

青海青龙沟金矿床地质特征及流体包裹体研究

张博文,孙丰月,薛昊日,王 磊

(吉林大学地球科学学院)

摘要:青龙沟金矿床地质特征研究表明,矿化发生在NW向断裂组及NS向次背斜中,矿石类型为变砂岩、硅化白云石大理岩、蚀变闪长玢岩及绢云千枚岩型,围岩蚀变硅化分2期,表现出该金矿床多期次成矿的过程。流体包裹体研究表明, M_2 矿体硅化大理岩石英中发育气液二相包裹体,成矿流体属 $H_2O-NaCl$ 体系类型。成矿流体具有低盐度(2.73%~7.99% NaCl)、低密度(0.86~0.95 g/cm³)的特征,成矿温度为123.6~204.5℃,成矿压力为8.99~18.53 MPa,形成深度为0.9~1.91 km,显示出该矿床浅成环境成矿作用下一类成矿流体的性质。

关键词:青龙沟金矿床;流体包裹体;矿床成因;青海

中图分类号:P 618.51

文献标识码:A

文章编号:1001-1277(2010)02-0014-05

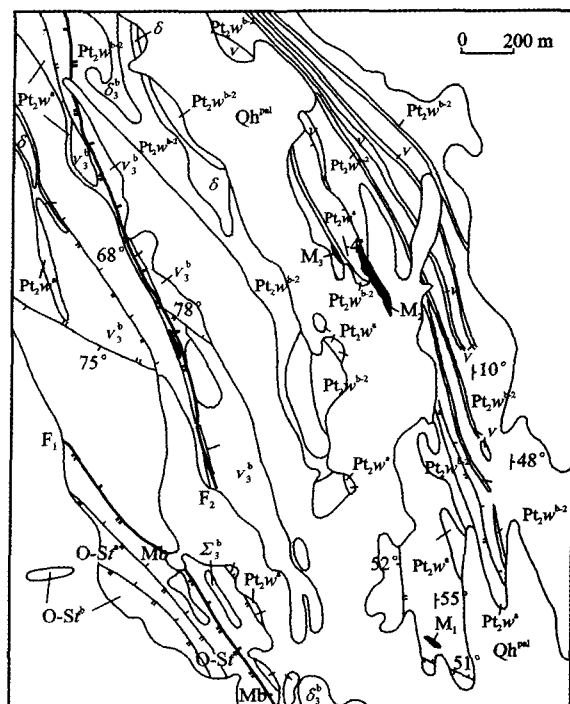
青龙沟金矿床位于青海省西北部大柴旦镇西北处,是滩涧山金矿田重要的矿床之一,也是柴北缘—南祁连造山带典型造山型金矿床之一,更是多期次造山运动成矿作用下叠加富集成矿的实例之一。本文一方面通过对矿床地质特征的总结研究,另一方面对采自青龙沟金矿床主矿体 M_2 的17个含石英样品(硅化片理化大理岩)进行了岩相学观察和显微测温(测得8个样完整数据),旨在能够得出证据以支持该金矿床多期次成矿的事实。

1 矿区地质特征

青龙沟金矿床的赋矿地层是中—新元古代造陆形成的万洞沟群,岩性为绿片岩相浅变质岩系,岩相分为:①万洞沟群大理岩组(Pt_2w^a),主体为一套灰—灰白色中—厚层状和薄层状含碳硅化白云石大理岩;②万洞沟群千枚岩—片岩组(Pt_2w^b)由一套灰黑色碳质绢云千枚岩或碳质绢云千枚岩夹白云母钙质片岩、绿泥绢云千枚岩、绢云石英片岩、片理化大理岩透镜体组成(见图1)。矿化作用发生在上下岩组之间,由构造改造出的破碎带内。

矿区内构造主要是由大型剪切带应力释放形成的次一级构造系,即复向斜褶皱及3组断裂。

青龙沟复向斜属于滩涧山复向斜的西延部分,由于后期改造,矿区内只出露西南部的次级背斜和向斜南东段。次级背斜的核部由万洞沟群下岩组组成,两翼为万洞沟群上岩组,两侧发育对应的次级向斜(见图2),这种褶皱作用使次级背斜两翼形成滑脱虚空的构造破碎带,这为热液贯入发生金矿化提供了主要



