



科创中国【猪场之旅】2023行：北方猪业发展论坛

# 猪场工程防疫与猪舍冬季通风保温

施正香 教授

中国农业大学

2023.5.9

# 施正香 简介



中國農業大學  
China Agricultural University

- 中国农业大学水利与土木工程学院教授，博士生导师，**北京市教学名师**。
- 中国农业工程学会畜牧工程分会副理事长，中国畜牧兽医学会家畜环境卫生学分会副理事长，农业农村部畜牧业科技工作环境咨询专家组成员、农机化科技创新专家组成员，国家畜禽养殖废弃物资源化处理科技创新联盟专家委员会成员，中国农业国际合作促进会动物福利国际合作委员会专家。
- 主要研究方向：畜牧工程、畜牧环境、动物福利。
- 主持了国家科技攻关、科技支撑、重要技术标准专项、公益性行业（农业）专项、重点研发计划项目等20余项，参与了“国家中长期科技发展规划-农业科技问题研究”、“关于加快畜牧业机械化发展的意见”、“十三五畜牧业科技创新发展战略”等报告编制。
- 曾获省部级科技进步一等奖2项、二等奖5项、创新团队奖1项，发表论文150余篇，出版专著/教材17部，授权发明专利24项、实用新型专利26项。制订“规模猪场清洁生产技术规范 GB/T32149-2015”等国家/行业标准7项。

# 一、问题的提出



## 1.1 养殖场建设与运行管理最关注什么？

疾病控制——能否养活？ → **生物安全**

粪污臭气——邻里关系？ → **环保安全**

无抗饲料——药物残留？ → **食品安全**

# 1.2 强化工程视角下生物安全的必要性

- 现代养猪业属高投入、高风险行业，一旦出现疫情，损失惨重，直接关乎民生。
- 大规模、高密度饲养，交叉感染、疫病难控、环境污染等更加突出。
- 猪场设计和建设中，对**环境控制**认识不到位，没有强化工程防疫设施体系建设，配套设施设备跟不上，加大了运行管理中的疫病防控压力。

**环境：舍内环境、场区环境、场外环境**



**工程技术和装备保证环境的健康与安全**

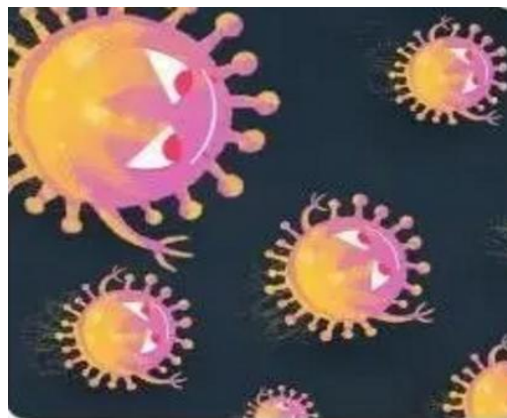
# 二、猪场生物安全工程防疫的持久性认识



## 2.1 树立工程防疫的理念

**工程防疫的概念：**通过工程隔离、合理分区、有效的消毒手段等，阻止其他动物进入场区，防止交叉感染，创造有利于防疫和净化场区环境卫生的工程技术。

- 生物安全防控模型



病原体

传播  
途径



易感动物

## 2.2 如何防控病原体？



能找到来源吗？

防控措施有效性？

是消灭？还是控制？

### ● 主要传播途径是什么？

- **通道**：人员？车辆？物品？
- **动物**：引种？老鼠？鸟类？蚊蝇？
- **粉尘**：空气传播？哪里的空气最危险？ ➡ (进风？排风？)
- **粪污**：既是传染源，又是传播途径！

