

可持续性包装

基于 LCA 的啤酒发酵罐绿色管理策略

郑辉^{1,2}, 田苗娟^{1,2}, 张峻霞², 曹婷^{1,2}

(1.天津科技大学 机械工程学院, 天津 300222;

2.天津市轻工与食品工程机械装备集成设计与在线监控重点实验室, 天津 300222)

摘要: **目的** 为了减少啤酒发酵罐全生命周期的碳排放, 研究切实可行的啤酒发酵罐绿色管理策略。

方法 运用生命周期评估和 AHP 分析方法对啤酒发酵罐的原材料收集阶段、制造阶段、运输阶段、使用阶段及回收阶段进行分析, 得出啤酒发酵罐全生命周期碳排放指标的影响度。**结果** 啤酒发酵罐全生命周期各阶段的碳排放指标影响度分别为 0.0801, 0.0477, 0.3092, 0.4811, 0.0819。**结论** 通过分析得出啤酒发酵罐全生命周期的各阶段间信息集成、信息互通及信息反馈机制较弱, 使得啤酒发酵罐全生命周期内碳排放核算困难、资源能源利用率低, 并提出了基于模块化的啤酒发酵罐绿色设计、基于互联网+的啤酒发酵罐智能制造系统及基于回收再利用的二氧化碳回收系统这 3 个啤酒发酵罐绿色管理策略。

关键词: 全生命周期; 绿色管理; 智能制造; 互联网+; 啤酒发酵罐

中图分类号: TB488 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)19-0138-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.19.025

Green Management Strategy Based on LCA for Beer Fermentation Tank

ZHENG Hui^{1,2}, TIAN Miao-juan^{1,2}, ZHANG Jun-xia², CAO Ting^{1,2}

(1.School of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China;

2.Tianjin Key Laboratory of Integrated Design and On-line Monitoring for Light Industry &
Food Machinery and Equipment, Tianjin 300222, China)

ABSTRACT: The work aims to study the feasible green management strategy of beer fermentation tank to reduce the whole life cycle carbon emission of beer fermentation tank. Based on the analysis of the raw material collection stage, manufacturing stage, transportation stage, use stage and recovery stage of beer fermentation tank by means of the life cycle assessment and AHP method, the influence degree of carbon emission indexes in the whole life cycle of beer fermentation tank was obtained. The influence degree of carbon emission indexes in each stage of the whole life cycle of beer fermentation tank was 0.0801, 0.0477, 0.3092, 0.4811 and 0.0819, respectively. Through analysis, between stages of the whole life cycle of beer fermentation tank, the information integration, information exchange and information feedback mechanism are weak, which makes the carbon emission accounting difficult and the utilization rate of resources and energy low in the whole life cycle of beer fermentation tank, and the three green management strategies of beer fermentation tank, including the green design of beer fermentation tank based on modularization, intelligent manufacturing system of beer fermentation tank based on Internet+ and carbon dioxide recovery system based on recycling and reuse are put forward.

KEY WORDS: whole life cycle; green management; intelligent manufacturing; Internet +; beer fermentation tank

随着经济的高速发展, 我国的啤酒行业也以可见的增速在发展, 表现出消费结构升级的趋势。虽然,

我国是一个啤酒生产及消费大国, 啤酒产量居于世界前列, 但啤酒生产的技术装备及管理水平等与啤酒行

收稿日期: 2018-06-01

基金项目: 教育部哲学社会科学研究重大课题 (16JZD014); 天津市自然科学基金 (17JCZDJC38800); 天津市轻工与食品工程机械装备集成设计与在线监控重点实验室资助项目 (2016 LIMFE05)