Qh^m—第四系冲洪积物 O—St^b—滩涧山群b岩组变火山碎屑岩
O—St^a—滩涧山群a岩组变砂岩 Pt₂w^{b-2}—万洞沟群灰—灰白色绢云千枚岩 Pt₂w^a—万洞沟群褐色硅化白云石大理岩 Mb—青灰色薄层—厚层状大理岩 δ₃^b—闪长玢岩 δ—灰绿色闪长岩脉 ν₃^b—辉长岩 ν—灰绿色辉长岩 Σ₃^b—超基性岩 M₂—金矿体及编号

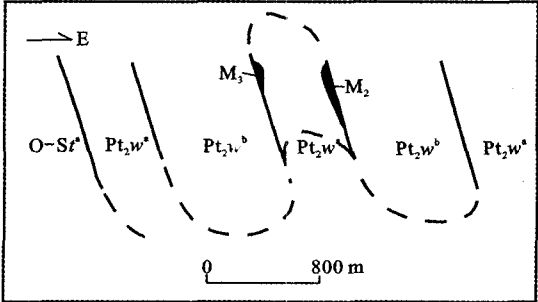
图1 青龙沟矿区地质略图(据林文山,2006,修改)

赋存空间。矿区内断裂分为2类:①与成矿有关的NW向断裂组,属性上为压扭性逆冲断裂,走向330°~350°,倾角65°~80°,这些规模大、延伸广的断

收稿日期:2009-10-25

作者简介:张博文(1984—),男,甘肃舟曲人,博士研究生,主要研究方向:热液矿床成矿预测;长春市建设街2199号,吉林大学地球科学学院,130061

裂系不仅控制了岩体的产出,热液通过断裂,形成明显蚀变带,也是最重要的控矿断裂, M_1 、 M_2 和 M_3 矿体都受这组层间断裂所控制;②成矿期后的 EW 向、NE 向断裂组,其规模小、延伸短,倾角 $55^\circ \sim 65^\circ$,多属平移断层,为破矿断裂^[1]。



Pt₂w^b—万洞沟群 b 岩组 Pt₂w^a—万洞沟群 a 岩组
O—Sr^a—滩间山群 a 岩组 M₂—金矿体编号

图 2 青龙沟金矿床东矿区矿化带构造示意图
(据林文山,2006,修改)

矿区范围内虽没有大规模花岗质岩体出露,但脉岩十分发育,呈岩墙或岩脉状顺层产出,主要岩石类型有辉长岩、闪长岩、石英闪长玢岩及花岗斑岩,构成与构造线展布一致的 NW—SE 向岩浆岩带^[1]。其中与金矿化最为密切的是石英闪长玢岩。

2 矿床地质特征

青龙沟金矿床分东、西 2 个矿区,东矿区位于青龙沟下游东侧,圈定 3 条矿体 (M_1 、 M_2 、 M_3),具有重要的工业意义,其中 M_2 、 M_1 为青龙沟金矿床的主矿体;而位于青龙沟下游西侧的西矿区,各矿体呈小脉状或透镜状,连续性差,延伸小,厚度、品位变化大,无工业意义。

青龙沟金矿床东矿区矿化带构造位置上分布于青龙沟复式向斜核部的次级背斜的两翼(见图 2),严格受层间滑脱断裂构造的控制,主要产于万洞沟群下岩组硅化白云石大理岩与上岩组碳质绢云千枚岩接触的层间构造破碎蚀变带中,也有一部分赋存于硅化白云石大理岩旁侧形成的破碎蚀变带内(见图 3)。

M_1 矿体位于青龙沟次级背斜东南倾伏端轴脊西侧的层间构造破碎蚀变带中,赋存于硅化白云石大理岩中,由地表出露的 M_{1-1} 矿脉及隐伏矿脉 M_{1-2} 、 M_{1-3} 组成,矿石类型为变砂岩型。这 3 条矿脉近于平行,矿体总体上呈透镜状, M_{1-1} 矿脉浅部产状为走向 335° ,倾向 NE,倾角近直立, Au 平均品位为 9.36×10^{-6} ,而该矿脉深部也同样具有反倾变化趋势,倾向 SW,倾角 $55^\circ \sim 60^\circ$,金品位明显降低,约为 1.72×10^{-6} 。 M_2 矿体位于青龙沟次级背斜东翼的层间构造

