内置冷冻机无需安装工程的 HFO 冷媒展示柜

Showcase Using HFO Refrigerant with Built-In Cooling Unit to Render Installation Work Unnecessary

渡边　忠男 WATANABE, Tadao　　矢野　隆幸 YANO, Takayuki　　岩崎　高宏 IWASAKI, Takahiro

为了促进便利店行业在黄金地段开设店铺以及进一步提高消费者的便利性，富士电机开发了新型展示柜，此柜不仅可以满足大楼内等安装工程受限店铺的需求，还可降低环境负荷。此展示柜将冷冻机系统内置，并简化了安装及维护工程。商品展示架下方的管道及架子前端还设有气流导管，通过优化风量，让进入的热量减少了约 30%。并且，在业内首次将在自动售货机有使用实绩的冷媒 HFO-1234yf 应用于展示柜，大幅减少了环境负荷。

Fuji Electric has developed an environmentally friendly showcase for the convenience store industry. It is designed to be installed in stores that have imposed restrictions on installation work, such as those inside buildings, helping locate a store in excellent property and further improve consumer convenience. The showcase comes with a built-in cooling unit system to simplify installation work and maintenance. Equipped with ducts below the product showcase shelves and airflow guides at the edge of the shelves, it optimizes the amount of airflow to reduce invading heat by about 30%. Moreover, it is the industry-first showcase in the Japanese market to use HFO-1234yf refrigerant, which has a proven track record of use in vending machines, to significantly reduce the environmental burden.

1　引言

近年来，便利店行业店铺数量呈现增长迟滞不前的倾向。在此背景下，为了让顾客可以聚焦盈利、在黄金地段开设店铺，进一步提高消费者的便利性，我们不断摸索探讨如何在大楼内等安装工程受限的租赁地段轻松开店。此外，还不断采取措施削减温室气体的排放量，以防止地球温室化效应。

富士电机为适应这一动向变化，开发了新型展示柜（**图 1**），其特点包括内置冷冻机系统，无需安装工程，以及使用对地球温室化效应影响较小的氢氟烯烃（HFO：Hydrofluoroolefin）冷媒。此外，本开发品获得了由株式会社日刊工业新闻社主办的“第 21 届臭氧层保护和防止地球温室化效应技术大奖”的优秀奖〈注〉。

图 1　“USFTL22D1-038AMD”

2　开发背景

2.1　无需安装工程及简化维护工程的必要性

实施展示柜安装工程，需要具有冷媒配管钎焊、冷凝水排水管铺设及电气工程等专业知识及技术的人才。但是，近年来此类人才越来越难以确保。此外，在大楼内新开店时，大都选择已设商铺的。有的需要将展示柜的冷冻机系统安装在店铺外并安装较长的冷媒配管，有的租赁店面则无法在店铺内的地板下埋设冷凝水排水管。除此之外，还要预先考虑租赁合同结束后恢复原状的工程。

安装后的维护维修作业方面，也需确保人才以维持售后体制。此外，冷媒配管发生问题时，蒸发器等冷冻机系统很难拆装，需要在现场进行修理。所以需要简化维护维修作业。

2.2　环保对策

针对展示柜等所有使用冷媒的冷冻机系统，2015 年 4 月“关于氟利昂类使用合理化和管理妥善化的相关法律”（氟利昂排出抑制法）颁布实施。该法律规定，向使用全球变暖潜能值（GWP：Global Warming Potential）低的冷媒产品转换及使用时，从生产直至废弃处理的整个生命周期都必须采取妥善措施防止冷媒泄漏。

由压缩机、冷凝器、控制设备组成的冷冻机系统，与设有商品展示室的、柜体分离的分开安装型展示柜，其冷冻机系统与多个柜体之间通过长长的冷媒配管连接。因此，冷媒注入量增多，在冷媒泄漏时泄漏量也多。2012 年使用氟利昂类设备的总排放量（仅 HFC）中，分开安装型展示柜的比例较高，占整体的 26.9%[(1)]。冷媒配管的扩口连接、钎焊连

〈注〉使用 HFO 冷媒的内置型展示柜：株式会社日刊工业新闻社 第 21 届臭氧层保护和防止地球温室化效应技术大奖，https://biz.nikkan.co.jp/sanken/ozon/number21.html.

