

内蒙古白乃庙铜矿成因研究

李进文¹, 赵士宝², 黄光杰², 马 润³

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037; 2. 内蒙古自治区地质矿产勘查开发局, 呼和浩特 010020;

3. 内蒙古自治区地质调查院, 呼和浩特 010020)

[摘 要] 白乃庙铜矿赋存于中浅变质的中元古界白乃庙组基性-中酸性海相火山岩系中。矿床地质特征和同位素地球化学以及成矿流体研究表明, 该矿床曾经历与海相火山喷发相伴的金属矿化和斑岩矿化两个矿化期。早期矿化发生于中元古代晚期, 形成含铜矿源层; 晚期矿化发生于志留纪, 使矿床最终形成。该矿床应属多因复成的层控型矿床。

[关键词] 矿床成因 白乃庙铜矿 内蒙古

[中图分类号] P618.41 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2007)05-0001-05

白乃庙铜矿位于内蒙古中部的四子王旗东北部, 为一伴/共生钼、金、硫等元素的大型铜矿床, 成矿区划属华北板块北缘金属成矿带。由于其成因复杂, 曾有众多地质工作者对该矿床进行了广泛而深入的研究, 但对其成因认识却不一而同, 概有: 海相火山沉积(变质)-热液叠加(富集)复成因矿床^①; 与中酸性浅成侵入岩有关的斑岩型铜矿床(孟良义等, 1992; 鲁守柱等, 1992); 海相火山成因铜多金属矿床(聂凤军等, 1993); 北矿带属斑岩型矿床, 南矿带属海相火山岩型矿床(施林道, 1994)。笔者曾参加白乃庙铜矿深部普查及详查工作, 对其矿床特征及成因等进行了长期研究, 认为该矿床具有典型的热液成矿特征, 而且赋存于特定层位, 沉积成矿特点明显, 应为海相火山沉积-热液叠加改造形成。

1 矿区地质概况

白乃庙铜矿处于华北板块北缘新元古代褶皱增生带, 该地区曾经历陆壳裂解、洋壳扩张、陆壳增生、板内构造活动等构造演化阶段(陈琦等, 1992; 聂凤军等, 1993), 构造-岩浆活动强烈。

区内出露地层主要有中元古界白银都西群和白乃庙组、中志留统徐尼乌苏组、下二叠统三面井组以及上侏罗统大青山组等。其中以白乃庙组地层分布

最广, 也是白乃庙铜矿的容矿地层。白乃庙组由一套中浅变质的绿片岩、长英片岩组成, 共划分为五个岩性段, 在矿区呈近 EW 向分布(图1)。第一、三、五岩段以绿片岩为主; 第二、四岩段以长英片岩为主, 局部夹薄层含铁石英岩。白乃庙组原岩为海底喷发的基性-中酸性火山熔岩、凝灰岩夹正常沉积的碎屑岩和碳酸盐。

岩浆岩主要为石英闪长岩、花岗闪长斑岩及白云母花岗岩。其中, 花岗闪长斑岩呈 NWW~近 EW 向分布于矿区中部和北部, 为加里东晚期沿白乃庙组绿片岩层间断裂侵入形成, 空间上与北矿带关系极密切。在南矿带 VI、VII 矿段的深部亦见有与矿化关系密切的花岗闪长斑岩岩枝。

矿区构造总体上表现为走向近 EW、倾向 S 的单斜构造。断裂构造发育, 以东西向断裂构造最为重要, 曾经历多次活动, 对与成矿有关的中酸性岩浆侵入活动和成矿有着重要的控制作用; NE 向构造以断裂为主, 对矿体主要起破坏作用, 而部分断裂(带)中具石英脉型或蚀变岩型金矿化(图1)。

