



清华大学

清华四川能源互联网研究院  
Sichuan Energy Internet Research Institute  
Tsinghua University

能源消费智能化研究所  
Institute of Intelligent Energy  
Consumption

# 白酒酿造 能源需求分析与节能降碳发展路径 研究报告

作者：李祖宇 高浪

2024/05



清华大学

清华四川能源互联网研究院  
Sichuan Energy Internet Research Institute  
Tsinghua University

能源消费智能化研究所  
Institute of Intelligent Energy  
Consumption

## 关于我们

清华四川能源互联网研究院(以下简称研究院)是在清华大学在四川省、成都市及天府新区的大力支持下,以电机工程与应用电子技术系为依托,设立的四川省校合作落地的第一个科研机构。能源是现代社会赖以生存和发展的基础,能源互联网是实现能源革命的战略支撑点。为响应习总书记“能源革命”号召,落实“气候智慧型/低碳城市”2+2合作协议,服务四川省创新驱动发展战略。研究院于2016年3月正式落户四川天府新区,致力于打造能源互联网领域的人才汇聚平台、科技创新中心、产业发展高地。自成立以来,研究院立足成都、服务四川、连接海内外,面向清洁低碳能源、新型电力系统、能源信息融合、能源碳中和等前沿技术与关键领域,大力推动学科交叉融合,积极开展产学研协同创新,已发展成为能源互联网领域具有引领作用的技术创新研发机构,为清华大学服务西南地区和天府新区对外开放做出了突出贡献。面向未来,研究院提出“升级、拓展、落地”的新发展战略,将紧抓成渝双城经济圈战略机遇,积极参与西部(成都)科学城和天府实验室建设,助力成都市建设践行新发展理念的公园城市示范区,为构建以新能源为主体的新型电力系统,推动能源清洁化发展,服务“双碳”目标全面实现做出更大贡献。

能源消费智能化研究所组建于2021年,我们关注双碳目标下的能源消费侧智能化转型趋势,在能源消费结构建模与中长期预测基础上,聚焦高效、低碳、柔性的能源消费转型关键技术研究。开展热泵、充电桩等关键用能装备特性建模与仿真、用能行为分析及优化运行策略研究。研制关键用能装备管理控制终端与调控系统,策划城市/园区的能源消费结构转型与双碳发展示范,以能源绿色转型助推经济社会高质量发展。

# 目录

执行摘要	III
研究背景	1
一、行业概述	2
二、产业脉络	4
三、白酒生产工艺及设备	7
（一）工艺流程	8
1.1 酱香型工艺流程	8
1.2 浓香型工艺流程	10
1.3 清香型工艺流程	11
（二）主要设备	12
四、白酒成本剖析与用能评估	14
（一）成本结构	14
（二）用能分析	16
五、白酒节能降碳发展路径	18
（一）政策文件	19
（二）规范标准	20
（三）技术路径	21
3.1 热泵与电锅炉应用	25
3.2 余热梯次应用	28
3.3 废弃物循环处理	29
六、研究总结	30

## 每日获取行业报告

- 1、每日群内分享 20+ 最新**行研报告**；
- 2、每日群内分享 1 期**热门商业课程**；
- 3、不定时分享最新资讯、华尔街日报等；
- 4、行业报告均为公开版，版权归原作者所有，唯你群仅发做内部学习。

### 扫描右侧二维码

关注公众号

点击菜单栏：**【入群学习】**

即可加入“唯你行业报告交流分享群” .....





# 执行摘要

白酒作为中国特有的酒类，在食品饮料市场中占有重要地位。随着“碳达峰碳中和”目标的提出，白酒行业的节能降碳成为推动其可持续发展的关键任务。本研究旨在分析白酒行业的能源需求，探索其行业节能降碳的发展潜力并提出相应的发展路径。

白酒行业具有丰富的产品类型和地域特色，其中浓香型、酱香型和清香型为目前的主要消费类别。四川和贵州是中国白酒产业的核心区域，产量和利润占全国的绝大部分。

白酒生产涉及原料处理、制曲、糖化、发酵、蒸馏、陈酿和勾调等多个环节，其中蒸馏（含蒸粮和蒸酒）环节是主要的能源消耗点。不同香型的白酒在原料选择、发酵工艺、生产流程等方面各有特点，但均需大量的热能和电能。通过对部分白酒企业的生产成本和能源消耗数据进行分析，发现能源消耗的效率和成本

在不同企业间存在显著差异，不仅具有推动行业节能降碳的巨大潜力，对企业的降本增效亦具有重大意义。

在白酒行业节能降碳的发展路径上具有三大重点任务：

- 1. 推广热泵和电锅炉应用，以替代传统的燃煤和燃油锅炉，从而实现清洁能源的生产和供应。
- 2. 加强余热的梯次利用，通过改进设备和工艺流程，提高能源利用效率，减少能源浪费。
- 3. 完善废弃物循环处理体系，将酒糟和废水等废弃物转化为可再生能源，实现资源循环利用。

此外，建议政府加强政策引导，完善激励和约束机制，推动行业绿色转型。同时，鼓励企业增进低碳技术和绿色装备的认知，提升内部管理水平。白酒行业的节能降碳不仅是响应全球气候变化的需要，也是提升行业竞争力的重要途径。通过技术创新、管理优化和政策支持等手段，白酒行业有望实现绿色、低碳、高效的可持续发展。



## 研究背景

白酒是我国特有的酒种,与白兰地、威士忌、伏特加、朗姆酒、杜松子酒(又称金酒)和龙舌兰酒并列为世界七大蒸馏酒。白酒产业既是我国的特色产业,也是部分省市的支柱产业之一。

在“碳达峰碳中和”的大背景下,工业行业的节能降碳是其中最重大也最艰巨的任务。

白酒行业的能耗与排放虽不在工业大类中占据前列,但其用能结构与特点(能源品消费结构和热工艺温度等)与食品生产、医药制造等轻工业行业具有相似之处,挖掘其节能降碳技术方法可以进一步为相似行业绿色发展提供参考;另一方面,白酒作为消费品的典型代表,作为中国特色产品,开展其绿色低碳化研究对于促进绿色消费具有深远而积极的意义。

因此,本研究以白酒行业作为分析对象,研究挖掘其节能降碳发展潜力,以期推动白酒行业在新时代持续高质量发展。

# 一、行业概述

## （一）白酒产品类型丰富，各自有其传承与特点。

1965 年，茅台酒三种经典酒体（酱香、窖底和醇甜）的确立拉开了白酒香型划分的序幕。此后，专家们按茅台酒划分思路，对白酒香型进行了系统研究。1988 年，轻工业部在辽宁省召开“酒类国家标准审定会”，通过了浓香型、清香型和米香型白酒的国家标准。

据最新版本的《GB/T 17204-2021 饮料酒术语和分类》标准，目前全国白酒共有 12 种主要香型区分。清香型酒有生产周期短、成本低、出酒率高等特点，具有先天的产能优势，在 90 年代前清香型白酒市占率达 75% 以上。其后，由于五粮液和泸州老窖等浓香型酒企的全国品牌化推进较成功，浓香型酒发展逐渐壮大。

而到了近十年，贵州茅台凭借其优质的“品质+文化+渠道+价格体系”特质以及坚定的品牌战略，逐渐站稳了白酒行业第一的宝座，并由品牌外溢为酱酒整体带来了发展风口，从而，众多酱香型酒企业绩均在近年实现了大幅增长。于是至今，全国白酒市场形成了以浓香、酱香和清香型为三大主体香型的市场结构。





**（二）白酒产地集中，各地产能差异较大。**在白酒各香型中，浓香型依靠窖池，酱香型依托产地，均具有明显的地域性特点。目前，我国的白酒产业基本形成了以遵义、宜宾、宿迁、泸州、吕梁、亳州六大核心产区为主的产业结构，六大产区白酒销量占据白酒产业的半壁江山，利润占比达到80%以上。在全国各省份中，尤其以四川和贵州的白酒产业最具有规模与特色。自2007年超过山东之后，四川白酒产量一直稳居全国第一。2021年，四川规模以上酒企共有294家，占到全国的29.0%；规模以上酒企年产量达364.1万千升，占全国白酒总产量比重超过一半。当年度完成营业收入3247.6亿元，同比增长13.8%；实现利润655.0亿元，同比增长23.7%。

四川省目前规划了“2+4”白酒产区矩阵。其中，“2”指泸州、宜宾两个世界级优质白酒产业集群，2021年其白酒产量占到全省的72.1%；“4”指成都（邛崃）、德阳（绵竹）、遂宁（射洪）、自贡（富顺）要建成4个全国优势白酒产区。2021年，宜宾产区营收1635亿元，泸州产区营收1085.6亿元，德阳产区营收213.2亿元，遂宁产区营收57.22亿元，成都产区营收54.4亿元，五产区总营收占全省90%以上。在包括“六朵金花”在内的各四川白酒品牌中，除少数品牌如郎酒和仙潭酒业等主打酱香型白酒之外，其余主要品牌均主打浓香型白酒。而反观相邻的贵州省，则是

酱香型白酒的大本营。2022年，贵州省白酒总产能约80万千升，其中酱香型白酒产能60万千升，主要集中分布于遵义市，约占全国酱香型白酒总产能的80%。2022年，贵州省规模以上白酒企业完成产量28.9万千升，完成产值1204.4亿元、同比增长38.7%，工业增加值占全省工业的26.2%，是毫无疑问的龙头产业，带动一产和三产就业人数100万以上。

**（三）国内白酒消费品牌集中度日益显著，海外市场尚处于培育初期。**近几年，全国白酒产销量逐年下降。2023年，全国规上企业白酒产量449万千升，下降至2016年的33%。但同期，大型酒企的销售额和利润水平仍不断上涨，体现出白酒消费越来越强的品牌集中化趋势。据相关数据统计，2022年白酒消费市场占比（以销售额计）中，浓香型占比46%，酱香型占比32%，清香型占比14%，其他香型共占比8%。

中国白酒市场头部两家企业（茅台和五粮液）2022年总市占率（以收入规模计）为31.8%，且行业CR5（茅五洋汾泸）市占率从2018年的32.1%上升至2022年的44.9%，市场集中度不断提升。在海外业务方面，白酒却仍尚处于消费者口味与认知培育的初期。2021年，我国白酒出口额5.6亿美元，出口量1.6万千升，仅占当年白酒产量的0.2%。相比帝亚吉欧和保乐力加等国际烈酒龙头企业，中国的白酒企业出海之路仍任重道远。

图 1.1 2016-2023 年白酒产销及出口量统计 \*



数据来源：国家统计局, Choice, 海关总署

\*2023 年白酒销售数据暂缺



## 二、产业脉络

按“GB/T 17204-2021”中分类标准, 饮料酒共分为发酵酒、蒸馏酒、配制酒和露酒四个一级分类。我国主要的本土酒饮中, 只有白酒属于蒸馏酒类别, 其他如啤酒、黄酒、葡萄酒和果酒等均属于发酵酒类别。

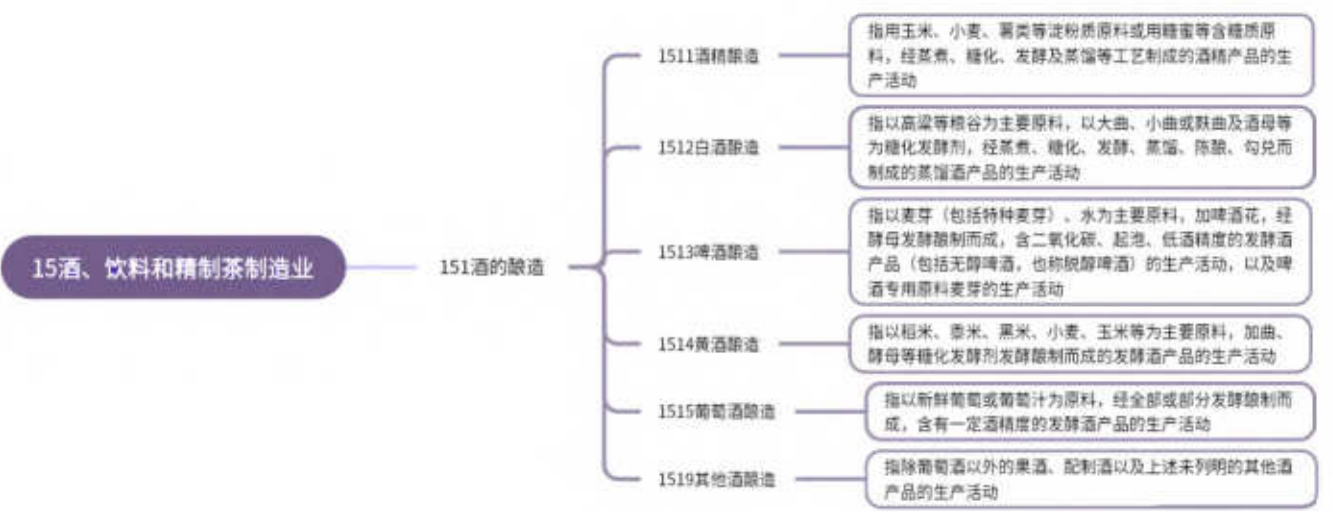
相比发酵酒仅需利用原料进行发酵酿制, 蒸馏酒会增加蒸馏等工序, 在生产过程中往往具有更复杂的工艺流程, 也具有更高的**能源需求**。

