



冷藏陈列柜风幕性能优化 ——产学研融合模式探索

汇报人姓名：刘圣春

学校名称：天津商业大学



汇报提纲

一、冷藏陈列柜简介

二、冷藏陈列柜性能优化

三、产学研探讨

一、冷藏陈列柜简介



主要循环：

- 靠风幕隔绝与外界环境的换热，
- 冷风一部分送入柜内冷却货物，一部分形成风幕。

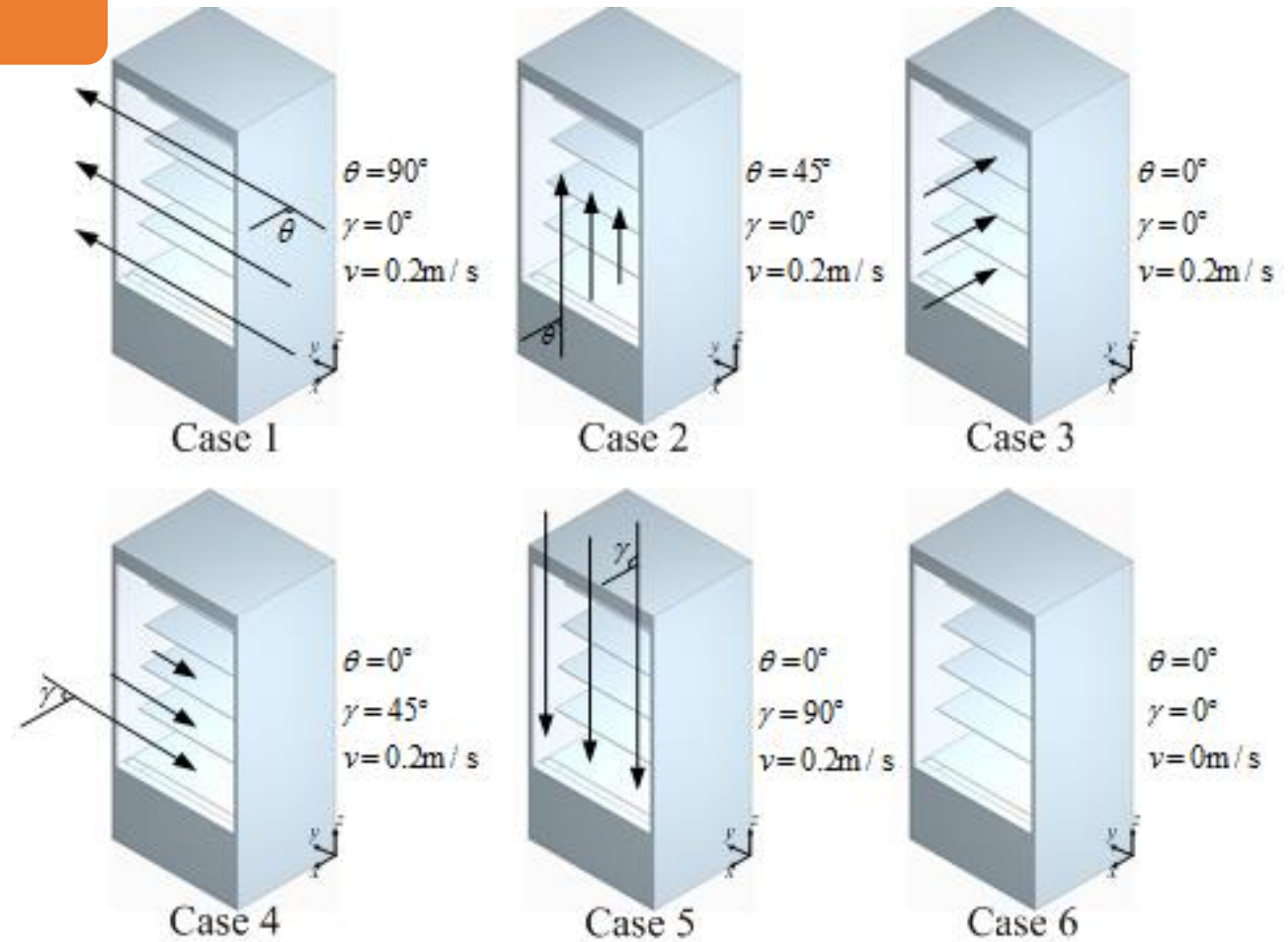
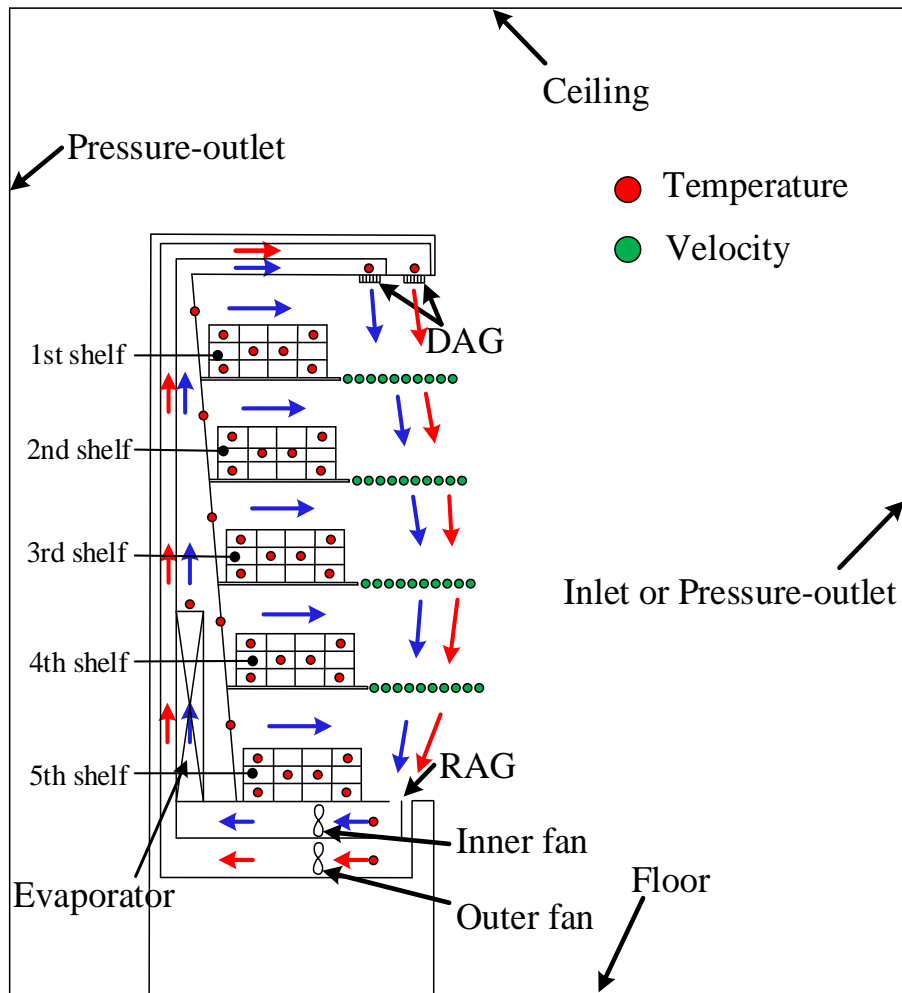
主要问题：

- 风幕的形成效果较差，
- 整体的能耗偏高，
- 不同型号产品优化问题困难。

二、冷藏陈列柜性能优化

主要探究的参数：外界环境风速、风量、循环风量对双层风幕的影响

1：环境参数对双层风幕性能的影响研究



外界环境设置

二、冷藏陈列柜性能优化

1：环境参数对双层风幕性能的影响研究

连续性方程：

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0$$

能量方程

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \nabla \cdot [\vec{u}(\rho E + p)] = \nabla \cdot \left[k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j J_j + (\tau_{eff} \vec{u}) \right] + S_h$$

k-ε 模型

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon \\ \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + c_1 \frac{\varepsilon}{k} G_k - c_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \end{cases}$$

