

乳粉制造工程

RUFENZHI ZHAOGONGCHENG •

[日] 林弘通 著
陶云章 译

轻工业出版社



33.42
1014

乳粉制造工程

[日] 林 弘通 著

陶云章 译

金世琳 校

轻工业出版社

050678

内 容 提 要

本书共分四篇：第一篇为乳粉制造概论；第二篇为牛乳的浓缩；第三篇为牛乳的干燥；第四篇为乳粉的物理性质。本书对提高乳粉质量，节省能源方面进行了重点的论述与计算，也述及有关自动控制方面的知识以及乳粉的物理化学性质的测定方法等。可供乳粉生产、科研技术人员及有关大专院校师生参考。

粉乳製造工学

林 弘通 著

酪農技術普及学会 1980年版

乳粉製造工程

〔日〕林 弘通 著

陶云章 译

金世琳 校

轻工业出版社出版

（北京广安门南滨河路25号）

轻工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

788×1092毫米 1/16 印张，16¹²/₁₆ 字数：366千字

1987年7月 第一版第一次印刷

印数：1—5,000 定价：3.55元

统一书号：15042·2126

ISBN7—5019—0143—0/TS·0093

原 序

日本从明治初期开始制造炼乳和乳粉。但是在工业上成功地制造不过是五十年前左右的事情。第二次世界大战以后，它们的制造与牛乳的浓缩、干燥技术的发展成比例的进步。这是由于战后养奶牛业的振兴，牛乳生产的急剧增加，与此同时炼乳，乳粉的产量也大量增加。例如战后，脱脂乳粉产量从零出发达到约8万吨(昭和51年)，调制乳粉由2千吨增加到7万吨(昭和51年)。因此，在浓缩、干燥工程上的处理规模大幅度扩大，昭和20年代处理原料乳的能力每小时500公斤，但是，现在达到每小时处理20~30吨。并且在制造乳清粉工程上也出现每小时处理50~60吨的大规模装置。不仅浓缩机、干燥机及其附属机械设备性能的提高，运转费下降，成品率及质量的提高，自动控制装置也纳入该工程中，以期运转的效率化，质量的均一化。

乳粉制造技术的最终目标，在于当制品用水复原时，其风味、色泽、营养价值与原料乳几乎没有什么差异。例如，母乳化婴儿乳粉、溶解性良好的速溶乳粉、脱脂乳粉、脱盐乳清粉等，都是应用研究开发的优良技术制造的。在这些产品的制造上，化学、微生物学的研究做出了贡献自不待言，同时也由于出现了优越的工艺与机器制造的缘故。这样的进步与发展是乳品机械制造者与乳品技术工作者的互相协作，不懈努力的结果。

乳粉制造在乳品工业上不单需要有工程学的知识，尤其在浓缩、干燥等的单元操作上是消耗热源最多的工程。在最近节省能源时代，这些操作的运行要达创最高的能源效率。

通常有关牛乳浓缩、干燥技术的单行本在美国不过有Hunziker博士(1927年，1947年)，Miyawaki博士(1928年)及我的恩师Hall博士(1965年)的著作以及日本神田氏(1938年)的著作出版。除Hall博士的著作以外都是40~50年以前的著作，与现在的设备、技术大不相同。

本书是在这样的背景及著者数十年研究结果的情况下，对牛乳的浓缩与干燥技术主要从工程学的观点进行了解说。乳品工厂的技术人员，专攻食品制造的大专学生如能将本著做为参考书加以活用，笔者会感到非常荣幸的。

最后本书出版时，美国华盛顿州立大学工学院院长Hall博士为本书写了序文，川上晃正氏在困难的工作上多方给予了支援，对此深表谢意。

昭和54年晚秋于东京

林 弘通

1979/10/6

译 者 前 言

《粉乳制造工学》一书系日本雪印乳业农学博士林 弘通氏的新著。美国华盛顿州立大学工学院院长Hall博士为该书写了序文，1980年出版。

该书是考虑在乳品工业上不仅需要有工程学的知识，尤其在浓缩、干燥的单元操作上是消耗热源最多的工程。在最近节省能源时代这些操作的运行要达到最高的能源效率。

在乳粉制造上有关牛乳浓缩、干燥技术的单行本大都是六十年代以前的著作，与现在的设备、技术大不相同，著者在这样的背景及数十年的研究结果情况下，对牛乳的浓缩与干燥技术主要从工程学观点进行了论述。内容新颖实用。

