



1+X 职业技术·职业资格培训教材

LENG DONG GAN ZAO JI SHU

冷冻干燥技术

劳动和社会保障部教材办公室
上海市职业培训指导中心

组织编写



中国劳动社会保障出版社

策划编辑 / 徐建琴
责任编辑 / 李春雷
责任校对 / 王建清
封面设计 / 姚蕴华
责任美编 / 张美芝
版式设计 / 沈 悦

ISBN 7-5045-2269-4



9 787504 522696 >

ISBN 7-5045-2269-4 定价：26.00 元



职业技术·职业资格培训教材

主 编 史伟勤
副主编 谭界凝
编 者 张金妹 楼 唯 黄 炜 张 伟
史圣贝 舒俊杰 顾 茂 厉 亮
主 审 吴兆林

LENG DONG GAN ZAO JI SHU

冷冻干燥技术



中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

冷冻干燥技术/史伟勤主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2006
职业技术·职业资格培训教材

ISBN 7-5045-2269-4

I. 冷… II. 史… III. 冰冻干燥-技术培训-教材 IV. TQ028.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 093930 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

北京市艺辉印刷有限公司印刷装订 新华书店经销
787 毫米×1092 毫米 16 开本 14.25 印张 2 插页 306 千字

2006 年 10 月第 1 版 2006 年 10 月第 1 次印刷

定价: 26.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64911344

内 容 简 介

本书由劳动和社会保障部教材办公室、上海市职业培训指导中心依据上海1+X职业技能鉴定细目——冷冻干燥技术（模块）组织编写。本书从强化培养操作技能，掌握一门实用技术的角度出发，较好地体现了本职业当前最新的实用知识与操作技术，对于提高从业人员基本素质，掌握冷冻干燥技术的核心知识与技能有直接的帮助和指导作用。

本教材在编写中根据本职业的工作特点，从掌握实用操作技能，以能力培养为根本出发点，采用模块化的编写方式。全书分为四个单元，主要内容包括：冷冻干燥系统、冷冻干燥设备、冷冻干燥设备的运行、冷冻干燥机的维护保养等。

为便于读者掌握本教材的重点内容，每一单元后附有单元测试题及答案，全书后附有知识考核模拟试卷和技能考核模拟试卷及答案，用于检验和巩固所学知识与技能。

本教材可作为冷冻干燥技术（模块）职业技能培训与鉴定考核教材，也可供中、高等职业院校师生，以及相关从业人员参加岗位培训、就业培训使用。

前 言

职业资格证书制度的推行,对广大劳动者系统地学习相关职业的知识和技能,提高就业能力、工作能力和职业转换能力有着重要的作用和意义,也为企业合理用工以及劳动者自主择业提供了依据。

随着我国科技进步、产业结构调整以及市场经济的不断发展,特别是加入世界贸易组织以后,各种新兴职业不断涌现,传统职业的知识和技术也愈来愈多地融进当代新知识、新技术、新工艺的内容。为适应新形势的发展,优化劳动力素质,上海市劳动和社会保障局在提升职业标准、完善技能鉴定方面做了积极的探索和尝试,推出了1+X的鉴定考核细目和题库。1+X中的1代表国家职业标准和鉴定题库,X是为适应上海市经济发展的需要,对职业标准和题库进行的提升,包括增加了职业标准未覆盖的职业,也包括对传统职业的知识 and 技能要求的提高。

上海市职业标准的提升和1+X的鉴定模式,得到了国家劳动和社会保障部领导的肯定。为配合上海市开展的1+X鉴定考核与培训的需要,劳动和社会保障部教材办公室、上海市职业培训指导中心联合组织有关方面的专家、技术人员共同编写了职业技术·职业资格培训系列教材。

职业技术·职业资格培训教材严格按照1+X鉴定考核细目进行编写,教材内容充分反映了当前从事职业活动所需要的最新核心知识与技能,较好地体现了科学性、先进性与超前性。聘请编写1+X鉴定考核细目的专家,以及相关行业的专家参与教材的编审工作,保证了教材与鉴定考核细目和题库的紧密衔接。

