

矿产资源开发利用水平评估方法研究*

曹进成^{1,2,3}, 冯安生^{1,2}, 吕振福^{1,2}, 赵军伟^{1,2}, 张亮^{1,2}

(1. 中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所, 河南 郑州 450006; 2. 自然资源部多金属矿评价与综合利用重点实验室, 河南 郑州 450006; 3. 东北大学, 辽宁 沈阳 110819)

摘要: 矿产资源开发是复杂的工业活动, 如何评估资源开发利用水平国内尚无统一的指标参数设置及定义, 该研究从资源利用、循环利用、生产经营集约化三个方面, 设置了开采回采率、选矿回收率、共伴生矿产综合利用率、尾矿利用率、废石利用率、全员劳动生产率、开发利用能耗、技术人员比例和研发技改投入强度等9个关键指标, 基本建立了较为系统的矿产资源开发利用水平评价指标体系, 为合理评估矿产资源开发利用水平提供参考。

关键词: 矿产资源; 开发利用水平; 评估方法; 尾矿利用率; 废石利用率

中图分类号: F124.5 文献标识码: A 文章编号: 1001-0076(2018)04-0022-06

DOI: 10.13779/j.cnki.issn1001-0076.2018.04.005

Evaluation Method Study on Mineral Exploitation and Utilization Level

CAO Jincheng^{1,2,3}, FENG Ansheng^{1,2}, LYU Zhenfu^{1,2}, ZHAO Junwei^{1,2}, ZHANG Liang^{1,2}

(1. Zhengzhou Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, CAGS, Zhengzhou 450006, China; 2. Key Laboratory of Evaluation and Multipurpose Utilization of Polymetallic Ores of Ministry of Natural Resources, Zhengzhou 450006, China; 3. Northeastern University, Shenyang 110819, China)

Abstract: Mineral exploitation is a complex industrial process, how to evaluate mineral exploitation and utilization level is a complex problem, there is no generous definition now, this article put up mining recovery, mineral processing recovery, total recovery of associated and coexisting minerals, utilization rate of tailings, utilization rate of waste-rock, total labor productivity, energy consumption of exploitation and utilization, percent of technical personnel, and R&D intensity indexes based resource utilization, cyclic utilization, and intensity of production and management, we hope provide base reference for evaluate mineral exploitation and utilization level.

Key words: mineral resources; exploitation and utilization level; evaluation method; utilization rate of tailings; utilization rate of waste-rock

引言

2016年12月29日, 国土资源部、国家发展和

改革委员会、工业和信息化部、财政部、国家能源局联合印发《矿产资源开发利用水平调查评估制度工作方案》, 要求以矿产资源全面节约和高效利用为

* 收稿日期: 2018-04-26

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“22种重要矿产资源节约与综合利用调查”(DD20160070); 国家重点研发计划“重要矿产和土地资源节约集约综合利用标准研究”(2016YFF0201604)

作者简介: 曹进成(1980-), 男, 河南信阳人, 高级工程师, 长期从事矿产开发利用信息调查、标准研究和规划研究。

通信作者: 冯安生(1964-), 男, 河南商丘人, 研究员, 博士, 长期从事矿产资源综合利用工作。

目标,以矿业权人勘查开采信息公开公示为基础,动态调查矿产资源开发利用现状,科学评价矿产资源开发利用水平,健全完善评估指标体系,构建激励约束机制,推动矿产资源利用方式根本转变。提高矿产资源开发利用水平,助推矿业领域的生态文明建设,符合党的十九大报告提出的节约资源的要求,符合经济可持续发展需要和保护生态环境的需要。提高矿产资源开发利用水平意义重大,对于提高我国矿产资源利用效率,减少对环境扰动,增强我国资源保障能力具有重要意义,其整体经济效益和环境效益突出。例如,2015年我国铁矿石产量约13.8亿t(含进口),铁矿对外依存度84%;2015年我国铜精矿产量175万t,进口1329万t,铜矿对外依存度约为89%。2015年我国铁矿平均采选综合回收率69.43%,铜矿平均采选综合回收率81.55%^[1-3],如果将铁矿、铜矿“三率”相关指标提高一个百分点,将节约铁矿石2000万t,节约铜矿石200万t。