2 矿床地质特征

白乃庙铜矿总体上呈带状近 EW 向展布, 根据矿体产出部位和围岩特征不同, 矿床分为南、北两个

[收稿日期] 2007-03-09; [修订日期] 2007-06-18。

[基金项目] 内蒙古地质勘查重大科研项目(编号: 内地研 2004-07)资助。

① 韩杰. 内蒙古自治区四子王旗白乃庙铜矿床地质特征及成矿规律研究. 1987。

[第一作者简介] 李进文(1964年—), 男, 2004年毕业于中国地质科学院研究生部, 获博士学位, 副研究员, 现主要从事矿床学和矿产勘查学研究工作。

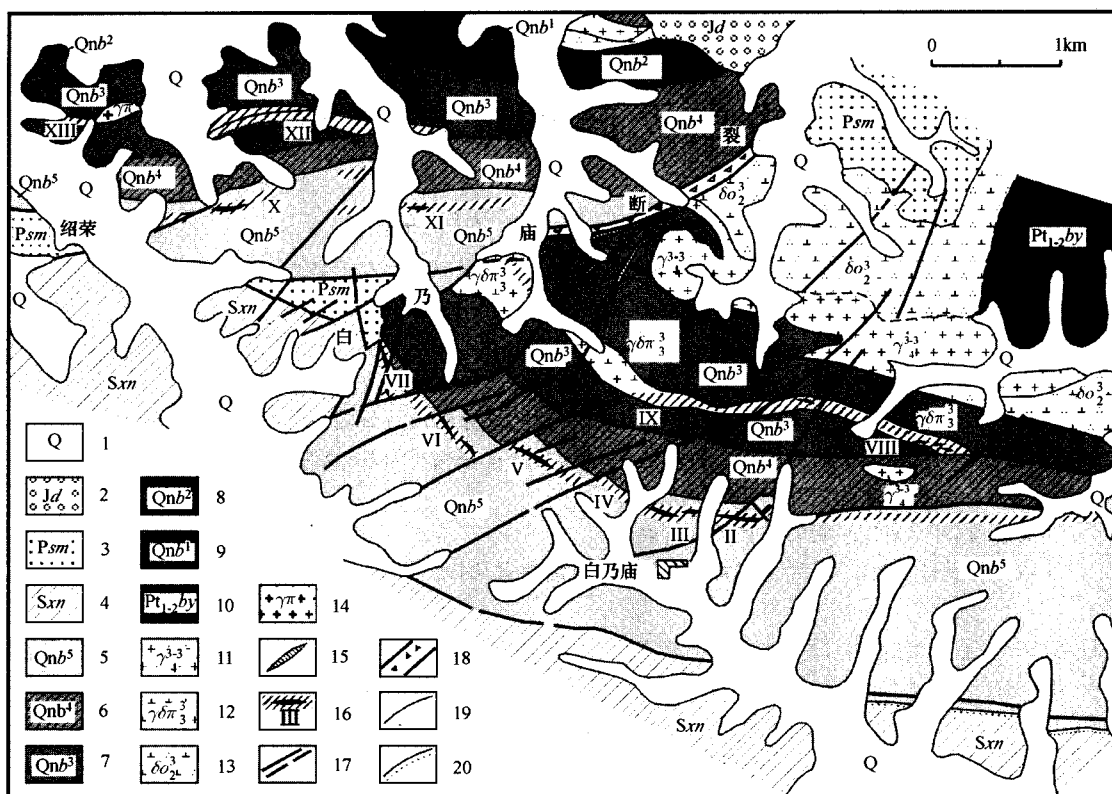


图 1 白乃庙铜矿地质构造略图

1—第四系;2—上侏罗统大青山组;3—下二叠统三面井组;4—中志留统徐尼乌苏组;5—白乃庙组第五岩段;6—白乃庙组第四岩段;7—白乃庙组第三岩段;8—白乃庙组第二岩段;9—白乃庙组第一岩段;10—中元古界白银都西群;11—海西晚期白云母花岗岩;12—加里东晚期花岗闪长斑岩;13—新元古代石英闪长岩;14—花岗斑岩脉;15—石英脉;16—矿化带、矿体及矿段编号;17—实测及性质不明断层;18—白乃庙断裂带;19—地质界线;20—不整合界线

矿带,共 12 个矿段(图 1),铜、钼矿体 700 余个。南矿带产于白乃庙组第五岩段绿片岩中,由 II、III、IV、V、VI、VII、X、XI 共 8 个矿段组成,矿体呈似层状、透镜状等;北矿带产于第三岩段,包括 VIII、IX、XII、XIII 4 个矿段,围岩主要为变质花岗闪长斑岩,矿体形态特征与南矿带类似。矿体产状基本与围岩片理一致,大多矿段的矿体走向为近 EW ~ NW,倾向 S ~ SW,倾角 30° ~ 83°,变化较大。受成矿后 NE 向白乃庙断裂构造的影响,矿体产状由东向西发生一定的变化,其中 VII 矿段矿体产状变化显著,走向近 SN,倾向 W。矿体长度大者超过千米,最厚达 40 余米;小者长仅数十米,厚几十厘米。

