控温保质储粮技术应用

Applications of grain storage technology for temperature control and quality preservation

石天玉

Dr. Shi tianyu

2024.09

Sharing for Learning

CONTENTS

1 低温仓及保温隔热技术
Low-temperature warehouse and thermal insulation technology

2 控温储藏要点和措施
Key points and measures of temperature control grain storage

3 低温保质储藏技术工艺
Low temperature and quality preservation technology

4 粮食储藏控温控湿设备
Temperature and humidity control equipment for grain storage

5 控温储藏智能控制系统
Intelligent control system of temperature control for grain storage

01

低温仓及保温隔热技术

Low-temperature warehouse and thermal insulation technology

1、适合低温储粮的新仓型研究

New warehouse types for low temperature grain storage

低温储藏仓房典型设计——与仓储控温工艺相适配

Typical design of low temperature warehouse: matching the temperature control technology

稻谷、大米保鲜储藏关键技术装备

研发与示范

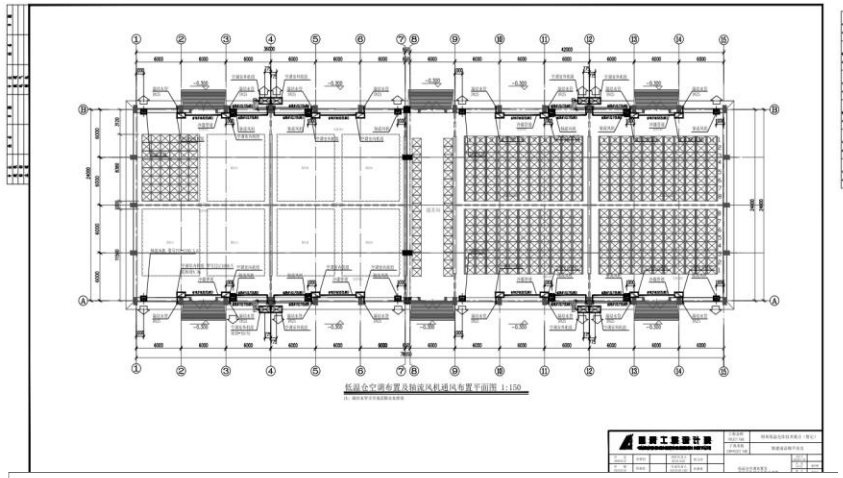
稻米保鲜平房仓

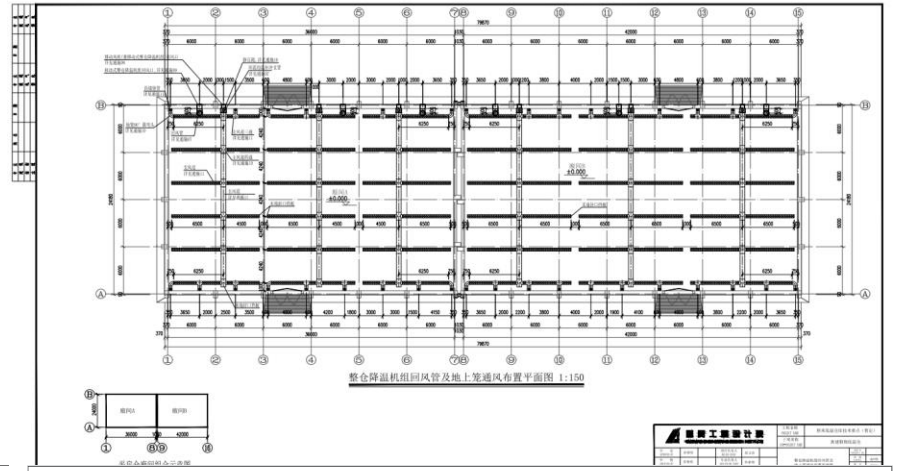
设计要点

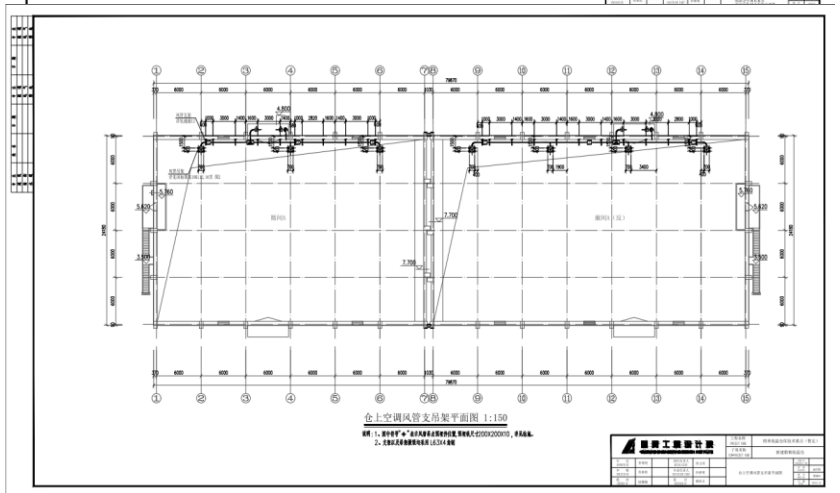
Key points of design of grain fresh-keeping warehouse

