

西范坪斑岩铜矿的次生富集作用研究

王 奖 臻^{1,2}, 陆 彦², 李 泽 琴², 孙 燕², 罗 丽², 姚 祖 德³, 赵 支 刚³

(1. 中国科学院 地球化学研究所矿床地球化学开放实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 成都理工学院, 四川 成都 610059; 3. 四川省地矿厅 攀西地质大队, 四川 西昌 615000)

摘 要: 通过对 3 000 余米岩芯的观察研究, 发现西范坪斑岩铜矿床存在完整的氧化带, 氧化剖面由上向下可以分为氧化带、次生富集带和原生带。原生矿石的裂隙越发育、原生矿化强度越大, 则其次生富集作用越发育。应用质量平衡方法计算了氧化过程中铜的迁移规律, 提出在次生富集作用中铜除了发生垂向(由上向下)迁移外, 也存在侧向迁移(带入或带出)。在矿床中部, 由于铜的垂向富集和侧向带入而形成富矿石和厚大矿体, 因此次生富集对西范坪斑岩铜矿床富矿体的形成起到了重要的作用。

关键词: 西范坪铜矿; 斑岩型矿床; 次生富集作用; 四川省

中图分类号: P611; P618.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-1412(2001)04-0232-06

众所周知, 硫化物矿床次生富集作用可以成倍提高原生矿石的品位, 从而大大提高其经济价值^[1]。虽然斑岩铜矿床规模较大, 但其品位却较低, 因此次生富集作用对于提高斑岩铜矿床的经济价值具有十分重要的意义, 世界上许多著名斑岩铜矿床都是以次生富集带为主要开采对象就说明了这一点^[2]。另外次生富集作用也改变了矿床中铜的品位分布特征。因此加强对斑岩铜矿床次生富集作用的研究不仅具有重要的理论意义, 而且对于矿床的勘探和评价也有重要的指导意义。

体的围岩为下三叠统青天堡组砂、泥岩。与矿化有关的岩体主要有 80 号、88 号以及 58 号岩体, 但是工业矿体仅见于 80 号岩石体的中心部位(图 1)。矿石为

1 研究区地质概况

西范坪铜矿是我国近年来新发现的斑岩型铜矿床。它位于四川省盐源县桃子乡境内(东经 100°57'~101°00', 北纬 27°23'~27°27'), 矿区海拔高度为 2 800~3 200 m, 属中低山区。区内气候温和, 降水丰沛, 林木茂盛, 植被发育。这些为矿床次生富集作用的发育提供了良好的气候和地形条件。迄今在矿区范围内已发现 100 多个小型中酸性斑岩体。这些岩

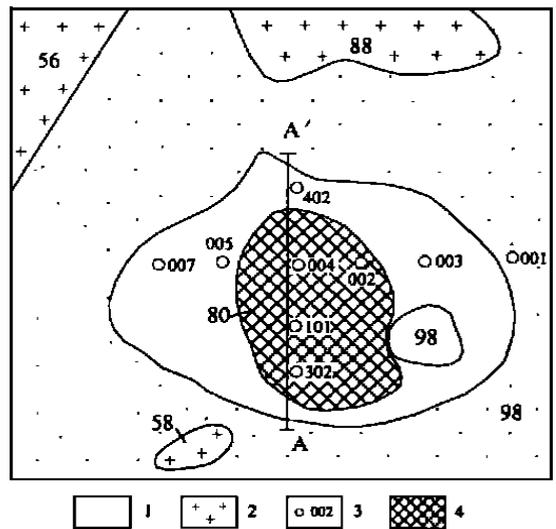


图 1 西范坪铜矿床地质简图
Fig. 1 Geological sketch map of Xifanping copper deposit
1. 青天堡组 2. 岩体及编号 3. 钻孔及编号 4. 矿体

收稿日期: 2001-06-11; 修订日期: 2001-10-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 40172039)资助。