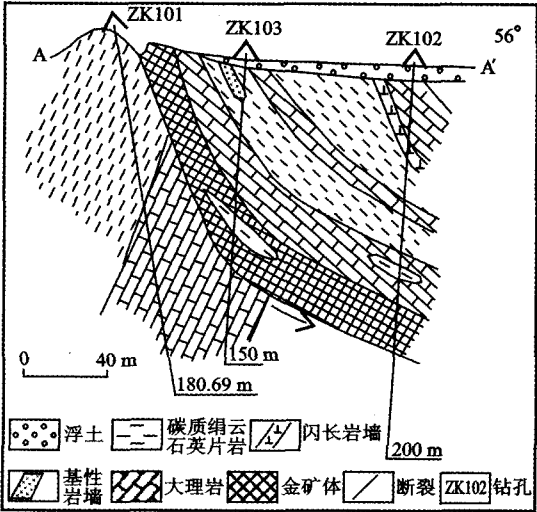


图 3 青龙沟金矿床 A—A'地质剖面图
(据青海地质第一大队资料修编)

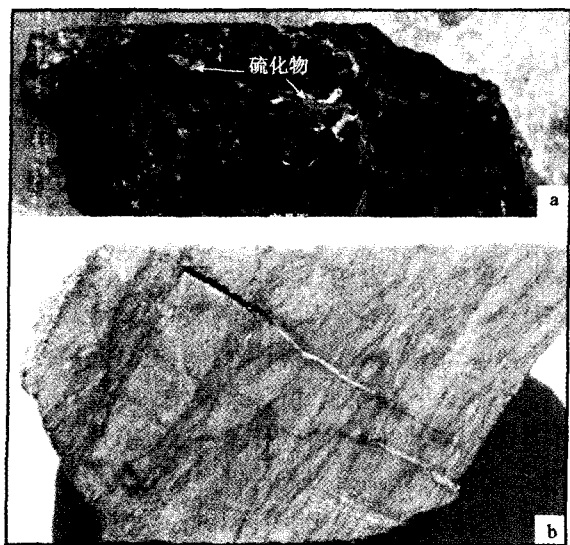
破碎蚀变带内,矿石类型以变砂岩型为主,硅化片理化大理岩型次之,矿化体呈似层状或大透镜体状,走向为 336° ,倾向为 SW,倾角为 85° 左右,深部矿化体发生反倾,倾向变为 NE,倾角为 $50^\circ \sim 75^\circ$,矿体平均真厚度为 7.42 m,金平均品位为 8.18×10^{-6} ^[1]。 M_3 矿体位于青龙沟次级背斜西翼层间构造破碎带中,该矿体只有地表工程控制,由 2 个 (M_{3-1} 、 M_{3-2}) 大致平行的矿体组成,空间上两者相距 4 m,矿石类型主要为绢云千枚岩型,绢云石英片岩型次之。

矿石类型主要有变砂岩型、硅化白云石大理岩型、蚀变闪长玢岩型及绢云千枚岩型,工业类型可分为氧化矿石和原生矿石两大类型。矿石结构主要为粒状结构、包含结构、交代结构及填隙结构;矿石主要构造为稀疏浸染状构造、线纹状构造、脉状构造及片状构造。矿石金属矿物主要有(含砷)黄铁矿、褐铁矿、毒砂及自然金等,脉石矿物以白云石、绢云母、石英、石墨等为主。自然金主要分布于白云石矿物粒间、微裂隙中及包裹于微细粒黄铁矿中,矿石中的自然金嵌布形式可分为包裹金、间裂隙金两大类,以后者为主。