随着我国乳品工业的日益发展，广大科研、设计以及现场技术人员迫切需要有一本实用性的读物，以便较全面的了解牛乳的浓缩与干燥技术的特点，为选好并用好设备掌握生产技术而努力，为四化服务，为此，译者将原书中对我国乳粉生产技术上实用性不大的节、段如乳粉制造的历史，美国与日本的乳粉生产与动向，浓缩的基础知识，蒸发罐的传热，及圆筒干燥等删去。重新编了顺序号码。节译了该书，希望译本的出版能对提高我国乳粉生产技术水平有所裨益。

由于译者水平不高，肯定会存在不少错误，请读者不吝指教，给予批评指正。

译 者

目 录

第一篇 乳粉制造概论

1. 乳粉的种类及规格.....	(1)
1-1 乳粉的种类.....	(1)
1-2 乳粉的成分规格.....	(2)
1-2-1 日本厚生省令.....	(2)
1-2-2 日本农林省规格.....	(3)
2. 乳粉制造工程.....	(4)
2-1 原料乳的验收与贮存.....	(4)
2-2 脂肪量的标准化和牛乳的杀菌.....	(4)

第二篇 牛乳的浓缩

3. 牛乳浓缩装置.....	(5)
3-1 真空浓缩.....	(5)
3-2 蒸发罐的形式.....	(6)
3-2-1 根据效数分类.....	(6)
3-2-2 根据料液及流动型式分类.....	(6)
3-2-3 蒸发罐加料液的方法.....	(7)
3-3 蒸发罐的各种型式.....	(7)
3-3-1 真空罐.....	(7)
3-3-2 升膜式.....	(9)
3-3-2-1 范德普尔蒸发罐.....	(9)
3-3-3 降膜式.....	(11)
3-3-3-1 覆盖.....	(15)
3-3-4 强制搅拌薄膜型.....	(15)
3-3-5 片式.....	(18)
3-3-6 升膜与降膜组合蒸发器.....	(24)
3-3-7 省热能蒸发器.....	(25)
3-3-7-1 机械的再压缩式蒸发罐.....	(27)
3-3-7-2 二次蒸汽再压缩蒸发罐.....	(27)
3-3-7-3 利用辅助液体的热泵式蒸发罐.....	(29)
4. 附属设备.....	(32)

4-1 冷凝器	(32)
4-1-1 目的	(32)
4-1-2 类型	(33)
4-1-3 气压型	(33)
4-1-4 低水位型	(35)
4-1-5 多喷嘴型	(35)
4-1-6 所需冷却水量	(35)
4-2 冷却塔	(37)
4-3 雾沫夹带分离器	(37)
4-3-1 离心式	(38)
4-3-2 冲击式	(39)
4-3-3 容积式	(39)
4-3-4 转向式	(39)
4-3-5 逆流式	(39)
4-4 牛乳预热器	(40)
4-5 真空泵	(40)
4-5-1 真空度	(40)
4-5-2 各种真空泵	(40)
4-6 比重测定器	(52)
4-6-1 浮子式比重计	(52)
4-6-2 气泡式比重计	(53)
4-6-3 重量式比重计	(54)
4-6-4 折射率比重计	(55)
5 牛乳蒸发罐的性能	(57)
5-1 浓缩乳的排出速度	(57)
5-2 热的各种性能	(59)
5-2-1 总传热系数(U)	(59)
5-2-2 蒸发能力(C_e)	(60)
5-2-3 蒸汽比、水量比	(60)
5-2-4 蒸发效率	(60)
5-2-5 热效率	(61)
5-3 降膜式蒸发罐的热性能	(62)
5-3-1 计算	(63)
5-4 蒸发罐与干燥器的能力的平衡	(67)
6. 牛乳蒸发罐的自动控制	(68)
6-1 片式蒸发罐的场合	(70)
6-2 升膜式蒸发罐的场合	(71)
7. 用膜分离技术浓缩牛乳类	(72)

7-1 原理	(72)
7-1-1 流出量	(73)
7-1-2 排出	(74)
7-1-3 环境的适应性	(74)
7-1-4 费用	(75)
7-2 装置	(75)
7-2-1 多层平面膜型	(75)
7-2-2 螺旋型	(76)
7-2-3 按管型分类	(76)
7-2-4 中空丝状型	(76)
7-3 牛乳类制品的应用例	(76)
7-3-1 乳清	(76)
7-3-2 脱脂乳	(79)
8. 牛乳、浓缩乳的物理性质	(80)
8-1 浓缩固体率与比重的关系	(80)
8-2 浓缩固体率与粘度的关系	(82)
8-3 牛乳、浓缩乳的比热与热导率的关系	(83)

