

青海驼路沟钴矿床地质特征及找矿方向研究

朱华平, 孙丰月, 李碧乐, 陈国华, 迟效国

(吉林大学 地球科学学院, 长春 130061)

摘 要: 驼路沟钴矿床是近年来在东昆仑南带中新发现的独立钴矿床。通过对矿床地质及地球化学特征研究表明, 驼路沟钴矿床的形成主要与热水沉积作用有关; 成矿后, 在后期的碰撞造山过程中, 由于 SN 向挤压, 矿床遭受到强烈变形改造作用, 导致含矿岩系发生了强烈的构造置换改造作用, 矿体显示出‘似层非层, 似脉非脉’的特点; 而且更晚期的断裂构造活动造成矿带差异性抬升及剥蚀。因此认为该矿床为热水喷流沉积-构造改造型矿床。依据矿床的成矿规律及控矿条件, 提出了驼路沟钴矿床进一步的找矿方向。

关键词: 驼路沟; 热水沉积岩; 构造置换; 钴矿床; 青海省

中图分类号: P612; P618.62 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2004)03-0147-06

世界上独立的钴矿床极其少见, 它通常作为伴生矿种产出。随着对金属钴需求量的增加, 钴矿床的勘查备受人们重视。

东昆仑地区是我国重要的钴矿资源远景区, 有著名的德尔尼铜钴矿, 近几年又相继发现了肯德可克和驼路沟钴矿床(段国莲, 1996; 潘彤, 2003; 张德全, 2002)。驼路沟钴矿床的勘探评价工作正在进行, 目前已查明的钴可达中型矿床规模, 工业前景非常看好。但是, 前人对该矿床的研究工作一直未取得突破性的进展, 其观点始终没能达成共识。本文在系统的野外调查和室内工作基础上, 总结了该矿床的地质特征, 并对其矿床成因及成矿规律进行了初步探讨, 进而指出该矿床进一步的找矿方向。

1 矿区地质概况

1.1 成矿地质背景

驼路沟矿区地处东昆仑南带的中段, 南距昆南断裂带 3 km, 大地构造单元为东昆仑褶皱系布尔汗布达褶皱区与巴颜喀拉甘孜褶皱系相接触部位。东昆仑南带是一条长期活动的造山带, 经历了复杂的地质演化过程。前加里东期一直是稳定的大洋环境, 直到中晚元古代由于受地幔柱构造活动的影响

形成万宝沟大洋玄武岩高原, 早古生代晚期万宝沟玄武岩大洋高原发生由北向南的俯冲, 且沿着昆中断裂带直接拼贴到柴达木地块之上^①。早中志留世, 在万宝沟大洋高原的拉伸区, 形成了一套热水沉积建造——硅质钠长质岩, 为该带的热水喷流沉积矿床的形成提供了有利条件。闭合造山之后, 又经历了印支、燕山期区域变质和构造岩浆活动, 使矿区地层发生了褶皱变形及断裂等地质作用。

1.2 矿区地层

在矿区范围内出露的岩石主要为海相火山-沉积碎屑岩, 未见岩浆岩侵入体出露。前人对该矿区地层时代有两种认识, 一种认为以二叠系为主(李厚民, 2001), 另一种认为震旦-寒武纪(张德全等, 2002)。2001 年我们在该区内发现了类属早-中志留纪的泡沫珊瑚化石, 证实该矿区地层为下志留统。地层近 EW 向展布, 可分为上部碳酸盐岩组和下部碎屑岩组。根据沉积旋回特征, 下部碎屑岩组又可细分为 4 个岩性段(图 1)。

1.3 矿区构造

驼路沟矿区发育的构造主要为褶皱和断裂。褶皱有九七沟复式背斜和沟脑向斜。矿区内断裂构造主要分为近 EW 和近 SN 方向的两组断裂。相对来说近 EW 向的断裂不太发育, 而近 SN 向断裂比较发育, 一般为正断层, 主要有长征沟、玉女沟、龙泉沟

