

# 绿色矿山资源与环境平衡体系:经济效益 与生态效益协调研究

韩雨<sup>1</sup>, 王亮<sup>2</sup>, 李文涛<sup>1</sup>, 王若含<sup>1</sup>

(1. 中国矿业大学(北京)化学与环境工程学院, 北京 100083; 2. 中关村绿色矿山产业联盟, 北京 100089)

**[摘要]** 在矿山资源开发与环境保护过程中,探寻生产投入与生态环境投入的最优比例是实现矿山综合收益最大化的基础。为寻找经济效益与生态效益的平衡点,分析了绿色矿山综合收益的关键要素及其在经济效益与生态效益平衡中的作用,研究了绿色矿山和传统矿山及小型矿山和大型矿山之间的综合收益、边际收益和边际成本的关系,揭示了绿色矿山建设的经济决策原则,并指出其相比传统矿山具有更强的市场竞争力和盈利能力。最后阐述了绿色矿山建设中的6个平衡与综合收益要素之间的相互作用机制,并提出了优化策略,以实现综合收益最大化。本文为绿色矿山建设提供了理论支撑和实践指导,推动矿业向绿色可持续发展模式转型。

**[关键词]** 绿色矿山; 资源与环境平衡; 经济效益; 生态效益

**[中图分类号]** X322 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 2097-2423(2025)03-0084-06

**DOI:** 10.19610/j.cnki.cn10-1873/tf.2025.03.015

## 0 引言

矿产资源开发是支撑经济社会发展的物质基石与能源来源,对于国家民生与安全战略具有不可动摇的地位。然而,长期以来矿产资源的高强度开发和利用,对生态系统构成了威胁,产生了土地退化、水体污染、空气质量下降等环境问题。因此,实施环保与生态治理措施,减轻开发活动的环境影响,是实现可持续发展的关键路径。绿色矿山理念倡导一种集持续、协调、高效于一体的经济发展与社会进步模式,将矿产资源与环境要素同样看重,力求在资源开发的同时最大化保护环境<sup>[1]</sup>。

实施资源开发与环境保护时,为获得一定的生态效益,必须投入相应的资金成本。如果生态投入

比例过低,生态效益将无法满 足我国生态文明建设的需求。反之,过度投资虽可获得良好生态效益,但会限制矿山企业的发展。因此,有必要深入研究矿山企业的经济效益与生态效益之间的关系,寻找两者之间的最佳平衡点,在确保生态环境得到有效修复的同时保障企业的可持续发展,从而实现经济发展与环境保护的双赢局面。

资源与环境的和谐共生,是绿色矿山建设的核心理念,是引导矿产资源合理开发与矿业高质量发展的内在动力,深刻体现了绿色矿山的本质特征<sup>[2]</sup>。构建资源与环境平衡体系,不仅深化了对绿色矿山内涵的理解,也为其实 践提供了理论指导,是推动矿业绿色转型的关键。在此体系中,经济效益与生态效益的协调统一占据核心位置,不仅是绿色矿山建设的终极目标,也彰显了矿业可持续发展路径的重要性<sup>[3]</sup>。这一目标的实现,意味着矿业发展需在确保资源有效供给的同时,加大生态环境保护与修复力度,力求获得最大经济效益与环境效益,为矿业未来的发展方向指明了道路,即向更加绿色、可持续的发展模式转型。

本文从边际效用的角度,分析了矿山企业经济效益与生态效益之间的关系,为矿山企业寻找经济效益和生态环境效益之间的平衡点提供参 考,从宏观层面指导我国绿色矿山的建设。

**[收稿日期]** 2024-11-21

**[作者简介]** 韩雨(2001—),硕士研究生,主要研究方向为矿物加工工程。

**[引用格式]** 韩雨,王亮,李文涛,等.绿色矿山资源与环境平衡体系:经济效益与生态效益协调研究[J].绿色矿冶,2025,41(3):84-89.

HAN Yu, WANG Liang, LI Wentiao, et al. Green mine resource and environmental balance system: study on the coordination of economic and ecological benefits[J]. Sustainable Mining and Metallurgy, 2025, 41(3): 84-89.