围岩蚀变以黄铁绢云岩化、硅化、白云母化等蚀变为主,碳酸岩化、绿泥石化、绢云母化次之^[1]。其中黄铁绢云岩化是矿区最早发生的矿化蚀变,该蚀变岩特征矿物组合由鳞片状绢云母和细粒石英、黄铁矿组成;与成矿密切的硅化呈现 2 期的特征,早期硅化以石英呈次滚圆角砾状为特征,晚期硅化以团块状、透镜状及网脉状明显叠加或交代黄铁绢英岩化岩石为特征。

按其矿石类型及矿石组构,青龙沟矿床成矿作用可以分为 2 个成矿期:①含 Au 的黄铁绢英岩化蚀变

矿化期,发生于碳质千枚岩内,见产于空晶石变斑晶中早期交代作用形成的黄铁矿(见图4),这是含矿热液第一次贯入断裂通道,沿NW向层间韧性剪切带与围岩发生交代,物质交换,致使Au初始富集,该期矿化主要分布于热液上升的断裂通道内;②变砂岩矿化期,主要由矿化的钙质砂岩矿石组成(见图4),硅化白云石大理岩型金矿石及蚀变闪长玢岩型金矿石次之,其形成于万洞沟群致密白云质大理岩层内,含砷黄铁矿呈细密浸染状分布于变砂岩中,矿体的金矿化作用强烈,其平均品位 $7 \times 10^{-6} \sim 8 \times 10^{-6}$,最高达 80×10^{-6} 以上,该矿化期是M₂矿体形成的主成矿期。



a—黄铁矿化碳质千枚岩 b—细脉浸染状黄铁矿化含钙砂岩
图4 青龙沟金矿床矿石类型

3 流体包裹体研究

3.1 流体包裹体岩相学特征及显微测温研究

矿物中流体包裹体是研究成矿流体特征的直接证据。在对矿床地质特征进行详细野外调研基础上,采集了矿区M₂主矿体采坑的1个矿化片理化大理岩矿石样品,制备成包裹体片用于测试,先将上述样品磨制成厚度约为0.3 mm 双面抛光的薄片做流体包裹体观察,然后选择有代表性的包裹体进行显微测温等分析。

测试分析工作均在吉林大学地球科学学院地质流体实验室完成,测得数据8个(见表1),其中流体包裹体测温工作使用仪器为英国 Linkam THMSC - 600 型冷热两用台,可测温度范围为-196~600℃,该冷热台在-120~-70℃温度区间为±0.1℃,在100~500℃区间为±2℃。系统校准采用国际标样纯H₂O及盐度为25%的H₂O-NaCl人造包裹体。测试升温速率一般为0.2~5℃/min,相变点附近升温速率降低为0.2℃/min。对于气液二相水溶液包裹体,测定冰点温度(*t_i*)和完全均一温度(*t_h*);分析精度高于200℃时为±2℃。

矿石流体包裹体特征及测温结果如下:样品中包裹体极少,测得石英中都为气液二相原生包裹体,属H₂O-NaCl盐水溶液体系,包裹体呈椭圆、长条及不规则状,大小在4~10 μm 之间,气液比在5%~30%,多数在10%(见表1)。包裹体在冷冻升温过程中,测得冰点温度在-1.6~-5.1℃之间,按公式计算^[2]求得盐度*S*(NaCl)是2.73%~7.99%,包裹体均一至液相,均一温度变化范围为123.6~204.5℃,M₂矿体这期矿化成矿均一温度主要集中在190~210℃,反映了低温成矿的特点。

表1 青龙沟金矿M₂矿脉中样品流体包裹体测试结果表

样号	主矿物	包裹体类型	大小/μm	气液比/%	<i>t_i</i> /℃	<i>t_h</i> /℃	<i>S</i> (NaCl)/%	<i>ρ</i> /(g·cm ⁻³)	<i>p</i> /MPa	<i>h</i> /km
Q825	石英	气液二相包裹体	4	10	-5.0	150.5	7.86	0.93	14.33	1.43
Q825	石英	气液二相包裹体	4	20	-5.1	193.6	7.99	0.88	18.53	1.85
Q825	石英	气液二相包裹体	6	10	-5.0	191.7	7.86	0.88	18.25	1.82
Q825	石英	气液二相包裹体	5	10	-4.7	167.1	7.44	0.91	15.63	1.56
Q825	石英	气液二相包裹体	5	10	-4.7	204.5	7.44	0.86	19.13	1.91
Q825	石英	气液二相包裹体	8	20	-2.0	175.7	3.37	0.90	13.33	1.33
Q825	石英	气液二相包裹体	10	30	-3.3	208.1	5.40	0.86	17.70	1.77
Q825	石英	气液二相包裹体	5	5	-1.6	123.6	2.73	0.95	8.99	0.90

