

压覆资源开采经济参数敏感性分析

张伟杰¹, 兰思栋²

(1. 长沙有色冶金设计研究院有限公司; 2. 苍南县鸿基爆破工程有限公司)

摘要:针对压覆矿产资源开采工程量大、程序复杂的特点,以财务评价为基本评价方法,建立了以最大收益为目标作为压覆资源开采经济评价的收益模型,并确定了压覆资源价值、开采成本及搬迁成本基本模型中各参数的基准参数值。以收益模型为基础,进行了模型参数变量扰动的敏感性分析,分析得出铝土矿价格是模型中的最重要的敏感因素,并对其他敏感因素进行了敏感性排序,可为工程评价提供一定的指导。

关键词:压覆资源;收益模型;经济评价;敏感性分析

中图分类号:TD 804

文献标志码:A

文章编号:1001-1277(2014)09-0035-05

doi:10.11792/hj20140908

据统计,中国一次能源的92%,工业原材料的80%,农业生产资料的70%均来自于矿产资源^[1-2]。矿产资源属不可再生资源,在矿产资源开发过程中尽可能地多回收利用资源成为采矿的一个重要准则。压覆矿产资源是指因建设项目实施后导致的矿产资源不能开发利用的情况。压覆资源开采具有工程量大、程序复杂的特点。压覆资源开采的经济评价跟众多经济参数有关,这些经济参数往往十分繁多,且各个参数往往浮动较大,如果缺乏可用的数据分析工具,人们很难理解这些数据,出现了所谓的数据过剩。为了能实现从大量的数据中获取信息,刺激了对强有力的数据分析工具的需求。而敏感性分析法就是现在常用的一种数据分析方法。在工程项目中,参数的轻微变动可引起开采收益的巨大变化,因此,有必要对影响开采收益的各个因素进行敏感性分析,找出敏感因素,对此加以评估,确保数值分析的可靠性。

1 敏感性分析理论

敏感性分析法常用来分析系统的稳定性。假设被分析的系统的特性 P 由几个主导因素 $a = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ 组成,此时,系统特性为 $P = f(a_1, a_2, \dots, a_n)$,当因素固定为一种不变状态,称为基准状态,此时 $a^* = \{a_1^*, a_2^*, \dots, a_n^*\}$,系统表现的特性为 P^* 。敏感性分析的过程如下:主导因素应在其变化范围内取值,将取得的因素值代入特性公式,所得计算值为 P ,该特性值与基准特性 P^* 具有一定变化趋势和函数规律,由此来分析因素变动对特性的影响程度^[3-5]。

特性 P 由参数 a_i 决定,如果只分析 a_i 对特性 P

的影响,可通过固定除 a_i 参数之外的基准参数,使 a_i 在赋值范围内变动,依此分析系统特性,此种方法为单因素分析法。分析的过程为: a_i 在小幅值内变化,可以导致 P 较大的浮动,则 P 对 a_i 很敏感,此时称 a_i 为高敏感参数;相反为低敏感参数。

在分析敏感性时,因素与特性之间的关系通常通过建立系统模型表示,即建立因素与特性的函数关系^[6],或者用数值方法(如有限元模型等)或图表法表示,该系统模型应尽量与实际情况相符,在此基础上才能进行准确的敏感性分析。

系统模型建立后,需给出基准参数集。基准参数集是根据所要讨论的具体问题给出的。本文研究的是经济评价参数的变化对压覆资源开采效益的影响。因此,该系统中各经济参数指标的推荐值可取为基准参数集,基准参数集确定后,就可对各参数进行敏感性分析。

为对不同的参数进行敏感性比较,定义敏感度因子:

$$S(a_i) = \max \left\{ \frac{A^* - A_{a_{i\max}}}{A^*}, \frac{A^* - A_{a_{i\min}}}{A^*} \right\} \quad (1)$$

式中: $S(a_i)$ 为参数 a_i 的敏感度; A^* 为基准参数集; $A_{a_{i\max}}$ 、 $A_{a_{i\min}}$ 分别为单因素在因素 a_i 的变化范围之内的最大值和最小值。

