基于两种算法的油气集输管道效能评价技术研究*

张卫朋[1],肖峻峰[3,4],梅海粟[2],喻友均[1],谷 坛[2],李茜茜[2],曾祥国[3,4]

(1.塔里木油田公司油气工程研究院,新疆 库尔勒 841000;
2.中国石油天然气股份有限公司规划总院,北京 100089;
3.四川大学建筑与环境学院,四川 成都 610000;
4.深地科学与工程教育部重点实验室,四川 成都 610000)

摘 要:针对国内外尚无统一的完整性管理效能评价相关规范的现状,提出了一种针对油田区域特点的集输管道效能评价指标体系。在此指标体系下,分别采用层次分析法和数据包络分析法对5个试点方案进行了定量的效能评价分析。基于以结果为导向的效能评价体系,能够科学地、客观地反映油田区域管道完整性管理效能现状,提出针对性建议,提高管道管理质量。结果显示,DEA侧重于指标客观定量的效能评价,而AHP更侧重于指标主观定性的效能评价。根据指标项值选取合适的效能评价方法对油气田管道管理及生产效率的提升具有重要意义。

关键词:油气集输管道;指标体系;层次分析法(AHP);数据包络分析法(DEA);效能评价
中图分类号:TE973 **文献标识码**:B **文章编号**:1009-5438(2021)05-0029-05
DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2021.05.008

Technical Research on Effectiveness Evaluation for Gathering and Transportation Pipeline of Oil and Gas Based on Two Algorithms

Zhang Wei-peng[1], *Xiao Jun-feng*[3,4], *Mei Hai-su*[2], *Yu You-jun*[1], *Gu Tan*[2], *Li Qian-qian*[2], *Zeng Xiang-guo*[3,4]

(1. *Oil and Gas Engineering Research Institute of Tarim Oilfield Co. of China National Petroleum Corp.*, *Korla* 841000, *Xinjiang Uygur Autonomous Region*, *China*;
2. *China Petroleum Planning and Engineering Institute*, *Beijing* 100089, *China*;
3. *School of Architecture and Environment*, *Sichuan University*, *Chengdu* 610000, *Sichuan*, *China*;
4. *Key Laboratory of Deep Earth Science and Engineering*, *Ministry of Education*, *Chengdu* 610000, *Sichuan*, *China*)

Abstract: In view of the current situation that there is no related standards of unified integrity management effectiveness evaluation at home and abroad, an effectiveness evaluation index system for gathering and transportation pipeline based on the regional characteristics of oilfields is proposed in the paper. Under this index system, the five pilot schemes are with the quantitatively effectiveness evaluation and analysis by analytic hierarchy process (AHP) and data envelopment analysis (DEA). The current situation of integrity management effectiveness for pipeline in the oilfield area can be scientifically and

* **收稿日期**:2021-07-20
作者简介:张卫朋(1976-),男,陕西省富平县人,高级工程师,现从事油气田管道和站场完整性技术管理工作。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

objectively reflected based on the result – oriented effectiveness evaluation system as well as the targeted suggestions are put forward to improve the quality of pipeline management. The results show that DEA focuses on the objective and quantitative effectiveness evaluation of indicators, while AHP focuses more on the subjective and qualitative effectiveness evaluation of indicators. It is of great significance to select appropriate effectiveness evaluation method based on the value of index for pipeline management and hint of production efficiency of oil and gas field.

Key words: gathering and transportation pipeline of oil and gas; index system; analytic hierarchy process (AHP); data envelopment analysis (DEA); effectiveness evaluation

管道完整性管理效能是指管道完整性管理系统满足一组特定任务程度的度量,是系统综合性能的反映,体现了系统本身的完备性和应用性。而效能评价是指对完整性管理系统进行综合分析,把系统的各项性能与任务要求综合比较,最终得出表示系统优劣程度的指标结果。一般而言,效能评价工作的展开是立足于一定的指标体系下的评价工作[1]。近年来,国内的许多研究机构和学者都尝试建立更完善的指标体系,以满足日益多样化的效能评价需求。为了更好的反应管道运行过程当中的效能数值,俞树荣等[2]通过建立双指标体系来弥补单指标体系的不足。由于国内外尚无管道完整性管理效能评价的成熟方法及标准,制约了管道效能评价的进一步推广应用。郑洪龙等[3]通过深入剖析管道完整性管理的"投入–产出"情况,按照管理对象将管道完整性管理分为本体管理、自然与地质灾害管理、第三方损坏管理,并进一步对各类管理对象按照完整性管理的实际工作内容进行分项,对每项具体工作考虑其投入及过程控制指标,最终构建了管道完整性管理效能评价指标体系。