收稿日期: 2004-05-11

基金项目: 中国地质调查局项目(20011020002107)部分成果。

作者简介: 朱华平(1979-), 男, 江西永修人, 硕士研究生, 主要从事成矿规律与成矿预测研究。

①孙丰月等。新疆—青海东昆仑成矿带成矿规律和找矿方向综合研究项目报告。吉林大学, 2003。

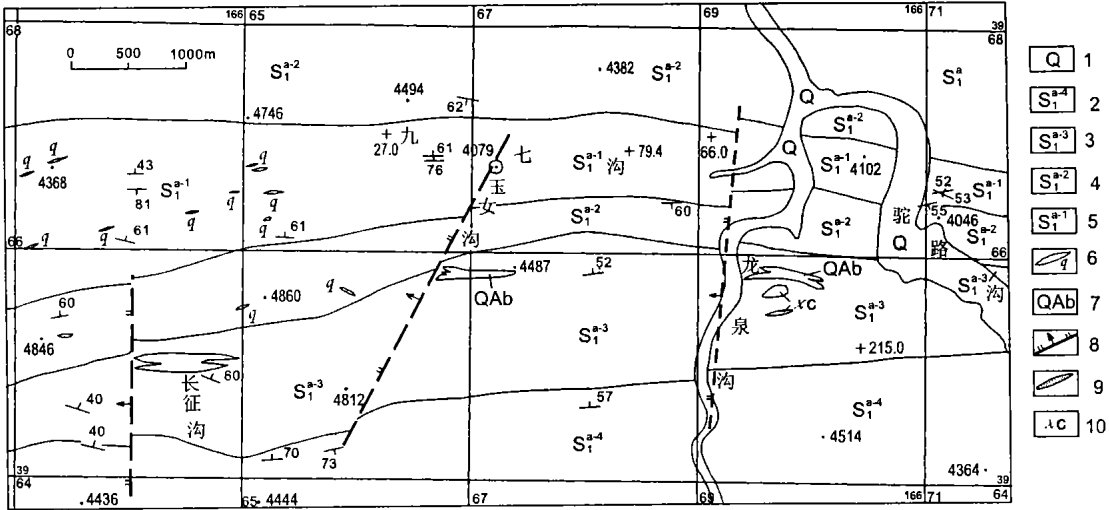


图 1 驼路沟矿区地质略图(据青海省柴达木综合地质大队资料, 改编)

Fig. 1 Simplified geologic map of the Tuolugou ore district

1. 第四系松散堆积物 2. 绢云母石英片岩 3. 绢云母绿泥石英片岩 4. 绢云母片岩、斑点状碳质千枚岩
5. 含砾片岩、变砂岩 6. 石英脉 7. 硅质钠长质岩 8. 推测正断层 9. 钴矿体 10. 碳酸盐岩脉

和短沟断裂(图 1)。

2 矿床地质特征

2.1 赋矿岩石

2.1.1 赋矿地层特征

驼路沟矿区赋矿地层为下志留统低绿片岩相变质的火山沉积碎屑岩建造, 主要岩石类型为硅质钠长质岩、绿泥绢云石英片岩、绢云石英片岩。它们均产于岩段中, 且互层产出, 形成韵律性的条纹条带出现在矿化层中。

赋矿地层片理发育, 顺片理方向多见细小的石英脉和碳酸盐脉贯入。矿区蚀变较强, 主要为硅化、碳酸盐化、绢云母化、黄铁矿化和钠长石化; 在地表呈醒目的褐黄色蚀变带, 钴矿体均产自蚀变带内。

2.1.2 含矿主岩特征

驼路沟矿区与矿体关系最为密切的含矿主岩为硅质钠长质岩, 它是本矿床的一个重要找矿标志。经观察研究证明其属于热水沉积岩。热水沉积岩是热水喷流沉积型矿床的重要鉴别标志之一, 了解这类岩石的特征和成因对于认识本矿床的成因及成矿作用十分重要。