作者简介: 郑辉 (1978—), 女, 博士, 天津科技大学副教授, 主要研究方向为先进生产模式与制造系统。

业的先进水平相比，仍存在较大的差距，企业也由此进行着一系列的改革与改进。碳排放核算是啤酒发酵罐绿色管理的一个重要组成部分^[1-3]。啤酒在生产过程中会消耗水、电等一系列资源，其消耗指标的高低决定着啤酒产品的成本及利润。啤酒发酵工艺是啤酒生产的重要工序，决定着啤酒的质量，啤酒发酵罐作为发酵工艺的载体，是啤酒产品碳排放的主要来源。由此，对啤酒发酵罐的碳排放进行核算且通过各种设计方法减少其全生命周期内的碳排放，已成为啤酒行业急需解决的问题。绿色设计（Green Design）又被称为生态设计（Ecological Design）或者环境设计（Design for Environment），兴起于 20 世纪 80 年代末^[4]，其设计理念是保证产品原有功能、质量等属性不变的前提下，在产品的全生命周期内考虑拆卸、回收、重复利用等环境特性。产品的选材方面，设计师在绿色设计的过程中关注的环境因素主要有资源能源种类、产品废弃物、产品基本属性等。如以竹材为主要原材料进行加工的家具产品是近年来家具产品的发展趋势。竹材的物理及力学性能好，且其强度大、耐磨性好，可对竹材进行钻孔、刨削等一系列加工。我国竹材资源丰富，竹材文化也渗透于生活的方方面面，竹材符合绿色设计的理念，是家具产品选材的不二选择^[5]。电气产品在国民经济中占有极其重要的地位，因此其产品质量、性能对环境、资源能源消耗等的影响十分显著。在采用绿色设计理念设计新型电视机时，材料方面选用可回收的聚碳酸酯类材料；结构工艺方面通过可拆卸、可回收的模块化设计，使新型电视机方便拆卸、回收等；其他方面考虑人体生理因素，提供可参考的电视机特定摆放角度等，以取得更好的视觉效果，外形设计方面依照人机工程学设计，以达到方便使用的目的。这些研究成果为减少啤酒发酵罐的碳排放提供了思路，但针对啤酒发酵罐碳排放方面的研究文献很少，基于此，文中运用生命周期评估（Life Cycle Assessment，简称 LCA）对啤酒发酵罐的碳排放进行分析，并提出合理的绿色管理策略，

以期改进啤酒发酵罐的碳排放。

1 基于 LCA 的啤酒发酵罐碳排放指标影响度分析

啤酒发酵罐是典型的压力容器，在结构上其主要包括罐体（封头和筒体）、接管（冷却剂进口接管、滤酒管、麦汁进料管及排放接管等）、驱动电机、搅拌系统。

啤酒发酵罐的全生命周期^[6-7]流程见图 1，在给定设计参数（径高比、锥角、壁厚、封头类型、原材料类型、冷却方式）的情况下，可通过数值计算得出特定型号下啤酒发酵罐的封头质量、筒体质量、内表面积及容积等参数，然后进行零部件投料，至此完成啤酒发酵罐原材料收集阶段。工业啤酒发酵罐由于体积巨大，需在啤酒生产企业进行现场装配，故需要将相关零部件运往目的地，在啤酒发酵罐运输阶段可根据产品特点、客户要求选择相应的运输设备，待产品到达目的地时，完成啤酒发酵罐运输阶段。在啤酒发酵罐制造阶段，进行筒体加工、封头加工，制造阶段的工艺（锻造、铸造、焊接等）完成后，再进行啤酒发酵罐的整体装配工艺，装配工艺完成后对管口以及装配体进行检查，确保罐体的密封等符合压力容器标准。整体检测完成后，运用相关设备对啤酒发酵罐进行无损检测，检测其外形及几何尺寸是否满足标准。无损检测完成后对啤酒发酵罐进行热处理、理化检测、压力测试，确保其完全符合标准，最后进行涂装工艺。涂装工艺完成后则可按需求生产，至此完成啤酒发酵罐制造阶段。在啤酒发酵罐使用阶段，根据啤酒类型设置相应的温度参数等，完成啤酒发酵工艺。在啤酒发酵罐的回收阶段，根据材料的回收性能，完成对啤酒发酵罐材料的回收。

