

浓缩方法以及设备

技术领域

本发明涉及一种浓缩方法以及设备，尤其涉及采用反渗透技术对乳制品
5 进行浓缩的浓缩方法以及相应的浓缩设备。

背景技术

浓缩是使溶液中溶剂蒸发溶液浓度增大的过程；其广泛应用于化学、食品、生物制药等工业中。

10 在食品工业中，浓缩就是从溶液中除去部分溶剂(通常是水)的操作过程，也是溶质和溶剂均匀混合液的部分分离过程。通过浓缩可除去食品中大量的水分，减少质量和体积，降低食品包装、贮存和运输费用；浓缩可以提高制品浓度，增大渗透压，降低水分活度，抑制微生物生长，延长保质期；浓缩可作为干燥、结晶或完全脱水的预处理过程；通过浓缩可以降低食品脱水过程
15 中的能耗，降低生产成本；浓缩还可以有效除去不理想的挥发性物质和不良风味，改善产品质量。但是物料在浓缩过程中会丧失某些风味或营养物质，因此，选择合理的浓缩方法和适宜的条件是非常重要的。

在食品工业的大规模生产中，存在多种料液需要浓缩的需求。通过浓缩可以将料液中的水分去除，由此增加料液中特定成分的含量；或者通过浓缩
20 可以使得料液处于适于长期存放的状态。为了满足这些需求，提出了多种浓缩方法，例如采用高温蒸发的方法。但是这种方法会消耗大量的能量来加热料液，并且高温会对料液存在潜在的风险，例如，会破坏料液中的某些成分，由此使得料液失去应用的效用。

目前常用的浓缩加工设备通常是蒸发设备和常规反渗透设备，蒸发设备
25 通常是将料液加入到蒸发釜中，加热蒸发釜，使得蒸发釜内的料液的温度达到沸点并使得料液汽化，并将汽化时产生的二次蒸汽不断排出，从而去除水分，使得料液的浓度不断提高，直至达到预定浓度。但是这种设备是通过高温、高压的方法将料液中的水分去除，存在缺点在于：一、能耗成本高，过程需要加热以产生大量蒸汽，能源消耗大；二、在浓缩过程中，这种传统蒸发设备
30 需要对料液实施加热，加热的强度低会导致蒸发效率低，强度过强则

会导致某些料液中有可能包含的活性物质和部分营养物质被破坏；三、通过蒸发设备只能去除 10% 的水分，往往达不到企业对于比较高的浓缩度的要求，因此这种浓缩设备的效率较低。

5 另外一种浓缩设备是常规反渗透设备，反渗透设备由料液疏导网、纯水疏导网、反渗透膜、泵等构成，使得处理过的料液通过预定的流道，料液中的水分子透过反渗透膜而被采集到中央集水管，而最终得到浓缩的料液。但是这种浓缩设备的缺点在于：一、能耗较高，随着浓缩的进行料液中的总固形物含量逐渐升高，为了克服更高的渗透压需要提供系统备用的运行泵的功率增大，故而能耗增高；二、受到常规反渗透技术、膜芯及设备最高压力的限制，使得浓缩技术所能实现的浓缩倍数低，约为 2 倍左右，不能满足较高的浓缩要求。

尤其是在乳制品行业中，对牛乳进行浓缩会带来诸多的益处。一方面，通过浓缩可以使得乳制品中牛乳固形物含量增加，满足消费者的营养需求；另一方面，通过浓缩，可以减小牛奶的体积，增加牛乳的保存性，使得保存牛乳的成本降低并提高了运输的便利性，由此克服了奶源季节性和地域性差异的问题。但是，对于牛乳这种料液，除了上面常规浓缩方法带来的问题，还需要考虑的是，牛乳是一种热敏性物质，热处理对于牛乳的各种理化、微生物及生物化学指标都有较大的影响。所以从营养的角度看，热处理程度越低对于产品的品质影响越小。并且，防止牛乳在浓缩处理过程中微生物和细菌过渡繁殖也是必须考虑的一个问题。

发明内容

本发明是针对现有技术中的上述问题做出，并且提供了一种浓缩方法，所述浓缩方法包括：

25 一种乳制品的浓缩方法，包括使用反渗透膜对生乳进行反渗透浓缩处理的步骤；所述反渗透浓缩处理包括低压反渗透膜浓缩处理和高压反渗透膜浓缩处理。

其中，所述低压反渗透膜浓缩处理采用第一预定压力对进料进行反渗透浓缩处理，所述高压反渗透膜浓缩处理采用第二预定压力对进料进行反渗透浓缩处理，所述第一预定压力小于所述第二预定压力。

一方面，其中，所述低压反渗透膜处理包括多级浓缩处理（优选 1-14 级浓缩处理，更优选 6-11 级浓缩处理）。

优选地，每级低压反渗透膜处理采用一个或多个膜组件。

更优选地，每个膜组件包括一支或多支膜，所述多支膜之间串联、并联
5 或串联和并联结合。

另一方面，其中，所述低压反渗透膜处理的多级浓缩处理中各级所采用的压力不同。

优选地，所述低压反渗透膜处理中，前 3 级所采用的压力为 1-50bar（优选 1-40bar，更优选 25-35bar）。

10 优选地，所述低压反渗透膜处理中，第 4 级及以后级所采用的压力为 30-60bar（优选 40-50bar，更优选 43-47bar）。

一方面，其中，所述高压反渗透膜处理包括多级浓缩处理（优选 1-6 级浓缩处理，更优选 2-4 级浓缩处理）。

优选地，每级高压反渗透膜处理采用一个或多个膜组件。

15 更优选地，每个膜组件包括一支或多支膜，所述多支膜之间串联、并联或串联和并联结合。

另一方面，其中，所述高压反渗透膜处理的多级浓缩处理中各级所采用的压力不同。

20 优选地，所述高压反渗透膜处理中，所采用的压力为 50-200bar（优选 60-80bar，更优选 60-65bar）。

一方面，所述浓缩方法中被浓缩的料液温度为 20℃以下（优选 0-15℃，更优选 7-15℃）。

25 优选地，通过高压散热器使被浓缩的料液温度保持在 15℃以下；更优选地，保持在 10-14℃所述高压散热器设置在预定级的高压反渗透膜处理单元的进料口或出料口。

一方面，在所述反渗透浓缩处理步骤前，还包括：i) 暂存步骤；ii) 预处理步骤；和/或 iii) 均质步骤。

30 一方面，其中，所述暂存步骤包括对生乳进行过滤；优选地，所述过滤为两级过滤；更优选地，第一级过滤的过滤孔径为 0.990mm-1.165mm，第二级过滤的孔径为 0.495mm-0.589mm。

一方面，其中，所述预处理步骤包括低温除菌分离处理；优选地，所述低温除菌分离采用两级过滤；优选地，除菌分离的温度控制在 45-50°C。

一方面，其中，所述均质步骤采用两级均质；优选地，所述均质步骤的工作温度保持在 10-30°C (更优选 15-20°C)；更优选地，第一级均质的压力为 100-140bar (更优选 120bar)，而第二级均质的压力 40-60bar (更优选 50bar)。

另一方面，在所述反渗透浓缩处理步骤后，还包括：v) 打冷步骤；vi) 灌装步骤；vii) 冷冻步骤；和/或 viii) 清洗步骤。

一方面，所述打冷步骤采用两段打冷。优选地，第一段打冷用冰水作为冷媒；优选地，第二段打冷用乙二醇水溶液作为冷媒。

另一方面，优选地，第一段打冷的温度保持在 2-10°C (更优选 4-7°C)；优选地，第二段打冷的温度保持在 -1 至 -4°C (更优选 -2 至 -3°C)。

另一方面，所述灌装步骤的灌装温度保持在 1 至 -4°C，更优选 -2 至 -3°C。

另一方面，所述冷冻步骤的冷冻温度保持在 -10 至 -24°C，更优选 -18 至 -22°C。

如上所述的浓缩方法所制备的浓缩乳制品，其中总固含量为 30-50%，优选为 35-45%，更优选为 40-45%。

优选地，所述浓缩乳制品按浓缩比例稀释到生奶总固形物含量水平后，所检测出的糠氨酸含量为 4-20 mg/100g 蛋白质，优选为 8-15mg/100g 蛋白质。

相较于热浓缩生产的浓缩乳，所述浓缩乳制品按浓缩比例稀释到生奶总固形物含量水平后，所检测出的糠氨酸含量下降 60-80mg/100g 蛋白质，下降 4-10 倍。

优选地，所述浓缩乳制品按浓缩比例稀释到生奶总固形物含量水平后，所检测出的 IgG (免疫球蛋白 G) 留存量高于 95% (热浓缩乳工艺生产的浓缩乳中未检出)。

优选地，所述浓缩乳制品按浓缩比例稀释到生奶总固形物含量水平后，所检测出的 GMP (糖巨肽) 留存率为 100% (热浓缩工艺生产的浓缩乳中 GMP 含量约为 65%)。