矿石类型主要为绿片岩型矿石和花岗闪长斑岩型矿石。绿片岩型矿石构造主要为条带状、浸染状、脉状构造等,矿石结构主要为晶粒状结构、交代溶蚀结构、压碎结构、揉皱结构、乳滴状结构等。花岗闪长斑岩型矿石构造主要为浸染状、细脉浸染状、团块状、脉状及片状构造,矿石结构为自形 ~ 它形粒状结

构、包含结构、交代结构、压碎结构等。两种类型矿石的组分特征基本相同。矿石矿物主要为孔雀石、斑铜矿、褐铁矿、黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、磁铁矿等,脉石矿物主要有石英、方解石、黑云母、钾长石、绢云母、白云母、绿帘石、绿泥石、石膏等。

该矿床以铜为主,伴生钼、金、银、硫等元素,其中钼亦圈出若干个独立矿体。主要成矿元素铜、钼关系密切,呈正相关关系,常常相伴形成铜钼矿体。南矿带均为绿片岩型矿石,铜矿化好于北矿带,主要伴生金,伴生钼品位低;北矿带以花岗闪长斑岩型矿石为主,伴生钼品位高,单独钼矿体也多于南矿带,伴生金品位低于南矿带。化学分析结果表明,铜矿化沿矿体走向分布一般较均匀,而沿厚度方向则常常表现为顶底部偏富而中间稍贫的“沉积韵律”特征。

矿床围岩蚀变普遍,蚀变类型主要有石英 - 钾长石化、黑云母化、绢云母化、绿帘石化、绿泥石化、碳酸盐化、泥化等。其中,南矿带以黑云母化、硅化

为主,黑云母化尤为广泛;北矿带则以石英-钾长石化、石英-绢云母化为主。围岩蚀变在空间上具有一定的分带性,以北矿带表现更为明显。

3 成矿物质地球化学

3.1 铅硫同位素地球化学

同位素测试数据表明,矿石中方铅矿和黄铁矿的铅同位素组成变化范围小, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=17.854\sim 18.882$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.519\sim 15.794$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=$

$38.155\sim 39.063$ (表 1)。花岗闪长斑岩中的钾长石以及白乃庙组地层中的黄铁矿和全岩的铅同位素组成与之相近(表 1),而且在 $\Delta\gamma-\Delta\beta$ 铅源判别图解上($\Delta\gamma$ 和 $\Delta\beta$ 计算详见万天丰,1993),所有投点均落于 b 区(图 2),即矿石铅以及花岗闪长斑岩和白乃庙组火山岩中的铅均源于壳幔混合区,同时也暗示白乃庙铜矿成矿物质可能来源于花岗闪长斑岩和白乃庙组火山岩。

表 1 白乃庙铜矿铅同位素与铅源类别

采样位置	样品编号	岩(矿)石类型	矿 物	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	Δβ	Δγ	铅源类别		
南矿带	ZK1003	绿片岩型矿石	方铅矿	18.236	15.576	38.128	16.0	17.6	b		
	Nb-04		方铅矿	18.225	15.569	37.934	15.6	12.4	b		
	BNM05		方铅矿	17.929	15.496	37.893	10.8	11.3	b		
	BNM06		方铅矿	18.086	15.528	37.943	12.9	12.6	b		
	BNM07		黄铁矿	18.093	15.535	37.892	13.4	11.3	b		
	BNM08		黄铁矿	18.179	15.535	37.929	13.4	12.2	b		
	BNM09		黄铁矿	18.171	15.551	37.993	14.4	14.0	b		
	BNM10		黄铁矿	18.321	15.579	38.157	16.2	18.3	b		
	北矿带		Nb-01	花岗闪长斑岩型矿石	方铅矿	18.136	15.482	37.846	9.9	10.0	b
			Nb-03		方铅矿	18.129	15.505	37.882	11.4	11.0	b
BNM11		方铅矿	18.271		15.507	38.007	11.5	14.3	b		
BNM12		方铅矿	18.399		15.539	38.257	13.6	21.0	b		
BNM13		黄铁矿	18.479		15.556	38.257	14.7	21.0	b		
BNM14		黄铁矿	18.486		15.581	38.343	16.4	23.3	b		
4295		花岗闪长	斑岩		钾长石	17.807	15.566	37.943	15.4	12.6	
白乃庙组		BNM8801	辉绿岩		黄铁矿	18.223	15.554	37.813	14.6	9.2	b
	BNM8808	枕状熔岩	全岩	18.127	15.523	37.874	12.6	10.8	b		
	BNM8810	玄武岩	全岩	18.167	15.547	37.843	14.2	10.0	b		