接以及冷媒注入、泄漏检查等现场作业是导致冷媒泄漏的原因之一，可能是由于工程质量不稳定所导致。

3 开发目的和课题

取消安装工程及简化维修维护，使用 GWP 低的 HFO 冷媒，通过完全密闭型循环减少环境负荷是此次开发的宗旨。而要实现这一目的，需克服以下课题。

(a) 减少外气带来的进入热量，减少冷冻机负荷及冷凝水产生量。

(b) 用蒸发器让产生的冷凝水在展示柜内蒸发。

(c) 打造可使用低 GWP 的 HFO 冷媒的冷冻机系统，并减少冷媒注入量。

(d) 冷冻机系统既具备较高的冷冻能力，又可轻松拆装，且尺寸小可以内置。

4 特点

4.1 通过分配气流形成新式气帘

如**图 2** 所示，传统机型为了阻断外气进入，采用由展示柜上部的吹风部向下部的吸入部吹风从而形成气帘的方式。因而，展示柜正面需要非常大的风量，而且还会因外气进入而带来不容忽视的热量。

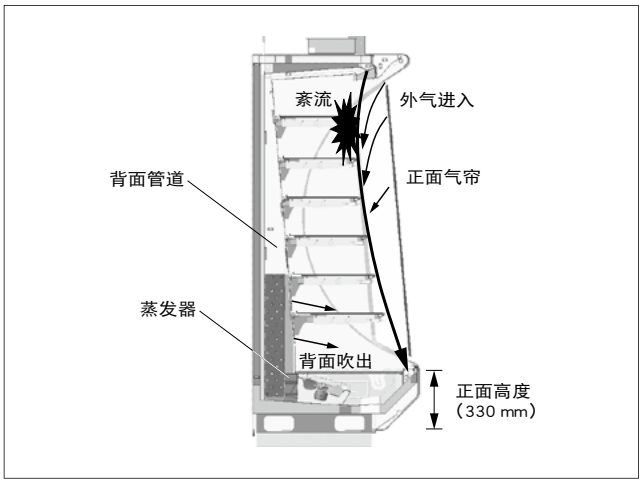

图 2 传统机型的气帘方式

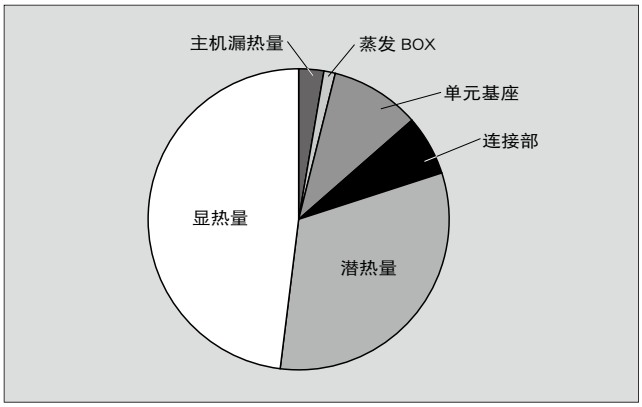

图 3 展示柜进入热量的比例

对库内的进入热量进行分析后可以发现，如**图 3** 所示，其大部分是由气帘进入的空气的潜热和显热。这就需要既保持具有阻断外气功能的气帘，又要降低风速。

本产品，如**图 4** 所示在各商品展示架下方的管道及架子前端设有气流导管，架子每一层都由低风速气流形成气帘。让架子下方的管道吹出并通过架子下方的气流，与上部吹出的正面气流，都通过架子前端的气流导管，这样既可以防止紊流又可以让两者汇合。

