

利润折现法比选矿山运输方式

樊志刚

中冶沈勘工程技术有限公司, 辽宁 沈阳

收稿日期: 2025年9月9日; 录用日期: 2025年10月20日; 发布日期: 2025年11月10日

摘 要

为了对矿山运输进行科学合理的比选决策, 针对矿山运输方式比选参与比选指标多、技术经济指标不易反映到同一维度, 参与比选的方案不易甄别等问题, 进行了比选方法研究。采用利润折现法把所有备选方案中的建设投资、年运营费、方案带来的直接收益等因素综合考量, 并叠加以各方案投资和收益的资金时间价值, 得到参与比选各方案在一定年限内的总利润折现值, 其值最高者为最优方案。利润折现法为矿山运输方式比较和甄选构建了一套全新的评价体系, 把难以甄别的不同方案反映到同一维度形成差异化并直观区别显现出来, 为决策者提供可衡量的尺度。采用利润折现法充分考虑了参与比较各方案投资、运营费和收益的资金时间价值效应, 所得到的比选结果更客观真实。

关键词

利润折现, 矿山运输, 运输方式, 皮带机运输, 全汽车运输, 联合运输, 铁路运输

Comparison of Ore Concentration Transportation Methods Using Profit Discount Method

Zhigang Fan

Shenkan Engineering & Technology Co., Ltd., MCC Group, Shenyang Liaoning

Received: September 9, 2025; accepted: October 20, 2025; published: November 10, 2025

Abstract

To make scientifically sound decisions in selecting the most suitable mine transportation method, a comparative evaluation methodology was developed to address challenges such as the multiplicity of evaluation criteria, the difficulty of aligning technical and economic indicators within a unified framework, and the complexity of distinguishing among competing alternatives. The Profit Discounting Method was employed to integrate key factors from each candidate option—including

capital investment, annual operating costs, and direct economic benefits—while accounting for the time value of money associated with both investments and returns. This approach yields a total discounted profit value for each alternative over a defined time horizon, with the highest value indicating the optimal choice. By establishing a novel evaluation system for mine transportation comparisons, the Profit Discounting Method translates previously incomparable alternatives into a unified metric that highlights their differences in an intuitive manner, providing decision-makers with a quantifiable basis for selection. Furthermore, by fully incorporating the time value of money across investment, operational, and revenue components, this method delivers more objective and realistic comparison outcomes.

Keywords

Profit Discounting, Mine Transportation, Mode of Transportation, Belt Conveyor Transportation, Truck Transportation, Combined Transportation, Railway Transportation

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

某红土镍矿矿区和冶炼厂位于印度尼西亚东南苏拉威西省，共属于印尼某镍业集团，矿区位于冶炼厂厂区的西部，两者直线距离约 30 km，矿区年产红土镍矿 700 万 t，直接运往冶炼厂加工。从工厂通往矿山的道路已经修建好，为双车道路面，目前运输矿石的车辆利用现有道路。目前矿山和冶炼厂已经投产，投产期矿石运量为 300 万 t/a。投产以后，矿山采矿规模逐年增大，所需要的运输车辆需要逐年增多。30 多公里的汽车运输已经远远超过了汽车运输的经济合理运距，单一汽车运输方式已经不适合这种长距离运输了，需要考虑重新确定合适的运输方式和运输方式。根据现状生产条件，可行的运输方式大概有如下几种：汽车运输、铁路运输、皮带机运输和联合运输[1]-[3]。图 1 绘出各种运输方式平面路由图。每种运输方式都有其优缺点，比如汽车运输方式投资最省，但运费过高；铁路、皮带机及联合运输方式运费低而投资大、建设周期长。要想比选出最经济合理的运输方式和运输方式，必须先确定一个最合理的比较方法。