基于上述分析，构建啤酒发酵罐的碳排放指标，见图 2，并运用 AHP^[8-10]方法得出各指标对啤酒发酵罐碳排放的影响度。首先建立判断矩阵 Q ， A_1 ， A_2 ，

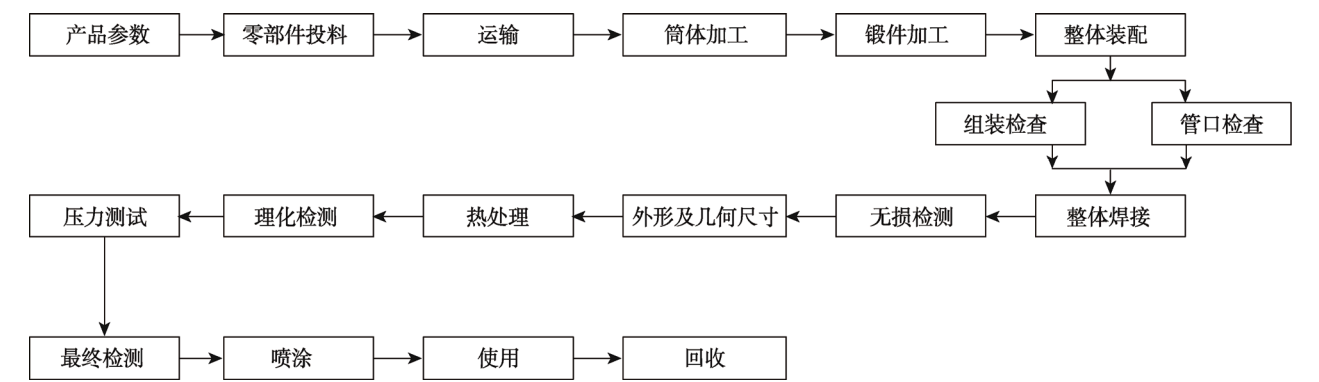


图 1 啤酒发酵罐生命周期流程

Fig.1 Life cycle flow of beer fermentation tank

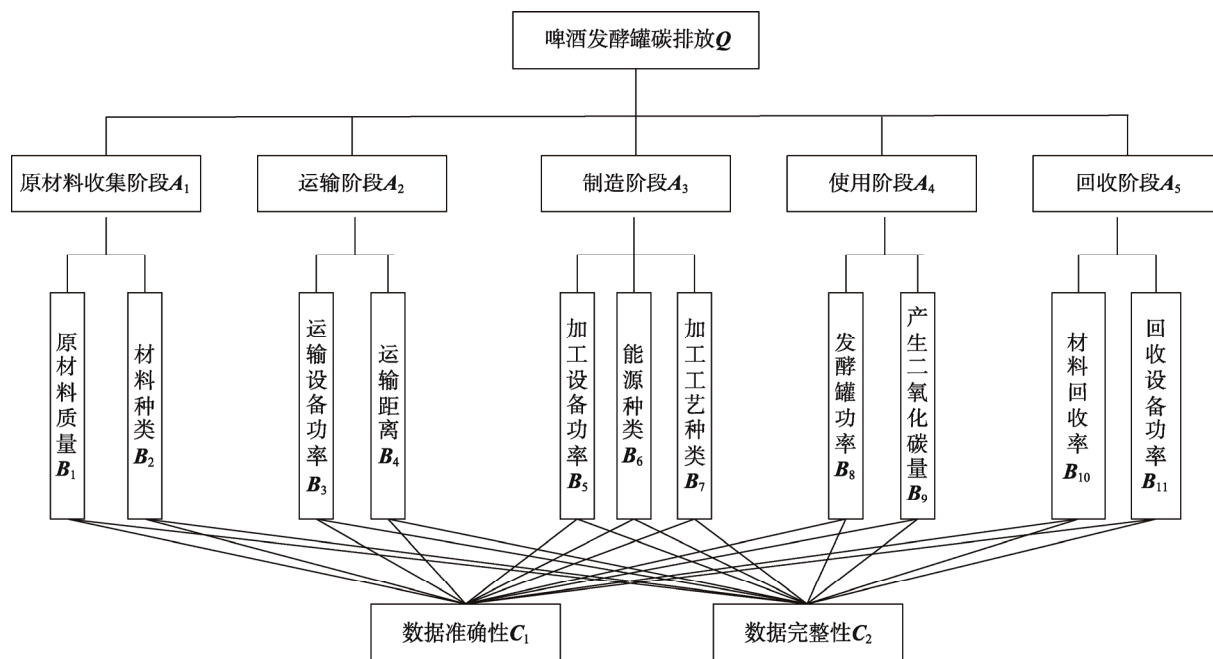


图2 啤酒发酵罐碳排放指标

Fig.2 Carbon emission index of beer fermentation tank

$A_3, A_4, A_5, B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6, B_7, B_8, B_9, B_{10}, B_{11}, C_1, C_2$, 并对各判断矩阵进行一致性检验, 其中判断矩阵 Q 和 A_3 分别为:

$$Q = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 1/5 & 1/7 & 1 \\ 1/3 & 1 & 1/5 & 1/5 & 1/3 \\ 5 & 5 & 1 & 1/3 & 7 \\ 7 & 5 & 3 & 1 & 5 \\ 1 & 3 & 1/7 & 1/5 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_3 = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 1 \\ 1/5 & 1 & 1/3 \\ 1 & 3 & 1 \end{pmatrix}$$

CI 为一致性指标, $CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}$, 其中 $\lambda_{\max}$ 为判