矿区内硅质钠长质岩呈灰白色-黄褐色, 他形粒状变晶结构, 块状、条带状构造, 并且大部分发生了轻微的绢云母化、碳酸盐化。岩石主要由钠长石

(50% 60%)、石英(35% 40%)及少量的绢云母、方解石组成。副矿物有绿帘石、电气石、绿泥石、磷灰石等, 并出现含量不等的黄铁矿。

2.1.3 岩石的构造变形特征

矿床形成之后, 赋矿岩石受后期区域动力变质作用影响, 在 SN 向挤压作用下, 原生层理已被广泛置换, 透入性片理已不同程度地置换了原地层层理(图 2)。含矿主岩硅质钠长质岩也都已强烈构造变形, 呈条带褶曲状与绿泥绢云石英片岩、绢云石英片岩互层分布(图 3)。这种较硬的硅质钠长质岩夹在较软的片岩中, 在受到后期的构造作用影响时, 显示出了两者的不协调性, 甚至在岩性界面上形成断层, 其在走向上则因构造作用而变成断续分布的香肠或透镜体^[3]。构造变形导致硅质钠长质岩与围岩之间的这种不协调, 是不少人将硅质钠长质岩误认为脉岩的主要原因。

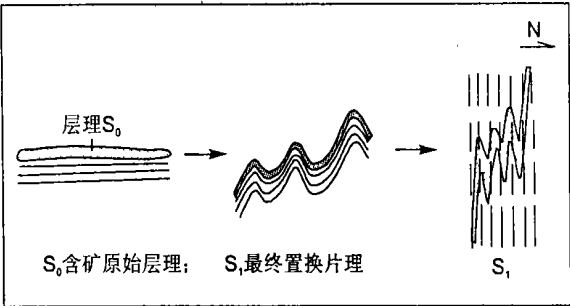


图 2 驼路沟矿区短沟矿段含矿岩系构造置换示意图

Fig. 2 Sketch map showing structural transposition in Duangou ore domain, Tuolugou ore district



图 3 硅质钠长质岩的构造变形
Fig. 1 Structural deformation of siliceous albitite

2. 1. 4 主量元素特征

赋矿岩石硅质钠长质岩的化学成分见表 1。据 Boström, Yamamoto 和 Adachi 等^[7-9]认为, 海相沉

积岩的 $Al/(Al+Fe+Mn)$ 比值是衡量沉积物中热水沉积物多少的标志, $Al/(Al+Fe+Mn)$ 比值随着热水沉积物含量的增多而减少; 通常热水沉积岩的 $Al/(Al+Fe+Mn)$ 比值小于 0.35。我们所选样品的值分别为 0.343, 0.023, 0.308, 均 < 0.35。另外从表中可以看出硅质钠长质岩中 $w(Na_2O)$ 明显大于 K_2O , 上述特征表明, 这些硅质钠长质岩是一种典型富钠热水沉积岩。

2. 1. 5 稀土元素特征

驼路沟矿区硅质钠长质岩的稀土元素分析结果列于表 2。如图 4 所示, 球粒陨石标准化图型显示为向右倾斜的曲线。而且具有负 Eu 异常和低的正 Ce 异常, 这与现代海洋沉积物的稀土配分模式类似, 表明成岩的热液中稀土元素可能来自下渗海水及其所流经的岩层, 进一步反映硅质钠长质岩海底喷流沉积成因的特征。

表 1 驼路沟矿区硅质钠长质岩化学成分分析结果

Table 1 Chemical analyses of siliceous albitite from Tuolugou ore district $w_B/\%$

样品号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	TiO ₂	P ₂ O ₅	烧失量	H ₂ O	总量
CP06-H1	63.20	3.00	7.08	1.48	2.50	7.46	0.53	2.25	0.08	0.39	0.12	11.41	0.04	99.54
CP16-H9	33.96	0.94	11.09	29.49	0.68	1.22	2.56	5.89	0.01	0.63	0.17	13.25	1.87	99.89
CP16-H2	79.80	1.48	4.80	0.94	1.42	3.06	0.77	1.13	0.04	0.29	0.11	5.59	0.04	99.43