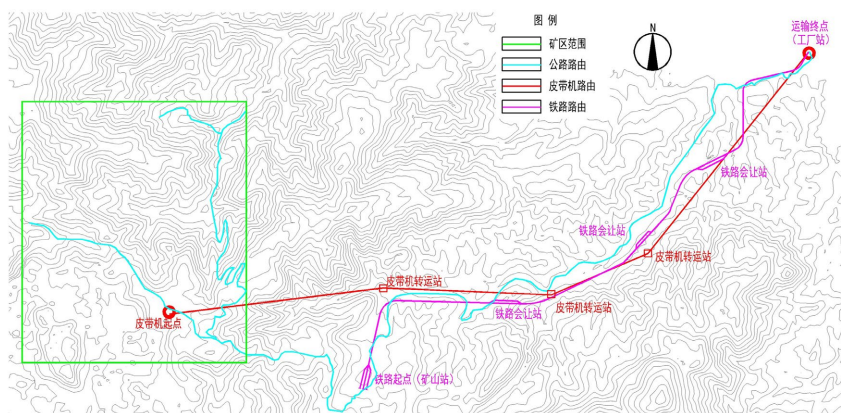


Figure 1. Plan view of various transportation routes

图 1. 各种运输方式平面路由图

在实际应用中, 运输方式比选常用的方法有多种[4]-[25], 详见表 1。表 1 列举的前 6 种运输方式比选方法都有一个最大的共性的问题: 仅从静态考虑方案的合理性, 没有考虑资金时间价值, 不能从矿山开采全生命周期总体考虑运输方式的经济合理性[4]。而折现总成本法考虑了资金的时间价值, 能动态计算投入资金和运营成本, 但没有考虑每种方案能够带来的收益[4]。采用表 1 中的各种比选方法都不能把项目所推荐的几种运输方式的差异化充分体现出来, 难以区别每种方案的技术经济指标的优劣, 让决策者仍然无从做出合理选择。

Table 1. Comparison and analysis of commonly used methods for evaluating transportation modes and their advantages and disadvantages

表 1. 运输方式比选常用的方法及其优缺点分析表

方法名称	优点	缺点
定性分析法	简单易行, 能够快速对方案进行初步筛选[6] [8] [9]	仅限于定性分析, 不够精确, 难以得出科学的定量结论[6] [8] [9]
优缺点比较法	直观明了, 易于理解和操作[4] [5]	同样仅限于定性分析, 难以全面衡量方案的经济性和技术性[4] [5]
专家评分法	能够结合专家的经验知识, 综合考虑多种因素[14]-[16]	主观性强, 不同专家的评分可能存在较大差异, 且计算分析较为粗浅[14]-[16]
比较矩阵法	定性与定量相结合, 能对多个方案进行系统比较[18]	定量计算分析不够深入, 未考虑资金时间效应[18]
模糊数学法	适用于处理不确定性和模糊性问题, 能更全面地考虑各种因素[19]-[24]	计算过程复杂, 需要较多的数据和专业知识[19]-[24]
费用分析比较法	侧重于投资和费用的定量比较, 能直观反映方案的经济性[25]	仅从静态角度考虑, 未考虑资金时间效应[25]
折现总成本法	考虑了资金的时间效应, 能动态计算投入资金和运营成本[5]	计算过程较为复杂, 需要准确的财务数据和预测[5]

2. 运输方式定性比较

定性比较是通过对各种运输方式的优缺点比较, 把缺点比较明显的方法摒弃, 把优点比较明显方案推荐出来。对于优缺点分辨明显的方案, 通过定性比较可以鉴别出来, 但相对于定量比较还是过于粗浅, 尤其对于优缺点区别不是特别明显的方案比选, 通过此方法就难以鉴别开来。案例所列举的几种运输方式定性比较详见表 2。从表 2 中可以定性列出每种运输方式的优劣, 但很难确定哪个方案最优, 比较不直观, 说服力不强。

3. 投资和运营费量化比较

3.1. 汽车运输方式

年运量按 700 万 t/a, 年工作天数 350 天, 每日 2 班, 每班 8 小时。根据运输能力计算, 选择运输车辆为 30 吨级矿用运输汽车。从工厂通往矿山的道路已经修建好, 为双车道路面, 运输矿石的车辆利用现有道路。道路建设投资不增加, 汽车运输方式只考虑增加运输车辆的投资。现状道路路由沿河道左岸布置, 地形相对较为平顺。因地势起伏较大, 现状运输道路随地形坡度展线, 道路总里程 33 km, 其中有 70%的道路路由都是沿现状河道两岸布置的沿溪线。道路起点(矿区)高差 880 m, 终点(厂区)高程 10 m, 总高差 870 m, 平均坡度 2.6%。矿山年总运量 700 万 t, 小时单向交通量 42 辆, 根据采场内生产运输的