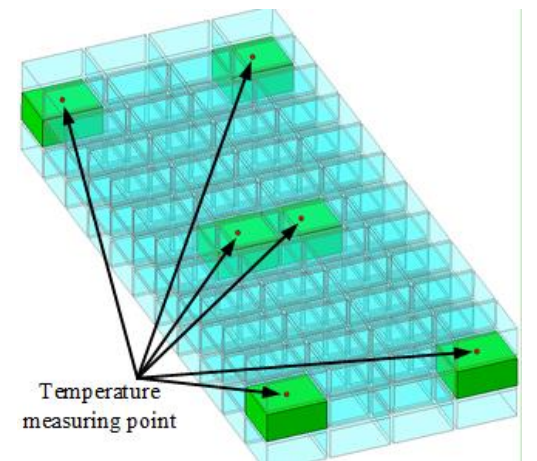
性能指标：

TEF（热夹带因子）

$$TEF = (1 - \beta) X_0 + \beta X_0 X_{PBP}$$

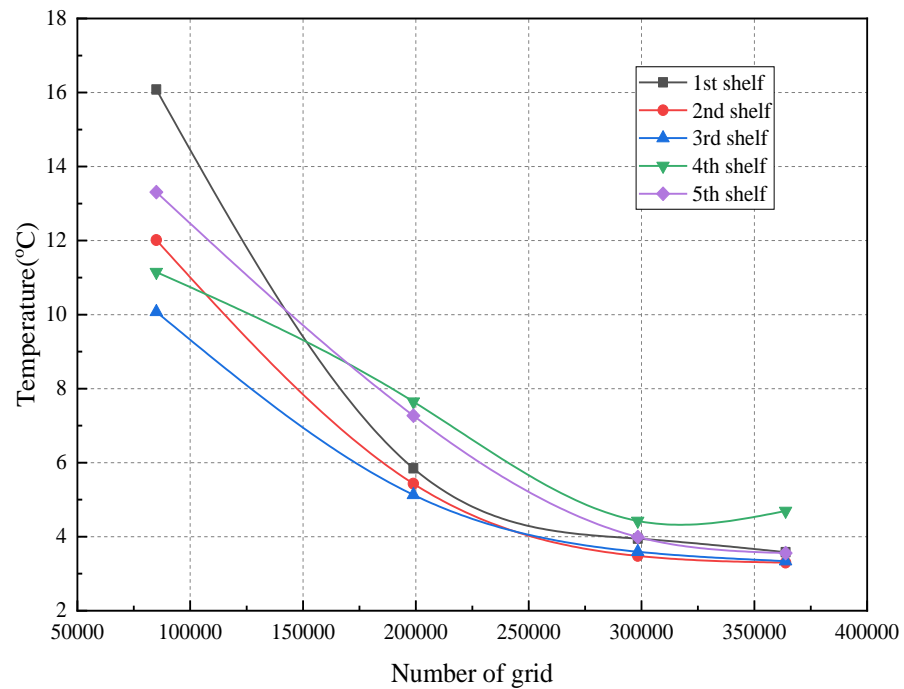
能耗 $P_{total} = P_{curtain} + P_{cond}$

平均温度

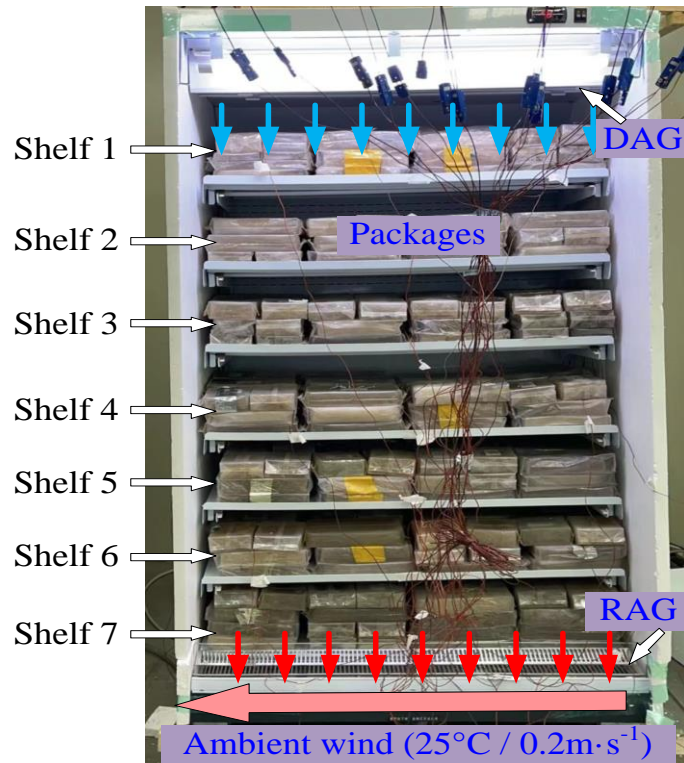


二、冷藏陈列柜性能优化

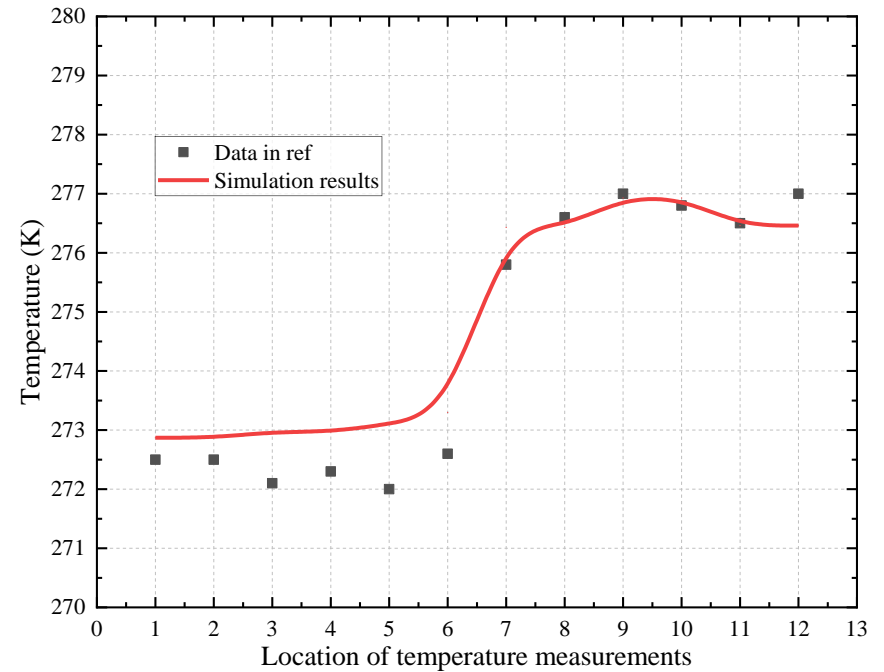
1：环境参数对双层风幕性能的影响研究



网格独立性验证



实验测试

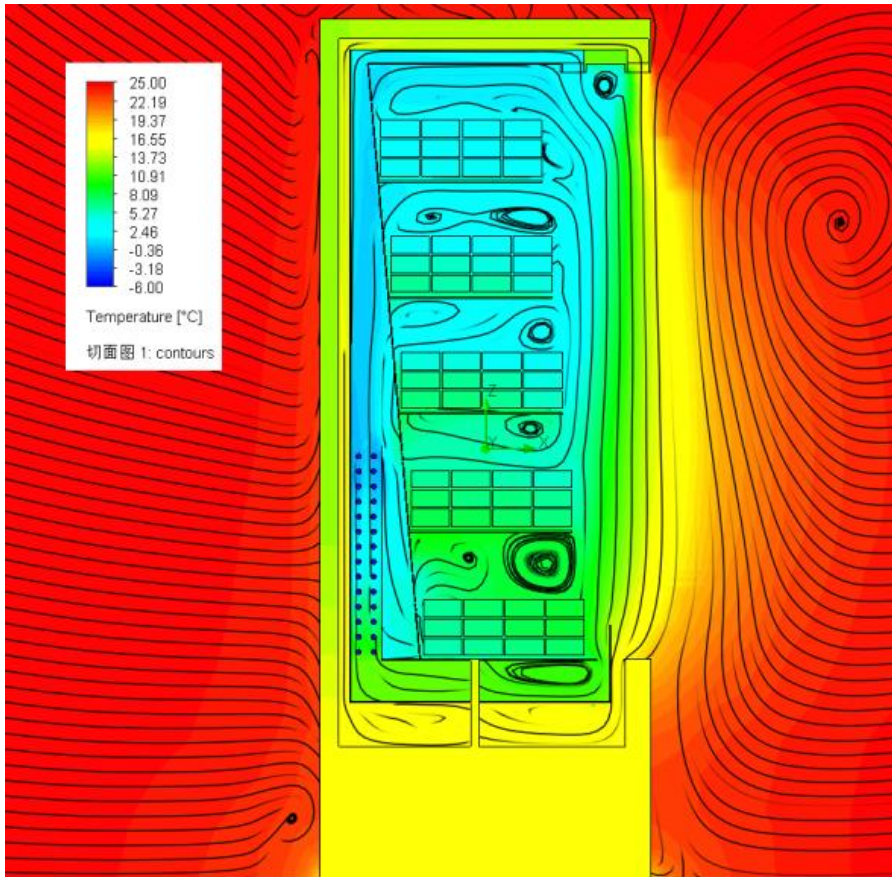


模型验证

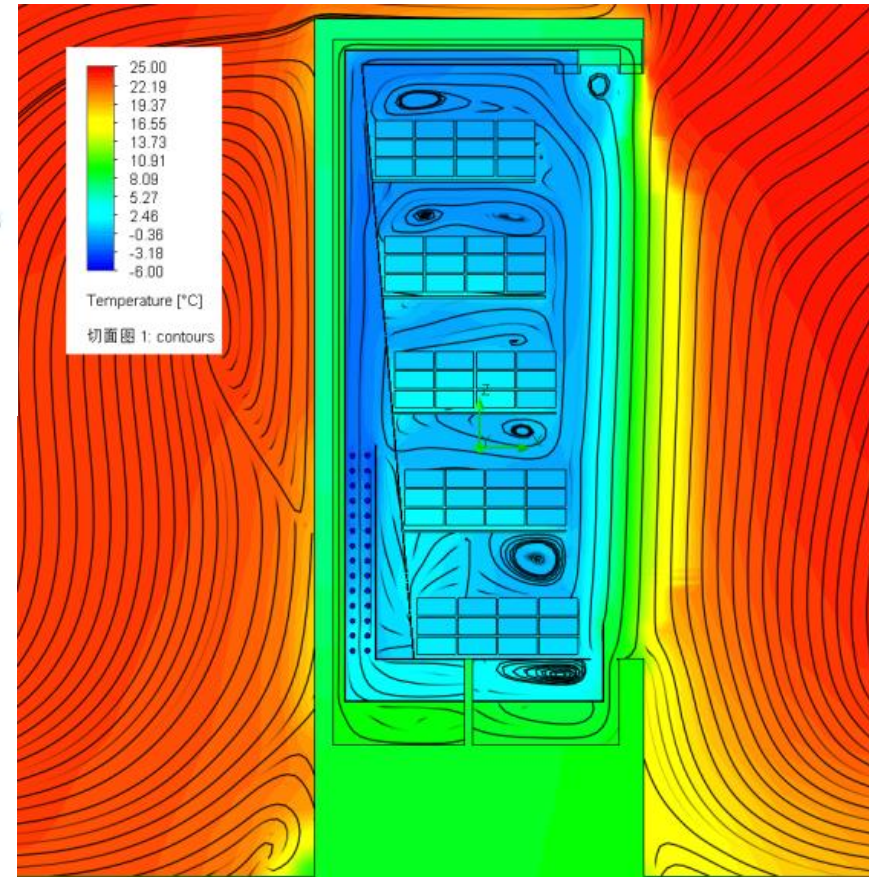
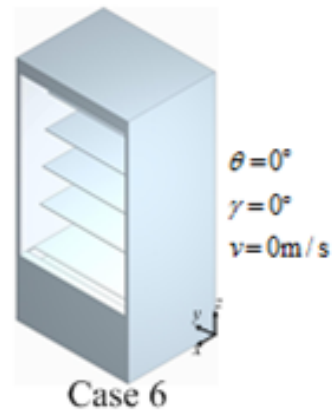
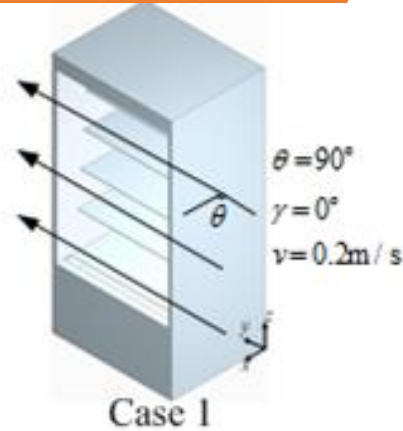
二、冷藏陈列柜性能优化