根据本发明的另一个方面，提供了一种浓缩设备，通过该浓缩设备可以高效地将料液浓缩到预定浓度。

根据本发明的一个方面，提供了一种浓缩设备，所述料液浓缩设备包括：
暂存单元，所述暂存单元包括存储容器以存储待浓缩的料液；

均质单元，所述均质单元设置在所述暂存单元的下游，对所述料液施加
预定的温度和压力，使得所述料液在压力和冲击作用下细化并且更均匀的相
5 互混合；以及

浓缩单元，所述浓缩单元设置在所述均质单元的下游，并依次包括低压
反渗透膜处理单元和高压反渗透膜处理单元，其中，所述低压反渗透膜处理
单元在第一预定压力下对流经的料液进行反渗透浓缩处理，且所述高压反渗
透膜处理单元在第二预定压力下对流经的料液进行反渗透浓缩处理，所述第
10 一预定压力小于所述第二预定压力。

通过采用低压和高压反渗透膜处理单元，可以提高浓缩效率。

所述低压反渗透膜处理单元优选地包括多级，每级低压反渗透膜处理单
元包括一个或多个膜组件，每个膜组件包括一支或多支膜，所述多支膜之间
串联、并联或串联和并联结合。

15 优选地是，所述多级低压反渗透膜处理单元中各级的压力不同。

优选地是，所述浓缩单元还包括低压散热器，所述低压散热器设置在预
定级的低压反渗透膜处理单元的进料口或出料口，以保持被浓缩的料液的温
度在 15°C 之下。进一步优选地是，其中，所述高压反渗透膜处理单元包括多
级，每级高压反渗透膜处理单元包括一个或多个膜组件，每个膜组件包括一
20 支或多支膜，多支膜之间串联、并联或串联和并联结合。

优选地，所述多级高压反渗透膜处理单元中各级的压力不同。

优选地，所述浓缩单元还包括高压散热器，所述高压散热器设置在预定
级的高压反渗透膜处理单元的进料口或出料口，以保持被浓缩的料液的温度
在 15°C 之下。

25 通过在浓缩过程中将被料液的温度保持在 15°C 之下，一方面可以抑制
料液中细菌和微生物的繁殖，另一方面可以避免温度过低对反渗透膜的寿命
的影响。

通过采用多级浓缩设计，全部浓缩单元可以由 6-11 级浓缩模组组成，不
同模组根据浓缩乳的浓度，不同的粘度，不同的粒径大小设计大小不同的流
30 道，以保证浓缩的效率。前 2-4 级由于浓缩乳浓度较低，流动性较好，污垢

不易沉积，可以使用 30 mil 左右的低流道，压力为 1-40bar，保证在一定的压力下使原奶可以快速预浓缩达到预浓缩目标。中间 2-4 级，浓缩乳达到一定浓度，粘度增加流动性降低，渗透压增大，粒径增大易在膜上沉积，进一步浓缩变难，故选用 45 mil 左右的中流道，压力增加到 40-50bar，增大流道孔径和压力以保证浓缩效率。最后高压 2-4 级，浓缩乳已经达到目标浓度，浓度，粘度，粒径达到最大值，流动性最低，渗透压最大，污垢最易在膜上沉积，故选用 65-80mil 的高流道，压力升高到 50-200bar 以保证浓缩乳可以有效的在膜内流动，保证生产时间。

优选地是，所述浓缩设备还包括：预处理单元，所述预处理单元设置在所述暂存单元的下游，所述均质单元的上游，以对来自暂存单元的料液进行预先处理。所述预处理可以包括除菌处理，以去除料液中的细菌和不利的微生物。在除菌处理的情况下，所述预处理单元可以是低温除菌分离机。优选地是，该低温除菌分离机可以包括两级，第一级的过滤孔径为 0.990mm-1.165mm，第二级的孔径为 0.495mm-0.589mm，并且除菌温度控制在 45-50°C。

通过采用两级除菌分离，并且两级除菌分离所用的过滤孔孔径不同，料液可以先经过大过滤孔，过滤掉较大物质，之后通过较小孔径的过滤器，防止了只有一级过滤时过滤孔被迅速堵塞。同时，通过将除菌温度控制在 45-50°C 之间，在保证除菌效果的同时使用如此低的温度，可以控制微生物增长，尽量保持料液中更多的营养物质的活性。

优选地是，所述浓缩设备还包括：打冷单元，所述打冷单元对经过所述浓缩单元浓缩的料液进行冷却。所述打冷单元包括第一打冷单元和第二打冷单元，所述第一打冷单元将所述料液冷却到第一冷却温度，而所述第二打冷单元将经过第一打冷单元冷却的料液进一步冷却到低于第一冷却温度的第二冷却温度。

所述第一打冷单元例如可以包括夹层罐，所述夹层罐包括制冷液腔室以容纳制冷液。而所述第二打冷单元例如包括板式热交换器。

通过第一打冷单元，料液将从 15 度左右的浓缩料液降到 4-7°C，以在缓存罐中保存。保证浓缩料液可以在最好的状态保存在缓存罐中同时控制产品中微生物的繁殖。第二打冷单元的目的在于在灌装之前，快速的将料液产品

温度到-2~-3℃。其目的在于降低例如浓缩乳的料液产品入库时的温度有利于将产品迅速冷冻到目标温度，将产品冻实。防止出现脂肪上浮、乳糖，蛋白质结晶等影响浓缩乳后续使用品质的问题。

5 优选地是，浓缩设备还包括罐装单元，所述罐装单元将经过打冷单元冷却的料液罐装到预定包装中。

优选地是，浓缩设备还包括清洗单元，所述清洗单元在所述料液浓缩完成后对所述料液浓缩设备进行清洗。

通过设置清洗单元，在料液浓缩后可以去除残留在反渗透膜表面上的污垢，从而恢复反渗透膜的通量，使得该设备可以持续生产。

10 通过本发明的浓缩设备，对于需要浓缩的料液，尤其是对于牛乳制品，可以去除牛乳中的部分水分，减小了生牛乳的体积，增加了保存性，节约了保存成本，同时使得运输更加方便。另外，通过将生牛乳浓缩并冷冻，可以平衡生牛乳季节和产地不均衡的问题。

15 附图说明

上述和其他目的和特征将从下面参照附图的描述中变得清楚，图中，相同的附图标记在若干图中一直表示相同零件，除非另有指定，且图中：

图 1 是示出根据本发明的浓缩设备的示意图；

图 2 是可以用在如图 1 所示的设备中的示例性预处理单元的示意图；

20 图 3 是示出可以用在图 1 的浓缩设备中的示例性均质单元的示意图；

图 4 是示出可以用在图 1 的浓缩设备中的示例性浓缩单元的示意图；

图 5 是示出可以用在图 1 的浓缩设备中采用的示例性二级打冷单元的示意图；以及

图 6 是示出根据本发明的浓缩设备的一种示例性操作方法的流程图。

25

具体实施方式

下面参照附图，详细描述根据本发明的浓缩设备以及相应的浓缩方法。虽然结合以上数个优选实施例公开了本发明，然而其并非用以限定本发明，任何所属技术领域中具有通常知识者，在不脱离本发明的精神和范围内，可作任意的更动与润饰，因此本发明的保护范围应当以附上的权利要求所界定

30

的为准。

在下面的描述中，采用了“上游”、“下游”等表示方向性的术语，其中上游是指料液来自的方向，而下游是指料液将流向的方向，因此，当描述一个单元在另一个单元上游时，料液将从所述一个单元流向另一个单元，反之亦然。

一、概述

下面，参照附图描述根据本发明的浓缩设备 100。

如图 1 所示，浓缩设备 100 包括暂存罐 110、预处理单元 120、均质单元 130、浓缩单元 140、打冷单元 150 和罐装单元 160。另外，浓缩设备 100 还包括清洗单元 (CIP 单元) (未图示)，以在浓缩结束后对整个设备进行清洗。另外，在每个单元之间，可选的，包括缓存罐和供料泵 (未标记)。

例如生牛乳的料液采集后首先进行理化指标检验，并且对符合要求的生牛乳暂时存放在暂存单元 (暂存罐) 110 中。然后对暂存罐 110 内的暂存的生牛乳进行预处理，该预处理可以在预处理单元 120 中进行，并且可以包括除菌过滤处理，该预处理单元 120 例如可以包括除菌分离机，该除菌分离机可以包括两级，以去除生牛乳中的细菌以及芽孢。

经过预处理之后的生牛乳将被送入均质机中进行均质，可选地是，在进入均质机之前，可以设置缓存罐 T12，并且通过供料泵 P13 将缓存罐 T12 内的料液供入均质机。根据本发明，采用两级均质，第一级均质的压力例如为 120bar，而第二级均质的压力例如为 50bar，并且将均质机的温度为 13 度，由此使得生牛乳中的脂肪破碎得更加细小，产品体系更加稳定。均质处理后的生牛乳可以进入暂存罐，例如暂存罐 T13 进行暂存，但这不是必须的。

通过均质处理后的生牛乳例如通过供料泵 P14 被送入浓缩单元 140，该浓缩单元 140 采用反渗透膜进行浓缩处理。优选地是，该浓缩单元 140 至少包括低压反渗透膜处理单元和高压反渗透膜处理单元，以对生牛乳进行浓缩处理。浓缩处理后的生牛乳可以送入暂存罐进行暂存，但这不是必须的。另外，浓缩单元 140 可以包括供料缓存罐 T21，并且包括循环供料泵 P21 等。