矿产资源开发是个复杂的工业活动,如何评估开发利用水平是一个技术性工作,也是一个复杂的管理性工作,涉及资源、管理、技术、设备、环境、安全、产品、销售等多个因素,国内尚未有明确统一的水平参数设置及定义。

1 相关研究进展

金小燕等^[4]早在2002年对湖南省有色金属矿产资源开发利用效率进行了初步探讨,将湖南省有色金属的采矿回收率、选矿回收率、综合回收率、采矿贫化率等指标内容与全国进行了初步对比,提出了通过健全管理机制、严格监管制度、集约规模经营和依靠科学技术进步等手段提高矿产资源开发利用水平的对策建议;赵军伟等^[5]较早提出,矿产资源开发利用效率是矿产资源开发利用对经济社会的满足程度,评价指标除了开采回采率、选矿回收率和综合利用率外,还包括利用效果,受到资源条件、矿业政策、矿产经济、社会环境、生态环境、国际市场、国际政治、矿山开发阶段、生产管理和生产技术等多方面因素的影响;赵恒勤等^[6]研究认为矿产资源开发利用效率评价研究适合采取模糊综合评判方法、层次熵多目标决策分析模型、灰色关联评价方法、AHP层次分析法、德尔菲法、DEA(数据包络分析)法等,评估过程中应调查摸清开发利用现状,发挥最大的资源效益,满足我国经济社会发展的需要;赵淑芹

等^[7]采用数据包络分析(DEA)中的C2R模型对河北省11个市的矿产资源开发利用的生态效率值进行了评价,将相关的评估模型和生态效率实证评价进行了结合,并提出了相关的优化对策建议;吴兵安^[8]采用DEA模型,对滇东南煤矿的矿产资源开发效率进行了模糊综合评价,设立了矿产资源的类型、成矿规律、分布、开发程度以及“三率”水平、社会经济效益、生态环境、技术人员投入等因素指标,从投入与产出的角度建立了相关的开发效率综合评价指标体系,评价了资源的开发利用效率并提出了相关的对策建议;马建明^[9]从影响矿产资源开发利用效率、矿产资源开发利用“三率”的因素入手,提出矿产资源集约利用规模开发水平是提高矿产资源开发利用效率、矿产资源开发利用“三率”的关键抓手和因素;宋建军^[10]提出将“十三五”期间提高矿产资源开发利用效率的重点是提高中小型矿山的开采回采率、选矿回收率和共伴生矿综合利用率,推进再生资源利用产业化和规模化,提高矿山尾矿高附加值利用水平,推广先进适用的资源综合利用技术,建立资源高效利用示范基地。

通过前人研究可以看出,在评价矿产资源开发利用水平时,资源开发的“三率”水平高低是基础,环境保护和安全生产是前提,投入与产出因素是关键,充分结合矿产资源本身特点综合考虑各方面的要素对资源的开发利用水平进行综合评估。

2 矿产资源开发利用水平要素分析

2.1 资源开发环节述评

矿产资源开发按生产阶段大致可分成勘查、开采和选冶加工三个环节,矿山企业是这三个环节的重要参与者,期间投入大量人力、物力等,目的是查明资源储量、开采出工业矿石和选出合格的精矿,将矿产品(块矿、精矿、金属或初级加工品等)销售并获得经济回报。

勘查的目的是查明资源类型、资源储量,以及划定可供开发利用的工业矿体(范围、埋深、品位、走向等),确定合适的工业品位及共伴生矿产的资源情况,并进行资源的可利用性评价,确保资源在当前技术经济条件下可以工业开发。采矿的目的是在确保安全和环境保护的前提下采出尽可能多的工业级矿石。选矿的目的是获得合格品级(或粒级)的精

矿(或矿产品),并确保精矿(或矿产品)中杂质含量不超标,技术水平体现在选矿回收率的高低上,单位处理矿石的能耗、钢耗、药剂消耗和水耗要尽可能低,选矿药剂的残留要环保达标。冶金则是从矿物(或精矿)中提取金属或金属化合物,用各种加工方法将其制成具有一定性能的金属材料的过程和工艺,在此过程中要尽量降低能耗和环境影响。

如何在矿山勘查、开采和选冶的过程中,最大限度地利用资源,实现企业经济社会环境效益最大化,守住安全和环境保障的底线,需要技术水平、管理水平、人力资源水平、规模化程度、机械化程度等共同提高,协调推进矿产资源利用水平、生态环境保护 and 治理水平、安全保障水平、经济社会效益水平,助推矿产资源开发利用水平的提高。

