

第5章 制冷系统作业程序、调整及节能技术

教学情境

首先在学院制冷实训室或冷藏企业制冷车间实践教学，指导学生参观了解冷库的组成及制冷系统调整参数有哪些、制冷剂循环与参数变化的分析，从而增强学生的感性知识，为进一步学好冷库制冷系统的调整技术打下良好的基础。

然后在教室进行多媒体理论教学，指导学生熟练掌握冷库制冷系统调整参数变化规律，学好冷库制冷系统的调整技术与节能技术。

5.1 任务一：制冷系统安全作业程序

任务描述

让学生对制冷系统的安全作业程序有一个全面认识，熟练掌握制冷系统安全作业程序基本要求。

5.1.1 制冷系统冷间安全作业程序

当冷库的冷却间、冻结间、冷却物冷藏间、冻结间冷藏间、制冰间及冰库等冷间温度达不到所需要的温度而上升时，应启动制冷压缩机运转，使制冷系统投入工作，制冷作业工作开始。当冷库上述各冷间或空调各房间达到所需要温度后，应停止制冷压缩机运转，制冷作业工作结束。

其他系统各冷间达不到所需要的温度而上升时，应启动制冷压缩机运转，使制冷系统投入工作，当温度达到所需要温度时，应停止制冷压缩机运转，制冷作业工作结束。

5.1.2 机房安全作业程序

机房应保证制冷作业人员最低配置（仅供参考）。对于有5台氨机以下机房，每班值班人数不可少于2人；6台氨机以上机房，可根据实际规模和需要，每班配3~4人，如果自动化程度较高，人数也可适当减少，但每班不得少于2人。此外还应考虑专职维修人员。

冷库应保证必需的制冷技术人员配置（仅供参考）。一般1000吨及以下冷库，需有制冷技术员1~2人、制冷助理工程师1~2人或制冷工程师1人、制冷中级工1~2人；1000~5000吨冷库需有制冷技术员2~3人、制冷工程师1~2人、制冷高级工1人、制冷中级工3人；5000吨及以上冷库，需有制冷技术员3~4人、制冷工程师2~3人、制冷高级工1~2人、制冷中级工3人；万吨库及以上冷库，需有制冷高级工程师1~2人、制冷技师1人，制冷高级工2~3人。

制冷作业人员严格执行三个“规程”：《安全技术规程》、《压力容器监察规程》和《在用压力容器检验规程》。同时要健全和完善我国食品冷藏业冷库安全生产管理规章制度，例如安

全生产制度、各工种岗位责任制、交接班制度、技术操作规程、设备维修和保养制度等。

(1) 制冷作业人员应参加制冷安全技术培训，经制冷安全技术理论考核和实际操作考核，取得《特种作业操作证》。

(2) 制冷作业人员要贯彻“安全生产管理，坚持安全第一、预防为主”的方针。

(3) 逐级对全体制冷作业人员进行安全技术交底，履行签字手续，安全责任制落实到人，分工明确，各司其职，负责到底。

(4) 建立好文件档案，加强日常运行管理。这些资料包括从冷库建设、日常运行管理，直至冷库改、扩建等内容。

(5) 机房制冷作业班组，要坚持班前、班后活动，做好班前安全交底，明确分工；班后小组总结交流，并进行安全教育。

(6) 制冷作业班组提前 15min 进入机房，准备接班。严格执行交接班制度，做到“五交一接”。“五交”是：交待当班生产任务、机器设备运行、供液、库温等情况；交待机器设备运行中的故障、事故隐患及注意事项；交待有关各种记录情况；交待生产用具及各种消防器材的齐全；交待制冷机器设备、库房内外四周的卫生情况。“一接”：在“五交”清楚后接班，在交接班过程中，如发现及发生问题，应由交班的班组进行处理或由两班协助处理完毕，再办理接班手续。

(7) 制冷作业人员要钻研制冷技术，恪守职责，严格按照操作规程进行作业。自觉做到“四要”“四勤”“四及时”。“四要”是：要确保安全运行；要保证库房温度；要尽量降低冷凝压力；要充分发挥制冷设备效率。“四勤”是：勤看仪表；勤查温度、压力；勤听机器、设备运行声音；勤了解冷库作业情况。“四及时”：及时放油；及时除霜；及时放空气；及时清除换热器的水垢和污物。

(8) 制冷作业人员要认真填写制冷车间日报表、运行参数记录表（可由数据采集系统测录保存）、每个机器和设备的履历本及维修记录（包括小修、中修和大修）等。

(9) 制冷作业人员应严格执行压力容器和管道的有关规定，定期检查，确保安全。同时也要定期检查安全设施，确保设施有效、设置合理和取用方便。

(10) 制冷作业人员要随时检查仪表元件的可靠性和准确性。

(11) 对油分器、冷凝器、高压贮液桶、中间冷却器、低压循环贮液桶、氨泵、蒸发器、排液桶、放空气器、集油器、油处理的回收设备等要进行效果性检查，并注意运行中产生的动态变化和管理。

(12) 制冷作业人员要重视并定期对制冷系统进行安全放油、放空气和除霜及盐水浓度的检查，以保证制冷系统的安全运行和工作效率的提高。

(13) 氨压缩机房应安装氨气浓度自动测量装置，当氨气浓度接近爆炸下限的 10%时，应能发出报警信号。

(14) 氨压缩机房应设事故排风装置，排风机应选用防爆型，当制冷系统发生意外事故而被切断供电电源时，应能保证事故排风机可靠地供电，风机每小时风量应不少于机房容积的 8 倍。

(15) 机房的照明应选用防爆类型的白炽灯。

(16) 制冷装置安全标志应醒目。

(17) 冷风机冲霜后，不要马上供液。要开风机吹干排管外表面的水滴后再供液，否则，冷风机排管外表面水分尚未滴干，就马上供液，易使冷风机翅片管结冰，会大大降低冷风机的

换热效率，影响制冷效果。

(18) 建立制冷压缩机和制冷设备班组专人保养制度，每台制冷压缩机和制冷设备从进厂、安装、维修的档案都应有班组专人保管，加强责任心，并使制冷压缩机和制冷设备保持清洁。

(19) 对下列设备的易损零件，要有足够的备件库存和有较好的存放环境，并有专用的备件柜，由专人负责保管，以避免突发事故后，出现手忙脚乱。

- 1) 制冷压缩机的易损件、有关阀片、小弹簧、钢套、活塞环油封、氨泵的密封件等。
- 2) 氨机、水泵、风机等的滚珠轴承的型号要有记录，并有一定数量的备货。
- 3) 常用材料，如石棉橡胶板、制冷剂、制冷压缩机润滑油、制冰的盐等。

(20) 机房应设有防毒面具、防护衣、橡皮手套箱及配备一定数量的抢救物品和药品箱。抢救物品和药品：毛巾、酸性浓缩柠檬汁、0.5%柠檬酸水、5%柠檬酸水、1%~2%柠檬酸溶液的蒸气、2%硼酸水、凡士林、植物油、3%的乳酸溶液、酸梅汁、食醋及较浓的食醋等。

对防毒面具、抢救物品和药品，应按期进行检查和检验，平时应保持良好状态。

5.2 任务二：制冷系统调整参数分析

任务描述

让学生对制冷系统的调整参数有一个全面认识，熟练掌握制冷剂循环与参数变化的分析。

5.2.1 制冷系统的调整参数

制冷系统的调整参数是进行操作与调整的重要依据。它对保证机器设备的安全运行、节能等方面起着重要的作用。

1. 蒸发温度

蒸发器内制冷剂在一定压力下沸腾的饱和温度为蒸发温度。它通过调节站的压力表读数，它是由查制冷剂热力性质表求得。制冷剂的饱和温度是压力的函数。例如氨的蒸发压力在0.43MPa时，蒸发温度为0℃；蒸发压力在0.01MPa时，蒸发温度为-33℃。蒸发温度的高低是根据食品的冷加工工艺所需温度确定的。我国冷库制冷系统有：恒温冷藏和冷却有-15℃；冻结有-33℃与-42℃；低温冷藏有-28℃与-30℃。影响蒸发温度变化的主要因素有库房热负荷的变化、蒸发器换热面积的变化和压缩机制冷量的变化。这三个条件发生变化时，系统的蒸发压力和温度随之发生变化。因此，使它们的变化相互适应，就可以合理地控制和调节系统的蒸发温度。