作者简介: 王奖臻(1959-), 男, 河北灵寿人, 副教授, 博士学位, 1988年获博士, 同年进入中国科学院贵阳地球化学研究所博士后流动站, 主要从事矿床学研究。

含铜黑云角闪石英二长斑岩。矿石的金属硫化物主要为黄铁矿、黄铜矿、辉铜矿、斑铜矿、蓝辉铜矿、铜蓝和磁黄铁矿,其次有辉钼矿、闪锌矿、方铅矿。其他的含铜矿物有蓝铜矿、孔雀石、硅孔雀石等;脉石矿物主要有酸性斜长石、钾长石、石英、黑云母以及角闪石等。矿石具有细脉、浸染状和细脉状构造,局部有(隐爆)角砾状构造。

2 氧化剖面的建立

通过对近 3 000 m 岩芯的详细观察,依据铁、铜硫化物种类的变化、矿物的交代关系、矿石结构构造以及铜品位分析结果,建立起本矿床氧化带剖面(图 2)。

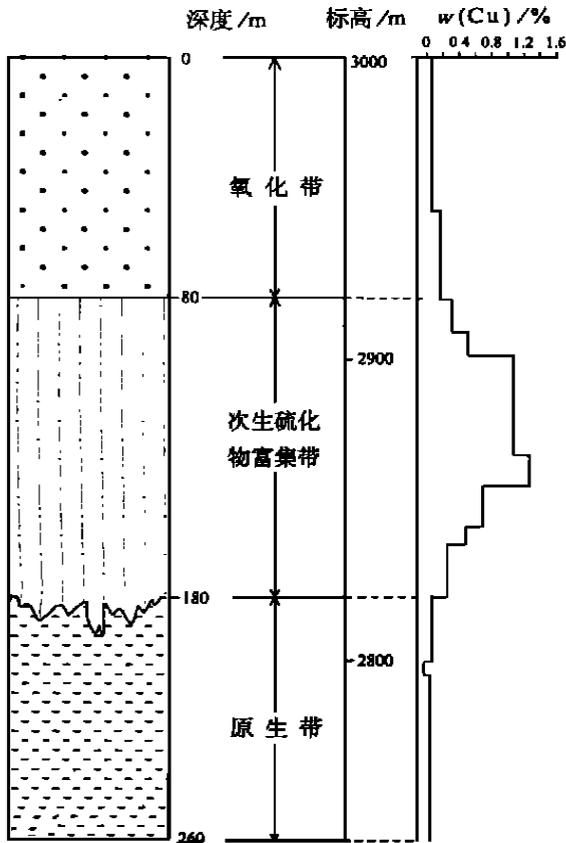


图 2 西范坪铜矿 ZK004 钻孔次生富集带和氧化带剖面

Fig. 2 Profile of secondary enrichment and oxidation of number 004 drill hole in Xifanping copper deposit

2.1 氧化带

一般从 0~30 m,部分钻孔(ZK004)可达 80 m

深。氧化带内的矿物主要为褐铁矿、孔雀石、硅孔雀石以及含铜绿高岭石。矿石呈土状构造、皮壳状构造、多孔状构造。该带铜品位极低,单孔平均品位 $w(\text{Cu}) = 0.02\% \sim 0.06\%$,个别钻孔可达 0.08% ;品位由上到下有增高的趋势(图 2)。这些现象说明在次生氧化过程中,随着原生硫化物的分解,绝大多数的铜进入溶液,向下渗透或侧向迁移而离开氧化带,从而造成氧化带铜的品位大大降低。氧化带底部出现黄铁矿、黄铜矿和辉铜矿,并逐渐过渡到次生硫化物富集带。