浓缩的生牛乳然后在打冷单元 150 中被冷却至零下 2.5°C，然后进行罐装单元 160 中罐装。罐装单元 160 例如包括大袋罐装机，以将浓缩后的生牛乳罐装到无菌八角袋中，整个罐装温度保持在零下 2°C。

罐装后的浓缩乳被装入纸箱并码垛进入速冷库中，该速冷库中的温度例如为零下 22°C，迎面风速 7m/s，冷冻 18 小时之后，等到浓缩物包装的中心温度达到零下 8°C 后将浓缩乳移入冷冻库保存，冷冻库的温度为零下 18°C，由此得到冷冻浓缩乳。

- 5 经上述工艺生产后，得到稳定的淡黄色块状冷冻浓缩乳，经检测打冷之前，浓缩乳总固含量 40.5%，蛋白质含量 10.22%，脂肪含量 12.0%，乳铁蛋白含保存量 90%，冷冻 12 个月后复原，指标稳定，无脂肪上浮，煮沸后无沙砾化现象。

- 10 得到的冷冻浓缩乳可以在冷冻库中保存 12 个月以上，并可以通过适当的还原过程还原成牛乳，还原的牛乳的营养成分与采集的生牛乳基本上相同，由此满足了长期存放的需求。

在生产特定批量的浓缩乳之后，将利用清洗单元 170 对整个浓缩设备 100 进行清洗，该清洗单元例如执行标准 CIP 倾斜，由此清洁整个设备中的残留物并使得浓缩单元的反渗透膜的膜通量恢复到之前的水平。

15

二、预处理单元 120

- 20 预处理单元 120 包括低温除菌分离机，例如可以采用 GEA 公司的 ecoclear 低温除菌机，当然，本发明并不局限于此。优选地是，在本发明中，采用两级低温除菌机，一级过滤孔径为 0.991mm-1.165mm，而第二级过滤孔径为 0.495mm-0.589mm，并且将低温除菌机的温度控制在 45-50°C 之间。

低温除菌分离机例如包括：外壳；容纳在外壳中的转鼓，所述转鼓包括多个叠置在一起的碟片，碟片和碟片之间保留较小的间隙；驱动转鼓转动的电机；将电机的传动传递到转鼓的传动轴；排渣装置和控制柜等。

- 25 悬浮液（或乳浊液）由位于转鼓中心的进料管加入转鼓，转鼓被电机驱动旋转，当悬浮液（或乳浊液）流过碟片之间的间隙时，固体颗粒（或液滴）在离心机作用下沉降到碟片上形成沉渣（或液层）。沉渣沿碟片表面滑动而脱离碟片并积聚在转鼓内直径最大的部位，分离后的液体从出液口排出转鼓，而沉渣由排渣装置排出。

- 30 碟片的作用是缩短固体颗粒（或液滴）的沉降距离、扩大转鼓的沉降面积，转鼓中由于安装了碟片而大大提高了分离机的生产能力。积聚在转鼓内

的固体在分离机停机后拆开转鼓由人工清除，或通过排渣机构在不停机的情况下从转鼓中排出。

碟式分离机可以完成两种操作：液-固分离（即底浓度悬浮液的分离），称澄清操作；液-液分离（或液-液-固）分离（即乳浊液的分离）。对于生牛乳而言，通过分离操作，可以清除牛奶中的绝大部分细菌和微生物孢子，延长产品的货架期，是产品获得更好的风味，控制产品菌落总数，达到质量目标，符合产品规范和法律要求。

三、均质单元 130

均质单元 130 将经过预处理的生牛乳进行均质，优选地是，均质单元 130 包括两级均质单元，第一级均质单元在 120bar 的压力下工作，而第二级均质单元在 50bar 压力下工作，并且将均质单元的工作温度保持在 10-13℃ 之间，以抑制微生物繁殖，保护牛乳中的活性物质的活性，同时保证了整个浓缩流程在 50℃ 的温度之下进行。

作为构成均质单元的均质机，没有特别的限制，例如采用碰撞型或者对射型等各种类型的均质机均可以采用。作为一个示例，采用丹麦 APV 生产的均质机。

该均质机具有两级均质机构，每一级均质机构包括转子和定子，并且在转子和定子之间具有间隙，生乳被供应到转子和定子之间的间隙，并且通过转子高速平稳的旋转，形成高频、强烈的圆周切线速度、角向速度等综合动能效能。在转子和定子的作用下，定、转子合理狭窄的间隙中对生乳形成强烈、往复的液力剪切、摩擦、离心挤压、液流碰撞等综合效应，使得料液（生乳）在容器中循环往复以上工作过程，最终获得产品。

四、浓缩单元 140

浓缩工艺采用 RO 反渗透技术，反渗透技术为在半透膜的溶液一侧施加比溶液渗透压高的外界压力，溶液透过半透膜时只允许一定大小的物质通过，通常只允许水分子或比水分子小的物质通过，已达到浓缩牛奶的目的。浓缩单元 140 包括储液罐 143、低压浓缩单元 141 和高压浓缩单元 142，在储液罐 143 和低压浓缩单元 141 之间以及在低压浓缩单元 141 和高压浓缩单元 142

之间，还可以设置有增压泵 144 和 145。

另外，在进入低压浓缩单元之前，还可以设置过滤器，例如，如图 1 所示的过滤器 F21。

5 低压浓缩单元 141 也可以称作低压反渗透膜处理单元，可以包括多级，
如图所示，低压反渗透膜处理单元包括两级，分别为第一级低压反渗透膜处理单元 1411 和第二级低压反渗透膜处理单元 1412，第一级低压反渗透膜处理单元 1411 可以接收来自均质单元 130 的生牛乳，并且优选地是，在二者之间设置储液罐 143，以暂存经过均质的生牛乳。在储液罐 143 和低压浓缩单元 141 的第一级低压反渗透膜处理单元 1411 之间，设置有增压泵 144，该增压泵 144 可以将储液罐 143 内的生牛乳加压到例如 1-40bar 内的压力并且表面流速控制为 4-7m/s。另外，在第一级低压反渗透膜处理单元 1411 和第二级低压反渗透膜处理单元 1412 之间以及在第二级低压反渗透膜处理单元 1412 和高压反渗透膜处理单元 142 之间，还设置有增压泵 146 和 145，以使得第一级低压反渗透膜处理单元 1411 内的生牛乳的压力、第二级低压反渗透膜处理单元 1412 内的生牛乳的压力、高压反渗透膜处理单元 1413 内的生牛乳的压力逐渐增大。

如图所示，在每一级低压反渗透膜处理单元 1411、1412 内可以包括多个膜组件，以第一级低压反渗透膜处理单元 1411 为例，其包括六个膜组件 1411-1~1411-6，这些膜组件彼此并联。但是本发明并不局限于此，而是可以包括更多或更少的膜组件，并且各个膜组件可以相互串联、并联或者串联和并联混合连接。

25 为了控制每级低压反渗透膜处理单元内的压力，可以在每级的入口或出口处设置压力传感器（未示出），并且压力传感器的信号可以作为反馈信号提供给控制系统，以便控制系统控制增压泵来改变供给到处理单元内的生牛乳的压力。

另外，在每级低压反渗透膜处理单元的入口或出口处还可以设置热交换器，如图 1 所示 E21 和 E22，以将进入低压反渗透膜处理单元的生牛乳的温度控制在 10°C 以下。

30 尽管图中仅示出高压浓缩单元 142 或高压反渗透膜处理单元 142 包括一级，但是其可以采用与低压浓缩单元 141 类似的结构，包括多个级，例如 2-4

级(图中示出一级),并且每一级高压反渗透膜处理单元142类似地可以包括多个膜组件(图中示出三个膜组件),各个膜组件相互串联、并联或者串联和并联混合连接。

5 在高压浓缩单元142的各级之间,以及在低压浓缩单元141和高压浓缩单元之间,可以设置增压泵,并类似地可以在每一级设置压力传感器,以控制每一级的压力。优选地是,高压浓缩单元的压力设定在40-200bar的范围内,并且逐级增大。

类似地,为了保证浓缩过程在低温下进行,在高压浓缩单元142的每一级或者预定级的入口或出口处,设置有热交换器,以保证浓缩温度控制在15°C
10 以下,换热器的数量可以采用每级匹配一个或多级匹配一个,本发明没有限制,只要能够实现将被浓缩的生牛乳的温度保持在15°C之下即可。

根据本发明,采用多级浓缩系统的原因在于多级浓缩乳工艺可以显著大大减少预浓缩的时间,有利于设备连续化生产。单级浓缩时,浓度不断提升的浓缩乳反复经过固定制式的同一膜芯,随着浓缩乳浓度变高,膜通量减小,
15 表面流速变慢,容易导致膜面的堵塞,增加设备的能耗,降低设备连续运行的时间。

根据本发明的多级浓缩的优势在于浓缩乳依次经过清洁,光滑,干净,膜通量表现处于该膜可实现的最优的状态最好的膜面,表面流速损失较少,污垢在膜面上残留更少,运行时所需的辅助动力相对较低,清洗时需要的时间和清洗剂温度、用量都相对较低,从而做到更加节能环保。
20