2 压覆资源数值模型

2.1 数值模型参数及经济模型

压覆资源经济参数主要由压覆矿体基本参数、开采及搬迁的成本参数3大部分组成。其中,矿区压覆矿体基本参数包括矿体平均厚度、储量及其级别、压

覆矿体面积和体积、含矿率、品位参数、剥离厚度等^[7]。开采及搬迁的成本参数包括开采综合成本和搬迁综合成本 2 部分。开采综合成本包括运输费用、采选费用、剥离费用、复垦费用及其他固定成本等。搬迁综合成本包括土地征租、建构筑物赔偿、新村地基处理、三通费用、新村基本公共设施建设、搬迁误工费、废墟清理等费用。另外,村庄基本人文信息是通过调查获取的,搬迁各类费用是通过搬迁方案的设计获取,对于运输费用则根据各矿区的开拓系统进行详细统计后获取。

本文以某压覆铝土矿资源露天开采为例进行分析,采用输入变量扰动的静态分析法建立数值模型并进行分析。基本方法是给网络的输入变量添加噪声或扰动,观察加入噪声前后输出变量结果的变化。通常每次给一个输入变量添加噪声或者干扰,而其他变量保持不变^[8]。通过输出量的变化程度分析输入变量对输出量的影响。

通过计算搬迁村庄的开采收益,确定村庄是否搬迁。为建立一套准确的静态模型,该开采经济效益系统模型用压覆资源价值与成本之间的差值表示。即:

$$W = V - C_{am} - C_{ar} \quad (2)$$

式中: W 为压覆资源回采最终收益(万元),当 $W > 0$ 时村庄适合搬迁,当 $W \leq 0$ 时不搬迁村庄; V 为压覆资源价值(万元); C_{am} 为开采总成本(万元); C_{ar} 为搬迁综合成本(万元)。

2.2 压覆资源价值计算模型

压覆资源价值为矿石品位、压覆资源储量、矿石价格三者的函数关系,即:

$$V = \left[(g_{qal} - 0.55) \times 0.0448 + \left(\frac{g_{qal}}{g_{qsi}} - 12 \right) \times 0.001345 + p_b \right] Q_q \quad (3)$$

式中: V 为压覆资源价值(万元); g_{qal} 为合格铝土矿 Al_2O_3 品位(%); g_{qsi} 为合格铝土矿 SiO_2 品位(%); p_b 为合格矿基价(万元/t); Q_q 为压覆合格矿量(t);0.0448 为 Al_2O_3 品位梯度价格参数;0.001345 为铝硅比梯度价格参数。

Q_q 及其 Al_2O_3 和 SiO_2 品位计算如下:

$$Q_q = Q_d(1 - \delta)(1 - \gamma) \quad (4)$$

$$g_{qal} = g_{dal}(1 - \gamma) + \gamma g_{nal} \quad (5)$$

$$g_{qsi} = g_{dsi}(1 - \gamma) + \gamma g_{nsi} \quad (6)$$

式中: Q_d 为回采干矿量(t); δ 为洗矿损失率(%); γ 为洗矿含泥率(%); g_{dal} 为回采干矿 Al_2O_3 品位(%); g_{dsi} 为回采干矿 SiO_2 品位(%); g_{qal} 为合格矿石中 Al_2O_3 品位(%); g_{qsi} 为合格矿石中 SiO_2 品位(%); g_{nal} 为混入的泥中 Al_2O_3 品位(%); g_{nsi} 为混入的泥中 SiO_2 品位(%)。

2.3 矿体开采成本模型

采矿综合成本由环境成本和安全成本构成,压覆资源中的环境成本为地表复垦成本。其中,该类型资源综合成本为:

$$C_{am} = C_t + C_{mb} + C_s + C_{re} + C_{ot} \quad (7)$$

式中: C_t 为运输成本(万元); C_{mb} 为采选成本(万元); C_s 为剥离成本(万元); C_{re} 为复垦成本(万元); C_{ot} 为其他固定成本(万元)。

1) 运输成本。

$$C_t = (d_{ro}p_{ro} + d_{qo}p_{qo})Q_q + Q_d p_{mr} \quad (8)$$

式中: d_{ro} 、 d_{qo} 分别为原矿和合格矿运距(km); p_{ro} 、 p_{qo} 分别为原矿、合格矿运输单价[万元/(t·km)]; p_{mr} 为合格矿石采场公路修建成本(万元/t)。