断矩阵的最大特征值; CR 为一致性比率, $CR = \frac{CI}{RI}$, 其中 RI 为平均随机一致性指标。当 $CR < 0.1$ 时认为判断矩阵的一致性可接受。通过对判断矩阵 Q 进行一致性检验得出 $CI=0.1102$, $CR=0.0948 < 0.1$, 满足一致性条件, 且各指标权重为:

$$Q^* = [W_{A_1} \quad W_{A_2} \quad W_{A_3} \quad W_{A_4} \quad W_{A_5}] = [0.0801 \quad 0.0477 \quad 0.3092 \quad 0.4188 \quad 0.0819]$$

由此可知啤酒发酵罐的制造阶段和使用阶段对啤酒发酵罐碳排放的影响度大。对判断矩阵 A_3 进行一致性检验得出 $CI=0.0145$, $CR=0.0251 < 0.1$, 满足一致性条件, 且各指标权重为:

$$A_3^* = [W_{B_5} \quad W_{B_6} \quad W_{B_7}] = [0.4806 \quad 0.1140 \quad 0.4054]$$

可知加工设备功率对制造阶段的碳排放影响度

大。其他各判断矩阵也均满足一致性条件, 对于判断矩阵 A_1 , 原材料质量对其影响度大于材料种类, 且数据准确性对原材料质量的影响度大于数据完整性, 而对于材料种类的碳排放数据完整性的影响度则大于数据准确性; 对于判断矩阵 A_2 , 运输设备功率对其影响度大于运输距离, 且数据准确性对运输设备功率与运输距离的影响度均大于数据完整性; 对于判断矩阵 A_4 , 产生二氧化碳量对其影响度大于发酵罐功率, 且数据准确性对于发酵罐功率和产生二氧化碳量的影响度均大于数据完整性; 对于判断矩阵 A_5 , 材料回收率对其影响度大于回收设备功率, 且数据完整性对材料回收率与回收设备功率的影响度均大于数据准确性。