据目前的国家标准，白酒分为十二种主要香型，包括浓香型、酱香型、清香型、米香型、凤香型、豉香型、芝麻香型、特香型、兼香型、老白干香型、董香型和馥郁香型。各类香型白酒在原料处理、制曲、发酵、蒸馏、陈酿和勾调等工艺段具有相似性，但在酿酒原料选择、酒曲品种、工艺控制特性、生产流程与循环上均各有特点。

白酒制酒原料主要包括高粱、玉米、大米、小麦、青稞、薯类、豆类和糖蜜等。部分工艺中，需添加辅料使酒醅保有一定的疏松度和含氧量，有利于其升温发酵。常用辅料包括粗谷糠、稻壳、高粱壳和玉米芯等。

各类糖化发酵剂中，南方大曲多采用小麦，生产酱香型和浓香型白酒；而北方大曲多采用大麦和豌豆，生产清香型白酒；高寒地区酿酒则主要采用青稞制大曲。小曲原料一般为精白度不高的籼米或米糠。麸曲主要采用麸皮，即小麦最外层的表皮。酒母指人工酵母培养物或培养液，一般采用玉米粉或薯干粉制作。

图 2.1 酿酒行业分类



\* 参考自《GB/T 4754-2017 国民经济行业分类》



表 2.1 白酒主要香型简介 \*

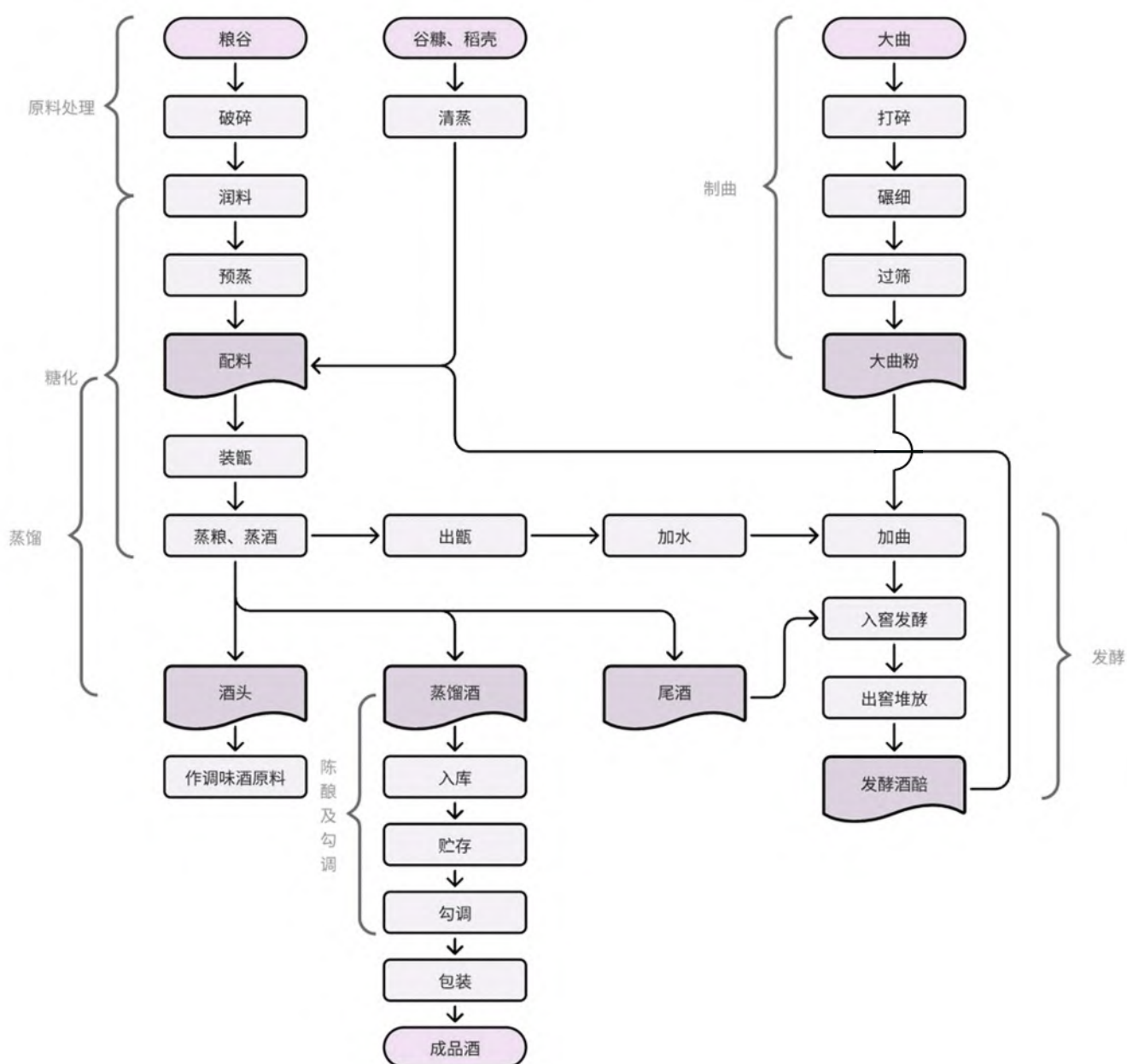
香型分类	原料类别	糖化发酵剂	发酵工艺	发酵后工艺流程	代表性品牌
浓香型	粮谷	浓香大曲	泥窖固态发酵	发酵-固态蒸馏-陈酿-勾调	五粮液（四川） 泸州老窖（四川） 剑南春（四川）
酱香型	粮谷	高温大曲	固态发酵	发酵-固态蒸馏-陈酿-勾调	茅台（贵州） 郎酒（四川） 习酒（贵州）
清香型	粮谷	大曲、小曲、麸曲、酒母	缸池固态发酵	发酵-固态蒸馏-陈酿-勾调	汾酒（山西） 红星二锅头（北京）
米香型	大米等	小曲	半固态发酵	发酵-蒸馏-陈酿-勾调	桂林三花酒（广西）
凤香型	粮谷	大曲	固态发酵	发酵-固态蒸馏-酒海陈酿-勾调	西凤酒（陕西）
馥香型	大米或预碎大米	大酒饼	原料蒸煮后边糖化边发酵	发酵-蒸馏-陈肉甑浸-勾调	玉冰烧（广东）
芝麻香型	粮谷或配以麸皮	大曲、麸曲	堆积后固态发酵	发酵-固态蒸馏-陈酿-勾调	景芝（山东）
特香型	大米	面粉、麦麸和酒糟培制的大曲	红褚条石窖池固态发酵	发酵-固态蒸馏-陈酿-勾调	四特酒（江西）
兼香型	粮谷	一种或多种曲	固态发酵或分型固态发酵	发酵-固态蒸馏-陈酿-勾调	白云边（湖北）
老白干香型	粮谷	中温大曲	地缸固态发酵	发酵-固态蒸馏-陈酿-勾调	衡水老白干（河北）
董香型	高粱、小麦、大米	添加中药材工艺制作的大曲、小曲	固态法大窖、小窖发酵	发酵-串香蒸馏-长期存储-勾调	董酒（贵州）
馥郁香型	粮谷	小曲和大曲	泥窖固态发酵	发酵-清蒸混入-陈酿-勾调	酒鬼酒（湖南）

\* 资料来源：《GB/T 17204-2021 饮料酒术语和分类》

# 三、白酒生产工艺及设备

## (一) 工艺流程

图 3.1 大曲白酒典型酿造工艺流程





（一）工艺流程

白酒酿造工艺主要包括原料处理、制曲、糖化、发酵、蒸馏、陈酿和勾调七大主要环节。酱香酒生产周期一般为5年（1年酿造期，4年贮存与勾调期），浓香酒生产周期一般为1~3年（3个月酿造期，1~3年贮存与勾调期），清香酒生产周期一般为1~2年（28天酿造期，1~2年贮存与勾调期）

1.1酱香型工艺流程

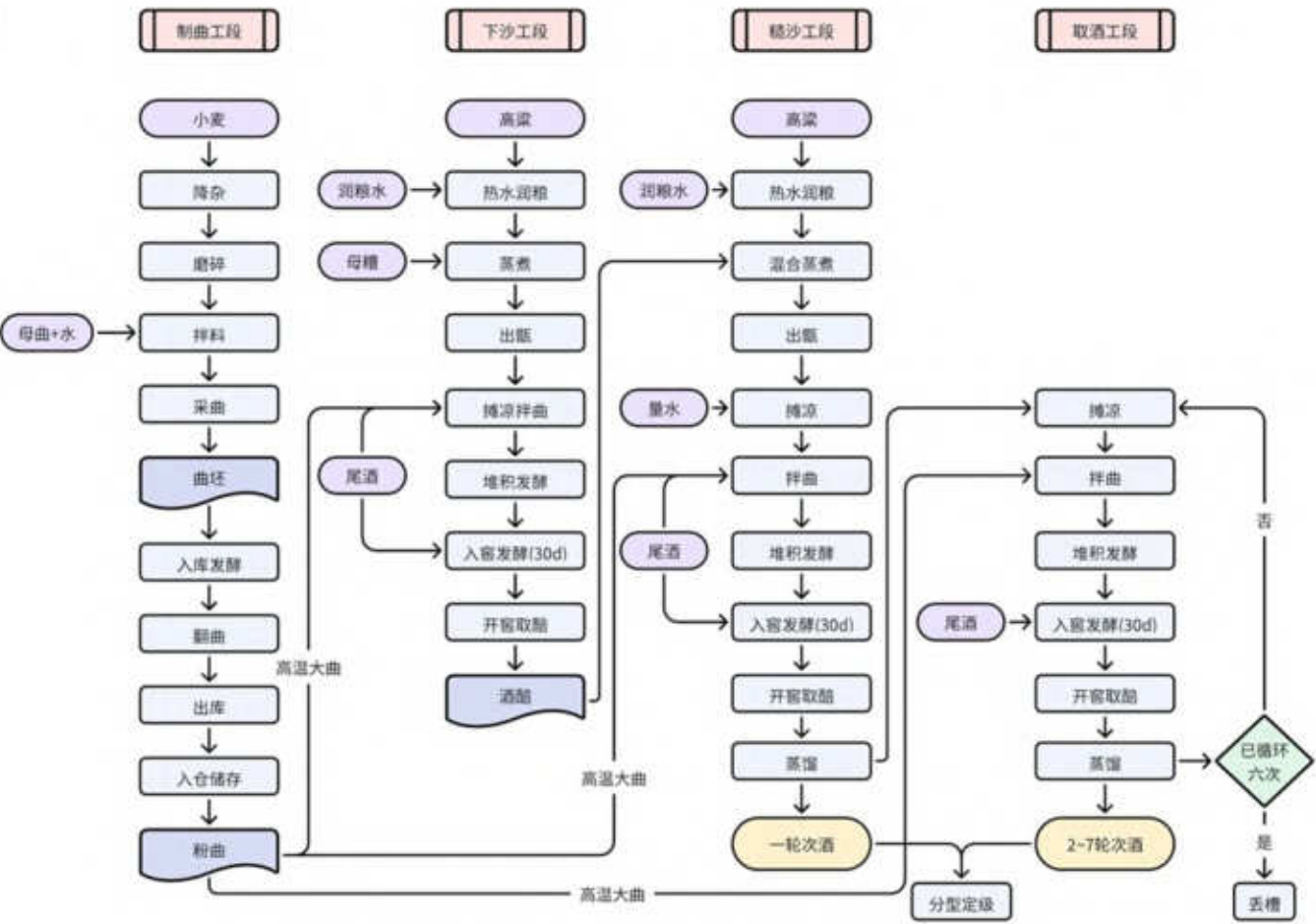
酱香为白酒四大基础香型之一，可进一步细分为坤沙、碎沙、翻沙和串沙四类工艺（按严格的质量标准，串沙已不被认可为酱香工艺），其中坤沙工艺生产周期最长、品质最高。