第三篇 牛乳的干燥

9. 干燥的定义	(86)
9-1 含水率与水分	(86)
9-2 平衡含水率	(86)
9-3 自由含水率	(88)
9-4 临界含水率	(88)
9-5 干燥速度	(89)
9-6 恒速干燥与减速干燥	(89)
9-6-1 恒速干燥期	(89)
9-6-2 减速干燥期	(90)
10. 喷雾干燥的基础	(91)
10-1 微粒化工程使用的术语	(92)
10-1-1 液滴	(92)
10-1-2 粒子	(92)
10-1-3 团粒或造粒	(92)
10-1-4 粒度分布	(93)
10-1-5 累计与频度分布曲线	(93)
10-2 液滴的干燥特性	(97)
10-2-1 在过热蒸汽中的干燥	(99)

11. 喷雾干燥机的构成	(99)
11-1 送风部	(100)
11-1-1 鼓风机	(100)
11-1-2 空气过滤器	(104)
11-2 空气加热部分	(107)
11-2-1 蒸汽加热器	(108)
11-2-2 重油燃烧炉	(110)
11-2-3 液相加热器	(111)
11-2-4 直接加热炉	(111)
11-3 微粒化部分	(113)
11-3-1 加压喷嘴	(114)
11-3-2 旋转圆盘	(122)
11-3-3 二流体喷嘴	(132)
11-4 干燥塔	(133)
11-4-1 水平并流型	(133)
11-4-2 垂直下降并流型	(133)
11-4-3 垂直上升混流型	(134)
11-4-4 垂直下降混流型	(135)
11-4-5 垂直对流型	(135)
11-5 乳粉的再干燥、冷却及输送部分	(135)
11-6 乳粉的捕集部分	(137)
11-6-1 旋风分离器	(137)
11-6-2 乳粉用旋风分离器的实用例	(141)
11-6-3 分离捕集临界粒子径	(142)
11-6-4 乳粉工厂的逸散粉	(144)
12. 喷雾干燥机的性能与测定法	(146)
12-1 空气的性质	(146)
12-1-1 特性值	(146)
12-1-2 绝热冷却线	(155)
12-2 湿度图表	(159)
12-3 湿度测定法	(159)
12-3-1 干湿球温度的测定	(159)
12-4 空气量的测定	(162)
12-4-1 皮托管	(162)
12-4-2 热线式风速计	(165)
12-5 液滴的捕集方法	(166)
12-6 干燥机全系统的风压分布及阻力	(167)
12-7 干燥塔内的空气流	(168)

12-8	干燥塔内的温度分布	(169)
12-8-1	垂直下降并流压力喷雾式	(169)
12-8-2	垂直下降并流离心喷雾式	(169)
12-8-3	水平并流压力喷雾式	(170)
12-9	干燥塔内浓缩乳液滴的干燥	(170)
12-10	集尘效率的测定	(171)
12-10-1	逸散粉的测定	(171)
12-10-2	测定位置与装置	(172)
12-10-3	排风的抽吸与逸散乳粉量的计算	(173)
13.	筛网干燥机	(174)
14.	速溶乳粉	(176)
14-1	速溶性的定义	(177)
14-1-1	沉降性	(177)
14-1-2	湿润性	(178)
14-1-3	分散性	(181)
14-1-4	溶解性	(182)
14-2	速溶全脂乳粉、干酪粉	(182)
14-3	制造法	(186)
14-3-1	布劳—诺克斯法	(186)
14-3-2	车力—巴惹尔法	(186)
14-3-3	泡沫层干燥	(187)
14-3-4	膨胀干燥	(187)
14-3-5	拉贵哈雷法	(190)
15.	乳粉用干燥机的自动控制	(191)
15-1	控制方式A	(192)
15-2	控制方式B	(193)
15-3	供料系统的控制	(193)
15-4	联锁装置	(194)
15-4-1	防止干燥塔的破损	(194)
15-4-2	防止空气加热器的破损	(194)
15-4-3	防止干燥塔沾湿	(195)
15-4-4	防止焦粉的发生	(195)
15-5	全自动化的喷雾干燥机	(195)
15-5-1	按程序开始运转	(195)
15-5-2	喷雾干燥机的全自动化	(196)
15-6	对火灾和爆炸的注意	(198)

