基于层次分析法的中型铅锌矿山成本分析*

刘星言[1],张智宇[1],何艳梅[2,3,4]

(1.昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093;
2.长沙矿山研究院有限责任公司, 湖南 长沙 410012;
3.国家金属采矿工程技术研究中心, 湖南 长沙 410012;
4.湖南省矿山地质灾害防治与环境再造技术中心, 湖南 长沙 410012)

摘要:为做好矿山成本控制管理工作,引导企业降本增效,围绕完全成本构建成本目标体系,基于层次分析法(AHP)、统计分析方法、图表法、案例法对国内外4座中型铅锌矿的完全成本进行系统性的对比、分析和研究。结果表明:矿山完全成本控制应将采矿方法作为关注重点,完全成本占比由大到小依次为生产成本、税金及附加费、管理费用、营业费用、财务费用;矿山完全成本具有规模效应,规模越大,产品单位成本越低;对于同等生产规模矿山,国外矿山完全成本比国内高;对于中型铅锌矿山,铅完全成本在10 000~17 000元/t之间,锌完全成本在6 000~12 000元/t之间。研究结果可为铅锌矿山在实际生产中控制成本提供参考借鉴。

关键词:中型铅锌矿;完全成本;成本控制;层次分析法
中图分类号:F46 **文献标识码**:A **文章编号**:1005-2763(2026)09-0338-09

Cost Analysis of Medium-Sized Lead-Zinc Mines Based on Analytic Hierarchy Process

Liu Xingyan[1], *Zhang Zhiyu*[1], *He Yanmei*[2,3,4]

(1.Faculty of Land Resources Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650093, China;
2.Changsha Institute of Mining Research Co., Ltd., Changsha, Hunan 410012, China;
3.National Engineering Research Center for Metal Mining, Changsha, Hunan 410012, China;
4.Hunan Provincial Technology Center for Mine Geological Disaster Prevention and Control and Environmental Reconstruction, Changsha, Hunan 410012, China)

Abstract: To effectively manage and control mine costs and guide enterprises in reducing costs and increasing efficiency, a cost target system was established based on the complete cost. Using Analytic Hierarchy Process (AHP), statistical analysis, graphical methods and case studies, systematic comparison and analysis were conducted on the complete costs of four medium-sized lead-zinc mines both domestically and internationally. The following conclusions are drawn. Mining methods, development systems, and production scales are crucial for controlling complete cost of mines. The compositions of complete cost in descending order of proportion are production cost, taxes and surcharges, administrative expenses, operating expenses, and financial expenses. The complete cost of mines has a scale effect, the larger the production scale, the lower the unit cost. For projects of the same production scale, the complete cost of foreign mines is higher than that of domestic mines. For medium-sized lead-zinc mines, the complete cost of lead is in the range of 10 000 to 17 000 yuan/t, and the complete cost of zinc is in the range of 6 000 to 12 000 yuan/t. The research findings can provide a reference for cost control in the practical production of lead-zinc mines.

Key words: Medium-sized lead-zinc mine, Complete cost, Cost control, Analytic Hierarchy Process

1 研究背景及数据收集

1.1 研究背景

作为全球最大的矿产品生产、消费与贸易国,我国不断推进矿业绿色勘查开发及安全保障体系,通过科技创新赋能矿业转型,使矿产资源成为经济与社会高质量发展的基石。铅锌作为国民经济不可或缺的基础原材料,其战略意义不言而喻。这两种金

* **收稿日期**:2025-05-16
基金项目:国家自然科学基金资助项目(52064025);云南省重大科技项目(202202AG050014)
作者简介:刘星言(2001—),女,湖南郴州人,硕士研究生,主要从事金属矿床开采、工程经济等方面的研究。E-mail:1753264969@qq.com
通信作者:张智宇(1973—),男,广东韶关人,硕士,教授,主要从事工程爆破及岩石破碎等方面的研究工作。E-mail:924221851@qq.com

属元素在电器、机械、军事、冶金、化学、轻工和医药等诸多领域有着广泛的应用。我国铅锌矿资源总体丰富,综合储量位居世界第二,产量居世界第一[1],主要分布在广东、广西、湖南等地,总体特征是:富矿少,低品位矿多;大型矿少,中小型矿多;开采难度较大[2]。

铅锌矿山成本管理具有多方面的重要性,体现在经济效益、决策规划、资源利用等多个层面。成本优势是企业的核心竞争力之一,较低的成本意味着更高的利润空间,更强的价格竞争力、更好的抗风险能力,并能促进资源的高效利用和可持续发展。矿山具有特殊性,矿产资源蕴藏于地下,各矿山地质条件与开采环境各异,矿山的生产规模、开拓系统、采矿方法、选矿工艺、生产管理等各方面均与成本密切相关。完全成本包括生产成本、期间费用及税金三大部分,矿山完全成本是矿山生产成本加上企业所有的期间费用及税金,即完全成本=生产成本+期间费用(管理费用、销售费用及财务费用)+税金及附加费。不同于会计准则定义的完全成本,为全面呈现矿山开采成本,本文在生产成本和期间费用基础上,增加了税金及附加费[3]。在数据收集中,发现税金及附加费的占比并不低,在10%左右。本文以完全成本为成本目标,从成本构成等方面进行综合分析。