**关键：工程防疫措施，地面污水流向控制，动物和粪便的及时分离**

## 2.3 如何保护易感动物？



### ● 疾病愈来愈多的根源？

- 养殖场用的疫苗是愈来愈多
- 生物安全措施也是愈来愈严格

**动物活动愈来愈少了！抵抗力下降！**

### ● 最易被感染的部位？

- 呼吸道、肠道——“病从口入”，如何理解？

#### ● 呼吸—空气环境

- 气温、气湿、气流——冷热应激影响免疫力
- 气体组分、气溶胶——病原传播交叉感染源

#### ● 饮水环境

- 水源、水线、投药——饮水管线生物膜污染

#### ● 饲料卫生—霉菌毒素,.....

# 三、猪场工程防控的技术内容



## □ 场区与场外隔离

- 围墙、防疫沟、隔离林带/篱笆，道路联系、出入口/门卫，瞭望/参观点，**消毒通道**，等

## □ 场内分区与隔离

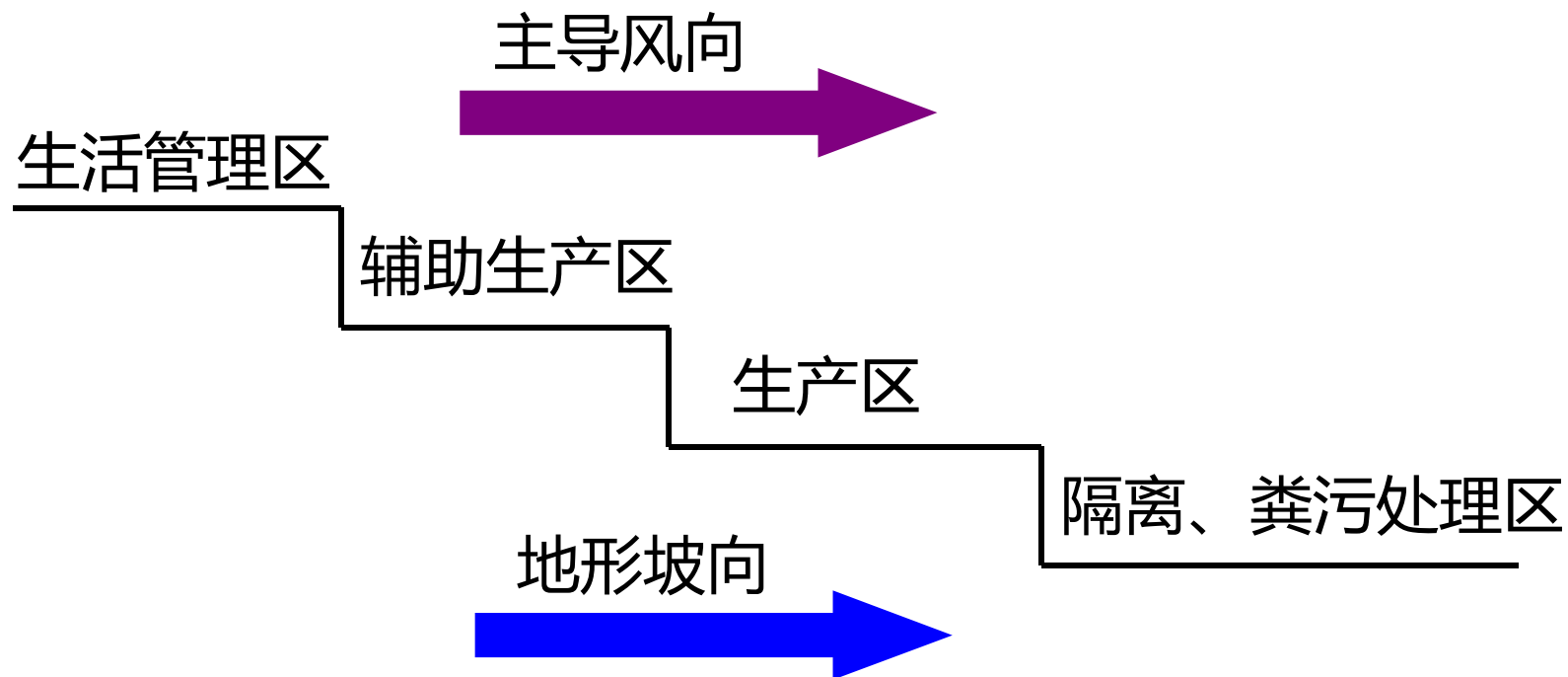
- 隔离距离、隔离带（围墙、林带/绿地）、净污道、栋间距等

## □ 场内

- **更衣室、淋浴间、消毒池、兽医室（？）**、隔离舍、剖检室、病死畜处理设施、粪污处理



# 3.1 场区规划布局要求



各功能区之间应设置围墙或树篱加以分割



# 合理利用风向防止场区交叉感染布局案例

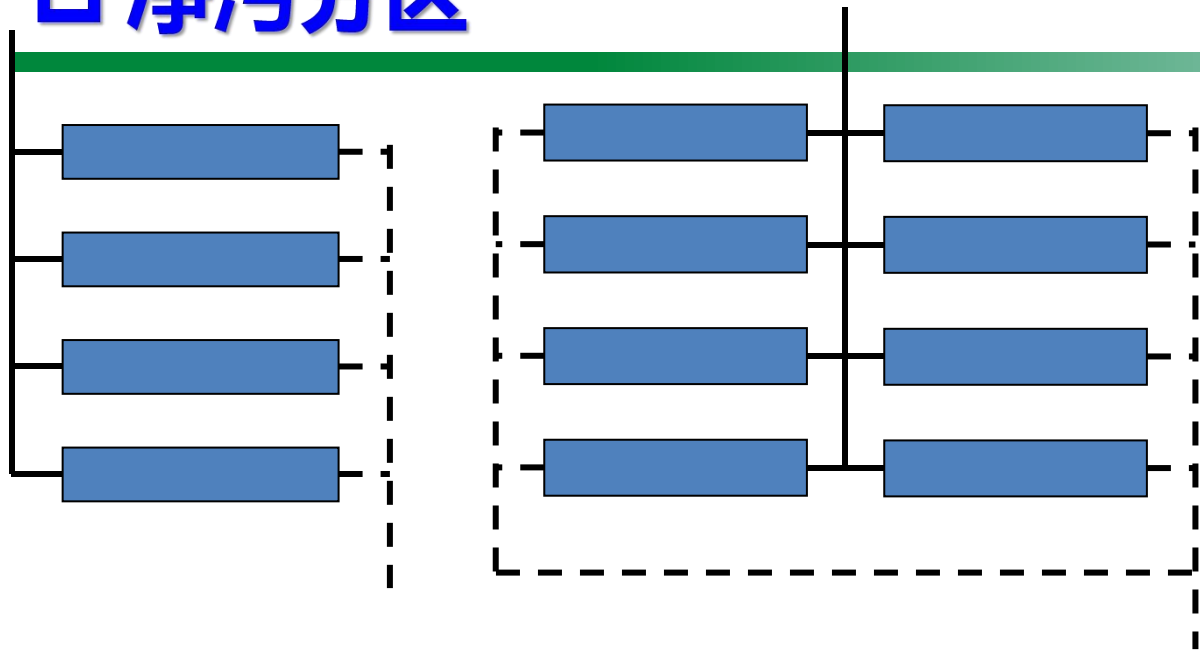


山东民和肉种鸡场



**生产区通风组织应考虑常年主导风向，进入舍内的新鲜空气应与排出的污浊空气分区**

# 口 净污分区



- 净道：畜禽场内供人员及饲料运输的通道。
- - - - 污道：畜禽场内供粪便等废弃物、动物转群及畜禽舍排风侧的通道。



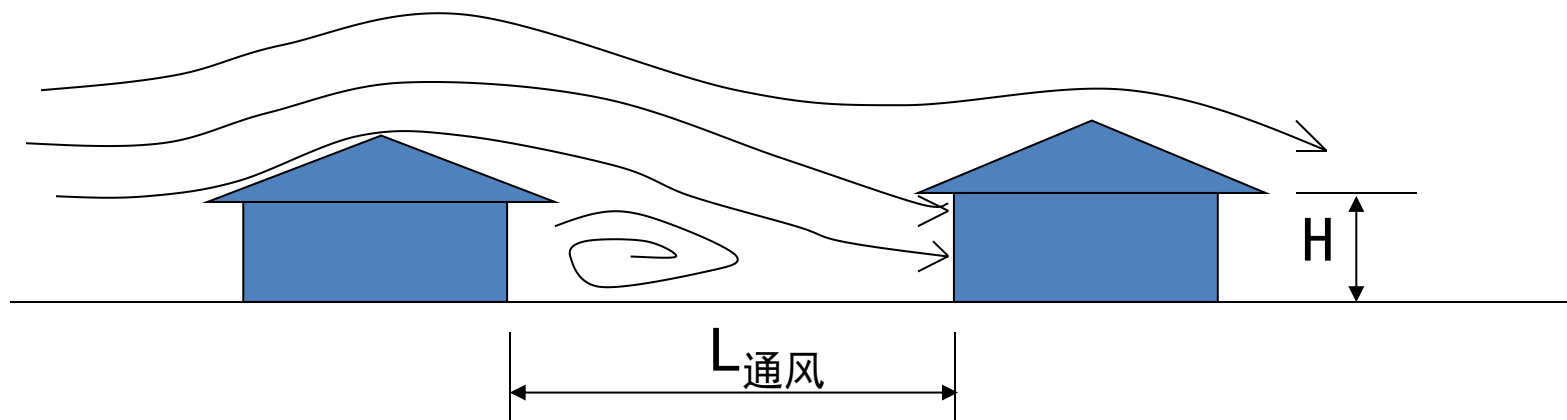
- 场区环境净化？
- 排出空气去处？
- 排风顺主风向！

# 3.2 隔离的间距要求



- **明确场界，按缓冲区、场区、畜舍实施三级防疫隔离。**
- **各功能区之间**
  - 生活区、辅助生产区与生产区之间，生产区与粪污处理区之间大于50m
  - 引种用隔离舍应与病猪舍分开建设，与生产区间距不小于200m。
  - 场区内尸体解剖室、病死畜处理等设施设在下风向，距生产区100m。
  - 无法满足时，可设置围墙、防疫沟、种植树木等加以隔离。
- **猪舍间距**
  - 自然通风间距取5倍檐高，纵向通风取3倍。
  - 不同生长阶段宜分区饲养，易感群应保持与其他舍有更大的间距。

# 畜禽舍通风间距



$$L_{\text{通风}} = (3 \sim 5) H$$

风向入射角为 $0^\circ$ 时取 $(4-5)H$ ， $30-60^\circ$ 时取 $3H$

自然通风时取 $5H$ ，机械通风时取 $3H$

# 3.3 场区消毒设施要求



## ● 车辆消毒通道

- 配置高压冲洗消毒、紫外线照射装置。长度30~50m，进出口1:8~1:10坡度、底部设排水孔，两端最好配自动门。
- 采用静止消毒方式的通道，长度可适当减小。

## ● 大门入口处车辆消毒池

- 设1:8~1:10坡度和地面连接，与大门同宽；池底长不小于4m；池深不小于0.3m；池底设排水孔，耐压、坚硬，防渗漏。

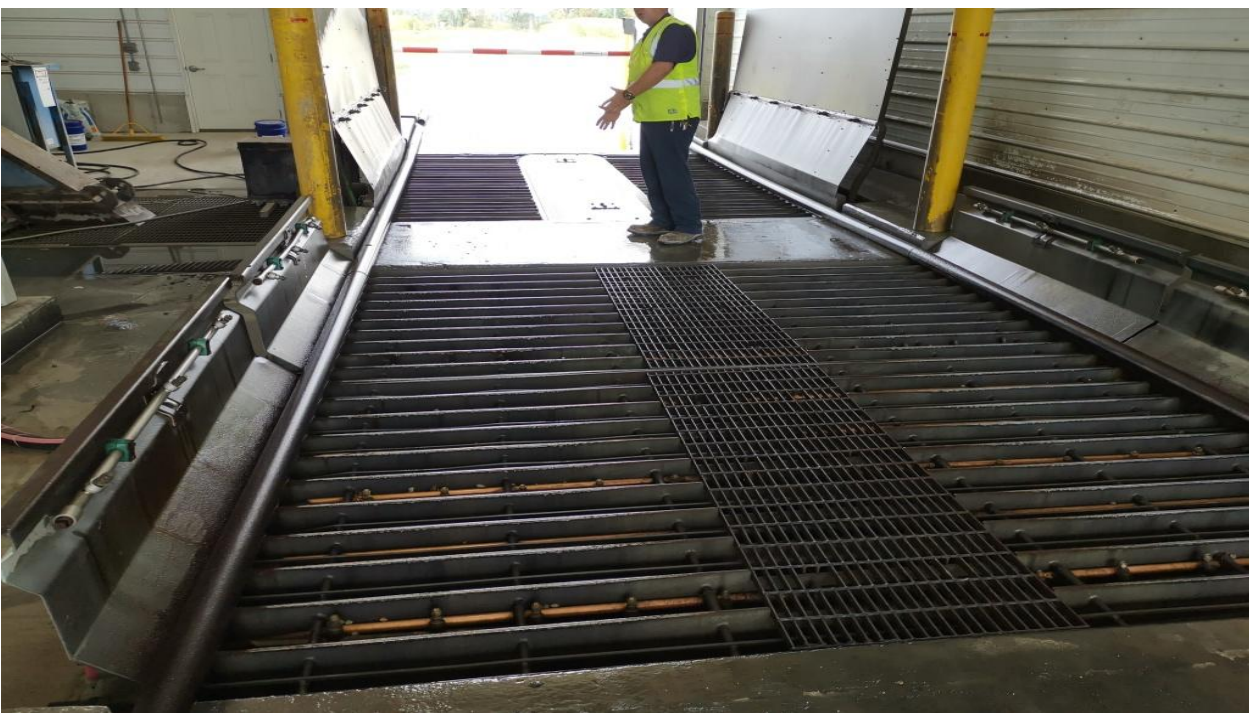
## ● 人员消毒通道或消毒室

- 配置紫外线照射装置、消毒池、消毒湿槽或高压喷雾消毒设施。



## □ 进场车辆的清洗-消毒

- 重点在车辆的底部和侧面的清洗与消毒
- 冬天防冻—热水管加温



# 3.4 舍内工程防疫要求



- 安装的设备基础、脚垫等应牢固、填实、便于清洗，不留清理死角。
- 舍内地面、墙壁、顶棚应便于清洗，并能耐受酸、碱等消毒药液的清洗消毒。
- 配备施药、饮水免疫、喷雾消毒等设备。