外界环境对系统运行的影响很大，根据不同环境因素找到最佳的运行参数很关键

1：环境参数对双层风幕性能的影响研究



Case 1

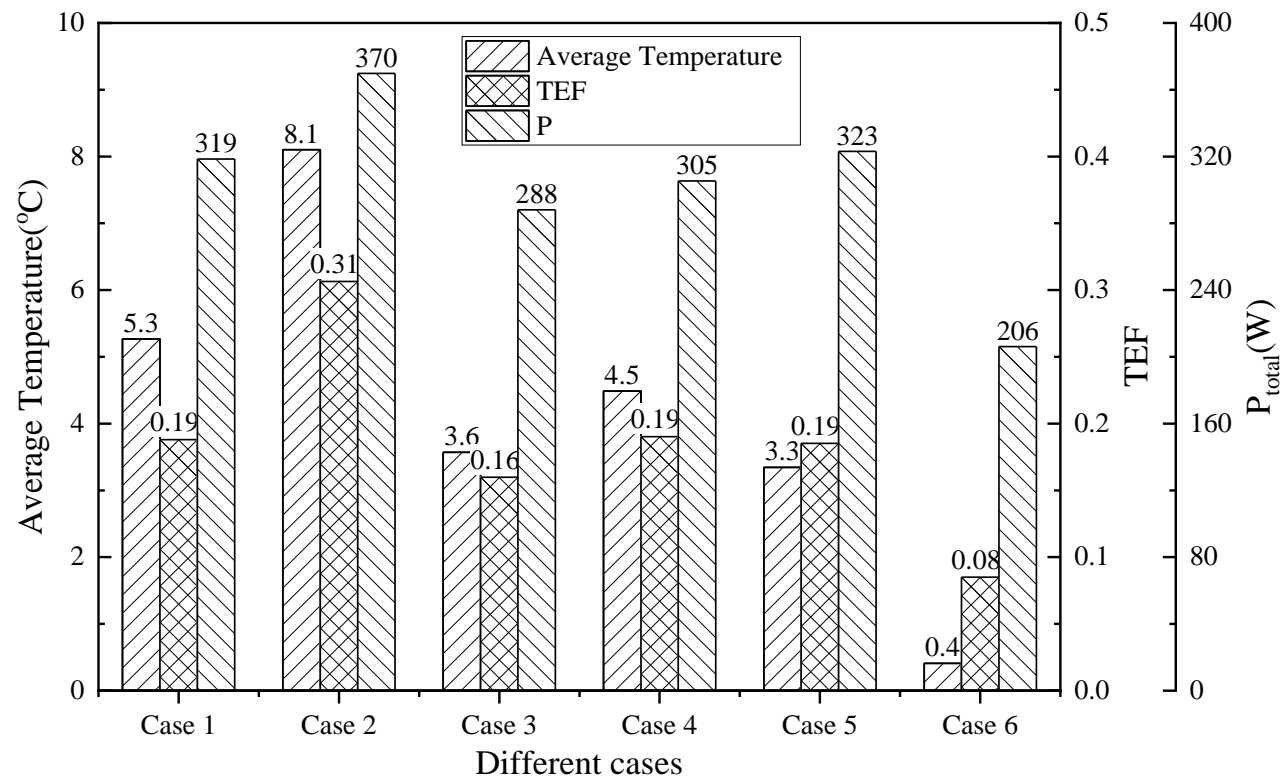


Case 6

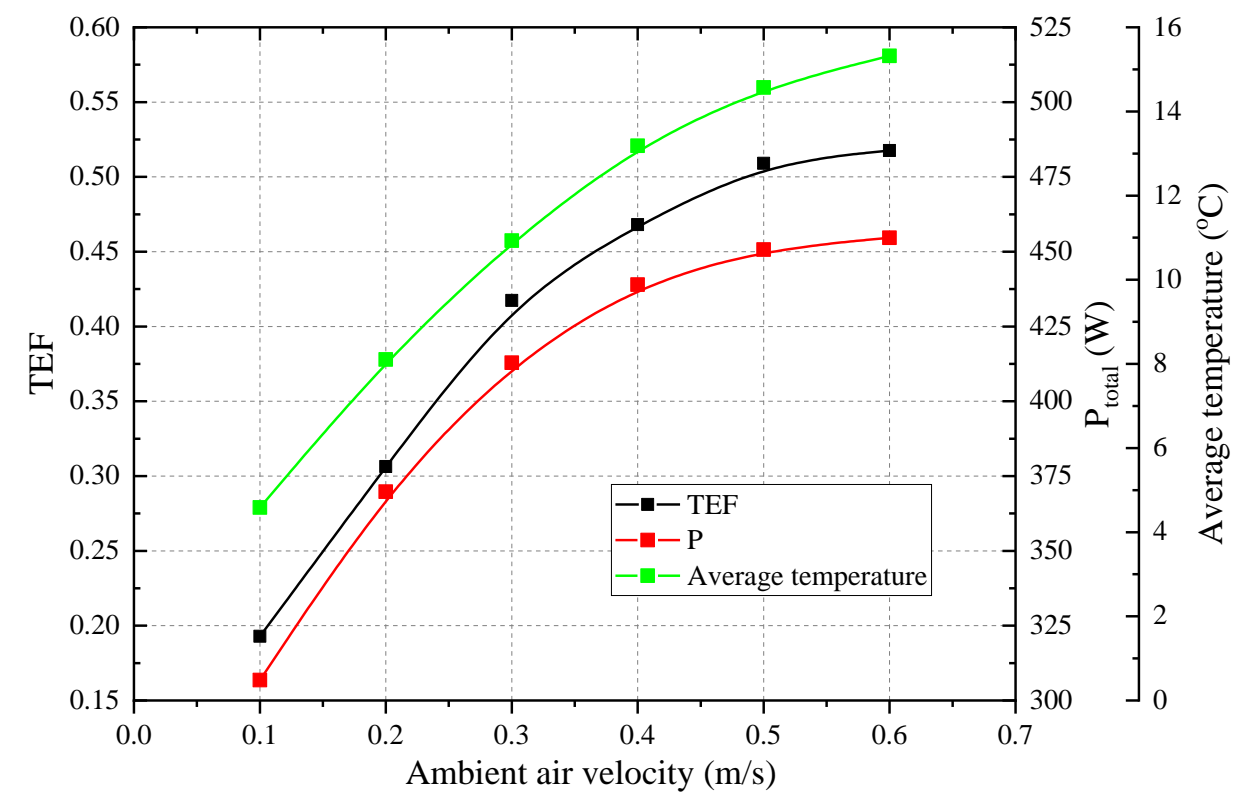
二、冷藏陈列柜性能优化

首先探讨外界环境对冷藏陈列柜的运行影响

1：环境参数对双层风幕性能的影响研究



外界环境风向对系统的影响

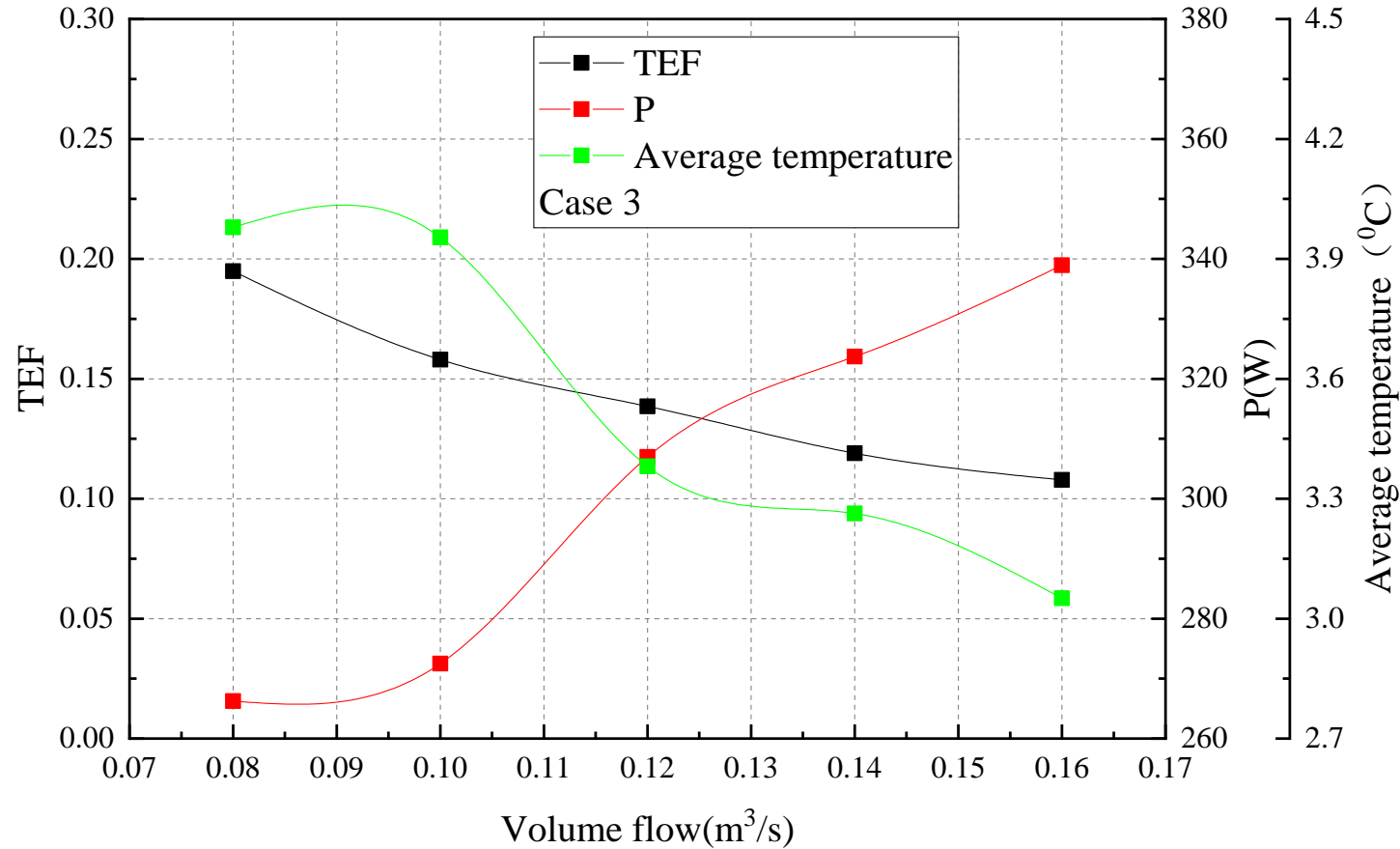


外界环境风量对系统的影响

二、冷藏陈列柜性能优化

其次探讨循环风量对冷藏陈列柜的运行影响

1：环境参数对双层风幕性能的影响研究

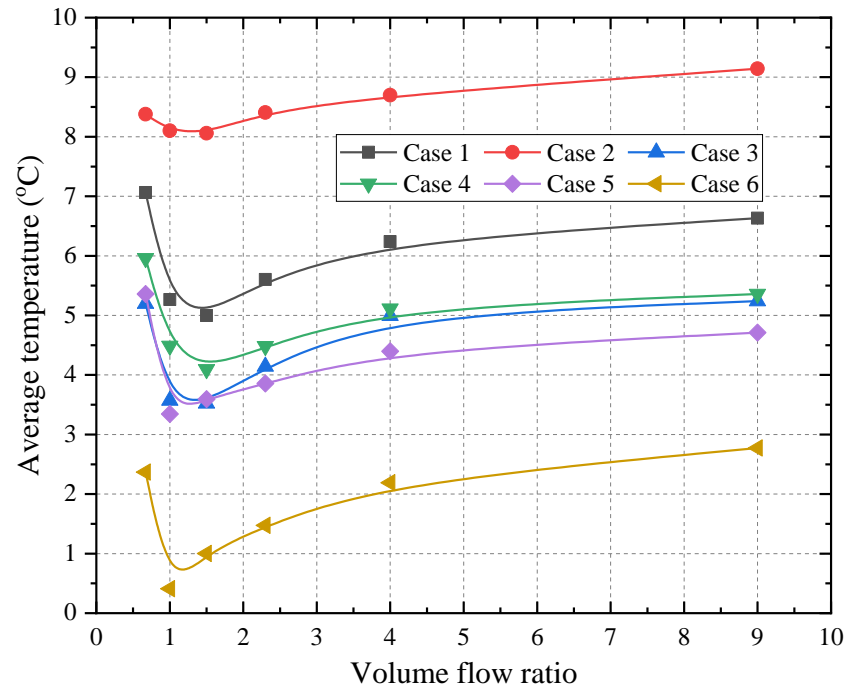


循环风量对系统运行的影响

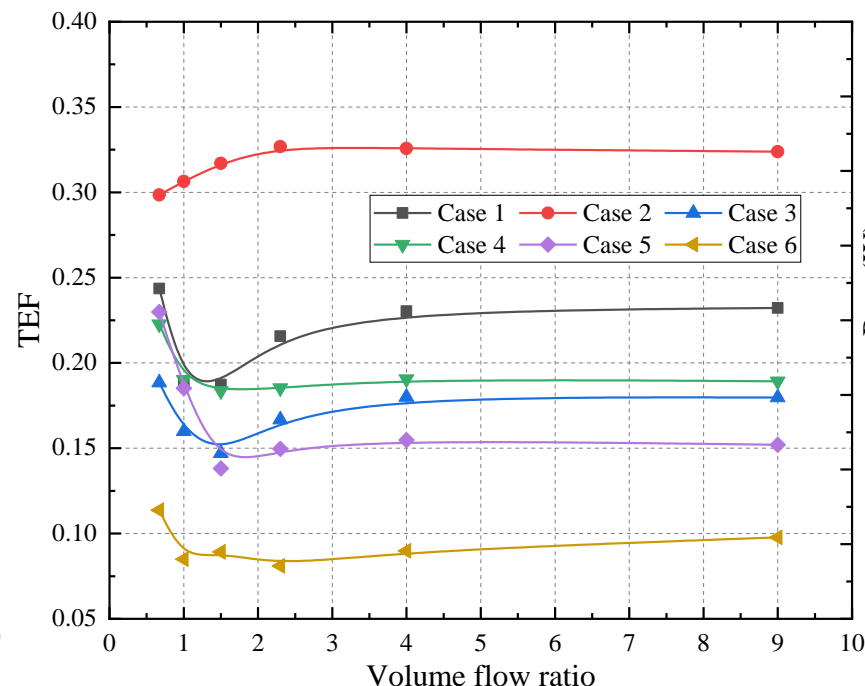
二、冷藏陈列柜性能优化

