受氧化,形成氧化矿石(图4)。

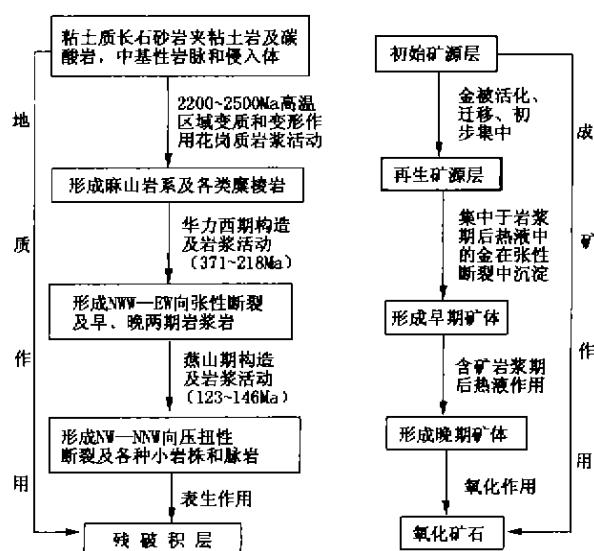


图4 老柞山金矿床成矿模式

## [参考文献]

- [1] 靳是琴,李宪洲,刘福来,等.佳木斯地块金矿找矿矿物学[M].北京:地质出版社,1994.
- [2] 曹 熹,党增欣,张兴洲,等.佳木斯复合地体[M].长春:吉林科学技术出版社,1992.
- [3] 张红军.老柞山金矿床地质特征及同位素地球化学特征[J].地质找矿论丛,1999,14(1):48~52.
- [4] 刘喜山,李树勋,刘俊英.变升变质作用及成矿[M].北京:中国科学技术出版社,1992.
- [5] 李树勋,刘喜山.韧性剪切带特征及与金矿化关系[J].中国地质,1988(5):19~22.
- [6] Phillips G N. Geology and alteration in the Gold Mine, Kalgoorli [J]. Econ. Geol. 1986(81):779~801.
- [7] Robert F, Brown A C. Archean - gold - bearing quartz veins at the Sigma Mine, Abetibi greenstone belt, Quebec [J]. Econ. Geol. 1986(81):591~616.

## RESEARCH ON METALLOGENIC MODEL OF THE LAOZUOSHAN GOLD DEPOSIT, HEILONGJIANG PROVINCE

ZHOU Xi - wen, LI Xian - zhou, LI Xiao - min

(College of Earth Science, Jilin University, Changchun 130061)

**Abstract:** The Laozuoshan gold deposit was formed after two epochs of mineralization process. Through extensive researches on metallogenic factors of ore - forming resources, controlling structures, fluid features, and metallogenic epoch, etc., a genetic model can be got as follows. The earlier mineralization is hypo - mesothermal alteration type. Orebodies are controlled by NWW - EW directional fractures and metallogenic age is  $239 \pm 34$  Ma. It is closely related to Variscan - epoch magmatic activity. The later mineralization is mesothermal filling type. Orebodies are controlled by NNW - NW directional fractures and related to Yanshanian magmatic activity. Ore - forming materials of those two mineralization are mainly deprived from upper - mantle and down - crust. Au is mainly deprived from wallrocks. Large - scale migmatitic granites and mylonite caused by Pre - Cambrian metamorphism and ductile shear - deformation are regenerated source bed of Au.

**Key words:** metallogenic model, metallogenic age, controlling structures, Laozuoshan gold deposit

## 青藏铁路沿线首次发现铜、钴等矿产

**据报载** 作为西部大开发的重要举措,业已动工兴建的青藏铁路举世瞩目。从中国地质调查局获悉,经过多年调查,地质工作者在这条海拔最高的铁路沿线首次发现了大量矿产资源。

位于可可西里无人区的风火山沉寂了亿万年。自2001年5月起,地质工作者在面积1.5万km<sup>2</sup>的风火盆地开展工作,发现了沉积型铜矿。13条铜矿带的长度2~30km不等,最宽的30m,矿体的矿化特征、厚度等沿走向十分稳定,这种矿床自然品质极好,平均品位为1%~2%,最高品位达到12.54%,初步估算资源量可达百万吨,并有望达到千万吨。

和铜一样,可用作航空航天领域耐高温材料的钴也是一种我国乃至全世界都十分紧缺的矿种。近年来,青海省地质调查院的专家在青海东昆仑山东段发现了13条钴矿带,平均品位为0.052%,

最高品位可达0.58%。仅在工程控制的两条矿体、近15km<sup>2</sup>范围内,初步估算钴资源量近2万吨,而目前全世界探明储量的钴也不下200万吨。经初步可选性实验,这种矿石可选性工艺简单,综合回收率高,可达85%。

据悉,位于柴达木盆地南缘的东昆仑地区,矿产资源十分丰富,目前已发现200多处矿床,矿点、中型、大型金矿床3处,钴矿床2处。近年来,随着国土资源大调查的实施,地质工作者在这里先后圈定有进一步工作前景的成矿地段7处,新发现矿产地2处。

另外,国土资源大调查在西藏尼木县一带发现了大型铜矿,也位于青藏铁路沿线。这些发现都将为青藏铁路经济带的形成,解决铁路运力平衡问题,促进西藏、青海的发展起到重要作用。