根据上述结果及啤酒发酵罐生产实际情况, 得出在啤酒发酵罐全生命周期碳排放的核算过程中, 存在着啤酒发酵罐全生命周期各阶段信息集成、信息互通及信息反馈机制弱的现象, 难以对啤酒发酵罐全生命周期内的碳排放进行准确、实际的核算。

2 啤酒发酵罐绿色管理策略

2.1 基于模块化的啤酒发酵罐绿色设计

啤酒发酵罐在失效后, 一些材料比如不锈钢材等可以部分回收。在设计阶段, 可采用模块化设计, 根据客户需要, 在满足要求的情况下, 在啤酒发酵罐制造、装配过程中, 采用模块化设计的方法, 尽可能地采用标准件及可拆卸、易拆卸的零部件。

啤酒发酵罐可选用的材料有不锈钢或者碳钢等,

随着技术的发展, 不锈钢材料越来越多地被采用。不同的不锈钢材料具有不同的密度, 发酵罐材质密度见表 1, 其产生的碳排放也不同。由此, 啤酒发酵罐在选择罐体材料或者各个配件的材料时, 可通过在满足啤酒发酵要求的条件下, 选择碳排放量低的材料, 以减少啤酒发酵罐全生命周期内的碳排放, 节约资源、能源, 达到绿色设计的目的^[11]。

表 1 发酵罐材质密度
Tab.1 Material density of fermentation tank

材料名称	材料牌号	密度 (×10 ³) / (kg·m ⁻³)
碳钢	1Cr18Ni9	7.85
	1Cr18Ni9Ti	7.92
	00Cr18Ni14Mo2Cu2	7.9
	0Cr18Ni11Ti	8.03
	0Cr18Ni12Mo2Ti	8
	1Cr18Ni11Si4A1Ti	7.9
	0Cr18Ni12Mo2Ti	7.51
	1Cr19Ni9	7.9
	0Cr18Ni9	8
	0Cr18Ni9	8
	0Cr18Ni9	8
	00Cr19Ni11	7.9
	0Cr13	7.76
	1Cr13	7.75
	2Cr13	7.75
不锈钢	3Cr13	7.74
	4Cr13	7.76
	00Cr19Ni11	7.9

2.2 基于互联网+的啤酒发酵罐智能制造系统

在啤酒发酵罐的全生命周期中有多种多样的数据存储, 如啤酒发酵罐的半成品库存、成品库存及原材料用量、能耗等, 但工厂内部及各协同企业间的信息不能互用, 无法对设备及库存数据等进行实时的监测及控制。在互联网的影响下, 不仅啤酒发酵罐产业, 甚至中国制造业均迫切需要完成企业的转型升级, 即由企业之前的跟随先进技术转向技术自主开发直至实现技术的超越, 由传统制造转向数字化、网络化及智能化制造, 由以资源消耗满足客户要求转向生产水平升级、绿色环保、服务型的制造。例如当下备受关注的云计算对于制造业的应用优势主要体现在系统的高效性、资源能源信息之间的共享性以及设备资源部署的灵活性。智能制造作为互联网与制造业的结合点, 它为制造业带来的好处体现

在以下几个方面: 预示着个性化定制时代的到来; 通过制造系统的优化, 提高了制造型企业内部的运行效率, 也降低了企业的经营成本; 通过制造企业的平台“云”化, 企业不仅可以随时随地得到自己生产制造活动中所需的智能软件, 也可以实现厂家之间的协同化生产, 获得各个区域内客户的反馈及需求信息, 不同的制造型企业之间, 加工工厂之间, 企业内的不同车间、不同设备之间的信息壁垒也可被打破, 传统的集聚型、园区型、大规模制造生产方式正朝着分散和泛在的模式转变, 异城、异地协同制造的场景将成为现实。这种由互联网出现而产生的分散协同生产模式以及生产组织的松散化, 使得企业内部管理必须简单、快速和高效, 即企业必须由垂直化管理变为扁平化管理模式, 从有界管理变为真正的无界管理模式, 促进制造业服务化、产品生命周期数据完备化等发展趋势, 以提高资源、能源的利用效率, 促进数据共享, 加强信息反馈。对于啤酒发酵罐企业来说, 各企业之间的竞争越来越激烈, 粗放型的生产、管理模式已经不能适应现在的竞争模式, 必须通过低碳管理来进一步实现企业管理的效益, 通过管理的改善将成本浪费控制在最低点, 依靠企业自身文化的凝聚力和先进性实现制造企业的健康、持续、绿色发展。