第四篇 乳粉的物理性质

16. 乳粉粒子的微细结构	(199)
16-1 单粒子的形状	(199)
16-2 乳粉中的乳糖	(201)
16-3 乳粉中的蛋白质	(203)
16-4 乳粉中的水分	(203)
16-5 乳粉中的脂肪	(204)
16-6 乳粉中的空气及气体	(205)
17. 作为粉状物体的乳粉	(206)
17-1 乳粉的密度(比重)及填充密度	(206)
17-2 乳粉的流动性、喷流性	(210)
17-2-1 压缩度(C_r)	(211)
17-2-2 休止角(ϕ_r)	(211)
17-2-3 刮铲角(ϕ_{sp})	(212)
17-2-4 凝集度(A)	(213)
17-2-5 分散度(D)	(214)
17-3 内部摩擦角	(215)
17-4 乳粉的附着及凝集力	(218)
17-5 乳粉粒子与粒度分布	(221)
17-5-1 粒子径及粒度分布	(222)
17-6 乳粉的热物性	(224)
17-6-1 乳粉的比热	(224)
17-6-2 乳粉的导热率	(226)
17-6-3 乳粉的自燃	(227)
18. 喷雾干燥条件与乳粉的物理性质	(228)
18-1 微粒化条件与液滴径及粒子径的关系	(228)
18-2 热风温度与粒子比重、填充密度的关系	(231)
18-3 乳粉的物理性质与浓缩乳固体率的关系	(232)
19. 乳粉的物理化学性质的测定法	(233)
19-1 湿润性	(233)
19-2 分散性	(234)
19-3 粒子径	(236)
19-4 游离脂肪	(237)
19-5 吸湿力	(238)
19-6 固化度	(239)
19-7 速溶乳粉的热稳定性	(240)

19-8 浮渣.....	(241)
19-9 乳粉的滴定酸度.....	(241)
19-10 斑点的测定.....	(242)
附表、附图、单位换算表.....	(243)