根据成矿流体H₂O-NaCl盐水溶液体系性质及镜下实际测温结果,可以认为190~210℃温度区间是青龙沟金矿床最后一期金元素沉淀成矿的高峰期。

这一温度区间基本反映了本区金矿化最后富集成矿温度的上限。根据盐水溶液包裹体温度-密度关系式^[3],求得流体密度为0.86~0.95 g/cm³。由此确定

青龙沟金矿床这期次成矿流体属于低盐度、低密度流体。

从成矿流体温度 - 压力的关系图(见图 5)可以得出,捕获包裹体记录的均一温度与压力具有线性相关性,呈现同一封闭体系下等容捕获形成的特征,即 $p_1/t_1 = p_2/t_2 = K$,拟合方程 $p = 0.12t - 6.4$,总体上表现出此类成矿流体在矿质沉淀前物化性质均一稳定的特征。

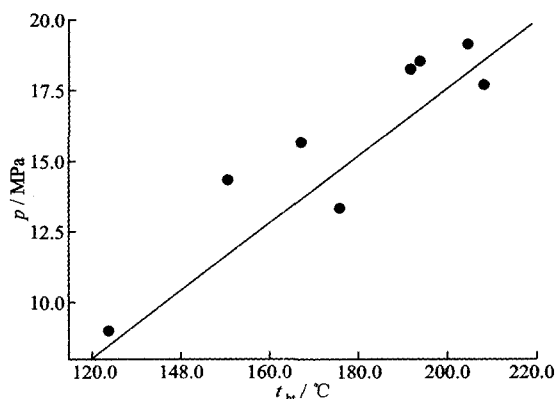


图 5 青龙沟金矿成矿流体压力 - 温度关系图

3.2 成矿压力、成矿深度的估算

根据邵洁连(1990)计算成矿压力的经验公式^[4]:

$$p_1 = p_0 \times t_1 / t_0 \quad (1)$$

$$(p_0 = 219 + 2\,620 \times S; t_0 = 374 + 920 \times S)$$

式中: p_0 为初始压力(MPa); p_1 为成矿压力(MPa); t_1 为实测均一温度(°C); t_0 为初始温度(°C); S 为盐度(%)。以此计算出青龙沟金矿床的 1 期成矿压力为 8.99 ~ 18.53 MPa, 总体平均压力是 15.74 MPa。

成矿深度问题是矿床学研究的重要内容之一。Sibson(1988)建立了断裂带内流体压力和深度之间的非线性关系^[5], 孙丰月(2000)分段拟合了压力和深度之间的关系式^[6], 认为: 流体压力小于 40 MPa 时应用静水压力梯度来计算, 即用压力除以静水压力梯度(10 MPa/km), 而 40 ~ 220 MPa 用公式 $y = 0.0868 / (1/x + 0.00388) + 2$; 流体压力为 220 ~ 370 MPa 时, $y = 11 + e^{(x-221.95)/79.075}$; 流体压力大于 370 MPa 时, $y = 0.0331385x + 4.19898$ (其中 y 为深度(km), x 为压力(MPa))。据此求得青龙沟金矿床的 1 期成矿深度的区间是 0.9 ~ 1.91 km(见表 1), 平均成矿深度 1.57 km。

总之, 青龙沟金矿床主矿体 M_2 矿化大理岩中石英包裹体中流体特征为: 浅部活动、低温、低盐度、低密度的 $H_2O - NaCl$ 盐水溶液体系。这些均不符合典型造山型金矿床主成矿期流体来源深部、中高温、中高盐度、中高密度的 $H_2O - CO_2 - CH_4 - NaCl$ 流体体