2.2 次生硫化物富集带

不同钻孔次生硫化物富集带的厚度变化比较大(图 3),最厚达 100 m,最薄仅 30 余米,一般分布于 2 800 m 标高以上。该带内以出现大量铜的次生硫化物为特征,如烟灰状辉铜矿、蓝辉铜矿、斑铜矿和铜蓝。常见辉铜矿交代黄铜矿、黄铁矿,斑铜矿交代黄铜矿。各种交代结构十分发育,如交代浸蚀结构(图 4b)、交代残留结构、交代反应边结构(图 4a)、交代双重反应边结构(图 4d)和交代假象结构(图 4c)。不同钻孔中该带 $w(\text{Cu})$ 平均品位一般为 $0.4\% \sim 0.8\%$,个别钻孔可达 1.0% 。同一钻孔中铜的品位也是变化的,一般次生富集带中部品位高而两头较低(图 2)。铜品位的变化规律与次生硫化物的多少密切相关,次生硫化物多则铜品位高,反之次生硫化物少则铜品位低(图 2)。

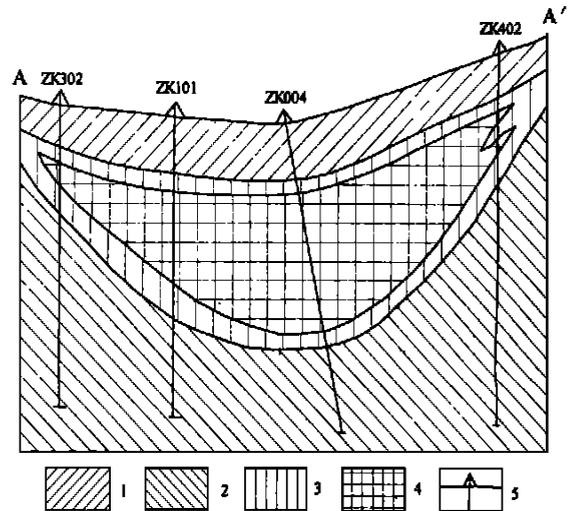


图 3 西范坪铜矿次生富集带和氧化带 A-A'剖面

Fig. 3 Profile of secondary enrichment and oxidation of A-A' in Xifanping copper deposit