表 3.1 酱香工艺简介

酱香品类	酿造工艺	糖化发酵剂
坤沙	一年一个酿制周期，二次投料(下沙和糙沙)，三种香型酒体(酱香、醇甜、窖底)，三十天发酵，四十天制高温大曲药，五月端午踩曲，六个月陈曲，七次取酒，八次加曲发酵，九次蒸煮	高温大曲
碎沙	将高粱破碎，通过预处理后拌合糖化发酵剂（可采用麸曲等），入窖发酵二三十天，蒸馏取酒，一次蒸取完毕	酒曲增加干酵母和酶制剂
翻沙	在大曲酱香酒烤完酒后，在酒糟中再添加破碎的高粱和曲药等，进行发酵蒸馏取酒所得	小曲
串沙	将大曲酱香酒或麸曲酱香酒等取酒后的酒糟置于蒸馏器内，在蒸馏器底部增加食用酒精和香料等通过串蒸所得	大曲、小曲

以茅台为代表的坤沙型酱香白酒遵从“12987”工艺流程，即每年一个生产周期、两次下粮投料(下沙和糙沙)、九次蒸煮、八次发酵和七次取酒。每批酒取酒入库后均需要经过三年以上的贮存时间。

图 3.2 坤沙酱香白酒“12987”酿造工艺典型流程



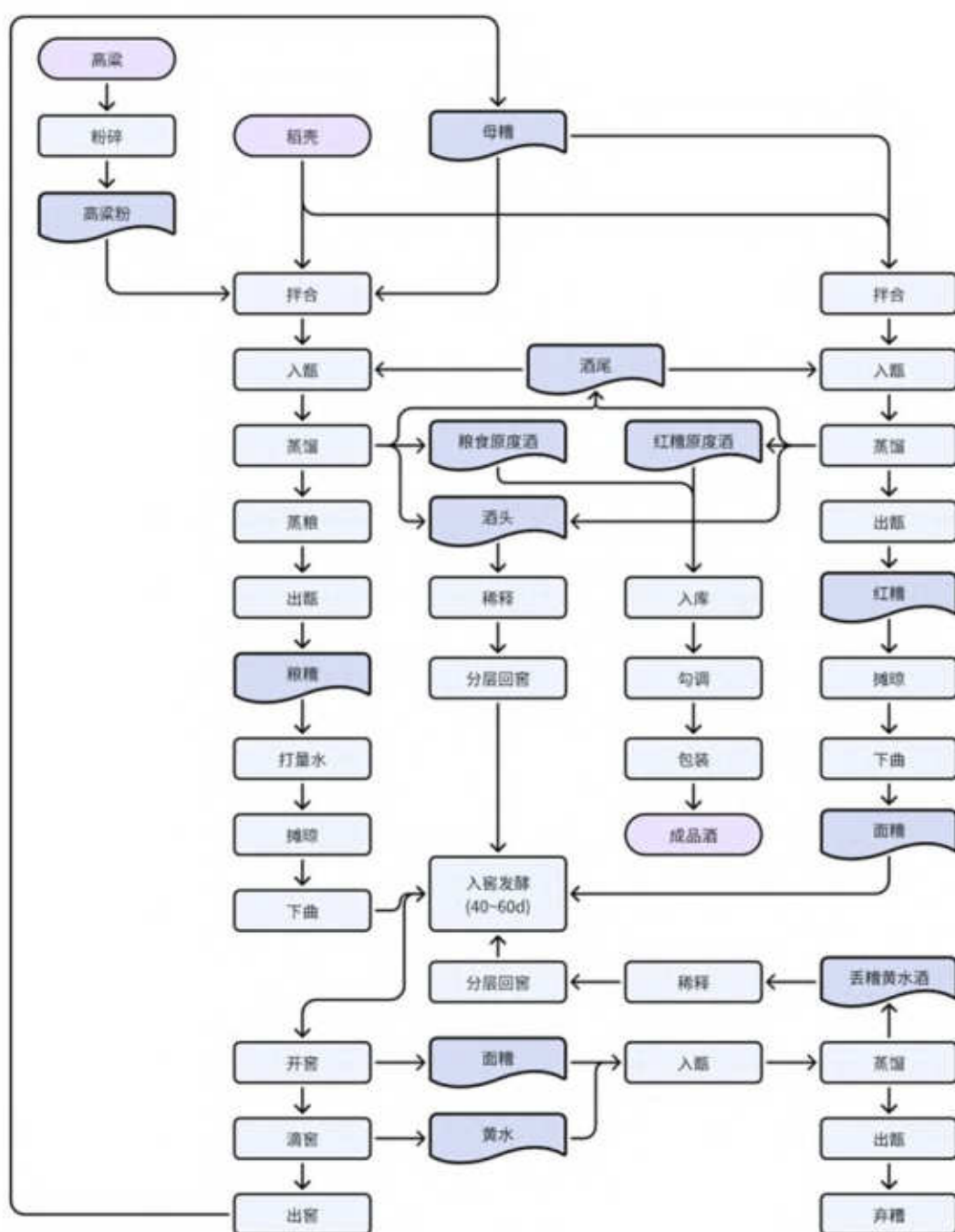
## 1.2 浓香型工艺流程

浓香型白酒以己酸乙酯为主体香型风格，产量占目前全国白酒产量的一半以上。在工艺细分上，大致可分为三类：以川酒为代表的原窖法工艺（如泸州老窖）和跑窖法工艺（如五粮液和剑南春）以及以苏鲁皖豫一带为代表的老五甬法工艺（如洋河和古井贡酒）类型。

原窖法又被称为原窖分层堆糟法。原窖指将本窖的发

酵糟醅加入原料和辅料后，再经蒸煮糊化、打量水和摊晾下曲等工序后继续放回原来的窖池后密封发酵。分层堆糟指在窖内发酵完毕的糟醅在出窖时按照面糟、母糟分开出窖，面糟在蒸酒后弃糟处理，而母糟在出窖时自上而下逐层出糟堆放，经取糟配料、拌料、蒸酒、撒曲后继续投入原窖池发酵，从而一直保持原窖母糟风格和窖池的等级质量，因此俗称“千年老窖万年糟”

图 3.3 浓香型白酒酿造工艺典型流程



1.2 浓香型工艺流程

跑窖法又被称为跑窖分层蒸馏法。跑窖指生产前预留有一个空窖池，把另一窖池中已发酵完成的糟醅取出后，通过加原料、辅料、蒸酒、打量水、摊晾拌曲等工序后，装入预留的空窖池而非原窖池。在全部发酵糟蒸酒完毕后，原窖池成为新的空窖池，而原空窖池已装满了糟醅进行下一轮密封发酵，以此方式实现窖池的循环使用。分层蒸馏指发酵完成的糟醅是逐甑进行蒸馏，便于品质控制及按质并坛等操作实施。

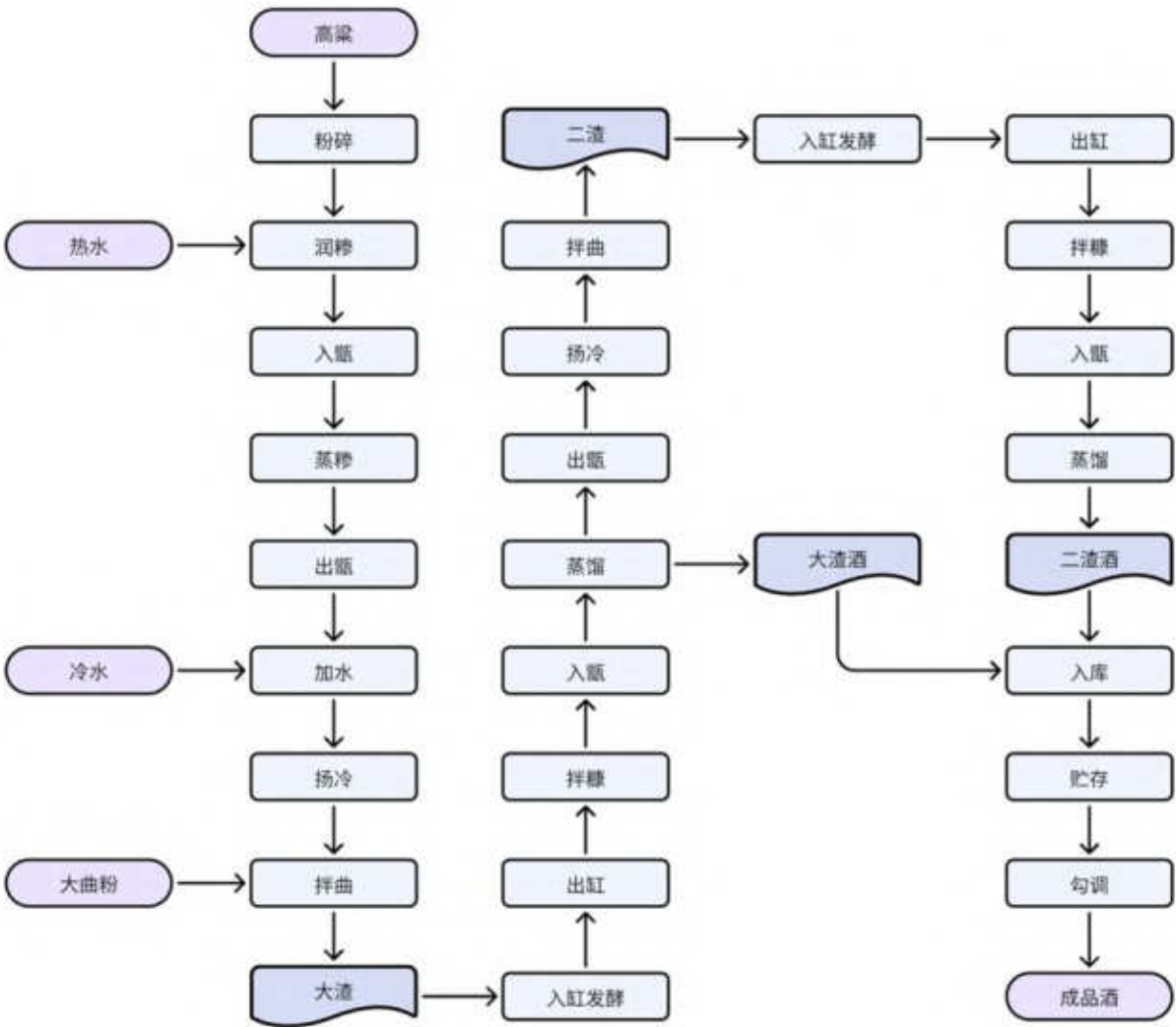
老五甑法是原料与出窖酒醅在同一个甑内同时完成蒸酒和原料的蒸煮糊化。在每次出窖蒸酒时，酒醅中都要拌入新原料，分为五甑蒸取，蒸后其中四甑重回窖内发酵，另一甑弃糟。入甑发酵的四甑料，按照新料占比，

分别被称为大楂、二楂、小楂和回糟。大楂和二楂所配新料占新投原料总量的 40% 左右，剩下的 20% 投入小楂，而回糟中不投料只拌曲，回糟完成最后一次蒸酒后即弃糟。

1.3 清香型工艺流程

清香型白酒最典型的工艺为“清蒸二次清”。清蒸指一次投料的碎高粱单独进行蒸煮，与浓香型的粮醅混蒸明显不同。二次清指原料蒸煮、冷却后加曲、发酵、蒸馏流程重复两次，随后弃糟。同时，清香型白酒采用地缸发酵，不接触泥土，以酒土分离的形式保证酒体的原质清香。