系的特征, 故为一类主成矿期后再次热液活动形成的包裹体。

4 多期次成矿热事件讨论

青龙沟金矿床所在的柴北缘—南祁连造山系, 是一个古生代—早中生代复合造山带, 主要经历了晚加里东期和晚华力西期—印支期的碰撞造山作用^[7], 于是该区域产出的造山型金矿床经历了多期次叠加成矿的作用^[8]。矿区的控矿构造 NW 向剪切带开始于晚加里东运动, 是区域古生代—早中生代复合造山作用的产物, 它的次一级断裂系为热液提供了上升通道, 在晚古生代—早中生代造山时期再次活动, 形成近 NS 向复向斜褶皱系, 构造虚脱部位为矿质沉淀提供空间。

滩涧山、青龙沟金矿床都属于同一金矿田, 同处于一个复式向斜构造的西南翼不同地段, 其成矿背景、成矿温度、成矿时代、成控矿构造、矿床成因类型均相同^[1], 故可以进行对比讨论。据张德全(2007)对滩涧山金矿床流体包裹体的研究, 提出了晚加里东期上地壳下部初步成矿、晚华力西隆升造山浅部富集成矿两期叠加成矿的观点^[8]。其大规模造山成矿作用提供的流体应该是一致的, 应也适用于毗邻的青龙沟金矿床。

结合滩涧山金矿床流体性质^[8]及测得青龙沟金矿床上述流体的特征, 认为青龙沟金矿床成矿流体热液 - 矿化事件可以分为 3 大期: ①晚加里东碰撞造山期, 发生于上地壳下部的脆 - 韧性剪切变形, $H_2O - CO_2 - CH_4 - NaCl$ 流体体系, 其主要沿 NW 向剪切带迁移和沉淀形成金矿化; ②晚华力西碰撞造山期, 发生于造山浅部环境, $H_2O - CO_2 - NaCl$ 流体体系, 成矿流体沿近 NS 向褶皱两翼的层间破碎带流动和沉淀, 并导致青龙沟金矿体的就位; ③晚古生代—早中生代碰撞造山期后, 发生于就位矿体的更浅部, $H_2O - NaCl$ 流体体系, 非“造山型”流体体系, 对已形成的矿体进一步富集。

5 结 论

综合研究表明, 青龙沟金矿区的金矿体至少是 2 次构造 - 热事件、3 期矿化叠加形成的产物。第一次晚加里东期柴北缘造山运动, 热液 - 矿化作用发生在 NW 向剪切带, 流体性质应为深源的 C - H - O 体系, 矿石类型为含金的黄铁绢英岩型, 成为本区第一期成矿物质的初始富集。第二次晚华力西期再次叠加造山, 褶皱发育, 热液 - 矿化作用发生在 NS 向褶皱两翼虚脱部位, 矿化期分为 2 期: 一期为主成矿期, 热液通过砂岩与大理岩之间的层间滑脱断裂, 与渗透性好

砂岩层发生交代反应,导致矿质沉淀,矿石类型主要为变砂岩型,流体性质也应为C-H-O体系;而另一期矿石类型则以硅化白云石大理岩为主,反映构造热液再次活动,富集浅部矿体,流体性质为H₂O-NaCl体系,与本次测得的此类流体性质吻合。

[参考文献]

[1] 林文山,范照雄,贺领兄. 青海省大柴旦青龙沟金矿床地质特征、找矿标志和找矿方向[J]. 矿产与地质,2006,20(2):122-127.
[2] 张文淮,陈紫英. 流体包裹体地质学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,1993:1-246.
[3] 刘斌,沈昆. 流体包裹体热力学[M]. 北京:地质出版社,1999:

1-290.
[4] 邵洁涟. 金矿找矿矿物学[M]. 北京:中国地质大学出版社,1990:1-158.
[5] Sibson R H, Robert F, Poulsen K H. High-angle reverse faults, fluid-pressure cycling and mesothermal gold-quartz deposits[J]. Geology, 1988, 16: 551-555.
[6] 孙丰月,金巍,李碧乐,等. 关于脉状热液金矿床成矿深度的思考[J]. 长春科技大学学报,2000,30(增刊):27-30.
[7] 殷鸿福,张克信. 中央造山带的演化及其特点[J]. 地球科学,1998,23(5):437-442.
[8] 张德全,丰成友,李大新,等. 柴北缘-东昆仑地区的造山型金矿床[J]. 矿床地质,2001,20(2):137-146.