特点及《厂矿道路设计规范》(GBJ22-87)的要求,考虑安全行车间距、平均行车速度和运输不均衡系数等因素,对现状道路通过能力进行验算,通过能力满足运输量的要求,已经规范评定道路等级满足二级标准。矿山现状生产运输道路从采场到工厂全程 33 公里,道路条件基本完好,可以直接利用,基本不用花费基建投资。

Table 2. Qualitative comparison of transportation modes
表 2. 运输方式定性比较表

运输方式	汽车运输	汽车铁路运输	皮带机运输	皮带机 + 铁路联合运输
优点	不用倒装,机动灵活,适应性强,爬坡能力较大,转弯半径小;受地形条件限制较小。投资省,基建期最短。	运营费用低,运输能力大,运输设备和线路坚固耐用,运输工作可靠,受气候影响小。	生产能力强,爬坡能力强,地形坡度大时运距短;劳动条件好,能耗小,易于自动化控制。	兼备汽车、皮带机和铁路运输各种优势,总投资大,运营费用低。
缺点	能耗大,吨公里运费高,经济运距短;车辆投资大;车辆维修量大。	铁路爬坡能力小,曲线半径大,展线长,基建投资大,基建期长。生产协调工作量大;需要倒运。	皮带机不宜运输坚硬大块矿岩和粘性大的岩土;维修工作量大;需要增加破碎站和倒运。投资大,基建期长。	中间需要两次倒运。系统复杂,管理不便。投资大,基建期长。

3.2. 铁路联合运输方式

(1) 铁路运输计算

因矿山采场面积大,采装作业面多,矿体分散,铁路运输列车无法达到每处采装作业点,所以只能采用汽车 + 铁路联合运输。

年运量按 700 万 t/a,年工作天数 350 天,每日 2 班,每班 8 小时。因运输量较大,适宜采用准轨铁路。准轨铁路机车车辆计算详见表 3。

Table 3. Standard-gauge locomotive and rolling stock quantity calculation table
表 3. 准轨机车车辆数量计算表

序号	型号	单位	数量
1	日运量	t/日	20,000
2	每日工作班数	班	2
3	年工作日	天	350
4	每班工作时间	h	8
5	载重	t	60
6	平均运距	km	22
7	平均运行速度	km/h	25
8	一列车车辆数		20
9	电铲装车时间	min	8
10	放矿闸门装车时间	min	1

续表

11	列车装车时间	min	20
12	列车运行时间	min	106
13	列车卸车时间	min	1.5
14	列车检查时间	min	5.0
15	列车等待时间	min	10.0
16	周转时间	min	122.1
17	列车载重	t	1200
18	时间利用系数		0.85
19	运输不均衡系数		1.15
20	列车周转次数	次/日	6.68
21	列车日生产能力	t/列*日	8019.66
22	工作列车数	列	2.49
23	机车检修系数		0.17
24	矿车检修系数		0.15
25	检修机车台数	台	0.42
26	杂业机车台数	台	2
27	机车总数	台	5
28	矿车总数	台	57

铁路(准轨)运输路由下游也沿河道右岸布置,如何全线用铁路运输,上游山区坡度较陡,采用铁路运输需要沿山坡地形折返展线,从技术角度和经济角度明显不合理计。考虑上游 880 m 高程至 400 m 高程,该段线路坡度较陡,可以考虑用汽车或皮带机运输。起点(矿区)高差 400 m,终点(厂区)高程 10 m,总高差 390 m,总里程 22 km,平均坡度 17.7‰。

(2) 铁路运输通过能力验算

按运量计算,铁路的日运量 20,000 t,车辆载重 60 t,一列车车辆数 20 辆,则实际需要通过 16.6 对/昼夜,即可以满足运输要求。

铁路建成后,在矿山站与工厂站之间的区间运输是整个铁路运输的瓶颈。按照铁路运量约为 700 万 t/a,设计计算限制区间通过能力。矿山站至工厂站中间限制区间线路长度按 8 km,区间列车运行速度按 25 km/h 计,(工厂站和矿山站按无平行进路的尽头式折返站设计)则区间通过能力按下式计算:

$$nt = 2 * 8 * 60 / (t_1 + t_2 + \tau_1 + \tau_3) = 960 / (16 + 16 + 2 + 4) = 960 / 38 = 25.3 \text{ (对/昼夜)}$$

式中: nt ——线路通过能力,对/昼夜;

t_1 、 t_2 ——空、重列车在区间运行时间,分;