注:编号 BNM 的样品据聂凤军等,1994;样品 4295 据鲁守柱等,1992;本文样品由长春地质学院同位素室测定。

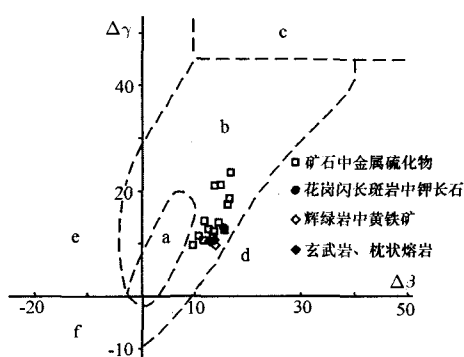


图 2 铅同位素 $\Delta\gamma-\Delta\beta$ 图解

a—幔源铅;b—幔壳混合铅;c—上地壳铅;d—化学沉积与页岩型铅;e—角闪岩相下地壳型铅;f—麻粒岩相下地壳型铅

矿石中黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、方铅矿和闪锌矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值一般为 $-5.3\text{‰}\sim +1.9\text{‰}$ (表 2),均值 -2.7‰ ,总体变化范围较窄,并具明显的塔式分布特征(图 3),显示为火山沉积成因硫受后期热作用

的改造特征(施林道,1994)。其中,以黄铁矿和黄铜矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围较大,分别为 $-4.7\text{‰}\sim +1.9\text{‰}$ 和 $-5.3\text{‰}\sim -0.8\text{‰}$,表明两者的形成环境较宽广。南矿带和北矿带金属硫化物的硫同位素组成相似, $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围分别为 $-5.3\text{‰}\sim +1.9\text{‰}$ (均值 -3.7‰)和 $-4.6\text{‰}\sim -0.5\text{‰}$ (均值 -4.1‰),说明其硫源相同。

表 2 白乃庙铜矿金属硫化物硫同位素组成

矿物	样品数	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$	$\delta^{34}\text{S}/\text{‰}$ 平均值
黄铁矿	43	$+1.9\sim -4.7$	-2.23
黄铜矿	10	$-0.8\sim -5.3$	-3.44
辉钼矿	3	$-2.2\sim -4.0$	-3.3
方铅矿	3	$-2.7\sim -4.3$	-3.73
闪锌矿	3	$-1.2\sim -3.8$	-2.65