本系统采用低压和高压浓缩单元这种分段浓缩单元的结构,目的在于提升浓缩乳的品质。其中,第一段低压反渗透膜处理单元设定压力为1-40bar,其表面流速为4-7m/s,温度控制在10°C以下。

第二段高压反渗透单元中,本发明采用KOCH公司HP 8038 RO反渗透
25 膜,但本发明并不局限于此,也可以采用醋酸纤维膜,芳香族聚脒膜,芳香族聚酰胺膜,聚酰胺膜等多种材质。膜的类型也没有特别限制,可以采用中空式,卷式,板式等多种形式,本发明优选耐高压的卷式聚酰胺反渗透膜,压力位40-200bar,其表面流速为6-9m/s,温度控制在20°C以下。

采用多级浓缩设计,全部浓缩单元由多级浓缩模组组成,不同模组根据
30 浓缩乳的浓度,不同的粘度,不同的粒径大小设计大小不同的流道,以保证

浓缩的效率。低压浓缩单元中，浓缩乳浓度较低，流动性较好，污垢不易沉积，使用 30 mil 左右的低流道，压力为 1-40bar，保证在一定的压力下使原奶可以快速预浓缩达到预浓缩目标。在低压浓缩单元的末端以及高压浓缩单元的前端的 2-4 级中，浓缩乳达到一定浓度，粘度增加流动性降低，渗透压增大，粒径增大易在膜上沉积，进一步浓缩变难，故选用 45 mil 左右的中流道，压力增加到 40-50bar，增大流道孔径和压力以保证浓缩效率。最后高压 2-4 级，浓缩乳已经达到目标浓度，浓度，粘度，粒径达到最大值，流动性最低，渗透压最大，污垢最易在膜上沉积，故选用 65-80mil 的高流道，压力升高到 50-200bar 以保证浓缩乳可以有效的在膜内流动，保证生产时间。

通过压力传感器的反馈控制，可以对压力进行精准控制，压力控制对于生产浓缩乳的效率和品质有至关重要的影响。压力控制包括升压的时间和压力数值大小。通过压力控制可以大大降低预浓缩时间，将预浓缩时间缩短至 1h。生产时如果前期升压过快会导致膜通量迅速降低，影响后续的预浓缩时间和之后的生产时间。升压过慢会增加到达目标浓度的预浓缩时间降低生产效率。本实验经过实验，优选生产开始以后的 40-45min 中内逐步将压力增加到 40-42bar，预浓缩结束后，将压力升高到 60-80bar 直至生产结束。

五、打冷单元 150

浓缩乳的温度控制对于浓缩成品的质量及微生物指标控制起到重要作用，打冷效率高可以使后期浓缩乳冷冻效果增加，浓缩乳迅速冻实，阻止脂肪上浮，阻止乳糖结晶成沙砾化，阻止微生物的繁殖，保证复原质量。

本发明采用两段打冷技术，由此，打冷单元 150 包括第一打冷单元 151 和第二打冷单元 152，并且在第二打冷单元 152 的下游，优选地提供缓存罐，以暂时存放经过两级打冷的生牛乳。

第一打冷单元 151 优选地包括带有夹套的储存罐，2-3℃冰水作为冷媒被泵送通过储存罐的夹套，由此将储存罐内的浓缩乳从约 12-14℃降低到 4-7℃。经过第一打冷单元 151 冷却的浓缩乳可以被送入缓存罐暂存。

第二打冷单元 152 优选地包括低温临界列管换热器，如图所示，该换热器包括主体 1521、冷媒室 1522 以及穿过冷媒室的管道 1523。来自第一打冷单元 151 的浓缩乳被泵送到管道 1523 中，并且在穿过管道 1523 的同时与冷

媒室 1522 内的冷媒进行热交换，并被迅速冷却至-2~3℃。该冷媒优选地采用 50%乙二醇水溶液。

5 经过两段打冷的浓缩乳然后可以被送入灌装机。优选地是，在第二打冷单元 1522 的出口至灌装机之间的管道为保温管道或者优选地，该管道为带有夹套的管道，在夹套中通有 1℃ 的冰水作为冷却剂，以防止在浓缩乳流经该管道的过程中被外界温度加热。

10 采用两段打冷的原因在于第一段打冷在浓缩乳出料后，将 15 度左右的浓缩乳降到 4-7℃在缓存罐中保存。保证浓缩乳可以在最好的状态保存在缓存罐中同时控制产品中微生物的繁殖。第二段打冷的目的在于在灌装之前，快速的将产品温度到-2~-3℃。其目的在于降低浓缩乳产品入库时的温度有利于产品迅速冷冻到目标温度。防止出现脂肪上浮、乳糖，蛋白质结晶等影响浓缩乳后续使用品质的问题。

六、清洗单元（图中未标识）

15 浓缩乳生产结束后会有一定的污垢残留在反渗透膜表面，导致膜通量降低，影响继续生产。根据本发明，设置了清洗单元，该清洗单元包括高压泵，以在压力下在控制下将不同的清洗液供给到各个单元，从而该清洗单元可以对整个设备进行清洗工艺，保证清洗后膜通量回复至生产前的数值。这对于生产效率和降低成本，能耗有重要作用。

20 例如，清洗工艺如下进行：

（1） 第一步，50-55℃热水水冲 900s，冲洗流量为 5000l/h。目的在于冲洗掉系统内残留的生产后的浓缩乳。

25 （2） 第二步，碱+表面活性剂循环清洗。其中碱的浓度 0.4-0.6 w/w%，PH 值为 10.9-11.1。表面活性剂浓度为 0.2-0.3w/w%，添加清洗剂后将系统预热至 50-55℃，清洗流量为 5000l/h，循环 1800s。

（3） 第三步，冲洗，水冲 900s，冲洗流量为 5000l/h。目的在于冲洗掉系统内的清洗剂。

30 （4） 第四步，碱+酶循环清洗，其中碱的浓度 0.6-0.8 w/w%，PH 值为 10-10.8。酶浓度为 0.2-0.3w/w%，添加清洗剂后将系统预热至 47-50℃，清洗流量为 5000l/h，循环 2700s。

(5) 第五步, 冲洗, 水冲 900s, 冲洗流量为 5000l/h。目的在于冲洗掉系统内的清洗剂。

(6) 第六步, 酸循环清洗, 其中酸的浓度 0.3-0.4 w/w%, PH 值为 1.8-2.0, 添加清洗剂后将系统预热至 47-50°C, 清洗流量为 5000l/h, 循环 1800s。

5 (7) 第七步, 冲洗, 水冲 900s, 冲洗流量为 5000l/h。目的在于冲洗掉系统内的清洗剂。

(8) 第八步, 碱+表面活性剂循环清洗, 其中碱的浓度 0.4-0.6 w/w%, PH 值为 10.9-11.1。表面活性剂浓度为 0.2-0.3w/w%, 添加清洗剂后将系统预热至 50-55°C, 清洗流量为 5000l/h, 循环 1800s。

10 (9) 第九步, 水冲, 水冲 1800s, 冲洗流量为 5000l/h。目的在于冲洗掉系统内的清洗剂。

(10) 第十步, 通量测试, 常温水系统内循环, 观察 RO 渗透液流量, 根据同初始流量比较判定。

15 七、操作过程

下面参照图 6, 描述根据本发明的示例性实施例的浓缩设备的操作过程。如图 6 所示, 在步骤 S1, 生乳到厂后进行理化指标检验 TS 12-13%, 脂肪 2.8-3.0%, 蛋白质 2.8-3.3%, 对符合要求的生奶进行过滤除去物理杂质, 其中, 一级过滤器孔径 1.00mm, 二级过滤器孔径 0.50mm。

20 2) 在步骤 S2, 生乳暂存后进行预处理操作或除菌分离操作, 在这个操作中, 生乳中的芽孢被去除, 芽孢分离率大于 95%, 所获得的生乳中总固含量为 12.35%, 处理后将生乳冷却至 7 摄氏度, 并储存。

3) 在步骤 S3, 经过除菌分离操作的生乳进入均质单元中进行冷均质, 温度设定为 13 度, 两级压力共 170bar, 其中, 一级均质压力为 120bar, 二级均质压力为 50bar。

25 4) 在步骤 S4, 经过均质单元均质化的生牛乳进入浓缩单元, 该浓缩单元包括低压浓缩单元和高压浓缩单元, 因此, 步骤 S4 可以包括低压浓缩操作 S41 和高压浓缩操作 S42。作为示例, 低压反渗透膜处理单元为 7 级, 前 3 级使用低流道 30mil 使用 40bar 压力。后 4 级采用中流道 45mil, 压力为 50bar。膜表面流速为 5m/s。在生牛乳浓缩至总固体含量 25%左右时, 被泵入高压反

渗透膜处理单元，高压反渗透膜单元采用高流道 65mil，压力为 80bar，膜表面流速为 7m/s，反渗透膜内的温度一直维持在 15°C 以下，经过高压反渗透膜处理部分得到的浓缩乳总固体含量在 40-45%；