τ_1 ——会车间隔时间,分;

τ_3 ——不同时接车间隔时间,分。

经计算,限制区间通过能力 25.3 对/昼夜,大于实际需要通过的列出对数 16.6 对/昼夜,区间通过能力能满足需求。

3.3. 皮带机运输方式

因矿山采场面积大，采装作业面多，矿体分散，皮带机运输无法达到每处采装作业点，所以只能采用汽车+皮带机联合运输。矿石在采场装汽车运至破碎站破碎后转入皮带机运输。皮带机路由基本沿河道左岸布置，地形相对较为平顺。起点(矿区)高差 880 m，终点(厂区)高程 10 m，总高差 870 m，总里程 26,000 m，平均坡度 3.385%。中间跨越河道支流一条。设计 4 段皮带机，皮带机设计带宽 1.2 m，运行带速 2.5/s，输送能力 1000 t/h。

3.4. 皮带机 + 铁路联合运输

因矿山采场面积大，采装作业面多，矿体分散，铁路运输的列车和皮带机无法达到每处采装作业点，所以只能采用汽车 + 皮带机 + 铁路联合运输。

上游地形高差较大，采用皮带机运输；下游地形坡度较缓，采用铁路运输；中间设倒装站。其中皮带机段长度 6 km，铁路段长度 22 km。

皮带机设计带宽 1.2 m，运行带速 2.5 m/s，运输能力 1000 t/h。

3.5. 量化比较结果

从表 4 和图 2 中可见，汽车运输建设投资最低而运营费最高，皮带机 + 铁路联合运输投资最高而运营费最低；铁路运输方式和皮带机运输方式在建设投资和运营费都居中。量化比较把每种方案的建设投资和运营费都明确列出并进行比较，但也不好区分出哪个方案最优。通过建设投资和运营费量化比较，也很难下结论。

Table 4. Quantitative comparison of investment and operating costs by transportation mode
表 4. 运输方式投资运营费量化比较表

运输方式	单一汽车运输	铁路联合运输	皮带机联合运输	皮带机 + 铁路联合运输
建设投资	15,200	54,229	45,440	64,115
汽车运距(km)	41	18	9	9
铁路运距(km)		22		22
皮带机运距(km)			26	7
总运距(km)	41	40	35	38
年运营费(万元/a)	35,875	22,680	20,615	18,235

4. 投资、运营费加年收益总折现量化比较

从表 5 可见，汽车运输方式没有基建工程，仅增加运输车辆设备投资 15,200 万元，考虑采购设备周期 1 年，第二年即可投产，投产期最短，该方案年运营费 30625 万元，投产后年收益 37,854 万元。投产年年收益减去投资和年运营费，得到年度的利润折现值为-42431 万元。投产第二年，该方案建设投资为零，年运营费和年收益值不变，年度利润折现值 6198 万元。以此类推，随着年度递增，考虑资金的时间价值效应，年度利润折现值逐年递减。到了第 10 年，年度利润折现值为 3348 万元。汽车运输方式前 10 年年度利润折现值累加得到总利润折现值为-617 万元。同理，计算得出铁路联合运输方式、皮带机联合运输方式和铁路 + 皮带机运输方式的投资、年运营费和年收益值，累加得到各方案的总利润折现值，分别是-42319 万元、7656 万元和-20985 万元，反应在图 3 中。从图中可以明显看出 4 个方案的差别，方

案 1、方案 2 和方案 4 的总利润折现值均为负值，仅方案 3 总利润折现值为正值。即可得出结论，方案 3 为四个方案中的最佳方案。

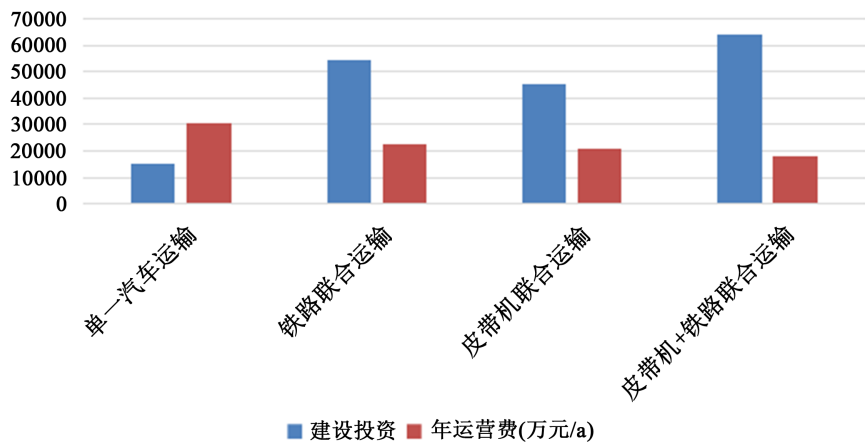


Figure 2. Quantitative bar chart of investment and operating costs by transportation mode
图 2. 运输方式投资运营费量化柱状图