**水泥漏粪地板不易消毒，内部病原残留问题**



# 奇昌模式——保持卫生，彻底消毒



中國農業大學  
China Agricultural University



可实施火焰消毒的自洁型碳素钢漏缝地板

## 环境应激，百病之源

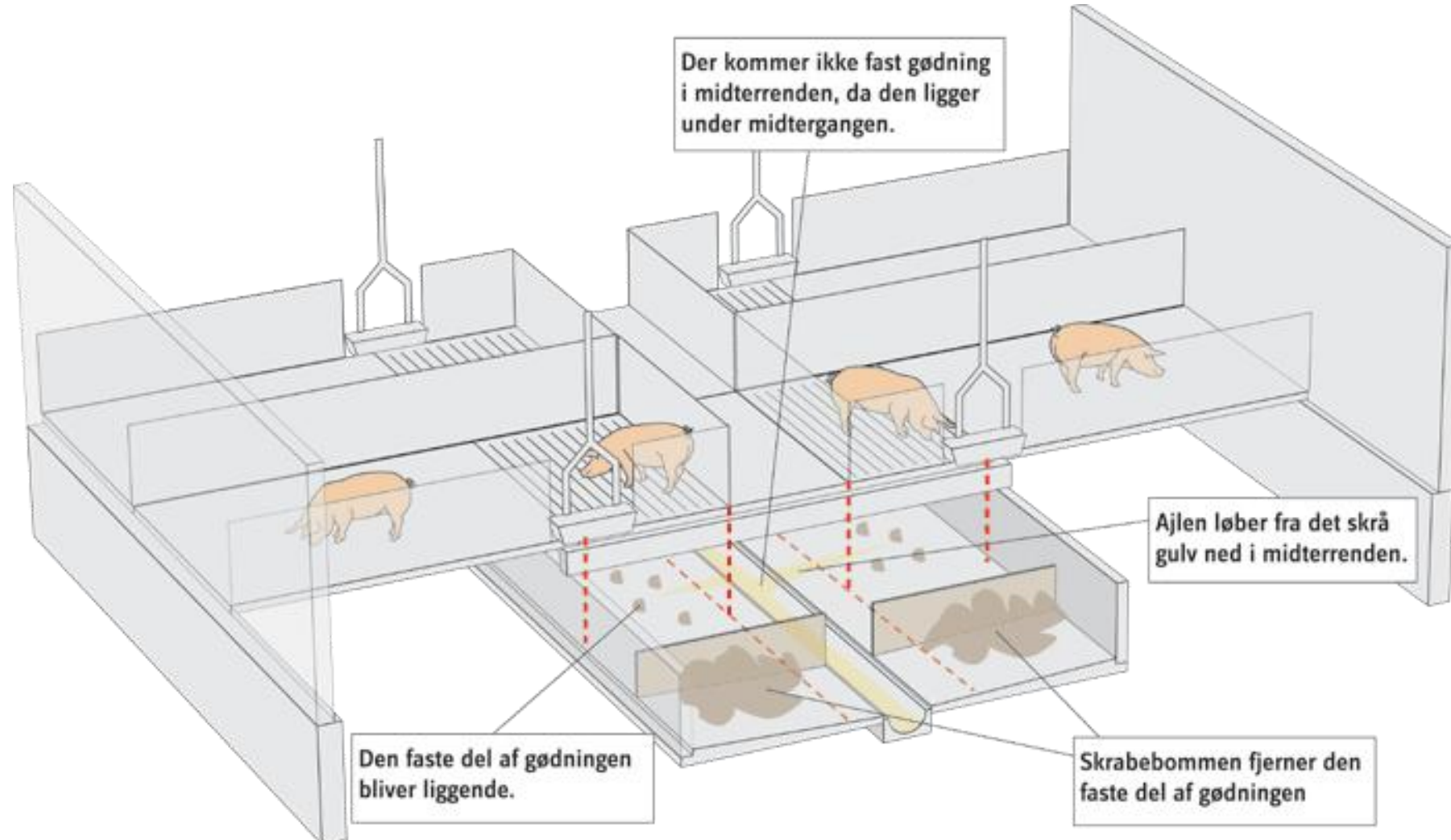
### ● 中国的气候特点

- 冬冷夏热，春秋冷空气影响大

### ● 冷热应激的控制

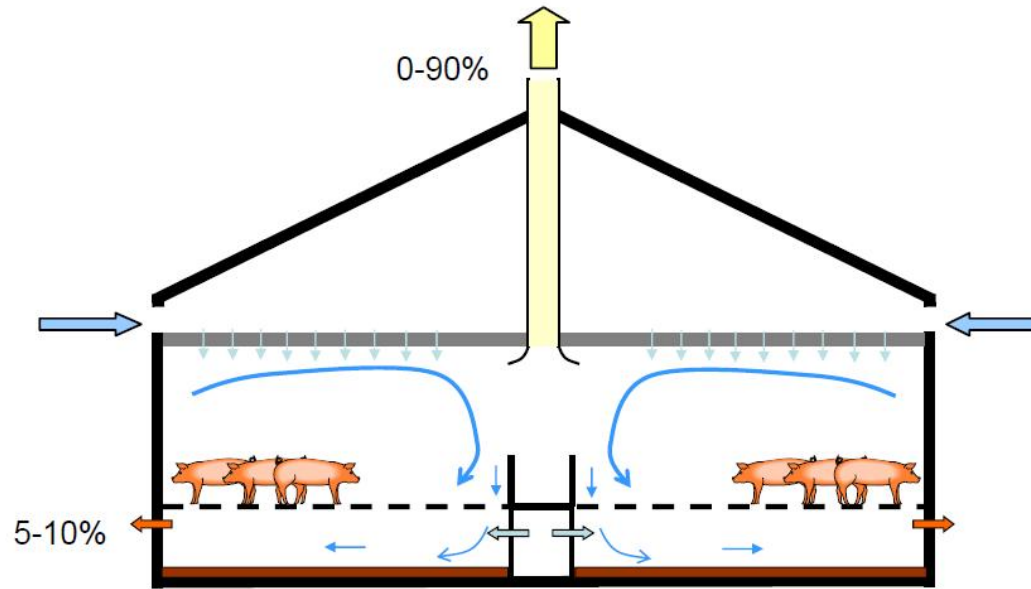
- 舍内气温的范围及稳定性（**稳温**的重要性）
  - 气温骤降幅度应 $\leq 5^{\circ}\text{C}$
- 极端温度下的相对湿度影响
  - 防止“高温高湿”或“低温高湿”！
- 风速控制
  - 气流速度 $\leq 1.0\text{ m/s}$

# 臭气控制



**漏缝地板下的刮板清粪，日产日清，减少臭气排放**

# 水泡粪工艺下的通风技术选择



## 通风量

- 粪坑通风量  $10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{pig}$
- 屋顶通风量  $87 \text{ m}^3/\text{h}/\text{pig}$
- 总通风量  $97 \text{ m}^3/\text{h}/\text{pig}$

# 对舍内空气质量及NH<sub>3</sub>排放量的影响

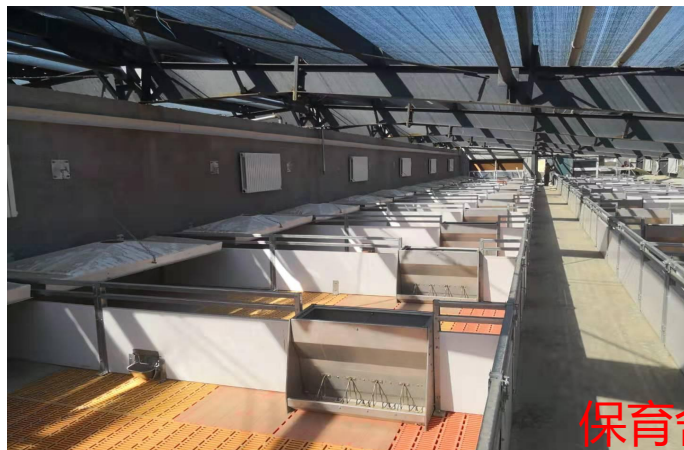


来源	通风方式	风量 m <sup>3</sup> /h.头	NH <sub>3</sub> PPM	NH <sub>3</sub> 排放量 g/天.头	其中粪坑占比, %
Koerkamp et al.(1998)	屋顶通风		14.9	<b>7.7</b>	
Saha et al.(2010)	屋顶通风	48.7	6.5	4.1	
	屋顶+粪坑	61.4+11.6	3.8+10.8	2.5+1.9	43.2
Pedersen et al.(2010)	屋顶通风	52	9.3	<b>7.5</b>	
	屋顶+粪坑	49+10	2.6+20	<b>1.8+3.1</b>	67.7
Zhang et al.(2014)	屋顶+粪坑	75.5+13.3	1.8+12.5	<b>2.4+3.0</b>	55.6
	屋顶+粪坑	80.6+12	2.3+18.6	<b>3.0+3.8</b>	55.1
Zong et al.(2014)	屋顶+粪坑	83.4+9.9	2.1+16.6	<b>2.9+2.7</b>	48.2
	屋顶+粪坑	68.1+9.3	3.4+21.3	<b>3.8+3.3</b>	46.5