2.2 资源开发投入产出要素分析

矿产资源开发利用水平评价是综合性评价工作,主要包括企业的生产、经营、管理水平等,主要包括资源利用水平、技术水平、装备水平、规模化水平、信息化水平、管理水平等,这些水平指标的高低决定了一个企业生产运营的经济社会环境效益的高低。其中资源利用程度(开采回采率、选矿回收率和综

合利用率)是资源开发利用水平的关键指标项,但在资源开发利用水平评价过程中不能仅以资源利用率数值高低定义资源开发利用水平,还需要综合考虑矿石性质、共生伴生组分特点、投入消耗等多方面因素。

由于矿产资源禀赋、开采条件等各不相同,不同矿种之间的生产模式也存在差异,因此,不能简单地对矿山的直接产出直接做横向对比,这样既不客观也不切合矿山实际情况。因此,我们认为,在进行资源开发利用水平评价工作时,需要结合矿山的实际情况,从企业的投入与产出方面进行分析,才能更加客观反映企业的开发利用水平。这里的投入不仅仅包含企业的人员、设备、资本等方面的投入,还包括动用国家的资源/储量、水资源、土地资源等方面内容。同样,这里的产出除包含企业年产量、劳动生产率、企业产值等之外,还应包含对环境保护的推动、对国家 GDP 的贡献、对提高人民收入水平的贡献等方面内容。将矿山企业的投入产出要素分为人员投入与产出、资源投入与产出、资本投入与产出、安全投入与产出、环境投入与产出等六个投入产出要素对企业开发利用水平进行评价,见图 1。

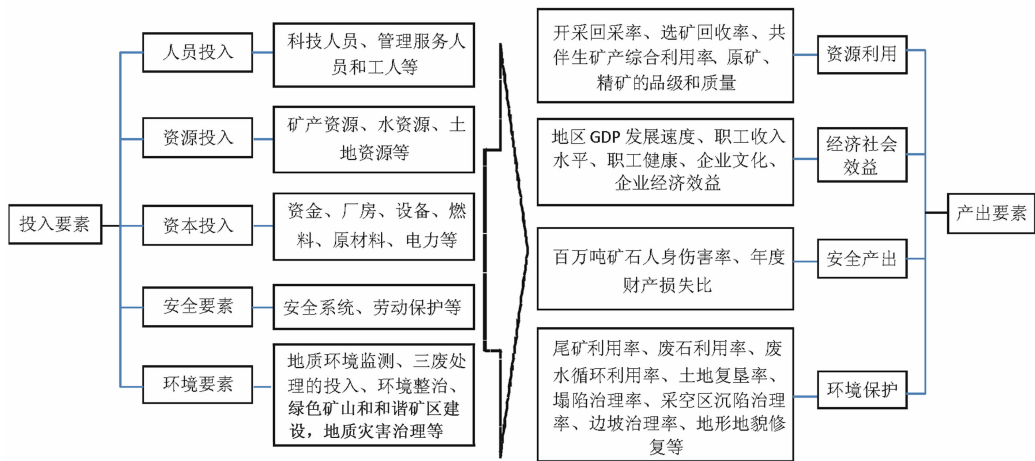


图 1 矿产资源开发投入产出要素

Fig. 1 The input - output element of mineral resource development

3 评价指标的选取

3.1 选取的原则^[11-12]

1. 专业化原则。评价指标要反映矿山企业的特点,要获得行业公允认可。
2. 可操作性原则。尽量利用矿山已有台账及统

计报表的数据,数据获得性强,且评价指标含义准确、计算方法简单易懂,便于在实际评估中具有适用性和理解性,评估指标可量化。

3. 系统性原则。指标选取在考虑促进资源保护与合理利用这个前提下,充分考虑人、财、物的投入影响。

4. 可比性原则。做到“纵向能比、横向也能比”,找准位置,助推升级改造,为树立节约集约利用的资源观,大幅提高资源利用水平提供支撑。“纵向能比”体现矿山不同发展阶段可以比,同矿种可比。“横向能比”体现在不同矿山、不同地区和不同行业矿山也可比。