(1) 库房热负荷的变化。正常运转的制冷装置，假定蒸发器面积和压缩机制冷量一定时，冷负荷变化大主要是冻结物和制冰等冷冻过程。各种食品在不同温度下的焓热量不同（查食品的焓值表所得）。冻结食品初入货时，热负荷大，其蒸发温度和压力升高。反之，热负荷小时，蒸发温度压力就降低。外界环境温度的变化和冷库隔热层的好坏与热负荷的变化也有很大的关系。

(2) 传热面积发生变化。当库房的热负荷和压缩机的制冷量不变时，冷却排管的传热面积减小，则蒸发压力和温度降低；传热面积增大时，则蒸发压力和温度升高。对于安装后的蒸发器的面积不会增大或减小，只是表现在蒸发器换热效率的高低而已。影响蒸发器换热效率高低的因素主要是供液的多少和传热阻的大小两个方面。若供液量过少、蒸发后的气体在排管内过热，蒸气比容增大，机器吸气量减少，从而使其制冷量减少，蒸发面积利用率低。供液过多，

使蒸发温度和压力升高，对蒸发面积利用率也不太好，而且有压缩机湿行程的可能。只有供液适当才使蒸发面积利用率高。蒸发器传热阻增大是冷却排管外边霜层过厚、管内油污过多而造成的。一般可用热氨除霜的方法排除。

(3) 制冷压缩机制冷量变化。若冷间热负荷与冷却排管的面积不变，制冷压缩机容量配置过大时，由于氨液的蒸发量小于压缩机的吸气量，就会使蒸发压力和温度下降，蒸气比容增大，压缩机的制冷效率降低。如不注意调节供液量，可能使机器发生湿行程。若压缩机容量配置过小，氨的蒸发量大于压缩机的吸气量，致使蒸发压力和温度升高，库房降温速度减慢。

综上所述，影响蒸发温度的三个主要条件必须相适应。在整个操作过程中，要善于发现影响蒸发温度和库房温度不正常的因素，通过调整加以解决。蒸发温度一般是按设计要求温度来进行调节的，它比库温低 $8^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$ ，比载冷剂温度低 5°C ，蒸发温度离设计要求温度过高或过低都是不正确的。若蒸发温度过高，影响库房的降温；若蒸发温度过低，使制冷压缩机的吸气量减少，制冷量降低，耗电量增加，运转不经济。按照以上分析，使蒸发温度调整控制在安全经济的运行条件下是我们应达到的目标。

2. 冷凝温度

冷凝温度是冷凝器内的气体制冷剂在一定压力下凝结为液体的温度。冷凝温度用冷凝器上的压力表的读数查表求得（氨的热力性质表求得）。冷凝温度的高低取决于冷凝器的面积、冷却水量、冷却水进水温度、进出水温差及压缩机的排气量等，在压缩机和冷凝器运行时，冷凝温度主要取决于冷却水温和进出水温差。若进水温度过高，进、出水温差大，必然引起冷凝压力和温度过高，从而使压缩机的制冷量减少，耗电量增加。冷凝温度的重点，一是在夏天，尤其是环境温度超过设计温度时，冷凝温度和压力超过安全规定时，如何使冷凝压力和温度降到安全运行的范围内（即 1.5MPa 以下）；二是如何使冷凝温度降低以提高压缩机的制冷量和节电的效果。根据安全和节能的要求最好采用井水或者低温水。但是我国水资源缺乏，因此循环用水是节水的措施，普遍使用。在运转过程中，冷凝水的进出水温差一般在 $2^{\circ}\text{C}\sim 4^{\circ}\text{C}$ 为宜。冷却水出水温度比氨的冷凝温度高 $3^{\circ}\text{C}\sim 5^{\circ}\text{C}$ 。冷凝温度在 $25^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，每上升 1 度，多耗电 3.2%。可从这些具体数字中查安全，找节能。

3. 制冷压缩机吸气温度

液体制冷剂蒸发后被压缩机吸入气缸之前的气体温度称为吸气温度。为了制冷压缩机安全正常运转，应使蒸发温度与压缩机吸气温度之间有适当的过热度，如氨一般在 $5^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$ 。过热度过大和过小都是运转不正常的标志。影响压缩机吸入温度和蒸发温度之间温差大小的因素有两个：一是供液的多少，供液过多，温差 Δt 过小，容易引起压缩机湿行程，若供液过少，蒸发后的气体在排管内过热；温差 Δt 过大，使蒸气比容增大，机器吸气量减少，制冷量降低，只有表 5-1 中指示的温差才是正常的；二是回气管的长短和隔热层好坏的因素，回气管的管道长，向管内传多一些；隔热层不是绝对的隔热，隔热层受到一定程度的损坏，传热多一些，致使传热温差 Δt 大一些。这种变化是慢慢地变化，因而影响较小。

表 5-1 氨压缩机允许的吸气温度

蒸发温度 ($^{\circ}\text{C}$)	± 0	-5	-10	-15	-20	-25	-28	-30	-33	-40
吸气温度 ($^{\circ}\text{C}$)	1	-4	-7	-10	-13	-16	-18	-19	-21	-25

供液的多少是影响蒸发温度与压缩机吸气温度差值变化的主要因素。通过调整使制冷压

压缩机的吸入温度处于正常运转状态。

4. 制冷压缩机排气温度

排气温度高低取决于制冷剂的蒸发温度、冷凝温度以及吸入气体的过热度。它是操作调整正确程度的标志之一。下面是活塞式氨压缩机排气温度的估算公式。

(1) 单级压缩机排气温度估算。

$$t_{\text{排}}=(t_0+t_k)\times 2.4+\Delta t_{\text{过热度}} \quad (t_0 \text{ 不计正负号})$$

(2) 双级中的低压机排气温度估算。

$$t_{\text{排低}}=(t_0+t_{\text{中}})\times 2.4+\Delta t_{\text{过热度}}$$

(3) 双级中的高压机排气温度估算。

$$t_{\text{排高}}=(t_{\text{中}}+t_k)\times 2.4+\Delta t_{\text{过热度}}$$

从以上的运算工况看： t_k/t_0 压缩比越大，排气温度越高； $\Delta t_{\text{过热度}}$ 越大，排气温度越高。若计算的数值低，实际排气高 10°C 以上，一般应该是机器内部窜气所致。机器排气温度过高的危害，一是排温过高，使润滑油的粘度降低，机件磨损加快；二是排温过高，油碳化，加速机件磨损；三是排温过高，可能使活塞环与环槽涨死，失去活塞环的泵油作用，使机件严重损坏；四是排温过高，增加冷凝器热负荷和冷却水的消耗量。机器排气温度过高的原因及预防措施：若 t_k/t_0 压缩比过大，应按工况开车，若 $\Delta t_{\text{过热度}}$ 过大，适当增加供液量；若机器的进出水温差过大，应适当增加冷却水量；若发现机器内部窜气，应及时进行修理；若气缸余隙过大，应适当调小。

5. 中间温度

在双级压缩机中，低压机排出过热气体，在中间冷却器内冷却为干饱和气体，此时的压力称中间压力，相应的温度称中间温度。双级压缩的中间压力和温度不是固定不变的，它是随着高低压压缩机的容积比、冷凝温度的变化而变化的。这个变化不以人的意志为转移，操作者只有控制好中冷器的液面。如其中一个参数变化，中间压力和温度随之变化。若容积比不变，蒸发压力和温度升高，必然引起中间压力和温度的升高。中间温度还与制冷系统的节流形式有关。一次节流中间温度取决于高、低压机的容积比。二次节流的中间温度根据连接中间冷却器上的蒸发温度而定。中间压力过高或过低造成的后果，一般来说使双级机运行不正常，与冷凝压力过高或者蒸发压力过低的情况相同。

在不同的高低压机（缸）容积比和蒸发温度与冷凝温度的工况下相应的中间温度如表 5-2 和表 5-3 所示。

6. 过冷温度

液体制冷剂在冷凝压力下再冷却后的温度称过冷温度。单级制冷循环采用套管式再冷却器冷却氨液。应尽量采用深井水，进出水温差为 $2^\circ\text{C}\sim 3^\circ\text{C}$ 。由于水资源问题，制冷系统的设计和安装上很少采用这种形式。对于双级制冷压缩机，从设计到安装普遍采用高压液体制冷剂经过中冷器的冷却盘管再冷却。一般过冷温度比中冷器内的饱和温度高 $3^\circ\text{C}\sim 5^\circ\text{C}$ 。过冷温度可从调节阀前液体管上的温度计测得。