1. 氧化带 2. 原生带 3. 次生富集带 4. 工业矿体 5. 钻孔

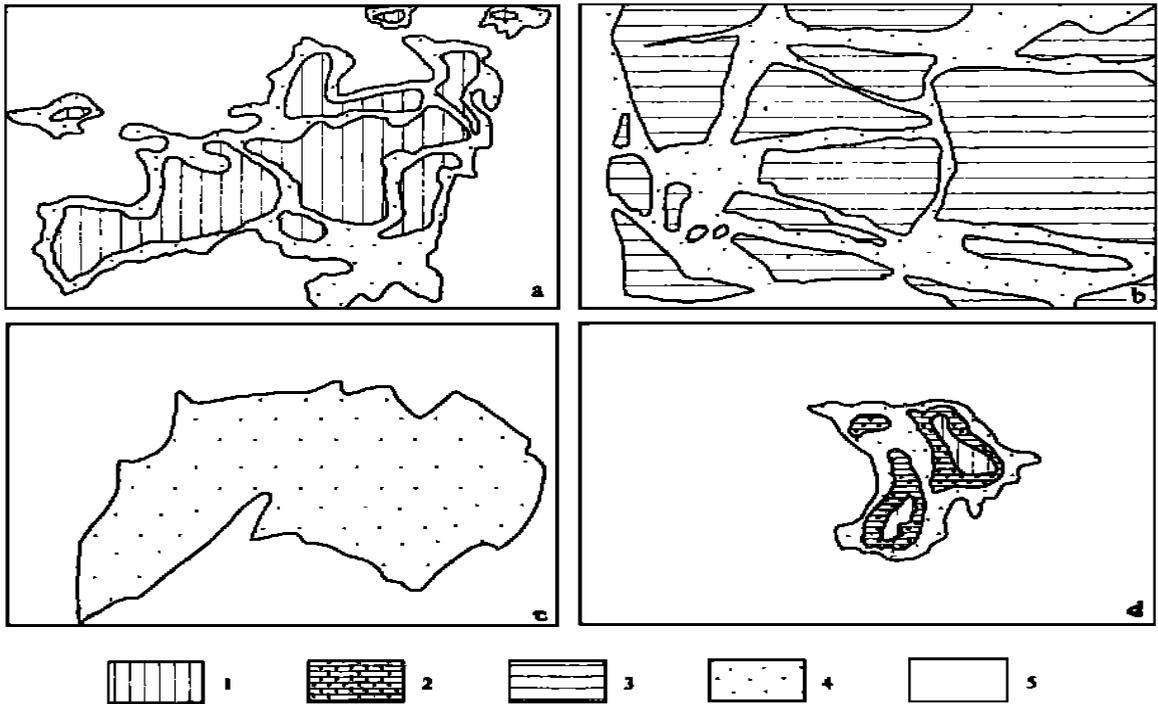


图 4 次生硫化物的交代结构 (据显微照片素描)

Fig. 4 Metasomatic textures in secondary sulfide enrichment zone

a. 次生辉铜矿交代黄铜矿形成反应边结构 ($\times 200$); b. 次生辉铜矿沿裂隙交代黄铜矿形成交代浸蚀结构 ($\times 200$);

c. 次生辉铜矿交代黄铜矿形成交代假象结构 ($\times 200$); d. 次生斑铜矿交代黄铜矿后次生辉铜矿又交代斑铜矿形成双重反应边结构 ($\times 200$).

1. 黄铜矿 2. 斑铜矿 3. 黄铁矿 4. 辉铜矿 5. 脉石矿物

2.3 原生硫化物带

随着次生硫化物的逐渐减少,次生硫化物富集带过渡为原生带。原生带中的主要硫化物为黄铜矿、黄铁矿及辉钼矿。80号岩体不同部位黄铜矿的发育程度和铜品位不同,在靠近岩体中心部位(如 ZK004, ZK101)黄铜矿较多其体积分数一般为 2%~3%,局部可达 3%~5%, $w(\text{Cu})$ 一般为 0.2%~0.3%;而岩体边部黄铜矿较少,其体积分数一般 < 2%, $w(\text{Cu})$ 多在 0.1%左右,或更低。无论哪种情况,矿化有随深度增加而降低的趋势(图 2)。矿石一般为细脉浸染状或细脉状构造。

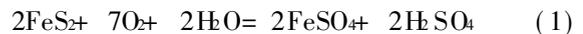
3 次生富集作用机制

当原生矿体暴露在地表以后,在潜水面以上发生氧化作用,大量硫化物分解铜进入溶液并向下渗透,当这些溶液进入潜水面以下则发生还原作用而沉淀出次生硫化物。根据显微镜观察结果以及矿物

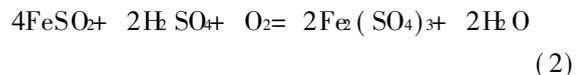
交代关系,对主要硫化物在氧化作用和次生富集作用中的变化讨论如下。

3.1 黄铁矿的变化

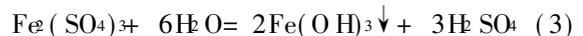
(1)氧化带中的黄铁矿在游离氧的作用下很容易发生分解:



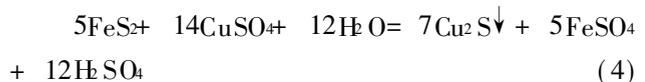
硫酸亚铁很容易发生进一步的氧化:



上述反应形成的硫酸铁很不稳定,进一步水解形成稳定的褐铁矿:

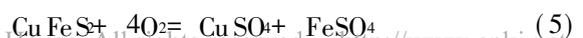


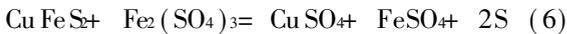
(2)次生硫化物富集带的黄铁矿常见有辉铜矿的被膜,说明黄铁矿被辉铜矿交代:



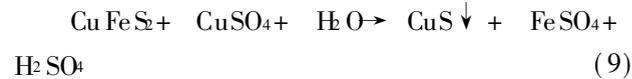
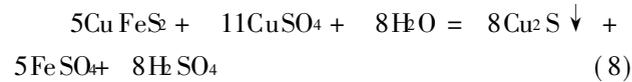
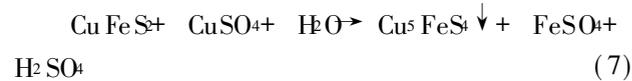
3.2 黄铜矿的变化

(1)氧化带内的黄铜矿已经全部氧化分解:





(2) 上述反应产生的硫酸铜溶液向下渗透到次生硫化物富集带内, 与原生黄铜矿反应而形成品位更高的辉铜矿、铜蓝和斑铜矿等铜的次生硫化物:



4 次生富集作用中侧向叠加矿石量的定量计算

一些研究表明, 在表生作用期间, 氧化带的含铜溶液除了向下渗透外, 还受地形等因素的影响而发生侧向迁移(带进或带出), 因此氧化带中的铜存在着垂直和侧向两个方向的动态平衡。Brimhall 等(1985)推导出了次生富集中铜的质量平衡表达式^[3]:

$$F = [B \cdot b \cdot d + L_T \cdot l \cdot d] - [(B + L_T) p \cdot d] \quad (10)$$

式中: l, b, p 分别表示淋滤带、富集带、原生带铜的平均品位, d, d_b, d_p 分别表示上述各带(岩)矿石密度(g/cm^3); B 为富集带的厚度(m); L_T 为淋滤带(包括已剥蚀部分)的总厚度(m); F 为铜的侧向迁移量(g/cm^3)

根据对西范坪铜矿的钻孔的实际观测结果, 对 A-A' 剖面(图 1)次生富集作用过程中铜的侧向迁移进行了计算(表 1)。

表 1 西范坪铜矿 A-A' 剖面铜的质量平衡计算结果

Table 1 List of copper mass balance of A-A' in Xifanping copper deposit

钻孔	B/m	L_T/m	$w(\text{Cu})\%$			$d/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$			$F_b/\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
			b	L	p	d_b	d_l	d_p	
ZK302	40	90	0.42	0.03	0.02	2.61	2.4	2.58	-16.75
ZK101	80	80	0.54	0.04	0.23	2.61	2.4	2.58	25.49
ZK004	90	100	0.82	0.04	0.25	2.61	2.4	2.58	79.67
ZK402	40	65	0.40	0.02	0.20	2.61	2.4	2.58	-9.30

注: F 为正则表明有铜的侧向带入, F 为负则表明有铜的侧向带出。

由表 1 可以看出, 在氧化作用中, ZK004 和 ZK101 有铜的侧向带入, 因此这两个钻孔次生富集带的厚度大、平均品位高; 相反, ZK302 和 ZK402 有铜的侧向带出, 从而这两个钻孔次生富集带的厚度小, 平均品位也比较低。由此可见表生作用中铜的侧向加入是造成矿床部分地段高品位的主要原因。

5 次生富集发育程度的影响因素

西范坪铜矿床次生富集带的发育程度, 主要受原生矿石的裂隙发育程度、矿化强度以及地形的影响。

5.1 原生矿石的裂隙发育程度越高、矿强度越大, 则次生富集作用越强

ZK004 孔中有大量热液隐爆角砾岩发育, 因此该处矿石的裂隙很发育, 渗透率也很高(表 2), 这样一来, ZK004 孔周围的次生富集带可以更多地接受来自垂向和侧向的含铜地下水, 而发生强烈的表生矿化作用。其次在内生矿化期 ZK004 孔是热液成矿作用的中心^①, 矿化强度大, 形成的原生矿石中黄铜矿的含量也比较高, 因此在表生期, 该处氧化带内产生的含铜地下水比其他地方氧化带内产生的地下水有更多的铜离子, 由此造成该处次生富集带的铜品位比其他地方的高, 并出现富矿石(100~169 m 深度 $w(\text{Cu})$ 平均品位达 1.13%)。

① 成都理工学院. 四川盐源西范坪喜山期斑岩铜(金)矿综合评价研究报告, 1997.