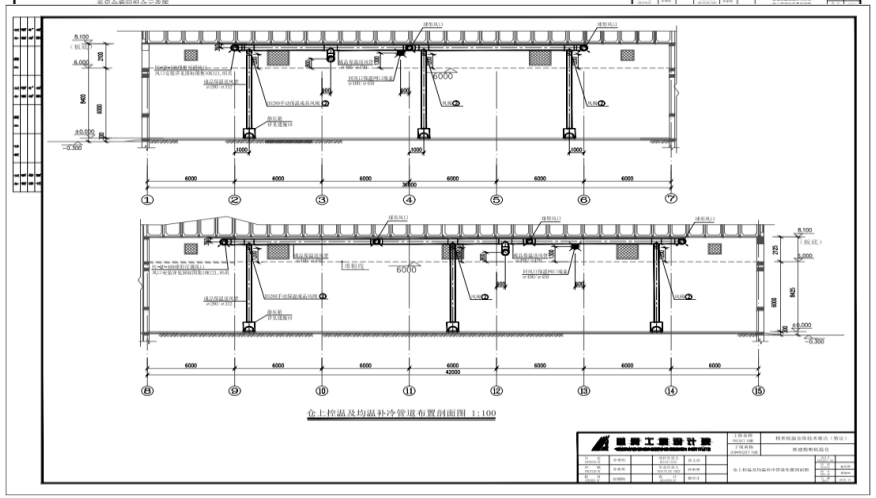
编制单位：国贸工程设计院

编制日期：二〇一九年十一月









空调、管网、边壁、光伏

Air conditioning, pipelines, side wall, photovoltaic

低温储藏仓房设计技术要点-制定 行业、地方低温储粮标准

Key technical points: Establishing standards of local low-temperature grain storage

1、 低温储粮区域的划分

根据《粮油储藏技术规范》GB/T29890 中我国储粮生态区域的生态特点，结合低温储粮的主要储粮措施要求，将低温保鲜储粮区域划分为低温区、中温区、高温区三大区域。

表 1 储粮生态区与对应省份

低温保鲜储粮区	对应储粮生态区	对应主要省份
低温区	第一区、第二区、第三区、第四区	黑龙江、吉林、辽宁、山东、 河北、北京、天津、山西、甘肃、青海、宁夏、内蒙古、新疆和西藏等省市自治区和直辖市的全部地区、河南和陕西部分地区
中温区	第五区、第六区	贵州、湖南、江西、浙江、上海、安徽、湖北、重庆的全部地区,云南、 四川和江苏大部分地区,福建、广西、河南和陕西部分地区
高温区	第七区	海南、广东、台湾的全部地区,以及福建大部分地区、广西和云南部分地区

备注：低温区的第一、二区应防止粮食水分过度损失造成重量

表 3 传热系数 K 的经验值

仓内外温度之差(℃)	K 值(W/ m²•K)
60～ 50	0. 23～ 0. 29
50～ 35	0. 29～ 0. 35
35～ 30	0. 35～ 0. 41
30～ 25	0. 41～ 0. 46
25～ 20	0. 46～ 0. 52
20～ 15	0. 52～ 0. 58
15～ 10	0. 58～ 0. 70

3、 低温仓房气密性要求

建议最低达到气调仓房三级标准（500Pa 降低到 250Pa 时间 2-4min 之间）。

2、 不同区域的低温粮仓的围护结构设计传热系数

表 2 不同储粮生态区围护结构传热系数限值

低温保鲜储粮区	对应储粮生态区	墙体传热系数（W /m²·K）	屋盖传热系数（W /m²·K）
低温区	第一区、第二区、第三区	0.59~0.70	≤0.5
中温区	第四区、第六区	0.53~0.58	≤0.4
高温区	第五区、第七区	0.46~0.52	≤0.35

备注：库内外的温差越大相应的传热系数就越小,库内外每差 7℃,传热系数就减少或增加 0.058 W /m²•K。 围护结构的传热系数 K 的经验值取决于仓库 内外的温度差值(见表 2-1-3)

4、 稻谷低温储藏控制条件和品质控制指标，如表 4 所示。

表 4 稻谷低温储藏控制条件和品质控制指标

工艺指标	标准
稻谷整仓谷冷时间（高温入粮）	≤9 天
粮堆温度控制参数	≤19℃
水分减少	≤0.3%
脂肪酸增值(KOH)mg/100g	≤4
食味值下降	≤4
黄粒米增幅	≤0.5%

5000t 仓房建议配备 2 台 30KW 功率压缩机的谷冷机。

三、控温系统设计研究

一是，控温储粮分类以及温度要求。针对目前对控温储粮概念以及理解的不同，应用的技术以及实现的方法也不尽相同，同时控制目标也不相同。归纳整理控温储粮分为低温储粮和准低温储粮两种方式，储藏温度应符合《粮油储藏技术规范》的有关规定。