7. 设备液位的变化

制冷设备液位的变化是制冷系统循环的重要标志之一。从理论上讲蒸发的制冷剂液体和冷凝的制冷剂液体基本持平，循环才是正常的。但是由于热负荷、冷却面积及压缩机的制冷量不断，液体的循环量随之变化才能基本相适应。一般来说，高压贮液桶的液面保持在 $40\%\sim 60\%$ 之间，循环桶或者氨液分离器的液面保持在 $30\%\sim 40\%$ 之间应该视为正常循环。另外在降温过程中，冷库热负荷大时，高压贮液桶的液面高一些，热负荷小时液面低一些。而循环桶或

氨液分离器的液面与高压贮液桶的液面波动相反。这样操作的目的是保证制冷压缩机正常运转，防止机器发生湿行程。

5.2.2 制冷剂循环与参数变化的分析

1. 一个参数变化引起其他参数变化的规律

以上分析的各个参数都是在变化的，它们之间都有一定的内在联系。研究和掌握其变化趋势，即变化的规律性，是制冷系统操作的重要环节。下面举例分析：制冷系统在运转中，制冷压缩机的吸气压力降低，而吸气温度却升高，这种参数变化是否正常呢？我们认为是不正常的，正常的变化应是吸气压力降低，吸气温度应相应地降低。是什么原因引起不正常的变化呢？其他参数又是怎样变化的呢？怎样调节才能使之转入正常变化呢？

表 5-2 高、低压机（缸）容积比 1:2 时，氨双级压缩机的中间冷却温度

蒸发温度 (°C)	冷凝温度 (°C)																				
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
-25	-4.8	-4.6	-4.4	-4.2	-4	-3.8	-3.6	-3.4	-3.2	-3	-2.8	-2.6	-2.4	-2.2	-2	-1.8	-1.6	-1.4	-1.2	-1	-0.8
-26	-5.7	-5.5	-5.3	-5.1	-4.9	-4.7	-4.5	-4.3	-4.1	-3.9	-3.7	-3.5	-3.3	-3.1	-2.9	-2.7	-2.5	-2.3	-2.1	-1.9	-1.7
-27	-6.6	-6.4	-6.2	-6	-5.8	-5.6	-5.4	-5.2	-5	-4.8	-4.6	-4.4	-4.2	-4	-3.8	-3.6	-3.4	-3.2	-3	-2.8	-2.6
-28	-7.5	-7.3	-7.1	-6.9	-6.7	-6.5	-6.3	-6.1	-5.9	-5.7	-5.5	-5.3	-5.1	-4.9	-4.7	-4.5	-4.3	-4.1	-3.9	-3.7	-3.5
-29	-8.4	-8.2	-8	-7.8	-7.6	-7.4	-7.2	-7	-6.8	-6.6	-6.4	-6.2	-6	-5.8	-5.6	-5.4	-5.2	-5	-4.8	-4.6	-4.4
-30	-9.3	-9.1	-8.9	-8.7	-8.5	-8.3	-8.1	-7.9	-7.7	-7.5	-7.3	-7.1	-6.9	-6.7	-6.5	-6.3	-6.1	-5.9	-5.7	-5.5	-5.3
-31	-10.2	-10	-9.8	-9.6	-9.4	-9.2	-9	-8.8	-8.6	-8.4	-8.2	-8	-7.8	-7.6	-7.4	-7.2	-7	-6.8	-6.6	-6.4	-6.2
-32	-11.1	-10.9	-10.7	-10.5	-10.3	-10.1	-9.9	-9.7	-9.5	-9.3	-9.1	-8.9	-8.7	-8.5	-8.3	-8.1	-7.9	-7.7	-7.5	-7.3	-7.1
-33	-12	-11.8	-11.6	-11.4	-11.2	-11	-10.8	-10.6	-10.4	-10.2	-10	-9.8	-9.6	-9.4	-9.2	-9	-8.8	-8.6	-8.4	-8.2	-8
-34	-12.9	-12.7	-12.5	-12.3	-12.1	-11.9	-11.7	-11.5	-11.3	-11.1	-10.9	-10.7	-10.5	-10.3	-10.1	-9.9	-9.7	-9.5	-9.3	-9.1	-8.9
-35	-13.8	-13.6	-13.4	-13.2	-13	-12.8	-12.6	-12.4	-12.2	-12	-11.8	-11.6	-11.4	-11.2	-11	-10.8	-10.6	-10.4	-10.2	-10	-9.8
-36	-14.7	-14.5	-14.3	-14.1	-13.9	-13.7	-13.5	-13.3	-13.1	-12.9	-12.7	-12.5	-12.3	-12.1	-11.9	-11.7	-11.5	-11.3	-11.1	-10.9	-10.7
-37	-15.6	-15.4	-15.2	-15	-14.8	-14.6	-14.4	-14.2	-14	-13.8	-13.6	-13.4	-13.2	-13	-12.8	-12.6	-12.4	-12.2	-12	-11.8	-11.6
-38	-16.5	-16.3	-16.1	-15.9	-15.7	-15.5	-15.3	-15.1	-14.9	-14.7	-14.5	-14.3	-14.1	-13.9	-13.7	-13.5	-13.3	-13.1	-12.9	-12.7	-12.5
-39	-17.4	-17.2	-17	-16.8	-16.6	-16.4	-16.2	-16	-15.8	-15.6	-15.4	-15.2	-15	-14.8	-14.6	-14.4	-14.2	-14	-13.8	-13.6	-13.4
-40	-18.3	-18.1	-17.9	-17.7	-17.5	-17.3	-17.1	-16.9	-16.7	-16.5	-16.3	-16.1	-15.9	-15.7	-15.5	-15.3	-15.1	-14.9	-14.7	-14.5	-14.3

首先应查看其他参数的变化。机器的排气压力略低一点，而排气温度升高较快。因为吸气压力低， t_k/t_0 的压力比值增大，再加上 Δt 过热度增大，必然引起机器排气温度升高。再查看设备的液面，高压贮液桶的液面升高，循环桶的液面降低。从这些参数的变化分析，供液膨胀阀开启度小了，供液不足造成的以上不正常现象。调大膨胀阀的开启度其变化情况是，机器的吸气压力微升，吸气温度下降；排气压力微升，排气温度下降，高压桶的液面下降，循环桶的液面上升，制冷系统的运转向正常方向变化。当冷库的热负荷减小后，膨胀阀没有相应地调小，机器设备的运行参数又向不正常方向变化。机器的吸气温度降得较快，过热度 Δt 过小；排气温度降低；高压桶液面过低，在 30% 以下；循环桶的液面在 70% 以上。这些参数变化说

明压缩机的湿行程即将出现，应关小或关闭膨胀阀，使之向正常方向变化。

总之，制冷系统的循环应经常观察参数的变化。若发现参数变化不正常，用调节膨胀阀的方法使之转为正常。因此膨胀阀开启度的大小是制冷系统操作调整的关键环节。其调节的依据是制冷压缩机吸气压力和吸气温度及吸气过热度的变化、高压贮液桶和循环桶或者氨液分离器液面变化情况来确定。