Geological characteristics and study on fluid inclusion in Qinglonggou gold deposit, Qinghai province

Zhang Bowen, Sun Fengyue, Xue Haori, Wang Lei
(College of Earth Sciences, Jilin University)

Abstract:The geological characteristics in Qinglonggou gold deposit show the mineralization occurs in NW fault set and NS sub anticline. The ore is of altered sandstone, silicification dolomite-marble, altered diorite-porphyrite and sericite phyllite type. The silicification alteration can be divided into 2 stages, which show the multi-phase metallogenic course of the gold mine. Fluid inclusion researches reveal that the air-liquid two-phase inclusion bears in M₂ orebody silicification marble quartz and the ore-forming fluid belongs to H₂O-NaCl system type. The characters of ore-forming fluid are low salinity(2.73 % ~7.99 %) and low density(0.86 ~0.95 g/cm³). The ore-forming temperature is 123.6 ~204.5 °C, the pressure is 8.99 ~18.53 MPa and the depth is 0.9 ~1.91 km. It shows the properties of ore-forming inclusion in shallow depth environment.

Keywords:Qinglonggou gold deposit; fluid inclusion; genesis of the deposit; Qinghai (编辑:宿晓静)

2009 年中国新发现矿产地 621 处

国土资源部日前宣布,2009 年中国在地质找矿方面取得令人振奋的成果,全国新发现矿产地 621 处,其中大型以上矿产地 159 处,煤炭和铁、铜、铝等重要金属矿产资源勘查取得一批具有重大影响的成果,这些成果的开发利用将很大程度上缓解中国的资源瓶颈。

国土资源部总工程师张洪涛介绍说,2009 年国土资源部调动各方积极性,努力克服国际金融危机带来的不利影响,全国基础地质调查和固体矿产勘查共投入资金 277 亿元,在国际矿产勘查市场大幅下滑的情况下仍增长了 17.5 %。国土资源部立足重点成矿区,运用新理论、新方法、新技术,集中优势力量,切实加大铁矿地质找矿力度,取得重大突破。在鞍本、冀东、兖州、攀西、庐枞等勘查区共计探获铁矿石资源量近 50 亿 t,其中有 10 亿 t 为探明资源储量,为进一步开发提供重要资源依据。去年铜等有色金属勘查成果进一步扩大。在西南三江、冈底斯等资源基地共提交铜资源量近 2 000 万 t;在山西、河南等地区探明铝土矿资源量 2.6 亿 t。

青海大场、山东焦家等地区金矿勘查取得重要进展,探明金矿资源量 255 t,提高了中国贵金属资源的保障程度。煤炭勘查“立竿见影”,在新疆、山西、内蒙古等省(区)探获煤炭资源量近 1 500 亿 t。同时通过地质工作者的不懈努力,开拓了一批找矿新区,在昆仑—阿尔金、班公湖—怒江、大兴安岭等工作程度极低的新区取得新突破和新认识。在西藏亚贵拉铅锌多金属矿集区,新发现矿床点 17 处。

2009 年在国土资源部启动的危机矿山接替资源专项中,一批危机矿山探获新资源,共探明 41 个大型矿床,70 个中型矿床。累计新增资源储量原煤 65.9 亿 t、铁矿石 8.7 亿 t、铜 259 万 t、钨(WO₃)66.2 万 t、铅锌 849 万 t、锑 45 万 t、金 621.9 t、银 8 684 t、铬铁矿 47.2 万 t、磷矿石 2.1 亿 t。这些资源储量可全部为矿山企业直接开发利用。新增资源储量静态工业总产值达数万亿元,潜在利润数千亿元。230 个矿山平均延长矿山开采年限 13.5 年,稳定矿山职工就业 60 万余人,一大批老矿山重新焕发生机。

(转自中国黄金协会网)