1.2 相关研究文献评述

近年来,国内外学者在矿山建设期间和生产过程的成本构成及控制,提升采选冶技术以降低采矿成本等方面开展了大量研究。

从矿山建设期间成本构成及控制看,张元琼[4]分析了矿山建设项目造价控制的重要性和关键环节,并指出了当前存在的主要问题。王崤吏[5]探讨了在矿山工程建设的各阶段如何加强投资和成本控制,以提高工程效益并推动社会经济的持续发展。张永辉[6]讨论了矿山工程建设投资及成本控制策略,强调了其在工程建设中的重要性。Nourali等[7]提出了一种基于支持向量回归模型的矿山资本支出估算方法,以提高矿山建设项目资本成本估算的准确性。Bertisen等[8]分析了63个国际矿业和冶炼项目,发现可行性研究中的资本成本估算普遍低估了实际建成成本,并探讨了其原因及持续性。Steve等[9]指出在加拿大偏远地区开发运营矿山的资本成本比基础设施完善的发达地区高16%,运营成本高37%,导致项目净现值为负、投资回收期延长且内部收益率显著降低。上述研究强调投资与成本控制应贯穿于矿山工程建设勘查、设计、施工全过程的投资与成本控制,但未关注矿山生产期间成本。

从矿山项目生产过程中的成本控制及管理看,张文娟[10]分析了企业成本管理方面存在的问题,并提出优化对策,以提升矿山经济效益。熊发志等[11]探讨了云南永昌铅锌股份有限公司在市场低迷和亏损压力下,通过强化内部管理和实施降本增效的策略,以及成功扭亏为盈的经过。杨功金[12]研究及实践了铅锌矿山成本精细化管理,通过建立成本目标体系和控制措施,实现了资源储量增加和成本降低的双重效益。江霞[13]从价值链视角出发,探讨了H矿业公司铅锌矿的成本管理优化,提出了相应的改进方案以提升竞争力。谢添[14]分析了矿山企业生产管理环节里成本控制的问题并提出相应措施,以实现降本增效目标。张娜[15]提出通过构建精细化管理体系,解决SY矿山公司成本管理粗放的问题,以实现降本增效目标。李国清等[16]提出了一种基于PCA-BP神经网络的地下金属矿山采矿成本预测模型。郑明贵等[17]通过PLS1模型分析发现,露天铁矿生产成本主要受采剥比和矿石品位的影响最大,其次是全员劳动生产率与电铲效率,电力单耗的影响最小。马国闻[18]提出金源黄金公司需通过精细化成本管理来解决生产成本上升的问题,以提升企业竞争力。尽管这些研究关注了矿山项目生产过程中的成本控制及管理,但未具体分析各影响因素对完全成本的影响程度。

从提升采选冶技术以降低矿产开发的成本看,李佩云等[19]探讨了拉诺玛铅锌矿通过优化井巷工程和采矿方法来降低采矿成本并缩短基建时间,从而提升矿山经济效益的策略。曾令义[20]通过优化采矿方法、建设充填系统、改进开拓运输系统和升级采矿装备等技术改造手段,显著降低了采矿成本并提高了企业的经济效益。柳晓娟等[21]以邢东煤矿为例,研究发现采用矸石充填开采技术可在2003—2021年间为企业额外带来24.61亿元经济效益,占其综合收益的23%,从而证明绿色矿山建设具备显著的内生经济动力。Malli[22]提出了一种基于矿山成本优化软件的露天矿最终深度优化模型,通过最大化单位矿石净现值确定最优开采深度。孙延庆[23]针对矿山企业在选矿环节的成本控制问题,提出了改进设备维护、优化磨矿工艺、控制药剂成本和增强环保意识等对策。雷金勇等[24]、潘菊芬[25]分别探讨了铅锌矿选矿废水重金属低成本处理方法及节水工艺,旨在降低处理成本、提高水资源利用效

率。李永玲[26]分析了铅锌冶炼企业实施预算管理制度的基础工作和路径。牛琴葳[27]探究了西北铅锌冶炼厂提升市场竞争力的策略,提出了通过提升资源能力、降低成本和技术创新来增强企业的市场竞争力。以上研究虽强调通过提升采选冶技术来降低采矿成本,但未使用定性与定量相结合的方法具体分析完全成本各影响因素的影响程度。

综上所述,现有的研究成果主要集中于矿山建设及生产期间成本管理方面[28],如:成本控制方法、投资和成本控制、资本成本、成本精细化管理、选矿环节控制成本、采矿方法优化控制等;而从完全成本这个角度出发的研究较少。在衡量企业综合成本时,完全成本是一个重要的参考指标。引入完全成本概念不再局限于单一的生产成本分析,而是更多元细致地划分成本构成单元,并将税金及期间费用作为重要影响因素纳入考量。同时,现有研究成果大多聚焦于企业自身的降本举措,缺乏对大多数类似铅锌矿的普适性推广研究,对企业推进降本增效工作及政府制定相关政策的参考价值较为有限。引入完全成本,能够全面有效地分析各因素对成本的影响,从而更清晰地认识成本构成,更精准地把握成本控制的关键。在选用采矿方法、开拓系统等主要成本影响因素时,应充分考虑到其在生产期间产生的生产、管理、维护等期间费用。这为矿山及政府对矿山成本的有效把控提供了更佳的依据。与现有研究不同,鉴于我国铅锌矿资源"富矿少,低品位矿多;大型矿少、中小型矿多"的总体特征,本文以 A、B、C、D 等 4 座中型铅锌矿山的成本数据为基础展开研究。本文数据来源于各矿山可行性研究报告,通过向矿山企业咨询获取单价,或基于设计单位测算的工程量结合价格数据库计算得出。这 4 座矿山涵盖了国内外不同地区,不同生产规模,采用不同生产方法,具有一定代表性。本研究从中型铅锌矿山开采全流程出发,按照成本内涵对完全成本、生产成本等开展研究,采用层次分析法(AHP)、统计分析方法、图表法、案例法,对 4 座典型中型铅锌矿山进行分析。在传统生产成本研究的基础上,将税金及期间费用纳入分析,得出各层指标权重。中型铅锌矿的成本控制与管理,既是保障企业生存发展的现实基石,又是推动矿业理论创新的关键支点,最终实现以有限资源穿越价格周期的可持续竞争力。