表 5-3 高、低压机（缸）容积比 1:3 时，氨双级压缩机的中间冷却温度

蒸发温度 (°C)	冷凝温度 (°C)																				
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
-25	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3	5.5	5.7	5.9	6.1	6.3
-26	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3	4.5	4.7	4.9	5.1	5.3
-27	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3	3.5	3.7	3.9	4.1	4.3
-28	-0.7	-0.5	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3	2.5	2.7	2.9	3.1	3.3
-29	-1.7	-1.5	-1.3	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	2.1	2.3
-30	-2.7	-2.5	-2.3	-2.1	-1.9	-1.7	-1.5	-1.3	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	-0.1	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3
-31	-3.7	-3.5	-3.3	-3.1	-2.9	-2.7	-2.5	-2.3	-2.1	-1.9	-1.7	-1.5	-1.3	-1.1	-0.9	-0.7	-0.5	-0.3	-0.1	0.1	0.3
-32	-4.7	-4.5	-4.3	-4.1	-3.9	-3.7	-3.5	-3.3	-3.1	-2.9	-2.7	-2.5	-2.3	-2.1	-1.9	-1.7	-1.5	-1.3	-1.1	-0.9	-0.7
-33	-5.7	-5.5	-5.3	-5.1	-4.9	-4.7	-4.5	-4.3	-4.1	-3.9	-3.7	-3.5	-3.3	-3.1	-2.9	-2.7	-2.5	-2.3	-2.1	-1.9	-1.7
-34	-6.7	-6.5	-6.3	-6.1	-5.9	-5.7	-5.5	-5.3	-5.1	-4.9	-4.7	-4.5	-4.3	-4.1	-3.9	-3.7	-3.5	-3.3	-3.1	-2.9	-2.7
-35	-7.7	-7.5	-7.3	-7.1	-6.9	-6.7	-6.5	-6.3	-6.1	-5.9	-5.7	-5.5	-5.3	-5.1	-4.9	-4.7	-4.5	-4.3	-4.1	-3.9	-3.7
-36	-8.7	-8.5	-8.3	-8.1	-7.9	-7.7	-7.5	-7.3	-7.1	-6.9	-6.7	-6.5	-6.3	-6.1	-5.9	-5.7	-5.5	-5.3	-5.1	-4.9	-4.7
-37	-9.7	-9.5	-9.3	-9.1	-8.9	-8.7	-8.5	-8.3	-8.1	-7.9	-7.7	-7.5	-7.3	-7.1	-6.9	-6.7	-6.5	-6.3	-6.1	-5.9	-5.7
-38	-10.7	-10.5	-10.3	-10.1	-9.9	-9.7	-9.5	-9.3	-9.1	-8.9	-8.7	-8.5	-8.3	-8.1	-7.9	-7.7	-7.5	-7.3	-7.1	-6.9	-6.7
-39	-11.7	-11.5	-11.3	-11.1	-10.9	-10.7	-10.5	-10.3	-10.1	-9.9	-9.7	-9.5	-9.3	-9.1	-8.9	-8.7	-8.5	-8.3	-8.1	-7.9	-7.7
-40	-12.7	-12.5	-12.3	-12.1	-11.9	-11.7	-11.5	-11.3	-11.1	-10.9	-10.7	-10.5	-10.3	-10.1	-9.9	-9.7	-9.5	-9.3	-9.1	-8.9	-8.7

2. 制冷剂参数变化与库房降温的关系

库房的降温是靠制冷系统的正常运转来完成的，而制冷系统的正常运转是靠参数的变化和对膨胀阀的调节来实现的。所以参数的变化与库房降温有密切的关系。

蒸发温度与冷库的降温和保温是直接相关的。根据食品冷加工要求，冷库分冷冻和冷藏两部分，而冷藏分低温冷藏、冷却和恒温冷藏（高温度）。若所降温是冷却和恒温，它的蒸发温度应在 $-15^{\circ}\text{C}\sim-10^{\circ}\text{C}$ 之间，相应的压力在 $0.14\sim 0.18\text{MPa}$ 之间为宜；低温冷藏 $0.01\sim 0.02\text{MPa}$ 之间正常，相应的蒸发温度在 $-29^{\circ}\text{C}\sim-26^{\circ}\text{C}$ 时较好。冻结间的蒸发压力在 $0.02\sim 0\text{MPa}$ 之间正常，相应的蒸发温度为 $-33^{\circ}\text{C}\sim-30^{\circ}\text{C}$ 为宜。另外，冷凝压力和温度的变化对库房降温也有影响。冷凝压力低，压缩机制冷量大，库房降温就快，反之库房降温就慢。

5.3 任务三：制冷系统调整技术

任务描述

让学生了解制冷系统调整前应熟悉的问题，熟练掌握制冷压缩机配车的要点及库房降温的调整技术。

5.3.1 制冷系统调整前应熟悉的问题

制冷系统在操作前必须熟悉管道和阀门流向、机器的制冷能力、设备装配的情况、各冷间的进货量及耗冷量、系统的组成及特点等。

1. 熟悉制冷系统的特点

(1) 直接膨胀式。多用于 10~50 吨小冷库、氟利昂全自动供液系统。冷库的开停机和库温由温度控制器掌握。只是在投产前把自动控制器和热力膨胀阀调试正常即可。平常只是通过看、听、摸检查是否有不正常现象。若有不正常现象通过检修排除即可。

(2) 重力供液式。一般 100~300 吨氨系统小冷库应用较多。应经常注意膨胀阀的开启度，以适应制冷系统正常运转的要求，并经常注意氨液分离器的液面要求。氨液分离器是靠氨液分离器的液柱压力向各冷间输送液体的。由于各冷间的热负荷不同，冷间与液体分调节站的不同，管道的阻力亦各不相同，因此，需要调节液体分调节站上供液阀的开启度，以满足各冷间供液降温的需求。

(3) 氨泵供液式。500 吨及以上的氨系统的冷库应用。在氨泵供液制冷系统操作中，主要用 UQk-40 和电磁阀配合，向循环桶自动供液，因而液面较稳定。但是要注意自动控制阀门是否失灵，同时经常注意氨泵的运行情况。根据冷库各冷间热负荷的不同调整液体调节站的供液阀的开启度，以满足冷间降温供液量的需求。

2. 熟悉各冷间冷却设备的特点与冷间热负荷的分布情况

应了解冻结间设置冷风机是多少平方米传热面积、冷间进货量是多少、热负荷有多少（可通过查各种食品的焓值表得知）；低温冷藏间有几间、每间的冷却面积有多少、各间分别入多少货、热负荷有多少；高温冷藏间（恒温库）有几间、每间配备什么型号的冷风机、冷却面积是多少、每平方米每小时换热量是多少。还有冷却间、制冰等设备都要一一了解清楚，以配备相适应的制冷压缩机。

3. 熟悉制冷压缩机的制冷能力

由于制冷压缩机的运转工况的变化，热负荷也不断地变化，所以压缩机的制冷量也随之变化。操作人员要熟悉每台压缩机在不同工况下的制冷量、单级压缩机的标准制冷量、单机双级机在-28℃和-33℃工况下的制冷量、配组双级机的制冷量，并根据制冷系统热负荷的变化调整压缩机的能量调节装置或者调配压缩机的台数。

5.3.2 制冷压缩机配车要点

(1) 根据冷间热负荷大小和蒸发器传热能力的大小，尽量使制冷压缩机的制冷能力和冷却设备的传热能力与冷间的热负荷相适应。

(2) 根据压力比配车。当冷凝压力与蒸发压力 (p_k/p_0) 的绝对压力比值：氨为制冷剂时 ≤ 8 时；R134a、R22 制冷剂时 ≤ 10 时，应配置单级压缩机。当 $p_k/p_0=8$ 时，氨制冷系统的蒸发温度可达到-20℃，一般在冷库氨制冷系统中，蒸发温度可达到-5℃~-25℃范围内；当 $p_k/p_0=10$ 时，R22 制冷系统的蒸发温度可达到-30℃。如果工作需要更低一些蒸发温度时，就要配置两级（或多级）压缩机，其 (p_k/p_0) 压力比值：氨为制冷剂时 >8 ，所以，在冷库氨制冷系统中，蒸发温度可达到-25℃~-40℃范围内；R134a、R22 制冷剂时 >10 。应该说明的是，两级压缩机所能达到的最低蒸发温度也是有一定限度的，对于氨制冷系统，蒸发温度可达到-65℃；而对于氟制冷系统，蒸发温度 R134a 可达到-60℃，R22 可达到-75℃。

(3) 根据不同的蒸发温度配车。应根据不同蒸发压力和温度,由不同制冷压缩机分别担负降温任务。如有的系统热负荷不大,单独开一台制冷压缩机不经济或机器调配困难时,允许把相近的蒸发温度系统(如 -28°C 和 -33°C)混拉降温。

制冰和冷却间的蒸发温度虽然接近,最好由单独制冷压缩机降温,以免热负荷变动时互相影响。例如,在制冷系统运转中,有两个20吨货物冻结间,经估算,满负荷运行需要用3台S8-12.5单机双级机;当热负荷变小后,用2台S8-12.5氨压缩机即可。所以,可根据降温情况和热负荷大小对机器进行适当调配。

5.3.3 库房降温的调整技术

1. 恒温库的降温调整技术

恒温库也称高温冷藏库。它是贮存鲜蛋、果品和蔬菜等任务的库房,它的库温一般在 $-1^{\circ}\text{C}\sim 4^{\circ}\text{C}$ 的范围。这种冷库的降温分两种情况:一是库内大量进货时,库内热负荷大,需要较快地降温;二是库内达到保温要求时,库房内热负荷较小,而要求库房内温差波动不大。例如贮存蒜苔可在 $-0.5^{\circ}\text{C}\sim +0.5^{\circ}\text{C}$ 的范围;苹果在 $-1^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$ 范围内。贮存时间较长,库温要求严格。库房降温调整时,一般可采用间断开停机的方法或者大、小机器互相调配的方法降温。这种情况下库房降温应注意三点:①在夏天超过设计的外界环境温度、库温难以达到要求时,应检查蒸发器是否霜层过厚或者管内油污过多,应用热氨和水冲霜解决,另外室外向室内通风道的风门关闭不严,向室内进热风,应检修处理;②库内进货量过小时,降温时特别应该注意不能降得过低,否则新鲜果品蔬菜变成冻品,损失就大了;③冬季可用换冷风的方式降温,这样可以节能。总之,操作者掌握好以上的要点,严格掌握允许的库内温差,调好风道送风的均匀度,根据热负荷的大小和外界环境温度的变化,安全合理地调配机器设备,就能既保证商品的质量又能节能。机器的吸气压力掌握在 0.15MPa 左右为宜。