在此基础上，探讨循环风量比对冷藏陈列柜的运行影响。找到最佳的运行参数，以满足不同的外界环境。

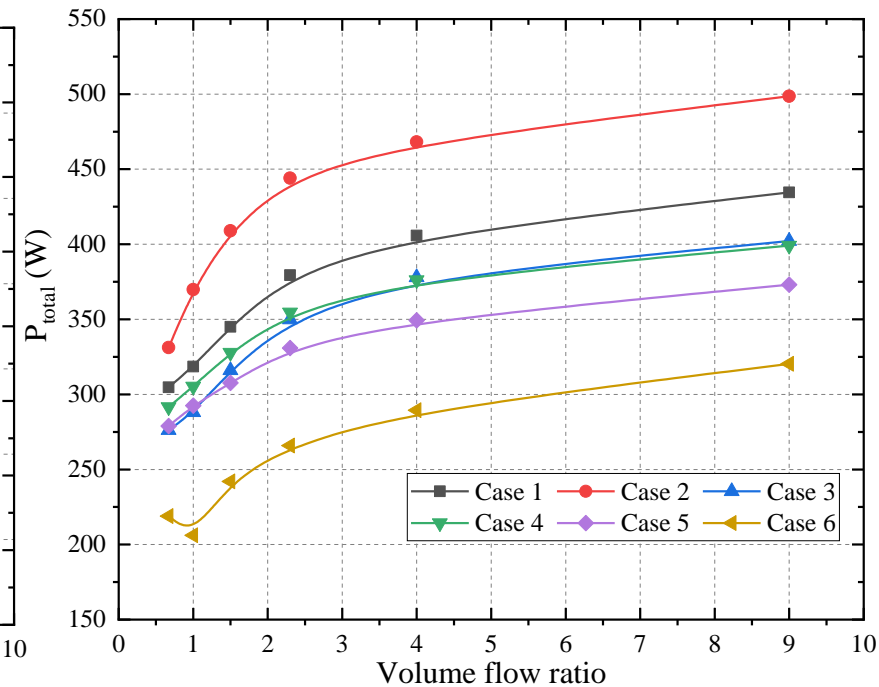
1：环境参数对双层风幕性能的影响研究



平均温度



TEF



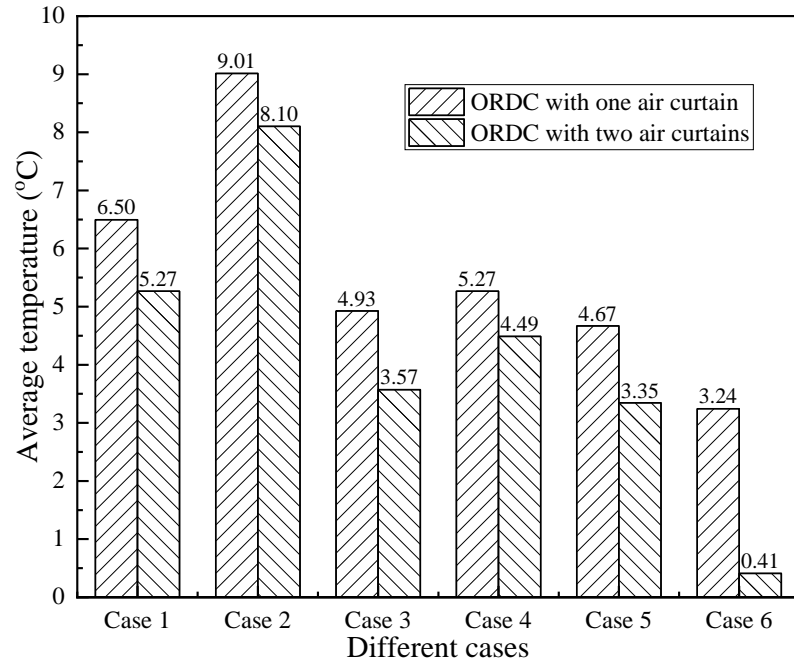
能耗

循环风量比对系统运行的影响

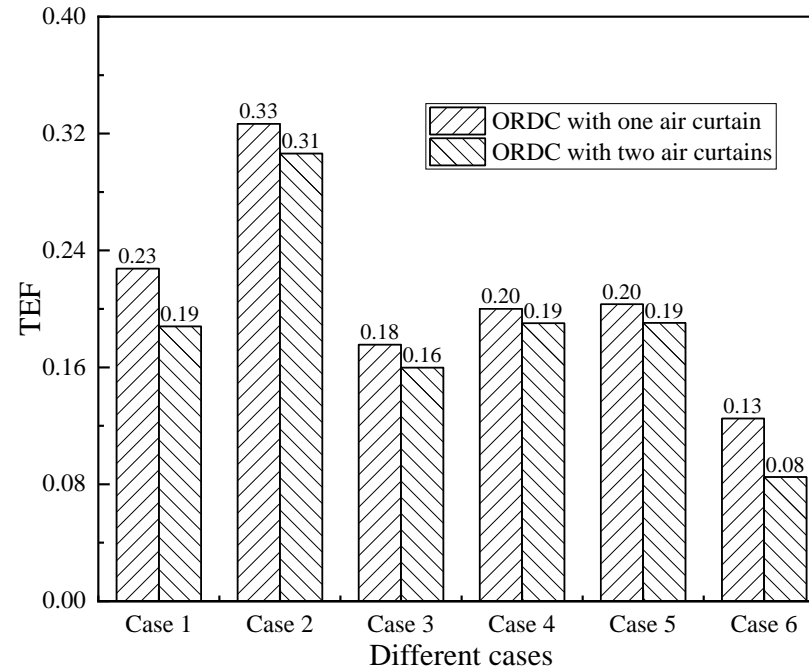
二、冷藏陈列柜性能优化

最后，定量对比单层风幕与双层风幕的性能。

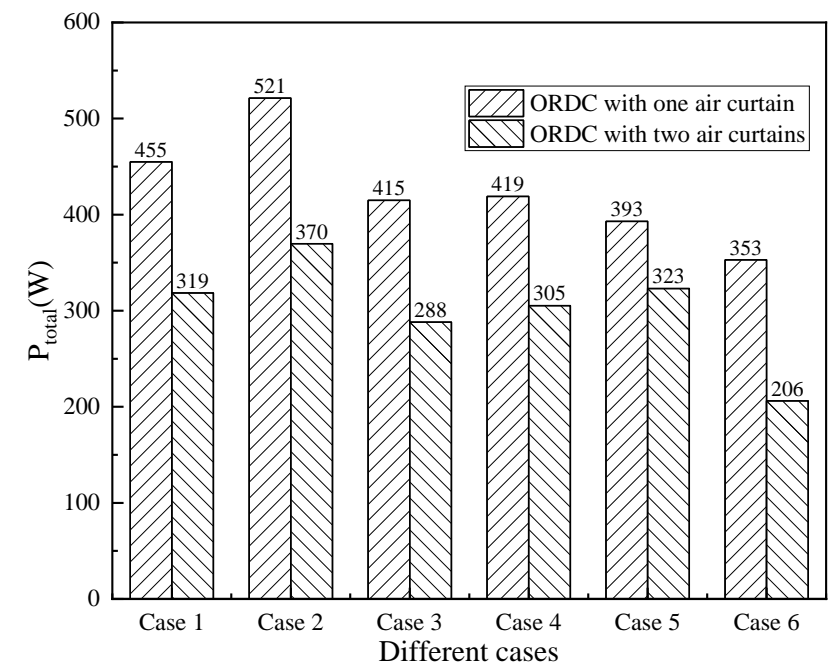
1：环境参数对双层风幕性能的影响研究



平均温度对比



TEF 对比



能耗对比

单层风幕与双风幕的性能对比

二、冷藏陈列柜性能优化

1：环境参数对双层风幕性能的影响研究

- 环境参数对双层风幕的影响，实际运行过程中，工况2的影响最大，工况3的影响最小，工况2的现象应尽量避免。