注: 由吉林省地质矿产局第五研究所测试, 2003。

表 2 驼路沟矿区硅质钠长岩稀土元素分析结果

Table 2 REE analyses of siliceous albitite from Tuolugou ore district $w_B/10^{-6}$

样品号	Lu	Tm	Yb	Ho	Dy	Er	Nd	Tb	Sm	Pr	Eu	Ce	Gd	La
CP06-H1	0.35	0.57	1.93	0.52	1.34	3.92	21.75	0.8	3.86	8.64	0.91	140	1.36	54.3
CP16-H9	0.35	0.39	1.85	0.32	2.67	5.09	20.41	0.83	2.04	9.35	0.87	103	3.05	70.3
CP16-H2	0.17	0.46	1.09	0.33	1.58	3.91	16.82	0.65	2.41	7.85	0.8	97	3.74	69.2

注: 由吉林省地质矿产局第五研究所测试, 2003。

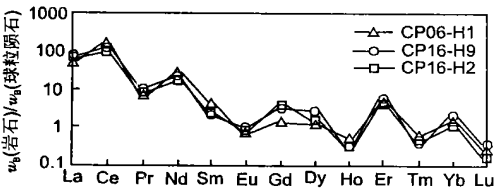


图 4 驼路沟矿区硅质钠长质岩稀土元素分配模式
Fig. 4 REE patterns of siliceous albitite, Tuolugou district

2. 2 矿体特征

驼路沟钴矿体断续分布于东至短沟、西至长征

沟长约 7 km、宽 15~50 m, 呈近 EW 向展布的构造蚀变带中, 与区域构造线方向基本一致, 目前共圈定短沟(2 条)、玉女沟(4 条)、长征沟(8 条)3 个矿段的 14 条矿体。单个钴矿体一般长 400~1000 m, 平均厚度为 2.25~12.78 m, 平均品位 $w(Co) = 0.048\% \sim 0.108\%$, 最高可达 0.474%。

海底喷流沉积成矿之后, 在后期区域动力构造变形作用下, 矿体发生了变形或重就位, 形成了“似层非层, 似脉非脉”的特点, 致使在走向和倾向上均有大的变化; 矿体在横剖面中沿片理有限延伸, 呈包络面分布(图 5)。纵剖面中则表现为明显向 SE 侧伏

的扁担状体,侧伏角 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 。这种构造置换控制了矿体局部变形,部分矿体发生了明显的层内褶曲,有时拉断呈平行侧列展布;构造变形之后,该区又受到 SN 向挤压作用,形成近 SN 向的正断层,切割含矿地质体,且由于差异抬升作用,驼路沟矿区形成了特点相近的几个矿段(图 6)。矿体的这种三维空间定位规律,对矿产勘查,工程布置具有重要意义。