我们结合热气流仿真（**图 5**）及可以将实际运行状态的

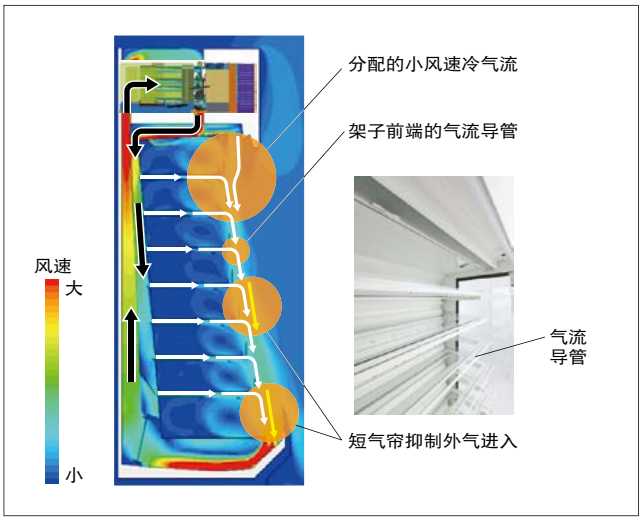

图 4 新开发的气帘方式

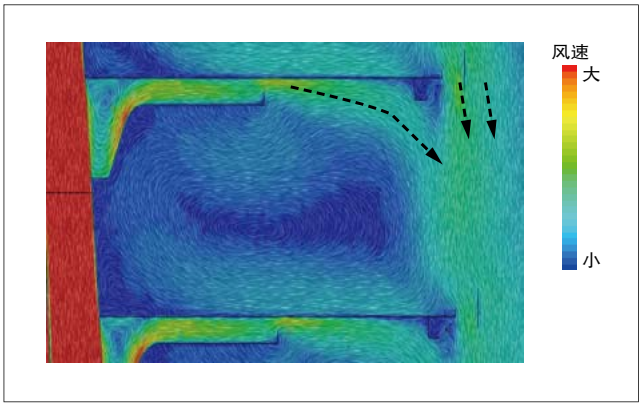

图 5 架子下方的仿真解析

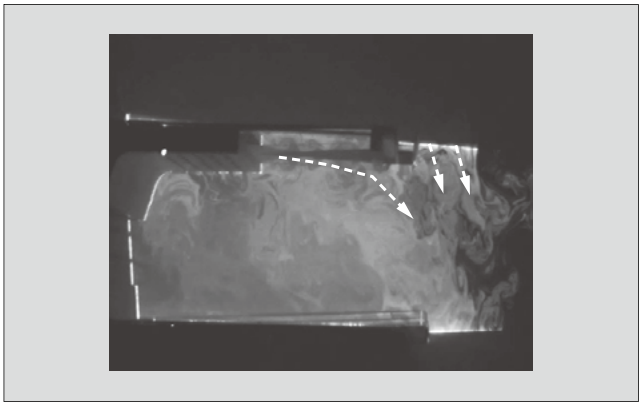

图 6 通过 PIV 实现可视化

气流可视化的粒子图像测速技术（PIV：Particle Image Velocimetry）（**图 6**）进行了解析。结果显示，在正面气帘和各架子下方吹出的气流汇合处对流向进行整流，可以优化各架子下的风量和正面气帘的风量，还使进入热量减少了约 30%。

4.2 利用废热的冷凝水蒸发系统

传统机型通过埋设配管，将冷凝水排到店铺外。

本产品所采用的蒸发系统，利用运行冷冻机系统进行冷凝时释放的热量，因而无需安装工程。**图 7** 中展示了冷凝水蒸发系统的构成。吸入的店铺内的常温常湿空气在通过冷凝器后，由于温度上升而相对湿度下降，变为高温干燥空气。在冷凝器下游设置蒸发片，可利用高温干燥空气加快蒸发。

蒸发盘存留的冷凝水，在从蒸发片下部往上吸的过程中逐渐蒸发。平滑的蒸发片从两侧夹住波纹状蒸发片，以增加与水面接触的表面积。这样，不仅加快了吸水速度，还增加了与通过蒸发片内部的风相接触的表面积，可确保吸水速度在冷凝水量之上。**图 8** 中展示了仿真解析。利用仿真技术对吹往冷凝器和蒸发片的风进行解析后发现，吹往蒸发片下部的风占比较大，蒸发片可快速蒸发抽吸的冷凝水，确保充分的蒸发量。