图 3.4 清香型白酒酿造工艺典型流程





## （二）主要设备

原料处理环节以电机驱动动力设备为主，包括如将谷物从粮仓转运至酿造车间的斗式提升机、将谷物原料进行整体粉碎且满足无尘生产的物料粉碎机等。

**制曲**一般在曲房完成。大曲的培养实质上就是通过控制温度、湿度、空气、微生物种类等因素来控制霉菌、酵母菌和细菌等微生物混合体系在大曲上的生长。可采用制曲机等机械设备将制曲原料磨碎并压制成曲坯，但由于

人工踩曲成型度更高及韧性更好等原因，酱香白酒仍保留采用人工制曲。曲房温湿度控制对于影响曲块内微生物群落演替、控制大曲菌种比例尤为重要，传统方法一般采用人工测温，再通过人工调节门窗、围盖草栅和洒水等方式调控曲面温度。新式智能化曲房可结合传感系统、中控系统、自动窗机系统、加湿系统和空气能热泵系统等以控制曲面温度曲线最贴合目标工艺温度曲线。

图 3.5 传统曲房和智能化曲房制曲①



图 3.6 白酒发酵窖池②



**糖化**主要指粮谷在预处理(润料、蒸煮等)时，在各种生物酶作用下，大分子分解为小分子，粮谷营养成分转化为可发酵糖类的过程。采用固态发酵法酿造的白酒，糖化和发酵一般没有明显的界限，在酿造过程中长期同时进行。糖化过程除蒸煮工序外，主要采用电动机械，如搅拌机(将酿造原料、曲料、母糟和尾酒等材料充分搅拌混合)和自动摊晾机(自动输送酒醅、摊晾、降温、加曲等)。非自动化工厂主要采用人工润粮、搅拌和摊晾。

**发酵**主要指酒化过程，即经过糖化水解的小分子糖类在微生物作用下代谢产生酒精，同时生成相拌和摊晾。关的风味物质。不同种类白酒的发酵容器不同，包括窖池、地缸和发酵罐等。酱香酒窖池一般为长方体，四壁由条状的茅台镇砾岩、砂岩和黏土砌成，窖底为红土。窖池一般与酒甑布置于同一厂房空间，每口甑对应 7 个窖池，在厂房内完成蒸粮、发酵和蒸酒的生产循环。白酒发酵环境温度一般为 20~30℃，避免窖池中酒醅中心温度过高而抑制酵母菌等微生物的生理活性。一般以测量地温来控制入窖温度从而满足发酵温度要求。

①图源：中国酒志网；《智能化环控曲房的设计和应用研究》

②图源：凤凰网

**蒸粮蒸酒**都在甑中完成，是酿酒工艺中的主要用能环节。甑一般呈圆筒形，上口略大于下口，采用木材、石材、水泥或金属材料制成，包括甑盖、甑桶、甑箅和底锅等部分。

目前酒企多采用燃煤锅炉、天然气锅炉或电锅炉生产140~170℃蒸汽，通过蒸汽加热甑底水进行蒸煮。一般采用缓火蒸酒、大火蒸粮以充分蒸取风味物质，避免酒体内物质失衡。甑内蒸汽通过甑箅孔隙蒸煮其上粮醅或酒醅，各类醇、醛、酸、酯等复杂组分被逐渐蒸馏析出，通过锅龙（即过汽筒）进入冷却器。在冷却器中，含有复杂成分的酒汽冷却为酒液，一般采用风冷机组或封闭式水冷机组完成冷却循环。出甑的物料可采用扬渣机扬冷、打散及疏松，从而进入下一轮拌曲和发酵循环。

**陈酿**也称老熟，指将蒸馏酒存储于储酒容器贮存一段时间以完成其自然老熟，使酒体绵软适口、醇厚香

浓。储酒容器包括有陶坛、酒海、贮酒罐和贮酒池等。白酒一般贮存于酒窖中，需防振动、防阳光直射，同时保持良好的空气流通性以避免易燃气体聚集，相对湿度以55%~75%为宜，温度以10~20℃为宜。

**勾调**也称酒体设计，指为满足统一标准和成品酒风格，将不同轮次、不同等级的蒸馏基酒按适当比例掺兑调配的过程。勾调第一步一般为调配小样，即调酒师采用试管和烧杯等器具对酒进行少量调配，测试其酒体风格和稳定性。经小样测试满足要求的调配方法可等比例放大进行实际生产，一般采用专门的勾调罐及其配套搅拌混合装置，其后静置一段时间待风格稳定后进行罐装。

**包装流程**一般具有完整的传输产线，包括洗瓶机、灌装机、灯检机、贴标机、喷码机、打包机和封箱机等，完成白酒装瓶封箱的全过程。

图 3.7 传统酒甑与新型酒甑 \*



\* 图源：凤凰网；贵州日报



## 四、白酒成本剖析与用能评估

### （一）成本结构

后表 4.1, 选取部分白酒酒企(表格内名字已略去), 收集其 2021 和 2022 年白酒产量、生产成本、成本结构比例和电气热等能源用量数据, 分析对比其生产成本、能源成本、单产用能效率和能源支付折算价格等关键生产数据, 为后续节能降碳发展路径研究建立供能技术经济性参考基准。

结果可见, 白酒单产成本与单产能源成本具有较高正相关性, 以聚类分析可见主要分为三个区间。

酱香型酒企(A、R、T)和浓香型酒企B, 其白酒单产成本在100元/kg左右; 从单产能源成本来看, 酒企A、B和R费用达到3~5元/kg, 显著高于其他酒企。在其后, 以G、J、L等为代表的中等成本酒企, 平均单产成本在40元/kg以上, 能源成本主要集中于1~2元/kg。再其后, 低成本酒企的平均单产成本在30元/kg之下, 能源成本一般不到1元/kg。



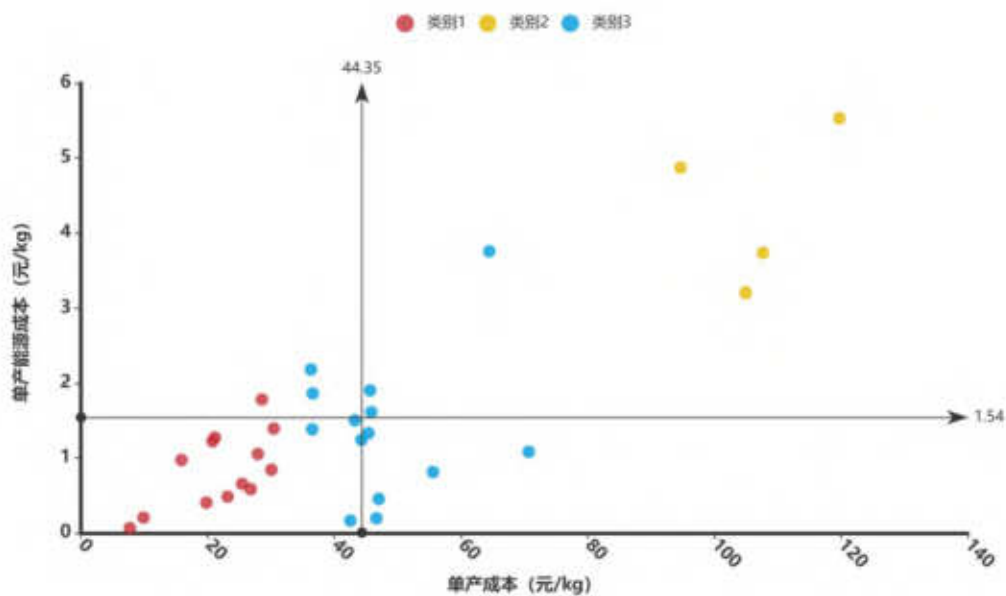
表 4.1 部分酒企生产成本剖析

企业名称	香型类别	年份	单产成本	能源成本占比	能源成本	单产用能	能源折价
			(元/kg)	(%)	(元/kg)	(kgce/kg)	(元/kgce)
酒企A	酱香型	2022	107.7	3.46	3.73	1.62	2.29
		2021	104.94	3.05	3.2	1.63	1.96
酒企B	浓香型	2022	94.67	5.14	4.87	1.67	2.91
		2021	64.47	5.81	3.75	1.21	3.09
酒企C	浓香型	2022	36.51	3.77	1.38	-	-
		2021	27.91	3.75	1.05	-	-
酒企D	浓香型	2022	36.57	5.07	1.86	0.57	3.25
		2021	30.43	4.57	1.39	-	-
酒企E	清香型	2022	36.29	6.01	2.18	-	-
		2021	28.54	6.25	1.78	-	-
酒企F	浓香型	2022	25.44	2.54	0.65	0.27	2.38
		2021	30.05	2.78	0.84	-	-
酒企G	浓香型	2022	45.39	2.93	1.33	0.71	1.87
		2021	44.27	2.8	1.24	0.78	1.59
酒企H	清香型	2022	7.7	0.76	0.06	-	-
		2021	9.85	2.05	0.2	-	-
酒企I	浓酱兼香型	2022	38.73	-	-	-	-
		2021	37.36	-	-	-	-
酒企J	浓香型	2022	70.68	1.53	1.08	0.59	1.84
		2021	55.58	1.46	0.81	-	-
酒企K	浓香型	2022	27.91	-	-	-	-
		2021	24.89	-	-	-	-
酒企L	馥郁香型	2022	46.64	0.41	0.19	0.61	0.31
		2021	42.52	0.37	0.16	0.73	0.22
酒企M	浓香型	2022	26.45	-	-	0.68	-
		2021	19.78	2.02	0.4	-	-
酒企N	老白干香型	2022	26.78	2.15	0.58	-	-
		2021	23.14	2.09	0.48	-	-
酒企O	浓香型	2022	43.23	3.47	1.5	-	-
		2021	47.01	0.96	0.45	-	-
酒企P	浓香型	2022	45.63	4.16	1.9	1.02	1.85
		2021	45.83	3.51	1.61	1.07	1.5
酒企Q	浓香型	2022	41.06	-	-	-	-
		2021	46.35	-	-	-	-
酒企R	酱香型	2022	92.24	-	-	-	-
		2021	119.74	4.62	5.53	-	-
酒企S	浓香型	2022	15.85	6.09	0.97	-	-
		2021	12.38	-	-	-	-
酒企T	酱香等多种香型	2022	101.85	-	-	-	-
		2021	-	-	-	-	-
酒企U	清香型	2022	21.12	6.03	1.27	-	-
		2021	20.74	5.9	1.22	-	-

注：单产成本 = 企业酿酒业务年度总成本 / 成品酒年产量；能源成本 = 单产成本 \* 能源成本百分比；  
单产用能 = 标煤化表达的年用能量 / 成品酒年产量；能源折价 = 能源成本 / 单产用能, 表示企业为每千克标煤能源消费所支付的能源费用。  
“-”表示无可信数据来源。  
数据来源：各企业年报, 各企业环境、社会及治理 (ESG) 报告。



图 4.1 酒企生产成本与能源成本聚类分析



在成本结构上，酒企A、B和E具有一定的相似性，材料成本占55%左右，人工成本占35%左右，其他成本如能源费用、制造费用和运输费用等占10%左右；其他各类型酒企原材料成本占比更高，可达到70%~90%，而人工成本仅占5%~15%。

总体来看，能源与动力成本一般占酿酒总成本的2%~5%。企业能源消耗仅部分企业在ESG报告中公开发布。从单产用能来看，酒企A和B依然大幅高于其他酒企，在1.6kgce/kg酒左右，而其他酒企则主要分布于0.5~0.8 kgce/kg区间，仅酒企F单产用能远低于其他酒企的用能水平。在各企业为能源品支付的费用（即表格中“能源折价”）方面，主要分布于1.5~2.5元/kgce区间，酒企B与D支付价格甚至高于3元/kgce，而酒企L能源支付折算费用远低于平均水准，仅为0.3元/kgce左右（数值偏差较大，但具体原因不明）。相对较高的单产能源其原因一般包括三方面因素：特殊生产工艺（如蒸馏温度更高、时间更长等）具有更高的用能需求、设备能效偏低增加了能源耗散以及生

产管理粗放带来了更多的能源浪费。而相对较高的能源折价一般反映了两项客观事实：一为企业“煤改气”或“煤改电”推行程度较高造成能源成本增加；二为企业在产地购电或购气所支付的单价较高。

（二）用能分析

酿酒过程中所需的终端能源需求主要为电能和热能，电能用于为各类电机设备提供动力，热能主要提供给包括蒸粮和蒸酒等工艺过程。所采用的终端能源品种主要包括电力、天然气、煤炭以及少量汽油或柴油供运输用途，部分企业可能有外购蒸汽以供应热力需求。为简便计算以进行横向对比分析，仅考虑电力和蒸汽两大主要能源品种以进行以下测算，蒸汽来源可能为电锅炉、天然气锅炉、燃煤锅炉、燃油锅炉或外购，推测价格仅表示其折算成本。选取部分主要供热途径（蒸汽热泵暂未实现广泛商用但具有较高应用潜力因此也一并分析），分析在不同能源品（电力、煤炭、燃料油、天然气等）价格时其对应的能源折价汇总如下表