2) 采选成本。

$$C_{mb} = Q_r p_m + Q_t p_b \quad (9)$$

式中: Q_r 为村庄压覆的原矿量(t); p_m 、 p_b 分别为采选成本(万元/t 原矿)。

3) 剥离成本。

$$C_s = h A_m p_s \quad (10)$$

式中: h 为剥离土层的平均厚度(m); p_s 为剥离土层的单价(万元/ m^3); A_m 为压覆资源水平剖面面积(m^2)。

2.4 搬迁成本模型

当地生产水平和地表建筑物量是决定搬迁成本的主要因素,搬迁综合成本可用式(11)计算。

$$C_{ar} = C_{lc} + C_{vr} + C_{fd} + C_{fdl} + C_{nfb} + C_{cf} \quad (11)$$

式中: C_{ar} 为搬迁综合成本(万元); C_{lc} 为地表征地成本(万元); C_{vr} 为地表建筑物补偿费(万元); C_{fd} 为处理搬迁房屋地基费用(万元); C_{fdl} 为水电路三通费用(万元); C_{nfb} 为新宅基地基建费(万元); C_{cf} 为其他公共设施补偿费用(万元)。

1) 地表建筑物补偿费。

$$C_{vr} = \frac{A_r}{A_v} \times A_c p_{vc} \quad (12)$$

式中: p_{vc} 为搬迁房屋补偿单价(万元/ m^2); A_r 为被搬迁村庄的面积(m^2); A_c 为村庄总建筑面积(m^2); A_v 为村庄总占地面积(m^2)。

2) 处理搬迁房屋地基费用。

$$C_{fd} = \frac{A_r}{A_v} \times A_c (p_{es} + p_{ep} + p_{ec}) \quad (13)$$

式中: p_{es} 为平整地基费(万元/ m^2); p_{ep} 为水沟和挡土墙等费(万元/ m^2); p_{ec} 为清理搬迁基地费(万元/ m^2)。

3) 三通费用。

$$C_{fdl} = F_1 + F_d + F_s \quad (14)$$

式中: F_1 为道路建设费, $120 \times 1.5 = 180$ 万元; F_d 为架设水、电网费,45 万元; F_s 为补偿村民现金(万元)。

3 基准参数的确定

根据某铝土矿矿区矿石平均品位和氧化铝厂原料要求情况和近年生产经营经验,拟定村庄压覆资源价值评价中基准参数及变化范围见表1。

表1 压覆资源价值基准参数及变化范围

项目	参数名称	基本参数	变化范围
可变参数	铝土矿价格/(万元·t ⁻¹)	0.026 9	0.022 9~0.043 9
	回采干矿 Al ₂ O ₃ 品位/%	59	43.97~70.78
	回采干矿 SiO ₂ 品位/%	8.05	2.39~16.51
固定参数	回采干矿量/t	8 682 500	
	洗矿损失率/%	1	
	洗矿含泥率/%	3	
	混入泥的 Al ₂ O ₃ 含量/%	40.6	
	混入泥的 SiO ₂ 含量/%	20.4	

表2 压覆资源开采中基准参数及变化范围

项目	参数名称	基本参数	变化范围
可变参数	合格矿运输单价/[万元(t·km) ⁻¹]	6×10^{-5}	$4 \times 10^{-5} \sim 8 \times 10^{-5}$
	原矿运输单价/[万元(t·km) ⁻¹]	1.5×10^{-4}	$1 \times 10^{-4} \sim 1.8 \times 10^{-4}$
	采矿成本/(万元·t ⁻¹)	1.38×10^{-3}	$1.08 \times 10^{-3} \sim 1.68 \times 10^{-3}$
	选矿成本/(万元·t ⁻¹)	1.84×10^{-3}	$1.44 \times 10^{-3} \sim 2.24 \times 10^{-3}$
固定参数	复垦成本/万元	197.328	
	其他固定成本/万元	4 652.28	
	原矿平均运距/km	6.5	
	合格矿平均运距/km	12.2	
	单位合格矿石采场公路修建成本/(万元·t ⁻¹)	4.94×10^{-5}	
	压覆原矿量/t	8 682 500	
	平均剥离层厚度/m	0.76	
	压覆资源面积/m ²	1 670 569	
	剥离单价/(万元·m ⁻³)	0.001 8	

表3 压覆资源搬迁评价中基准参数

项目	参数名称	基本参数
固定参数	总征地成本/万元	22 732.09
	新宅基地基础设施建设费/万元	11 222.1
	其他公共补偿费用/万元	413.8
	村庄需搬迁建筑面积/m ²	1.123×10^6
	村庄总占地面积/m ²	1.123×10^6
	村庄总建筑面积/m ²	$8.419 6 \times 10^5$
	单位民居建筑物补偿费/(万元·m ⁻²)	0.055
	地基地平整费用/(万元·m ⁻²)	0.015
	水沟挡土墙单价/(万元·m ⁻²)	0.004
	老宅基地清理费/(万元·m ⁻²)	0.000 36
可变参数	外部公路建设总费用/万元	6 120
	水电网架设费/万元	1 530
	村民货币补/万元	0