- 为适应不同的环境参数，存在最佳的循环风量比，使其能保持高效的运行性能。
- 定量对比了单层和双层风幕的性能。

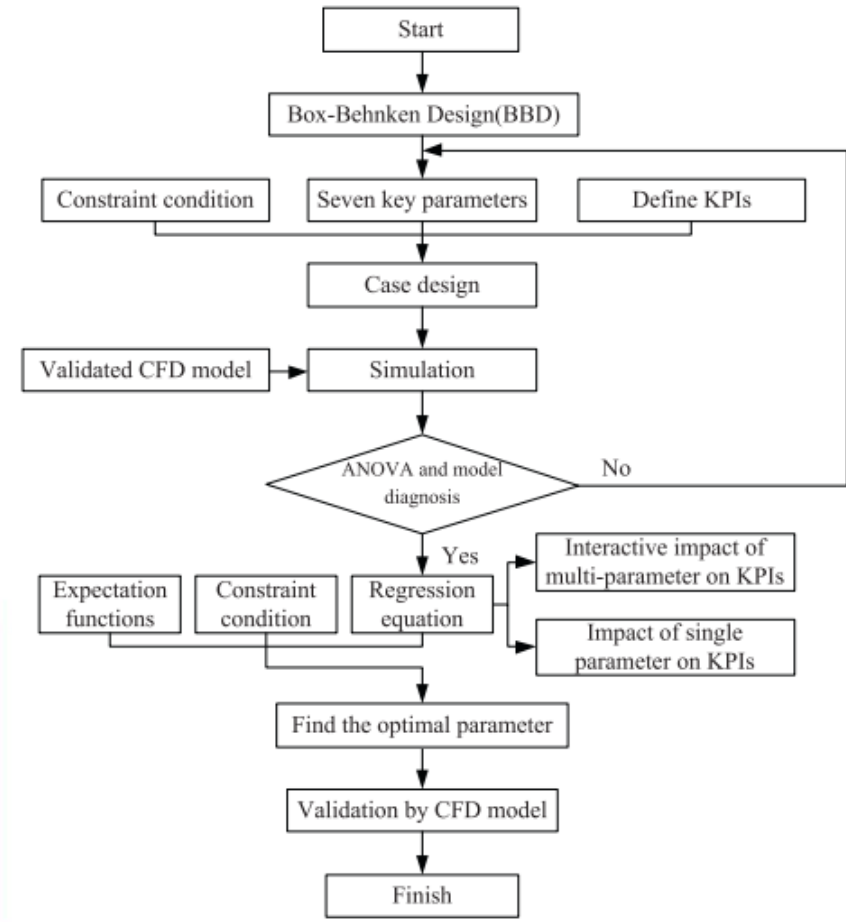
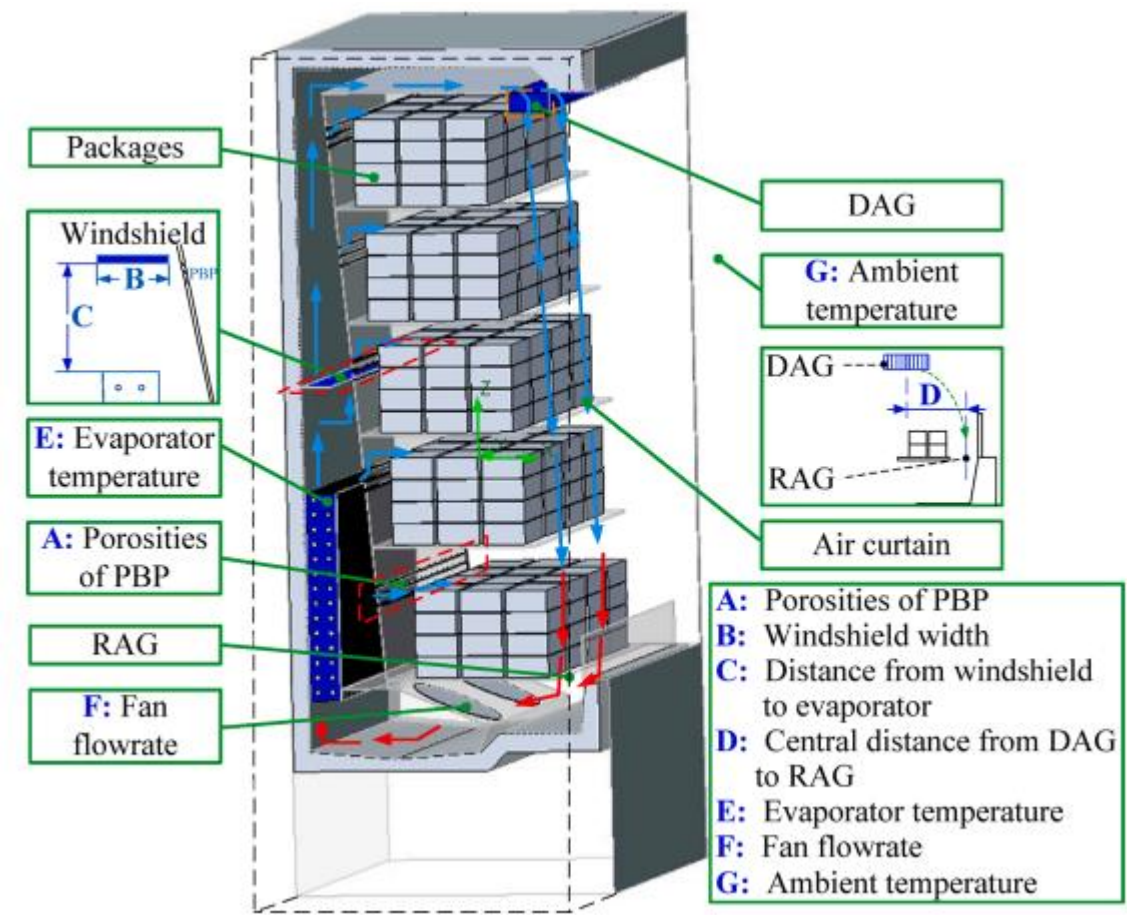
有很多参数影响冷藏陈列柜性能，能否同时考虑多参数对性能的影响，使陈列柜一直处于高效的运行状态？

同时能否开发考虑多参数的模型用于产品的优化设计。

二、冷藏陈列柜性能优化

选取七个影响性能参数作为影响因素（孔隙率、阻风板宽度及高度、进出口垂直距离、蒸发器温度、风扇流量和环境温度）

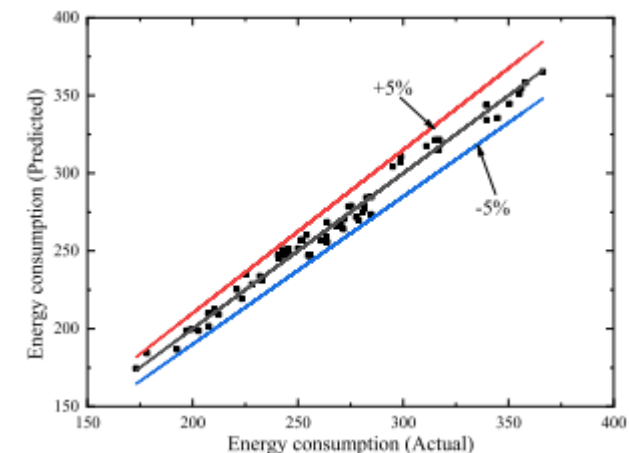
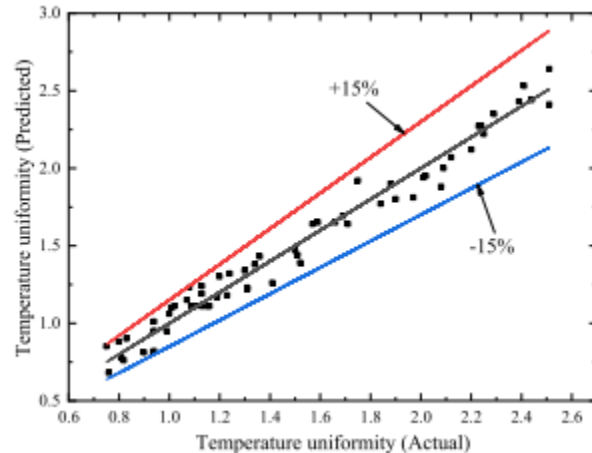
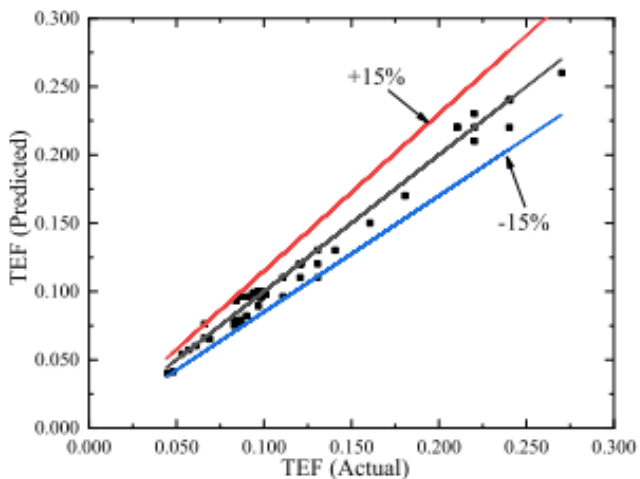
2 多参数对冷藏陈列柜的影响及模型开发