2. 低温冷藏间降温调整技术

低温冷藏间的特点是热负荷变化较小,库房温度的波动小,在 -18°C 左右。当选配适当的压缩机降温时,蒸发压力比较稳定,一般掌握在 $0.02\sim 0.03\text{MPa}$ 之间较好,若过高,降温慢;若过低,浪费电,不经济。供液的调整容易掌握。在和 -33°C 系统混拉或者库房出、入货物时,热负荷波动较大,这时应关小供膨阀,使排管中的液面降低,以防压缩机湿行程。库房出货结束后,再把膨胀阀调大些,使之成为正常降温的状态。

3. 冻结间、制冰等设备降温调整技术

冻结间、制冰等设备运行中的特点是热负荷变化大,因此,需要随时掌握变化,及时进行调整,才能使设备运行正常,降温达到要求。冻结间、制冰等设备的降温调整过程中注意的要点如下:

(1) 了解货物降温时的放热情况。例如,肉类的降温分三个阶段:肉由常温降到 $4^{\circ}\text{C}\sim 0^{\circ}\text{C}$,这是鲜肉的冷却过程,这一过程是放显热的过程。据测试,这一过程可占总放热量的33%左右。肉温从 0°C 降至 -5°C 为从鲜肉变为冻肉的过程,这时放出的是潜热,这一过程的放热量约占总放热量的52%左右。肉温从 -5°C 降至 -15°C 为冻肉的继续降温过程,此过程是冻肉的放显热的过程,放热量约占总放热量的14%左右。从上面的分析看,在降温过程中,各个阶段放热量不一样,因而热负荷变化也不一样,应将配车与热负荷的变化相适应。

(2) 入库结束或冲霜完毕,库房降温开回气阀时,操作人员应注意机器设备的吸气压力和温度以及循环桶或氨液分离器的液面变化,以防机器出现湿行程。在操作此阀时,应先微开,听到有气体节流声时,不再开大,等听不到节流声时(约 $7\sim 10\text{min}$),再慢慢开启,以防回气

阀开得过快,大量的液体回到循环桶和进入压缩机中,造成严重湿行程事故的发生。

(3) 供液的调整。当冻结间开始降温时,由于货物放出的热量大,冷间温度较高,传热温差大,制冷剂出现强烈的沸腾状态。在这种情况下,供液量应适当,尤其是不能过多,以免引起压缩机湿行程,同时由于蒸发压力过高,会影响其他库房的降温。当库温降到与蒸发温度的差值接近设计要求时,蒸发器内的氨液沸腾逐渐缓和,可适当增加供液量。这时机器的吸入压力和温度相对稳定,库房降温速度较慢,肉温由 0°C 降至 -5°C 时,放潜热时,热负荷最大。这时不要认为库温降得慢而将供液阀开得过大,造成压缩机湿行程;也不要认为供液过多,而减少供液量,使蒸发压力过低、机器的吸气量过少,制冷量减少,这样可能引起库温不但不降反而升高。只有回气压力基本稳定,吸气温度缓慢下降,高压贮液桶和循环桶的液面波动不大时,才是正常的。冷间温度继续下降,由鲜肉变成冻肉后的继续降温放出的热量逐步减小,蒸发量随之减小,供液量亦应随之减小。为了保证压缩机正常运转,防止湿行程,通常在冻结间出库前提前 $15\sim 30\text{min}$ 左右停止供液,降低蒸发器内的液面,以利于下次降温时的安全操作。

(4) 冻结间进货超过设计要求,机器的吸入压力过低,库房降温困难时,可进行二次冲霜,可解决因传热阻过大传热效果差,致使库温达不到要求,同时供液难以控制的问题。冻结间入货过少,热负荷过小时,除适当配置压缩机外,在供液上也要适当控制,并尽量少开冷风机上的鼓风机,以免造成能源浪费,增加食品的干耗。

(5) 货物一次冻结时,入库前应将库温降到 $-10^{\circ}\text{C}\sim -15^{\circ}\text{C}$,入库时应随时降温,入库完毕后,库温应保持在 $0^{\circ}\text{C}\sim -2^{\circ}\text{C}$ 以下。

(6) 多个冻结间连续降温时,由于降温时间有先有后,操作时,也应根据先后次序进行降温。由于库房温度差别较大,热负荷差别亦大,操作调整时较难掌握,一般用三种方法进行操作调整:一是用两个系统降温,回气管连接两个系统前 $3\sim 4\text{h}$ 用单级机降温,当库温接近于蒸发温度正常差值时,改为 -33°C 系统降温;二是关小回气阀适当调节;三是控制冷风机的供液量,并控制鼓风机的开启台数,实现正常降温。最后一种方法较广泛采用。

4. 制冷压缩机调配技术

(1) 压缩机要根据库房热负荷进行调配,如冻结间刚进热货时,制冷剂蒸发温度会急剧上升,有时会从 -33°C 升到 -18°C 。此时可用单级压缩机降温,当压缩比大于8后,再用双级压缩式制冷系统降温。如果冻结间较多,进行连续性生产,系统中有几个蒸发温度时,一般不做换机运转。肉温从 0°C 降到 -5°C 时,热负荷最大,应适当增加双级压缩,以适应降温的要求。但必须指出,如将运转中的单级压缩机配组为双级压缩机运转,必须先将运转中的单级压缩机停止运转,然后调整排气阀门及其他阀门,调整无误后,重新启动机器。严禁在运转中的压缩机不停止运转时调整阀门,以免造成严重事故的发生。

(2) 当压缩机制冷量大于冷间热负荷时,应调换制冷量较小的制冷压缩机或者利用能量调节装置部分卸载运转。

(3) 当运转中的压缩机与新降温的房间相连通时,应密切注意机器的回气压力和温度,如吸气压力上升,吸气温度下降,应迅速关小压缩机的吸入阀,防止机器湿行程。

5.4 任务四: 制冷系统节能应用技术

任务描述

冷藏企业的食品冷库的主要目的是使人们一年四季有充分的食品供应,并保证食品的营养

养价值。人工制冷对保藏多种食品的适应性以及大规模贮藏的经济性,无疑对现代科技社会来说是十分重要的一种手段。为此,应加强食品冷库中的节能研究及其应用技术的应用。

针对冷藏企业在使用过程中,由于各方面原因,能量浪费现象比较普遍,为降低其能耗,从冷库能耗各个构成部分及现役冷库节能方面存在的问题进行分析,让学生了解冷库节能中存在的问题,熟练掌握冷库节能的措施与方法,以提高企业的经济效益。