在效能评价算法方面,现有的研究多集中于层次分析法(AHP)和数据包络法(DEA)两种方法。层次分析法是一种用于分析解决多目标、多准则的复杂系统问题的定性分析与定量分析相结合的系统决策分析方法,是复杂系统实现科学化决策的有力工具。傅雨佳等[4]提出了基于层次分析法的作业指挥管理系统应用效能评价模型,实现了对作业指挥管理系统应用效能的有效评价。王伟等[5]针对长输管道完整性管理过程的6类指标,采用层次分析法确定了各项指标的权重,然后将长输管道完整性管理效能评价进行了应用分析。数据包络法方面,谷雨雷等[6]应用数据包络分析方法,对管道效能评价中各评价单元进行相对有效性评价,计算其效能值,并对效能结果进行分级,给出评价结论和改进建议。李平[7]从宏观层面以及微观层面,并运用非参数化方法中的DEA方法对港口的物流效率进行测评,通过计算多种投入要素与产出指标的有效性,获得港口物流效率的实际状况,论文提供的方法和获得的数据对港口建设和发展提供定量决策依据,提高资源的建设效益,并避免不必要的投入。

但目前,很少有文章探讨层次分析法和数据包络法在效能评价方面的优劣。本文建立了一套科学全面的针对油气集输管道的效能评价指标体系及分值标准,可为国内外油气田管道管理效能评价指标体系建立提供借鉴。基于指标体系分别采用层次分析法和数据包络分析法对不同方案进行了定量的效能评价分析。通过结果比较,分析了不同算法对效能评价结果的影响,以及DEA和AHP的侧重点,提出了评价方法选取建议。5个目标评测案例完整的效能评价流程在本文得到体现,可溯源的指标体系及评价结果为不同油田作业区案例的效能提升具有重要的参考意义。

1 指标体系

针对国内外尚无统一的完整性管理评价相关规范的现状,我们提出了一种针对油田区域特点的包含3个维度的指标体系,其3个维度包括管理流程、管理方案和管理效果。其指标体系框图如图1所示。该指标体系囊括了10个具体的指标分量,而针对不同方案的效能评价便可以围绕这10个具体指标的得分展开,每个指标项满分为100分。其指标分量具体的打分细则可以表示为:U1指标表征量:效能表征指标采集率,主要由数据完备性、准确性、时效性、失效类型、利用率、更新情况等6项组成;U2指标表征量:高风险管道长度变化率和双高管道长度变化率,主要由双高管道识别覆盖率、分析措施完成率等6项组成;U3指标表征量:缺陷/风险点检测/评价识别率和检测/评价计划完成率,主要由三类管道对应的评价检测计划以及完成覆盖率等7项组成;U4指标表征量:缺陷/风险治理率,主要由缺

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

陷、腐蚀、阴极保护等 8 项对应措施覆盖及完成情况组成; U5 指标表征量: 效能评分,主要由效能审核改进等 2 项组成; U6 指标表征量: 方案内容达成率,主要由一区一案、一线一案等 5 个专项方案执行完成率组成; U7 指标表征量: 管道腐蚀控制,主要由从腐蚀报告提交、策略执行覆盖率以及总体审核情况等 8 项管理过程指标组成; U8 指标表征量: 总体失效率,主要由三类管道失效情况组成; U9 指标表征量: 人员覆盖率和审核评分,主要由人员投入及年度计划执行情况等组成; U10 指标表征量: 单位管道年度资金规模,主要由年度更新维护和检测评价 2 项投入资金组成。