村庄压覆资源开采评价中基准参数及变化范围见表2。村庄压覆资源搬迁评价中基准参数见表3。

4 参数的敏感性分析

4.1 铝土矿价格敏感性分析

铝土矿基准价格为0.026 9万元/t,基准品位为59%,基准采矿成本为0.001 38万元/t,根据经济评价模型,此时压覆矿石价值199 027万元,采矿和搬迁成本为156 899.6万元,在基准参数下,搬迁后的最终受益为42 127.4万元。铝土矿价格变动范围为0.022 9~0.043 9万元/t,并将价格区间等分为十等分,即研究价格的变化频率为20元(见图1)。

从图1可以看出,当铝土矿价格在0.022 9万元/t和0.040 9万元/t时,压覆资源开采达到最低和最高收益,分别为22 776.16万元和288 857万元。敏感

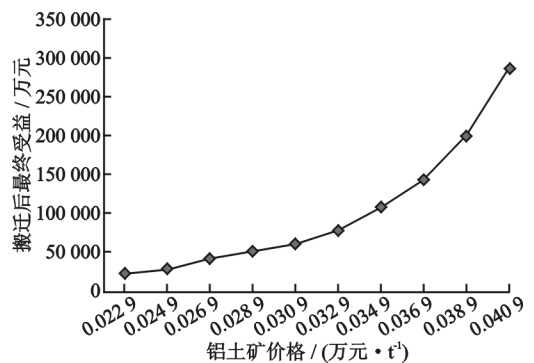


图1 不同铝土矿价格下搬迁后受益曲线

因子($S_{j\text{e}}$)为:

$$S_{j\text{e}} = \max \left\{ \frac{42\,127.4 - 22\,776.16}{42\,127.4}, \frac{288\,857 - 42\,127.4}{42\,127.4} \right\} = \max \{0.459\,4, 5.856\,7\}$$

得铝土矿价格的敏感度因子为5.856 7。

从图1中也可以看出,铝土矿价格对开采的收益

的影响巨大,当超过收益平衡点时,在每增长一个价格梯度时,即铝土矿价格每增长 10%,搬迁开采收益都有 40% 的增长。且随着价格的提升,搬迁后的收益呈上升抛物线型,因为超过基准收益后,铝土矿价格的增长对收益为上升抛物线型,采矿成本及搬迁成本为固定值,不会随铝土矿价格的增长而增长。因此,收益曲线也为上升抛物线型。作为投资者,应该及时关注铝土矿价格的变化,及时调整矿床开采及搬迁方案,以减少项目投资的风险,提高资本回收效率。

4.2 Al₂O₃ 品位敏感性分析

在分析 Al₂O₃ 品位敏感性时,采用上述基准参数,搬迁后的最终受益为 42 127.4 万元。Al₂O₃ 品位变动范围为 43.9% ~ 70.78%,铝土矿价格及采矿成本不变,将品位变动区间平分为九等分,变化梯度为 3% (见图 2),带入经济收益公式可得经济效益。

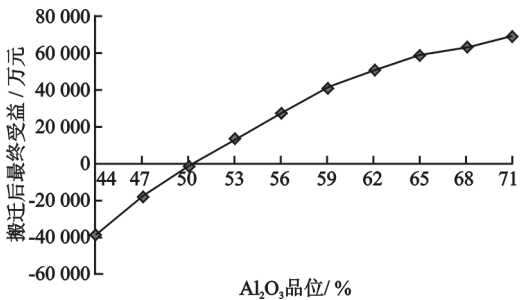


图 2 不同 Al₂O₃ 品位下搬迁后受益曲线

从图 2 可以看出,当 Al₂O₃ 品位在 44% 和 71% 时,压覆资源开采达到最低和最高收益,分别为亏损 306 44.3 万元和盈利 68 345 万元。敏感因子 (S_{al}) 为:

$$S_{al} = \max \left\{ \frac{42\,127.4 - (-30\,644.3)}{42\,127.4}, \frac{68\,345 - 42\,127.4}{42\,127.4} \right\} = \max \{ 1.727\,4, 0.622\,3 \}$$