表 4.2 不同供热设备能源价格与折算价格表

燃油锅炉		天然气锅炉		外供蒸汽		电锅炉		蒸汽热泵		燃煤锅炉	
燃料油价格 (元/t)	燃油折算价格 (元/kgce)	天然气价格 (元/m <sup>3</sup> )	天然气折算价格 (元/kgce)	蒸汽价格 (元/t)	蒸汽折算价格 (元/kgce)	电价 (元/kWh)	电力折算价格 (元/kgce)	电价 (元/kWh)	电力折算价格 (元/kgce)	燃煤价格 (元/t)	燃煤折算价格 (元/kgce)
4000	3.11	2	1.63	150	1.63	0.2	1.68	0.2	0.81	300	0.52
4500	3.5	2.5	2.04	180	1.95	0.3	2.52	0.3	1.22	400	0.7
5000	3.89	3	2.45	210	2.28	0.4	3.36	0.4	1.63	500	0.87
5500	4.28	3.5	2.86	240	2.6	0.5	4.19	0.5	2.03	600	1.05
6000	4.67	4	3.27	270	2.93	0.6	5.03	0.6	2.44	700	1.22
6500	5.06	4.5	3.68	300	3.25	0.7	5.87	0.7	2.85	800	1.4
7000	5.44	5	4.09	330	3.58	0.8	6.71	0.8	3.25	900	1.57

依据在ESG报告中发布用电量、用气量或综合能源消费量的企业数据，可分析或推测其单产耗电量及单产用气量。主要可分为两大类：一类为酒企A和B，单产用电量和单产蒸汽用量在1kWh/kg及15kg/kg（对应天然气用量约1m<sup>3</sup>/kg）左右；另一类为其他酒企，单产蒸汽用量一般不超过7kg/kg（若消耗天然气产蒸汽，则天然气用量约不超过0.5m<sup>3</sup>/kg），单产用电量一般在0.4~0.6kWh/kg。以电价区间为0.3~0.8元/kWh推测各企业蒸汽获取成本。酒企B和D蒸汽成本较

高，在270~350元区间（若采用天然气制蒸汽，则天然气成本约3.5~4.5元每立方米）。而其余酒企蒸汽获取成本主要分布于110~200元区间，其厂区锅炉可能既有燃煤锅炉也有天然气锅炉。随着燃煤锅炉的逐渐淘汰，其蒸汽成本将逐渐升高。对于目前蒸汽获取成本较高的企业，其供热路径可能清洁化程度更高，具有降本的研究价值；对于目前蒸汽获取成本较低的企业，其供热路径可能具有更高的碳排放和环境影响，具有节能降碳的研究价值。

图 4.2 部分酒企单产用电量与用气量分布图

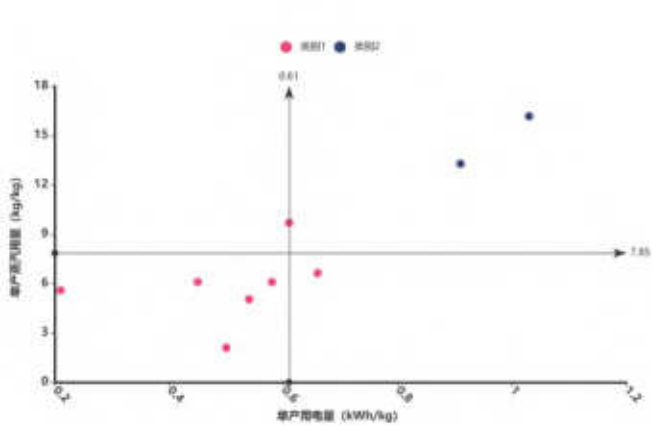
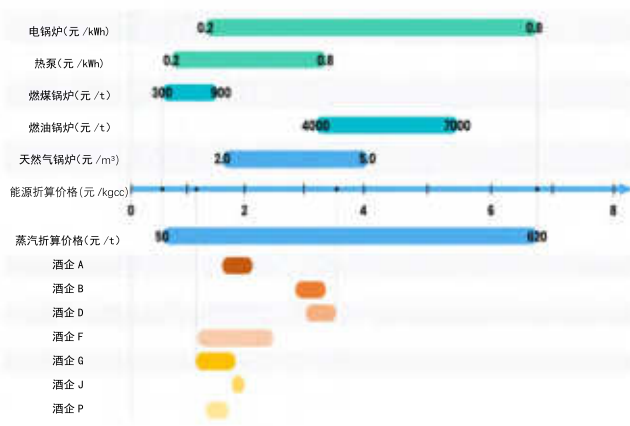


图 4.3 部分酒企蒸汽用能折算价格推测



注 1：电锅炉效率考虑 0.97，燃煤锅炉效率考虑 0.80，燃油锅炉效率考虑 0.90，天然气锅炉效率考虑 0.92，热泵 COP 考虑 2。

注 2：电力折标系数 0.1229 kgce/kWh，燃煤（5000）折标系数 0.7143 kgce/kg，燃料油折标系数 1.4286 kgce/kg，天然气折标系数 1.3301 kgce/m<sup>3</sup>，蒸汽热量系数 0.75 MWh/t。

注 3：蒸汽热泵尚处于技术试点应用阶段，暂未实现广泛商用。

## 五、白酒节能降碳发展路径

以全国电网平均排放因子和各主要酒企平均用能水平测算，白酒酿造过程（不含粮食种植、成品酒运输等过程）能源相关碳排放（不含发酵等过程排放）约为 1.5 kgCO<sub>2</sub>/kg。因此，2022 年全国白酒酿造总体碳排放约为 1000 万吨，其排放量在食品饮料行业中占比可观。为推进白酒行业节能降碳，主要应从以下角度开展工作。

**加强政策文件与标准规范的引领作用。**发挥政府作用，健全以节能减排为导向的激励与约束机制，引导行业绿色低碳转型发展。

**强化企业对于技术进展与发展趋势的认知深度。**发挥技术创新和制度创新优势，深化企业认知，推进低碳技术和绿色装备在行业内的拓展与覆盖，激发企业转型的内生动力。

**加深市场认可，拓宽经济政策与金融支持范围。**发挥市场在资源配置中的关键性作用，以需求驱动绿色消费品的高质量供给，完善经济性奖励机制，支持绿色金融精准对齐企业融资需求。





## （一）政策文件

2022年7月，工业和信息化部、国家发展改革委和生态环境部联合印发《工业领域碳达峰实施方案》，推动工业用能电气化，开展高温热泵、大功率电热储能锅炉等电能替代，扩大电气化终端用能设备使用比例，重点对工业生产过程1000℃以下中低温热源进行电气化改造。加强电力需求侧管理，开展工业领域电力需求侧管理示范企业和园区创建，示范推广应用相关技术产品，提升消纳绿色电力比例，优化电力资源配置。

2023年6月，中国轻工业联合会印发《轻工业重点领域碳达峰实施方案》，加大食品等行业生产过程废弃物的能源化利用，提高各类生物质能的利用效率。推动食品行业绿色制造体系标准化建设，建立行业水平衡、水足迹、碳平衡、碳核算、碳足迹等低碳标准体系，重点产品绿色设计标准实现全覆盖，做好食品行业取水定额标准和能耗限额标准的制定和修订工作。

2023年12月，国家发展改革委等部门联合印发《锅炉绿色低碳高质量发展行动方案》，新建容量在10蒸吨/小时及以下工业锅炉优先选用蓄热式电加热锅炉、冷凝式燃气锅炉，推动燃气锅炉全面采用低氮燃烧技术，严格限制排烟温度，适时禁止非冷凝式燃气锅炉进入市场。

在**国家政策层面**，目前未有专门针对白酒行业或食品饮料行业节能降碳发展的顶层指导或行动方案。

而在**地方政策层面**，2022年12月，仁怀市人民政府出台《关于全市地方白酒生产企业“电能改造”实行补助的通知》，提供1.7亿元补贴分批次、分阶段推进350家酿酒企业电能改造，实质性推进白酒生产终端用能电气化提升。



中华人民共和国中央人民政府

工业和信息化部 发展改革委 生态环境部关于印发  
工业领域碳达峰实施方案的通知

工信部联节〔2022〕88号

## 中国轻工业联合会文件

中轻联综会〔2023〕89号

关于印发《轻工业重点领域碳达峰  
实施方案》的通知



中华人民共和国国家发展和改革委员会  
National Development and Reform Commission

首页 > 政务公开 > 政策 > 通知

国家发展改革委等部门关于印发  
《锅炉绿色低碳高质量发展行动方案》的通知

发改环资〔2023〕1838号

市人民政府公报 2022年第12期

市政府办公室文件

仁府办函〔2022〕189号

仁怀市人民政府办公室关于对全市地方白酒  
生产企业“电能改造”实行补助的通知

镇人民政府、街道办事处、市属各相关单位：  
为加快电能替代进度，提升电能使用比例，减轻天然气供应压力，实现白酒生产企业天然气、电  
能全覆盖。按照“政府鼓励、企业自愿”的原则，决定分批次、分阶段对350家地方白酒生产企  
业进行“电能改造”，并依据改造天和对应标准进行补助，现将改造后补助有关事项通知如下。

一、补助对象：全市范围内符合白酒产业规划年产能“电能改造”的地方白酒生产企业。

## （二）规范标准

《食品、烟草及酒、饮料和精制茶企业温室气体排放核算方法与报告指南（试行）》，于2015年7月6号由国家发展改革委办公厅发布。该指南适用于食品、烟草及酒、饮料和精制茶行业，对于白酒行业针对性不强。核算边界包括主要生产系统、辅助生产系统以及附属生产系统。温室气体核算报告范围包括化石燃料燃烧（固定源及移动源）、工业生产过程排放（生产中含碳原料产生的排放，如烘焙、罐装等）、废水厌氧处理产生的甲烷排放以及购入电力与热力的隐含间接排放。

《白酒行业企业温室气体排放核算报告和披露规范》，地方标准，四川省生态环境厅于2023年3月31日发布征求意见稿，暂未发布正式稿。该地方标准中规定白酒行业企业碳排放核算边界包括主要生产系统（包括各生产工艺端，如制曲、蒸煮、发酵等）、辅助生产系统（包括供电、供水、化验、运输等设施）和附属生产系统（包括控制室、食堂、宿舍、浴室等设施）。核算温室气体排放包括二氧化碳与甲烷。二氧化碳主要排放源包括化石燃料燃烧和工业生产过程（燃煤锅炉脱硝脱硫使用碳酸盐产生的排放）的直接排放以及外购电力与热力的间接排放。甲烷主要排放源为废水厌氧处理中的排放。白酒发酵过程温室气体排放及产业上下游环节的温室气体排放未被纳入排放总量核算，仅作为报告项提交。

《白酒企业温室气体核算方法及报告标准》，行业标准，由中国酒业协会组织编制，2024年1月4号由中国酒业协会团体标准审查委员会发布征求意见稿。该行业标准与上述四川省地方标准在核算边界、核算范围以及数据收集与处理方式方面均具有较高相似性。

《白酒产品碳足迹评价标准》，行业标准，由中国酒业协会组织编制，2024年1月4号由中国酒业协会团体标准审查委员会发布征求意见稿。该行业标准规定用于核

算产品碳足迹的白酒产品功能单位应以产品出售状态为准，包含酒体、内外包装以及包装附件等所有组成元件。核算系统边界包含三大阶段：生产原辅料获取、白酒生产以及白酒分销，分销过程以产品到达零售商处为核算终点。核算时间范围上应选择碳足迹有代表性的时间段。