使用响应面方法对方案进行设计，在此基础上获得7个变量与系统性能的关系。在此基础上，拟合获得各参数与性能的关系，并给出对应的优化策略。

二、冷藏陈列柜性能优化

2 多参数对冷藏陈列柜的影响及模型开发



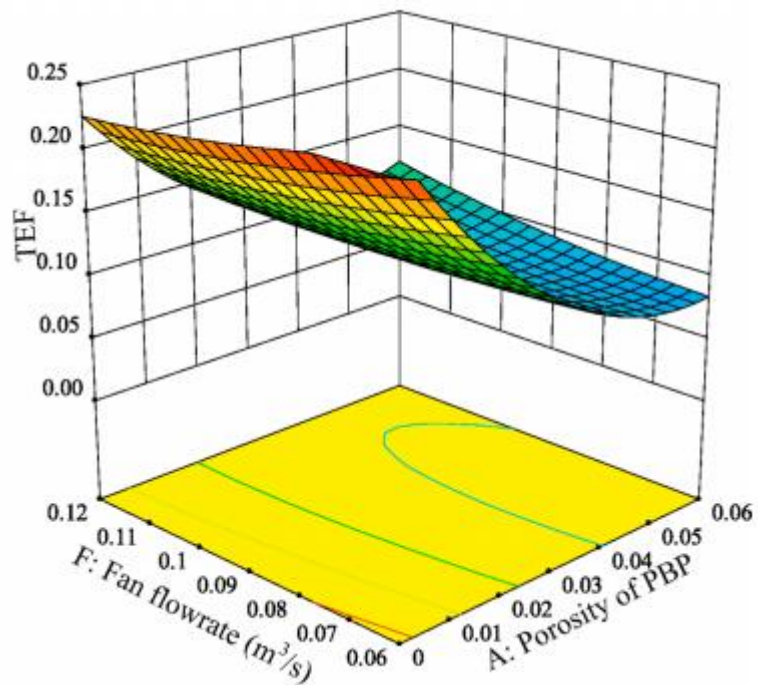
通过响应面结果验证，该模型具有**较高的精度**，TEF，能耗和均温性的预测结果均在15%以内。

	TEF	能耗	均温性
影响	A, B, F;	F, G, E, C, A, B;	B, C, A, G, F, E;
因子	AF, AB	AB	AC, BF, AD
影响大小	大 → 小	大 → 小	大 → 小

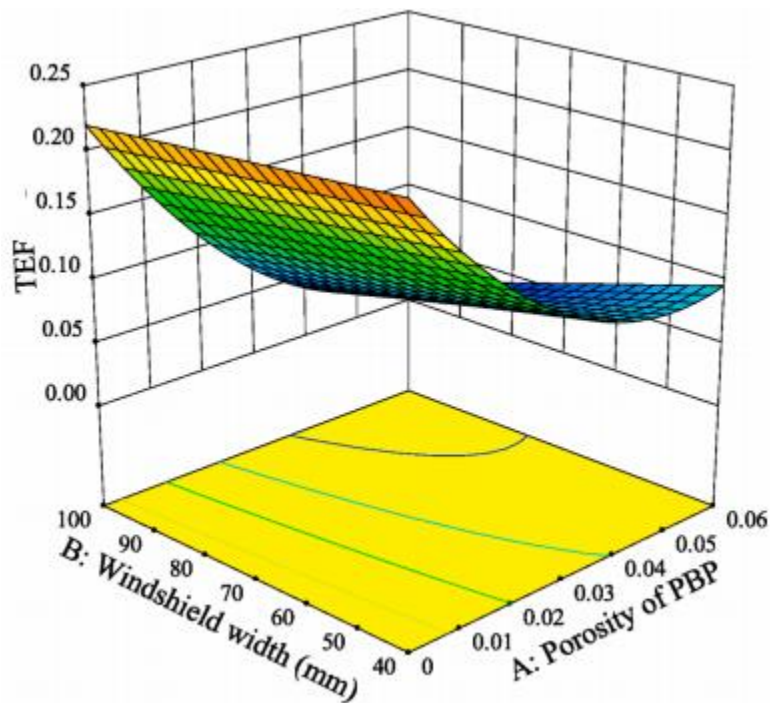
通过结果可以获得**各个参数对系统运行的影响大小**，并得到**参数之间的耦合影响**