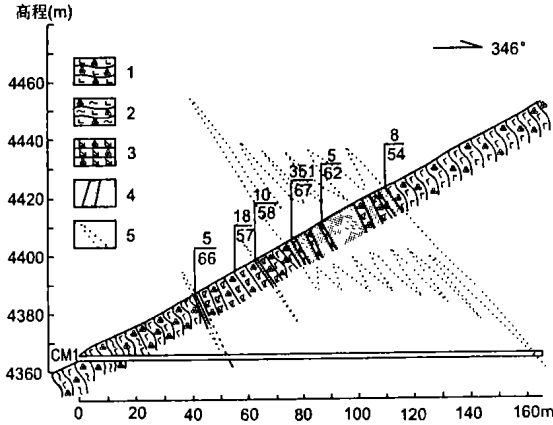


图 5 驼路沟矿区矿体恢复示意图

Fig. 5 Sketch map showing the renewal of ore bodies

1. 绢云母石英片岩 2. 绢云绿泥石英片岩 3. 硅质钠长质岩
4. 钴矿体 5. 推测钴矿体边界

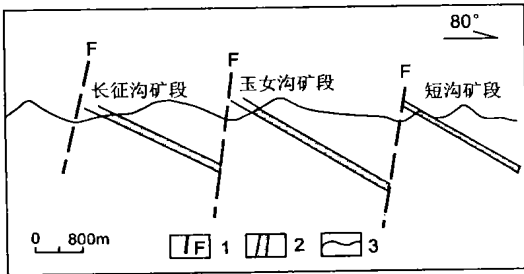


图 6 驼路沟矿区矿体定位及构造改造垂直纵投影示意图

Fig. 6 Vertical projection map showing structural modification and ore body emplacement

1. 断裂 2. 矿体 3. 现代剥蚀面

2.3 矿石特征

通过系统的鉴定分析,矿区内主要矿石矿物有黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、硫钴矿、硫铜钴矿、闪锌矿、毒砂、褐铁矿;脉石矿物有绢云母、石英、钠长石和方解石等。其中矿石矿物粒径一般为 $0.01 \sim 3.0 \text{ mm}$,呈半自形-他形、条带状、星点状、星散浸染状分布于岩石中。矿石结构主要有同生层纹条带结构、胶状结构、球粒结构、自形晶粒结构、半自形-他形粒状结构、自形柱状结构、共边结构和似斑状压碎结构等;构造类型有条带褶曲构造、浸染状构造和

斑杂状构造等。

矿石类型单一,主要为黄铁矿型钴矿石,在矿区内强黄铁矿化的岩石即为矿石。而且黄铁矿至少存在 2 个世代,早期喷流形成的黄铁矿颗粒碎裂呈角砾状,后在应力作用下组分活化又使黄铁矿角砾再胶结或再生长(胶结物、再生长边均为黄铁矿成分),形成胶状黄铁矿。据李厚民等(2001)电子探针分析结果,独立的钴矿物非常少见,其钴主要赋存在黄铁矿中。

3 矿床成因与成矿规律

3.1 矿床成因

国内外含钴矿床最主要形成时代为晚太古代/元古代,其次为海西期、印支期、燕山期。形成环境主要为裂谷或裂陷槽等拉张环境;矿床的形成与海底热水活动及断裂活动有关^[10]。

关于驼路沟钴矿床的成因前人有多种观点。李厚民等^[5]认为该矿床为层控改造型矿床。张德全等^[3]则认为是一种远离喷气口的喷气沉积型矿床。前已叙述的矿床地质特征表明,驼路沟钴矿床是一种独特的、全新的矿床类型。该矿床产于拉张的洋壳环境,形成于早古生代晚期(S_1)。通过对含矿岩系(变火山-沉积碎屑岩)中的赋矿岩石硅质钠长质岩分析研究表明,本矿床的形成主要与海底热水喷流沉积成矿作用有关。此外,依据矿床产出地质特征及矿石组构特征,可显示该矿床明显经历了海底喷流沉积成矿和后期构造变形的改造作用。早期在拉张洋壳环境下发生热水喷流作用,在海底喷流沉积成矿,形成富含钴的矿床。矿床形成之后,在印支-燕山期,本区发生了区域变质和构造变动等地质作用。区域变质作用较弱,岩石仅经受了绿片岩相变质作用,没有大量变质热液形成,因而对本矿区矿床的改造和矿质聚集作用不太明显。但是,构造变动强烈,使矿区内的含矿地质体发生了广泛的构造置换、褶皱变形和断裂动力作用,从而控制着矿区内矿体的展布情况。