2　效能评价数值方法

2.1　层次分析法 AHP

基于建立的效能评价指标体系,可以利用层次分析法首先把这一个复杂系统对象简化为一个简单的阶梯层次模型。根据各个指标的重要程度来构造判断矩阵,用此矩阵来反映不同因素之间的相对重要性。在国际上,一般采用 1 ~ 9 标度法加以确定。该方法通过不同的数字来表示两两因素之间的重要程度,相对重要性越高,则标度值越大。通过指标间的两两比较,得到判断矩阵 A – U 为表 1 所示。

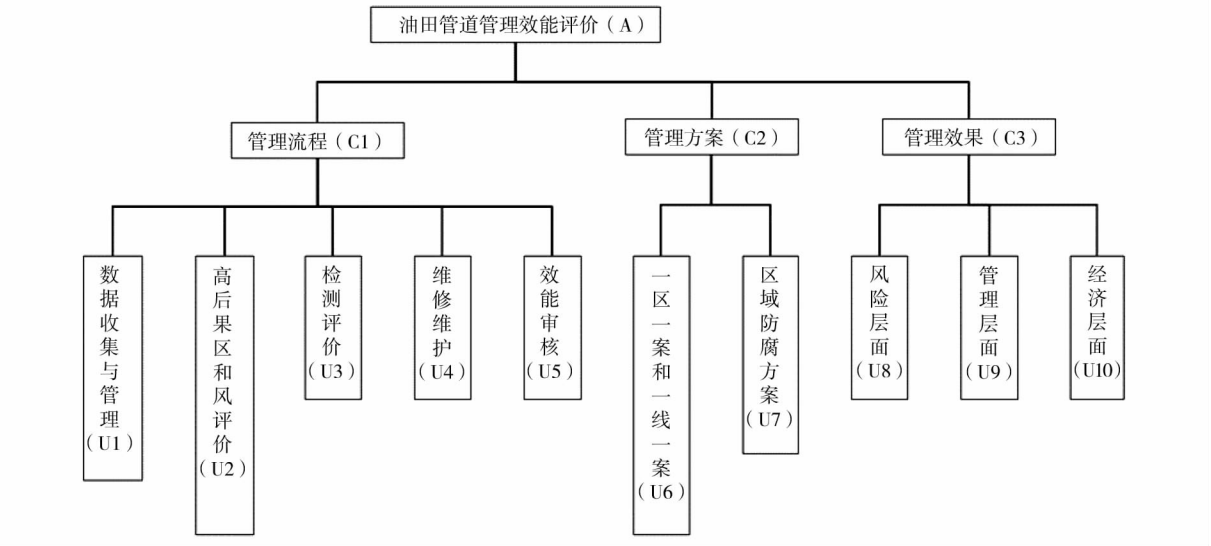


图 1　效能评价指标体系框图

表 1　判断矩阵(A – U)

评价指标	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10
U1	1	0.5	0.5	0.33	0.5	0.5	0.5	0.33	0.5	0.25
U2	2	1.0	1.0	0.67	1.0	1.0	1.0	0.67	1.0	0.50
U3	2	1.0	1.0	0.67	1.0	1.0	1.0	0.67	1.0	0.50
U4	3	1.5	1.5	1.00	1.5	1.5	1.5	1.00	1.5	0.67
U5	2	1.0	1.0	0.67	1.0	1.0	1.0	0.67	1.0	0.50
U6	2	1.0	1.0	0.67	1.0	1.0	1.0	0.67	1.0	0.50
U7	2	1.0	1.0	0.67	1.0	1.0	1.0	0.67	1.0	0.50
U8	3	1.5	1.5	1.00	1.5	1.5	1.5	1.00	1.5	0.67
U9	2	1.0	1.0	0.67	1.0	1.0	1.0	0.67	1.0	0.50
U10	4	2.0	2.0	1.50	2.0	2.0	2.0	1.50	2.0	1.00

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

在判断矩阵建立后，需要求取矩阵的特征向量，进而计算一致性比率(CR，conformance rate)参数以保证矩阵构造的一致性。当CR<0.1时，我们认为判断矩阵的一致性是可接受的水平。表1中判断矩阵所对应的CR值为0.000 5，CR<0.1，因此我们认为所构造的层次分析法判断矩阵在逻辑上符合一致性的要求。基于此判断矩阵，综合求取一级和二级权重系数如表2所示。