Source: Guoqiang Zhang



## ➤ 地沟分级通风系统设计应用



保育舍和育肥舍



在新疆芳草湖项目中配合尿泡粪工艺的地沟分级通风系统

# 四、猪舍建筑与冬季保温



作者	研究内容	研究结论
M.H. Sherman等	建筑冷风渗透造成的热量损失。	在美国由建筑冷风渗透造成的热量损失约占建筑能量总损失的6%-9%之间。
S.J. Emmerich等	冷风渗透对建筑能量耗散的影响。	对于新建的建筑，空气渗透会造成25%的热负荷和4%的冷负荷。
Stegou-Sagia等	模拟分析了窗户透光性对住宅能耗的影响。	住宅采用透光性好的无色玻璃时，全年的消耗的能源低于采用同类型灰色玻璃消耗的能源。
Mohsen等	通过对比实验，研究了保温材料类型及设置位置对住宅能耗的影响。	聚苯板较石棉板保温效果更好，且与无保温时相比，屋顶、墙体均设保温层节能率达到76.8%。
Feustel等	提出一种新型的外墙形式。	将透明的相变材料与保温材料一相结合，既提高了太阳辐射的利用率，又促进了相变材料的蓄放热。
Lee等	通过回归性分析，模拟研究了窗户特性与住宅能耗的关系。	提出最佳窗户性能随气候有所不同，并给出不同地区的最佳窗户类型、尺寸、朝向，为窗户优化提供了理论依据。
Williamson等	研究了墙体热容量对住宅负荷的影响。	提出以热容量评价围护结构热工性能的方法。

# 影响猪舍冬季保温的主要因素



## □ 建筑形式

## □ 结构保温性能

- 建筑物由于保温结构、墙体结构破坏引起贼风

## □ 建筑通风量设计

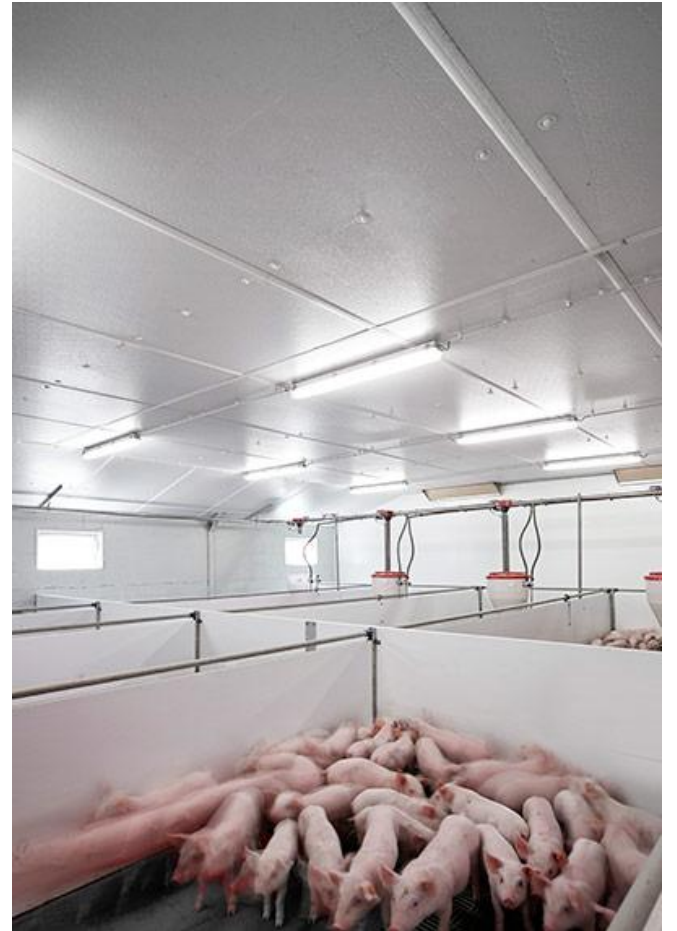
- 由于通风量过大导致舍内温度变低
- 由于通风量过小导致舍内空气质量变差

## □ 建筑通风气流组织设计

- 通风气流组织设计不合理引起的舍内气流分布不均

## □ 猪群饲养密度

- 饲养密度低导致动物产热量无法覆盖供暖负荷





# 4.1 建筑形式

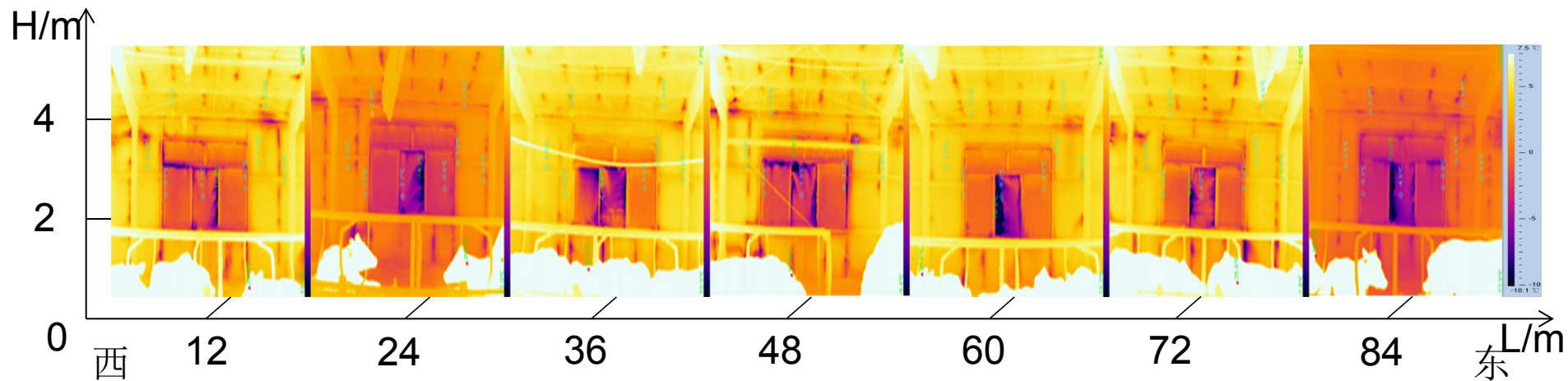


## 测试牛舍概况

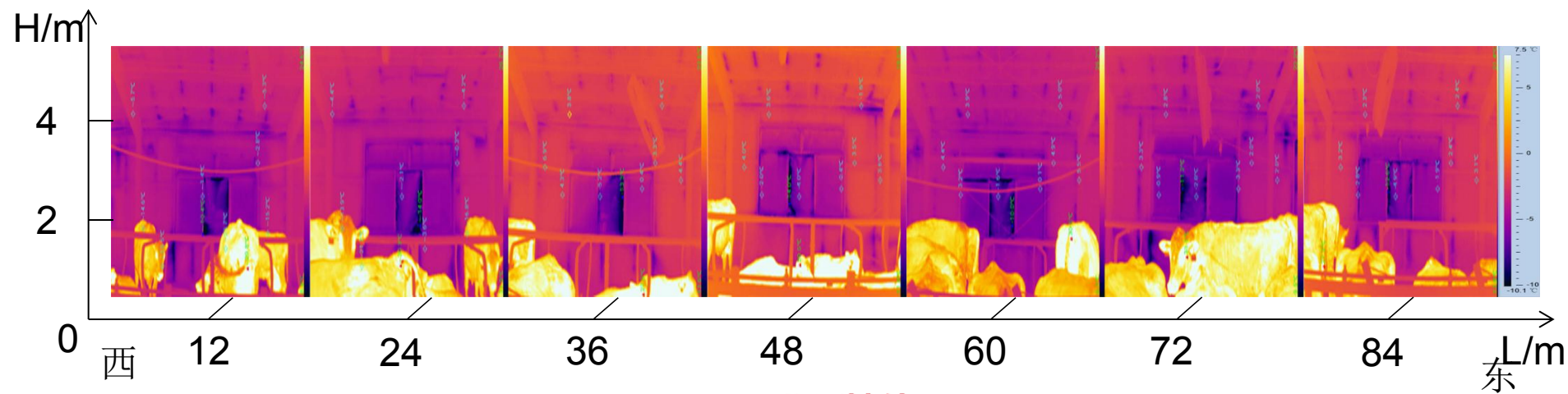
牛场	建筑尺寸(m) (长×宽×高)	奶牛头数	围护结构做法
密山某牛场	96×27×6	220	外墙：100mm厚彩钢夹芯板
			窗：双层中空玻璃窗；门：保温平开门
			屋面：90mm厚彩钢夹芯板
双城某牛场	150×36×8.1	600	外墙:200mm砖墙+60mm聚苯板,200mm厚彩钢夹芯板
			卷帘：PVC包覆涤聚酯纤维；门：电动上翻门
			屋面：300mm厚彩钢夹芯板