综上所述，目前未有具体针对白酒行业碳排放核算与碳足迹评价的国家标准，仅有地方标准、行业标准或更大范围的食品饮料行业指南可供使用与参考。

（三）技术路径

从原材料进厂至成品酒出厂阶段（不考虑农作物种植与收割阶段、成品酒运输与销售阶段）考虑白酒酿造期节能降碳发展路径，其主要可分为五大板块内容：

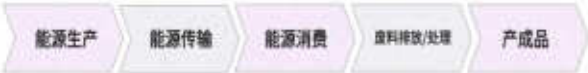
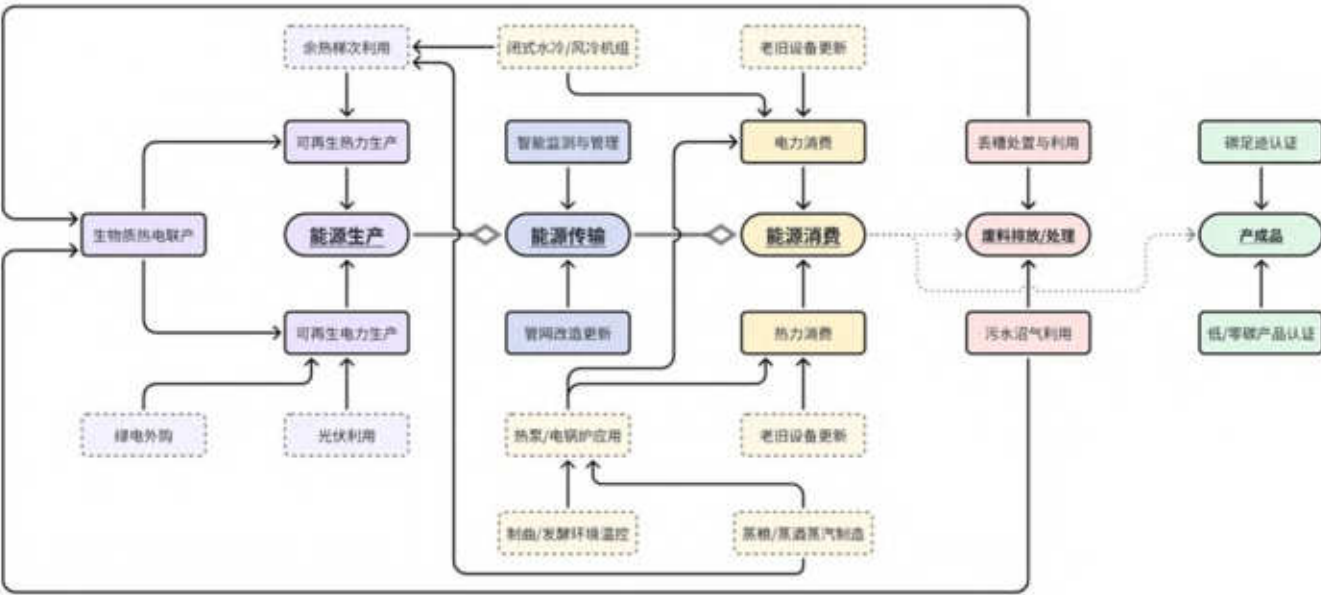


图 5.1  
白酒酿造节能降碳技术路线示意图



## 能源生产

白酒酿造所需能源的生产主要分为两大类：**电力与热力**。电力一般来源于市电，其清洁程度取决于整体区域电网发电侧的清洁电力占比水平。为提高清洁电力利用率，一方面可考虑自产自用，利用厂房屋顶或园区空地等空间建设光伏设施；另一方面可考虑外购绿电，既是弥补自产电力的不足，也是满足稳态生产的客观需求。

酿酒的热力供应一般以蒸汽形式提供。传统的蒸汽制造主要依赖燃煤锅炉或燃油锅炉，已不适应现今环保与降碳的发展需求。大量大型酒企已实现了天然气锅炉对燃煤锅炉的部分或全部替代，或采用热电联产途径实现能源的更高利用效率；部分酒企已启用或考虑启用电锅炉以一步到位实现厂区范围零直接排放。

除开各类能源品种制取热能的途径，热能的清洁来源主要来自余热的梯次利用。蒸粮过程中的排出蒸汽与蒸酒过程中冷酒器的循环水均具有较好的余热可利用水平，此部分热力可用于预热泡粮水、焖粮水和清洁用水等低温热能需求。

此外，白酒酿造后的待处理废弃物具有较丰富的可利用生物质能，主要包括两大来源：酿酒结束后的丢糟（主要为未充分利用的淀粉、蛋白质以及纤维素等有机物）以及排放的工业废水（具有较高有机物含量）。丢糟和工业废水厌氧处理产生的沼气可结合热电联产生产供应生产过程中需要的电能和热能。

### • 行业案例

五粮液公司江北园区天然气锅炉采用节能器和冷凝器回收烟气余热，并采用排污换热器回收锅炉排污余热。公司十万吨生态酿酒项目一期和二期工程设计采用溴化锂机组，降温冷却水，实现冷却水余热回收利用；一期已设计考虑电锅炉配置，另拟新建电极锅炉。（参考自五粮液公司 ESG 报告）

泸州老窖公司在黄舣酿酒生态园区建设了一套用于蒸糠机 WSR（废热蒸汽纯化增压回收）的节能系统，将蒸糠余热蒸汽进行热能交换，在实现余热回收的同时，将大量废气冷凝为废水排至废水站统一处理。此外，在黄舣酿酒生态园区还以天然气和沼气（在废水站收集处理）作为气源，采用热电联产的方式，向酿酒车间提供电能和热能。（参考自泸州老窖公司 ESG 报告）



## 能源传输

能源传输部分作为源端和荷端的连接，一般包括物理层面和数据层面两方面内容。

**物理层面**为实质的能源管网，包括园区内电力网、天然气管网和蒸汽管网等。老旧的管网系统一般具有较高的管损，造成能源传输过程中的大量浪费，对于厂区面积较大、蒸汽传输距离较远的大型园区尤为明显。管网系统应定时检修，及时更换，按期更新。

**数据层面**，建设时间较为久远的老厂区一般不具有分类分项分节点的能源计量系统，在园区管理中对于能源用量往往仅有按月统计的总量概念，难以推进精细化管理以及数据分析报表功能。为深度推进白酒节能降碳，应在管网系统中完善分类分项分节点的能源计量体系建设，让能源管理落到实处、落到细处，并可进一步实现智能化数据分析与数据报表功能。

### • 行业案例

贵州茅台公司搭建了能源计量及智能化系统平台，在线监控重点供能设备及厂区能耗数据，实现能源数据统计和分析的自动化、信息化，提高公司能源供应管理水平。（参考自贵州茅台公司 ESG 报告）

五粮液公司拟采用过热蒸汽输送技术，进一步降低蒸汽输送损耗。（参考自五粮液公司 ESG 报告）

## 能源消费

白酒酿造中涉及的能源消费主要为电力消费和热力消费。既有的电力消费来自于自原料处理开始的各生产工序中的各类电机设备，而热力消费主要源于蒸粮与蒸馏过程中的蒸汽需求。

用端蒸汽温度取决于源端蒸汽产生温度以及传输过程损耗，相比各类型锅炉，高温蒸汽热泵可于厂房耳房或其他就近适宜位置布置，直接供应用端所需蒸汽。相比锅炉制蒸汽，既降低其蒸汽产生温度，也减少其传输过程损耗，同时由于热泵的热效率高于锅炉，可实现三重节能效果。此外，新增的终端能源需求主要来自对生产环境的温度控制。传统的制曲和发酵等环节一般为人工干预条件下的自然环境，通过开窗通风等手段依生产经验调整环境温度湿度以满足制曲或发酵需求。

近年由于极端气候现象日益明显，极端高低温天气频出，仅依赖人工干预的自然环境可能难以满足制曲或发酵工艺的需求，造成大曲或酒醅品质下降。部分酒企已开始寻求更智能化精细化的温控手段以辅助生产，包括整合了监测系统、控制系统、加湿系统和热泵系统的曲房和发酵厂房等，将传统生产经验凝练为适应现代生产需求的数字化表达。

### • 行业案例

贵州茅台公司已完成变压器、电机、冷凝器等高耗能老旧设备更换、制酒车间 4500 盏晾堂灯的节能改造以及二级泵站高耗能电机的更新换代，从而降低了设备能耗。（参考自贵州茅台公司 ESG 报告）



## 废料的排放与处理

酿酒的主要生产废料为酒醅蒸酒后剩下的酒糟和包括甑底水在内的各种生产废水。

丢糟含有未充分利用的淀粉、蛋白质、脂肪和纤维素等丰富的有机物，可作为饲料、肥料或生物质燃料，具体用途选择可依据酒厂区位、周边产业环境以及经济性比较优势作出最优选择。

酿酒废水有机物含量较高，不可直接排放，需经过酒厂的处理站进行污水处理。而在污水处理系统中，将产生大量的沼气可供有效利用。依据经验与预估沼气产量，可设计独立用于厂区发电或热电联产的沼气供能系统，也可结合厂区天然气消费进行合并化综合利用。

### • 行业案例

五粮液公司新建污水处理厂已配套设计沼气发电系统，其预估发电量将可满足酿酒车间用电需求。公司酿酒产生的鲜糟全部通过复糟酒车间利用生产复糟酒，产生的丢糟再进行委外处置生产饲料。公司另已规划新建酒糟生物质热电联产项目。（参考自五粮液公司 ESG 报告）

水井坊公司根据其邛崃全产业链基地项目（第一期）污水处理站的测算，每小时沼气最大产量为 400 立方米。在相应配置 800 千瓦的沼气发电机组和 2000 立方米的沼气包后，预计年沼气发电量可达 2764800 千瓦时，占其一期项目全年用电量的 15% 左右。（参考自水井坊公司 ESG 报告）

## 产成品的附加值固化

企业为节能降碳所做的一系列工作，除开对于环境和社会本身的正向效应，也可对企业带来直接和潜在的收益。直接收益体现于一系列节能降碳的措施本身便可能是经济性最优的理想选择，为企业带来降本增效的直接好处。

潜在收益一方面可将节能降碳社会责任体现在 ESG 报告中，提升企业的外部形象与品牌价值；另一方面可将节能降碳的量化成果凝练在产品中，通过碳足迹或零碳产品认证等行动，形成产品的市场差异化认知，固化外部性对于产品可带来的附加价值。

### • 行业案例

水井坊公司于 2022 年全面启动能源和碳排放管理工作，并于 2023 年 4 月提交科学碳目标倡议（SBTi）承诺函，以推动实现《巴黎协定》中“将全球平均温度升幅控制在 1.5 摄氏度以内”的目标情景。2022 年 12 月 14 日水井坊公司邛崃基地（第一期）的酿酒车间、实验楼和餐厅三个单体均获得 LEED 绿色建筑金级认证。（参考自水井坊公司 ESG 报告）

纵观以上五大板块，从实际行动方案上，应主要包括以下三项重点任务：**热泵与电锅炉的应用，余热的梯次利用以及废弃物的循环处理。**

3.1 热泵与电锅炉应用

相比燃煤锅炉与燃油锅炉，天然气锅炉已在清洁化程度上迈出了一大步，降低了大量的污染物排放与碳排放。但为了完全摒除直接排放，宜直接更新为电气化设备，如采用电锅炉或高温热泵。电锅炉一般采用电磁感应加热方式或电阻式加热方式，将电能转换为热能，对外输出蒸汽或高温水，热效率一般高于97%。热泵在建筑领域已有了越来越广泛的应用，但在工业领域，由于所需温度更高，现阶段应用较少，且多用于100℃以下的输出温度，但在120~140℃的蒸汽输出范围，已具有商业化产品可用于生产实践，其COP约为2左右。

若再结合水蒸气压缩机（Mechanical Vapor Recompression, MVR）的使用，其输出蒸汽可达180~200℃。但是一般而言，成本因素是热泵推广的主要障碍，其包括设备、安装与调试在内的初装价格往往明显高于锅炉设备。不过，从综合考虑天然气价格和电力价格因素在内的全生命周期成本角度，热泵机组仍可能是成本最优的选择。

通过以下算例作为说明：以1蒸吨设备产出140℃蒸汽（功率约为0.74MW）作为基准，比较天然气锅炉、电锅炉与高温热泵全生命期成本优劣。假定天然气锅炉热效率为0.92，电锅炉热效率0.97，热泵COP为2。那么，在天然气价格3~5元/m³、电价0~1元/kWh的单位范围内，采用天然气锅炉、电锅炉或高温热泵方案时每小时的能源成本差异如下表5.1和表5.2所示。