注:由桂林冶金地质研究所测定。

3.2 成矿流体特征

矿化与硅化关系密切,因此矿石中石英氢、氧同

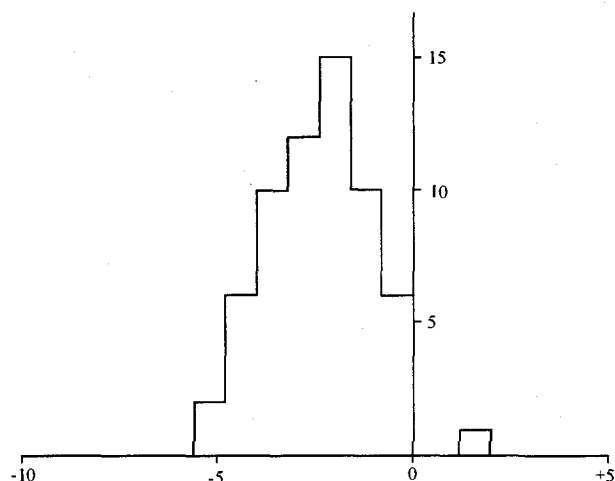


图3 金属硫化物硫同位素组成直方图

位素组成基本可代表成矿流体的氢、氧同位素组成。研究表明(聂凤军等,1993),矿石中石英 $\delta^{18}\text{O}$ 为 $9.04\text{‰} \sim 10.95\text{‰}$,与石英呈平衡的成矿热液的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$ 值为 $1.51\text{‰} \sim 3.41\text{‰}$ 。石英流体包裹体的 $\delta\text{D}_{\text{水}}$ 值为 $-117.70\text{‰} \sim -90.93\text{‰}$,变化范围小,但明显偏低。推测成矿流体源于岩浆水,为一种以岩浆水为主,并有地下水参与的混合流体。南、北矿带矿石中的石英氧同位素组成分别为 $\delta^{18}\text{O} = 9.05\text{‰} \sim 10.95\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = 9.04\text{‰} \sim 10.04\text{‰}$,可见两矿带的成矿流体相同或相似。

4 矿床成因

白乃庙铜矿产于白乃庙组特定的层位中,矿石组构、铜矿化分布和黄铜矿、黄铁矿的硫同位素组成显示,该矿床曾经历海底沉积成矿作用。野外调查和室内研究表明,白乃庙组为一套岛弧火山(—沉积)岩系(周和平等,1992),呈近 EW 向带状仅分布于白乃庙—谷那乌苏一带,其绿片岩中的锆石 U—Pb 谐和年龄为 1130 Ma (仇甘霖等,1992),为中元古代晚期。该组地层普遍含铜,第三、五基性岩段铜丰度高于酸性岩段,第三岩段铜含量为 110×10^{-6} ,第五岩段为 144×10^{-6} ,后者是前者的 1.31 倍,且同岩段内铜亦呈一定规律分布。据此推断,中元古代晚期,白乃庙—谷那乌苏地区位于华北板块北部的大洋岛弧区,该区在 NS 向拉张构造体制下发生近 EW 向线性海相火山喷发活动形成了白乃庙组火山—沉积岩系,与之相伴金属成矿作用在一定范围内形成了星散状、条带状、条纹状含铜贫矿石,成为后期热液叠加改造成矿的矿源层。该期成矿受特定的火山喷发旋回控制。第二、四酸性岩段所夹的含

铁石英岩即为火山喷发旋回间歇期海底沉积形成。

矿床与加里东期花岗闪长斑岩有着密切的空间关系,而且矿化特征、围岩蚀变及分带以及铅硫同位素组成和成矿流体特征均表明,白乃庙铜矿的形成与花岗闪长斑岩有着密切的成因联系。该岩体 Sm—Nd 同位素等时线年龄为 $440 \pm 40 \text{ Ma}$ (聂凤军等,1995),为志留纪。白乃庙组 K—Ar 同位素年龄为 $434, 458, 581 \text{ Ma}$, Rb—Sr 同位素年龄 427.24 Ma ①。由于岩石遭受变质作用时,岩石或矿物中的 K—Ar 同位素体系和 Rb—Sr 同位素体系会发生不同程度的破坏,其年龄仅能代表成岩期后热事件发生的时间。因此, $427 \sim 581 \text{ Ma}$ 很可能是白乃庙组发生变质变形的时间。由此也得出,矿区花岗闪长斑岩形成于蒙古洋板块向华北板块强烈俯冲期。可见,志留纪时的白乃庙地区有着与南美安第斯斑岩成矿带相似的成矿环境。经化学分析,花岗闪长斑岩铜含量 236.3×10^{-6} 、钼含量 10.32×10^{-6} ,分别高出同类岩石维诺格拉多夫值(1962)11 和 9 倍,表明岩浆本身携带了大量的成矿元素。岩体内具有广泛的细脉浸染状和团块状等矿化以及在外接触带绿片岩中出现晚期黄铜矿脉切穿早期顺层黄铜矿脉、含黄铜矿石英脉充填于岩层挠曲部位的裂隙中等现象,也证实了斑岩成矿作用的叠加。因此,志留纪斑岩成矿作用的叠加最终形成了白乃庙铜矿。由于斑岩矿化期的北矿带大部分处于岩体之内接触带,南矿带为外接触带,所以北矿带高温成矿元素钼的含量高于南矿带,低温成矿元素金的含量低于南矿带。而南矿带铜矿化好于北矿带可能主要与原始矿源层中的铜含量有关。

5 结论

白乃庙铜矿曾经历与海相火山喷发相伴的金属矿化和斑岩矿化两期成矿作用,早期矿化发生于中元古代晚期,晚期斑岩叠加成矿作用发生于志留纪。矿床赋存于白乃庙组特定层位,应属多因复成的层控型矿床。