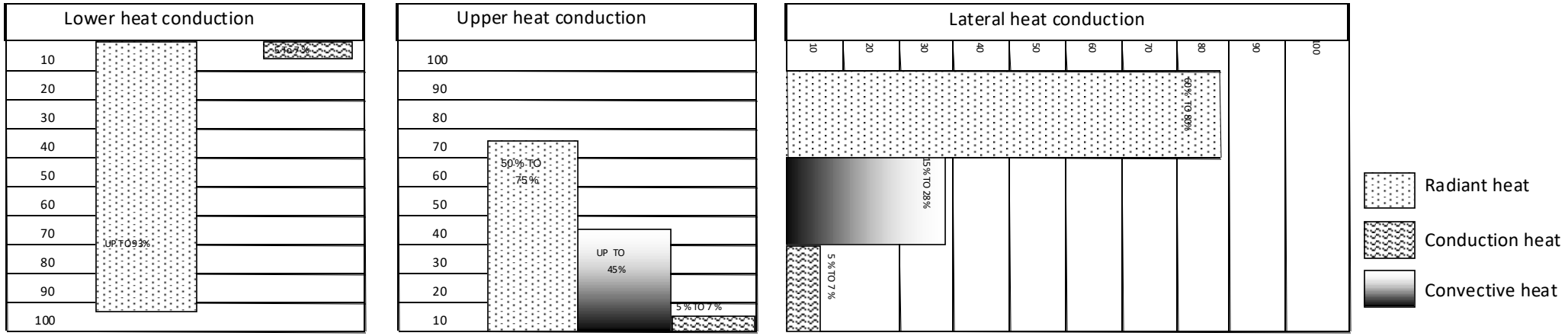
二是，控温系统设计内容。针对目前虽依靠制冷空调系统能够达到低温储粮和准低温储粮目标但是对控温系统设计内容不明确、零散以及单纯依靠过仓降温方式推广应用做法。导致对控温系统设计内容不明确，甚至选型时未经过系统的计算。因此针对此问题给出了控温仓应设置制冷空调系统。控温系统设计除包括通风系统设计外，还包括冷负荷计算、制冷空调设备选择和空调风道布置等。

三是，控温系统设计方案。控温系统设计方案目前包括的内容较多，系统繁杂。分体机、一体机、风冷、水冷、蒸发冷、地源冷却、整仓降温、仓顶控温、均温补冷。对于控温系统绝不是系统越多越好，绝不是所有的系统都需要上，而是应该化繁为简，以达到低温储粮为目的。针对系统设计方案的选择明确了控温仓制冷空调系统方案应根据储粮方式（散装、包装）、规模、所在地区气象条件、水资源条件、地质条件等，通过技术经济比较确定。

四是，控温系统设备选择原则。经过调研发现实现控温系统最大的不同在于设备的选择，而在设备选择上首要解决的问题就是采用固定式还是移动式。针对散粮以及包粮的不同储粮方式给出了不同系统推荐的设备形式。散装控温仓分为整仓降温制冷空调系统和粮面以上控温制冷空调系统。整仓降温制冷空调设备宜采用移动式设备，粮面以上控温制冷空调设备应采用固定式设备。包装控温仓制冷空调系统设备应采用固定式设备。

2、低温储粮仓保温隔热要求

Thermal insulation requirements of low-temperature warehouse



保温层是解决建筑整体传导热，隔热层能有效解决辐射热，仓房气密性能有效解决对流热。

Heat preservation layer - building heat transfer, insulation layer - radiant heat, warehouse airtightness - convective heat.

低温保鲜储粮区	对应储粮生态区 Grain storage ecological region	墙体传热系数 Wall heat transfer coefficient（W /m²·K）	屋盖传热系数 Roof heat transfer coefficient（W /m²·K）	墙体隔热保温形式推荐 Heat insulation form recommended
低温区 Low temperature zone	第一区、第二区、第三区	0.59~0.70	≤0.5	内保温、防水、气密、防结露一体化技术或外墙保温 Internal heat preservation, waterproof, airtight, anti condensation integration technology or external wall internal heat preservation
中温区 Medium temperature zone	第四区，第六区	0.53~0.58	≤0.4	
高温区 High temperature zone	第五区，第七区	0.46~0.52	≤0.35	

备注：库内外温差越大相应的传热系数就越小,库内外每差7°C,传热系数就减少或增加0.058W/m²•K。

3、保温隔热材料的种类

Types of thermal insulation materials

保温层 – 挤塑板/聚氨酯/聚苯板

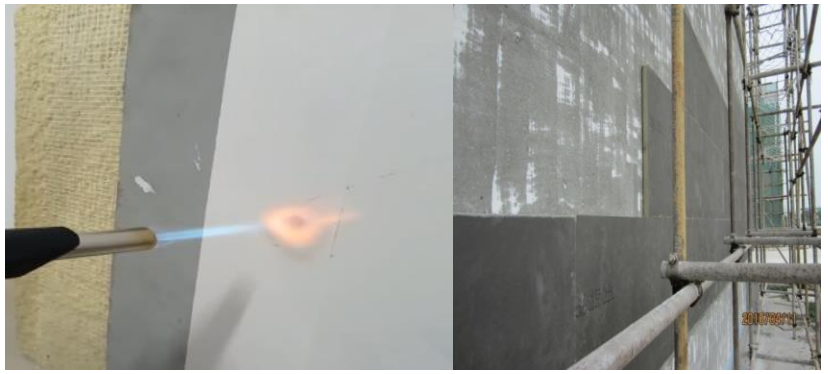
Heat preservation layer - extruded board/polyurethane/polystyrene board

- 主要是减缓传导热的转移

  Slow down the transfer of conduction heat

- 无法有效抗拒辐射热能

  Unable to effectively resist radiant heat



聚氨酯（防火）

Polyurethane(fireproof)

反射性材料 – 反辐射隔热膜/高反射率涂料

Reflective materials - antiradiation insulation film/highly reflective coating

- 有效阻隔辐射热——减少仓房表面热量积累

  Effective resistance to radiant heat

- 保护保温层，增强气密性 ——气膜仓

  Protect thermal insulation layer and enhance air tightness

热反射膜、反射涂料

Heat reflective film and coatings

4、常用保温材料的性能参数

Performance parameters of commonly used thermal insulation materials

常用保温隔热材料热物理性能计算参数

Thermal physical performance parameters of commonly used thermal insulation materials