表2 油田管道管理效能评价指标体系及权重

目标层	准则层	权重(一级)	指标层	权重(二级)
效能评价A	准则1(C1)	0.432 7	U1	0.043 3
			U2	0.086 9
			U3	0.086 9
			U4	0.128 8
			U5	0.086 9
	准则2(C2)	0.1738	U6	0.086 9
			U7	0.086 9
	准则3(C3)	0.3935	U8	0.128 8
			U9	0.086 9
			U10	0.177 8

2.2 数据包络分析法DEA

数据包络分析方法DEA(Data Envelopment Analysis)是根据多项投入指标和多项产出指标，利用线性规划的方法，对具有可比性的同类型单位进行相对有效性评价的一种数量分析方法。

n个并列决策单元集合的投入产出统计数据可以表示为:

$$X=\begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1j} & x_{jn} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2j} & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mj} & x_{mn} \end{bmatrix}$$

$$Y=\begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1j} & y_{jn} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2j} & y_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mj} & y_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中:j代表方案编号，i代表指标编号;若用v、u分别表示投入、产出指标的权系数，则评价集合的权向量为:

$$v=(v_1,v_2\cdots,v_m) \quad (2)$$

第j个方案的多项投入与产出指标的综合效率评价指数h_j的计算公式为:

$$h_j=\frac{\sum_{r=1}^{S}u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^{m}u_i y_{ij}}=\frac{u^T y_j}{v^T x_j} \quad (3)$$

将不等式化为等式，并转换为其对偶规划求解最优解:

$$s.t.\begin{cases} \sum_{j=1}^{n}x_j\lambda_{kj}+S_k^-=\theta_k x_k \\ \sum_{j=1}^{n}y_j\lambda_{kj}-S_k^+=y_k \\ \theta_k x_k-S_k^-\geqslant L_k \\ y_k+S_k^-\leqslant U_k \\ \lambda_{kj}\geqslant 0, j=1,2,\cdots,n \\ S_k^-\geqslant 0, S_k^+\geqslant 0 \end{cases} \quad (4)$$

以上两种评价方法均通过C#语言编程，并在服务器上搭建B/S架构运行平台加以实现。

3 案例分析与讨论

本文选用了5组案例分析两种算法求得的效能得分差异，该效能指标通过3位专家独立打分后求平均值所得。其中U1—U7指标在DEA方法评价过程中作为投入指标变量，而U8—U10则作为产出指标变量。图2给出了不同案例下10个效能指标值的雷达图分布。从图2中可以看出，案例P1在这10个指标中都处于最大值，而案例P5的各项指标都最低。P2案例中U1—U7的指标得分与P1的值相差无几，但U8—U10的指标得分却要比P1低很多。类似的对比结果可以在P4和P5的对比中被发现。通过对比P4和P5中的10个指标可以发现，两者在U8—U10上的得分比较相近，但P4在U1—U7的指标得分上要比P5高很多。

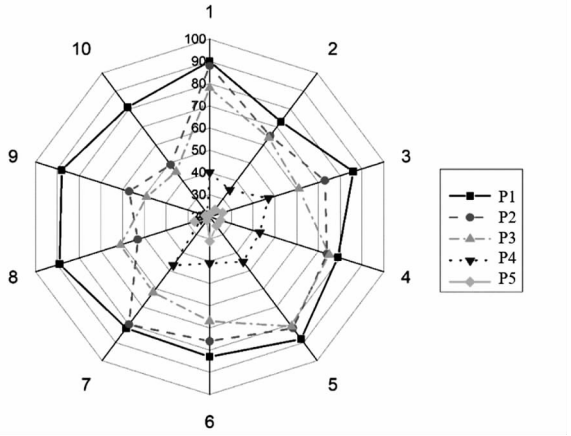


图2 不同案例下效能指标雷达图分布

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

基于采集率、执行完成率等 10 个表征指标的具体数据，将其分别带入 AHP 和 DEA 算法中对 5 个案例进行效能评价定量的比较分析，根据效能得分将 5 个试点案例进行优劣分级，见表 3。