二、冷藏陈列柜性能优化

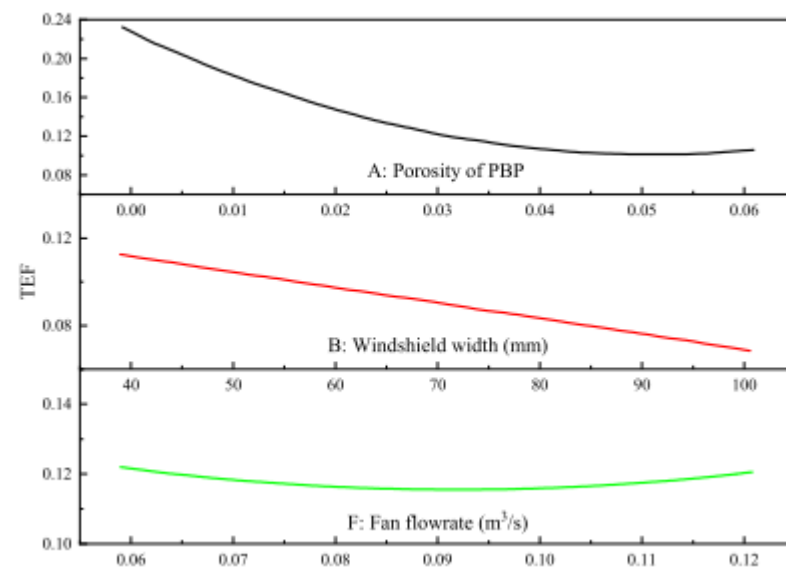
2 多参数对冷藏陈列柜的影响及模型开发



AB的交互影响



AF的交互影响

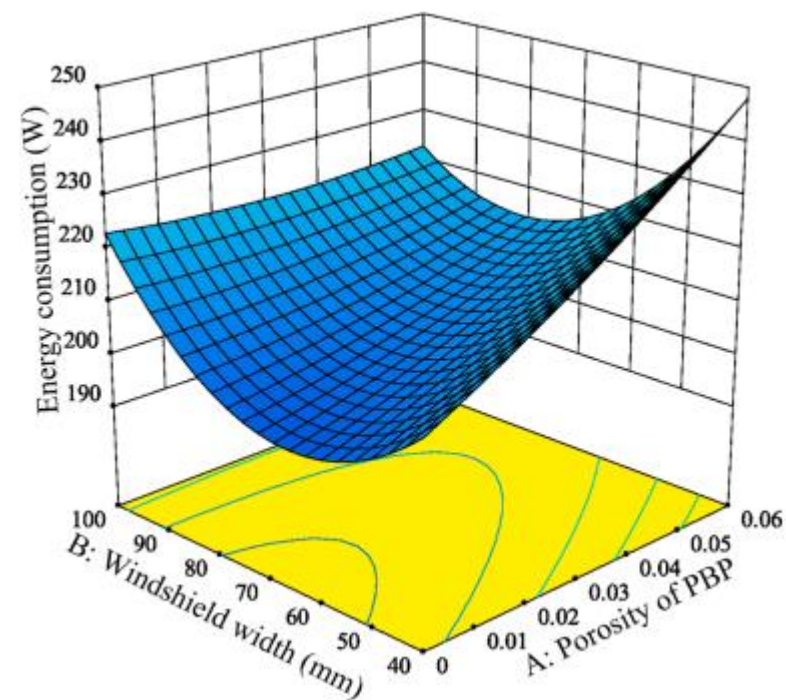


单参数对TEF的影响

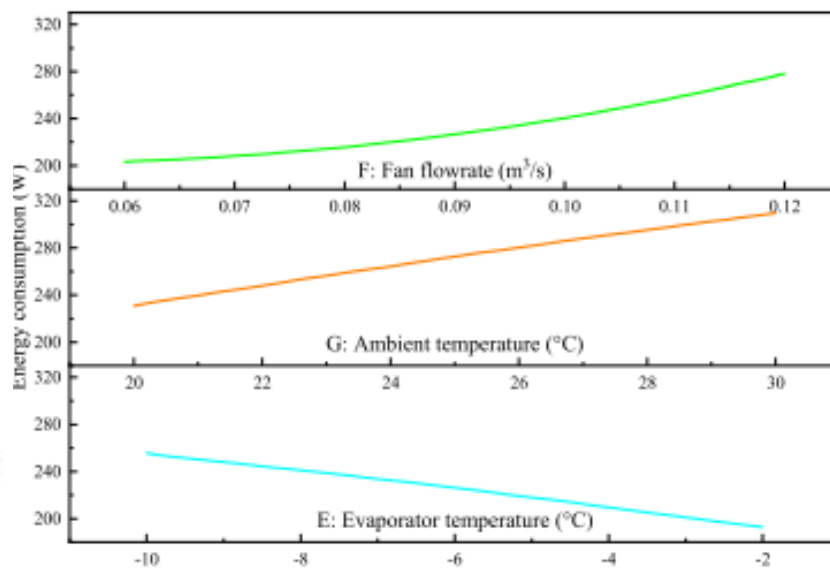
AB, AF及单参数对TEF的影响

二、冷藏陈列柜性能优化

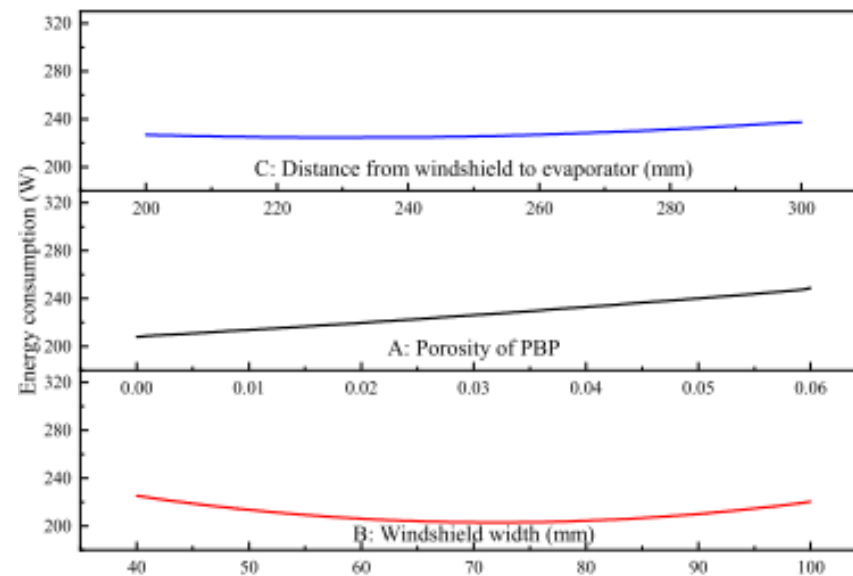
2 多参数对冷藏陈列柜的影响及模型开发



AB的交互影响



单参数F,G,E对能耗的影响

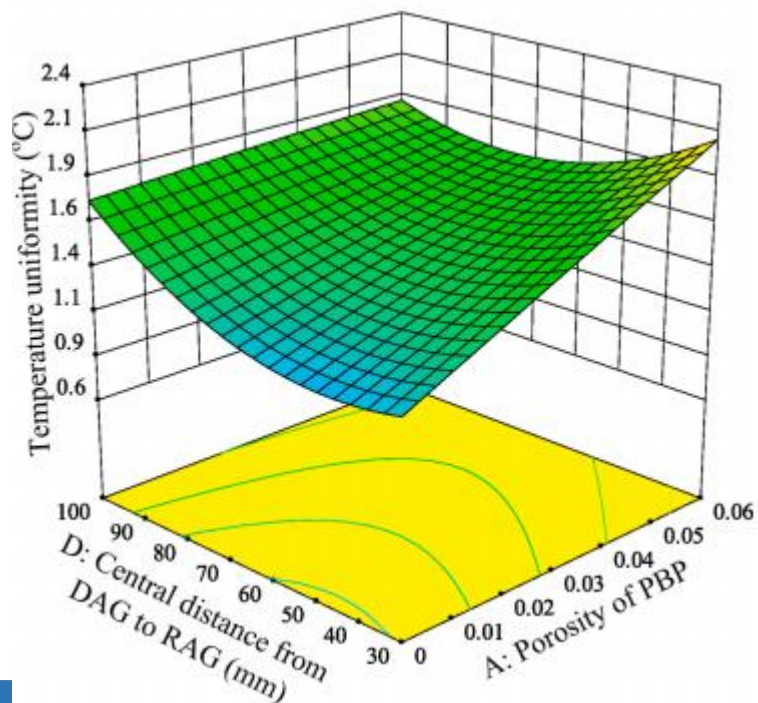
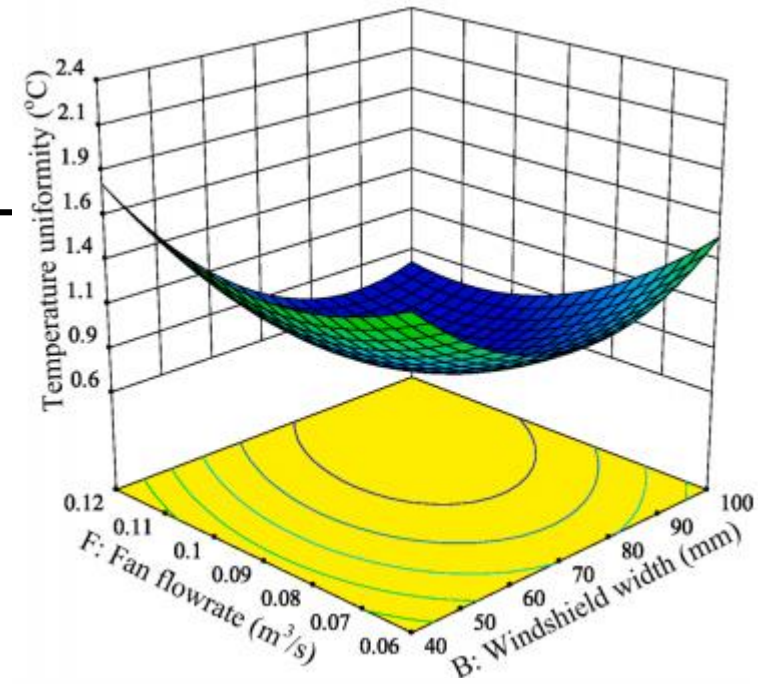
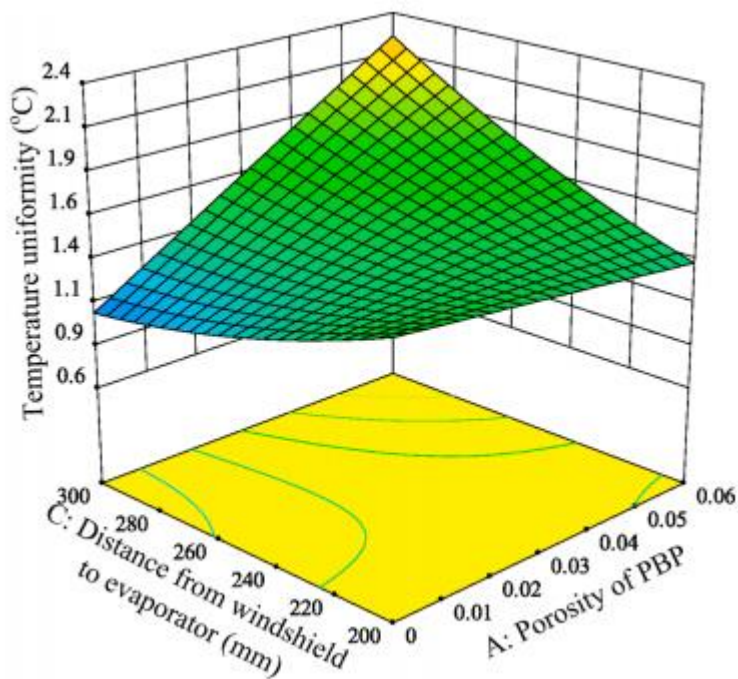
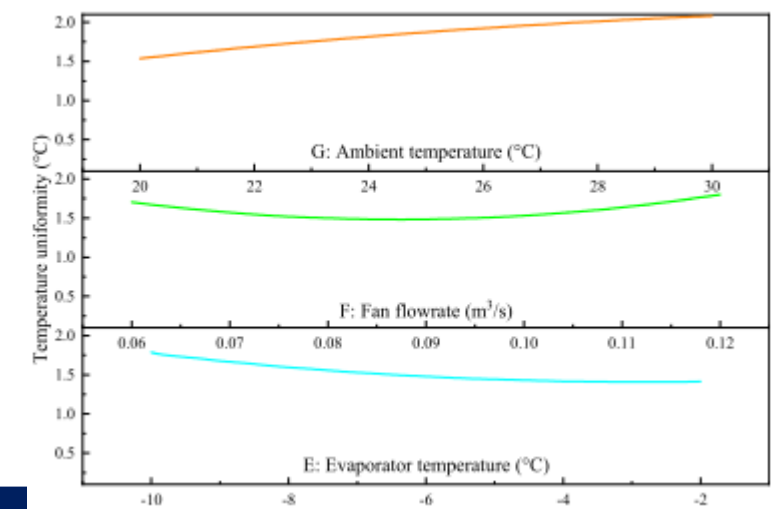
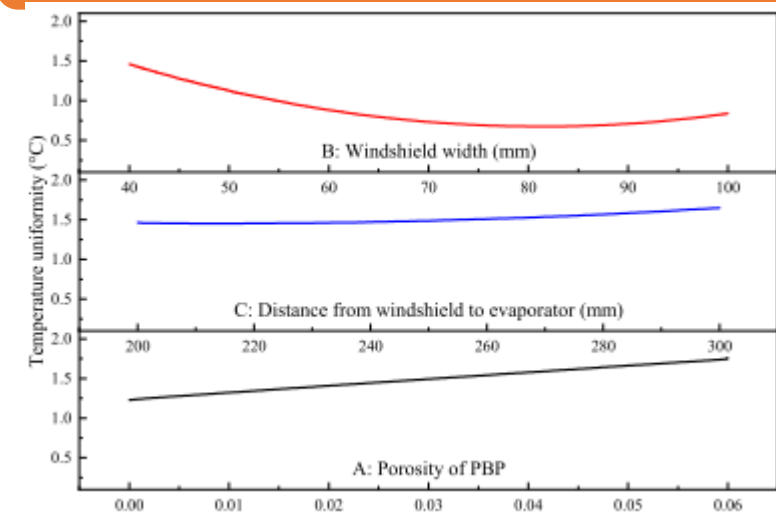