## 1 绿色矿山的综合收益基本要素

成本、能耗、资源量/储量和循环经济产品量是绿色矿山建设中综合收益的基本要素<sup>[4]</sup>。绿色矿山的根本目标就是基于这些要素实现经济效益与生态效益的平衡,获得最优的综合效益。

### 1.1 成本

企业成本是指企业为了达到特定经济目的所应支付或承担的代价,这些代价可以货币或其他形式来衡量。它涵盖了企业在生产、经营、销售等各个环节中所发生的各种费用支出,如材料成本、人工成本、设备折旧、管理费用、销售费用等。

绿色矿山的建设和新技术的应用会增加企业的资源开发成本,如先进采选技术与设备投资,智能化与自动化升级改造,建设污水处理设施、废气处理设施、固体废物处理设施,实施土地复垦与绿化,增加水土保持措施,环境监测等,都需要投入大量的资金,这种投入会增加企业的短期成本,但从长远来看,有助于实现矿山的可持续发展,提高企业的社会形象和市场竞争力<sup>[5]</sup>。

### 1.2 能耗

能耗,即能源消耗量,是指耗能体系在一段时间内实际消耗的各种能源实物量,它反映了在特定时间内某个体系或设备所消耗的能源总量。

在绿色矿山建设中,能耗管理是一个重要环节,直接关系到矿山的环保效益和经济效益。绿色矿山建设可以通过采用高效节能设备、优化生产流程,加强能源管理、推广清洁能源等措施降低能耗、减少对环境的压力,提高资源的利用效率,从而实现可持续发展。

### 1.3 资源量/储量

资源量/储量是矿山的核心要素,是矿山生产的基础,没有充足的资源/储量,矿山就无法进行持续的生产运营,因此,它对于矿山的生产运营和可持续发展具有重要意义<sup>[6]</sup>。

在绿色矿山建设中,需要加强对矿产资源的勘探与保护。通过科学的勘探方法和技术手段,准确地掌握矿产资源的分布和储量情况,为合理开发和利用资源提供依据。同时,还需要加强对矿产资源的保护,防止过度开采和破坏。

绿色矿山强调资源的节约与高效利用。通过采用先进的开采技术和设备,可以提高资源的回收率和利用率,减少资源浪费。

### 1.4 循环经济产品量

通过回收、处理、再加工等途径,原本被视为废弃物的物质转化为具有再利用价值的资源或产品这些资源或产品被称为循环经济产品。矿山的循环经济产品主要有固体废物综合利用的产品、废水(污水)处理后的水资源以及修复的废弃土地。

循环经济产品的开发不仅可以减少污染、节约资源、提高资源利用率、减少资源消耗,而且还可以创造经济价值、增加就业机会、促进技术创新和产业发展。

## 2 绿色矿山综合收益分析

### 2.1 机会成本

机会成本是指企业为从事某项经营活动而放弃另一项经营活动的机会,或利用一定资源获得某种收入时所放弃的另一种收入,反映了在资源有限条件下,做出选择时所放弃的最佳替代机会的价值。假定一个矿山的流动资源用于生产性投入和生态治理的投入,那么生产性投入的机会成本就是生态治理所获得的收益,而生态治理投入的机会成本就是生产性投入取得的经济收益。

生产可能性曲线是一个在两种商品生产(投资)之间分配资源所涉及的权衡模型。它表示在一定资源和技术条件下,一个经济体所能生产的两种商品(投资)的最大数量组合。生产可能性曲线通常是一条向右下方倾斜的曲线,斜率为负,表示在资源既定的条件下,增加一种产品的产量就必须减少另一种产品的产量。曲线的形状(凹向原点或凸向原点)反映了边际转换率(即增加一单位某种产品所需放弃的另一种产品的数量)的变化情况。

生产可能性曲线上的每一点都代表一种商品生产的机会成本,不同点代表了不同的生产组合和相应的机会成本;生产可能性曲线外的点代表在现有的资源和技术条件下无法实现的生产组合;生产可能性曲线内的点代表在现有的资源和技术条件下可以实现,但尚未达到最大生产效率的生产组合。图1为生态保护与生产运营的资源分配生产可能性曲线示意图。

图1(a)为大型矿山和小型矿山的生产可能性曲线比较图。大型矿山相较于小型矿山,其生产可能性边界更为宽广,投资能力显著增强,因而大型矿山可以在提升生产能力和加强环境保护上投入更多资源,这对于推动绿色矿山建设具有举足轻重的作