- 5) 在步骤 S5，经过浓缩的浓缩乳被泵入打冷单元的第一打冷单元中，
- 5 该第一打冷单元的罐内温度控制在 4°C，使用 1°C 冰水作为冷媒。被初步打冷后的浓缩乳经由增压泵进入第二打冷单元，即，低温临界列管式换热器，使用-5°C的 50%的乙二醇水溶液作为冷媒，在浓缩乳通过换热器管道时，浓缩乳与冷媒进行热交换，使得第二打冷单元的出口温度为-2.5°C。然后，浓缩乳经带有夹管冷却的管道被送入灌装机灌装。
- 10 6) 在步骤 S6，浓缩乳通过大袋灌装机灌入订制的无菌八角袋中，灌装温度保持在零下 2 度；
- 7) 在步骤 S7，将浓缩乳装入与八角袋匹配的纸箱中，码垛进入速冻库，冷库温度零下 22 度，迎面风速 7m/s，冷冻 18 小时后，中心温度达到-8°C后移入冷冻库保存，冷冻库温度为-18°C，得到冷冻浓缩乳。
- 15 8) 可选的，在浓缩设备生产完成后或者在预定生产批次之后，使用清洗单元执行标准 CIP 工艺来清洗浓缩设备，该清洗步骤已经在上面详细描述，因此，在此不再赘述。

有益效果

- 20 为解决食品工业(特别是乳制品)中的浓缩问题，通常包括以下方法：1) 蒸发浓缩法：利用设备的加热作用，将标准化后的生牛乳加入蒸发釜中，加热蒸发釜，在高温下使生牛乳在其沸点时汽化，并将汽化时产生的二次蒸汽不断排除，从而除去牛乳中的水分，使得牛乳的浓度不断提高，直到达到预想浓度。这种方法通过高温、高压的方法将料液中的水分去除；存在缺点在于：一、能耗成本高，过程需要加热以产生大量蒸汽，能源消耗大；二、在浓缩过程中，这种传统蒸发方法需要对牛乳实施加热，加热的强度低会导致蒸发效率低，强度过强则会导致某些料液中有可能包含的活性物质和部分营养物质被破坏；三、通过这种浓缩方法，只能去除 10%的水分，往往达不到企业对于比较高的浓缩度的要求，因此这种浓缩方法的效率比较低。特别是
- 25 对于乳制品，蒸发浓缩在高温下实现，能耗高，增加了乳制品的成本；同时，
- 30

蒸发浓缩所需要的温度较高，过程中不仅有物理变化还存在化学变化，造成牛乳中的热敏性营养物质和风味物质损失，牛乳的颜色也会改变。

第二种方法为 2) 常规反渗透方法：反渗透设备由料液疏导网、纯水疏导网、反渗透膜、泵等构成，使得处理过的料液通过预定的流道，料液中的水分子透过反渗透膜而被采集到中央集水管，而最终得到浓缩的料液。但是这种浓缩设备的缺点在于：一、能耗较高，随着浓缩的进行料液中的总固体物含量逐渐升高，为了克服更高的渗透压需要提供系统备用的运行泵的功率增大，故而能耗增高；二、受到常规反渗透技术、膜芯及设备最高压力的限制，使得浓缩技术所能实现的浓缩倍数低，约为 2 倍左右，不能满足较高的浓缩要求。这种方法的局限性在于浓缩倍数受限，目前使用常规反渗透技术只能将牛乳浓缩到 32%。

第三种方法为 3) 正渗透方法：目前的新兴技术，没有应用于乳品生产的实例；使料液和汲取液在正渗透膜的两边流动，利用膜两侧的盐浓度不同所产生的渗透压，水从盐浓度小的料液一侧通过正渗透膜，进入盐浓度较大的汲取液一侧，以实现除去料液中的水份使料液浓缩；此法局限性在于，目前没有工业应用的实例，膜的大小受制造能力的限制，不能生产大面积的膜，使得处理牛乳的能力低；运行成本高，正渗透膜易堵塞，更换膜的成本很高。

本申请的反渗透浓缩方法，包括低压反渗透膜浓缩处理和高压反渗透膜浓缩处理的两种反渗透膜浓缩处理。其中，所述低压反渗透膜浓缩处理采用第一预定压力对进料进行反渗透浓缩处理，所述高压反渗透膜浓缩处理采用第二预定压力对进料进行反渗透浓缩处理，所述第一预定压力小于所述第二预定压力。本申请采用上述反渗透浓缩方法，克服了食品工业（特别是乳制品）浓缩的上述问题，实现了乳制品的高度浓缩，降低了能耗和运行成本，避免了热处理对乳制品的各种理化、微生物及生物化学指标的影响，以及避免了乳制品在浓缩处理中微生物和细菌过度繁殖。

通常条件下，常规 RO 只能将原奶浓缩至 TS 20% 左右，受浓缩乳浓度、渗透压、粘度、膜的种类等因素的影响，浓缩比无法提高，无法得到浓度更高的浓缩乳。现在市面上没有现成的针对食品工业（特别是乳制品）的高压 RO 设备，常规高压 RO 设备通常都无法满足乳品生产的要求（包括设计要求、清洗要求、耐高压要求等）；并且，直接使用常规高压 RO 设备会导致膜的流

道变窄，使得膜更易污染、堵塞。本申请采用先低压反渗透浓缩、再高压反渗透浓缩的方式，并对高压 RO 设备进行特殊设计，避免了上述问题。

并且，本申请还优选采用多级浓缩，包括多级高压 RO 浓缩和多级低压 RO 浓缩。对于浓缩乳制品，单级浓缩只在一组膜上循环，单级膜参数无法调整，随着浓缩的进行，脂肪等物质会在膜表面沉积，沉积的速率会越来越快；采用多级浓缩，可以大大减少预浓缩的时间，有利于设备连续化生产。并且，单级浓缩时，浓缩乳反复经过同一膜芯，随着浓缩乳浓度变高，膜通量减小，表面流速变慢，容易导致膜面的堵塞，增加设备的能耗；多级浓缩的优势，还包括浓缩乳依次经过干净，膜通量表现最好的膜面，表面流速损失较少，污垢在膜面上残留更少，从而做到更加节能环保。

另外，一般 RO 工艺的前处理温度为 65-70℃，影响了乳制品的品质。本申请的冷浓缩工艺，温度全程控制在 50 度以下，膜浓缩阶段的温度控制在 15 度以下。尽最大可能保持低温，以控制微生物繁殖和保证最大限度保证牛奶中的活性物质不被破坏。本申请采用多种低温前处理工艺的组合和调整了各步骤参数，有利地控制了全程处理温度。

实施例

原奶验收采用国家标准 GB 19301-2010、NY/T 1172-2006。

实施例 1

1) 生乳到厂后进行理化指标检验 TS 12.33%，脂肪 3.2%，蛋白质 3.1%，对符合要求的生奶进行过滤除去物理杂质，其中，一级过滤器孔径 1.00mm，二级过滤器孔径 0.50mm。

2) 生乳暂存后进行除菌分离操作，后将生乳冷却至 7 摄氏度，并储存。

3) 生乳进入均质机中进行冷均质，温度 13 摄氏度，两级压力共 170bar，其中，一级均质压力为 120bar，二级均质压力为 50bar，后进入除菌分离机中进行除芽孢，芽孢分离率大于 95%，所获得的生乳中总固含量为 12.35%。

4) 生乳进入常压反渗透膜处理单元，其中，常压反渗透膜组为 7 级，前 3 级使用低流道 30mil 使用 40bar 压力。后 4 级采用中流道 45mil，压力为 50bar。膜表面流速为 5m/s，选用浓缩至总固 25% 左右时进入高压反渗透膜

处理单元，高压反渗透膜单元采用高流道 65mil，压力为 80bar，膜表面流速为 7m/s，反渗透膜内的温度一直维持在 15℃以下，高压反渗透部分，得到的浓缩乳总固含量在 40.2%；浓缩乳进入浓缩乳暂存罐。

5) 浓缩乳进入贮存罐中持续打冷即一段打冷，罐内温度控制在 4℃，使用 1℃冰水作为冷媒。后浓缩乳经由物料泵进入低温临界列管式换热器即二段打冷，使用-5℃的 50%的乙二醇水溶液作为冷媒。二段打冷的入口温度为 4℃，经过打冷出口温度为-2.5℃。浓缩乳经带有夹管打冷的管道使用 1℃的冰水作为冷媒，快速到达灌装机灌装。

6) 浓缩乳通过大袋灌装机灌入订制的无菌八角袋中，灌装温度保持在零下 2 度。

7) 将浓缩乳装入与八角袋匹配的纸箱中，码垛进入速冻库，冷库温度零下 22 度，迎面风速 7m/s，冷冻 18 小时后，中心温度达到-8℃后移入冷冻库保存，冷冻库温度为-18℃，得到冷冻浓缩乳。

8) 清洗工艺为上述标准 CIP 清洗。

结果：经上述工艺生产后，得到稳定的淡黄色块状冷冻浓缩乳，经检测打冷之前，浓缩乳总固含量 40.5%，蛋白质含量 10.22%，脂肪含量 12.0%，乳铁蛋白含保存量 90%，糖胺酸含量为 11.3mg/L，IgG 保存量为 95%，GMP 保存量为 100%。冷冻 12 个月后复原，指标稳定，无脂肪上浮，煮沸后无沙砾化现象。CIP 后经检测膜通量回复到使用前数值。竞速冻库冷冻，14 小时后，浓缩乳中心温度达到-8℃。