1.3 数据收集

本文选取 4 座具有不同地理位置与生产规模且采用不同的采矿方法、开拓系统及碎磨工艺的典型中型铅锌矿山作为代表开展研究。

(1) A 矿山简介。A 矿山位于湖南省中部,生产规模为 70×10^4 t/a;铅地质品位 3.39%,锌地质品位 3.82%;开采方式为地下开采,采矿方法为分条两步骤嗣后充填法、全面采矿嗣后充填法、上向水平分层充填法和分段凿岩分段出矿嗣后充填法;采用竖井(箕斗主井+罐笼副井)-斜坡道-斜井联合开拓运输系统;破碎及智能分选采用"原矿-洗矿分级-智能分选-破碎"工艺,磨矿工艺采用两段两闭路磨矿。A 矿山的完全成本分析详见表 1。

表 1 A 矿山完全成本分析

Table 1 Complete cost analysis of mine A

费用名称	单位成本/(元/t)	占比/%
生产成本	516.56	83.50
管理费用	35.00	5.66
财务费用	3.65	0.59
营业费用	12.26	1.98
税金及附加费	51.15	8.27
完全成本	618.62	100.00

注:表中数据来源于长沙矿山研究院有限责任公司。

(2) B 矿山简介。B 矿山位于蒙古人民共和国东北部,生产规模为 90×10^4 t/a;铅地质品位 1.57%,锌地质品位 2.87%;开采方式为地下开采,采矿方法为大直径深孔阶段空场嗣后充填法、浅孔留矿嗣后充填法和分段凿岩阶段空场法;采用斜坡道开拓。B 矿山的完全成本分析详见表 2。

表 2 B 矿山完全成本分析

Table 2 Complete cost analysis of mine B

费用名称	单位成本/(元/t)	占比/%
生产成本	300.25	71.71
管理费用	33.94	8.11
财务费用	0.30	0.07
营业费用	28.64	6.84
税金及附加费	55.57	13.27
完全成本	418.70	100.00

注:表中数据来源于长沙矿山研究院有限责任公司。

(3) C 矿山简介。C 矿山位于江西省北部,生产规模为 90×10^4 t/a;铅地质品位 1.22%,锌地质品位 1.91%;开采方式为地下开采,采矿方法为盘区式铲运机出矿房柱嗣后充填采矿法、电耙出矿房柱嗣后充填采矿法、全面嗣后充填采矿法;采用平硐+辅助斜坡道开拓系统;碎磨工艺方案为粗碎+半自磨+球磨工艺流程。C 矿山的完全成本分析详见表 3。

表 3 C 矿山完全成本分析

Table 3 Complete cost analysis of mine C

费用名称	单位成本/(元/t)	占比/%
生产成本	237.53	86.32
管理费用	14.57	5.29
财务费用	5.42	1.97
营业费用	2.89	1.05
税金及附加费	14.78	5.37
完全成本	275.19	100.00

注:表中数据来源于中国瑞林工程技术股份有限公司。

(4) D 矿山简介。D 矿山位于湖南省北部,生产规模为 60×10^4 t/a;铅地质品位 2.15%,锌地质品位 2.70%;开采方式为地下开采,采矿方法为平底结构浅孔留矿法;采用混合主井+罐笼副井+东盲斜井开拓;破碎采用一段破碎工艺,磨矿工艺采用半自磨+球磨闭路磨矿。D 矿山的完全成本分析详见表 4。

表 4 D 矿山完全成本分析

Table 4 Complete cost analysis of mine D

费用名称	单位成本/(元/t)	占比/%
生产成本	331.21	79.95
管理费用	37.10	8.96
财务费用	8.29	2.00
营业费用	6.88	1.66
税金及附加费	30.77	7.43
完全成本	414.24	100.00

注:表中数据来源于长沙矿山研究院有限责任公司。

4 座矿山的完全成本在 275~620 元/t 之间,完全成本相差较大,因此需对完全成本的影响因素进行分析。

2 研究方法

2.1 层次分析法

层次分析法(AHP)是一种针对复杂多准则决策问题的系统性层次化分析方法,旨在为这类问题提供有效的决策支持。该方法将问题分解为目标层、准则层与方案层的层次结构,借助成对比较矩阵量化各因素的相对重要性,然后算出各方案的权重排序,为决策提供科学依据。层次分析结合了定性与定量分析,适用于多个目标和准则的复杂决策场景。

结合 A、B、C、D 4 座矿山的研究背景,为了找出影响矿山完全成本差异的因素,建立了 AHP 模型。该模型中,影响因素权重越大,对矿山完全成本的影响也越大。

2.2 构建矿山安全成本评价体系

构建矿山完全成本与影响因素的多维度评价指标体系,能定量和定性分析完全成本的综合表现。生产规模决定了资源开采的总体需求,直接影响固定成本的分摊比例和单位成本的高低;开拓系统的效率和设计直接影响运输成本和初期投资规模,进而影响完全成本的构成;采矿方法的选择决定了资源回采率和开采效率,直接影响生产成本和资源利用率;磨矿工艺的效率和能耗水平决定了矿石加工的单位成本;破碎工艺的效率和设备运行成本决定了矿石初始处理阶段的成本,直接影响后续加工环节的成本分摊。