Table 5. Comparison of total discounted investment, operating costs, and annual revenue by transportation mode
表 5. 运输方式投资、运营费加年收益总折现比较表

年份	单一汽车运输				铁路联合运输				皮带机联合运输				皮带机 + 铁路联合运输			
	建设投资	年运营费	年收益	年折现	建设投资	年运营费	年收益	年折现	建设投资	年运营费	年收益	年折现	建设投资	年运营费	年收益	年折现
1	15,200	30,625		-42431	18,076	22,680		-37737	22,720	20,615		-40125	21,372	18,235		-36673
2		30,625	37,854	6198	18,076	22,680		-34942	22,720	20,615		-37153	21,372	18,235		-33956
3		30,625	37,854	5739	18,076	22,680		-32354		20,615	37,854	13,685	21,372	18,235		-31441
4		30,625	37,854	5314		22,680	37,854	11,153		20,615	37,854	12,671		18,235	37,854	14,421
5		30,625	37,854	4920		22,680	37,854	10,327		20,615	37,854	11,733		18,235	37,854	13,352
6		30,625	37,854	4555		22,680	37,854	9562		20,615	37,854	10,863		18,235	37,854	12,363
7		30,625	37,854	4218		22,680	37,854	8854		20,615	37,854	10,059		18,235	37,854	11,447
8		30,625	37,854	3906		22,680	37,854	8198		20,615	37,854	9314		18,235	37,854	10,600
9		30,625	37,854	3616		22,680	37,854	7591		20,615	37,854	8624		18,235	37,854	9814
10		30,625	37,854	3348		22,680	37,854	7028		20,615	37,854	7985		18,235	37,854	9087
	总折现累计			-617	总折现累计			-42319	总折现累计			7656	总折现累计			-20985

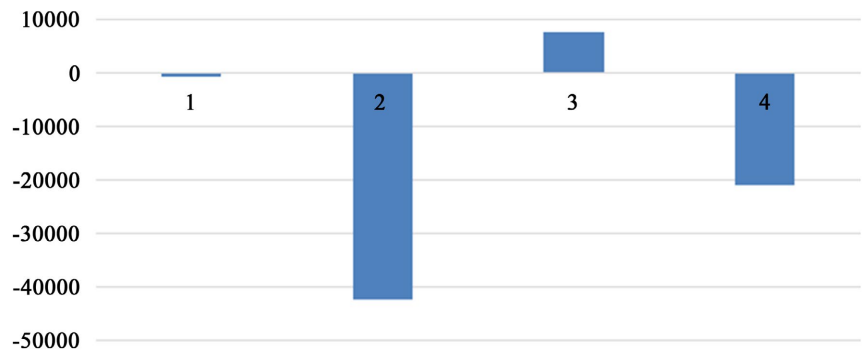


Figure 3. Bar chart of discounted total profit by transportation mode
图 3. 运输方式总利润折现值柱状图

5. 结论

矿山运输方式选择影响因素多、比选期望目标多, 综合性强, 比选决策难度大。传统的比选方法都不能把项目所推荐的几种运输方式的差异化充分体现出来, 难以区别每种方案的技术经济指标的优劣。

采用利润折现法把所有备选方案中的建设投资、年运营费、方案带来的直接收益等因素综合考量, 并叠加以各方案投资、运营费和收益的资金时间价值效应, 得到各方案在一定年限内的总利润折现值, 其值最高者即为最优方案。为矿山运输方式比选决策构建一套综合评估指标体系, 把难以甄别的不同方案反映到同一维度形成差异化并直观区别显现出来, 为决策者提供可衡量的尺度。采用利润折现法可以将复杂的运输方式比选问题转化为数值化的计算过程, 便于决策者比较和选择, 解决了传统方法难以甄别的难题, 比选结果更具科学合理性。