实施例 2

1) 生乳到厂后进行理化指标检验 TS 13.1%，脂肪 2.9%，蛋白质 3.2%，对符合要求的生奶进行过滤除去物理杂质，其中，一级过滤器孔径 1.00mm，二级过滤器孔径 0.50mm。

2) 生乳暂存后进行除菌分离操作，后将生乳冷却至 7 摄氏度，并储存。

3) 生乳进入均质机中进行冷均质，温度 13 摄氏度，两级压力共 170bar，其中，一级均质压力为 120bar，二级均质压力为 50bar，后进入除菌分离机中进行除芽孢，芽孢分离率大于 95%，所获得的生乳中总固含量为 12.35%。

4) 生乳进入常压反渗透膜处理单元，其中，常压反渗透膜组为 7 级，前

3 级使用低流道 30mil 使用 40bar 压力。后 4 级采用中流道 45mil，压力为 50bar。膜表面流速为 5m/s，选用 浓缩至总固 25%左右时进入高压反渗透膜处理单元，高压反渗透膜单元采用高流道 65mil，压力为 80bar，膜表面流速为 7m/s，反渗透膜内的温度一直维持在 15℃以下，高压反渗透部分，得到的
5 浓缩乳总固含量在 42.5%；浓缩乳进入浓缩乳暂存罐。

5) 浓缩乳进入贮存罐中持续打冷即一段打冷，罐内温度控制在 4℃，使用 1℃冰水作为冷媒。后浓缩乳经由物料泵进入低温临界列管式换热器即二段打冷，使用-5℃的 50%的乙二醇水溶液作为冷媒。二段打冷的入口温度为 4℃，经过打冷出口温度为-2.5℃。浓缩乳经带有夹管打冷的管道使用 1℃的冰
10 水作为冷媒，快速到达灌装机灌装。

6) 浓缩乳通过大袋灌装机灌入订制的无菌八角袋中，灌装温度保持在零下 2 度。

7) 将浓缩乳装入与八角袋匹配的纸箱中，码垛进入速冻库，冷库温度零下 22 度，迎面风速 7m/s，冷冻 18 小时后，中心温度达到-8℃后移入冷冻库
15 保存，冷冻库温度为-18℃，得到冷冻浓缩乳。

8) 清洗工艺为上述标准 CIP 清洗。

结果：经上述工艺生产后，得到稳定的淡黄色块状冷冻浓缩乳，经检测打冷之前，浓缩乳总固含量 41.3%，蛋白质含量 10.31%，脂肪含量 12.1%，乳铁蛋白含量保存量 92%，糖胺酸含量为 11.5mg/L，IgG 保存量为 95%，GMP
20 保存量为 100%。冷冻 12 个月后复原，指标稳定，无脂肪上浮，煮沸后无沙砾化现象。CIP 后经检测膜通量回复到使用前数值。竞速冻库冷冻，14 小时后，浓缩乳中心温度达到-8℃。

实施例 3

25 1) 生乳到厂后进行理化指标检验 TS 12.7%，脂肪 3.1%，蛋白质 3.3%，对符合要求的生奶进行过滤除去物理杂质，其中，一级过滤器孔径 1.00mm，二级过滤器孔径 0.50mm。

2) 生乳暂存后进行除菌分离操作，后将生乳冷却至 7 摄氏度，并储存。

3) 生乳进入均质机中进行冷均质，温度 13 摄氏度，两级压力共 170bar，
30 其中，一级均质压力为 120bar，二级均质压力为 50bar，后进入除菌分离机中

进行除芽孢，芽孢分离率大于 95%，所获得的生乳中总固含量为 12.35%。

4) 生乳进入常压反渗透膜处理单元，其中，常压反渗透膜组为 7 级，前 3 级使用低流道 30mil 使用 40bar 压力。后 4 级采用中流道 45mil，压力为 50bar。膜表面流速为 5m/s，选用 浓缩至总固 25%左右时进入高压反渗透膜处理单元，高压反渗透膜单元采用高流道 65mil，压力为 80bar，膜表面流速为 7m/s，反渗透膜内的温度一直维持在 15℃以下，高压反渗透部分，得到的浓缩乳总固含量在 44.3%；浓缩乳进入浓缩乳暂存罐。

5) 浓缩乳进入贮存罐中持续打冷即一段打冷，罐内温度控制在 4℃，使用 1℃冰水作为冷媒。后浓缩乳经由物料泵进入低温临界列管式换热器即二段打冷，使用-5℃的 50%的乙二醇水溶液作为冷媒。二段打冷的入口温度为 4℃，经过打冷出口温度为-2.5℃。浓缩乳经带有夹管打冷的管道使用 1℃的冰水作为冷媒，快速到达灌装机灌装。

6) 浓缩乳通过大袋灌装机灌入订制的无菌八角袋中，灌装温度保持在零下 2 度。

7) 将浓缩乳装入与八角袋匹配的纸箱中，码垛进入速冻库，冷库温度零下 22 度，迎面风速 7m/s，冷冻 18 小时后，中心温度达到-8℃后移入冷冻库保存，冷冻库温度为-18℃，得到冷冻浓缩乳。

8) 清洗工艺为上述标准 CIP 清洗。

结果：经上述工艺生产后，得到稳定的淡黄色块状冷冻浓缩乳，经检测打冷之前，浓缩乳总固含量 44.3%，蛋白质含量 10.61%，脂肪含量 12.9%，乳铁蛋白含保存量 92%，糖胺酸含量为 11.4mg/L，IgG 保存量为 94%，GMP 保存量为 100%。冷冻 12 个月后复原，指标稳定，无脂肪上浮，煮沸后无沙砾化现象。CIP 后经检测膜通量回复到使用前数值。竞速冻库冷冻，14 小时后，浓缩乳中心温度达到-8℃。

对比例 1 (采用常规均质机和低温均质机的对比)

1) 生乳到厂后进行理化指标检验 TS 12.5%，脂肪 3.0%，蛋白质 3.1%，对符合要求的生奶进行过滤除去物理杂质，其中，一级过滤器孔径 1.00mm，二级过滤器孔径 0.50mm。

2) 生乳暂存后进行除菌分离操作，后将生乳冷却至 7 摄氏度，并储存。

3) 生乳进入均质机中进行冷均质, 温度 22℃, 两级压力共 170bar, 其中, 一级均质压力为 120bar, 二级均质压力为 50bar, 后进入除菌分离机中进行除芽孢, 芽孢分离率大于 95%, 所获得的生乳中总固含量为 12.35%。

4) 生乳进入常压反渗透膜处理单元, 其中, 常压反渗透膜组为 7 级, 前 3 级使用低流道 30mil 使用 40bar 压力。后 4 级采用中流道 45mil, 压力为 50bar。膜表面流速为 5m/s, 选用 浓缩至总固 25%左右时进入高压反渗透膜处理单元, 高压反渗透膜单元采用高流道 65mil, 压力为 80bar, 膜表面流速为 7m/s, 反渗透膜内的温度一直维持在 15℃以下, 高压反渗透部分, 得到的浓缩乳总固含量在 43.1%; 浓缩乳进入浓缩乳暂存罐。

5) 浓缩乳进入贮存罐中持续打冷即一段打冷, 罐内温度控制在 4℃, 使用 1℃冰水作为冷媒。后浓缩乳经由物料泵进入低温临界列管式换热器即二段打冷, 使用-5℃的 50%的乙二醇水溶液作为冷媒。二段打冷的入口温度为 4℃, 经过打冷出口温度为-2.5℃。浓缩乳经带有夹管打冷的管道使用 1℃的冰水作为冷媒, 快速到达灌装机灌装。

6) 浓缩乳通过大袋灌装机灌入订制的无菌八角袋中, 灌装温度保持在零下 2 度。

7) 将浓缩乳装入与八角袋匹配的纸箱中, 码垛进入速冻库, 冷库温度零下 22 度, 迎面风速 7m/s, 冷冻 18 小时后, 中心温度达到-8℃后移入冷冻库保存, 冷冻库温度为-18℃, 得到冷冻浓缩乳。

8) 清洗工艺为上述标准 CIP 清洗。

结果: 经检测, 产品总固含量为 43.1%, 蛋白质含量 10.22%, 脂肪含量为 12.30%, 糠胺酸含量为 11.1mg/L, IgG 保存量为 93%, GMP 保存量为 100%。符合产品要求, 但是微生物增值严重, 菌落总数 1080000 CFU/mL(g), 产品 pH 过低, pH=5.90 不符合相关法规, 并且遇高温易结块。

对比例 2 (第二段打冷未使用乙二醇灌装温度不够)

1) 生乳到厂后进行理化指标检验 TS 12.43%, 脂肪 3.2%, 蛋白质 3.1%, 对符合要求的生奶进行过滤除去物理杂质, 其中, 一级过滤器孔径 1.00mm, 二级过滤器孔径 0.50mm。

