



21世纪高职高专精品规划教材
生物技术类专业适用

生物化工实训指导

Biochemical Engineering Practice Guide

李霞 主编



天津大学出版社
TIANJIN UNIVERSITY PRESS

卓越系列

21 世纪高职高专精品规划教材·生物技术类专业适用

生物化工实训指导

Biochemical Engineering Practice Guide

主 编 李 霞

副主编 王艳国 张文生



图书在版编目(CIP)数据

生物化工实训指导/李霞主编. —天津:天津大学出版社,
2007.5

21 世纪高职高专精品规划教材

ISBN 978-7-5618-2439-9

I. 生... II. 李... III. 生物工程:化学工程—高等学校:
技术学校—教材 IV. Q81 TQ02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 049024 号

出版发行 天津大学出版社
出 版 人 杨欢
地 址 天津市卫津路 92 号天津大学内(邮编:300072)
电 话 发行部:022-27403647 邮购部:022-27402742
网 址 www.tjup.com
短信网址 发送“天大”至 916088
印 刷 廊坊市长虹印刷有限公司
经 销 全国各地新华书店
开 本 169mm × 239mm
印 张 18
字 数 343 千
版 次 2007 年 5 月第 1 版
印 次 2007 年 5 月第 1 次
印 数 1—3 000
定 价 25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,烦请向我社发行部门联系调换

版权所有 侵权必究

主编及编写人员

主编 李 霞

副主编 王艳国 张文生

编者 (按姓氏笔画排序)

王艳国 天津职业大学生物与环境工程学院化学工艺与工程系

李 霞 天津职业大学生物与环境工程学院生物工程系

张文生 天津职业大学生物与环境工程学院生物工程系

宋超先 天津职业大学生物与环境工程学院生物工程系

吕 平 天津职业大学生物与环境工程学院生物工程系

黄早生 天津市河北制药厂

前 言

《生物化工实训指导》是为生物制药技术专业、生物技术与应用专业和化学工程与工艺专业生物化工方向编写的一本实训教材。目前,高职院校生物制药、生物技术和生物化工专业使用的实训教材比较短缺,大部分还使用本科教材。高等职业教育不同于普通高等教育,它是面向实际、面向社会、适应具体职业的高等教育。高等职业教育要让学生获得从事某个职业或行业所需的实际技能和知识,以培养实用型、动手能力强的专门人才为根本任务,以适应社会需要为目标,注重对学生专业实践能力的培养。社会对人才的需求方向就是高等职业教育的培养方向,为社会、为企业培养留得下、用得上的人才就是高等职业教育的目标。所以,根据充分体现高职教育特色的人才培养计划和目标,特编写此教材。

本书共 10 章,第 1 至 3 章由天津职业大学王艳国编写,第 4、第 5 及第 10 章由天津职业大学李霞、吕平编写,第 6、第 7 章由天津职业大学张文生编写,第 8 章由天津职业大学宋超先编写,第 9 章由天津河北制药厂黄早生编写。

在教材编写中,我们以发酵工程技术为主线,以典型产品的生产工艺、主要设备的运行与操作为核心,通过 10 个部分的实训内容把生物化工的理论知识与实践有机地结合起来,使学生较好地掌握有关乙醇、微生物饲料、肥料、氨基酸、酶制剂、有机酸、微生物发酵制药和生物农药的发酵、提取的生产制造工艺以及主要设备的使用和维护技术。

由于编者水平有限,敬请专家和广大读者批评指正。

编者

2006 年 9 月 10 日

目 录

1 酒精发酵新技术及主要设备运行	(1)
1.1 酒精发酵新技术	(1)
1.2 酒精生产中主要设备的运行与操作	(6)
1.3 酒精生产典型操作技术	(16)
2 酒精生产技术	(40)
2.1 概述	(40)
2.2 酒精的性质及用途	(41)
2.3 酒精生产的原辅料	(43)
2.4 酒精的质量	(48)
2.5 淀粉质生产酒精的原料处理	(50)
2.6 淀粉质生产酒精的糖化	(61)
2.7 淀粉质生产酒精的酵母培养	(68)
2.8 淀粉质生产酒精的发酵	(79)
2.9 淀粉质生产酒精的蒸馏	(89)
3 无水酒精生产技术	(114)
3.1 无水酒精的生产方法	(114)
3.2 共沸脱水法生产无水酒精	(117)
3.3 盐脱水法生产无水酒精	(123)
3.4 有机物吸附法生产无水酒精	(124)
4 微生物饲料	(126)
4.1 概述	(126)
4.2 4320 菌体蛋白饲料的生产与应用	(135)
4.3 秸秆饲料	(168)
4.4 EP 多效生物添加剂	(179)
5 微生物肥料	(182)
5.1 概述	(182)
5.2 微生物肥料的应用	(187)
5.3 几种常用微生物肥料	(190)
6 氨基酸	(196)