表 2 西范坪铜矿床钻孔岩芯裂隙(脉)
密度 (cm^3/cm^3)测定结果

Table 2 Two dimensional fracture (vein) density
of drill core (after Haynes, 1984)

深度 /m	ZK004	ZK101	ZK302	ZK402
0~ 40	0.26	0.26	0.21	0.22
40~ 80	0.26	0.23	0.20	0.19
80~ 120	0.30	0.24	0.21	0.19
120~ 160	0.29	0.27	0.20	0.17
160~ 200	0.24	0.24	0.14	0.19
200~ 240	0.19	0.15	0.16	0.12
240~ 280	0.18	0.11	0.10	0.09
280~ 300	—	—	—	0.08
钻孔总平均	0.25	0.21	0.17	0.16

注:裂隙(脉)密度按二维空间法^[4]测量,每隔 10 m测定一次,表中每一栏均为 4次测定结果的平均值;裂隙密度的单位为 (cm^3/cm^2)即单位面积中裂隙的长度。

5.2 次生富集带的厚度也与地形有关

因为在表生作用期间,地下水的侧向迁移受地形的影响由地势高的地方向地势低的地方渗透。由图 3可以看出 ZK004的地势比较低,因此接受了更多的侧向含铜溶液(表 1),从而使得该孔次生富集带的厚度增大。相反地形比较高的 ZK402孔不但没有侧向含铜溶液的补给,反而有铜的带出,从而造成次生富集带厚度的减小。

6 小结

西范坪斑岩铜矿床表生氧化作用和次生硫化物富集作用很发育,形成了完整的氧化剖面,自上而下

可以划分为氧化带、次生硫化物富集带和原生硫化物带。氧化带内几乎全部的铜化物都被分解,铜进入溶液而流失,造成该带的铜品位大大降低。而在次生硫化物富集带有大量辉铜矿等更富铜的硫化物形成,而使得该带铜的品位升高。矿床的次生富集作用主要受原生矿石的裂隙发育程度(因而也是渗透率)及原生矿化强度的控制。原生矿的裂隙越发育、矿化强度越大,则次生富集作用越强烈,相反次生富集作用则较弱。此外次生富集也与地形有关,在地势低洼处次生富集带厚度比较大,而在地势陡峭处次生富集带的厚度则比较薄。表生矿化作用,不仅有铜的垂向加富,而且有侧向富集作用,这是造成局部特富矿石和厚大工业矿体的主要原因。

由上述可见,今后本区的找矿工作和勘探工程的部署,除了对原生控矿因素的研究外,还应对表生矿化给予足够的重视。

致谢:野外工作期间得到付德明、田玉福、谢贻谋等同志的大力帮助,在此谨致谢忱!

参考文献:

- [1] 斯米尔诺夫. 硫化矿床氧化带 [M]. 北京:地质出版社, 1956.
- [2] Titley S R, Beane R E. Porphyry copper deposits [J]. *Economic Geology*, 1981, 75th Anniv Vol 214-269.
- [3] Brimhall G H, Alpers C N, Cunningham A B. Analysis of supergene ore-forming processes and Ground-water solute transport using mass balance principles [J]. *Economic Geology*, 1985, 80 1227-1256.
- [4] Haynes F M. Vein densities in drill core, Sierra porphyry copper deposit, Pima County, Arizona [J]. *Economic Geology*, 1984, 79 755-758.