5. 指向性原则。尽量减少或避免直接经济指标,由于矿产品受市场影响波动较大,矿山企业本身对有些指标调控能力有限。

3.2 指标解释和权重分析

根据专业化原则,建议未来评价指标应采用现在行业认可的“开采回采率、选矿回收率和共伴生矿产综合利用率”;根据指向性原则,减少或不涉及“经济社会效益”和“安全产出”指标;根据系统性原则,不能仅仅以矿产资源“三率”指标,还应考虑环

境指标和投入指标等,理想情况是产出大、投入少。因此,“资源利用”指标选取“开采回采率、选矿回收率和共伴生矿产综合利用率”;将“环境保护”中“尾矿利用率、废石利用率”予以选取,从资源角度考虑,纳入“循环利用”指标范畴;将投入的人员(含技术人员)、电力、研发技改资金,以及产出的原矿、主营业务收入,综合成“全员劳动生产率、技术人员比例、采选能耗、研发技改投入强度”、纳入到“生产经营集约化”指标范畴。

根据矿产资源开发过程中需要考虑的主要要素,设置了9个指标用以评价矿产资源的开发利用水平:开采回采率、选矿回收率、共伴生矿产综合利用率、尾矿利用率、废石利用率、全员劳动生产率、技术人员比例、开发利用能耗、研发技改投入强度。有关指标及解释见表1。

表1 开发利用水平评估指标及其解释
Table 1 The index of mineral explore level and its explanation

序号	主要指标	指标定义	指标解释
1	开采回采率	当期采出的纯矿石量占当期消耗的矿产资源储量的百分比 ^[13]	反映资源的采出程度,指标受围岩稳固性、矿体形态、采矿方法、机械化程度等影响
2	选矿回收率	精矿中某有用组分的质量占入选原矿中该有用组分质量的百分比 ^[13]	反映有用组分的选矿回收程度,指标受矿石性质、磨矿效果、药剂选择、磁场强度、选矿工艺方法等影响
3	共伴生矿产综合利用率	采选作业中,共伴生组分各最终精矿产品中有用组分(共生有用组分、伴生有用组分)的质量和占当期消耗矿产资源储量中共伴生组分质量之和的百分比 ^[13]	反映共伴生矿产在精矿中的富集和回收程度。在评价共伴生矿产选矿回收率效果时,要对照开采设计方案中对相关矿产是否要求选矿以及要求的指标进行综合评价
4	尾矿利用率	尾矿年利用量占选矿厂当年尾矿产生量的质量百分比	一般分为尾矿消纳和资源化利用两个方面,随着技术进步和尾矿利用方向的拓展,尾矿利用一般考虑两个方面,在实际评估过程考虑新尾矿库一般可经济回收的有用组分较少,现阶段建议更多的强调尾矿消纳,减少土地占用,降低粉尘飘散及地下水渗透,降低对矿山地质环境及周边生态环境的影响
5	废石利用率	废石年利用量占采场当年废石产生量的质量百分比	一般分为废石消纳和资源化利用两个方面,现阶段应引导矿山企业开展废石消纳,作为回填、铺路、建材等大宗应用,减少废石对耕地的占用和含硫废石对地下水等的影响
6	全员劳动生产率	单位从业人员的采矿量	反映矿山机械化程度、生产调度管理能力、劳动者素质,间接反映矿山经济指标
7	技术人员比例	指地质、采矿、选矿、测量专业助理工程师及以上人员占矿山从业人员总数的比例	直接反映技术档案的规范性、技术应用的普及性及人均矿产品的产出能力
8	开发利用能耗	采选作业中,处理单位矿石消耗的电量	矿山重要的一个成本因素,反映了规模化能力及投入质量
9	研发技改投入强度	采选作业中研发和技改的投入占主营业务收入比例	反映矿山可持续发展的能力,短期提高成本构成,长远分担直接成本(原材料、能耗、水耗、药剂消耗)、提高精矿指标

综合考虑资源开发中资源利用、循环利用、生产经营集约化三大类指标在促进资源开发、保住底线

和经营发展的重要性,合理评估矿山开发利用水平,在多次召开国内专家研讨会基础上,采用德尔菲法

邀请地质、采矿、选矿、技术经济、管理、高校老师等不同行业、不同部门的知名专家对各个指标的权重进行打分并计算,建议资源利用程度 60%、循环利用 16%、生产经营集约化 24%。