2) 生乳暂存后进行除菌分离操作, 后将生乳冷却至 7 摄氏度, 并储存。

3) 生乳进入均质机中进行冷均质，温度 13 度，两级压力共 170bar，其中，一级均质 3 压力为 120bar，二级均质压力为 50bar，后进入除菌分离机中进行除芽孢，芽孢分离率大于 95%，所获得的生乳中总固含量为 12.35%。

4) 生乳进入常压反渗透膜处理单元，其中，常压反渗透膜组为 7 级，前 3 级使用低流道 30mil 使用 40bar 压力。后 4 级采用中流道 45mil，压力为 50bar。膜表面流速为 5m/s，选用 浓缩至总固 25%左右时进入高压反渗透膜处理单元，高压反渗透膜单元采用高流道 65mil，压力为 80bar，膜表面流速为 7m/s，反渗透膜内的温度一直维持在 15℃以下，高压反渗透部分，得到的浓缩乳总固含量在 42.1%；浓缩乳进入浓缩乳暂存罐。

5) 浓缩乳进入贮存罐中持续打冷即一段打冷，罐内温度控制在 4℃，使用 1℃冰水作为冷媒。后浓缩乳经由物料泵进入低温临界列管式换热器即二段打冷，使用 1℃的冰水作为冷媒。二段打冷的入口温度为 4℃，经过打冷出口温度为 3.5℃。浓缩乳经带有夹管打冷的管道使用 1℃的冰水作为冷媒，快速到达灌装机灌装。

6) 浓缩乳通过大袋灌装机灌入订制的无菌八角袋中，灌装温度保持在零下 2 度。

7) 将浓缩乳装入与八角袋匹配的纸箱中，码垛进入速冻库，冷库温度零下 22 度，迎面风速 7m/s，冷冻 18 小时后，中心温度达到-8℃后移入冷冻库保存，冷冻库温度为-18℃，得到冷冻浓缩乳。

8) 清洗工艺为上述标准 CIP 清洗。

结果：经检测，产品总固含量为 42.1%，蛋白质含量 10.43%，脂肪含量为 12.40%，糖胺酸含量为 10.9mg/L，IgG 保存量为 95%，GMP 保存量为 100%。符合产品要求，但是第二段打冷未使用乙二醇水溶液，浓缩乳成品进入速冻库时温度过高不达标，浓缩乳冻结速度过慢，脂肪上浮，体系不稳定，复溶后产品有分层情况发生，并且嗜冷菌增殖迅速，380 CFU/mL(g) 影响了产品的风味。

对比例 3 (速冻库温度、成本对比)

1) 生乳到厂后进行理化指标检验 TS 12.60%，脂肪 3.3%，蛋白质 3.2%，对符合要求的生奶进行过滤除去物理杂质，其中，一级过滤器孔径 1.00mm，

二级过滤器孔径 0.50mm。

2) 生乳暂存后进行除菌分离操作，后将生乳冷却至 7 摄氏度，并储存。

3) 生乳进入均质机中进行冷均质，温度 13 度，两级压力共 170bar，其中，一级均质压力为 120bar，二级均质压力为 50bar，后进入除菌分离机中进行除芽孢，芽孢分离率大于 95%，所获得的生乳中总固含量为 12.35%。

4) 生乳进入常压反渗透膜处理单元，其中，常压反渗透膜组为 7 级，前 3 级使用低流道 30mil 使用 40bar 压力。后 4 级采用中流道 45mil，压力为 50bar。膜表面流速为 5m/s，选用 浓缩至总固 25%左右时进入高压反渗透膜处理单元，高压反渗透膜单元采用高流道 65mil，压力为 80bar，膜表面流速为 7m/s，反渗透膜内的温度一直维持在 15℃以下，高压反渗透部分，得到的浓缩乳总固含量在 42.2%；浓缩乳进入浓缩乳暂存罐。

5) 浓缩乳进入贮存罐中持续打冷即一段打冷，罐内温度控制在 4℃，使用 1℃冰水作为冷媒。后浓缩乳经由物料泵进入低温临界列管式换热器即二段打冷，使用-5℃的 50%的乙二醇水溶液作为冷媒。二段打冷的入口温度为 4℃，经过打冷出口温度为-2.5℃。浓缩乳经带有夹管打冷的管道使用 1℃的冰水作为冷媒，快速到达灌装机灌装。

6) 浓缩乳通过大袋灌装机灌入订制的无菌八角袋中，灌装温度保持在零下 2 度。

7) 将浓缩乳装入与八角袋匹配的纸箱中，码垛进入速冻库，冷库温度零下 40 度，迎面风速 7m/s，冷冻 18 小时后，中心温度达到-8℃后移入冷冻库保存，冷冻库温度为-18℃，得到冷冻浓缩乳。

8) 清洗工艺为上述标准 CIP 清洗。

结果：经检测，产品总固含量为 42.2%，蛋白质含量 9.98%，脂肪含量为 11.50%，糠胺酸含量为 13.1mg/L，IgG 保存量为 94%，GMP 保存量为 100%。符合产品要求，浓缩乳正常生产，浓缩乳冷冻速率更快，可快速运输离场入仓库。指标稳定，无脂肪上浮，煮沸后无沙砾化现象，但是工厂能耗是实施利 1 的 2 倍，浪费能源，增加了工厂的碳排放。

对比例 4 (只使用常规 RO 膜浓缩)

1) 生乳到厂后进行理化指标检验 TS 12.53%，脂肪 3.5%，蛋白质 3.3%，

对符合要求的生奶进行过滤除去物理杂质，其中，一级过滤器孔径 1.00mm，二级过滤器孔径 0.50mm。

2) 生乳暂存后进行除菌分离操作，后将生乳冷却至 7 摄氏度，并储存。

3) 生乳进入均质机中进行冷均质，温度 13 度，两级压力共 170bar，其中，一级均质压力为 120bar，二级均质压力为 50bar，后进入除菌分离机中进行除芽孢，芽孢分离率大于 95%，所获得的生乳中总固含量为 12.35%。

4) 生乳进入常压反渗透膜处理单元，其中，常压反渗透膜组为 7 级，前 3 级使用低流道 30mil 使用 40bar 压力。后 4 级采用中流道 45mil，压力为 50bar。膜表面流速为 5m/s，浓缩至总固 25%的浓缩乳进入浓缩乳暂存罐。

5) 浓缩乳进入贮存罐中持续打冷即一段打冷，罐内温度控制在 4℃，使用 1℃冰水作为冷媒。后浓缩乳经由物料泵进入低温临界列管式换热器即二段打冷，使用-5℃的 50%的乙二醇水溶液作为冷媒。二段打冷的入口温度为 4℃，经过打冷出口温度为-2.5℃。浓缩乳经带有夹管打冷的管道使用 1℃的冰水作为冷媒，快速到达灌装机灌装。

6) 浓缩乳通过大袋灌装机灌入订制的无菌八角袋中，灌装温度保持在零下 2 度。

7) 将浓缩乳装入与八角袋匹配的纸箱中，码垛进入速冻库，冷库温度零下 22 度，迎面风速 7m/s，冷冻 18 小时后，中心温度达到-8℃后移入冷冻库保存，冷冻库温度为-18℃，得到冷冻浓缩乳。

8) 清洗工艺为上述标准 CIP 清洗。

经检测，产品总固含量为 25%，蛋白质含量 5.62%，脂肪含量为 6.30%，与实施例 1 相比，该使用常规反渗透技术生产浓缩乳的对比例未能达到生产 35-45%总固形物浓缩乳的要求。同时脂肪含量、蛋白质含量、乳铁蛋白含量、糠胺酸、IgG、GMP 含量也未达标。

对比例 5 (常规换热器和低温临界管换热器的对比)

1) 生乳到厂后进行理化指标检验 TS 12.21% ,脂肪 3.3% ,蛋白质 3.15% ,对符合要求的生奶进行过滤除去物理杂质，其中，一级过滤器孔径 1.00mm，

二级过滤器孔径 0.50mm。

2) 生乳暂存后进行除菌分离操作，后将生乳冷却至 7 摄氏度，并储存。

3) 生乳进入均质机中进行冷均质，温度 13 度，两级压力共 170bar，其中，一级均质压力为 120bar，二级均质压力为 50bar，后进入除菌分离机中
5 进行除芽孢，芽孢分离率大于 95%，所获得的生乳中总固含量为 12.35%。

4) 生乳进入常压反渗透膜处理单元，其中，常压反渗透膜组为 7 级，前 3 级使用低流道 30mil 使用 40bar 压力。后 4 级采用中流道 45mil，压力为 50bar。膜表面流速为 5m/s，选用 浓缩至总固 25%左右时进入高压反渗透膜处理单元，高压反渗透膜单元采用高流道 65mil，压力为 80bar，膜表面流速为 7m/s，反渗透膜内的温度一直维持在 15℃以下，高压反渗透部分，
10 得到的浓缩乳总固含量在 40.2%；浓缩乳进入浓缩乳暂存罐。

5) 浓缩乳进入贮存罐中持续打冷即一段打冷，罐内温度控制在 4℃，使用 1℃冰水作为冷媒。后浓缩乳经由物料泵进入常规列管式换热器即二段打冷，使用-5℃的 50%的乙二醇水溶液作为冷媒。二段打冷的入口温度为 4
15 ℃，经过打冷出口温度为-2.5℃。浓缩乳经带有夹管打冷的管道使用 1℃的冰水作为冷媒，快速到达灌装机灌装。