[参考文献]

- [1] 孟良义,李德伦,鲁守柱. 白乃庙铜矿成矿模式[J]. 长春地质学院学报,1992,22:99—106.
- [2] 鲁守柱,孟良义. 从稳定同位素组成讨论白乃庙铜矿床成因[J]. 长春地质学院学报,1992,22:107—110.
- [3] 聂凤军,裴荣富,吴良士,等. 内蒙古白乃庙地区岩浆活动与金属成矿作用[M]. 北京:北京科学技术出版社,1993. 1—239.
- [4] 聂凤军,裴荣富,吴良士. 内蒙古白乃庙地区绿片岩和花岗闪长斑岩的钨和铍同位素研究[J]. 地球学报,1995,(1):36—

- 44.
- [5] 陈琦,仇甘霖,杜玉申,等. 白乃庙-温都尔庙区域构造及华北北缘古板块构造演化[J]. 长春地质学院学报,1992,22:119-129.
- [6] 万天丰. 中国东部中生代板内变形、构造应力场及其应用[M]. 北京:地质出版社,1993.
- [7] 施林道. 华北陆块北缘及其北邻褶皱区有色金属矿床的区域成矿规律[M]. 见芮宗瑶,施林道,方如恒. 华北陆块北缘及其邻区有色金属矿床地质[J]. 北京:地质出版社,1994. 489-553.
- [8] 周和平,聂凤军,薛林福,等. 银都西群、白乃庙群和白银都西-白乃庙地体[J]. 长春地质学院学报,1992,22:17-29.
- [9] 仇甘霖,杜玉申. 对白乃庙群的再认识. 长春地质学院学报,1992,22:1-10.

ORIGIN OF BAINAIMIAO COPPER DEPOSIT, INNER MONGOLIA

LI Jin-wen¹, ZHAO Shi-bao², HUANG Guang-jie², MA Run³

(1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

2. Inner Mongolia Bureau of Geological and Mineral Prospecting & Exploration, Hohhot 010020;

3. Inner Mongolia Institute of Geological Survey, Hohhot 010020)

Abstract: Bainaimiao Cu deposit is located in the Neo-Proterozoic accretion belt of the northern margin of North China platform. Ore deposit characters, Pb-S-O-H isotopic geochemistry, and ore-forming fluids show that Bainaimiao Cu deposit went through VMS porphyry mineralization. VMS mineralization, occurred in the middle Proterozoic era, formed cupriferous source bed. Porphyry mineralization, occurred in the Silurian Period, finally formed ore bodies. Bainaimiao Cu deposit should be attributed to stratabound ore deposit.

Key words: origin, Cu deposit, Bainaimiao, Inner Mongolia

欢迎订阅 2008 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黄金行业惟一的综合性科技刊物。主要报道黄金及其相关行业在经济管理、黄金市场、(黄金及贵金属)工业应用、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和综合评述,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,同时还开辟了首饰之苑、企业之窗、信息纵横、专利技术、读编往来等栏目。

《黄金》杂志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》统计刊源,并被《中国期刊网》、《中国期刊全文数据库》、《中文科技期刊数据库》、《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》杂志荣获冶金工业系统优秀期刊奖和吉林省优秀期刊奖。

《黄金》杂志是黄金行业权威性科技期刊,内容翔实,信息量大,实用性强,覆盖面广,现已遍布黄金、冶金、地质矿产、有色金属、环境保护、化工、机械、核工业、金融及金银珠宝首饰等行业。

《黄金》广告合理的价格定位,全方位的优质服务,为客户提供了理想的宣传平台。通过《黄金》广告宣传,有助于树立企业形象,创出企业名牌,提高企业知名度,促进产品销售,增加企业效益。

《黄金》杂志为月刊,国际标准刊号 ISSN 1001-1277,国内统一刊号 CN 22-1110/TF,国际刊名代码 CODEN HANGFV,彩色封面,国际开本(297mm×210mm),64页,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。订阅者请到当地邮局(所)订阅,也可直接通过《黄金》杂志社发行部订阅。

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

网址: <http://www.ccgr.com/gold>

电子信箱: journal@ccgr.com

电话: (0431) 85529838 - 8002 85514586 - 3066

传真: (0431) 85521861

联系人:李跃辉