材料名称 Materials	干密度 Dry density(kg/m^3)	导热系数 Thermal conductivity (W/m·K)	蓄热系数[24h] Thermal effusivity (W/m^2·K)	比热容 Specific heat capacity (kJ/kg·K)	蒸汽渗透系数 Coefficient of vapor permeability [*10^{-4}] (g/m.h.Pa)	特性 Feature
钢筋混凝土	2500	1.74	17.2	0.92	0.158	
重砂浆砌筑粘土砖砌体	1800	0.81	10.63	1.05	1.05	
聚氨酯硬质泡沫 PUR (现场喷涂 spray on site)	**35-70**	**0.024**	**0.29**	**1.38**	**0.234**	**难燃、抗压、气密、防潮** Flame retardant, compression resistant,Airtight, moisture resistant
聚氨酯硬质泡沫 PUR (板材安装)	30-35	0.024	0.29	—	—	可燃
挤塑聚苯乙烯泡沫塑料（带表皮）	35	0.03	0.34	1.38	—	易燃
聚苯乙烯泡沫塑料(白)	20	0.039	0.28	1.38	—	易燃
气凝胶 aerogel	**3-500**	**0.024**	**0.54**	**0.57**	**—**	**不燃材料、吸水、价格高** Non-flammable materials, water absorption, high price
稻壳	120	0.06	1.02	2.01	—	
玻璃纤维棉	40	0.04	0.38	1.22	4.88	
石灰水泥砂浆	1700	0.87	10.75	1.05	0.975	
水泥砂浆	1800	0.93	11.37	1.05	0.21	
参考：GB50176-2016 《民用建筑热工设计规范》						

Performance comparison of thermal insulation materials

保温材料保温性能对比

低温仓——保温隔热性能测试

Thermal insulation performance test of low temperature warehouse

- 开展了墙体保温性能热传导系数检测实验，建立区域性仓房和围护结构保温隔热性能参数数据库

  The wall conduction coefficient detection experiment was carried out, and the regional warehouse and envelope structure parameter database was established.

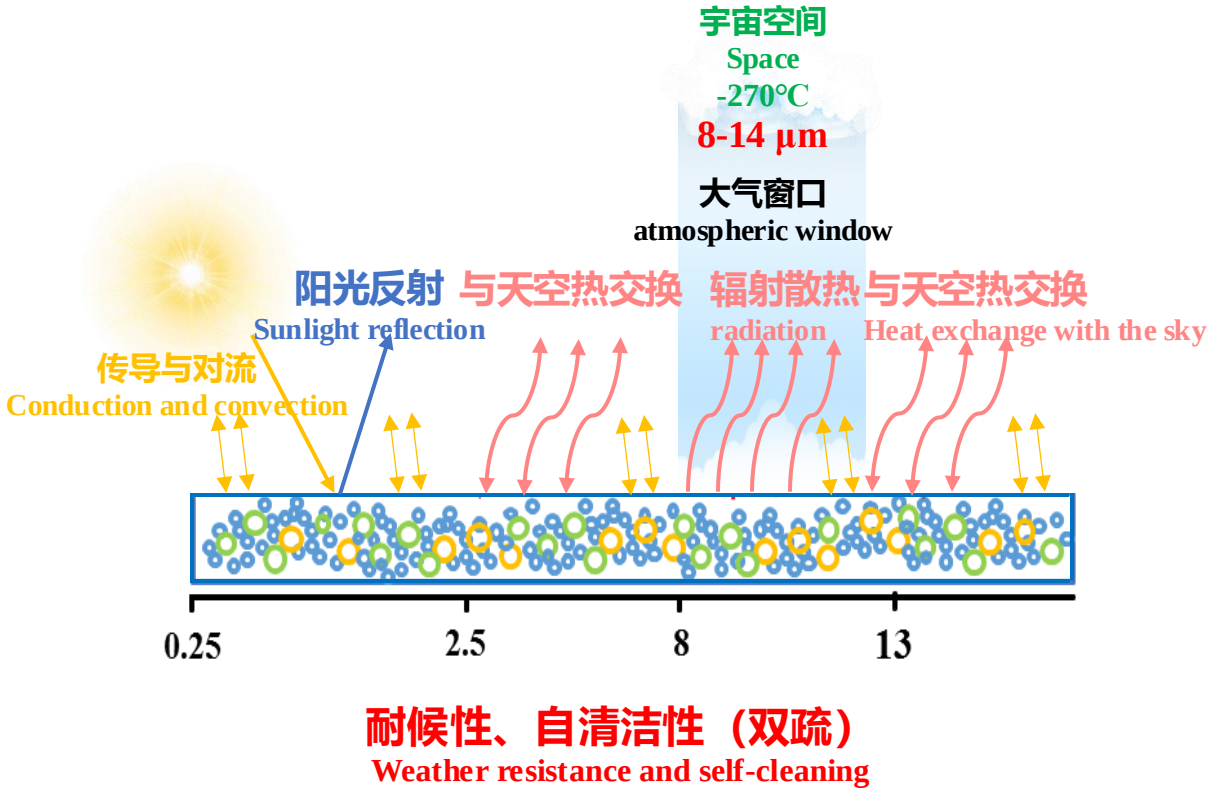
墙体和仓门传热系数检测数据统计表

仓房 Warehouse	传热系数 Conduction coefficient W / (m²·K)	
	墙体 Wall	仓门 Door
对照普通仓 Normal warehouse(普通墙体)	0.5829	0.3365
一般低温仓 Low temperature(5cmPEF内保温)	0.2569	0.2160
实验仓 Experiment (12cm挤塑板XPS内保温)	0.1329	0.0993

墙体保温材料热传递参数测试实验

5、隔热涂料——超双疏辐射制冷涂料、膜

Thermal insulation coating - super double radiation cooling coating and film



涂层表面的热反射率高达80~90%，涂层本身仅吸收10~20%的热量；材料本身热辐射率为90%左右。

The thermal reflectance of the coated surface is as high as 80~90%; the thermal radiation rate of the material itself is about 90%.