图 1 为矿山完全成本的评价体系。从图 1 可以看出,矿山完全成本评价指标体系一共分为三层。最上层矿山完全成本综合评价 A 为目标层;中间层为准则层,划分为磨矿工艺 B_1、开拓系统 B_2、破碎工艺 B_3、生产规模 B_4、采矿方法 B_5 共 5 个指标;最下层为方案层,包括了 24 个评价指标。

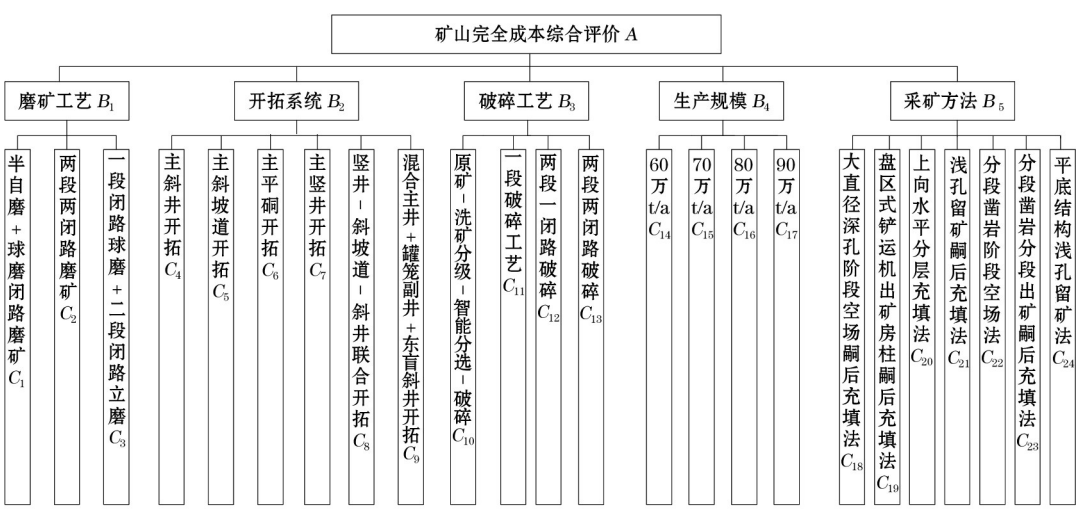


图 1 矿山完全成本的评价体系

Fig.1 Evaluation system for complete cost of mines

2.3 构建判断矩阵及一致性检验

使用1～9的比例标度对准则层中的要素进行评分。其中,数值1代表两个准则的相对重要性相同,数值9表示一个准则相较另一个准则的重要性极大,详见表5。

表5 比例标度的定义

Table 5 The definition of proportional scale

标度	定义与说明
1	两元素对某个属性相对重要性相同
3	该元素较另一元素重要性略微靠前
5	该元素较另一元素重要性明显靠前
7	该元素较另一元素重要性显著靠前
9	该元素较另一元素重要性极度靠前
2、4、6、8	标准之间折中时的标度
$1/b_{ij}$	两个元素的反比较

在单个准则下确定元素的相对权重时,关键在于解决 n 个元素 B_1、…、B_n 在给定准则 A_k 下的排序权重计算问题。面对 n 个元素 B_1 至 B_n,通过成对比较构建判断矩阵 $\boldsymbol{U}$,后求解特征值方程 $\boldsymbol{U}_{\mathrm{W}}=\lambda_{\max}\boldsymbol{W}$。解得的向量 $\boldsymbol{W}$ 经归一化处理后,即可作为各元素在准则 A、B_1、B_2、B_3、B_4、B_5 下的排序权重。

通过德尔菲法(Delphi Method)将上述的评价指标层分析模型、评分方法及相关的矿山生产资料、成本数据(涵盖税金及期间费用)发送至业内专家,由他们在传统生产成本的基础上充分考虑各因素所产生的期间费用对成本的影响,并对不同层级先独立做出判断评分,汇总专家初步判断结果后,再将统计分析后的结果反馈给专家,由他们再次调整判断,经重复3次后得出判断矩阵。

矿山完全成本的综合评价矩阵为:

$$\boldsymbol{U}_A=\begin{bmatrix}1 & 1/9 & 1/2 & 1/8 & 1/7\\ 9 & 1 & 8 & 1 & 1\\ 2 & 1/8 & 1 & 1/5 & 1/5\\ 8 & 1 & 5 & 1 & 1/2\\ 7 & 1 & 5 & 2 & 1\end{bmatrix}$$

磨矿工艺矩阵为:

$$\boldsymbol{U}_{B_1}=\begin{bmatrix}1 & 2 & 1/2\\ 1/2 & 1 & 1/2\\ 2 & 2 & 1\end{bmatrix}$$

开拓系统矩阵为:

$$\boldsymbol{U}_{B_2}=\begin{bmatrix}1 & 1/2 & 1/4 & 1/2 & 1/3 & 1/4\\ 2 & 1 & 1/3 & 1/2 & 1/2 & 1/4\\ 4 & 3 & 1 & 4 & 2 & 1\\ 2 & 2 & 1/4 & 1 & 1/2 & 1/3\\ 3 & 2 & 1/2 & 2 & 1 & 1/2\\ 4 & 4 & 1 & 3 & 2 & 1\end{bmatrix}$$