6.1 概述	(196)
6.2 谷氨酸的发酵	(197)
6.3 谷氨酸发酵实训指南	(207)
7 酶制剂	(213)
7.1 概述	(213)
7.2 α -淀粉酶的工业生产	(216)
7.3 酶工程实训指南	(234)
8 有机酸	(239)
8.1 有机酸发酵概述	(239)
8.2 柠檬酸发酵实训	(241)
9 微生物发酵制药	(245)
9.1 概述	(245)
9.2 微生物药物发酵的生产	(247)
9.3 庆大霉素实训指南	(254)
10 生物农药	(263)
10.1 概述	(263)
10.2 井冈霉素(Jinggangmycin)	(267)
10.3 阿维菌素(abenectin, avermectin)	(272)
参考文献	(278)

1

酒精发酵新技术及主要设备运行

近年来,酒精发酵技术发展很快,目前正在研究的技术有真空发酵技术、透析膜发酵技术、萃取发酵技术等,正在推广应用的技术主要有酒精连续发酵技术、固定化酵母技术、大罐发酵技术、细菌酒精发酵技术、酵母回收使用技术和酸性蛋白酶使用技术等。本章将对正在推广应用的技术作简单介绍。

1.1 酒精发酵新技术

1.1.1 酒精连续发酵技术

酒精连续发酵是指酒精发酵的各个阶段在不同的容器中进行,对于每个容器而言,醪液的浓度、酵母细胞的浓度、酒精含量、pH 值及温度等决定了酒精发酵方式。酒精连续发酵不仅造就了酵母增殖和发酵的稳定外部环境,提高了发酵能力和发酵率,而且生产过程连续化,生产操作管理方便,劳动强度低,设备利用率高。酒精连续发酵分为单罐连续发酵和多罐串联式连续发酵,生产实践中常采用多罐串联式连续发酵。



酒精连续发酵必须做到四个稳定:①发酵罐进料量和出料量稳定;②发酵罐内醪液浓度稳定;③发酵罐内酵母细胞浓度稳定;④发酵罐内酒精浓度稳定。

要保证发酵的四个稳定,即酒精连续发酵正常,必须做到:①细胞生长速率等于稀释比;②最大稀释比小于细胞最大生长速率。

1.1.2 固定化酵母技术

20世纪70年代以来,固定化酵母技术在酒精发酵工业上展示了其旺盛的生命力。固定化酵母是将酵母细胞经物理方法或化学方法处理后,束缚于某种水溶性物质(载体)上而成的,它具备酵母细胞原有的活性,具有高效、专一、经济、可反复使用等优点,并具备一定的机械强度,有利于实现管道化、连续化、自动化生产,便于贮存和保管。

固定化酵母可采用海藻酸盐作载体,也可以使用树脂作载体。固定化酵母应用于酒精发酵,其效果一般可达到:含酒精6%~9%(质量分数),酒精容积效率20~25 L/(m³·h),糖醇转化率为85%~90%。

固定化酵母载体投入量一般为1.5%~2.5%,发酵满罐温度为29~30℃,主发酵温度为30~34℃(耐高温酵母可达37~40℃),后发酵温度不控制。发酵周期为:玉米原料28~34 h、薯类原料36~40 h、糖蜜原料24~28 h。淀粉质原料发酵成熟醪残总糖小于1.0%,残还原糖小于0.3%,糖质原料发酵成熟醪残留可发酵糖小于0.2%。

固定化酵母技术在酒精工业中的应用前景广阔,在实际应用时必须注意两点:①通过添加有效的抗菌剂(常常在发酵稀糖液中加0.000 2%的灭菌灵),控制固定化酵母制备和增殖过程中不染菌;②通过固定化酵母迅速增殖形成酵母优势来抑制醪液中的杂菌。