纳米材料：纳米二氧化钛、氧化锆、二氧化锑... 将热能转化成辐射能

Nanomaterials convert thermal energy into radiant energy

中空纳米玻璃(陶瓷)微珠：微珠具有中空腔体，成了极佳的热阻屏蔽，阻挡了热射线对涂层的穿透抑制了层内热的传导，因此涂层内部的热量累积很少，抑制热辐射效率可高达95%以上。纳米二氧化硅气凝胶等材料相似功能。

Hollow nano-glass (ceramic) micro-beads: The micro-beads have a hollow cavity, which has become an excellent thermal resistance shield. Therefore, the heat accumulation is very small. Materials such as nano-silica aerogels have similar functions.

当表面以**红外辐射形式散发出去**的热量**大于表面吸收的太阳热**、**大气红外辐射热**以及**周围环境通过传导和对流流入的三项热量**之和时，不断有净的热量流出表面，从而将表面温度降低并维持在环境气温以下。

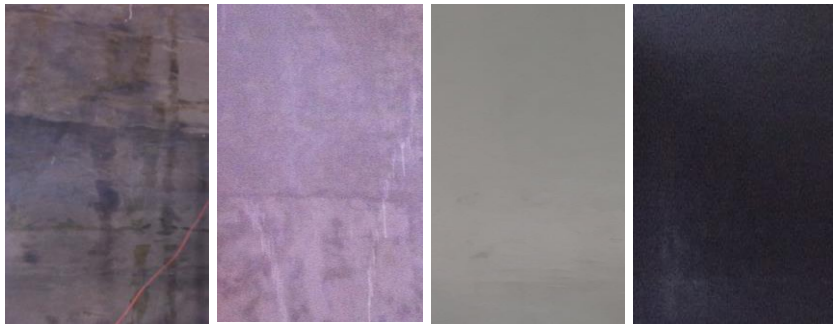
Heat emitted in the form of infrared radiation > the absorbed solar heat + the infrared radiant heat of the atmosphere + conduction and convection → Temperature ↓

6、气密材料——渗透性、致密性、拉伸强度

Airtight materials - permeability, density, tensile strength

（1）高渗透性、高致密性的纳米气密材料

High permeability, high densification of nano-gastight materials



（2）聚丙烯酸酯、硅酮胶、环氧聚酰胺、聚脲树脂等

Polyacrylate, silicone adhesive, epoxy polyamide, polyurea resin

密封材料的**拉伸强度**应不小于2.0 MPa，断裂伸长率应不小于80%，耐温变性（3-10次循环）应无异常。

tensile strength≥ 2.0 MPa；the elongation at break ≥80%
the temperature resistance(3-10 cycles) should not be abnormal

聚脲树脂：拉伸强度16.0 MPa

polyurea resin: tensile strength 16.0 MPa

改造后气密性达到300s左右，最高可达600s以上

After the transformation, the air tightness can reach about 300s, and the highest can reach more than 600s

7、仓房保温隔热气密改造措施——低温仓全方位的处理

Thermal insulation measures

The figures of thermal insulation measures of the warehouse

02

控温储藏要点和措施

Key points and measures of temperature control grain storage

1、控温要点

Key points of temperature control

- 新粮入仓均粮温
  Average temperature of new grain in warehouse
- 夏秋粮仓排积热
  Heat releasing of warehouse in summer and fall
- 秋冬通风降粮温
  Ventilation in autumn and winter
- 春季隔热保冷心
  Thermal insulation in spring
- 夏季控温去热皮
  Temperature control in summer
- 季节交替防结露
  Anti-condensation in the alternate season

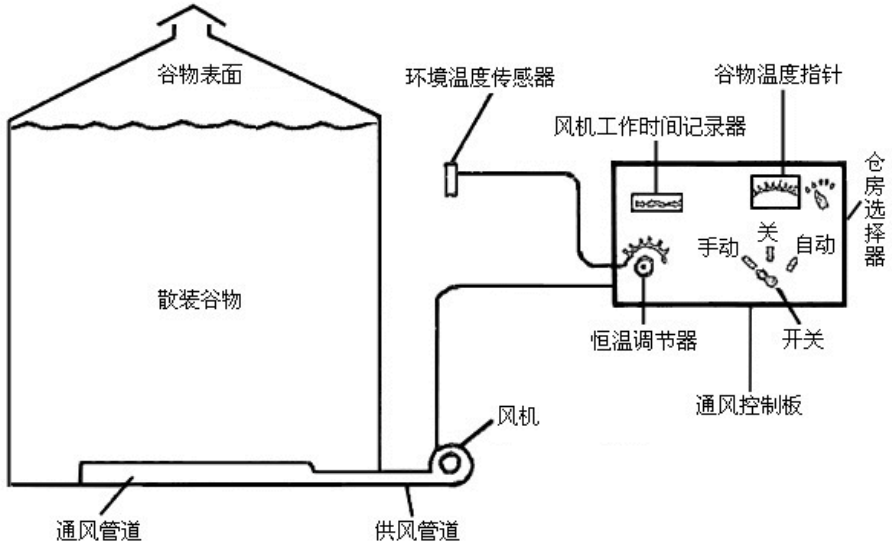
2、具体措施

Concrete measures of temperature control

(1)新粮入仓均粮温 Average temperature of new grain in warehouse

低温、控温方法 Low temperature and temperature control method

- **自然通风降温** Natural low-temperature storage
- **机械通风降温** Mechanical ventilation and low-temperature storage
- **机械制冷降温** Mechanical refrigeration low-temperature storage



2、具体措施

Concrete measures of temperature control

(1)新粮入仓均粮温 Average temperature of new grain in warehouse

- 粮温不均匀原因 Causes of uneven temperature：

  新粮温差；热特性造成的温差；通风、谷冷系统有死角或自动分级杂质聚集。

  Temperature gap and a blind angle in the ventilation and grain cooling system or the accumulation of impurities in automatic classification.