5.4.1 冷库节能中存在的问题

(1) 冷库能耗的构成及存在问题的分析。众所周知,食品冷藏库的冷负荷是由围护结构耗冷量、货物耗冷量、通风换气耗冷量、操作管理耗冷量及电动设备耗冷量等部分构成。但由于各种原因会使这几部分的耗冷量变大,而增加冷库的能耗。各部分存在的主要问题如下:围护结构的能耗在冷藏库总耗冷量中占主要部分,但由于设计过程中围护结构保温材料厚度选取太小或者施工质量不过关导致隔汽防潮层不连续,水蒸气透过隔汽防潮层,保温材料变潮,甚至其中的水蒸气凝结为冰,引起传热系数(K)变大,最终导致通过围护结构的耗冷量 Q_1 ($Q_1=KF_a(t_w-t_n)$)变大而增加冷库的能耗,甚至引起冷库外表面凝露与积水。同时对于该公式中温度 t_n 选用库房温度缺乏科学性,如对于冷藏库中蒸发器采用墙排管与顶排管方式的,此时围护结构内表面附近空气温度应低于库房温度 t_n ,并且还没有考虑蒸发器由于辐射作用而引起的墙体内表面的温降,因此使用该公式计算出的理论耗冷量比实际耗冷量小。看似节省了能量,但有可能引起库温比设计温度高,为达到设计温度,又不得不选用制冷量较大的压缩机,但所选用的压缩机未必与实际制冷量相匹配,也有可能引起能耗与初投资的增加。货物耗冷量在入库初始阶段所占比重较大,主要是因为货物自身温度较高、冷却过程放出的显热和自身所含有水分凝结为冰放出大量的潜热。很多货物的生产带有明显的季节性,在生产旺季由于产品大量入库,食品的冷却可能没有达到规定的温度或表面带有大量的水分而进入库内,这样加大了冷库的负荷,浪费了能量,也有可能造成库温持续不降,甚至引起库温波动,发生冻融循环;另一方面,食品所带有的大量水分,将在蒸发器表面结霜,缩短了除霜的周期,增加了蒸发器外表面的热阻,使传热性能下降。这些都会引起压缩机能耗的增加。由于货物入库、库门关闭不严导致室外空气的入侵或通风换气时没有对室外空气采取任何处理措施等,都将引起新风耗冷量的增大。为了便于控制库内的照明设备,很多冷库照明设备的控制开关设在库门附近,所有灯光仅有此处的一个开关控制。只要操作人员进入库房,无论你所处的位置怎样,照明设备全开,而不是根据工作人员所处的位置进行局部照明;而对照明灯具的选择也欠妥,这也引起了耗冷量的增加。对于设备的耗冷量,像当前大多数冷库的冻结间,其制冷设备(冷风机)的制冷量在货物冻结初期主要消耗于冻结物品的降温和冰晶的形成,但当冻结物品通过最大冰结晶生成带之后,货物的耗冷量大大下降,而冷风机的制冷量、风量并没有随之改变,易引起食品的干耗和产生“大马拉小车”的现象,此时冷风机的制冷量也主要被其自身电动机的发热量所消耗,形成“自产自销”。这些现象在当前冷库的冻结间中普遍存在,不仅浪费了大量的能量,也是影响冻结物质量的重要因素。

(2) 冷库气流组织方面存在的问题。对于大多数冷库的冻结间,其冷风机的风向风量大多不可调,其气流组织也存在布风不均、冷风旁通量大、食品上中下侧及迎风面与背风面温差和风速差大等问题,使冻品降温速度快慢不均,延长了整体冻结时间,迎风面食品干耗严重,食品的质量不能很好地保证,也浪费了能量。

(3) 设备选型、管理与维护方面存在的问题。由于设计人员在设计阶段计算过于保守,

余量考虑过大,可能使设备选型过大,这无疑增加了初投资和运行费用。设备的使用过程中,如蒸发器除霜、不凝性气体的排放与润滑油的分离不及时、冷却水水质未经处理等都将引起设备传热性能的恶化,增加能耗。

(4) 能量综合利用方面存在的问题。冷库作为一个耗能大户,它消耗了大量的电能,必然向周围环境放出大量的热量。当前的大部分冷库对于废热的利用比例甚小,冷库的废热绝大部分通过冷却塔(或风冷式、蒸发式等各种冷凝器)释放给了周围环境。而对于用热的单位企业甚至冷库生产的辅助车间,可能再次消耗电能或其他能源。

(5) 冷库自控方面存在的问题。当前不少冷库采用自动控制系统,但自动化的综合程度较差,制冷压缩机、冷凝器、蒸发器及其辅助设备的自控系统各自为政、互相独立,虽然这种系统的可靠性较高,但节能效果不明显,并不能真正实现设备间的最优化配置,操作管理不方便,这种自动控制系统只能是半自动系统。

5.4.2 冷库节能措施与方法

为尽可能地降低冷库的能耗,节约能量。冷库的节能应从以上各个方面综合加以考虑,切实做到真正的节能。

1. 优化设计方案、定期进行维修保养

制冷压缩机的制冷系数随蒸发温度的升高和冷凝温度的降低而下降,因此在设计的初期可参照国外的某些方法,适当加大冷凝器与蒸发器的面积来提高制冷系数,制冷剂的蒸发温度不宜选取太低,冷凝温度不宜选取太高。在设备运行中为保证设备的传热性能,对制冷系统应注意润滑油的分离和不凝性气体的排放;对冷凝器冷却介质侧、冷却塔等设备必须定期进行清洗;对于冷却水的补水应使用软化水,除此之外,系统中应加设除污器、电子除垢仪等,以强化换热,为减少制冷剂、冷却水等的流动阻力和初投资,必须对管网进行优化,也可在水中添加减阻剂,以降低摩擦阻力。

2. 利用 CFD 模拟,优化库房内的气流组织

为解决冷库气流组织方面存在的问题,对于冷库的气流组织应根据库内的堆货方式(包括高度、间距、与冷风机的相对位置等)、气流的方向、风量、货物的种类、冻结时间的长短等,建议利用 CFD (Computational Fluid Dynamics, 计算流体动力学) 进行模拟,尽量避免库内气流存在“死角”并采取以下措施:

(1) 为改变风向,可采用风向可调的冷风机,来降低货物前后排的冻结温差。

(2) 为避免冷风的旁通,强化冷风与食品的换热,对于食品的堆货,在同一托板的食品中应留有一定的间隙,使冷风自食品间隙中通过(如对于水产品的冻结,可在每个或每几个鱼盘的下面放置小的方木块或者设计生产这种鱼盘,使冷风自鱼盘的上下表面通过)。

(3) 为降低冻结货物上下的温差,对送回风系统可采用均匀条缝送回风,并使条缝出风口对着上下货物之间的间隙。这些措施的采取,同时也缩短了冻结时间,降低货物的整体冻结温差,节省了能量,保证了冻品质量。

3. 降低冷库耗冷量的措施与方法

(1) 为降低围护结构的耗冷量,增加保温层的厚度是减少 Q_1 的一个有效措施,但是如果一味增加保温层厚度,土建造价随之增加,而库房的有效使用面积随之减少,所以在确定保温材料厚度时应全面权衡,并进行技术经济比较;对于施工过程应严格按照施工规程并加大对施工过程的监督和监管。对于公式 $Q_1=KFa(t_w-t_n)$ 中 t_n 的选取应根据蒸发器类型、布置方式等

进行修正，而不能仅仅选用库温。

(2) 为减少新风耗冷量，除合理安装空气幕、尽量缩短食品入库开门时间、确保门窗的气密性和保温性外，对于冷库的通风换气应尽量安排在后半夜或凌晨，并对空气进行降温除湿后进行，以减少新风负荷和水蒸气的侵入量。

(3) 对于冷库的照明设备负荷，一般能够占到冷库总耗冷量的11%左右，为减少照明设备的负荷，应选用散热量小、发光效率高的灯具，如新型钠灯等。对于库内照明的控制应沿进深方向采用分区照明，操作人员在那个区，就应仅使该区的照明设备工作，同时做到人走灯灭。

(4) 为降低设备的耗冷量，如为防止冻结间在冻结末期“大马拉小车”和“自产自销”的现象，可采用以下两种措施：①根据负荷和风量的大小，冻结间可采用两套制冷量、风量不同的冷风机，冷风机的电动机采用双速电机，在冻结初期使冷风机全部投入运行，随着冻结过程的进行冷风机也由全部工作→仅制冷量、风量大的工作→仅制冷量、风量小的工作，以实现实际冷负荷与蒸发器制冷量的匹配，风速的降低也可减缓食品的干耗速度；②利用传感器通过变频器控制改变电源频率，以改变压缩机的制冷量和冷风机中电动机的转速，使压缩机的排气量、蒸发器的制冷量和冷库实际耗冷量相匹配，以实现冻结过程中的最佳能量与风量匹配，节省电能避免食品的干耗。

(5) 正确操作食品冷加工，降低能耗。

1) 科学管理好制冷系统，缩短食品冷加工时间。

对于贮藏食品的入库应严格按照操作规程，如冷却间或冻结间工作时，必须降温到设计的最低温度，并且尽量按设计的贮存吨数进货。在整个进货过程中，要求做到边进边供液，边开风机，以使库温回升不致太高，一般要求入完货后库温应在0℃左右。特别是肉类食品由于体大、较肥，应吊挂在离冷风机较近或风速较大的地方。在整个降温过程中，蒸发压力是逐渐降低的，为此，要调整好制冷压缩机，使其制冷量与冷间热负荷相适应，避免“大马拉小车”现象，从而达到节能，并发挥制冷设备的最大效率。当食品温度达到要求后，应提前半小时停止供液，停止冷风机运转和制冷压缩机工作，并及时转库。