职业技术·职业资格培训教材突出了适应职业技能培训的特色,按等级、分模块单元的编写模式,使学员通过学习与培训,不仅能够有助于通过鉴定考核,而且能够有针对性地系统学习,真正掌握本职业的实用技术与操作技能,从而实现我会做什么,而不只是我懂什么。每个模块单元所附单元测试



题和答案用于检验学习效果，教材后附本级别的模拟试卷，使受培训者巩固提高所学知识与技能。

本教材虽结合上海市对职业标准的提升而开发，适用于上海市职业培训和职业资格鉴定考核，同时，也可为全国其他省市开展新职业、新技术职业培训和鉴定考核提供借鉴或参考。

新教材的编写是一项探索性工作，由于时间紧迫，不足之处在所难免，欢迎各使用单位及个人对教材提出宝贵意见和建议，以便教材修订时补充更正。

劳动和社会保障部教材办公室
上海市职业培训指导中心

目 录

第1单元 冷冻干燥系统

1.1 冷冻干燥原理	(3)
1.1.1 基本术语	(3)
1.1.2 冷冻干燥技术概述	(13)
1.2 制冷原理与系统组成	(28)
1.2.1 制冷原理	(28)
1.2.2 制冷系统的组成	(45)
1.3 真空技术与真空系统	(47)
1.3.1 真空技术	(47)
1.3.2 真空系统	(50)
1.4 控制系统	(51)
1.4.1 电气控制一般要求	(51)
1.4.2 典型冷冻干燥设备的电器原理	(51)
1.4.3 主要元器件的作用	(52)
1.4.4 电器保护系统	(55)
1.5 其他系统	(57)
1.5.1 液压系统	(57)
1.5.2 换热系统	(59)
1.5.3 气压传动系统	(64)
1.5.4 蒸汽灭菌系统	(66)
单元测试题	(67)
单元测试题答案	(69)

第2单元 冷冻干燥设备

2.1 制冷压缩机及有关设备	(73)
2.1.1 制冷压缩机	(73)
2.1.2 热交换器	(85)



目 录

2.1.3	制冷辅助设备	(93)
2.1.4	节流装置	(106)
2.2	真空泵及真空测量仪	(113)
2.2.1	真空泵	(113)
2.2.2	真空测量仪	(124)
2.2.3	液压泵站	(127)
2.2.4	干燥箱	(131)
2.2.5	捕水器	(136)
	单元测试题	(138)
	单元测试题答案	(140)

第 3 单元 冷冻干燥设备的运行

3.1	各按钮的作用	(143)
3.1.1	流程操控面板上各按钮开关功能	(143)
3.1.2	安全报警保护装置说明	(147)
3.2	手动操作	(147)
3.2.1	冻干机的组成和冻干程序	(147)
3.2.2	手动操作与使用规程	(148)
3.3	自动操作	(151)
3.3.1	自动操作设置	(151)
3.3.2	确认自动操作	(153)
3.4	在线清洗及在线消毒的步骤	(155)
3.4.1	在线清洗 (CIP) 系统	(155)
3.4.2	在线蒸汽消毒 (SIP) 系统	(155)
	单元测试题	(157)
	单元测试题答案	(159)

第4单元 冷冻干燥机的维护保养

4.1 制冷系统正常运行及维护	(163)
4.1.1 制冷剂饱和热力性质	(163)
4.1.2 制冷系统正常运行标志	(164)
4.1.3 杂质对制冷系统的影响	(165)
4.1.4 制冷系统运行的主要参数	(166)
4.1.5 制冷系统常见故障分析	(167)
4.1.6 制冷系统日常维护	(172)
4.2 真空系统运行及维护	(184)
4.2.1 正常运行的标志及注意事项	(184)
4.2.2 常见故障分析	(185)
4.2.3 日常维护	(186)
4.3 控制系统运行及维护	(187)
4.3.1 常见故障分析	(187)
4.3.2 日常维护	(188)
4.4 其他系统运行及维护	(189)
4.4.1 液压系统运行及维护	(189)
4.4.2 换热系统运行及维护	(191)
4.4.3 气压传动系统运行及维护	(191)
4.4.4 蒸汽灭菌系统运行及维护	(192)
单元测试题	(193)
单元测试题答案	(194)
理论考核模拟试卷一	(196)
理论考核模拟试卷一参考答案	(201)
技能考核模拟试卷一	(202)