1.1.3 大罐发酵技术

我国酒精发酵多采用11~15个容积为40~1 000 m³的发酵罐,发酵过程中采用罐外淋水或罐内蛇管方式冷却;发酵过程中一般不通风(无菌空气)供氧;发酵罐放空后,一般需清洗、杀菌。这种方式存在着发酵设备数量多、占地面积大、冷却用水多及操作复杂等缺点。

大罐发酵技术可有效地克服上述缺点。大罐发酵的发酵罐数量一般为3~6个。发酵过程中多采用螺旋板式热交换器作冷却设备,减少了设备内部死角,有利于清洗杀菌。在预发酵罐供给适量的无菌空气。

酒精大罐连续发酵在国内已有应用,连续发酵时间可持续60 d以上,淀粉

出酒率在 53% ~ 54%, 产量也有大幅度提高。

影响酒精大罐发酵的主要因素有以下 5 个方面。

1. 进酶速度(流加速度)

在间歇发酵中,传统工艺接种量要求为 8% ~ 10%,而大罐酒精发酵则要求接种量为 20% ~ 25%,糖化醪液要求自接种后 8 ~ 10 h 内加完。

在连续发酵过程中,要求进入各罐的醪液糖分基本上等于被酵母消耗的糖分与流出的糖分之和。发酵阶段,新增殖的酵母细胞数加上由上一罐流入的酵母细胞数等于流入下一罐的酵母细胞数,新增殖的酵母细胞数取决于发酵醪营养物质的多少,营养物质的多少又取决于进、出料速度,所以控制进、出料速度就可以控制营养成分进而控制酵母细胞数。

由于发酵罐容积不同,因此不可能制定统一的流加速度,为了方便控制,通常采用“稀释率”指标。所谓稀释率是指流加速度与流加罐总容积之比。实践表明,稀释率一般控制在 $0.0135 \sim 0.045 \text{ h}^{-1}$ 为宜。在此范围内,流加罐的酵母细胞数可控制在 $(0.7 \sim 1.5) \text{ 亿}/\text{min}$ 。如果稀释率太大,即使酵母菌繁殖快,酵母也来不及积累而被冲流带走,不能保持相对的稳定状态。

为了保证稀释率,通常采用大罐双流或三流加法,即选择在 1[#]、2[#] 发酵罐流加糖液,或在预发酵罐和 1[#]、2[#] 发酵罐都流加糖液。实践表明,这两种方法的效果较为理想。

2. 糖液的浓度

酒精发酵要求在一定浓度的糖液中进行,糖液浓度的高低直接影响到生产效果。浓度低有利于酵母的代谢活动,提高出酒率;浓醪发酵,则有利于提高设备利用率,增加产量,节省水、电、气等,降低生产成本。因此,大罐连续发酵的浓度需控制在一定范围内,通常控制糖液浓度以保持成熟醪酒精含量为 9% (体积分数)左右。

3. 发酵温度

发酵温度控制与发酵成绩关系密切。一般预发酵罐温度控制为 $30 \sim 32 \text{ }^{\circ}\text{C}$,主发酵罐温度控制为 $32 \sim 35 \text{ }^{\circ}\text{C}$;采用耐高温酵母,预发酵罐温度控制为 $33 \text{ }^{\circ}\text{C}$,主发酵罐温度控制为 $33 \sim 37 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

4. 发酵时间

一般糖蜜原料生产酒精发酵时间为 24 ~ 34 h,淀粉质原料生产酒精发酵时间需要 55 ~ 65 h。发酵时间太长或太短均不利于生产。为了缩短淀粉质原料的酒精发酵时间,可适当提高蒸煮糊化醪的糖化率。



5. 发酵醪的滞流和滑漏

在间歇发酵中,不存在发酵醪的滞流和滑漏问题,但在连续发酵中,由于醪液始终处于流动状态,因此就要求醪液“依次”先进先出,防止滞流和滑漏的发生。为此,可在罐内安装折流挡板。在大罐发酵中,则应以螺旋板式热交换器代替罐内冷却盘管,以减少滞流的发生;同时在发酵罐的进料处安装搅拌器,使新进醪液与原醪液充分混合;在出料口通入无菌空气,一是激活酵母,二是对醪液充分搅拌混匀。