2) 选用合理的食品冷冻与冷藏技术，如对市销的猪肉冻结后要求冻藏六个月内，则冻结后中心温度可在-8℃~-12℃即可，不必非冻结到-15℃。这样，冻结时间可由原来13小时缩短到8~11小时左右，因而在制冷压缩机、冷风机及在氨泵运转上节电能20%左右。

3) 在保证食品质量的前提下，可根据食品的贮藏期限来确定合理地冻藏温度来节能。如肉类食品冻藏不超过半年，其冻藏温度控制在-15℃为宜，而不必降低到-18℃。这样可节省制冷能量近20%。

4) 严格遵守食品在冷藏间贮藏过程中减少干耗的各项措施。保持冻藏间设计要求的最低温度，并且使库温和湿度保持均匀、稳定，不应有较大的波动；食品入库尽量做到一次进完；尽量避免利用小容量的上层隔热不好的或热流很大的冻藏间作冻结商品的长期冷藏，以免干耗较大；减少食品与空气接触的表面积，可对食品进行包装；也可在水产品类上定期喷0℃~4℃的低温水镀3mm厚的冰衣；在食品货堆上、下层铺洒3~4cm厚的碎冰霜等。这样在减少食品干耗，保持食品原有风味的基础上也减少了耗冷量，降低了蒸发器表面的结霜速度，延长了除霜的周期，增大了蒸发器的传热系数；商品在符合安全的原则下，尽量码成大垛，增加密度，并尽量装满库；对冻结肉和禽、兔肉，虽然可以在同一冻结物冷藏间内堆放，但不允许在未装满的冻藏间中长期贮藏；注意食品堆放的位置和要求，如对非包装的食品放在中、下层及在库房东、北面或隔热层好的冷藏间内，而上层及在库房的西、南面最好放有包装的食品；不允许

把没有包装的和有包装的食品存放在一个冻结物冷藏间内等。

(6) 管理好冷库, 严把“五关”, 减少冷耗。节能与冷耗是一对矛盾, 冷耗小节能大, 反之节能就小。所以针对冷库冷点较多, 认真把住“冰、霜、水、门、灯”这五关就能减少冷耗达到节能目的。

4. 制冷系统严格做到“五及时”

制冷系统“五及时”, 即及时融霜、及时放空气、及时放油、及时除垢、及时调整阀门。据有关资料介绍: 冷凝器中若存油膜 0.1mm, 将使冷凝温度升高 1℃, 制冷量减少 1.4%, 耗电增加 2.9%; 冷凝器内结水垢 1.5mm, 将使冷凝温度上升 2.8℃, 耗电增加 9.7%; 当制冷系统中混有空气等不凝结气体, 其分压力达到 0.196MPa 时, 将使耗电增加 18%, 制冷量下降 8%; 蒸发器内油膜增加 0.1mm, 将使蒸发温度下降 2.5℃, 耗电增加 11%; 蒸发器外表面结霜后, 由于霜层热阻比钢铁大 80 倍, 使传热效果恶化, 导致蒸发温度下降, 耗电增加。如蒸发温度下降 1℃, 则制冷量减少 5%, 耗电增加 4.4%。

为此, 某肉联厂在这方面加强了管理, 使操作人员做到了“五及时”, 连续 5 年冷藏吨日耗电量低于部颁标准, 共节约用电 207 万度, 按 0.65 元/度计算, 节约 134.55 万元。可见, 做到“五及时”, 对节能是何等重要。

5. 防止制冷系统中存有“死氨”现象

即氨液中混入过量的水分, 积存在低压设备中, 其本身难以蒸发, 称为“死氨”。它既占据蒸发器容积, 又影响降温, 致使库温较高, 蒸发压力过低又降温不下, 耗电增加, 危害不浅。故发现“死氨”现象, 必须设法将其放出系统外丢掉。若较严重, 应设法将制冷剂予以更换。平时应注意向制冷系统加入的氨液应纯; 系统、阀门检修后系统应严密, 不应使空气进入系统中, 以免空气中的水分稀释氨液; 避免在补充氨液或加油时操作不慎使空气进入系统中及制冷系统在真空状态下运行使空气从低压系统和轴封处进入系统内。

6. 改革产品结构, 采用快速冻结装置

(1) 生产冷却肉。冷却肉的能耗只占冻结的 40%, 干耗降低 50%以上, 节能显著。

(2) 扩大分割肉剔骨, 增加小包装。扩大分割肉剔骨, 增加小包装比生产白条肉在冻结及冻藏后可节省劳力 2%, 冻结能耗节省 50%, 而库贮量增加 50%~55%, 经济效益显著。

(3) 采用快速冻结装置, 能耗可大幅度下降。例如用平板冻结器冻结 25kg 分肉块, 5h 便可冻好, 耗电为 70~90 度/吨, 比常规纸箱装分割肉冻结, 可省电 84 度/吨; 用流床或隧道式冻结器冻结食品小包装或薄片, 只需 15~30min, 节能明显。

7. 制冷装置的节水与节能

(1) 节水既能节省水源, 又能达到节省电能。

(2) 制冷装置的冷凝器、制冷压缩机气缸冷却水套及油冷却器用水均应循环用水。

(3) 冷却间和冻结间的冷风机冲霜用水, 往往是一次性用水, 冲完霜后水顺下水道就流走了, 浪费严重。例如一台 400m²冷风机, 水冲霜耗水量达 20 吨/时, 一个冻结间有 3 台冷风机, 按每次冲霜半小时计, 则每次冲霜耗水量 30 吨将白白流失。若将上述这些在 10℃以下低温的水用于冷凝器, 既减少了水量损耗, 又能降低冷凝压力。如某冷冻厂冷凝器原用水量达 550 吨/时, 在补充低温冲霜水后, 冷凝效果明显, 而且在近似工况下用水减为 350 吨/时, 节能达 36%。

(4) 综合利用各种废余热。冷库消耗了大量电能, 必然向外放出大量的热量。为了综合利用这些热量, 除利用热气除霜和冷却水除霜外, 还有以下措施:

1) 将余热用作地坪的防冻、冷间地坪防冻, 通常有架空、埋设通风管、热油管、电热防冻等。对于埋设通风管的可将压缩机排气引入热风机, 以加热空气; 也可考虑在地坪下埋设两套管道, 分别接冷却水与压缩机的排气。在正常情况下, 让接冷却水的管道通有水流, 这样除了地坪的防冻, 也降低了冷却水的温度; 而接热冷剂蒸气的系统为减少泄露的机会仅使其在地坪有发生冻结危险时通过, 因这时冷却水也有发生结冰的可能。这两套系统的布置方式, 可参考图 5-1 所示的并行逆流的方式。

2) 对余热进行综合利用, 将冷凝水、热冷剂蒸气用作地坪的防冻外, 还可对这些余热进行综合利用。如图 5-2 所示(对于该图, 如果制冷压缩机为活塞式压缩机, 也可对活塞水套的放热进行利用)。对冷凝热进行综合利用, 如将冷凝器出来的温度较高的冷凝水作为冷库周边辅助用房、值班室、机房的冬季采暖用热或加热生活用水、冷藏食品的清洗用水等。如果能够与城市热网或者周边用热用户进行协调与互补, 也可以将冷凝热用于城市热网冬季供暖的补水, 将冷凝器出来的温度较高的冷却水接入冬季供暖的补水水箱。