智能制造系统的实施可很好地解决啤酒发酵罐碳排放核算过程中的问题。智能制造实施流程见图 3, 智能制造系统的实施可在啤酒发酵罐的制造企业内, 甚至啤酒发酵罐的全生命周期内建立一个基于智能制造系统的平台, 实现制造企业内的设备、生产信息、人员、资源能源及协同企业间各种数据的互联互通, 充分有效地实现啤酒发酵罐制造过程中企业的设备、资源能源利用, 实时监测啤酒发酵罐全生命周期内的资源能源消耗、客户需要及信息反馈^[12-14]。以啤酒发酵罐制造设备集成为例, 可运用啤酒发酵罐特征数据与设备匹配流程, 实现对啤酒发酵罐设计阶段碳排放数据的监测及信息修改, 见图 4。

2.3 基于回收再利用的二氧化碳回收系统

啤酒发酵就是啤酒酵母在特定条件下, 利用麦汁中可以发酵的物质进行生命活动的过程, 酵母代谢所生成的产物就是啤酒, 在此过程中, 需要一定量的二氧化碳作为原材料进行生命代谢活动, 但同时也会产生一定量的二氧化碳。例如啤酒发酵过程中, 发酵工艺、清酒贮存工艺以及啤酒成品的生产工艺都需要一定量的二氧化碳^[15-16], 二氧化碳不仅可防止啤酒被氧化而影响啤酒的风味和保质期, 且二氧化碳是啤酒原材料的重要组成。由此, 可通过回收啤酒发酵过程中产生的二氧化碳的方法, 以减少啤酒发酵罐全生命周期内的碳排放。