1.1.4 细菌酒精发酵技术

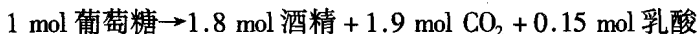
发酵运动单胞菌等少数细菌能发酵葡萄糖生成酒精。

1. 发酵运动单胞菌的生理特性与酒精发酵途径

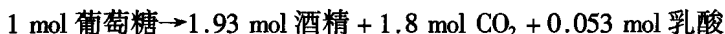
发酵运动单胞菌的生长需要有葡萄糖、果糖作碳源,有些菌株也可用蔗糖作碳源。该单胞菌在蛋白胨和 2% 葡萄糖培养基、啤酒和 2% 葡萄糖培养基、棕榈汁等培养基中都能良好生长。

发酵运动单胞菌生长的最适温度为 30~36℃,死亡温度为 60℃(5 min),生长 pH 为 3.5~7.9,最适 pH 为 5~7。在浓度较高的葡萄糖液中也能生长(葡萄糖含量为 33% 时,80% 的菌能生长;葡萄糖含量为 40% 时,54% 的菌能生长)。发酵运动单胞菌在酒精含量为 7.7%~10% 时,47%~73% 的菌株能生长。

发酵运动单胞菌 ATCC 10980 的代谢公式为:



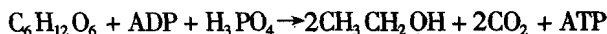
发酵运动单胞菌 NCI8938 的代谢公式为:



发酵运动单胞菌降解的葡萄糖按 ED 途径(Entner 和 Doudoroff 两人首先发现)进行。细菌酒精发酵途径的关键步骤是 2-酮-3-脱氧-6-磷酸葡萄糖酸的催化裂解,即分解为 2 个 3 碳化合物,因此该途径也称 2-酮-3-脱氧-6-磷酸葡萄糖酸裂解途径(简称 KDPG 途径)。

细菌酒精发酵过程是葡萄糖经 HMP 途径的前部分,生成 6-磷酸葡萄糖酸,而后在脱水酶作用下脱水生成 2-酮-3-脱氧-6-磷酸葡萄糖酸,再在脱氧酮糖醛缩酶作用下裂解为 3-磷酸甘油醛和丙酮酸,3-磷酸甘油醛转入 EMP 途径的后部分,转化为丙酮酸,丙酮酸再脱羧生成乙醛,乙醛再还原成乙醇。

细菌酒精发酵的总反应式为:



2. 细菌酒精发酵的优势

细菌酒精发酵与酵母菌酒精发酵相比具有明显的优势,表现为如下 5 个方面。

(1)酒精产率高,1 mol 葡萄糖可生成 1.9 mol 酒精。

(2)酒精生产能力高,连续发酵细菌酒精发酵为 120 g/(L·h),酵母菌酒精发酵为 30~40 g/(L·h)。

(3)细菌酒精发酵无须供氧,酵母菌酒精发酵需供少量氧气。

(4)细菌酒精发酵温度一般为 36 ℃,适合夏季生产;酵母菌酒精发酵温度一般为 33 ℃。

(5)细菌酒精发酵代谢产物少,为酒精蒸馏提纯及高质量酒精的生产提供了有利条件。

细菌酒精发酵与酵母菌酒精发酵相比也有明显的不足:首先是其生长过程中 pH 值较高,生产中易受杂菌污染;其次是耐酒精能力较酵母菌差。

随着基因技术的发展,耐高温、耐酒精和能利用多种碳源的细菌生产菌将被发现驯化,应用于酒精生产。

1.1.5 酵母回收使用技术

回收酒精发酵成熟醪中的酵母返回发酵罐供糖液发酵用,省去了酵母培养工段,杜绝了杂菌感染,提高了发酵罐中酵母的浓度。发酵直接进入主发酵期,稳定提高了发酵成绩,同时缩短了发酵时间,提高了设备利用率。因此,酵母回收使用技术促进了酒精生产的技术进步,应予推广使用。

1. 淀粉质原料生产酒精酵母回收使用

淀粉质原料生产酒精酵母回收使用工艺由澳大利亚昆士兰州酒精厂首先投入使用,其核心为:发酵成熟醪用泵送入纤维分离装置进行分离,先经曲筛进行一级分离,除去纤维的醪液泵入酵母分离机,分离出来的酵母乳返回发酵罐循环使用。