参考文献

- [1] 母传伟. 宏大铁矿露天采场开拓运输优化设计与研究[J]. 金属矿山, 2014(12): 26-29.
- [2] 母传伟. 矿山汽车运输经济合理运距研究[J]. 金属矿山, 2015, 44(7): 49-51.
- [3] 张永进, 孙立. 露天矿汽车运输成本管理的研究[J]. 内燃机与配件, 2019(6): 173-174.
- [4] 母传伟. 影响因子量化加权法优选选厂厂址和运输方式[J]. 金属矿山, 2014(10): 82-85.
- [5] 母传伟, 等. 贴现总成本法比选露天矿运输方案[J]. 矿山工程, 2025(1): 137-147.
- [6] 龙丹, 宋瑞麒. 定性比较分析法在创业研究中的运用与展望[J]. 创新与创业教育, 2022, 13(1): 12-21.
- [7] 张明, 杜运周. 组织与管理研究中 QCA 方法的应用: 定位、策略和方向[J]. 管理学报, 2019, 16(9): 1312-1323.
- [8] 张驰, 郑晓杰, 王凤彬. 定性比较分析法在管理学构型研究中的应用: 述评与展望[J]. 外国经济与管理, 2017, 39(4): 68-83.
- [9] 杜运周, 贾良定. 组态视角与定性比较分析(QCA): 管理学研究的一条新道路[J]. 管理世界, 2017, 33(6): 155-167.
- [10] 杜运周, 李佳馨, 刘秋辰, 等. 复杂动态视角下的组态理论与 QCA 方法: 研究进展与未来方向[J]. 管理世界, 2021, 37(3): 180-197.
- [11] Aldrich, H.E. and Yang, T. (2013) How Do Entrepreneurs Know What to Do? Learning and Organizing in New Ventures. *Journal of Evolutionary Economics*, **24**, 59-82. <https://doi.org/10.1007/s00191-013-0320-x>
- [12] Suddaby, R., Bruton, G.D. and Si, S.X. (2015) Entrepreneurship through a Qualitative Lens: Insights on the Construction and/or Discovery of Entrepreneurial Opportunity. *Journal of Business Venturing*, **30**, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jbusvent.2014.09.003>
- [13] 陈大鹏. DEA 方法在工业厂址选择中的应用研究[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2012, 44(3): 364-367.
- [14] 孙乃聪. 专家评分法在方案技术分析中的应用[J]. 西安文理学院学报(自然科学版), 2013, 16(1): 125-128.
- [15] 丁明江, 吴长春. 专家评分法在油气管道风险分析中的应用[J]. 油气田地面工程, 2004, 23(1): 10-15.
- [16] 张博文, 姬喜云. 专家评分法在国际工程投标决策中的应用[J]. 河北建筑科技学院学报(社科版), 2004, 21(2): 122-123.
- [17] 李雅晴, 马鑫豪. 工业企业的厂址选择[J]. 大氮肥, 2024, 47(4): 224-227+240.
- [18] 和世明. 基于比较矩阵法的沥青混合料路用性能权重研究[J]. 路基工程, 2012(1): 18-20.
- [19] 马丽丽, 田淑芳, 王娜. 基于层次分析与模糊数学综合评判法的矿区生态环境评价[J]. 国土资源遥感, 2013, 25(3): 165-170.
- [20] 王春燕, 邓曦东, 危宁. 风险评价方法综述[J]. 科技创业月刊, 2006, 19(8): 43-44.
- [21] 王丽丽. 模糊数学法结合层次分析法用于清洁生产潜力评估研究[J]. 重庆大学, 2010(5): 63-66.
- [22] 魏永义, 王琼波, 张莉, 等. 模糊数学法在食醋感官评定中的应用[J]. 中国调味品, 2011, 36(2): 87-88+120.
- [23] 刘金山, 胡承孝, 孙学成, 等. 基于最小数据集和模糊数学法的水旱轮作区土壤肥力质量评价[J]. 土壤通报, 2012, 43(5): 1145-1150.
- [24] 司马锡生. 经济评价厂址选择的模糊评价法与分等加权法的比较[J]. 化工技术经济, 1998, 16(2): 20-22.
- [25] 吴振华. 定量分析在水泥厂厂址选择中的应用[J]. 水泥技术, 2002, 35(5): 13-16.