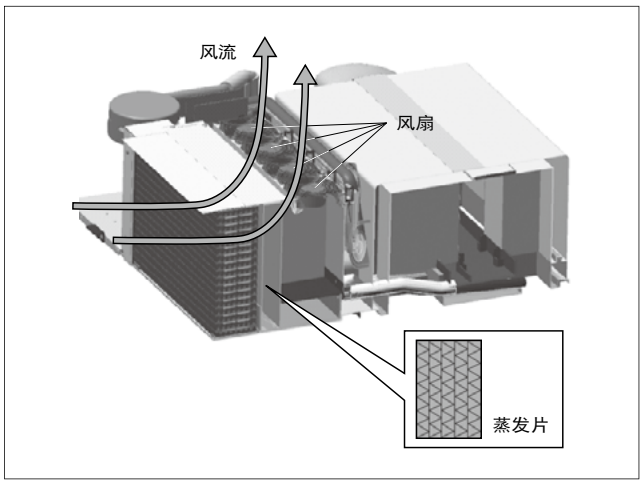

图 7　冷凝水蒸发系统的构成

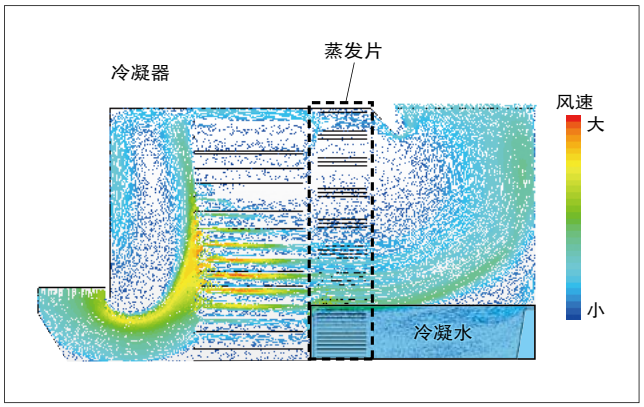

图 8　仿真解析（蒸发片）

4.3 采用低 GWP 冷媒的冷冻机系统

(1) 采用低 GWP 冷媒

本开发品，在业内首次将自动售货机使用过的冷媒 HFO-1234yf 应用于展示柜。

表 1 中展示了该冷媒和传统展示柜所使用的其他冷媒的物性比较。臭氧层破坏指数为 0，GWP 数值在 1 以下，极低。此外，还具有在保存冷藏商品的 10 ℃以下温度区，冷冻机系统效率卓越的特点。由于 HFO-1234yf 冷媒的密度小，因而需要克服在低压环境下会因压力损失导致冷冻能力降低的缺点。

(2) 支持高转速的变频压缩机

传统机型搭载了大型压缩机，以满足冷却多台展示柜所需的输出，因而要使用三相 200 V 电源。而本开发品，由于安装限制较少，可安装在各种场所，因而采用单相 100 V 电源，可轻松确保电源供应。此外，还需要以 100 V/15 A 的有限电力确保一定的冷冻能力。因此，采用了小型往复式变频压缩机。为了确保冷冻能力所需的冷媒循环量，需要以高转速运行压缩机。**图 9** 中展示了冷冻机控制系统的构成。调整了电抗器、改善了功率因数，以便在因夏季等环境温度高、供应电压低等环境变动，导致流往压缩机的电流增多时，也可以从 AC 电源获得稳定电流。为了让转换器中流动的电流保持在电流容量上限以内，设置了变流器以检测电流。运行控制结合针对库内温度的 PID（Proportional-Integral-Differential）控制和电流检测来控制转速，让压缩机保持较高的转速，从而确保了必要的冷却能力。

(3) 高效全铝热交换器（冷凝器、蒸发器）

传统机型在背面管道内设置循环冷媒的铜管和铝散热片组合而成的蒸发器，在室外的冷冻机中设置冷凝器。这种方

表 1　冷媒的物性比较

项目	HFO-1234yf	HFC-134a	HFC-404A	HFC-410A
沸点	-29.0 ℃	-26.0 ℃	-46.2 ℃	-51.4 ℃
临界温度	95.0 ℃	102.0 ℃	72.0 ℃	71.4 ℃
蒸汽压力（25 ℃）	0.677 MPa	0.665 MPa	1.250 MPa	1.660 MPa
GWP*	1 以下	1300	3940	1920
臭氧层破坏指数	0	0	0	0