2. 糖蜜生产酒精酵母回收使用

将糖蜜酒精发酵成熟醪泵入一级分离机,将酵母液与酒精发酵醪分离,酒精发酵醪送蒸馏,酵母液按 1:4 的比例加入干净的水,同时加入少量糖液,通入无菌空气,以保持酵母活性。将稀释的酵母液泵入二级分离机中,将酵母乳与酒精醪液[含酒精 4%(体积分数)左右]分离,酒精醪液送蒸馏,酵母乳送贮罐处理备用。酵母分离一般采用涡轮离心机。其流程如图 1-1。

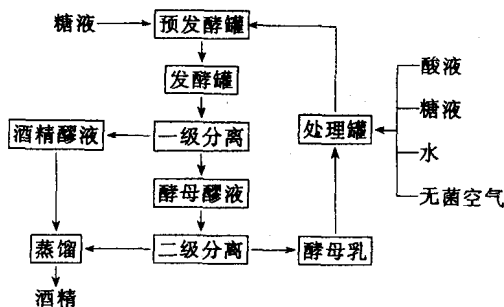


图 1-1 涡轮离心机分离酵母工艺流程

1.1.6 酸性蛋白酶使用技术

以小麦、玉米为原料生产酒精,虽然原料中富含蛋白质(8%~12%),但糖化发酵醪液中只有少量的可以被酵母菌利用的氨基酸、二肽和三肽(统称 FAN),大多数为酵母菌无法利用的可溶性蛋白质。

在糖化发酵醪液中加入酸性蛋白酶可将可溶性蛋白质分解为 FAN,即可溶性蛋白质经酸性蛋白酶催化,于 30~40℃ 下分解为氨基酸、二肽和三肽;另一方面, FAN 与无机氮不一样,酵母菌可以直接利用 FAN 合成菌体蛋白质,既促进了酵母菌的生长繁殖,提高了酒精发酵速率,又能减轻酵母细胞氨基酸合成代谢的负荷,使底物(葡萄糖)更多地发酵生成乙醇,提高原料的出酒率。

工厂应用实践表明,在糖化发酵醪中添加 0.01%(原料量,相当于每克原料 10~12 U)的酸性蛋白酶, FAN 含量增加 50%~65%;酵母细胞数增加 30%~35%;发酵成绩得到提高;残总糖、残还原糖和酸度有所下降,酒度有所提高。据哈尔滨酿酒总厂、华润金玉公司等单位的经验,使用酸性蛋白酶可使成熟醪酒分提高 0.5%,淀粉出酒率提高 0.2%~0.3%,经济效益良好。

1.2 酒精生产中主要设备的运行与操作

1.2.1 离心泵的试车和操作

1.2.1.1 离心泵的试车

离心泵安装完毕后,在正式投产前,必须进行试车。其目的是检查和消除在

安装过程中没发现的问题,使泵在正式投产以前能正常运转。试车前要与有关部门(供电、供水、供气部门等)取得联系,并且要准备好维修工具和必要的零件,以便发生问题时能及时处理。

试车前必须首先检查并做好记录。检查项目和试车步骤如下。

(1)检查地脚螺栓及泵体与机座的连接螺栓是否紧固。

(2)离心泵试车前可将联轴器的螺栓拆下,启动电机,观察轴的转向是否与泵的工作叶轮转向一致。检查无误后再上螺栓,但不能开动电机带动泵空转,否则泵零件之间的干摩擦会造成泵的损坏。

(3)盘车时应无轻重不均的感觉,同时要检查两半联轴器的连接情况,泵轴和电机轴是否“同轴”,填料压盖要压正,无歪斜。

(4)检查润滑油、封油、冷却水系统,应无堵塞,无泄漏。

(5)热油泵启动前一定要暖泵,一般预热速度每小时不超过 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

(6)水泵试车前要使泵内充满水,充水时打开放气阀,待泵内充满水后关闭放气阀。打开真空表和压力表阀门,关闭泵的出口阀门。启动电机 $2\sim 3\text{ min}$ 后慢慢打开泵出口阀,观察压力表和真空表的数值,达到要求数值后,要检查轴承温度。一般滑动轴承温度不大于 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$,滚动轴承温度不大于 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。运动要平稳、无杂音。流量和扬程均达到标牌上的要求。机械密封漏损不超过 10 滴/min ,软填料密封漏损不超过 20 滴/min 。