技能考核模拟试卷一鉴定试题评分表 (204)

理论考核模拟试卷二 (207)

理论考核模拟试卷二参考答案 (212)

技能考核模拟试卷二 (213)

技能考核模拟试卷二鉴定试题评分表 (215)

第1单元

冷冻干燥系统

- 1.1 冷冻干燥原理
- 1.2 制冷原理与系统组成
- 1.3 真空技术与真空系统
- 1.4 控制系统
- 1.5 其他系统

引导语

本单元主要介绍温度、物质的状态、压强等物理概念都是冷冻干燥技术中最基础的知识。这些物理概念虽然简单，但对掌握冷冻干燥技术提供了理论基础。只有在掌握这些概念的基础上，遇到类似的名词时才不会感到陌生。

本单元对冷冻干燥原理和冻干各个系统的介绍也是十分详细的。不仅有组成的介绍，也有原理的介绍。冻干机的系统从机器的发明到现在经历了几十年的摸索和论证。本单元介绍的基本上都是目前市场上最先进的冻干机，能代表冻干机的发展方向。

文中涉及的冻干曲线仅适用于一般产品的冻干，特殊产品的冻干曲线仍然需要经过试验确定。

1.1 冷冻干燥原理

1.1.1 基本术语

1. 物态的变化

我们生活在物质世界之中，在我们周围的一切，如空气、水、金属等都是物质，一切物质均在不断地发生变化。最常见的物质存在形态有三种，即气态、液态和固态。例如，水常压下在 0°C 时结成冰变成固态，而在 100°C 时则变成蒸汽而成气态，在 $0\sim 100^{\circ}\text{C}$ 之间则是液态，可见，在一定的条件下，物质的形态能够互相转化。

(1) 物质的组成。物质是由分子组成的，在物质的三种形态变化中，物质的本质并没有发生变化。物质的气态、液态和固态的主要区别在于物质分子间的距离和作用力的大小不同，这些仅是程度上的差别，本质上是相同的。气态物质分子间的距离较大。分子间的相互作用力较小，导致气态物质不能单独保持自己的形态和体积，总是充满在容纳它的物体之中，液态物质分子间的距离较小，作用力较大，液态物质只能单独保持其体积而不能保持其形状。固态物质分子间的距离小，作用力大，固态物质能保持自己的形状和体积。

(2) 物质的变化与能量。当物质发生形态变化时，伴随着热量的变化。如冰融化要加热，水变成汽也要加热，说明它们吸收热量；相反，水结成冰要移去热量，汽变成水也要移去热量，说明它们放出热量。在一般情况下，从固态变成液态，液态变成气态，固态直接变成气态的过程是从分子排列密、相互作用力大的状态，变为分子排列疏、作用力小的状态。这一过程要从外界吸取热量，而相反的过程则向外界传递热量，如图 1-1 所示。

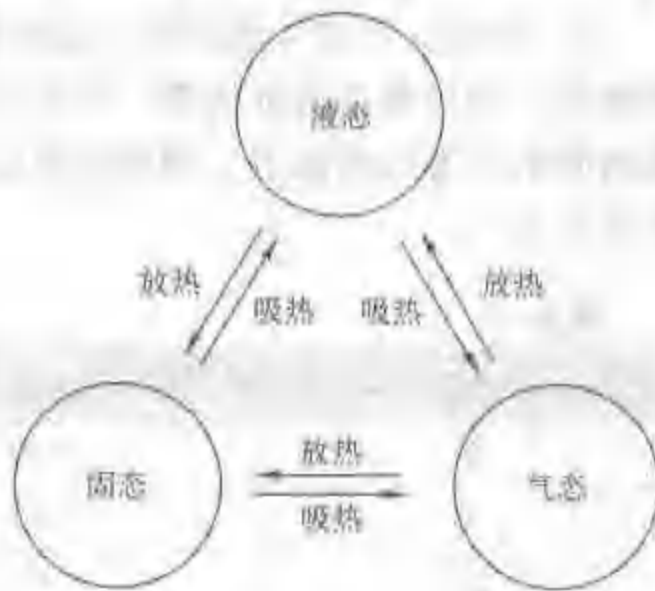


图 1-1 物质状态的变化

(3) 熔化。由固体变成液体的过程叫做熔化。将固体加热，当升高到一定的温度时固体即变成液体。固体物质熔化时的温度称为熔点，固体熔化时内能增加，需要从外界吸收热量。一些物质的熔点见表 1-1。