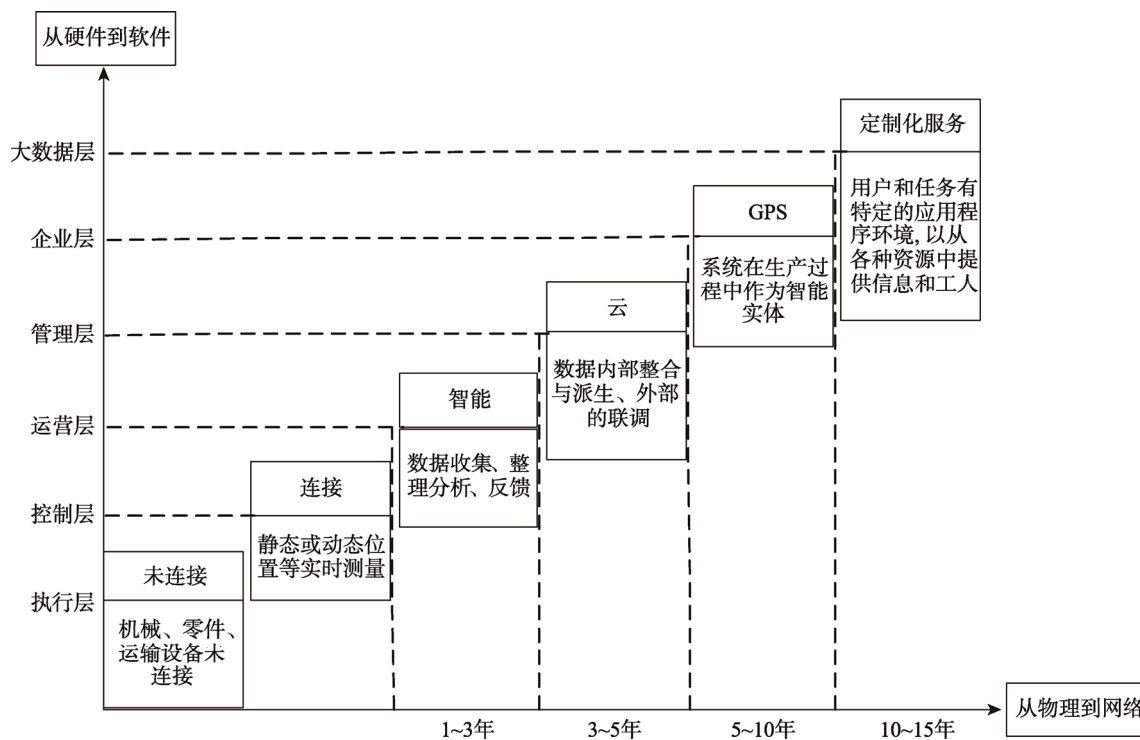


图 3 智能制造实施流程

Fig.3 Implementation flow of intelligent manufacturing

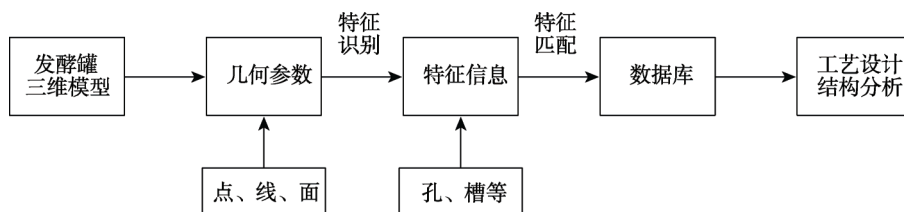


图 4 酒发酵罐特征数据与设备匹配流程

Fig.4 Characteristic data and equipment matching flow of beer fermentation tank

3 结语

通过研究啤酒发酵罐碳排放的现状,得出在啤酒发酵罐全生命周期碳排放的核算过程中,存在着啤酒发酵罐全生命周期各阶段信息集成、信息互通及信息反馈机制弱的现象,并提出基于模块化的啤酒发酵罐绿色设计、基于互联网+的啤酒发酵罐智能制造系统及基于回收再利用的二氧化碳回收系统这 3 个啤酒发酵罐绿色管理策略,该策略的实施旨在对啤酒发酵罐全生命周期内的碳排放进行准确的核算,进而为减少啤酒发酵罐的碳排放提供有力的支持。

参考文献:

- [1] 孙宝连, 闫秀霞. 企业全面绿色管理体系构建与战略优势分析[J]. 改革与战略, 2010, 26(1): 41—44.
SUN Bao-lian, YAN Xiu-xia. Construction of Comprehensive Green Management System of Enterprises and Analysis of Strategic Advantages[J]. Reform and Strategy, 2010, 26(1): 41—44.
- [2] 江旭, 沈奥. 未吸收冗余、绿色管理实践与企业绩效的关系研究[J]. 管理学报, 2018, 15(4): 539—547.
JIANG Xu, SHEN Ao. Study on the Relationship between the Absorption Redundancy, Green Management Practice and Enterprise Performance[J]. Management Journal, 2018, 15(4): 539—547.
- [3] 孙健. 隧道掘进机 TBM 设备绿色管理与维修保养[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2017(34): 24.
SUN Jian. Green Management and Maintenance of TBM Equipment for Tunneling Machine[J]. Urban Construction Theory Research (Electronic Edition), 2017(34): 24.
- [4] 栾忠权. 绿色设计的策略及方法[J]. 北京机械工业学院学报, 2002(3): 51—58.
LUAN Zhong-quan. Strategies and Methods of Green Design[J]. Journal of Beijing Institute of Machinery Industry, 2002(3): 51—58.
- [5] 孟露, 黄圣游. 竹集成材家具绿色制造研究[J]. 家具与室内装饰, 2017(6): 108—109.
MENG Lu, HUANG Sheng-you. Research on Green