单参数C,A,B对能耗的影响

AB, AF及单参数对能耗的影响

二、冷藏陈列柜性能优化

2 多参数对冷藏陈列柜的影响及模型开发



AC, BF, AD及单参数对均温性的影响

二、冷藏陈列柜性能优化

2 多参数对冷藏陈列柜的影响及模型开发

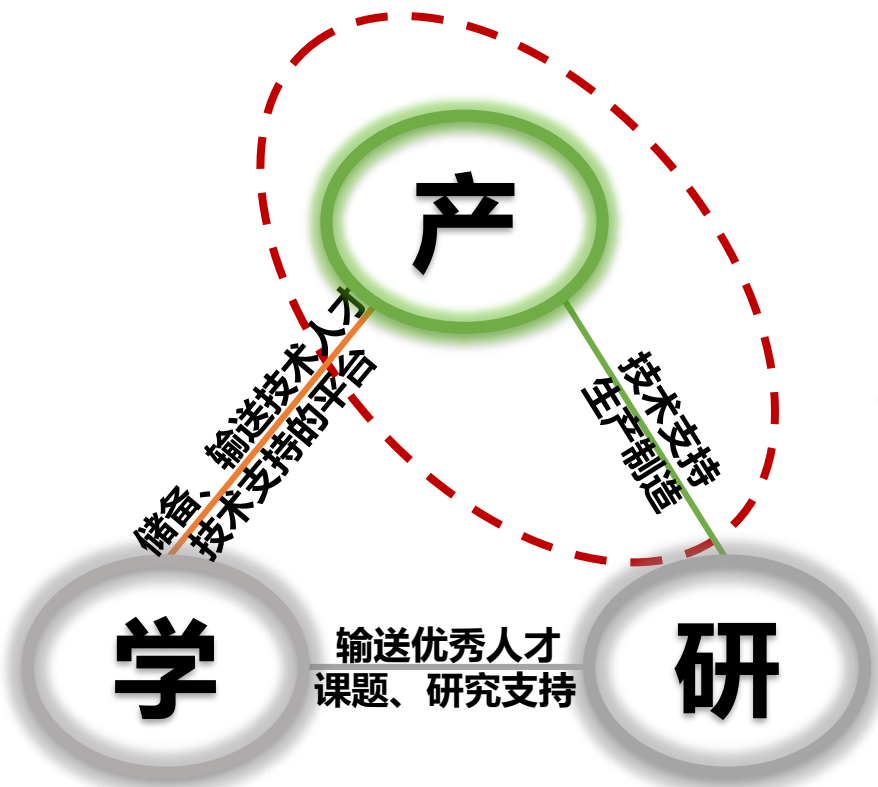
通过响应面分析，可以得到变量与性能指标之间的关系：

$$\left\{ \begin{array}{l} TEF = 0.0959535 - 0.0720281 \times A - 0.0274022 \times B - 0.00948879 \times F - 0.0153206 \times AB \\ + 0.0187967 \times AF + 0.0528802 \times A^2 \\ P_{total} = 246.898 + 11.4528 \times A - 6.40152 \times B + 12.2289 \times C - 34.19 \times E + 44.4176 \times F + 39.5853 \times G - 10.0737 \times AB \\ + 18.9343 \times B^2 + 11.6067 \times D^2 + 15.8578 \times F^2 \\ T_{un} = 1.06726 + 0.26515 \times A - 0.340636 \times B + 0.2897 \times C - 0.190208 \times E - 0.228224 \times F + 0.250735 \times G \\ + 0.351356 \times AC - 0.196666 \times AD - 0.210016 \times BF + 0.432249 \times B^2 + 0.246211 \times D^2 + 0.2788 \times F^2 \end{array} \right.$$

最优化结果：孔隙率为0.06，阻风板宽度为90 mm，阻风板距蒸发器的高度为200 mm，进出风口距离为71 mm，风机流量为0.083 m³/s，环境温度为20 °C。优化后，与优化前相比，TEF、能耗和温度均匀性可分别降低44%、8.4%和0.38°C。

为产品优化提供了一种通用的模型，缩短产品研发的周期

三、产学研探讨



产



- 以企业市场科技需求为导向出发，满足企业发展需要。
- 为科研机构提供科技课题，帮助其完成科研成果转化落地。

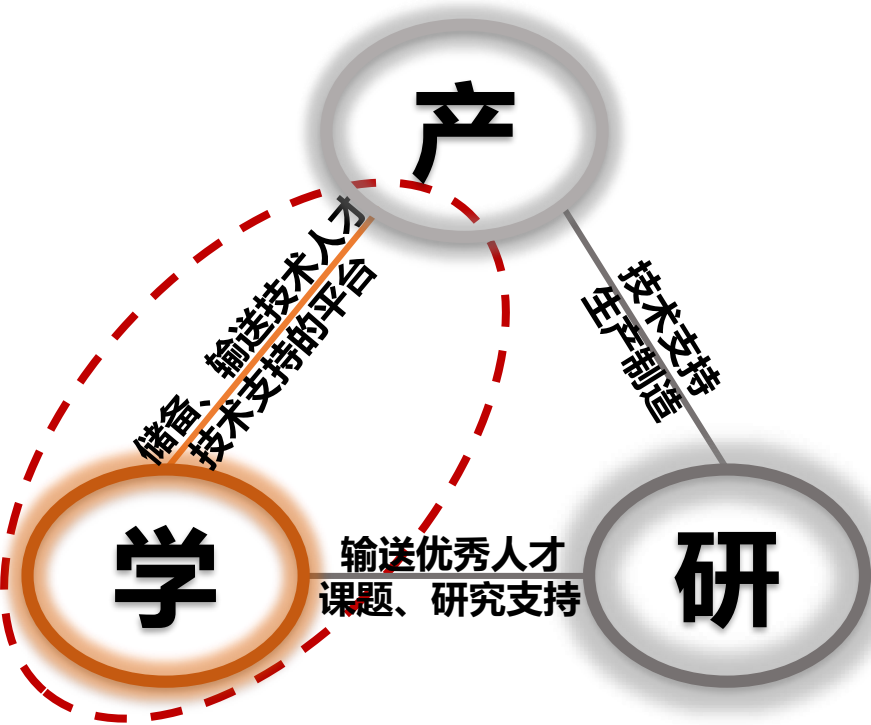


天津商业大学产落实



- 企业与我校学生进行项目交流，成立卓越工匠班，鲍春秀等作为第一批学生代表在公司进行相关研发工作。
- 为我校学生提供相关课题：冷藏陈列柜关键参数优化等等。
- 为验证科研成果提供相关产品样机。

三、产学研探讨



学



- 以学校教育与实际经验有机结合的教育形式。
- 缩小学校和社会对人才培养与需求之间的差距，增强学生社会竞争力。

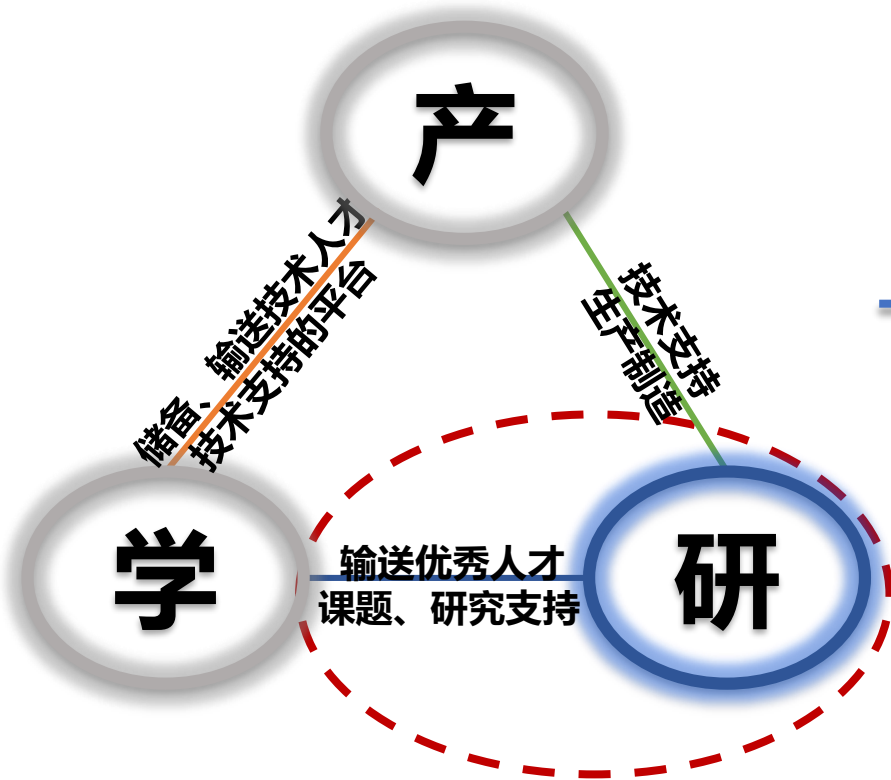


天津商业大学学落实



- 我校与青岛海容开展校企协同育人培养模式。
- 在企业建立企业导师制度和学生遴选制度，目前海容公司已共同参与培养一批学校研究生，取得了实际进展和成果。

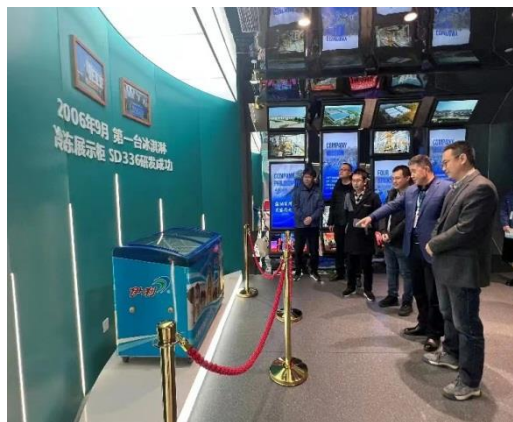
三、产学研探讨



研



天津商业大学研落实



□ 满足企业**实际需求科研成果**，提高科研成果落地转化。

□ 引导学生投身项目中。成果在科技园内孵化，**缩短企业研发周期**。

□ 我校学生在企业进行社会实践，实现**企业全过程培养工科研究生模式**。

□ 将课堂所学知识与企业直接经验相结合，参与人才培养、技术研发、产品研发等方面，使所学内容应用生产实践中，**增强企业研发效率**。

三、产学研探讨

产学研三方共赢局面

- 对于企业，主要研究其发展，新产品的研发，新技术的使用并再创新，使企业永保活力。
- 合作的高校也可从中提高专业理论水平，培养理论结合实际的能力。
- 更多研究课题来自于经济发展的实际需求，适应。

天津商业大学产学研项目落实

挂牌仪式



项目合作



- 赴青岛海容公司开展校企协同育人培养模式交流，建立卓越工匠班。
- 举行“研究生校外实习就业基地”挂牌仪式。
- 我校研究生与企业导师进行项目结果讨论。
- 将优化结果应用到企业生产线中，缩短企业研发周期，提高研发效率。



天津商業大學
TIANJIN UNIVERSITY OF COMMERCE

谢谢！

TIANJIN UNIVERSITY
OF COMMERCE

篤學 弘毅 明德 濟世
DUXUE HONGYI MINGDE JISHI