破碎工艺矩阵为:

$$\boldsymbol{U}_{B_3}=\begin{bmatrix}1 & 1 & 3 & 4\\ 1 & 1 & 2 & 3\\ 1/3 & 1/2 & 1 & 2\\ 1/4 & 1/3 & 1/2 & 1\end{bmatrix}$$

生产规模矩阵为:

$$\boldsymbol{U}_{B_4}=\begin{bmatrix}1 & 3 & 2 & 1\\ 1/3 & 1 & 2 & 1/2\\ 1/2 & 1/2 & 1 & 1/3\\ 1 & 2 & 3 & 1\end{bmatrix}$$

采矿方法矩阵为:

$$\boldsymbol{U}_{B_5}=\begin{bmatrix}1 & 3 & 1/2 & 2 & 3 & 3 & 4\\ 1/3 & 1 & 1/4 & 1/2 & 1/3 & 1/2 & 1/2\\ 2 & 4 & 1 & 3 & 3 & 4 & 4\\ 1/2 & 2 & 1/3 & 1 & 2 & 2 & 2\\ 1/3 & 3 & 1/3 & 1/2 & 1 & 1/2 & 2\\ 1/3 & 2 & 1/4 & 1/2 & 2 & 1 & 3\\ 1/3 & 2 & 1/4 & 1/2 & 1/2 & 1/3 & 1\end{bmatrix}$$

由上式得到各因素的权重向量:

$\boldsymbol{W}_A=[0.035\ 2\quad 0.327\ 1\quad 0.056\ 1\quad 0.253\ 8\quad 0.327\ 8]$

$\boldsymbol{W}_{B_1}=[0.311\ 9\quad 0.197\ 6\quad 0.490\ 5]$

$\boldsymbol{W}_{B_2}=[0.058\ 4\quad 0.084\ 1\quad 0.294\ 9\quad 0.105\ 0\quad 0.164\ 5\quad 0.293\ 1]$

$\boldsymbol{W}_{B_3}=[0.400\ 4\quad 0.336\ 9\quad 0.164\ 8\quad 0.097\ 8]$

$\boldsymbol{W}_{B_4}=[0.354\ 4\quad 0.174\ 5\quad 0.124\ 0\quad 0.347\ 1]$

$\boldsymbol{W}_{B_5}=[0.224\ 2\quad 0.054\ 3\quad 0.317\ 6\quad 0.132\ 7\quad 0.096\ 2\quad 0.110\ 7\quad 0.064\ 4]$

为检验矩阵的一致性,需确定其一致性比率 CR,该比率由一致性指标 CI 与随机一致性指标 RI 共同确定,计算公式如下:

$$CI=\frac{\lambda_{\max}-n}{n-1}$$

$$CR=\frac{CI}{RI}$$

式中:$\lambda_{\max}$为矩阵的最大特征值;n 为比较因素数量。

一致性规定为:若 *CR* 值不超过 0.1,则两两比较矩阵的一性致可被接受;反之则矩阵一致性较差,需重新进行比较与判断。*RI* 的取值见表 6。

表 6 随机一致性指标 *RI* 取值

Table 6 The value of random consistency index *RI*

n	*RI*	*n*	*RI*
1	0.00	5	1.12
2	0.00	6	1.24
3	0.58	7	1.31
4	0.90		

经计算,得出 *CR*=[0.020 3,0.037 2,0.047 6,0.044 4,0.011 6,0.072 3]。

经一致性检验,各矩阵的权重向量均符合一致性标准(*CR* 值小于 0.1),表明判断矩阵具有合理性。

2.4 层次总排序

表 7 是经计算得到的矿山完全成本的评价指标权重。采矿方法指标的权重达到 0.327 8,高于开拓系统(0.327 1)、生产规模(0.253 8)、破碎工艺(0.056 1)和磨矿工艺(0.035 2)。

表 7 矿山完全成本的评价指标各权重

Table 7 The weights of evaluation indexes for the complete cost of mines

准则层	权重	方案层	权重
磨矿工艺	0.035 2	半自磨+球磨闭路磨矿	0.311 9
		两段两闭路磨矿	0.197 6
		一段闭路球磨+二段闭路立磨	0.490 5
开拓系统	0.327 1	主斜井开拓	0.058 4
		主斜坡道开拓	0.084 1
		主平硐开拓	0.294 9
		主竖井开拓	0.105 0
		竖井-斜坡道-斜井联合开拓	0.164 5
		混合主井+罐笼副井+东盲斜井开拓	0.293 1
破碎工艺	0.056 1	原矿-洗矿分级-智能分选-破碎	0.400 4
		一段破碎工艺	0.336 9
		两段一闭路破碎	0.164 8
		两段两闭路破碎	0.097 8
生产规模	0.253 8	60 万 t/a	0.347 1
		70 万 t/a	0.124 0
		80 万 t/a	0.174 5
		90 万 t/a	0.354 4
采矿方法	0.327 8	大直径深孔阶段空场嗣后充填法	0.224 2
		盘区式铲运机出矿房柱嗣后充填法	0.054 3
		上向水平分层充填法	0.317 6
		浅孔留矿嗣后充填法	0.132 7
		分段凿岩阶段空场法	0.096 2
		分段凿岩分段出矿嗣后充填法	0.110 7
		平底结构浅孔留矿法	0.064 4

综合上述结果,将方案层相对于目标层的权重进行层次总排序,并进行归一化处理,图 2 为目标权重分布。

权重越大,对矿山完全成本的影响越大。在图 2 中可以直观看出上向水平分层填充法、大直径深孔阶段空场嗣后填充法(采矿方法),主平硐开拓、混合主井+罐笼副井+东盲斜井开拓(开拓系统),60 万 t/a、90 万 t/a(生产规模)所占权重值较大,因此在矿山完全成本管理过程中,应将采矿方法、开拓系统和生产规模作为重点。