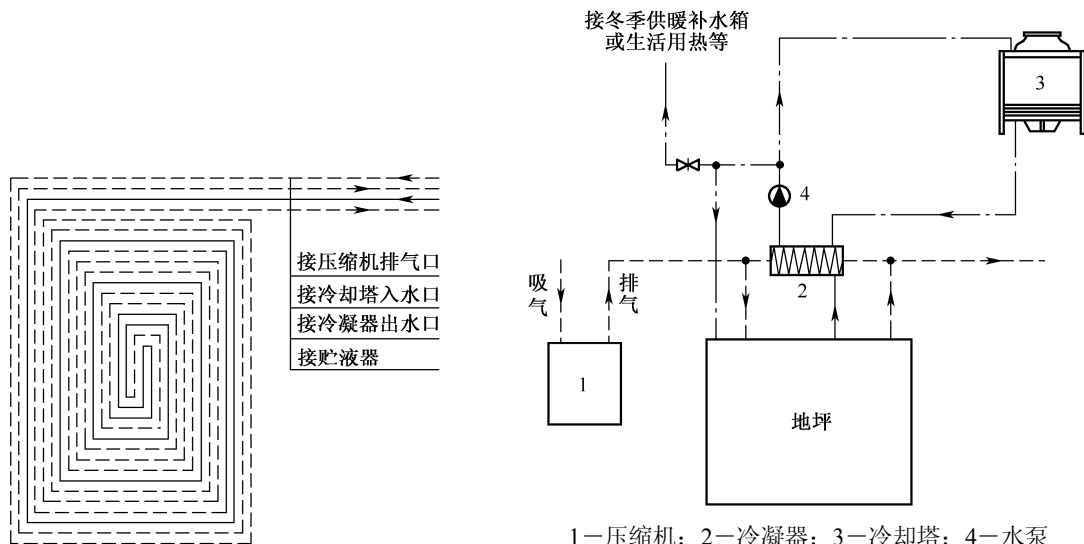


图 5-1 冷却水与热冷剂蒸气的布置

图 5-2 余热综合利用原理图

(5) 选择水泵时, 应通过计算确定合理扬程和台数, 以减少电机容量, 节省电能。

8. 制冷装置自动控制

制冷技术及冷藏企业的快速发展, 对制冷系统运行管理在安全性、效率性、经济性、节能性方面提出更高的要求, 为此, 应加强制冷设备电气自动控制的技术探讨, 以满足制冷及冷藏企业发展的迫切需求。

(1) 制冷设备自动控制的目的是。能量转换的需要, 将电能转换成热能; 将电能转换成机械能; 控制功能的需要, 制冷装置及设备工作顺序、逻辑判断的需要; 制冷装置安全、正常运转的需要, 提高制冷系统运行效率的需要; 制冷系统运行经济、节能的需要。制冷装置自动控制可实现制冷压缩机及制冷设备之间运行的最佳能量匹配与调节。自控系统应使蒸发器冷风机的转速与冷库的负荷、压缩机的台数、制冷量匹配, 冷凝器冷却水的流量随着季节与室内外温差的变化, 所有制冷压缩机及制冷设备应能自动调节, 并实现蒸发器的融霜系统、水系统等各系统故障的自动诊断与报警。总之, 对制冷装置实现自动控制, 能合理自动控制各机器设备,

节能效果明显。据有关资料统计,自控与手控相比,可节能 10%~15%。另外,冷库的节能应与各地的法规和能源的价格相协调,如为了贯彻“移峰填谷”而实行的电费分时计价,可使冷库设备的运行及进出货操作在夜间进行,白天尽可能减少库门开启的次数。同时加强与冷库周围单位用能的合作和协调等。

(2) 制冷设备自动控制的主要内容。

1) 对制冷与空调设备的压力、温度、液位、流量、湿度、电流、电压等参数进行自动调节与控制。当冷库内冷间热负荷及环境温度发生变化时,可自动调整制冷系统的运行,使其在相应的工况下稳定运转。如肉类的冻结物冷藏间,当冷间温度达到 $-20\pm 1^{\circ}\text{C}$ 时,温控器立即检测出这个温度,便立即作出反应,断电并关闭该冷间供液电磁阀,停止向蒸发器供液制冷。当冷间温度回升到 $-17\pm 1^{\circ}\text{C}$ 时,制冷压缩机又自动投入制冷运行,周而复始,于是冻结物冷藏间的温度便始终保持在 $-18\pm 1^{\circ}\text{C}\sim -20\pm 1^{\circ}\text{C}$ 的范围内稳定运行,从而自动调节制冷系统制冷剂的供液量,以维持被冷却物体所需要的低温,并提高了制冷系统运行的稳定性。

2) 保障制冷设备安全运转。实现制冷装置自动化系统应包括制冷系统保安系统。保安系统和制冷参数是随负荷的变化而自动适应的自动调节系统,组成了制冷装置的自动化系统。自动保护装置均可使制冷系统维持正常运转状态。当制冷设备运行不正常而发生异常现象时,如制冷系统运行时出现压缩机吸气压力过低、排气压力过高、液击或过热、油压低或油压消失,以及供液不足、断水等不正常现象,其参数达到警戒值时,可使制冷设备执行保护性操作,出现警示灯亮、发出报警信号或故障性停机,以确保人和制冷设备的安全。如果制冷设备出现紧急情况时,便可自动停止运转。按程序启动、自动调节、自动记录、自动显示,以减轻操作者的负担,实现制冷系统的全自动。

3) 提高制冷系统运行的经济性和节能性。制冷系统是严密封闭的系统,为了保障制冷设备正常运行,并达到所要求的指标,需要把控制温度、压力、流量、湿度等许多热工参数的一些控制电器和调节元件、各种仪表、传感器及附属设备组合起来,形成一个控制系统,这个系统就是制冷电气自动控制系统。在制冷系统中,调节与控制的最主要参数是蒸发压力与温度、冷凝压力与温度、吸气压力与温度、排气压力与温度、油压与油温、中间压力与温度、制冷压缩机的能量调节等,因为它们与制冷能力、电能消耗和制冷系数有着密切的关系。调节制冷系统不仅要保障其设备的安全运行,而且当外界温度发生变化时,可通过调节来获得廉价的人工制冷。

- 4) 库房冷间的温度自动调节与遥测。
- 5) 蒸发器的冷却排管自动融霜。
- 6) 食品冷加工工艺流程的程序控制。
- 7) 对氨泵、水、油、放空气系统的自动控制。
- 8) 最佳工况的调节等。

这些不但保证了制冷装置运行安全、可靠,提高了产品质量,减轻了工人劳动强度,提高了劳动生产率,而且也达到了节能目的。如某冷库采用了先进的“四位一体能量调节系统”,将温度、压力、液位、时间四个参数组合对压缩机能量调节自动控制。经自控和手控对比实测及分析得知,自控比手控减少机器运转时间 47%,节省电耗 44.29%。

9. 微电脑的应用

二十多年来,由于微电脑(单片机)控制技术及通信技术的快速发展,制冷设备控制系统中也大量地采用微电脑控制,并把电子器件的信息处理和控制功能揉和到机械装置中,应用

机械、电子、信息等有关技术,对整个控制系统进行有机的组织、渗透和综合,实现整个系统的最优化控制。

这种控制方式不再是原有那种单技术、单功能的控制方式,而是一种全新的,具有复合技术、复合功能、自动化程度很高的控制方式。采用这种控制方式的产品一般都具有自动控制、自动补偿、自动校验、自动调节、自诊断、自恢复和智能化等多种功能。

微电脑具有快速、精确、逻辑判断能力强等功能,对冷库的节能、稳定冷间温度、降低损耗、保证食品质量及实现冷库的现代化管理,具有实际意义。

在冷藏企业中应用微机大致有以下几个方面:冷库最佳设计方案的选择;制冷装置运行实时自动控制;控制冷库的运输、装卸、分类堆垛等,使货物流动管理系统化;经营管理冷库,使经营费用减少,节省劳力。

如某肉联厂应用一台 ZD-065 微机控制四个制冷系统和辅助设备,除能安全、稳定、节能、节省劳力外,还可运用管理和控制程序检测运行工况参数等,操作简便,投入正常运行节能达 42%;再如某 5 千吨蛋库,应用微机控制库温后,制冷压缩机和设备耗电相当于手控的 78.5% 和 72.6%,一年可节电 34 万度,相当于年耗电量的 20%。

实现制冷系统的全自动控制是制冷技术发展的方向。目前,随着计算机技术逐步介入制冷装置的自动化,各种大、中、小型制冷机甚至整个制冷系统都在向全自动化方向发展,对制冷装置有关参数的最佳综合调节、实现制冷压缩机的连续调节和系统的节能等,就成为各国竞相研究的方向。

总之,冷库制冷系统的节能工作是一项系统性、综合性的工作,随着世界能源的紧张、能源价格的上升,冷库制冷系统的节能工作已引起广大科研工作者和冷库企业等人员和部门的重视,冷库的节能工作任重而道远,需要所有专业技术人员、管理人员及各部门各行业之间的密切合作,使冷库向着节能、环保、自动、可持续发展的方向发展。

教学小结

本章介绍了制冷系统安全作业程序和调整与节能技术,重点应掌握制冷系统安全作业程序、制冷剂循环与参数变化分析及制冷系统调整技术和冷库节能措施与方法,从而在从事制冷系统运行管理工作中提高制冷系统的安全性、经济性。

复习思考题五

1. 制冷系统安全作业程序重点有哪些?
2. 制冷系统调整参数有哪些?如何调整?
3. 制冷系统如何正确操作与调整?
4. 制冷系统有哪些节能应用技术?