- 粮温不均匀后果 Consequences of uneven temperature：

  由于粮温温差，导致湿热转移，引起局部水分升高，容易发生霉变损失。

  The moisture and heat are transferred because of the temperature gap, which increase the water content partially, resulting in mold damage.

2、具体措施

Concrete measures of temperature control

(2)夏秋粮仓排积热 Heat releasing of warehouse in summer and fall

仓房都存在太阳辐射热、仓房内外温差传热通过仓体围护结构传入仓内空间的现实情况，所以在高温季节，仓内粮面与仓顶之间的温度升高最明显。因此，利用夜间气温较低的时段，通过开启轴流风机（排风扇），及时排除由外界通过围护结构传进仓内的热量，及时降低仓内空间的温度。

There is a real situation that solar radiation heat and conductive heat transfer are transmitted into the warehouse space through the enclosure structure of the warehouse. Therefore, in the high temperature season, the temperature between the grain surface and the top of the warehouse increases most obviously. Therefore, when the temperature is low at night, the axial-flow fan installed can be opened to eliminate the heat transferred into the silo through the enclosure structure in time to reduce the temperature of the space in the bin.

2、具体措施

Concrete measures of temperature control

(2)夏秋粮仓排积热 Heat releasing of warehouse in summer and fall

- **开始通风条件： Initiate ventilation**

  1.大气绝对湿度≤粮仓表层粮食绝对平衡湿度

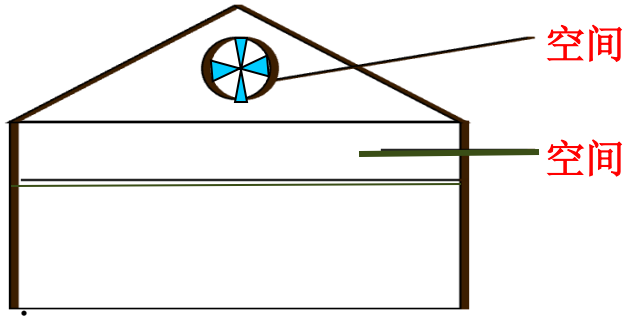
  atmospheric absolute humidity ≤ absolute equilibrium humidity of surface grain

  2.第一、二、三、四生态储粮区：$t_{仓} - t_{气} \geq 3°C$

  the first, second, third and fourth ecological grain storage areas:$t_{仓} - t_{气} \geq 3°C$

  第五、六、七生态储粮区：$t_{仓} - t_{气} \geq 2°C$

  the fifth, sixth and seventh ecological grain storage areas:$t_{仓} - t_{气} \geq 2°C$