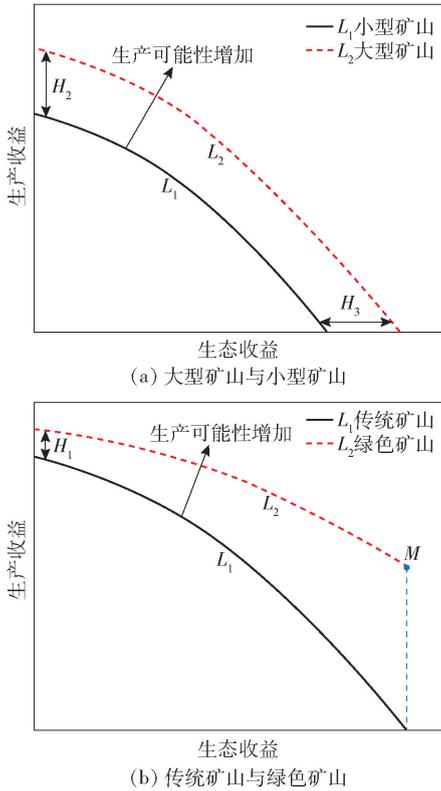


图1 生态保护与生产运营的资源分配生产可能性曲线示意图

注： $H_1$  - 绿色矿山生产运行优于传统矿山所带来的生产收益增量； $M$  - 生态收益最优时，绿色矿山生态收益和生产收益增量总和； $H_2$  - 大型矿山与小型矿山的生产收益变化量； $H_3$  - 大型矿山与小型矿山的生态收益变化量

用<sup>[7]</sup>。这正是大型矿山相较于小型矿山能在绿色矿山建设方面取得更高成就的关键所在。

图1(b)为传统矿山与绿色矿山的生产可能性曲线比较图。在投资总量相同的情况下，相较于传统矿山，绿色矿山的生产可能性边界有所拓宽。仅在生态保护上做出微量投资，绿色矿山就能够收获颇为可观的生态效益。这种做法不仅促进了环境可持续性，还巧妙地释放了额外资金，使之重新分配到绿色矿山的生产活动中，加大投入力度。最终，这一策略在宏观层面上极大提高了投资的整体回报率，这也是绿色矿山与传统矿山的根本区别。

2.2 边际成本和边际收益

边际成本是经济学和金融学中的一个核心概念，指的是因每增加一单位产品生产（或投资）而导致的总成本的增加量。在矿山生产活动中，边际成本可以理解为为了获取一个额外单位的产品，在生产运营与生态环境保护方面所需承担的额外成本。这包括了因增产这一单位产品而直接增加的原材料

费用、劳动力成本以及其他相关资源的使用费用。

边际收益是指企业销售额外一单位产品所带来的额外收入。在矿山生产活动中，边际收益可以更广泛地理解为每多生产一个单位产品所带来的经济效益和生态效益等综合收益的增加。

绿色矿山与传统矿山、大型矿山与小型矿山的边际收益、边际成本的关系如图2所示。

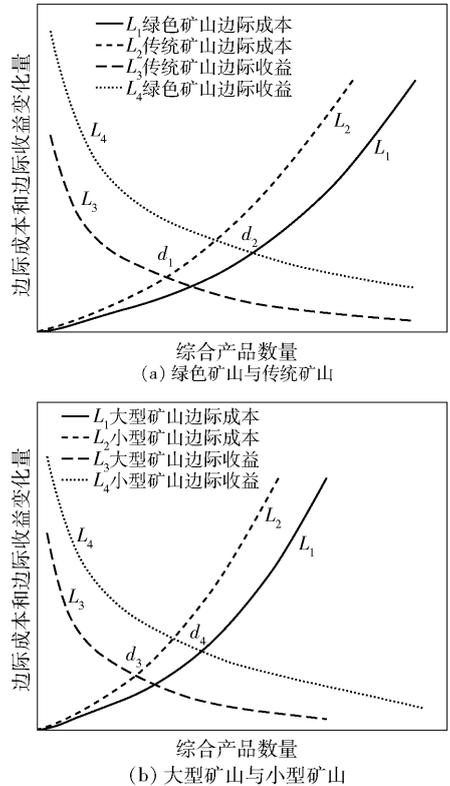


图2 边际收益、边际成本的关系示意图

注： $d_1$  - 传统矿山利润最大点； $d_2$  - 绿色矿山利润最大点； $d_3$  - 小型矿山利润最大点； $d_4$  - 大型矿山利润最大点

从图2(a)可知，与传统矿山相比，在同样的投资能力下，绿色矿山由于在生产工艺过程、废弃物排放、生态环境治理等方面都达到了更高的标准，能够实现更低的单位产品成本和更高的单位产品综合收益。在同等条件下，绿色矿山的利润最大值点会相对靠右（如  $d_1, d_2$ ），这主要是因为其后期的运行成本较低，从而赋予了绿色矿山更强的市场竞争能力。