表 3　不同案例下效能指标得分情况表

编号	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10
P1	90	73	86	79	88	83	82	89	88	81
P2	88	65	73	74	82	76	80	53	57	49
P3	78	64	61	75	81	67	62	61	49	45
P4	40	35	47	43	45	41	47	24	23	22
P5	21	24	26	25	25	31	22	27	22	21

以指标体系为指导，提高效能得分为目标，5 个试点案例的改进建议如下：①P3 和 P5 案例 DEA 结果为优秀，而 AHP 结果为一般和差等级，源于 P3 和 P5 相关覆盖、执行以及完成率等投入和失效率、人力财力产出情况都偏低，建议整体加强管理，提高整体投入情况；②P1 方案建议针对性提高双高管道识别覆盖率以及督促相关的分析措施的执行完成情况；③P2 和 P4 应注意管理过程中的执行与转化效率，监测落实相关产出指标的重要措施，尤其是 P4 还需要小幅度提高三类管道的数据采集、双高识别、风险监测以及腐蚀处理等情况的投入。

效能结果的柱状图如图 3 所示。从图 3 中可以看出，无论是数据包络法还是层次分析法，P1 都是最优方案。值得注意的是，这两种算法在其他 4 个案例上的分析，得到了一些定性上的差异。例如，利用 DEA 得出 P4 方案效能值是最差的，其效能相对得分只有 59.8，仅达到了生产前沿面的一半。而利用 AHP 算法得到的最差方案是 P5，加权得分仅有 24.37。但在 DEA 算法中，P5 的方案效能却与 P1 一样都是 100。造成这样差异的原因在于两种方法的评价的侧重点不一样，AHP 更加侧重于管理效果的评价，而 DEA 更加侧重于投入产出效果的评价。在 P5 这个案例当中，U1—U7 效能指标的完成率都比较低，造成了最后产出指标 U8—U10 也处于低位的水平，故在该案例下呈现出“低投入－低产出”的现象。但已完成的这些投入，却能在一定程度上带来相应的产出结果，故在 DEA 的算法中，其投入产出比和 P1 一样。虽然 P4 在 U1—U7 效能指标上的数值要高于 P5，但其后面产出项却并没有突出的表现，所以在 DEA 算法中，P4 相对于 P5 就属于同等产出情况下其投入量更多。

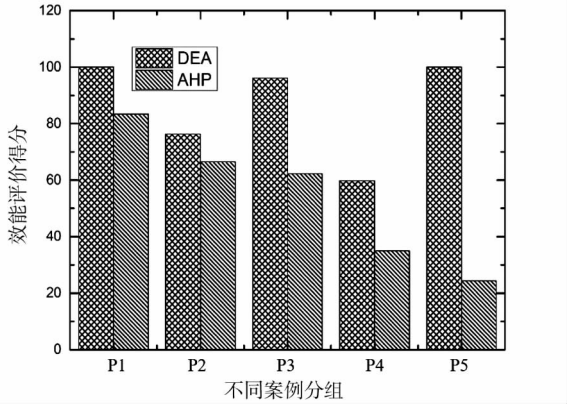


图 3　不同案例效能评价得分柱状图

4　结论

(1) 依据国内外相关完整性管理规范，结合国内油田实际情况，建立了油气集输管道完整性管理效能评价三级指标体系及分值标准，可以为国内外油气田管道管理效能评价指标体系的建立提供借鉴。

(2) 基于此指标体系，分别采用层次分析法(AHP) 和数据包络法(DEA) 对不同方案进行了效能评价分析。结果显示，两种方法在最优方案的筛选中都得到了一致性的结果。但从具体的整个方案组分析结果来看，DEA 侧重于指标客观定量的效能评价，而 AHP 更侧重于指标主观定性的效能评价。此结论可以为国内外油气田管道效能评价计算提供方法选取指导。

(3) 两种评价算法均利用 C#语言编程实现。可溯源的效能评价过程为各产业效能计算提供了现实基础，本文得出了 5 个试点案例在两种评价方法下

(下转第 61 页)