- **结束通风条件： Terminate ventilation**

  1.大气绝对湿度 > 粮仓表层粮食绝对平衡湿度

  atmospheric absolute humidity > absolute equilibrium humidity of surface grain

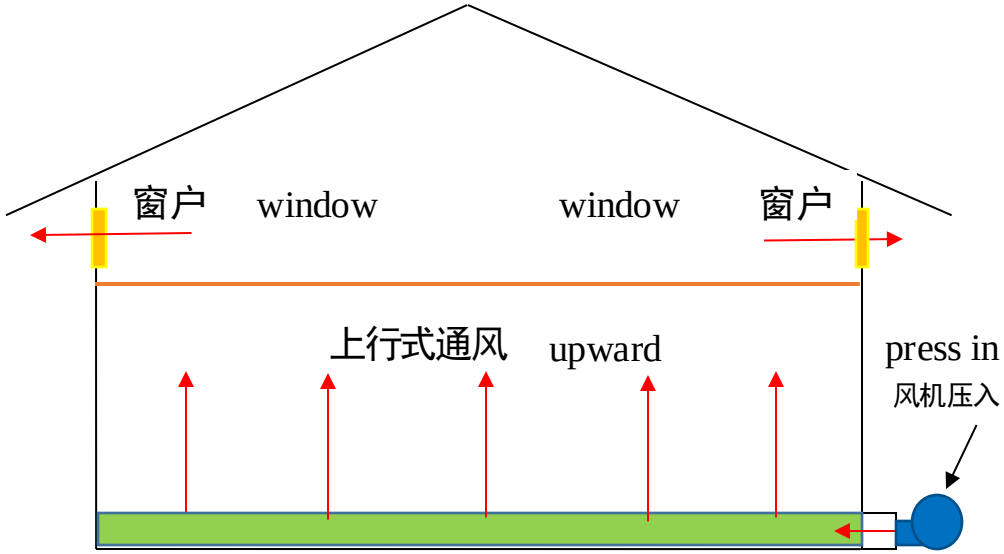
  2. $t_{仓} - t_{气} < 1°C$

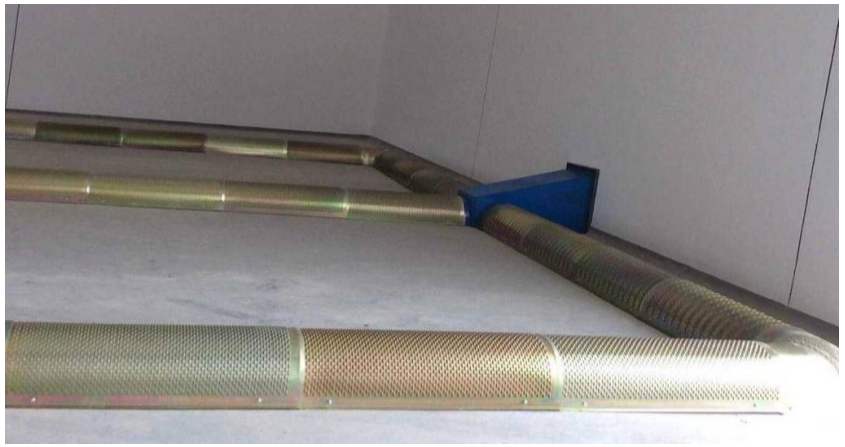
2、具体措施

Concrete measures of temperature control

(3)秋冬通风降粮温 Ventilation in autumn and winter

竖向通风系统 vertical ventilation



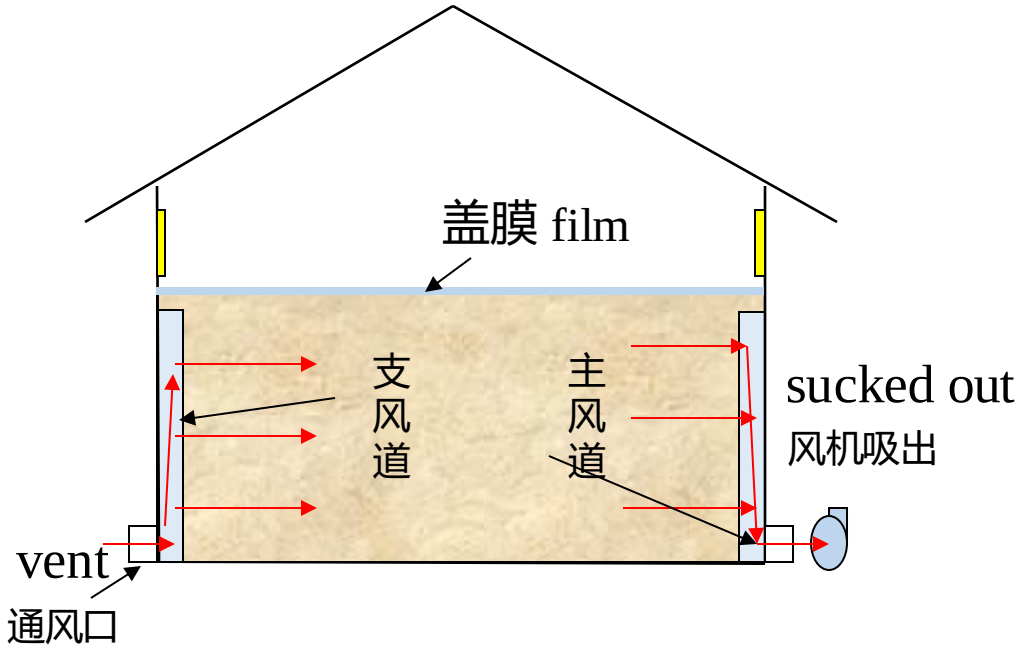


2、具体措施

Concrete measures of temperature control

(3)秋冬通风降粮温 Ventilation in autumn and winter

横向通风系统　horizontal ventilation

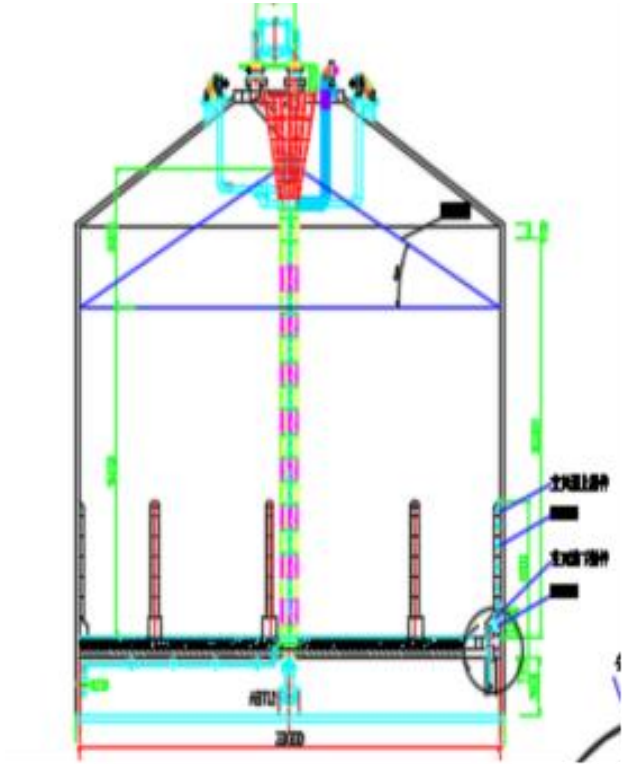


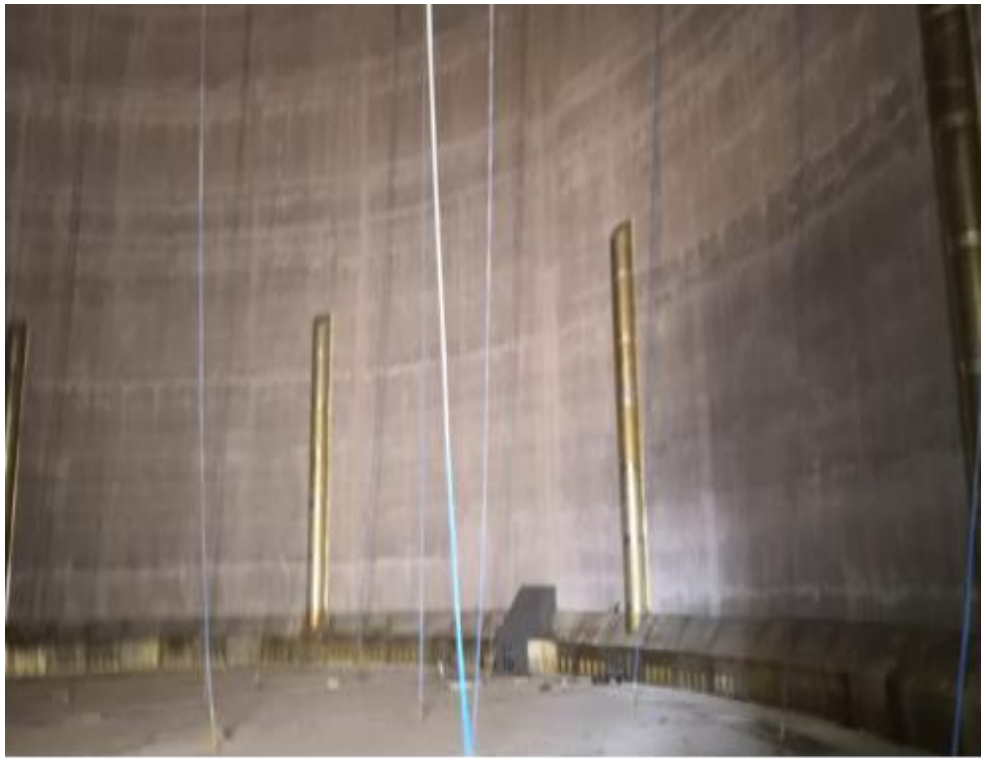
2、具体措施

Concrete measures of temperature control

(3)秋冬通风降粮温 Ventilation in autumn and winter

径向通风（中心竖管通风） **radial ventilation(central tube ventilation)**





2、具体措施

Concrete measures of temperature control

(3)秋冬通风降粮温 Ventilation in autumn and winter

- 根据气候条件和节能保水要求等因素，确定合理的单位通风量。
  The reasonable unit ventilation rate should be determined according to the climatic conditions and the requirement of energy conservation and moisture holding.

不同生态储粮区降温通风单位通风量推荐表　　单位：$m^3/(h\cdot t)$

Recommended table of unit ventilation rate for ventilation in different grain storage ecological areas

粮种	通风形式	第一、二、三储粮生态区	第四储粮生态区	第五、六储粮生态区	第七储粮生态区	保水降温通风