第一篇 乳粉制造概论

1. 乳粉的种类及规格

1-1 乳粉的种类

以牛乳为原料的有关乳制品如图 1-1 所示，其中粉状制品有下列各种。

- 1) 全脂乳粉 以原牛乳或加入部分脂肪的干燥制品。
- 2) 脱脂乳粉 牛乳经分离脱去脂肪的干燥制品。

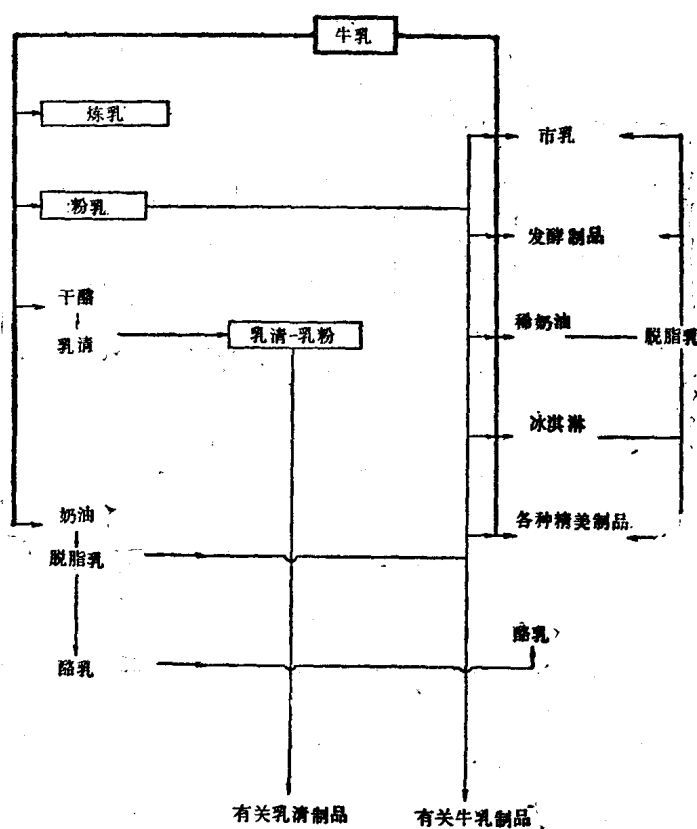


图 1-1 各种乳制品的关联图

3) 乳清粉 制造干酪的副产物乳清的干燥制品，具有良好的消化性，含有在生理上有效的白蛋白、球蛋白、非蛋白态氮化合物。

4) 酪乳粉 酪乳的干燥制品。

5) 冰激凌粉 牛乳中调配香料、稳定剂、蔗糖等的干燥制品。

6) 稀奶油粉 稀奶油经干燥制成的易溶性粉状物，用于饮料咖啡

3)~6) 各种制品的原料经处理后，用喷雾干燥进行干燥。全脂乳粉和脱脂乳粉的制造工程乃是牛乳粉末化工程的基础。3)~6)的各种乳粉的制造工程只是前处理工程不同，干燥方法基本上与前两种乳粉的是一样的。因此，现就前两种乳粉喷雾干燥成粉的工程加以阐述。

图1-2系全脂和脱脂乳粉的制造工程图。由原乳验收——冷却——贮存——脂肪的标准化或分离——杀菌——浓缩——喷雾干燥——称量——包装——贮藏的各个工序组成。

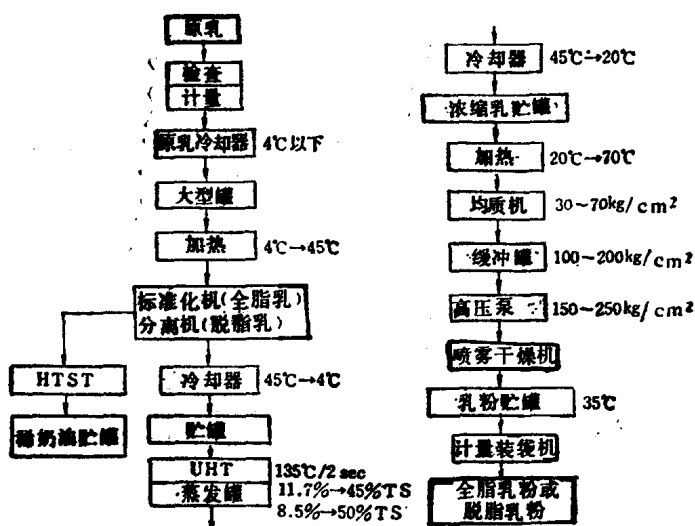


图 1-2 全脂或脱脂乳粉制造工程的流程图

1-2 乳粉的成分规格

1-2-1 日本厚生省令

表 1-1

厚生省令规定

种 类	乳固体	乳脂肪	水 分	细菌数	大肠菌群	其 他
全脂乳粉	95%以上	25%以上	5%以下	50000以下	阴 性	
脱脂乳粉	95%以上	—	5%以下	50000以下	阴 性	
加糖乳粉	70%以上	18%以上	5%以下	50000以下	阴 性	糖分25%以下
调制乳粉	66.5%以上	16%以上	5%以下	50000以下	阴 性	厚生大臣许可 的营养成分及 许可的添加量
特殊调制乳粉	60%以上	—	5%以下	50000以下	阴 性	

1-2-2日本農林省規格

日本農林省規格

表 1-2

品 名	全 脂 乳 粉			脱 脂 乳 粉			加 糖 乳 粉		
	特 级	标 准	等 外	特 级	标 准	等 外	特 级	标 准	等 外
外 观	有光泽，稀奶油色无斑点，不含颗粒，不固形块	无明显缺陷者	不符合特级及标准级者	有光泽，稀奶油色无斑点，不含颗粒，不固形块	无明显缺陷者	不符合特级及标准级者	呈有光泽稀奶油色，无斑点，颗粒整齐，不含固形块	无明显缺陷者	不符合特级及标准级者
风 味	风味良好无酸味、咸味、脂肪腐败味、焦糊味及其他异味	同上	同上	风味良好无酸味、咸味、焦糊味及其他异味	同上	同上	风味良好无酸味、咸味、脂肪腐败味、焦糊味及其他异味	同上	同上
溶解性	温水(约50℃)溶解性良好，溶解时脂肪不分离，不混有浮游物沉淀物或异物	同上	同上	温水(约50℃)溶解性良好，溶解时不混有浮游物、沉淀物或异物	同上	同上	温水(约50℃)溶解性良好，溶解时脂肪不分离，不混有浮游物、沉淀物或异物	同上	同上
乳固体	96.0%以上者	95.0%以上者	同上	96.0%以上者	95.0%以上者	同上	乳固体71.0%以上并含相当于标记的全脂乳粉以上的乳固体者	乳固体70%以上并含相当于标记的全脂乳粉的乳固体	同上
水 分 乳脂肪	4.0%以下者 26.0%以上者	5.0%以下者 25.0%以上者	同上 同上	4.0%以下者	5.0%以下者	同上			