表 1-1

一些物质的熔点

$^{\circ}\text{C}$

物质	熔点	物质	熔点
冰	0	玻璃	460 - 800
氮	-77.7	铜	1083
F-12	-155	铝	658
F-22	-160	钢铁	1300 - 1400
水银	-39	镉	232
酒精	-114	钨	3410



单位质量的物质，由固体变为同温度的液体所需要吸收的热量叫做该物质的熔化热。物质的熔点和熔化热随压强的变化而变化。一些物质的熔化热见表 1—2。

表 1—2 一些物质的熔化热 J/g

物质	熔化热	物质	熔化热
冰	332.6	锡	60.7
水银	11.7	铅	387.1
氯化钠	517.4	铜	213.6

(4) 凝固。由液体变为固体的过程叫做凝固。它是熔化的逆过程。物体由液体变为固体时要放出热量，放出的热量与该物质的熔化热相等。凝固是在与熔化相同的温度下进行的，所以，同一物质的熔点和凝固点是一样的。

(5) 汽化。物质由液态变成气态或固态直接变气态的过程称为汽化过程，它可分为蒸发、沸腾和升华三种情况。

1) 蒸发。蒸发是指在任何温度下（只要低于临界温度）液体表面的汽化过程。在制冷技术中，蒸发通常代表液体的沸腾过程。

2) 沸腾。将液体加热到一定的温度，液体逐渐变成蒸汽；当蒸汽的形成不仅来自液体表面，而且来自液体内部，形成许多小气泡上升至液面上方空间时称为沸腾。液体开始沸腾时的温度叫做沸点。沸腾也是同时发生在液体内部和表面的汽化现象。一些物质的沸点见表 1—3。

表 1—3 一些物质的沸点 ℃

物质	沸点	物质	沸点
铁	2 840	氮	-196
铅	1 755	氧	-183
水银	357	氨	-33.4
水	100	F-12	-29.8
酒精	78	F-22	-40.8

3) 升华。某固体不经过液态而直接变成气体现象叫做升华。升华是固体的直接汽化过程。容易升华到固体叫做挥发性固体。物质在汽化时要吸收热量，单位质量的液体变成同温度的气体所吸收的热量叫做汽化热，因为也是蒸发时所吸收的热量，所以也叫做蒸发热。熔化热和汽化热都叫做物体的潜热。一些物质的汽化热见表 1—4。

(6) 液化。将蒸汽冷却或与压缩同时进行，使蒸汽转变为液体的过程叫做液化（温度和压力都要在小于临界值的条件下）。单位质量的蒸汽变成同温度的液体所移去的热量称为冷凝热。冷凝时的温度叫做冷凝温度，冷凝温度在冷凝过程中保持不变。它与冷凝蒸汽的压力有关。

表 1—4

一些物质的汽化热

J/g

物质	汽化热	物质	汽化热
水	2 247.9	氨	1 371.3
酒精	1 060.3	R12	167.6
水银	287.8	R22	234.6

当蒸汽遇到比该蒸汽物质凝固温度低的物体时，则蒸汽能不经液体直接凝固成固体而附在低温物体的表面，叫做凝华。例如，水蒸气遇到比水的冰点低的物体时，它就在低温物体的表面结成冰霜，它实际上是升华的逆过程，这一过程显然是要放出热量的。这一现象在冷冻干燥中是经常遇到的。

2. 温度和热量

热是物质运动的形式之一。任何物质都是由许许多多的分子组成的，而这些分子都不停地进行无规则的运动，称为热运动，而这些无规则运动的分子所具有的能叫做热能。

分子运动剧烈程度用温度来表示。分子运动越剧烈，温度越高，物体的热能越大。分子运动越缓慢，温度越低，物体的热能越少。温度就是表示物体热和冷的程度。增加物体的热能叫做加热；移去物体的热能叫做制冷。