根据确定三大类指标值,项目组对涉及的九个二级指标进行了权重分解,九个指标项权重分别为:开采回采率 32%、选矿回收率 20%、共伴生矿产综合利用率 8%、尾矿利用率 8%、废石利用率 8%、全员劳动生产率 8%、技术人员比例 4%、采选能耗 8% 和研发技改投入强度 4%。

3.3 评估方法

为保证评价的客观性,在评价时原则上采用定量分析法。利用加权平均法,构建定量分析的评估公式:

$$MEL = \sum_{i=1}^n (a * m/b) \quad (1)$$

a - 各指标项权重, m - 单项评估指标实际值, b - 基准值, $n - 1 \sim 9$ 权重指标。

评价时在调查分析得到的原始数据基础上,将修正的单项评估指标实际值与基准值作对比,得到一个无量纲的数据,再根据各单项指标权重,加权平均得到一个汇总值,汇总数据即为单个矿山开发利用水平值(Mineral Explore Level, 简称 MEL)。计算多矿山开发利用水平值可以用采出矿量的修正值进行加权平均。

基准值选取的原则。矿山开采设计方案中相关指标是方案比选和前期研究的结果,考虑了资源禀赋的差异和技术先进性、适用性;矿山开发利用方案确定指标是矿业权人对自然资源资产所有权人的一种承诺;研究确定的基准指标一般根据行业总体水平给的参考值,考虑不同矿种以及同一矿种不同区

域成矿因素不一,评估基准值原则上采用矿山开采设计方案中的相关设计值,如开采设计方案中无相关指标,以矿山开发利用方案中确定值为基准值,如开发利用方案中无相关指标,以设定的各矿种基准值为准。这样考虑了资源禀赋的差异性,又考虑操作的可实施性,将为合理评估单个矿山、同一矿种、同一地区以及全国的开发利用水平值提供了支撑。

煤矿、铁矿、铜矿、金矿、石墨矿、萤石矿、磷矿、铝土矿、水泥灰岩和稀土矿基准值选取办法:开采回采率、选矿回收率和共伴生矿产综合利用率有关指标按照国土资源部发布的各矿产“资源合理开发利用‘三率’最低指标要求”的有关数据,因最低指标要求是行业准入门槛数据,因此在此基础上提高 3~5 个百分点,具体提高数额参照了相关矿种开采设计方案和开发利用方案中各矿种一般指标;各矿种“废石利用率、尾矿利用率”统一设置成 30%、“技术人员比例”设置成 5%;我国 2015 年底研究与试验发展经费投入强度是 2.1%^[14],考虑矿业是传统行业,“研发技改投入强度”设置成 2%;全员劳动生产率参照了 2011—2015 年我国矿产资源开发利用统计年报中各矿种年采出矿量和从业人员数的比值;“采选能耗”,参照有关矿种矿山开采设计方案和开发利用方案中有关数据,并查阅了有关矿业公司的年度报告进行的综合选取。

4 实例计算

根据不同指标的满足程度,结合权重指标及评价公式 $MEL = \sum_{i=1}^n (a * m/b)$,对 4 个浙江萤石矿山指标进行指标测算,测算结果见表 2。

表 2 四个矿山开发利用水平测算值
Table 2 The measure result for the four mines' exploitation and utilization level

指标	A 矿山	B 矿山	C 矿山	D 矿山	权重值	基准值*
开采回采率/%	81.69	85.89	92.27	82.12	32	82
选矿回收率/%	85.2	92.2	86.23	89.1	20	85
共伴生矿产综合利用率/%	0	0	0	0	8	60
尾矿利用率/%	95	92	100	30	8	30
废石利用率/%	100	100	100	100	8	30
全员劳动生产率/(万 t·人 ⁻¹ ·年 ⁻¹)	0.07	0.04	0.09	0.06	8	0.03
技术人员比例/%	2	1	6	2.5	4	5
采选能耗/(t·kW ⁻¹ ·h ⁻¹)	1/65	1/76	1/89	1/58	8	1/125
研发技改投入强度/%	3.8	0	13.3	0	4	2