得干矿中 Al₂O₃ 品位的敏感度因子为 1.727 4。

从图 1 和图 2 中也可以看出,Al₂O₃ 品位对开采收益的影响作用较为明显,当 Al₂O₃ 品位在 44% 和 71% 浮动时,搬迁开采收益最大变化率为 172.7%,但仍小于相对铝土矿价格对开采收益 585.7% 的最大影响率,说明 Al₂O₃ 品位对搬迁开采收益的影响作用要小于铝土矿价格变动对收益的影响程度。

因此,针对此种情况,在开采低品位矿石时,应适当提高边界品位指标,采富矿,舍弃部分贫矿,虽然采出矿石量有所减少,但整体品位的提高可维持经济效益的不变。当开采高品位矿石时,应做到贫富兼采,开采的贫富矿并不进行单独选矿,应贫富搭配,既不因单独进行富矿选矿而丢失大量金属,也不因单独进行贫矿选矿而增大选矿投入,做到贫富矿配比进行选

矿。

4.3 采矿成本敏感性分析

在分析采矿成本敏感性时,采用上述基准参数,搬迁后的最终受益为 42 127.4 万元。采矿成本变动范围为 0.001 08 ~ 0.001 68 万元/t,铝土矿价格及 Al₂O₃ 品位不变,将采矿成本变动区间平分为十等分,变化梯度为 0.000 6 万元/t (见图 3),带入经济收益软件可得经济效益。

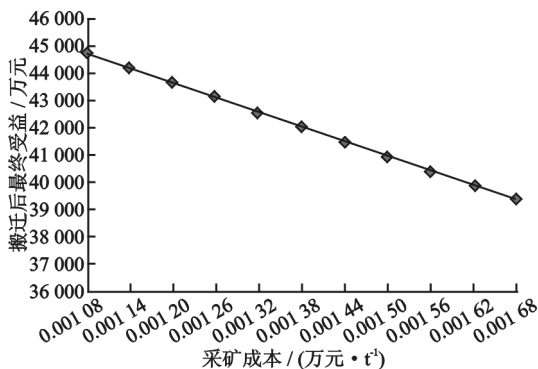


图 3 不同采矿成本时搬迁后受益曲线

从图 3 可以看出,当采矿成本在 0.001 08 万元/t 和 0.001 68 万元/t 时,压覆资源开采达到最高和最低收益,分别为盈利 44 732.1 万元和 39 357.7 万元。敏感因子 (S_{ck}) 为:

$$S_{ck} = \max \left\{ \frac{44\,732.1 - 42\,127.4}{42\,127.4}, \frac{42\,127.4 - 39\,357.7}{42\,127.4} \right\} = \max \{ 0.061\,8, 0.065\,7 \}$$

得采矿成本的敏感度因子为 0.065 7。

采矿成本是压覆资源开采成本的重要组成因素。随着采矿成本的变化,开采收益的最大变化率为 7.58%,相对其他因素收益变化率要小很多。敏感因子 S_{ck} 直观表示了采矿成本的敏感因子较小,由此推断,采矿成本对开采收益造成的影响较弱。

4.4 各因素对收益的敏感性分析

上述敏感性分析为单因素分析法,从纵向角度分析了各主要因素对压覆资源开采收益的影响程度,得出了单个因素影响下的敏感度因子。现从横向角度考虑,其他参数不变,分别对铝土矿价格、Al₂O₃ 品位及采矿成本的敏感度进行对比分析,得到 3 个参数分别从小到大取值时,对应敏感度见表 4。

表 4 各参数对压覆矿开采收益的敏感度分析

参数名称	铝土矿价格	Al ₂ O ₃ 品位	采矿成本
敏感度	5.856 7	1.727 4	0.065 7

单参数敏感性分析计算结果表明,在 3 个经济评价参数中,铝土矿价格对开采收益的影响最为敏感,

其次是 Al_2O_3 品位,最不敏感的是采矿成本,即铝土矿价格的轻微变动可引起压覆资源开采收益的剧烈动荡。因此,把握与分析铝土矿价格的市场行情,可最大程度上减少压覆资源开采的投资风险。另外,在回收资源的同时还要兼顾其他因素的影响,如矿区统一的配矿要求,应根据生产需要进行矿石质量配比规划。村庄居民的搬迁意愿也是影响搬迁工作的重要因素,在考虑经济效益的同时,必须兼顾村民意愿,综合压覆资源开采的主要影响因素,根据综合宏观分析再做具体调整与部署。