- Manufacturing of Bamboo Lumber Furniture[J]. Furniture and Interior Decoration, 2017(6): 108—109.
- [6] 童庆蒙, 沈雪, 张露, 等. 基于生命周期评价法的碳足迹核算体系: 国际标准与实践[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2018(1): 46—57.
- TONG Qing-meng, SHEN Xue, ZHANG Lu, et al. Carbon Footprint Accounting System Based on Life Cycle Assessment: International Standards and Practices[J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition), 2018(1): 46—57.
- [7] 孟强, 李方义, 李静, 等. 基于绿色特征的方案设计快速生命周期评价方法[J]. 计算机集成制造系统, 2015, 21(3): 626—633.
- MENG Qiang, LI Fang-yi, LI Jing, et al. A Method of Fast Life Cycle Evaluation of Scheme Design Based on Green Feature[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2015, 21(3): 626—633.
- [8] 彭媚娟. 基于 AHP 方法的思想政治教育传播要素量化研究[J]. 学校党建与思想教育, 2018(9): 25—29.
- PENG Mei-juan. Quantitative Study on the Communication Elements of Ideological and Political Education Based on AHP Method[J]. Party Building and Ideological Education in Schools, 2018(9): 25—29.
- [9] 吕跃进, 杨燕华. 区间粗糙数层次分析法[J]. 系统工程理论与实践, 2018, 38(3): 786—793.
- LYU Yue-jin, YANG Yan-hua. Analytic Hierarchy Process of Interval Roughness[J]. Theory and Practice of Systems Engineering, 2018, 38(3): 786—793.
- [10] 许翔, 黄侨, 任远, 等. 基于群组 AHP 的悬索桥状态评估指标权重确定[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2018, 45(3): 122—128.
- XU Xiang, HUANG Qiao, REN Yuan, et al. Determination of the Weight of Suspension Bridge State Evaluation Index Based on Group AHP[J]. Hunan Journal (Natural Science Edition), 2018, 45(3): 122—128.
- [11] 何吕奇姝. 啤酒发酵罐结构与设计分析综述[J]. 生物技术世界, 2014(7): 69.
- HE-LYU Qi-shu. Summary of the Structure and Design Analysis of Beer Fermentor[J]. Biotech World, 2014(7): 69.
- [12] 龙罡, 江涛, 龚振宇, 等. 工厂智能制造及物联网系统的规划设计研究[J]. 中国设备工程, 2018(7): 206—207.
- LONG Gang, JIANG Tao, GONG Zhen-yu, et al. Planning and Design of Factory Intelligent Manufacturing and Internet of Things System[J]. China Equipment Engineering, 2018(7): 206—207.
- [13] GONÇALVES M, PONTES A, ALMEIDA P, et al. Distinct Domestication Trajectories in Top-fermenting Beer Yeasts and Wine Yeasts[J]. Current Biology, 2016, 26(20): 2750—2761.
- [14] RODMAN A D, GEROGIORGIS D I. Multi-objective Process Optimisation of Beer Fermentation via Dynamic Simulation[J]. Food & Bioprocess Processing, 2016, 100: 255—274.
- [15] 蔡红远. 啤酒发酵自产二氧化碳的回收与使用管理[J]. 中外酒业·啤酒科技, 2015(12): 17—21.
- CAI Hong-yuan. Recovery and Use Management of Carbon Dioxide Produced by Beer Fermentation[J]. Chinese and Foreign Wine Industry and Beer Technology, 2015(12): 17—21.
- [16] 赵超. 啤酒发酵二氧化碳回收及汽化系统设计[D]. 济南: 山东大学, 2013.
- ZHAO Chao. Design of Carbon Dioxide Recovery and Vaporization System for Beer Fermentation[D]. Jinan: Shandong University, 2013.