(7)耐酸泵试车启动时不要关闭出口阀,使出口阀全开,避免因酸液在泵壳内搅动升温而加剧对泵的腐蚀。一般使填料函与泵的吸入口相连通,并使填料函处于负压条件下,避免腐蚀液体漏出。填料函可采用水封,既可冷却填料又可防止腐蚀性液体外流。

(8)离心泵试车合格后,填写合格证,办理验收合格证要经有关人员签字后存入技术档案待查。

1.2.1.2 离心泵的操作

离心泵操作时应注意以下几个问题。

(1)灌泵。离心泵启动之前必须排出空气或其他气体,使泵内充满被输送的液体,泵启动时叶轮才能产生足够大的离心力,使泵吸入口产生较大的真空度而不断吸入液体,否则泵壳内有气体就可能达不到所要求的真空度,甚至使泵吸不进液体。

(2)预热。对输送高温液体的泵(如热油泵、高温水泵等),在启动前和备用时都要预热。因为这些泵是根据操作温度设计的,在低于操作温度时由于金属材料热胀冷缩的原因,各零件的尺寸以及它们之间的间隙都要发生变化,所以不



预热就启动离心泵必然会损坏设备。

由于泵体内各零件尺寸大小、厚薄不同,若加热太快,小而薄的零件温度升高较快而先膨胀,会造成各零件配合不均,产生歪斜、抱轴、轴弯曲变形等后果,所以,要采取慢速均匀的预热方法。为了使泵内零件得到均匀的加热,应一边加热一边盘车。

(3)盘车。泵启动前要进行盘车。盘车目的不仅是为了使各零件均匀受热,而且能检查泵是否正常(如轴承的润滑情况,是否有卡轴现象,泵是否有堵塞或冻结,密封处是否有泄漏等)。因为轴上叶轮自重的影响,轴中间产生一定的挠度,特别是多级泵,轴长,叶轮多,自重重大,轴的挠度大。所以,对备用泵也要经常盘车,每次转 180° 为宜。

(4)泵的开车、运转和停车。泵启动时,一般先关闭出口阀门(耐酸泵除外),使流量为零,其目的是使泵的启动功率最小,减小电机的启动电流。但出口阀门不能关闭时间太长,否则泵内液体由于叶轮搅动而变热,使温度很快升高,容易产生气蚀。泵启动后慢慢开大出口阀门。轴流泵和旋涡泵因打开出口阀门功率小,所以要先打开出口阀门后再启动电机。对耐酸泵前面已经叙述过,为了减少腐蚀,也采用先打开出口阀门后启动电机的方法。

泵在正常运转调节流量时,不能采用改变泵吸入管路阀门开度的办法调节流量,这样会造成泵吸入口真空度提高而发生气蚀现象。

汽轮机带动离心泵开转时,要考虑临界转速的影响,要很快地通过临界转速达到稳定转速,避免泵产生震动。

离心泵在操作过程中,要严格遵守操作规程,注意轴承温度,经常注入或更换清洁的润滑油或润滑脂,注意轴承内避免混入杂质或水,保证轴承的使用寿命,达到安全运转的目的,要注意压力表和真空表的读数是否正常,发现问题要找出原因并及时处理。

无论是在试车或是在操作过程中,泵内无液体时,千万不能启动泵空转,否则零件之间发生干摩擦,容易磨损,甚至由于干摩擦造成温度急速升高使金属熔化,停车后泵出现“抱轴”或烧坏的现象。对于平衡盘型多级泵,采用塑料填料密封或机械密封的泵更不能空转,否则因为没有高压液体,会使平衡盘严重磨损,密封烧坏。