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

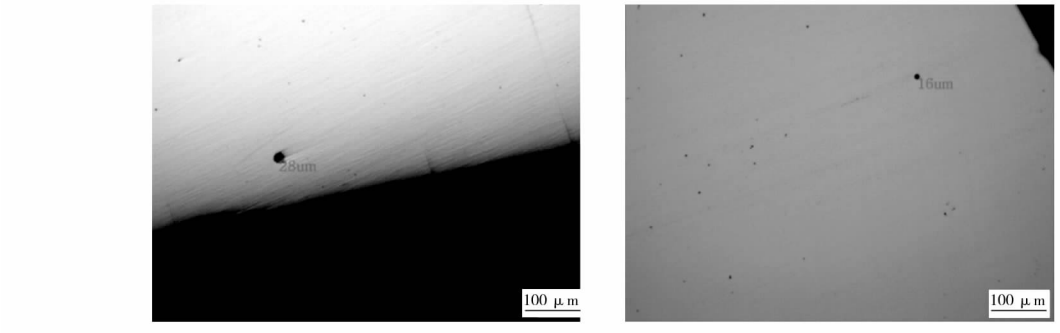


图 3　Q450NQR1 夹杂物

4　结论

(1) Q450NQR1 的显微组织类型为铁素体基体加适量珠光体,晶粒度 11 ~13 级,晶粒细小均匀。

(2) 耐候钢晶粒尺寸从 11.2 μm 减小到 7.5 μm,腐蚀速率呈减小趋势,耐大气环境下的腐蚀性提高 31%。

(3) 减少 Q450NQR1 耐大气腐蚀钢中的非金属夹杂物数量和分布,是提高其耐大气腐蚀性能的有效途径。

参　考　文　献

[1] 刘清友,董瀚,翁宇,等. 450 MPa 级超细组织耐大气腐蚀钢板的开发与研制 [J]. 钢铁,2004,39(4):45 -48.

[2] 董方,卜凡超,赵晓辉,等. Nb 对 09CuPRE 耐候钢耐工业大气腐蚀性能的影响 [J]. 腐蚀与防护,2013,34(12):1098 -1003.

[3] 陈小平. 组织细化对耐候钢抗大气腐蚀性能影响研究 [D]. 北京: 钢铁研究总院,2004.

[4] 姜鹏飞,汪兵,刘清友,等. 晶粒尺寸对 Corten -B型耐候钢耐大气腐蚀性能的影响 [J]. 钢铁,2009,44(12):65 -68.

[5] 钱余海,李自刚. 加速腐蚀环境下高强耐候钢 Q450NQR1 的耐蚀性能研究 [J]. 宝钢技术,2007,(2):5.

(上接第 33 页)

的效能得分与优劣分级,结合指标项指出了具体的针对性改进建议,有利于各单位企业针对性调整相关油气田管道管理方案,显著提高自身的效能现状与管理质量。

参　考　文　献

[1] 周素云,傅袁袁. 长输管道完整性管理效能评价方法研究 [J]. 科技创新导报,2020,17(11):2.

[2] 俞树荣,张义远. 管道完整性管理效能评价双指标体系的建立与应用 [J]. 兰州理工大学学报,2018,(4):66 -70.

[3] 郑洪龙,许立伟,谷雨雷,等. 管道完整性管理效能评价指标体系 [J]. 油气储运,2012,31(1):8 -12,19.

[4] 傅雨佳,刘雨轩. 基于 AHP 的作业指挥管理系统应用效能评价模型 [J]. 船舶,2020,31(4):6.

[5] 王伟,么秋菊,冯亚辉. 长输管道完整性管理效能评价方法研究 [J]. 能源与环保,2019,41(10):49 -52.

[6] 谷雨雷,董晓琪,郑洪龙,等. 基于数据包络分析的管道完整性管理效能评价 [J]. 油气储运,2013,32(8):840 -844.

[7] 李平. 基于 DEA 分析法的港口物流效率测评研究 [J]. 物流科技,2020,293(1):108 -111.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net