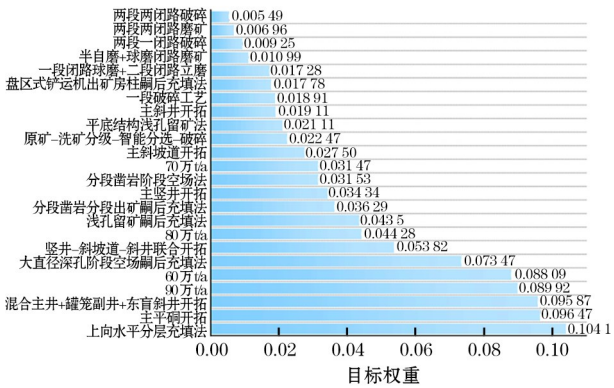


图 2 目标权重分布

Fig.2 Distribution of target weight

3 实例研究

3.1 矿山完全成本对比及关键因素分析

基于 AHP 模型确定的权重,并结合 4 座矿山的具体数据,对完全成本差异进行系统性解析。各矿山完全成本由高至低依次为:A 矿山(618.62 元/t)、B 矿山(418.70 元/t)、D 矿山(414.24 元/t)、C 矿山(275.19 元/t),详见图 3。

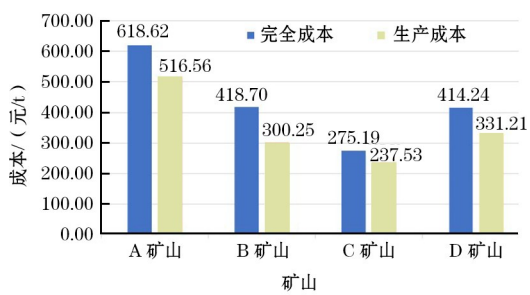


图 3 各矿山成本对比

Fig.3 Cost comparison of various mines

A 矿山成本最高,主要是采矿方法与开拓系统高权重叠加效应所致。该矿山采用 4 种复杂采矿方法,其对应综合权重为 0.110 7~0.317 6,采矿成本

高达 276.75 元/t,占生产成本 53.6%;采用竖井-斜坡道-斜井联合开拓(权重 0.164 5),运输距离远、自动化程度低,二次转运环节增加运输成本;两段两闭路磨矿工艺(权重 0.097 8)能耗高,且智能分选工艺(权重 0.400 4)初期投资大,进一步推高了生产成本。

B 矿山(国外项目)成本劣势为国外项目高税费。该矿山 90 万 t/a 生产规模(权重 0.354 4)虽有助于降低单位固定成本,但作为国外项目,税金及附加费高达 55.57 元/t,主要源于资源补偿费费率与国内矿山资源税税率的显著差异,江西某矿山铅、锌资源税税率为营业收入的 3.5%,而国外矿山资源补偿费费率为营业收入的 14.65%;采用大直径深孔阶段空场嗣后充填法(权重 0.224 2)开采时,深孔爆破效率高,对节省采矿成本有一定影响;此外,矿山交通位置不便、各种辅助材料价格高,矿业所需配套电力、燃料动力等供应短缺,当地原辅助材料需从国内调运,如当地水泥价格高达 1 200 元/t,而国内仅为 500~600 元/t,国内外价格差异显著。

C 矿山成本最低,归因于生产规模与高效开拓系统协同作用。90 万 t/a 生产规模(权重 0.354 4)有效摊薄固定成本,矿山完全成本仅 275.19 元/t;该矿山采用主平硐开拓(权重 0.294 9),利用低成本有轨运输,运输效率高,管理费用占比仅 5.29%;硫化矿易选且磨矿能耗低,使得选矿成本较其他矿山减少 30%~40%。

D 矿山成本居中,受采矿方法简化与复杂开拓系统综合影响。该矿山采用平底结构浅孔留矿法(权重 0.064 4),无需充填材料,人工成本占比降低;混合主井+罐笼副井+东盲斜井开拓系统(权重 0.293 1)虽复杂,但自动化提升系统的运输效率高。

综合来看,C 矿山税金及期间费用占完全成本比例最低,而 B 矿山的这一占比最高。C 矿山由于生产规模大、开拓系统成本低、效率高,使得其生产期间费用在高规模的生产条件下更低。而 B 矿山的国外税金高,所需原辅助材料成本较国内也高,导致其税金及期间费用占比更高。

3.2 铅锌金属完全成本范围

A 矿山、B 矿山、C 矿山和 D 矿山的铅完全成本分别为 12 872.40 元/t、16 923.18 元/t、14 992.07 元/t 和 10 363.39 元/t;锌完全成本分别为 6 798.72 元/t、11 034.59 元/t、9 613.90 元/t 和 11 065.48 元/t,详见图 4。