综上所述,我们认为驼路沟钴矿床为热水喷流沉积-构造改造型矿床。

3.2 成矿规律

该矿床明显受早志留统火山-沉积碎屑岩控制,矿体主要分布于碎屑岩组的第三岩段中。矿体发生变质变形之后,更晚期近 SN 向脆性断裂构造作用造

成矿区内不同地段差异抬升剥蚀, 显示出几个不同标高的矿段, 一般东盘升起西盘下落, 由于挤压应力方向不完全水平或垂直, 致使该矿区矿体侧伏规律明显, 总体往 SE 侧伏, 侧伏角为 $20^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 。因此该矿区东部还有较大找矿潜力。

4 找矿方向

从驼路沟钴矿床的成矿特征及成矿规律分析, 其找矿工作应从以下几个方面考虑:

(1) 硅质钠长质岩是找矿的一个最明显岩性标志, 矿区大部分矿体均位于硅质钠长质岩与绢云母石英片岩的接触部位, 而且越靠近硅质钠长质岩矿化就越好, 其黄铁矿化强烈的就是矿石。

(2) 地表褐黄色黄钾铁钒蚀变带, 往往指示钴矿化强的地段。

(3) 含矿地质体由于受后期构造变形作用的影响, 均发生了广泛的构造置换, 导致矿体变形或重定位。我们在短沟矿段进行实测地质剖面时, 发现含矿岩石硅质钠长质岩具有沿构造包络面展布的趋势。因此在找矿勘探过程中应注意查明包络面的分布情况。

(4) 根据含矿地质体的三维空间重就位特点, 可知现查明的短沟、玉女沟、长征沟 3 个矿段中矿体在地表上走向长度均不大, 但沿其侧伏方向有大的延伸, 因此在今后的工作中应沿侧伏方向加强深部找矿勘查。另外, 根据后期近 SN 向断裂与矿体空间分布规律, 推测驼路沟以东可能还存在另一个矿段, 今

后工作中应给予注意。

参考文献:

- [1] 段国莲. 论德尔尼黄铁矿型铜钴矿床的成矿规律[J]. 化工矿产地质, 1996, 18 (2): 92-100.
- [2] 潘彤, 孙丰月. 青海东昆仑肯德可克钴-铋金矿床成矿特征及找矿方向[J]. 地质与勘探, 2003, 39 (1): 18-22.
- [3] 张德全, 王彦, 丰成友, 等. 驼路沟喷气沉积型钴(金)矿床的地质-地球化学[J]. 矿床地质, 2002, 12 (3): 213-222.
- [4] 匡俊, 孙丰月, 陈国华, 等. 青海肯德可克钴-铋金矿床地质特征及矿床成因初探[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2003, 33(增刊): 47-52.
- [5] 李厚民, 沈远超, 胡正国, 等. 青海东昆仑驼路沟钴(金)矿床地质特征及成因初探[J]. 地质与勘探, 2001, 37 (1): 60-64.
- [6] 匡俊. 东昆仑成矿带钴矿床特征及形成作用探讨[D]. 长春: 吉林大学, 2002.
- [7] Adachi M., Yamamoto K., Sujgisk R. Hydrothermal chert and associated siliceous rocks from the Northern Pacific: Their geological significance as indication of ocean ridge activity[J]. Sedimentary Geology, 1986, 47(1/2): 125-148.
- [8] Bostrom K., Kranem T., Gartner S. Provenance and accumulation rates of opaline silica, Al, Fe, Mn, Ni, and Co in pacific pelagic sediment[J]. Chemical Geology, 1973, 11(1/2): 123-148.
- [9] Yamamoto K. Geochemical characteristics and depositional environments of cherts and associated rocks in the Franciscan and Shimanto terranes[J]. Sedimentary Geology, 1987, 52: 65-108.
- [10] 裴荣富. 中国矿床模式[M]. 北京: 地质出版社, 1995. 1-357.
- [11] 王力, 孙丰月, 陈国华, 等. 青海东昆仑肯德可克金-有色金属矿床矿物特征研究[J]. 世界地质, 2003, 22(1): 50-56.
- [12] Sangster D F. The role of dense brines in the formation of vent distal sedimentary-exhalative lead-zinc deposits: field and laboratory evidence[J]. Mineralium Deposit, 2002, 37(2): 149-157.