# 密山牛舍南北牆表面溫度差異（密閉舍）

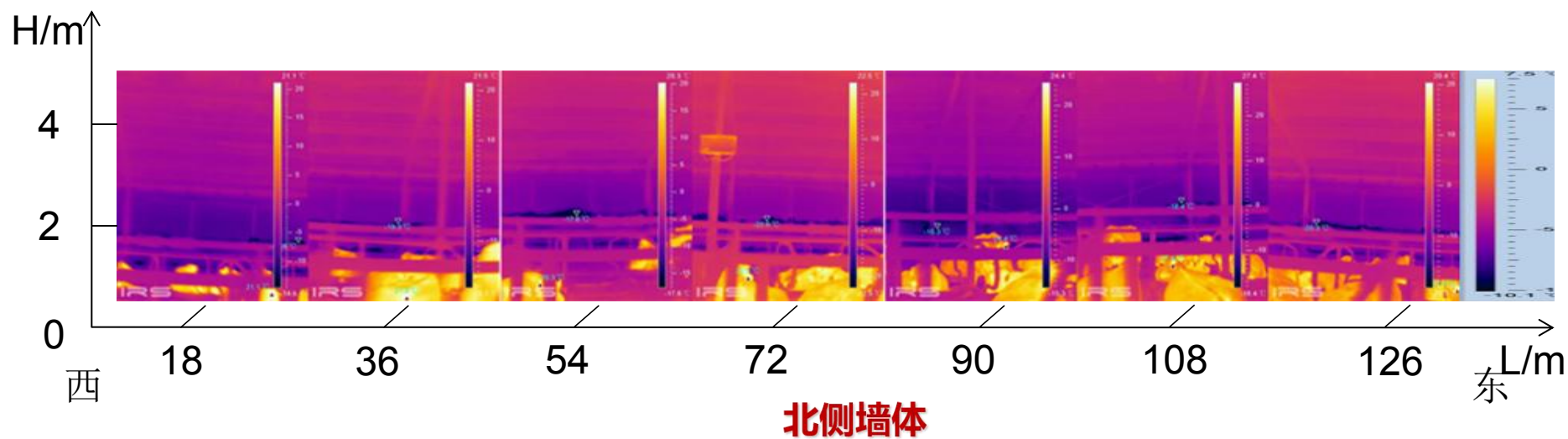
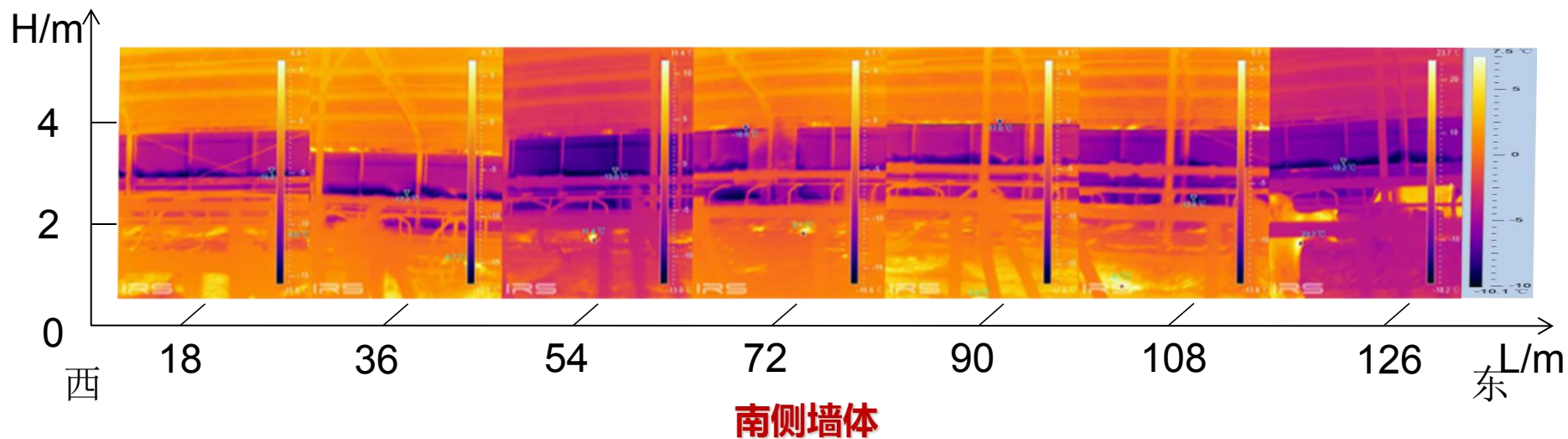


南侧墙体

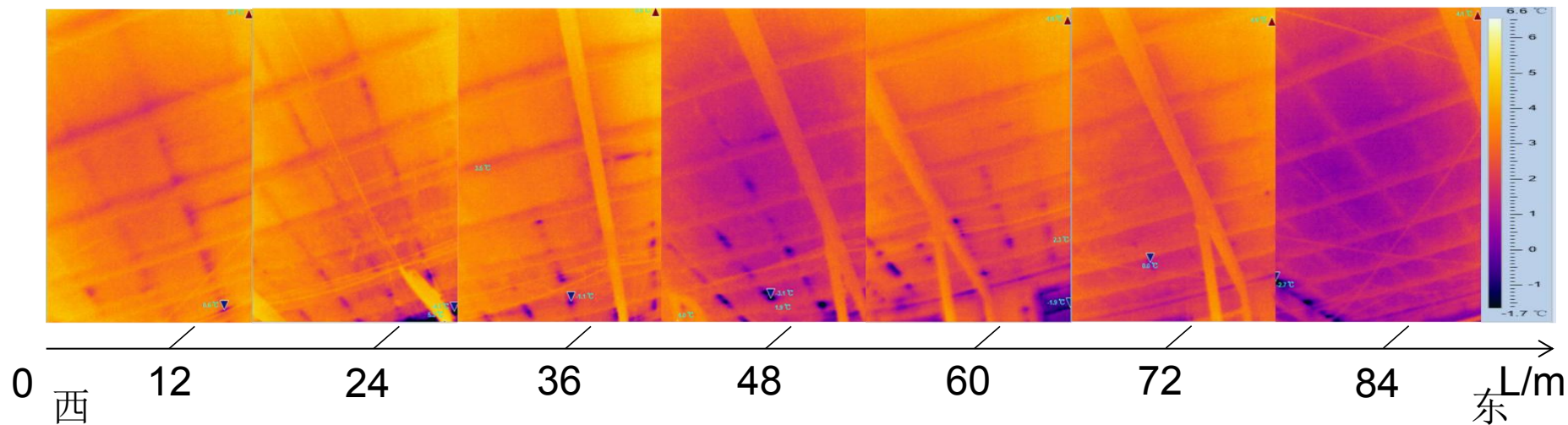


北侧墙体

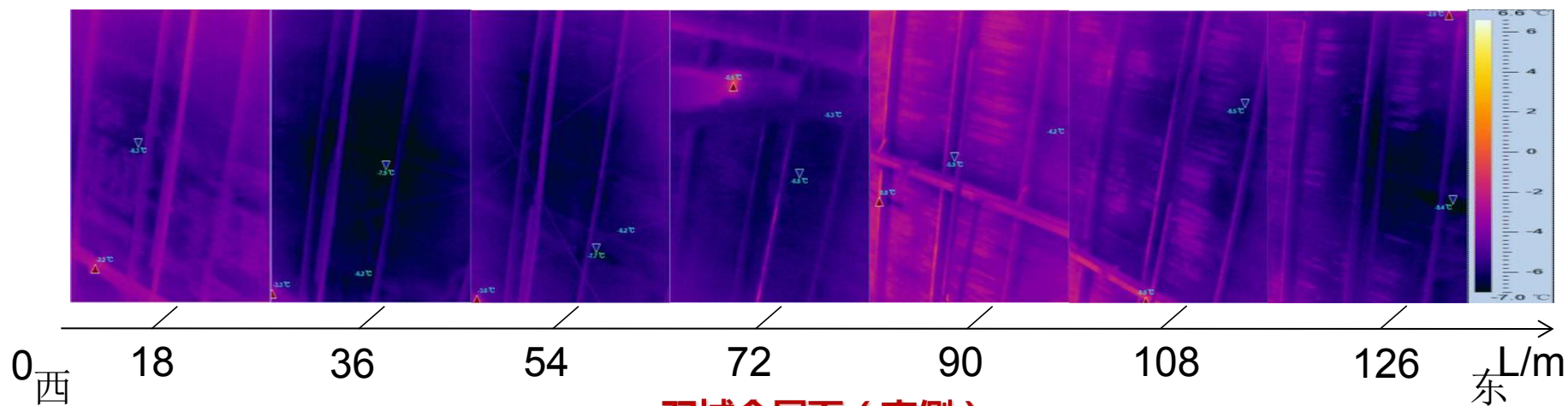
# 双城牛舍南北墙表面温度差异（卷帘舍）



# 密闭舍与卷帘舍屋面温度差异



密山舍屋面 (南侧)



双城舍屋面 (南侧)