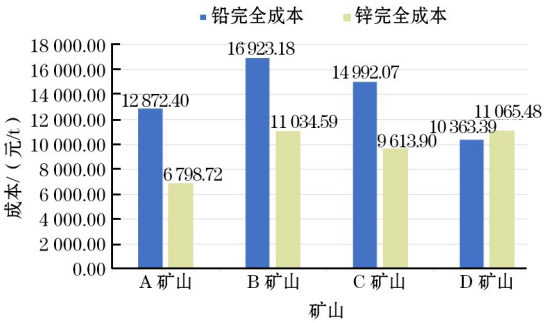


图 4 铅、锌完全成本对比

Fig.4 Complete cost comparison of lead and zinc

经分析整理,铅完全成本范围为 10 000~17 000元/t,锌完全成本范围为 6 000~12 000 元/t。铅、锌完全成本差异显著,受采矿方法权重影响最大。例如,A 矿山采用上向水平分层充填法(权重 0.317 6),其采矿效率低且需多步骤充填,人工成本占采矿成本的 50.29%(139.19 元/t),其铅完全成本升至 12 872.40 元/t;D 矿山采用平底结构浅孔留矿法(权重 0.064 4),工艺简化且无需充填材料,人工成本仅占采矿成本的 20%(66.24 元/t),其铅完全成本仅 10 363.39 元/t;C 矿山虽采矿方法权重较低(盘区式铲运机出矿房柱嗣后充填法,权重 0.054 3),但 90 万 t/a 生产规模(权重 0.467 2)摊薄固定成本,铅成本维持在14 992.07元/t,验证了生产规模与采矿方法的综合影响。

3.3 对比分析总结

(1) 采矿方法为核心因素,采用复杂方法(如 A 矿山)直接导致人工与材料成本显著增加;

(2) 生产规模效应需结合区位特征考量,国外项目虽规模大,但高税费、当地原辅助材料价格高,抵消成本优势;

(3) 开拓系统效率具有优先性,如主平硐开拓(C 矿山)较竖井联合系统(A 矿山)节省运输成本。

4 结论

矿产资源是支撑经济社会发展的关键物质资源,矿产勘查与开发关系着国计民生,对于维护国家安全具有重要意义。基于 4 座矿山的完全成本对比分析,得出以下主要结论。

(1) 矿山完全成本控制应重点关注采矿方法,其次为开拓系统、生产规模、破碎工艺、磨矿工艺。

(2) 影响矿山完全成本的关键因素按权重从大到小排序依次为:上向水平分层充填法、主平硐开拓、混合主井+罐笼副井+东盲斜井开拓、90 万 t/a、

60 万 t/a、大直径深孔阶段空场嗣后充填法、竖井-斜坡道-斜井联合开拓、80 万 t/a、浅孔留矿嗣后充填法等。

(3) 生产成本在完全成本中占比最大,在 70%～90%之间,是矿山成本控制的重点。其次为税金及附加费、管理费用、营业费用、财务费用。

(4) 生产规模效益显著,矿山规模的扩大可以实现规模经济。一般情况下生产规模越大,单位成本越低,如:C 矿山、D 矿山生产规模 90 万 t/a,生产规模大,完全成本较低。此外,同等规模的国外矿山的完全成本高于国内矿山。

(5) 对于中型铅锌矿山,铅完全成本在 10 000～17 000 元/t 之间,锌完全成本在 6 000～12 000 元/t 之间。此数据可以为类似中型铅锌矿山制定产品价格提供参考。

参考文献(References):

[1] 周小康,李维成,董王仓,等.陕西省铅锌矿资源特征及时空分布规律概论[J].西北地质,2020,53(3):127-139.
Zhou Xiaokang, Li Weicheng, Dong Wangcang, et al. A preliminary study of the characteristics of lead-zinc deposits in Shaanxi Province and their distribution laws [J]. Northwestern Geology,2020,53(3):127-139.

[2] 夏丛,张志伟,杨珺婷,等.2024 年我国铅锌资源发展趋势及展望[J].中国矿业,2025,34(4):153-162.
Xia Cong, Zhang Zhiwei, Yang Junting, et al. Development trends of China's lead-zinc resources in 2024 and prospect [J]. China Mining Magazine,2025,34(4):153-162.

[3] 王庆.准确把握油气开采成本内涵多措并举力促降本增效:基于油气开采成本调查数据的分析[J].价格理论与实践,2022(6):82-85+193.
Wang Qing. Accurately grasp the connotation of oil and gas exploitation costs, take multiple measures and promote cost reduction and efficiency increase: based on oil and gas extraction cost survey[J]. Price: Theory & Practice,2022(6):82-85+193.

[4] 张元琼.矿山建设项目造价控制管理方法探讨[J].世界有色金属,2020(10):202-203.
Zhang Yuanqiong. Discussion on the cost control management method of mine construction project[J]. World Nonferrous Metals,2020(10):202-203.

[5] 王崤吏.谈矿山工程建设投资及成本控制[J].世界有色金属,2019(7):197+199.
Wang Xiaoli. On investment and cost control of mine engineering construction[J]. World Nonferrous Metals,2019(7):197+199.

[6] 张永辉.谈矿山工程建设投资及成本控制[J].科技风,2020(20):114.
Zhang Yonghui. Discussing investment and cost control in mine engineering construction[J]. Technology Wind,2020(20):114.

[7] Nourali H, Osanloo M. Mining capital cost estimation using Support Vector Regression (SVR)[J]. Resources Policy,2019,62:527-540.

[8] Bertisen J, Davis A G. Bias and error in mine project capital cost estimation[J]. The Engineering Economist,2008,53(2):118-139.

[9] Steve Mohr, Damien Giurco, Monique Retamal. Global projection of lead-zinc supply from known resources[J]. Resources,2018,7(1):17.

[10] 张文娟.强化成本管理以提高矿山经济效益[J].西部探矿工程,2023,35(4):203-206.
Zhang Wenjuan. Strengthen cost management to improve mine economic benefits [J]. West-china Exploration Engineering,2023,35(4):203-206.