STUDY ON THE GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF TUOLUGOU Co DEPOSIT AND ORE PROSPECTING, QINGHAI PROVINCE

ZHU Hua-ping, SUN Feng-yue, LI Bi-le, CHEN Guo-hua, CHI Xiao-guo

(College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China)

Abstract: Tuolugou Co deposit is a newly discovered independent Co deposit in the southern margin of Eastern Kunlun orogen. Based on analyzing ore geology and geochemistry characters, the formation of Co deposit mainly related to hot water sedimentation. After the deposits were formed, during the process of collision orogenesis in late stage, owing to south-north oriented compression result, the deposit underwent intensively deformation and reform. As a result, ore-bearing rock series were exposed to intensive structural replacement, and ore bodies were characteristic of "stratiform but not

bed, veinlike but not vein". Furthermore, later phase structural activity made the mineralization belt diverse uplift and denudation. It is affirmed that the deposit is a kind of exhalative sedimentary hydrothermal and structural alteration ore deposit. According to metallogenic regularities and ore-controlling condition, the exploring orientation of Co-Au deposits in Tuolugou have been proposed.

Key words: Tuolugou; hydrothermal sedimentary rock; structural replacement; cobalt deposit; Qinghai province

欢迎订阅 2005 年《黄金》杂志

《黄金》杂志于 1980 年创刊,是由中华人民共和国新闻出版总署批准、中国黄金集团公司主管、长春黄金研究院主办的综合性技术刊物,也是黄金行业惟一的综合性科技期刊。主要报道黄金行业及其相关行业在经济管理、黄金市场、工业应用(黄金及贵金属)、黄金地质、采矿工程、机电与自动控制、选矿与冶炼、分析与环保等方面的科研成果,以及新理论、新技术、新动态、新方法、新工艺、新设备、生产技术经验等内容,同时开辟了首饰之苑、企业之窗、信息纵横、读编往来等栏目。为发展和提高黄金生产技术水平服务,为中国黄金科技进步与创新服务,为厂矿企业、广大读者及用户服务。

《黄金》杂志现为全国中文核心期刊、中国科技论文统计源期刊(中国科技核心期刊)、美国《化学文摘》(CA)检索文献源、《中国学术期刊综合评价数据库》来源期刊,已被《中国期刊网》、《中国期刊全文数据库》、《万方数据——数字化期刊群》和《中国核心期刊(遴选)数据库》全文收录,入编《中国学术期刊(光盘版)》。《黄金》杂志荣获冶金系统优秀期刊和吉林省优秀期刊奖。

《黄金》杂志内容翔实,信息量大,实用性强,具有权威性。其发行量大,覆盖面广;现已遍布黄金、冶金、地质矿产、有色金属、核工业、化工、金融等系统及金银珠宝首饰行业。

《黄金》广告树立了企业形象,创出了企业名牌,提高了企业知名度,增加了企业效益,是黄金行业的供求信息指南。广告有彩色版和单色版两种,价格合理,效果突出,效益显著。

《黄金》为月刊,刊号: $\frac{\text{ISSN } 1001-1277}{\text{CN } 22-1110/\text{TF}}$, 彩色封面,64 页,国际开本(297mm×210mm),国内外公开发行。国内邮发代号 12-47,全国各地邮局均可订阅;国外发行代号 M3331,由中国国际图书贸易总公司承办。国内每期定价 10.00 元,全年定价 120.00 元。

需订阅者,可到当地邮局(所)订阅,也可直接通过《黄金》杂志社发行部订阅。我部长年办理零订、邮购业务(在《黄金》杂志社发行部订阅者,若发生邮寄丢失,我部负责及时补寄)。

地址:吉林省长春市南湖大路 6760 号 《黄金》杂志社发行部 邮编:130012

电话:0431-5529838 0431-5514586 转 3066 传真:0431-5521861

网址: <http://www.ccgi.com/gold> E-mail: journal@ccgi.com