若离心泵出口管没装单向阀,停泵时要先逐渐关闭出口阀门,再停止电机。如果先停止电机就会使高压液体倒灌,叶轮反转,引起事故。

室外的泵在冬季短时间停车要采取保温措施,防止泵内液体冻结而造成泵的损坏。长时间停车必须把泵内的液体和冷却系统的水全部放净,以免冻裂泵

壳,在北方地区更要注意。

1.2.1.3 离心系的故障分析及排除措施

离心泵在运行过程中经常发生故障,能够及时找出产生故障的原因并采取有效措施消除故障,对保证生产的顺利进行是非常重要的。

1.故障的种类

离心泵产生故障的种类很多,表现形式多种多样。根据故障发生的性质可分为以下4类。

(1)由于各种原因使泵的性能(如流量、扬程等)达不到生产要求,即所谓性能的故障。

(2)由于液体的腐蚀或机械磨损而发生的故障。

(3)由于填料密封或机械密封损坏而发生的故障。

(4)由于其他各种机械事故而造成的故障。

泵出现故障不仅影响生产,甚至使泵不能正常运转而被迫停车。要想消除故障,必须找出产生故障的原因,并且采取相应措施消除故障,使泵达到正常运转。

2.离心泵产生故障的原因

离心泵产生故障的原因很多,主要有以下几种。

(1)由于吸入管路的法兰连接不严密,使空气进入泵的吸入端。

(2)未灌泵或灌泵没排净气体,管内存有气体或泵壳内存有气体。

(3)吸入管底阀未打开或底阀失灵,吸入管底阀或滤网被堵塞。

(4)吸入管底阀失灵,阀门不关闭或关闭不严,灌泵时液体倒流灌不满。

(5)液面降低,吸入管口淹没深度不够,安装高度超过泵的允许吸上高度。

(6)被吸入液体的液面压力下降,或液体温度升高。

(7)泵的转速不够或电机反转。

(8)叶轮松脱或叶轮装反了(特别是双吸泵),叶轮严重腐蚀。

(9)泵的排出端压力超出设计压力,造成反压过高。

(10)液体温度降低,黏度增大,或超过设计时的黏度。

(11)由于调节阀开度太小、单向阀失灵或管路堵塞等原因,使泵的排出管路阻力增大。

(12)排出管路中有气囊。

(13)由于叶轮吸进黏杂物使叶轮堵塞,或多级泵的中间级堵塞。

(14)转子不平衡,或轴弯曲变形。

(15)泵或电机不同轴,对轮不对正(不同心)。



- (16)机座的地脚螺栓松动,或地基基础薄弱。
 - (17)轴瓦或滚动轴承损坏,轴瓦太紧或间隙过大。
 - (18)叶轮的口环严重磨损,间隙太大。
 - (19)填料函压得过紧,填料密封损坏,或轴套磨损。
 - (20)填料材料选择不当,填料或水封环安装不合适。
 - (21)机械密封选型不合适或安装不合格,造成机械密封损坏。
 - (22)冷却系统结垢、堵塞,使冷却水供应不足或中断。
 - (23)轴瓦或轴承内进入灰尘、脏物或腐蚀性液体。
- 为了便于分析离心泵出现的故障,将故障原因列表说明(见表 1-1)。

表 1-1 离心泵产生故障的原因

故障现象	产生故障的原因
抽空(吸不进液体)	(1),(2),(3),(4),(5),(6),(7),(8),(18),(19),(20),(21)
排空(送不出液体)	(7),(8),(9),(10),(11),(12),(13)
减压(压头数值降低)	(3),(5),(6),(7),(8),(9),(10),(11),(12),(13)
减量(流量降低)	(1),(2),(3),(4),(5),(6),(7),(8),(9),(10),(11),(13)
电机超载	(9),(10),(11),(13),(15),(18),(19)
振动和噪声	(1),(2),(13),(14),(15),(16),(18),(19),(20)
密封泄漏	(19),(20),(21)
轴承发热	(15),(17),(22),(23)

找出产生故障的原因后,务必要采取相应的措施排除故障,从而使离心泵正常运转。

3. 离心泵产生振动和噪声的原因

离心泵在运行中产生振动噪声是比较普遍的问题。产生振动和噪声的原因很多,主要有以下几种。

(1)气蚀。当叶轮入口真空度达到被吸入液体的饱和蒸气压时,部分液体气化产生小气泡,这些气泡进入叶轮的叶道以后,在叶轮离心力的作用下,由于压力突然增高使气泡骤然液化,局部产生高压使叶轮振动并产生噪声。

(2)喘振。泵在运行过程中,当调到某一小流量时,泵排出液体量发生周期性变化,呈现喘息状态,使泵运转不稳定,这种现象称为“喘振”。

喘振和气蚀不同,气蚀是在大流量时发生,而喘振是在小流量的情况下发生,即在泵的特性曲线倾斜上升的一段内发生。

喘振多数是在泵的输出管中有气囊或装有孔板流量计时发生,输出管出口端的压力不稳定也可能发生喘振现象。