[11] 熊发志,张家毕,赵永航.永昌铅锌走降本增效之路[J].中国有色金属,2015(8):66-67.
Xiong Fazhi, Zhang Jiabi, Zhao Yonghang. Yongchang lead-zinc's path to reducing costs and increasing efficiency[J]. China Nonferrous Metals,2015(8):66-67.

[12] 杨功金.铅锌矿山成本精细化管理研究与实践[J].矿业研究与开发,2022,42(4):193-198.
Yang Gongjin. Research and practice of cost fine management in lead-zinc mines[J]. Mining Research and Development,2022,42(4):193-198.

[13] 江霞.基于价值链视角的 H 矿业公司成本管理优化研究[D].长沙:湖南大学,2023.
Jiang Xia. Research on cost management optimization of H mining company based on value chain perspective[D]. Changsha: Hunan University,2023.

[14] 谢添.浅析矿山企业生产管理中的成本控制[J].矿冶工程,2020,40(2):154-157.
Xie Tian. Cost control analysis of production management for mining enterprises [J]. Mining and Metallurgical Engineering,2020,40(2):154-157.

[15] 张娜.SY 矿山公司成本精细化管理研究[D].天津:河北工业大学,2020.
Zhang Na. Study on the cost refinement management of SY mining company [D]. Tianjing: Hebei University of Technology,2020.

[16] 李国清,吴炳书,侯杰,等.地下金属矿山采矿成本预测模型[J].金属矿山,2022(5):62-69.
Li Guoqing, Wu Bingshu, Hou Jie, et al. Mining cost prediction model for underground metal mine[J]. Metal Mine,2022(5):62-69.

[17] 郑明贵,蔡嗣经,王文潇,等.基于 PLS1 模型的露天铁矿生产成本影响因素分析[J].矿业研究与开发,2010,30(6):106-108.
Zheng Minggui, Cai Sitng, Wang Wenxiao, et al. Analysis on the factors influencing the production cost of open-pit iron mine based on PLS1 model[J]. Mining Research and Development,2010,30(6):106-108.

[18] 马国闻.金源黄金公司生产成本精细化管理研究[D].石河子:石河子大学,2022.

Ma Guowen. Research on fine management of production cost in Jinyuan gold company [D]. Shihezi: Shihezi University,2022.

[19] 李佩云,李族文,王志刚.优化采矿方法降低采矿成本:浅论拉诺玛铅锌矿井巷工程与采矿方法优化组合,降低采矿成本方案[J].山东煤炭科技,2010(1):34-35.
Li Peiyun, Li Zhuwen, Wang Zhigang. Optimization of mining method to reduce mining costs:on Lanoma lead-zinc mine roadway engineering and optimization of mining method to reduce the mining cost of the program [J]. Shangdong Coal Science and Technology,2010(1):34-35.

[20] 曾令义.乌兰铅锌矿产能提升技改系统优化设计与实践[J].矿业研究与开发,2023,43(9):7-11.
Zeng Lingyi. Optimization design and practice of technical transformation system for capacity expansion in Ullan lead-zine mine[J]. Mining Research and Development, 2023,43(9):7-11.

[21] 柳晓娟,侯华丽,武强,等.绿色矿山经济效益核算理论与实证:以矿井充填开采技术为例[J].中国矿业,2022,31(9):61-67.
Liu Xiaojuan, Hou Huali, Wu Qiang, et al. Theory and empirical study on green mine economic benefit accounting: taking the filling mining technology of coal mine as an example[J]. China Mining Magazine,2022,31(9):61-67.

[22] Malli Tahir. Final depth optimization in open pit mine planning by using mine cost optimization software [J]. Madencilik,2017,56(3):89-97.

[23] 孙延庆.铅锌矿企业选矿环节成本控制研究[J].现代营销,2024(3):134-136.
Sun Yanqing. Cost control in the ore dressing process of lead-zinc mining enterprises [J]. Marketing Management Review,2024(3):134-136.

[24] 雷金勇,王利国,黄伟,等.铅锌矿选矿废水的节水工艺与重金属的低成本处理技术[J].资源节约与环保,2016(6):64-65.
Lei Jinyong, Wang Liguo, Huang Wei, et al. Analysis on water-saving technology and low-cost treatment technology of heavy metals for lead-zinc mine beneficiation wastewater [J].Resources Economization & Environmental Protection, 2016(6):64-65.

[25] 潘菊芬.铅锌矿选矿废水的节水工艺与重金属的低成本处理技术分析[J].世界有色金属,2018(5):24-25.
Pan Jufen. Analysis on water-saving technology and low-cost treatment technology of heavy metals for lead-zinc mine beneficiation wastewater[J]. World Nonferrous Metals,2018(5):24-25.

[26] 李永玲.浅析铅锌冶炼预算管理制度的路径选择[J].世界有色金属,2017(10):260+262.
Li Yongling. Analysis of the path selection of lead zinc smelting budget management system [J]. Mining and Metallurgical Engineering, 2017(10):260+262.

[27] 牛琴葳.西北铅锌冶炼厂市场竞争力提升策略研究[D].兰州:兰州大学,2020.
Niu Chenwei. Research on the promotion strategy of market competence of BNMC zinc smelter factory[D]. Lanzhou: Lanzhou University,2020.

[28] 冯诚,潘冬,何艳梅.基于AHP与风险矩阵模型的钨矿改扩建项目风险分析[J].矿业研究与开发,2020,40(10):178-182.
Feng Cheng, Pan Dong, He Yanmei. Risk analysis on a reconstruction and expansion project of a mine based on AHP and risk matrix mode [J]. Mining Research and Development,2020,40(10):178-182.