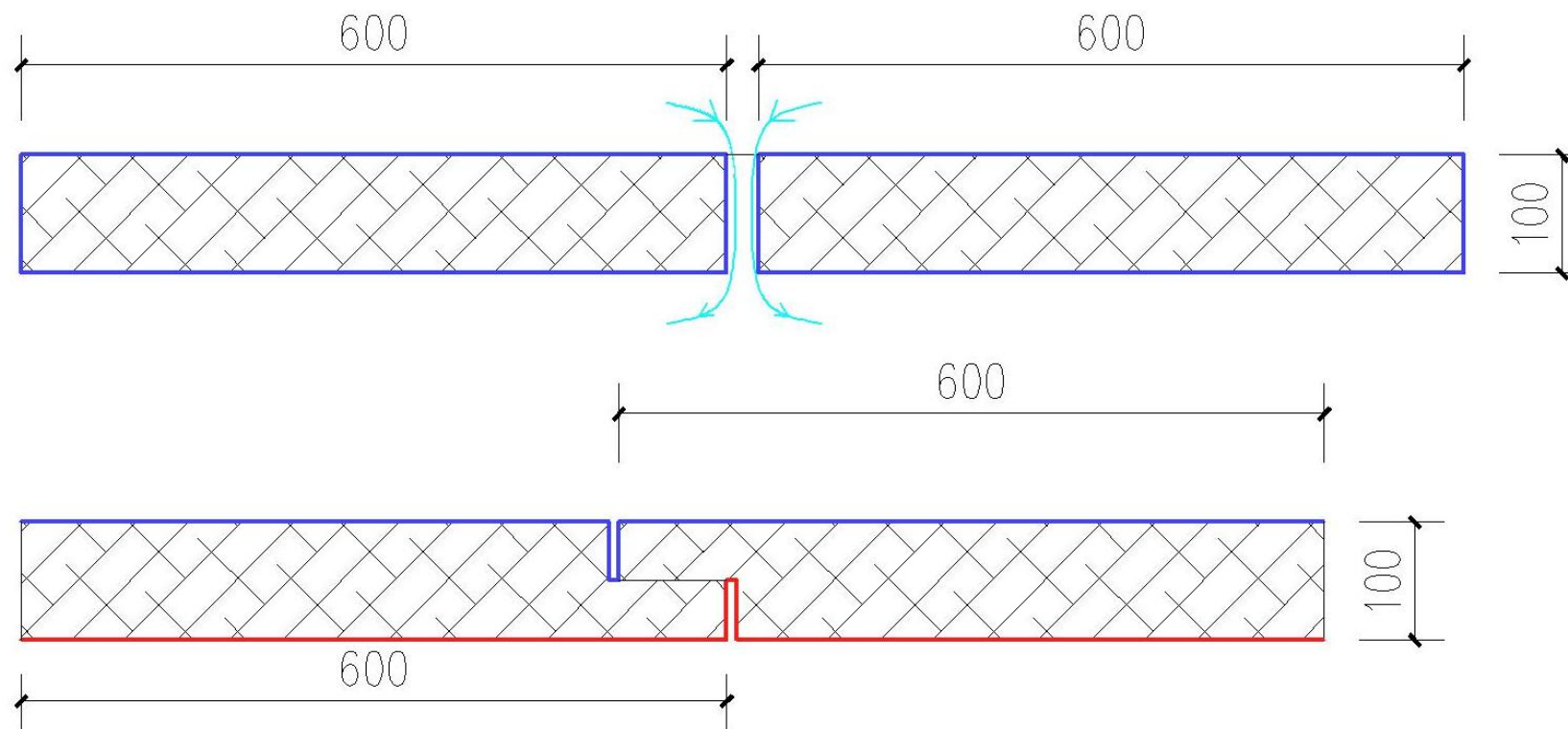


## 密闭舍与卷帘舍的温度比较

牛舍类型	围护结构	最高温度°C	最低温度°C	平均温度°C	室外温度°C	舍内温度°C
密闭舍	南墙	6.1	-14.8	0.7	-20.8±1.2	9.3±2.5
	北墙	4.5	-14.9	-1.8		
	屋面	5.3	-9.7	3.6		
卷帘舍	南墙	-3.1	-20.3	-7.6	-20±2.6	-0.4±2.4
	北墙	-5.2	-23.3	-9.7		
	屋面	2.6	-15.1	-3.2		

**寒区建筑形式宜采用有窗密闭舍**

# ● 阻断冷桥



# 4.2 猪舍建筑的低限热阻



- 保证冬季建筑物内壁不出现结露，导致建筑围护结构散热过快的现象，避免冬季水汽在建筑围护结构内壁凝结。

$$R_o = \left( \frac{t_i - t_o}{\Delta t_y} \right) R_n$$

式中：

$R_o$ -建筑物外围护结构的低限热阻， $(m^2 \cdot ^\circ C) / W$ ；

$t_i$ -冬季室内低限温度， $^\circ C$ ；

$t_o$ -冬季室外计算温度， $^\circ C$ ；

$\Delta t_y$ -室内计算温度与建筑物壁围护结构间允许的差，室内计算温度与建筑物壁围护结构间允许的差， $^\circ C$ ；

$R_n$ -建筑物围护结构内表面换热阻， $(m^2 \cdot ^\circ C) / W$ 。

不同地区的低限热阻

序号	城市	低限热阻 $(m^2 \cdot ^\circ C) / W$
1	南宁	-
2	长春	0.767 (0.959)
3	北京	0.469 (0.586)
4	武汉	0.479 (0.400)
5	贵阳	0.282 (0.353)

注：表中括号外的为建筑围护墙体的低限热阻要求，括号内为屋面的低限热阻要求，“-”为无低限热阻要求

# 4.3 冬季最小通风量设计方案



□ 基于湿度平衡/CO<sub>2</sub>平衡方法估算猪舍冬季最小通风量，建立了保育育肥猪舍冬季最小通风量模型。

$$V_{\min} = \max\{V_t, V_{\text{CO}_2}, V_h\}$$

式中： $V_{\min}$ 为保育育肥猪舍冬季最小通风量，m<sup>3</sup>/h；

$V_t$ 为无供暖热量下的舍内热量平衡确定的通风量，m<sup>3</sup>/h；

$V_{\text{CO}_2}$ 为舍内CO<sub>2</sub>平衡确定的通风量，m<sup>3</sup>/h；

$V_h$ 为舍内湿度平衡确定的通风量，m<sup>3</sup>/h。

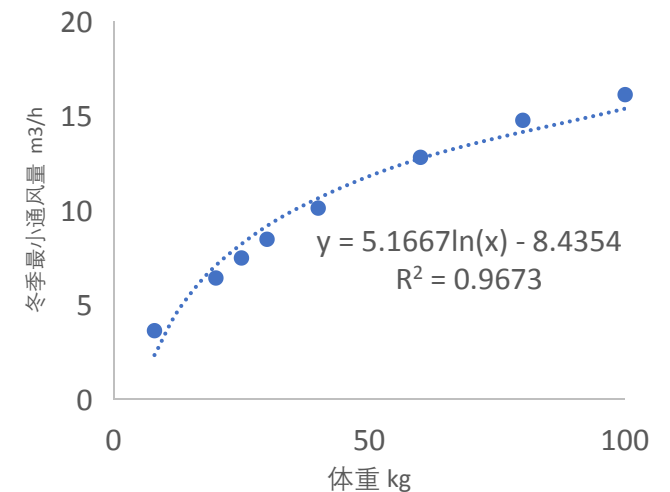
$$V_{\min} = 5.1667 \cdot \ln(m) - 8.4354$$

式中： $V_{\min}$ 为保育育肥猪冬季最小通风量，m<sup>3</sup>/（h·头）；

$m$ 为保育育肥猪体重，kg。

育肥猪冬季最小通风量

序号	体重 (Kg)	冬季最小通风量 (m <sup>3</sup> /h)
1	8	3.60
2	20	6.39
3	25	7.45
4	30	8.44
5	40	10.09
6	60	12.78
7	80	14.74
8	100	16.10



不同体重对应的最小通风量



# 4.4 冬季供暖负荷设计方法



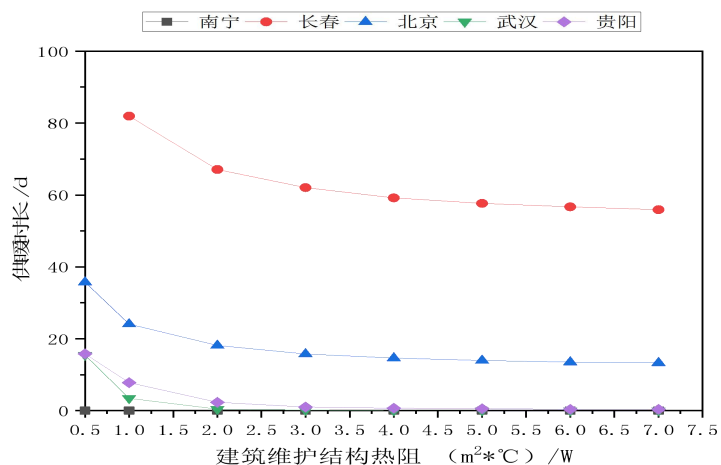
通过对供暖负荷的计算模型分析，舍内每头猪的供暖负荷由猪只的体重、舍外温度、饲养密度及建筑围护结构热阻所决定。