表 5.1 电锅炉 - 天然气锅炉单位小时能源成本差异表

天然气价格(元/m³)	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5
电价(元/kWh) 电锅炉-天然气锅炉能源差价(元/h)																					
0	-223.1	-230.6	-238	-245.4	-252.9	-260.3	-267.8	-275.2	-282.6	-290.1	-297.5	-304.9	-312.4	-319.8	-327.3	-334.7	-342.1	-349.6	-357	-364.4	-371.9
0.05	-184.9	-192.4	-199.8	-207.3	-214.7	-222.1	-229.6	-237	-244.4	-251.9	-259.3	-266.8	-274.2	-281.6	-289.1	-296.5	-303.9	-311.4	-318.8	-326.3	-333.7
0.1	-146.7	-154.2	-161.6	-169.1	-176.5	-183.9	-191.4	-198.8	-206.3	-213.7	-221.1	-228.6	-236	-243.4	-250.9	-258.3	-265.8	-273.2	-280.6	-288.1	-295.5
0.15	-108.6	-116	-123.4	-130.9	-138.3	-145.7	-153.2	-160.6	-168.1	-175.5	-182.9	-190.4	-197.8	-205.2	-212.7	-220.1	-227.6	-235	-242.4	-249.9	-257.3
0.2	-70.4	-77.8	-85.2	-92.7	-100.1	-107.6	-115	-122.4	-129.9	-137.3	-144.7	-152.2	-159.6	-167.1	-174.5	-181.9	-189.4	-196.8	-204.2	-211.7	-219.1
0.25	-32.2	-39.6	-47.1	-54.5	-61.9	-69.4	-76.8	-84.2	-91.7	-99.1	-106.6	-114	-121.4	-128.9	-136.3	-143.7	-151.2	-158.6	-166.1	-173.5	-180.9
0.3	6	-1.4	-8.9	-16.3	-23.7	-31.2	-38.6	-46.1	-53.5	-60.9	-68.4	-75.8	-83.2	-90.7	-98.1	-105.6	-113	-120.4	-127.9	-135.3	-142.7
0.35	44.2	36.8	29.3	21.9	14.5	7	-0.4	-7.9	-15.3	-22.7	-30.2	-37.6	-45.1	-52.5	-59.9	-67.4	-74.8	-82.2	-89.7	-97.1	-104.6
0.4	82.4	75	67.5	60.1	52.6	45.2	37.8	30.3	22.9	15.5	8	0.6	-6.9	-14.3	-21.7	-29.2	-36.6	-44	-51.5	-58.9	-66.4
0.45	120.6	113.1	105.7	98.3	90.8	83.4	76	68.5	61.1	53.6	46.2	38.8	31.3	23.9	16.5	9	1.6	-5.9	-13.3	-20.7	-28.2
0.5	158.8	151.3	143.9	136.5	129	121.6	114.1	106.7	99.3	91.8	84.4	77	69.5	62.1	54.6	47.2	39.8	32.3	24.9	17.5	10
0.55	197	189.5	182.1	174.6	167.2	159.8	152.3	144.9	137.5	130	122.6	115.1	107.7	100.3	92.8	85.4	78	70.5	63.1	55.6	48.2
0.6	235.2	227.7	220.3	212.8	205.4	198	190.5	183.1	175.7	168.2	160.8	153.3	145.9	138.5	131	123.6	116.1	108.7	101.3	93.8	86.4
0.65	273.3	265.9	258.5	251	243.6	236.2	228.7	221.3	213.8	206.4	199	191.5	184.1	176.7	169.2	161.8	154.3	146.9	139.5	132	124.6
0.7	311.5	304.1	296.7	289.2	281.8	274.3	266.9	259.5	252	244.6	237.2	229.7	222.3	214.8	207.4	200	192.5	185.1	177.7	170.2	162.8
0.75	349.7	342.3	334.8	327.4	320	312.5	305.1	297.7	290.2	282.8	275.3	267.9	260.5	253	245.6	238.2	230.7	223.3	215.8	208.4	201
0.8	387.9	380.5	373	365.6	358.2	350.7	343.3	335.8	328.4	321	313.5	306.1	298.7	291.2	283.8	276.3	268.9	261.5	254	246.6	239.2
0.85	426.1	418.7	411.2	403.8	396.4	388.9	381.5	374	366.6	359.2	351.7	344.3	336.9	329.4	322	314.5	307.1	299.7	292.2	284.8	277.3
0.9	464.3	456.9	449.4	442	434.5	427.1	419.7	412.2	404.8	397.4	389.9	382.5	375	367.6	360.2	352.7	345.3	337.9	330.4	323	315.5
0.95	502.5	495	487.6	480.2	472.7	465.3	457.9	450.4	443	435.5	428.1	420.7	413.2	405.8	398.4	390.9	383.5	376	368.6	361.2	353.7
1	540.7	533.2	525.8	518.4	510.9	503.5	496	488.6	481.2	473.7	466.3	458.9	451.4	444	436.5	429.1	421.7	414.2	406.8	399.4	391.9



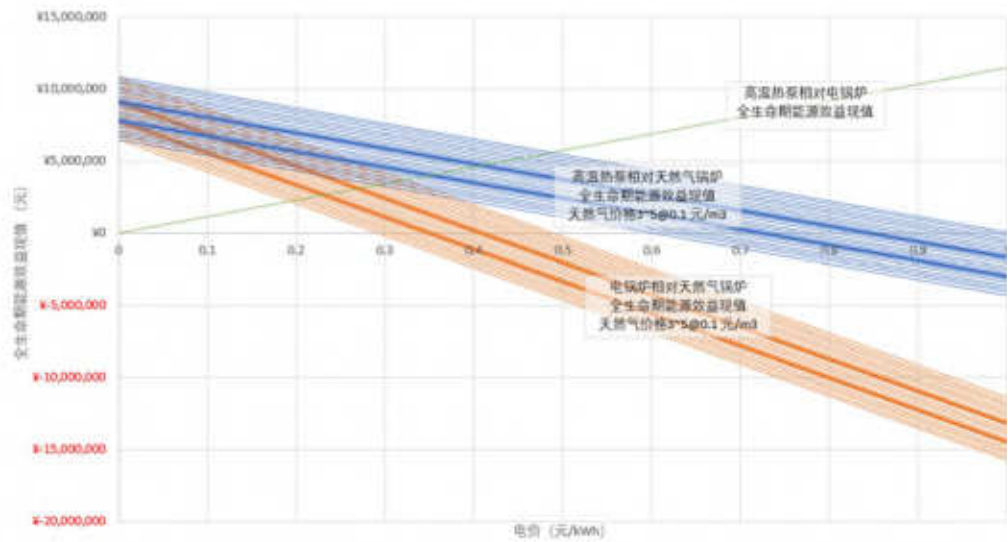
表 5.2 热泵 - 天然气锅炉单位小时能源成本差异表

天然气价格(元/m <sup>3</sup> )	3	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5
电价(元/kWh) 热泵-天然气锅炉能源差价(元/h)																					
0	-223.1	-230.6	-238	-245.4	-252.9	-260.3	-267.8	-275.2	-282.6	-290.1	-297.5	-304.9	-312.4	-319.8	-327.3	-334.7	-342.1	-349.6	-357	-364.4	-371.9
0.05	-204.6	-212	-219.5	-226.9	-234.4	-241.8	-249.2	-256.7	-264.1	-271.5	-279	-286.4	-293.9	-301.3	-308.7	-316.2	-323.6	-331	-338.5	-345.9	-353.4
0.1	-186.1	-193.5	-201	-208.4	-215.8	-223.3	-230.7	-238.1	-245.6	-253	-260.5	-267.9	-275.3	-282.8	-290.2	-297.7	-305.1	-312.5	-320	-327.4	-334.8
0.15	-167.6	-175	-182.4	-189.9	-197.3	-204.8	-212.2	-219.6	-227.1	-234.5	-241.9	-249.4	-256.8	-264.3	-271.7	-279.1	-286.6	-294	-301.4	-308.9	-316.3
0.2	-149	-156.5	-163.9	-171.4	-178.8	-186.2	-193.7	-201.1	-208.5	-216	-223.4	-230.9	-238.3	-245.7	-253.2	-260.6	-268	-275.5	-282.9	-290.4	-297.8
0.25	-130.5	-138	-145.4	-152.8	-160.3	-167.7	-175.1	-182.6	-190	-197.5	-204.9	-212.3	-219.8	-227.2	-234.6	-242.1	-249.5	-257	-264.4	-271.8	-279.3
0.3	-112	-119.4	-126.9	-134.3	-141.7	-149.2	-156.6	-164.1	-171.5	-178.9	-186.4	-193.8	-201.2	-208.7	-216.1	-223.6	-231	-238.4	-245.9	-253.3	-260.8
0.35	-93.5	-100.9	-108.3	-115.8	-123.2	-130.7	-138.1	-145.5	-153	-160.4	-167.9	-175.3	-182.7	-190.2	-197.6	-205	-212.5	-219.9	-227.4	-234.8	-242.2
0.4	-75	-82.4	-89.8	-97.3	-104.7	-112.1	-119.6	-127	-134.5	-141.9	-149.3	-156.8	-164.2	-171.6	-179.1	-186.5	-194	-201.4	-208.9	-216.3	-223.7
0.45	-56.4	-63.9	-71.3	-78.7	-86.2	-93.6	-101.1	-108.5	-115.9	-123.4	-130.8	-138.2	-145.7	-153.1	-160.6	-168	-175.4	-182.9	-190.3	-197.8	-205.2
0.5	-37.9	-45.3	-52.8	-60.2	-67.7	-75.1	-82.5	-90	-97.4	-104.8	-112.3	-119.7	-127.2	-134.6	-142	-149.5	-156.9	-164.3	-171.8	-179.2	-186.7
0.55	-19.4	-26.8	-34.3	-41.7	-49.1	-56.6	-64	-71.4	-78.9	-86.3	-93.8	-101.2	-108.6	-116.1	-123.5	-131	-138.4	-145.8	-153.3	-160.7	-168.1
0.6	-0.9	-8.3	-15.7	-23.2	-30.6	-38.1	-45.5	-52.9	-60.4	-67.8	-75.2	-82.7	-90.1	-97.6	-105	-112.4	-119.9	-127.3	-134.8	-142.2	-149.6
0.65	17.7	10.2	2.8	-4.7	-12.1	-19.5	-27	-34.4	-41.8	-49.3	-56.7	-64.2	-71.6	-79	-86.5	-93.9	-101.3	-108.8	-116.2	-123.7	-131.1
0.7	36.2	28.7	21.3	13.9	6.4	-1	-8.4	-15.9	-23.3	-30.8	-38.2	-45.6	-53.1	-60.5	-67.9	-75.4	-82.8	-90.3	-97.7	-105.1	-112.6
0.75	54.7	47.3	39.8	32.4	25	17.5	10.1	2.6	-4.8	-12.2	-19.7	-27.1	-34.5	-42	-49.4	-56.9	-64.3	-71.7	-79.2	-86.6	-94.1
0.8	73.2	65.8	58.4	50.9	43.5	36	28.6	21.2	13.7	6.3	-1.2	-8.6	-16	-23.5	-30.9	-38.3	-45.8	-53.2	-60.7	-68.1	-75.5
0.85	91.7	84.3	76.9	69.4	62	54.6	47.1	39.7	32.2	24.8	17.4	9.9	2.5	-4.9	-12.4	-19.8	-27.3	-34.7	-42.1	-49.6	-57
0.9	110.3	102.8	95.4	88	80.5	73.1	65.6	58.2	50.8	43.3	35.9	28.5	21	13.6	6.1	-1.3	-8.7	-16.2	-23.6	-31	-38.5
0.95	128.8	121.4	113.9	106.5	99	91.6	84.2	76.7	69.3	61.9	54.4	47	39.5	32.1	24.7	17.2	9.8	2.4	-5.1	-12.5	-20
1	147.3	139.9	132.4	125	117.6	110.1	102.7	95.3	87.8	80.4	72.9	65.5	58.1	50.6	43.2	35.7	28.3	20.9	13.4	6	-1.4

以天然气价格为 4 元 /m<sup>3</sup> 为例，电价需要低于 0.4 元 /kWh 时电锅炉相比天然气锅炉才具有能源使用成本优势，但电价低于 0.85 元 /kWh 时热泵相比天然气锅炉已经具有能源使用成本优势了。