6) 浓缩乳通过大袋灌装机灌入订制的无菌八角袋中，灌装温度保持在零下 2 度。

7) 将浓缩乳装入与八角袋匹配的纸箱中，码垛进入速冻库，冷库温度
20 零下 22 度，迎面风速 7m/s，冷冻 18 小时后，中心温度达到-8℃后移入冷冻库保存，冷冻库温度为-18℃，得到冷冻浓缩乳。

8) 清洗工艺为上述标准 CIP 清洗。

结果：经检测，产品总固含量为 40.2%，蛋白质含量 9.22%，脂肪含量为 10.50%，糠胺酸含量为 14.6mg/L，IgG 保存量为 94%，GMP 保存量为 100%。
25 符合产品要求，与低温临界管式换热器相比，常规列管式换热器流道少，冷媒流动速度慢，物料流动速度慢导致换热器堵塞，未能得到浓缩乳产品。

对比例 6 (未按 CIP 工艺清洗)

1)生乳到厂后进行理化指标检验 TS 12.54% ,脂肪 3.4 % ,蛋白质 3.2% ,对符合要求的生奶进行过滤除去物理杂质 , 其中 , 一级过滤器孔径 1.00mm , 二级过滤器孔径 0.50mm。

2) 生乳暂存后进行除菌分离操作 , 后将生乳冷却至 7 摄氏度 , 并储存。

5 3) 生乳进入均质机中进行冷均质 , 温度 13 度 , 两级压力共 170bar , 其中 , 一级均质压力为 120bar , 二级均质压力为 50bar , 后进入除菌分离机中进行除芽孢 , 芽孢分离率大于 95% , 所获得的生乳中总固含量为 12.35%。

4) 生乳进入常压反渗透膜处理单元 , 其中 , 常压反渗透膜组为 7 级 , 前 3 级使用低流道 30mil 使用 40bar 压力。后 4 级采用中流道 45mil , 压力为 10 50bar。膜表面流速为 5m/s , 选用 浓缩至总固 25%左右时进入高压反渗透膜处理单元 , 高压反渗透膜单元采用高流道 65mil , 压力为 80bar , 膜表面流速为 7m/s , 反渗透膜内的温度一直维持在 15℃以下 , 高压反渗透部分 , 得到的浓缩乳总固含量在 44.2% ; 浓缩乳进入浓缩乳暂存罐。

5) 浓缩乳进入贮存罐中持续打冷即一段打冷 , 罐内温度控制在 4℃ , 使 15 用 1℃冰水作为冷媒。后浓缩乳经由物料泵进入低温临界列管式换热器即二段打冷 , 使用-5℃的 50%的乙二醇水溶液作为冷媒。二段打冷的入口温度为 4℃ , 经过打冷出口温度为-2.5℃。浓缩乳经带有夹管打冷的管道使用 1℃的冰水作为冷媒 , 快速到达灌装机灌装。

6) 浓缩乳通过大袋灌装机灌入订制的无菌八角袋中 , 灌装温度保持在 20 零下 2 度。

7) 将浓缩乳装入与八角袋匹配的纸箱中 , 码垛进入速冻库 , 冷库温度零下 22 度 , 迎面风速 7m/s , 冷冻 18 小时后 , 中心温度达到-8℃后移入冷冻库保存 , 冷冻库温度为-18℃ , 得到冷冻浓缩乳。

8) 清洗工艺未按上述标准 CIP 清洗。

25 结果 : 经检测 , 产品总固含量为 44.2% , 蛋白质含量 11.02% , 脂肪含量为 12.70% , 糠胺酸含量为 14.6mg/L , IgG 保存量为 95% , GMP 保存量为 100%。符合产品要求 , 冷冻入库后产品符合冷冻保存要求 , 浓缩模块经过清洗后通量检测 , 通量未达到生产前的通量。拆开膜壳厚膜表面有明显污垢 , 影响下次的生产。

30

对比例 7 (仅用高压 RO 技术)

1) 生乳到厂后进行理化指标检验 TS 13.5% , 脂肪 3.0% , 蛋白质 3.3% , 对符合要求的生奶进行过滤除去物理杂质 , 其中 , 一级过滤器孔径 1.00mm , 二级过滤器孔径 0.50mm。

5 2) 生乳暂存后进行除菌分离操作 , 后将生乳冷却至 7 摄氏度 , 并储存。

3) 生乳进入均质机中进行冷均质 , 温度 13 度 , 两级压力共 170bar , 其中 , 一级均质压力为 120bar , 二级均质压力为 50bar , 后进入除菌分离机中进行除芽孢 , 芽孢分离率大于 95% , 所获得的生乳中总固含量为 12.35%。

4) 生乳直接进入高压反渗透膜处理单元 , 其中 , 高压反渗透膜单元采用
10 高流道 65mil , 压力为 80bar , 膜表面流速为 7m/s , 反渗透膜内的温度一直维持在 15℃以下 , 高压反渗透部分 , 得到的浓缩乳总固含量在 36.5% ; 浓缩乳进入浓缩乳暂存罐。

5) 浓缩乳进入贮存罐中持续打冷即一段打冷 , 罐内温度控制在 4℃ , 使用 1℃冰水作为冷媒。后浓缩乳经由物料泵进入低温临界列管式换热器即二
15 段打冷 , 使用-5℃的 50%的乙二醇水溶液作为冷媒。二段打冷的入口温度为 4℃ , 经过打冷出口温度为-2.5℃。浓缩乳经带有夹管打冷的管道使用 1℃的冰水作为冷媒 , 快速到达灌装机灌装。

6) 浓缩乳通过大袋灌装机灌入订制的无菌八角袋中 , 灌装温度保持在零下 2 度。

20 7) 将浓缩乳装入与八角袋匹配的纸箱中 , 码垛进入速冻库 , 冷库温度零下 22 度 , 迎面风速 7m/s , 冷冻 18 小时后 , 中心温度达到-8℃后移入冷冻库保存 , 冷冻库温度为-18℃ , 得到冷冻浓缩乳。

8) 清洗工艺为上述标准 CIP 清洗。

结果 : 经检测 , 产品总固含量为 36.5% , 蛋白质含量 8.05% , 脂肪含量为
25 8.33% , 糠胺酸含量为 50.5mg/L , IgG 保存量为 95% , GMP 保存量为 90%。不符合产品要求 , 与实施例工艺相比较 , 膜浓缩设备膜通量下降迅速 , 清洗后发现膜表面污阻严重 , 未能生产出合规的浓缩乳。

对比例 8 (使用单级浓缩)

30 1) 生乳到厂后进行理化指标检验 TS 12.7% , 脂肪 3.1% , 蛋白质 3.2% ,

对符合要求的生奶进行过滤除去物理杂质，其中，一级过滤器孔径 1.00mm，二级过滤器孔径 0.50mm。

2) 生乳暂存后进行除菌分离操作，后将生乳冷却至 7 摄氏度，并储存。

3) 生乳进入均质机中进行冷均质，温度 13 度，两级压力共 170bar，其中，一级均质压力为 120bar，二级均质压力为 50bar，后进入除菌分离机中进行除芽孢，芽孢分离率大于 95%，所获得的生乳中总固含量为 12.35%。

4) 生乳进入常压反渗透膜处理单元，其中，常压反渗透膜组为 1 级，采用中流道 45mil，压力为 50bar，膜表面流速为 5m/s，选用 浓缩至总固 25% 左右时进入高压反渗透膜处理单元，共 1 级，高压反渗透膜单元采用高流道 65mil，压力为 80bar，膜表面流速为 7m/s，反渗透膜内的温度一直维持在 15℃以下，高压反渗透部分，得到的浓缩乳总固含量在 42.3%；浓缩乳进入浓缩乳暂存罐。

5) 浓缩乳进入贮存罐中持续打冷即一段打冷，罐内温度控制在 4℃，使用 1℃冰水作为冷媒。后浓缩乳经由物料泵进入低温临界列管式换热器即二段打冷，使用-5℃的 50%的乙二醇水溶液作为冷媒。二段打冷的入口温度为 4℃，经过打冷出口温度为-2.5℃。浓缩乳经带有夹管打冷的管道使用 1℃的冰水作为冷媒，快速到达灌装机灌装。

6) 浓缩乳通过大袋灌装机灌入订制的无菌八角袋中，灌装温度保持在零下 2 度。

7) 将浓缩乳装入与八角袋匹配的纸箱中，码垛进入速冻库，冷库温度零下 22 度，迎面风速 7m/s，冷冻 18 小时后，中心温度达到-8℃后移入冷冻库保存，冷冻库温度为-18℃，得到冷冻浓缩乳。

8) 清洗工艺为上述标准 CIP 清洗。

结果：经检测，产品总固含量为 42.3%，蛋白质含量 10.42%，脂肪含量为 11.90%，糠胺酸含量为 17.5mg/L，IgG 保存量为 94%，GMP 保存量为 100%。符合产品要求，与实施例浓缩工艺相比较，浓缩乳生产预浓缩时间增加，生产 5 小时后膜通量剧烈下降，停止生产，清洗后发现膜表面污阻严重。