从图2(b)可知，与小型矿山相比，大型矿山由于设备更加先进、资本更为充足，具有更大的投入能力，通常能够实现更低的单位产品成本和更高的单位产品综合收益。在同等条件下，大型矿山的利润最大值点会相对靠右（如  $d_3, d_4$ ），这意味着它们能够在更高的产量水平上仍然保持盈利，从而展现更强的盈利能力。这种优势不仅来源于规模经济带来

的成本降低,还因为大型矿山往往有能力更好地整合资源、优化生产流程,并在市场上获得更有利的竞争地位。

### 2.3 资源开发过程中的边际收益

在资源开发过程中,为了提升和改善生态环境质量,必须持续不断地在生态环境设施、设备及工程等方面投入,这些投入可以被视为边际成本。此时的边际成本是为增加一单位生态环境质量或保护措施所额外增加的成本,包含环保材料的采购、处理费用的支出、设备的购置与维护等直接成本,以及环保技术研发、培训人员的投入、停工所带来的经济损失、环保税收的缴纳、环境污染所带来的健康影响等间接成本;边际收益则是因生态环境质量改善或保护措施实施而带来的额外经济、社会或环境效益。边际收益除了提供了树木、矿产等可以直接用货币衡量的数据外,大多数是无形的、潜移默化中的改变,如空气质量的改善、水源质量的提升、人体舒适感的增强等。

在生态环境投入中,实现边际成本与边际收益的平衡至关重要。这有助于确保环境保护活动的经济可行性,并促进生态环境的可持续发展(图2)。

1)当边际成本 < 边际收益时,增大对生态环境的投入是经济上合理的决策,因为这将实现净收益的增加。

2)当边际成本 = 边际收益时,企业实现利润最大化,企业的资源配置达到了最优状态,符合帕累托最优原则。当然,在这一点并不一定代表生态环境效益也达到最大,还需综合考量生态效益与经济效益的平衡。

3)当边际成本 > 边际收益时,企业应慎重考虑是否继续增加投入,以避免资源浪费或成本攀升。此时,有必要重新审视并调整环境保护与治理的策略和思路,细致分析存在的薄弱环节,并重新规划资金的有效投放方向。

## 3 资源开发与环境保护平衡体系对综合效益的影响

绿色矿山建设的投入应当遵循边际效益与边际成本均衡的原则,对项目及工程的目标与实施规模进行审慎评估与科学决策。在这一过程中,必须全面、综合地考量企业成本、能源消耗、资源或储量增长以及循环经济产品的开发等多重因素,以精准定位利润最大值点,并准确把握综合边际收益的变化

趋势<sup>[8]</sup>。

在绿色矿山建设的复杂体系中,资源平衡、能源平衡、碳平衡、水平衡、固废平衡等资源开发与生态环境平衡以及经济效益与生态效益的协调平衡,共同组成了一张紧密相连、既相互制约又相互促进的协同网络<sup>[9]</sup>。这张网络的核心纽带由多个关键要素构成,包括企业成本、能源消耗、资源或储量增长以及循环经济产品的开发。

从经济效益与生态效益和谐共生的角度出发,深入剖析这些要素之间的相互作用。以选矿回收率为例,当其提升时,虽然能够实现更多的矿产资源回收,但也会引发一系列连锁反应,例如,能源消耗量会随之增加,因为更高的回收率往往需要更多的能源投入;同时,碳排放量也会相应上升,对环境造成额外压力;此外,磨矿细度的提高意味着需要更多的水资源来维持矿浆的稳定性和流动性,以确保矿物颗粒的充分分散,这进一步提高了用水量;而固废资源化产品的利用方向也可能因磨矿细度的增加而受到限制。这些变化增加了企业的生产成本,但也可能带来经济效益的提升<sup>[10]</sup>。

图3进一步揭示了6个平衡与成本、能耗、资源量/储量、循环经济产品这些基本要素之间的复杂关系。由图3可知,任何一个生产要素的变化,都会引发资源平衡、能源平衡、碳平衡、水平衡、固废平衡、土地平衡的波动,进而影响到资源开发与生态环境之间的协调水平。因此,在绿色矿山建设中,必须综合考虑各个要素和平衡之间的关系,寻求最佳的平衡点,以实现经济效益与生态效益的双赢。