考虑该设备日运行 10h，年运行 300 天，使用期均为 15 年，资金折现率 6%，则三种方案在使用期全寿命阶段内的能源相对效益现值如下图所示。

图 5.2 三种方案全寿命期能源相对收益现值



\* 橘色系列线为天然气价格在 3~5 元 /m<sup>3</sup> 以 0.1 元 /m<sup>3</sup> 为间隔的一簇直线，加深的两根分别表示 3.6 元 /m<sup>3</sup> 和 4.2 元 /m<sup>3</sup> 的天然气价格作为参考。蓝色系列线为天然气价格在 3~5 元 /m<sup>3</sup> 以 0.1 元 /m<sup>3</sup> 为间隔的一簇直线，加深的两根分别表示 3.6 元 /m<sup>3</sup> 和 4.2 元 /m<sup>3</sup> 的天然气价格作为参考。

以天然气价格为3.6元为例，在电价为0.3元/kWh时，电锅炉在使用期全寿命阶段内的相对天然气锅炉能源效益现值约为110万元，即，若对于电锅炉，其包括设备成本、安装成本和检修成本在内所有成本现值相对于天然气锅炉不超过110万元，则电锅炉全生命周期内经济性评价更优。

考虑一蒸吨热泵相对于天然气锅炉全生命期总成本现值约为300万元，则在天然气价格为3.6元/m<sup>3</sup>时，那么当电价低于0.45元/kWh时热泵便相对于天然气锅炉总经济性评价更优；在天然气价格为4.2元/m<sup>3</sup>时，那么当电价低于0.55元/kWh时热泵总经济性评价更优。

对于任意电价和气价，其全生命期经济性评价曲线一般如下图5.3所示。

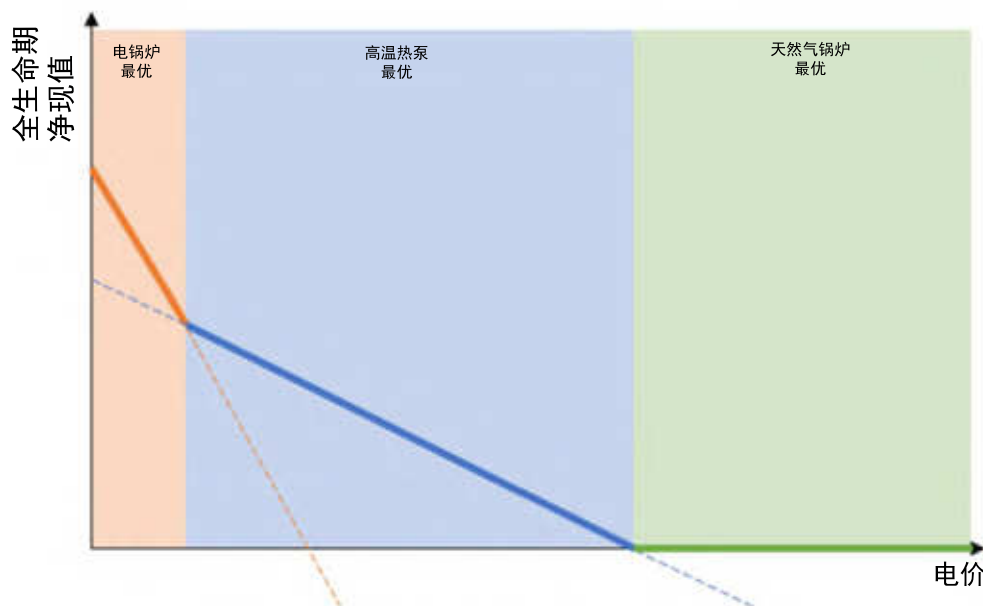
在**低电价区间**，由于电力使用成本极低，电锅炉和高温热泵均相对于天然气锅炉具有全生命期经济优势，但由

于电力成本在全生命期成本中占比较小，热泵相对于电锅炉额外省的电力费用不足以弥补其多支出的成本，因此在此区间内电锅炉经济性最优。**此情景适用于高比例电力自产自用的企业。**

在**中等电价区间**，电锅炉和热泵相对于天然气锅炉的经济性优势随电价提高而逐渐降低，电锅炉由于用电量高于热泵，将更快降为比较劣势，因此在此区间内高温热泵经济性最优。**此情景适用于部分电力自产自用、部分电力购买市电或绿电的企业。**

在**高电价区间**，“气改电”已不具有经济优势，仅具有减排的环境效益，此区间内天然气锅炉的经济性最优。**此情景适用于大部分电力购自市电且当地电价较高的企业。**在此高电价情形下，若需推动“电酿酒”此类电气化工程，宜考虑设置适当的电气设备购置补贴或电价补贴政策以弥补电气化方案的经济性劣势。

图 5.3 三种方案全生命期净现值与电价关系图



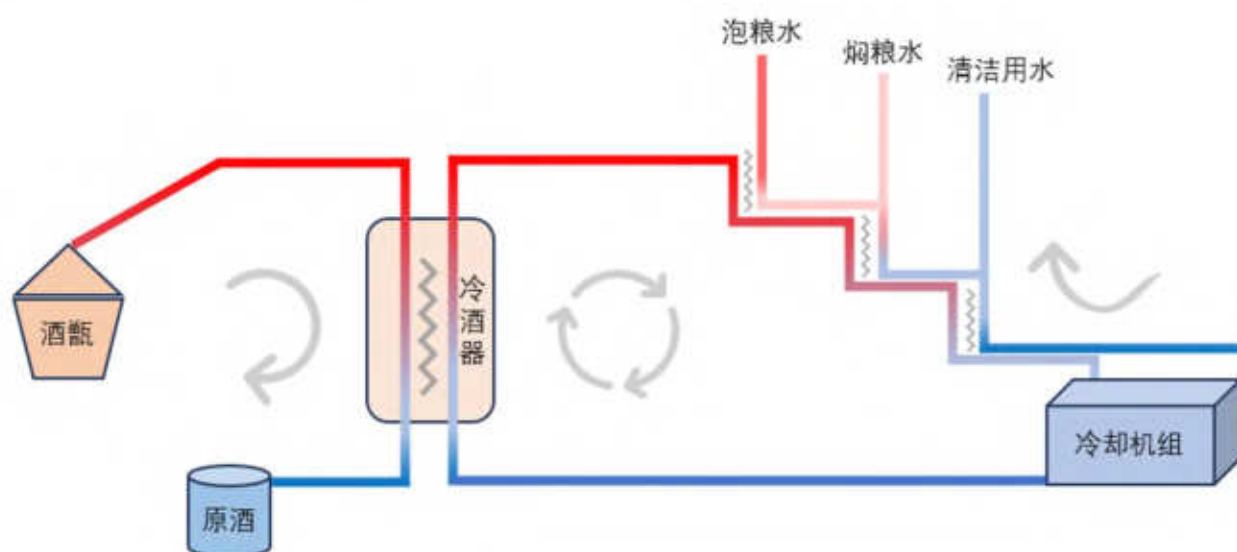
### 3.2 余热梯次利用

酿酒过程中余热的潜在利用源主要包括三项：锅炉烟气、蒸粮的外排蒸汽和蒸酒的冷酒器。新型冷凝式燃气锅炉已可实现烟气的热能回收，将传统锅炉的  $140^{\circ}\text{C}$  左右外排烟气回收利用至  $60^{\circ}\text{C}$ ，充分回收其中的显热与潜热。非冷凝式燃气锅炉将逐渐被市场淘汰。

蒸粮与蒸酒均属于酿酒中的关键工艺环节。以某案例分析酿造工艺中的水平衡过程：相对于总耗水量，冷酒水用量占比约 35%，排污废水（包括泡粮废水、清洁用水、

黄水、软水装置排出的高硬水等）比例约 45%，蒸汽用量占比约 12%，其他耗散（丢糟含水、流程损耗等）占比约 8%。对于冷酒水，由于环保等要求，目前一般采用闭式水冷式冷却塔或风冷式冷却机组，从冷酒器中  $80^{\circ}\text{C}$  左右的流出温度降低至  $20^{\circ}\text{C}$  左右进行下一轮冷酒循环，其余热并没有得到充分利用。结合如泡粮水（约  $70\sim 80^{\circ}\text{C}$ ）、焖粮水（约  $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ ）和清洁用水（约  $30\sim 40^{\circ}\text{C}$ ）等其他用水需求，带余热梯次利用的冷酒循环如下图 5.4 示意。

图 5.4 冷酒余热梯次利用示意图





### 3.3 废弃物循环处理

我国每年白酒糟产量约 2000 万吨，具有丰富的可利用空间，其潜在利用价值包括养殖饲料、有机肥料和能源用途等。一方面，白酒大省如四川和贵州等地白酒主产区主要分布于山区地带，**运输条件先天不足**；另一方面，**酒糟极易腐败**，不便运输——因此，酒糟适宜就地处理、就地利用。

由于酒糟含水量达 60% 左右，其直接作为燃料燃烧需要进行干燥处理，但由于亲水性较强，其干燥处理过程较为困难，导致其燃烧不稳定，易产生一氧化碳等非完全燃烧产物。同时，由于酒糟含氮量较高，其直接燃烧产物中氮氧化物的浓度也较大，对于环境有较大影响。基于酒糟的特性，其更适合的能源利用途径包括**厌氧发酵制沼气**、**工业发酵制乙醇**以及**热解气化制燃气**等。

据相关研究，每吨酒糟约可产 20m<sup>3</sup> 沼气。沼气一般生产周期较长，且需要处理沼渣沼液的排放问题；而热解气化生成的燃气热值一般较低，同时也需要处理焦油等有害副产品。因此，有研究也提出了更进一步的耦合方法：将酒糟等生物质废料先进行厌氧发酵生成沼气，再将沼液沼渣等分离干燥从而进一步热解气化制取燃气，实现更充分的物料利用与废物处理。

酿酒是用水量较高的行业之一，其废水排放源包括泡粮废水、清洁用水、黄水、甑底水、软水装置排出的高硬水等，成分复杂，包含多种醇类、酯类、酸类等有机物，酸度高，化学需氧量高，总氮浓度和总磷浓度均较高，生化性好，适宜结合污水处理设施中厌氧发酵池制取利用沼气。废水污泥产量一般约为废水量的 3% 左右，其干热值普遍较高，也适宜用作能源用途。

除酒糟和废水外，酿酒行业其他废弃物还包括无法再循环利用的制曲稻草及废弃窖泥等。稻草与曲块直接接触，表面粘连大量的麦粉和微生物，可用作肥料、饲料、菌类培养基及生物质颗粒燃料制备等用途；窖泥一般混杂了稻壳、糟醅，具有丰富的微生物菌群，可用于协同生成有机肥、协同酒糟制备固体颗粒燃料以及蚯蚓养殖基材等用途。

总体来看，酿酒废弃物的循环处理适宜以生物质天然气（经提纯后的沼气）为核心，其供给源包括丢糟处置和酿酒废水处理等，可用于热电联产直接供应厂区所需电力及蒸汽。

以年产量 1 万吨基酒的酒厂为例，其年能源消耗量约 1 万吨标煤。生产每吨基酒约产出三吨酒糟，酒糟产沼气约 60 万方；生产每吨基酒约排放废水 40 吨，废水厌氧处理产沼气约 200 万方。沼气总体可供应能源 0.16 万吨标煤，即通过自身厂区废弃物的循环利用便可覆盖约 16% 的年能源需求。



## 六、研究总结

白酒行业作为我国的特色产业，其能源利用与物料消耗过程具有其独有的特点。不同香型的白酒，其工艺流程各有传承，但都具有相似的工艺段区分，其中主要的用能段包括蒸粮和蒸酒流程。

为推进白酒行业节能降碳工作，本报告中对于部分企业的用能特点与能源费用进行了比较研究，并提出了包括推广热泵和电锅炉应用、加强余热梯次利用和完善废弃物循环处理体系等三项重点任务共五大板块的未来发展路径建议，希望推动白酒行业在新时代更进一步高质量发展。(完)



关注公众号“唯你行业报告”

点击菜单栏 **【入群学习】**

即可加入 唯你行业报告交流分享群.....





## 地址

四川省成都市双流区天府新区  
天府菁蓉中心B区2-7号楼9楼



## 电子邮箱

高浪 Gaolang@tsinghua-eiri.com  
李祖宇 Lizuyu@tsinghua-eiri.com

除特别注明外，所有图片均来自自制

本报告内容仅代表作者个人观点，并不代表任何组织、机构或政府观点。若无特别声明，本报告解释权及研究成果均由其作者专属所有。

©2024清华四川能源互联网研究院