2. 乳粉制造工程

2-1 原料乳的验收与贮存

由运牛乳的乳槽罐车收购的原料乳，经检验乳质及脂肪含量后送入自动计量罐、牛乳用流量计(附脱气装置)，随计量、随打字进行自动计量。然后经过滤器再用片式冷却器冷却到3℃以下，按预先规定的程序自动送入大型罐(50~100M³)中。大型罐带冷却夹套，用空气搅拌以防罐内原料牛乳组成不均匀。最近，由于采用能迅速测定牛乳的脂肪含量、总固体、酸度等仪器，大量减少验收工程的人员。因为牛乳是最容易被细菌污染的食品，所以有关牛乳的验收和贮存必须彻底洗涤杀菌。还必须配备CIP(固定式洗涤)设备。

2-2 脂肪量的标准化和牛乳的杀菌

在全脂乳粉制造过程中为了不使原料乳的脂肪量波动要进行标准化操作(一般脂肪为3.2%)。当前乳粉制造工程中大部分使用三用离心机(tripurpose centrifuge)。它是有净乳机(clarifier)、分离机(separator)及标准化机(standardizer)的三种机能的设备。以便全脂和脱脂乳粉的制造可以在同一个设备管路中进行。为了提高脂肪分离效果一般把原乳加热到40~45℃后送入三用分离机，标准化乳、脂肪乳再经热交换器冷却到3℃以下送入大型罐和贮罐中。最近多数将杀菌和浓缩两道工序组合在一起。起动、停止及CIP两道工序同时进行。由于杀菌乳高温保持时蛋白质易变性及其褐变化，影响质量，如果杀菌与浓缩工程不能连续化、必须把杀菌乳进行冷却，在这种情况下，不仅增加冷却及加热的负荷，也增加杀菌后再污染的可能性。因此，最妥善的办法是将两个工程连续化。但是由于杀菌器结垢，通常只可运转4~8个小时，而浓缩罐可以运转12~24小时，所以杀菌器要有两台，以便清洗交替使用。关于浓缩及干燥工程以后详述。

第二篇 牛乳的浓缩

3. 牛乳浓缩装置

牛乳中含有大量水分，全脂乳约88%，脱脂乳约92%，乳清、酪乳约94%。所谓牛乳浓缩就是考虑使这些水分蒸发，提高保存性，容易运输，节约热能。制造加糖炼乳、无糖炼乳、乳粉等，预浓缩是不可缺少的工序。浓缩操作在化学工程上称为蒸发，是一项单元操作，是从不挥发溶液中去掉溶媒以获得浓缩液为目的。因此，称为牛乳浓缩机、牛乳蒸发罐，或简称为蒸发罐。由于20年间牛乳工业产量急剧上升，对蒸发罐提出了以下的要求。即①大容量；②不要由于雾沫夹带使得率减少；③可以长时间运转直至清洗；④由于浓缩而粘稠度上升少；⑤CIP（固定清洗）容易；⑥蒸汽、冷却水、动力消耗少；⑦可以改变制品种类、加热条件，产量、浓缩度等。

3-1 真空浓缩

牛乳由于热处理而蛋白质易变性，所以尽可能希望进行低温，短时浓缩。为了低温浓缩，必须在大气压以下的真空情况下蒸发水分。此法较在大气压下的蒸发有四个优点。即

- ① 可使加热蒸汽和牛乳的温度差尽量大些，以加大同一传热面积的传热量。
- ② 可低温浓缩以减少牛乳的热变性。
- ③ 可用多效法按蒸发效数比例降低蒸汽用量。
- ④ 可利用蒸汽透平等排出的低压废汽。

但真空蒸发有以下缺点。这是因为随真空度的提高如式（3-1）所示，蒸发潜热亦随之加大。

$$Y = 607 - 0.708t \quad (3-1)$$

式中：Y——水的蒸发潜热（千卡/公斤）；

t——蒸发温度（℃）。

可见在减压下低温沸腾蒸发当扣除潜热后丝毫也不能节省能源。实际上为了保持减压状态得开动真空泵支付动力费，从这一点来看单纯减压蒸发水分以浓缩牛乳是达不到经济要求的。非反复多次利用水蒸汽的潜热不可。多效蒸发，二次蒸汽压缩法等就是根据这种考虑以节约蒸汽的。