总之,绿色矿山建设的复杂系统要求在追求经济效益的同时,充分考虑生态效益,在优化各个生产要素和各平衡之间关系的同时,通过以下几个角度着手构建一张既高效又可持续的协同网络。

1)资源平衡对其他平衡和综合效益要素的影响:实现资源平衡可能会影响能源平衡、碳平衡、固废平衡、土地平衡的平衡水平。在确保生态环境标准不降低的前提下,提高资源的“三率”及增加矿山资源量/储量等工作需细致评估给企业带来的固定成本增加、可变成本的变化、能耗波动以及废弃物产生总量等关键指标的变动,确保这些变化均维持在风险可控的范围之内。

2)能源平衡、碳平衡对其他平衡和综合效益要素的影响:实现能源平衡、碳平衡可能会影响资源平衡、土地平衡、水平衡的平衡水平。在不牺牲生态环

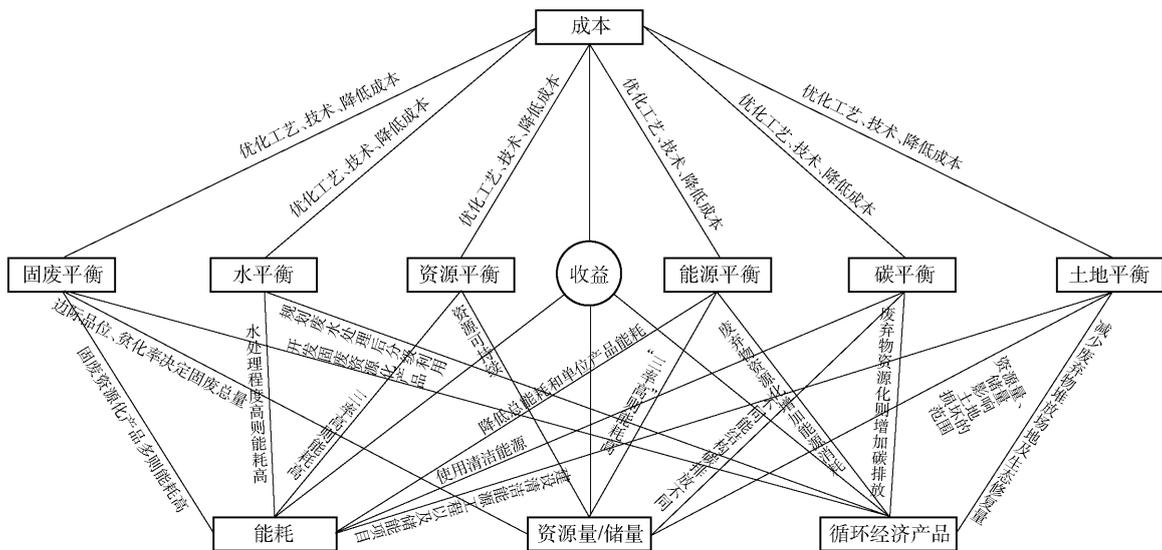


图3 6个平衡与基本要素的关系

境标准的前提下,降低能耗、推广清洁能源等需精心权衡生产成本变动的可接受性,确保在经济效益与环保目标之间找到最佳平衡点。

3) 水平衡对其他平衡和综合效益要素的影响:实现水平衡可能会影响能源平衡、碳平衡、能源平衡、固废平衡、土地平衡的平衡水平。在确保生态环境标准不降低的前提下,扩展水的资源化产品种类,需全面考量成本与能耗等关键因素的变动是否处于可接受的范围内,以实现水资源循环高效利用与环境保护的双赢局面。

4) 固废平衡对其他平衡和综合效益要素的影响:实现固废平衡可能会影响资源平衡、能源平衡、水平衡、土地平衡的平衡水平。在不降低生态环境标准的前提下,增加固废资源化产品的种类,需深入评估成本、能耗、碳排放、土地占用等核心要素的变动情况,确保这些变化保持在经济可行且环境可承受的范围之内,以推动固废资源的高效循环利用。

5) 土地平衡对其他平衡和综合效益要素的影响:实现固废平衡可能会影响资源平衡、能源平衡、碳平衡、水平衡、固废平衡的平衡水平。在确保生态环境标准不降低的基础上,提高土地复垦的质量水平,需综合考量成本、能耗以及资源/储量等因素的变动,确保这些变化处于经济合理且环境可持续的接受范围内,以实现土地资源的高效与可持续利用。