➤ 保育阶段每头猪的供暖负荷：

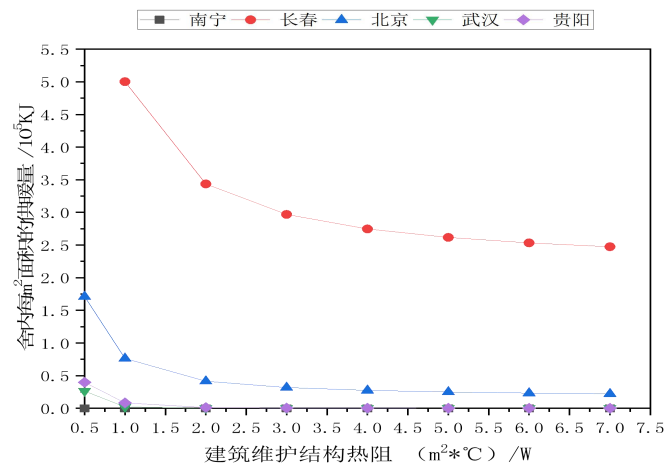
$$Q_{psi} = 31.13 \times n - 3.048 \times t_0 + 3.72 \times m^{0.75} + \frac{16.37}{R} - 0.61 \times \frac{t_0}{R} - 1.89 \times m - 15.27$$

➤ 育成育肥阶段每头猪的供暖负荷：

$$Q_{psi} = 31.09 \times n - 5.42 \times t_0 - 52.01 \times m^{0.75} + \frac{31.52}{R} - 1.08 \times \frac{t_0}{R} - 13.06 \times m + 226$$



育成育肥猪舍全年供暖时长



育成育肥舍全年供暖量

# 基于能质平衡的猪舍环境预测软件



中國農業大學  
China Agricultural University

结合低限热阻、最小通风量设计、保温热负荷设计，开发了猪舍环境预测软件

猪舍环境模拟平台

数据输入

- 本地全年气候数据
- 输入参数

Plot

分析评价

帮助

请上传气象数据

目标猪舍所在城市气象数据

支持格式(.csv/.txt)

Browse... No file selected

或选择案例城市气象数据

- 哈尔滨
- 北京
- 重庆
- 昆明
- 海口

猪舍类别及入栏时间

猪舍类别: 种公猪 月: 3 日: 2

工艺参数

入栏猪量 (KG)	出栏猪量 (KG)	饲养量 (头)	饲养周期 (天)
25	110	2240	105

建筑参数

建筑大小	门数量和面积	窗户数量和面积	围护结构传热系数
东西长 (m)	门数 (南墙)	窗户数 (南墙)	墙(W/(m <sup>2</sup> ·°C))
87.8	1	8	2.02
南北长 (m)	门数 (北墙)	窗户数 (北墙)	门(W/(m <sup>2</sup> ·°C))
24.24	1	8	6.4
层数 (m)	门数 (东西墙)	窗户数 (东西墙)	窗(W/(m <sup>2</sup> ·°C))
3	2	0	6
屋面厚 (m)	门面积 (m <sup>2</sup> )	窗户面积 (m <sup>2</sup> )	天花(W/(m <sup>2</sup> ·°C))
4.2	3	2.4	0.47

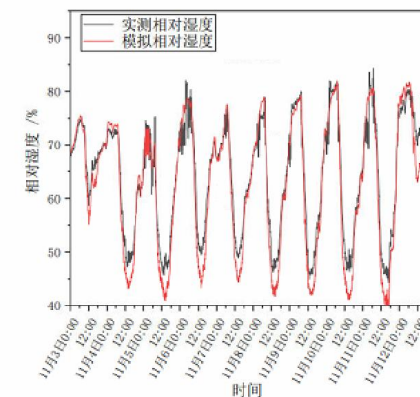
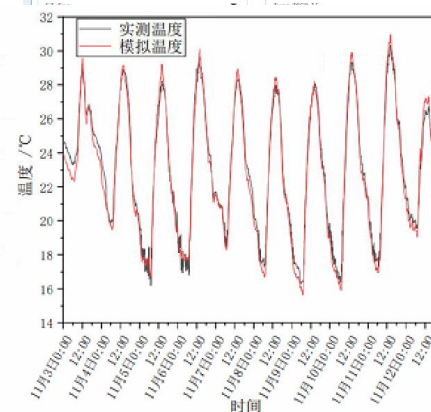
标准环境参数

舍内最高温度 (°C)	二氧化碳浓度 (ppm)
28	3000
舍内最低温度 (°C) (极端低温)	相对湿度 (%)
13	85
可调控棚舍外温度 (°C)	开启遮阳时舍内温度 (°C)
29	28

设备参数

风机型号1 (风)

窗型号

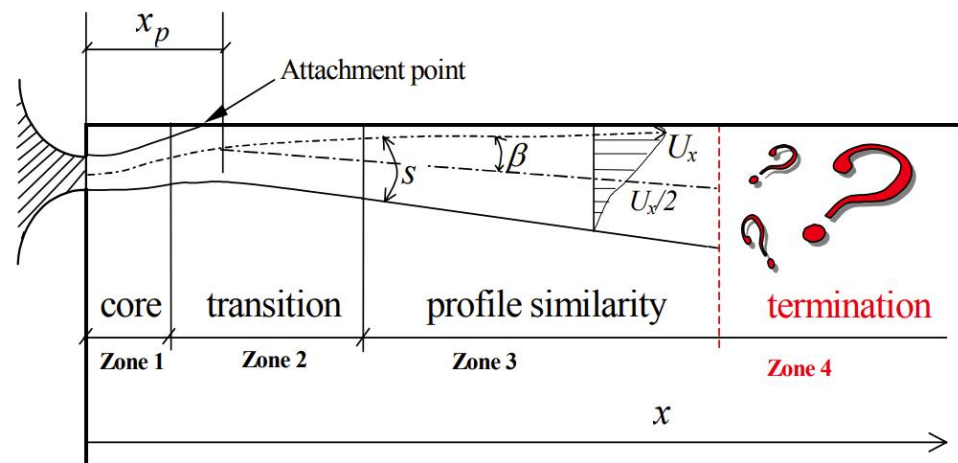
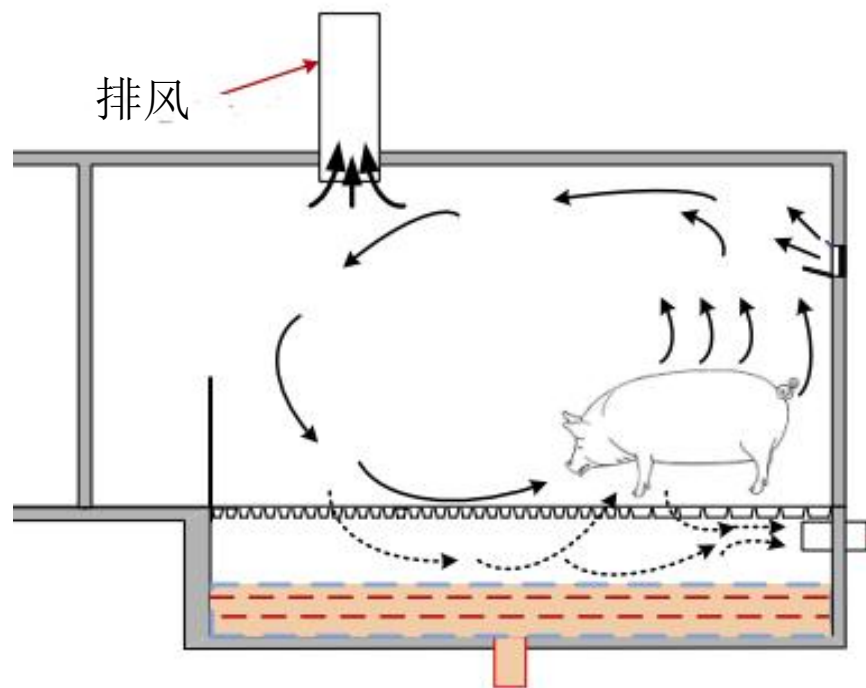


输入: 工艺、建筑、室内外环境参数  
输出: 舍内环境温湿度、相关结果分析

# 4.5 冬季猪舍气流组织



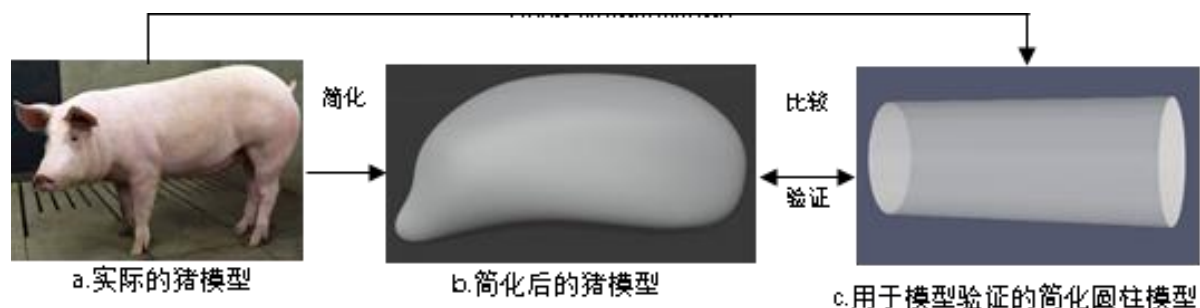
- 与夏季不同，冬季猪舍通风主要考虑提升舍内空气质量，为了避免贼风直射猪体，通常考虑构建舍内气流循环，入射空气经天花板循环后到达猪体附近。