5 结论

1) 确定了压覆资源开采经济评价参数,研究了压覆资源价值计算因素,建立了压覆资源价值计算模型、搬迁成本模型及采矿成本模型,利用静态收益分析方法,建立了压覆资源开采收益模型。

2) 根据历年铝土矿建设及生产运行情况及矿区居民生活生产水平确定了压覆资源价值、开采成本及搬迁成本模型中各参数的基准参数。

3) 采用输入变量扰动的敏感性分析法对模型中

重要因素参数进行敏感度分析。铝土矿价格的敏感度因子最大,为 5.856 7,铝土矿价格每增长 10%,压覆资源开采收益都有 40% 的增长;其次是 Al_2O_3 品位,最不敏感的是采矿成本。因此,把握与分析铝土矿价格的市场行情,可最大程度上减少压覆资源开采的投资风险。

[参考文献]

- [1] 谢佳春. 建设项目压覆矿产资源经济评价研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2009.
- [2] 张海泉,李兴武. 绿色 GDP 与矿产资源价值评估[J]. 中国矿业,2005,14(6):15-17.
- [3] 蔡毅,邢岩,胡丹. 敏感性分析综述[J]. 北京师范大学学报:自然科学版,2008,44(1):9-16.
- [4] 王千,李忠良. 岩体力学参数敏感性分析在工程中的应用[J]. 东北电力技术,2005(11):17-20.
- [5] 张继勋,姜弘道,任旭华. 岩体参数对隧洞围岩稳定性影响的敏感性分析[J]. 采矿与安全工程学报,2006,23(2):169-172.
- [6] 谭晓慧,王建国,刘新荣. 边坡稳定的有限元可靠度计算及敏感性分析[J]. 岩石力学与工程学报,2007,26(1):115-122.
- [7] 张照杰,高桂棠,贾小娟,等. 青州市地质矿产管理矿产压覆分析的研究与实现[J]. 测绘与空间地理信息,2012,35(9):195-197.
- [8] 刘立鹏,于红杰,陈奇. 力学、几何参数对土质边坡稳定的敏感性分析[J]. 岩土工程技术,2008,22(3):123-126.

Sensitivity analysis of mining economic parameters of overlaid mineral resources

Zhang Weijie¹, Lan Sidong²

(1. Changsha Engineering & Research Institute of Nonferrous Metallurgy Co., Ltd. ;

2. Cangnan Hongji Blasting Engineering Co., Ltd.)

Abstract: Due to the features of large quantity of work and complex precedures in the mining of overlaid resources, a profit model for overlaid mineral resources mining is built, which takes maximum profit as the target with the financial evaluation method. Besides, the standard parameter values are determined in such basic models as overlaid mineral resource value, mining cost and relocation cost. And the sensitivity to model parameter variables is analyzed based on the profit model. The result shows that the bauxite price is the most important and sensitive factor. And for other factors, their importance is also ranked hereby. The study provides certain guidance for the engineering evaluation.

Keywords: overlaid mineral resources; profit model; economic evaluation; sensitivity analysis (编辑:邢万芳)

欢迎订阅 2015 年《冶金能源》

《冶金能源》为中国科技核心期刊,欢迎投稿、欢迎订阅、欢迎刊登广告!

《冶金能源》是经国家科委和新闻出版总署批准,由中钢集团鞍山热能研究院有限公司主管、主办的国内外公开发行的专业技术性期刊。国内统一连续出版物号:CN21-1183/TK,国际标准连续出版物号:ISSN 1001-1617,广告经营许可证:210300300004。

该刊内容:能源管理、工艺节能、热工理论、炉窑热工、燃烧技术、筑炉材料、回收利用、动力节约、测控技术、环境保护和技术信息。该刊面向的读者众多,发行范围广,广告效果好,欢迎广大读者订阅,欢迎企事业单位刊登广告、宣传产品或企业形象。

该刊为双月刊,大 16 开本,64 页,每本定价 10 元,全年 60 元。读者可到当地邮局订阅,邮发代号:8-146,亦可到该刊编辑部补订。

电话:0412-5222639 E-mail:yjny2003@aliyun.com 地址:辽宁省鞍山市鞍千路 301 号 114044

开户银行:交行鞍山分行营业部 户名:中钢集团鞍山热能研究院有限公司 银行帐号:213311601018170069764