(1) 温度的表示。温度常用摄氏和华氏两种温标来表示。

摄氏温标是在标准大气压下，以水的冰点为 0、水的沸点为 100 在 0 和 100 之间分成 100 等份。每一等份叫做 1 度。这种温标就叫做摄氏温标，用符号℃表示。

华氏温标是在标准大气压下，以水的冰点为 32、水的沸点为 212 在 32 和 212 之间分成 180 等份，每一等份叫做 1 度，这种温标就叫做华氏温标，用符号°F表示。

华氏和摄氏可用下面的公式进行换算：

$$^{\circ}\text{C} = 5/9 \times (^{\circ}\text{F} - 32)$$

还有一种温标叫做开氏温标，以 -273.15°C 作为零度，开氏温标符号用符号 K 表示。开氏温标也叫做绝对温标；开氏零度即 -273.15°C ，也叫做绝对零度。绝对零度是分子停止运动的温度，是任何物质都达不到的。

温度只能表示物体冷热的程度，温度高或者温度低，不能从数量上来表示物体热能的多少。物体吸收或放出热能的多少叫做热量。热量的单位是焦或千焦。

还有一种热量单位叫做英热单位，它是这样规定的：1 磅水升高 1°F 所需的热量称为 1 个英热单位。

质量不同的不同物质温度升高 1°C 时所需的热量是不相同的，单位质量的某种物质温度升高或降低 1°C 时所吸收或放出的热量，叫做这种物质的比热容。单位是 $\text{J/g}\cdot\text{K}$ ，读作每克每度焦。一些物质的比热容见表 1—5。

(2) 热量的传递。热量能通过传导、对流、辐射三种方式进行传递。



表 1—5

一些物质的比热容

J/g·K

物质	比热容	物质	比热容
水	4.19	铜	0.38
冰	1.80	钢铁	0.46
水蒸气	1.88	铝	0.87
F-12	0.94	水银	0.13
氨	2.17	玻璃	0.98
空气	1.00	酒精	2.43

1) 传导。在受热不均匀的物体中，热从高温处依靠物体的分子逐渐传到低温处的现象，称为传导。这种方式的热交换一直进行到整个物体的温度相等为止。传导在固体、液体和气体之间均能发生，只有物体相互接触后才能完成传导作用。

一切金属是热的良导体，非金属是热的不良导体。物质传导热的能力可用导热系数来表示。导热系数是热的传导作用在 1 cm^2 截面上 1 s 内当温差为 1°C 时通过长度 1 cm 的热量焦耳数，单位为 $\text{J}/\text{cm}\cdot\text{K}\cdot\text{s}$ 。一些物质的导热系数见表 1—6。

表 1—6

一些物质的导热系数

$\text{J}/\text{cm}\cdot\text{K}\cdot\text{s}$

物质	导热系数	物质	导热系数
银	4.60	玻璃	0.005 9 - 0.007 5
铜	3.85	水	0.005 95
铝	2.10	冰	0.023 0
钨	2.01	空气	0.000 39
铁	0.67	棉花	0.000 59

2) 对流。在液体或气体（包括蒸汽）中，热量靠物质的流动从一部分向另一部分转移的传递方式称为对流。含热的液体或气体，体积因热而膨胀，密度减少，于是因质量减轻而上升，其周围冷的部分就补充原来地位，形成对流，热的对流只发生在液体或气体中，而且必然与传导同时发生。

3) 辐射。高温热源通过空间射向低温物体，使低温物体受热升温，这种热量的传递方式叫做辐射。辐射与光相似，它以直线方式进行，可以在真空中传播；辐射可以通过空气和玻璃等透明介质，而这些透明介质本身吸热极少，表面黑、粗糙的物体善于吸收热；表面白亮光滑的物体不善于吸收热和辐射热，但善于反射热。

事实上，热量传递的三种方式并非单独进行，而是一种方式伴随着另一种方式同时进行，或者三种方式同时进行。