### 4 结论

绿色矿山建设是矿产资源开发与环境保护和谐共生的关键路径,强调在资源开发过程中实现经济

效益与生态效益的平衡。通过深入分析绿色矿山的综合收益基本要素,包括成本、能耗、资源量/储量以及循环经济产品量,揭示了绿色矿山建设的核心目标和实现途径。

边际成本与边际效益的分析进一步阐明绿色矿山建设中的经济决策,通过对比绿色矿山与传统矿山、大型矿山与小型矿山的边际收益与边际成本关系,指出绿色矿山在同等条件下具有更强的市场竞争力和盈利能力,这主要得益于其在生产工艺、废弃物排放及生态环境治理等方面的高标准。

资源开发过程中的边际收益与边际成本平衡,对于确保环境保护活动的经济可行性和生态环境的可持续发展至关重要。详细阐述了在绿色矿山建设的复杂系统中,6个平衡(资源平衡、碳平衡、能源平衡、水平衡、固废平衡、土地平衡)与核心要素(企业成本、能源消耗、资源量/储量、循环经济产品量)之间的相互作用机制,为实现绿色矿山建设综合收益最大化提供了理论基础。

最后,本文提出了针对6个平衡的优化策略,旨在确保生态环境得到有效保护的同时,精准实现经济效益与可持续发展的和谐共赢。这些策略为绿色矿山建设的实践提供了具体指导,有助于推动矿业向更加绿色、可持续的发展模式转型。

### [参考文献]

[1] 王亮, 邓久帅, 王若含. 绿色矿山科学内涵的演进与重构[J]. 绿色矿山, 2023, 1(1): 178 - 185.

[2] 吴海军, 王亮. 浅析绿色矿山建设关键点[J]. 采矿技术, 2023, 23(1): 202 - 204.

- [3] 王亮,王勇. 从生态环境修复角度浅析矿产资源开发与环境保护关系[J]. 绿色矿冶, 2023, 39(6): 68-73.
- [4] 王亮,胡婷婷,邓久帅. 绿色矿山评价指标实践研究[J]. 现代矿业, 2023, 39(1): 255-260.
- [5] 胡婷婷,王亮,邓久帅. 基于高质量发展的绿色矿山建设路径研究[J]. 现代矿业, 2022, 38(2): 246-248, 254.
- [6] 邓久帅,王亮,王若含. 绿色矿山资源与环境平衡体系研究:资源平衡篇[J]. 绿色矿山, 2024, 2(2): 130-135.
- [7] 吴海军,王亮. 小型绿色矿山建设浅析[J]. 现代矿业, 2022, 38(4): 222-224, 252.
- [8] 王亮,邓久帅,李文涛,等. 浅谈绿色矿山规划任务要点[J]. 绿色矿冶, 2024, 40(3): 20-25.
- [9] 王亮,王勇,那庆. 建设“一体五平衡”模式,推进绿色高质量矿山建设[J]. 有色金属(矿山部分), 2023, 75(3): 1-4.
- [10] 王亮,王勇. 从生态环境修复角度浅析矿产资源开发与环境保护关系[J]. 绿色矿冶, 2023, 39(6): 68-73.

## Green Mine Resource and Environmental Balance System: Study on the Coordination of Economic and Ecological Benefits

HAN Yu<sup>1</sup>, WANG Liang<sup>2</sup>, LI Wentiao<sup>1</sup>, WANG Ruohan<sup>1</sup>

(1. School of Chemical & Environmental Engineering, China University of Mining & Technology-Beijing, Beijing 100083, China;

2. Zhongguancun Green Mine Industry Alliance, Beijing 100089, China)

**Abstract:** In the process of mining resource development and environmental protection, exploring the optimal ratio of production investment to ecological investment is essential for maximizing the comprehensive benefits of mines. To find the balance point between economic benefits and ecological benefits, the paper analyzes the key elements of comprehensive benefits in green mines and their role in balancing economic benefits and ecological benefits, and studies the relationships between comprehensive benefits, marginal benefits, and marginal costs in green mines versus traditional mines, and between small mines and large mines, revealing the economic decision-making principles for green mine and highlighting its stronger market competitiveness and profitability compared to traditional mines. Furthermore, this paper elaborates on the interaction mechanism between six balances and comprehensive benefits elements in green mine construction, proposing optimization strategies to maximize comprehensive benefits. Overall, this paper provides theoretical support and practical guidance for green mine construction, promoting the transformation of the mining industry towards a greener and more sustainable development model.

**Key words:** green mines; resource and environmental balance; economic benefits; ecological benefits