* “*” 萤石矿产评估基准值选取按照 3.3 基准值选取办法予以研究制定。

经过测算, A、B、C、D 各矿山开发利用水平值分别为: $MEL_A = 146.93$, $MEL_B = 130.83$, $MEL_C = 176.09$, $MEL_D = 122.64$, 开发利用水平从高到低依次为 C 矿山 > A 矿山 > B 矿山 > D 矿山。从测算结果看, 四个矿山中综合得分最高开发利用水平最高的是 C 矿山, 从表 2 数据分析来看, 除选矿回收率外, C 矿山的开采回采率、尾矿利用率、全员劳动生产率、能耗等指标最佳, 说明其经济效益、环境效益最好, 从而验证了评价方法的客观性、准确性。在评价过程中, 各项指标基础数据是可获得的, 并且不同矿山的指标值是与矿山实际生产相紧密结合的, 从侧面反映出评价指标体系的可行性和实用性。

5 结语

(1) 构建了涵盖开采回采率、选矿回收率、共伴生矿产综合利用率、尾矿利用率、废石利用率、全员劳动生产率、开发利用能耗、技术人员比例和研发投入强度等 9 个关键指标的评价指标体系, 为合理评估资源开发利用水平提供了参考。

(2) 构建了依据权重值、基准值和实际值为基础的开发利用计算方法, 并通过萤石矿的实例验证, 指标结果比较客观。从萤石矿山测算来看, 除萤石无共伴生矿产综合利用率外, 其他基础数据总体来说呈现离散状态, 有波动但总体有规律性, 测评出的水平值也具有差异性。

(3) 从宏观管理方面来看, 提高矿产资源开发利用水平, 关键要处理好过程与结果、过程与效果的关系, 规划管控、储量监督、技术进步是手段, 资源保护与合理利用是目的, 经济效益是结果, 生态环境、安全保障是底线。

(4) 评价体系对于评估代表性样本矿山, 或行业、地方和全国矿山的开发利用水平都可作为一种借鉴方法。

(5) 评价本身不是目的, 最终的目的是促进矿

山升级改造, 提高资源开发利用水平, 并为政府决策部门提供决策参考。

参考文献:

- [1] 国土资源部. 全国矿产资源储量通报[R]. 北京: 国土资源部, 2015.
- [2] 中国钢铁工业协会. 中国钢铁工业协会网[EB/OL]. (2017-10-10) [2018-03-10]. <http://www.chinainasa.org.cn/gxportal/login.jsp>.
- [3] 国家统计局. 国家统计局网[EB/OL]. (2017-10-10) [2018-02-26]. <http://www.stats.gov.cn/>.
- [4] 金小燕, 赵亚辉. 湖南省有色金属矿产资源开发利用效率相关问题的探讨[J]. 湖南地质, 2002, 21(2): 122-126.
- [5] 赵军伟, 郭敏, 赵恒勤. 矿产资源开发利用效率评价构想[J]. 中国矿业, 2012, 21(8): 60-63.
- [6] 赵恒勤, 赵军伟, 赵祺彬, 等. 矿产开发利用效率评价研究现状[J]. 中国国土资源经济, 2012, 9: 29-32.
- [7] 赵淑芹, 刘倩. 基于 DEA 的矿产资源开发利用生态效率评价[J]. 中国矿业, 2014, 23(1): 54-57.
- [8] 吴安兵. 基于 DEA 模型的矿产资源开发效率模糊综合评价研究——以滇东南煤矿为例[D]. 成都: 成都理工大学, 2015.
- [9] 马建明. 集约利用规模开发是提高矿产资源开发利用效率的抓手[J]. 中国矿业, 2014(1): 32-35.
- [10] 宋建军. 提高矿产资源开发利用效率的思考[J]. 国土资源情报, 2015(9): 28-33.
- [11] 冯安生, 许大纯. 矿产资源新“三率”指标研究[J]. 矿产保护与利用, 2012(4): 4-7.
- [12] 张顺堂. 中国黄金矿山集约化经营的理论与方法[M]. 北京: 中国市场出版社, 2005.
- [13] 国土资源部. DZ/T 0272—2015, 矿产资源综合利用技术指标及其计算方法[S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [14] 规划编写组. 中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要[M]. 北京: 人民出版社, 2016.

引用格式: 曹进成, 冯安生, 吕振福, 等. 矿产资源开发利用水平评估方法研究[J]. 矿产保护与利用, 2018(4): 22-27.

CAO Jincheng, FENG Ansheng, LYU Zhenfu, et al. Evaluation method study on mineral exploitation and utilization level[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2018(4): 22-27.