SUPERGENE ENRICHMENT OF XIFANPING PORPHYRY COPPER DEPOSIT, SICHUAN, CHINA

WANG Jiang-zhen^{1,2}, LU Yan², LI Ze-qin², SUN Yan², LUO Li², YAO Zu-de³, ZHAO Zhi-gang³

(1. Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;

2. Chengdu Institute of Technology, Chengdu 610059, China; 3. Panxi Geological Team, Xichang 615000, China)

Abstract Xifanping porphyry copper deposit has been subjected to oxidation and secondary sulfide en-

richment. There is a blankets of chalcocite in the porphyry copper system. The zone of oxidation and secondary sulfide has been recognized by the data from drill holes, such as grade of Cu, minerals assemblage, and texture of ore. The profile of the oxidation and secondary enrichment are leached capping (oxidation zone), enriched zone, and primary sulfides zone. The grade of Cu in leached capping often is 0.02w%. This is much lower than that of the primary sulfides zone, which is usually 0.2 to 0.3w%. But the grade of Cu in the enrichment zone usually is 0.4 to 0.8%. The higher the density of fracture of the ore (permeability), the stronger of the secondary sulfide enrichment in the deposit. It has been proved Brimhalls method that in some holes there are lateral fluxes of Cu from source areas to the blanket of the holes. The thick of the chalcocite blanket of these holes is about 100 meters, much thicker than the blanket of others.

Key words Xifanping Cu mine; porphyry Cu deposit; secondary enrichment; Sichuan

《矿产保护与利用》2002年征订启事

《矿产保护与利用》是在国土资源部矿产开发管理司指导下,由中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所、国家金属矿产资源综合利用工程技术研究中心(北京)、国家非金属矿产资源综合利用工程技术研究中心、国土资源部信息中心和中国选矿科技信息网联办的综合性、技术性科技双月刊。本刊重点报道国家矿产资源保护和开发利用方针、政策;地矿行政管理研究;矿产资源形势及战略分析;非金属矿的富集分离、超细粉碎、改性、深加工产品开发应用研究;金属矿产的选冶工艺、设备、药剂研究;共伴生矿产(特别是含稀贵金属矿)的综合利用;采选尾矿、工业废料等二次资源的再利用;国外矿产开发状况;国内外矿产品信息等。

《矿产保护与利用》为双月刊,逢双月 20 日出版。每年 6 期,每期定价 4.00 元,全年定价 24 元。另有一些 1995~2001 年度合订本,每本(年)25 元(含装订、邮寄费),欢迎选订。本刊为自办发行,订阅者可向编辑部索取定单,或直接从邮局汇款至编辑部,汇款单附言请注明订阅款,并请保留汇款凭证。

编辑部地址:郑州市陇海西路 328 号

邮政编码:450006

联系电话:(0371)8624974-8026,(0371)8614970

欢迎订阅 2002年《化工矿产地质》

《化工矿产地质》杂志是经原国家科委批准、原国家石油和化学工业局主管、化学矿产地质研究院主办、中国化学矿业协会协办的国内外公开发行的学术类科技期刊。

《化工矿产地质》坚持“求深、求新、求实”的办刊方针,开辟矿床地质、基础地质等 10 余个地球资源与环境相关的理论性、实用性及探索性的栏目,并报道相关信息。主要读者对象为从事相关地质及矿产行业的企业、科研、设计单位、管理部门及大专院校师生。刊物曾荣获化工系统优秀情报信息一等奖,连续 3 次被评为“河北省优秀科技期刊”。

《化工矿产地质》为《中国学术期刊综合评价数据库》来源期刊,被全文收录,同时由《中国期刊网》《中国学术期刊(光盘版)》全文收录,并加入“万方数据系统(ChianInfo)科技期刊群”。

《化工矿产地质》为季刊,大 16 开平装胶印,64 页/期,每季末出版。国内统一刊号 CN 13-1190/P,国际刊号 ISSN 1006-5296 定价 5.00 元/期,全年 20.00 元。欲订者请向本刊编辑部函索订单。

刊址:河北省涿州市范阳路 72 号 化学矿产地质研究院

邮码:072754

电话:0312-3682240,传真:0312-3682242