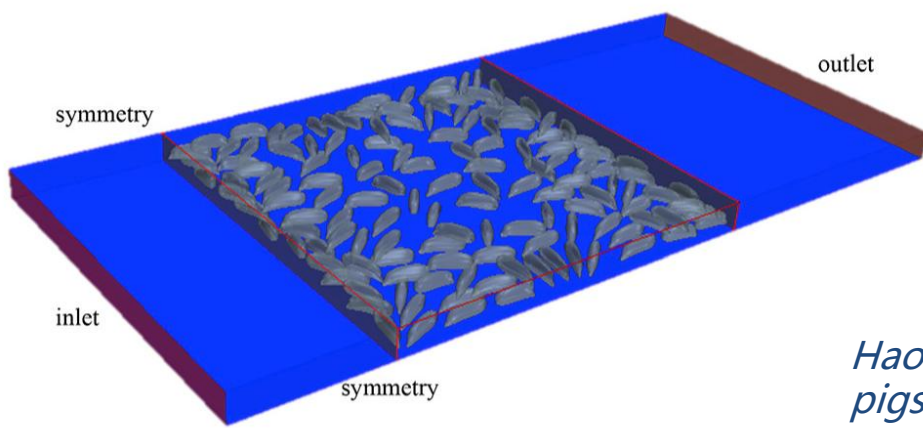
实际应用中射流落点并不明确

## ●基于CFD的猪舍通风系统优化研究

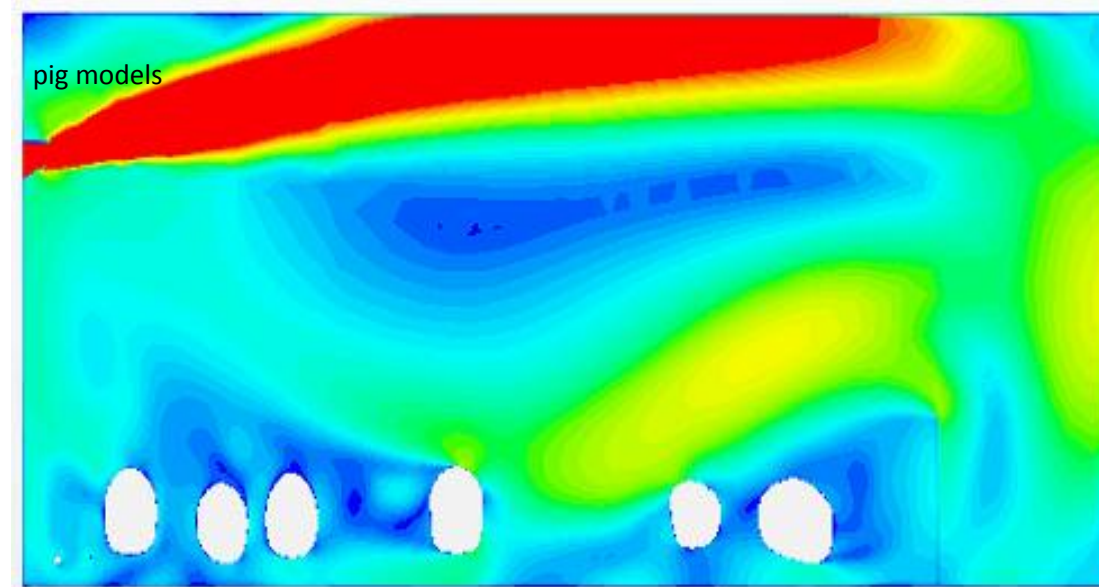
- 基于CFD模拟构建了猪只模型，在此基础上研究了不同猪只分布的猪群阻力性能及对流散热变化特征，可有效进行冬季通风系统的设计。



**单体**

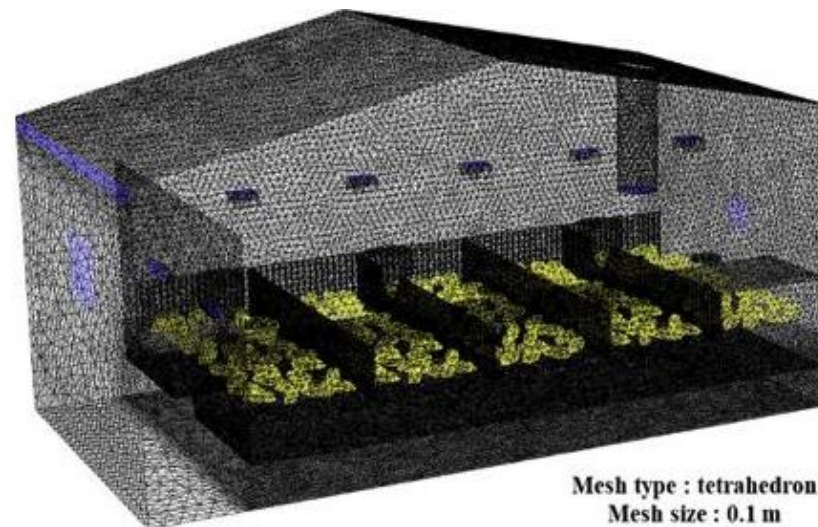


**群体**



*Hao Li et al., CFD prediction of convective heat transfer and pressure drop of pigs in group using virtual wind tunnels: Influence of grid resolution and turbulence modelling. Biosystems Engineering. 2019, 184: 69-80.*

# ● 基于VR的猪舍通风可视化展示



Mesh type : tetrahedron  
Mesh size : 0.1 m



# ● 基于VR的猪舍通风可视化展示



中國農業大學  
China Agricultural University



# 4.6 冬季猪舍门窗、通风口管理



中國農業大學  
China Agricultural University

## ● 冬季易碰到的问题



通风帽堵塞



门缝结冰



风机结冰

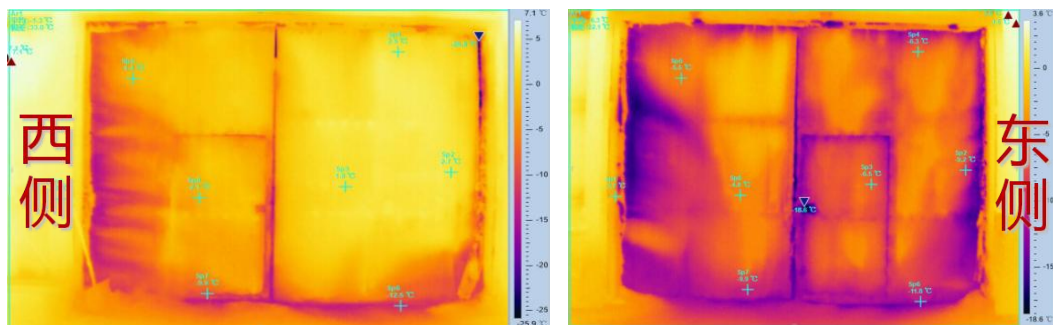


屋面板结霜，高处滴水

# ● 门窗管理



可开放封闭舍可选择双层充气膜、双层阳光板提高侧墙保温性能

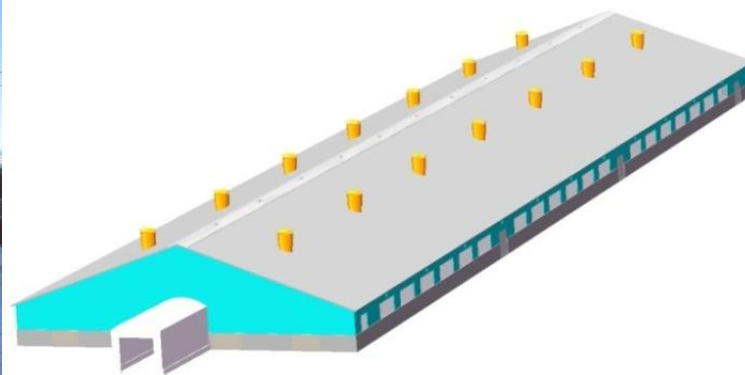


大门

室外-20°C时，东侧大门的温度较西侧低5-6°C



门口挡风处理



门斗，可使舍内提高6°C





## ● 屋顶风帽和风机冬季管理

- 烟囱壁采用绝热材料，以保证在通风条件下内壁不因结冰而堵塞。
- 风帽开口大小可调，开口处设防鸟网。



吉林白城镇赉原生态牧场的通风帽——无烟囱壁构造，只留下防雨雪的“帽子”。



# 五、猪舍局部加温和保温



## ● 地暖式仔猪暖床



### 暖床（门帘、地板加温）

- 有利于仔猪躺卧区恒温控制，有效解决仔猪腹泻；  
仔猪淘汰率减少9%，21日龄仔猪增重增加0.5kg



# ● 母猪躺卧区局部温控方法





**谢谢，请批评指正！**

**施正香**

**Email : [shizhx@cau.edu.cn](mailto:shizhx@cau.edu.cn)**

**手机 : 13910796832**