* 使用 IPCC（Intergovernmental Panel on Climate Change）第 5 次报告 100 年值

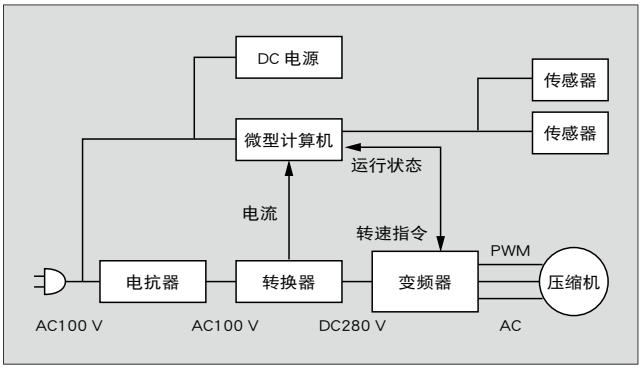

图 9　冷冻机控制系统的构成

式仅通过扩张管道来让配管和散热片接触，热阻较大，需要大型的热交换器。

而本开发品，采用了在自动售货机方面拥有使用实绩的全铝热交换器[2]。配管和散热片采用同样金属让其一体化，为增加热交换量，配管使用具有多个细孔的多孔管，将单位容积的热交换量提高到 2 倍左右，并缩小了热交换器的尺寸。这样，将设置了冷凝器及蒸发器的冷冻机系统改为盒式，可以安装到展示柜上部。万一发生问题时，也可在短时间内拆装并更换冷冻机系统，店铺无需停止营业。此外，由于蒸发器的小型化及使用多孔管降低配管内的容积，以及无需通过配管连接室外机等，冷媒注入量大幅减少，比传统的分开安装型展示柜减少 83%（本公司比）。

⑷ 减少冷冻机系统内的压力损失

为了提高本开发品的冷冻能力，需要让压缩机保持高转速，以增加冷媒循环量。但是，从公式⑴可知，压力损失与管内流速的平方成正比，如果压力损失大幅增加，则冷冻能力便会降低。

全铝热交换器如果缩小管内直径、采用多孔管，则可以有效增加导热面积，在这方面十分有效。但是，缩小管内直径后，压力损失会增加，冷媒循环量变少，结果导致冷冻能力降低。

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\gamma v^2}{2} \quad \cdots\cdots(1)$$

ΔP ：压力损失（Pa）
λ ：管摩擦系数
L ：配管长度（m）
D ：管内直径（m）
γ ：管内气体密度（kg/m^3）
v ：管内流速（m/s）

如**图 10** 所示，将蒸发器中循环冷媒的路径分成上下左右 4 份，在保持蒸发器内整个配管长度不变的状态下，将各路径的配管长度缩短了 75%。此外，在内部热交换器中，通过缩短有效进行热交换的配管长度，如**图 11** 所示，冷冻机系统的整体压力损失降低了 70%，并成功确保了冷媒目标循环量。

⑸ 高精度的冷媒循环量控制

传统机型连接多台展示柜，为了控制每台展示柜的冷媒循环量，使用可以检测蒸发器出口过热度，从而控制膨胀阀开度的机械式温度自动膨胀阀。该温度自动膨胀阀很难控制蒸发器入口的冷媒温度。因此，需要将冷媒温度降到 −10 ℃左右，加大与库内的温差进行冷却。这样会导致蒸发器上结霜，热交换量降低，因而需要除霜。此外，除霜过程中要停止冷冻机，为了使库内回升的温度再次降低，需要大型热交换器。

本开发产品使用电子膨胀阀[3]，该膨胀阀采用在自动售货

该

矢野　隆幸

从事开发展示柜的开发设计。现为富士电机株式会社食品流通事业本部生产统括部三重工厂设计第一部主任。

岩崎　高宏

从事开发展示柜的开发设计。现就职于富士电机株式会社食品流通事业本部生产统括部三重工厂设计第一部。

富士电机

Fuji Electric

＊本刊记载的公司名称及产品，有可能是各相关公司的商标或注册商标。