小麦 wheat	横向通风 horizontal	3～5	3～6	4～6	5～6	≤6
	竖向通风 vertical	3～6	4～7	4～8	5～10	
玉米、大豆 corn/soybean	横向通风 horizontal	3～6	4～7	4～8	5～8	≤6
	竖向通风 vertical	3～6	4～7	4～8	5～10	
稻谷 unhusked rice	横向通风 horizontal	4～7	4～8	5～9	6～9	≤7
	竖向通风 vertical	4～7	4～8	5～9	6～10	

2、具体措施

Concrete measures of temperature control

(3)秋冬通风降粮温 Ventilation in autumn and winter

降温通风操作条件

operating conditions of cooling ventilation

条件类型	通风模式 model	允许通风条件 permissible ventilation	暂停通风的条件 suspend ventilation	结束通风的条件 end ventilation
温度条件	所有模式	$t_{粮} > T_{目标}$ $t_{粮}-t_{气} > \Delta T_{初始}$	$t_{粮}-t_{气} \leq \Delta T_{停止}$ 或 降温速率≤δ	$t_{粮} \leq T_{目标}$ $t_{出}-t_{进} \leq \Delta T_{极差}$ 层间温度梯度≤1℃/m
不结露条件	上行通风	$t_{粮下} > t_{气露}$		
	下行通风	$t_{粮上} > t_{气露}$		
	横向通风	$t_{粮低} > t_{气露}$		
湿度条件	降温降水	$P_{气湿} < ARH_{解吸}$ 或$Tg < k \cdot ERH_{解析}$	$P_{出} < P_{气湿}$ 或 $d_2-d_1 \leq 0$	粮堆水分梯度≤0.3%/m $W_{出}-W_{进} \leq \Delta W$
	降温保水	$P_{气湿} \geq k \cdot ARH_{解吸}$ 或$Tg \geq k \cdot ERH_{解析}$	$P_{出} \geq P_{气湿}$ 或 $d_2-d_1 \geq 0$	

2、具体措施

Concrete measures of temperature control

(3)秋冬通风降粮温 Ventilation in autumn and winter

不同储粮生态区域降温通风控制参数推荐值

recommended values of cooling ventilation control parameters in different ecological areas of grain storage

生态区	$\triangle T_{初始}$	$T_{目标}$	$\triangle T_{停止}$	k	$\triangle T_{极差}$		$\triangle W$
					平房仓竖向/横向	浅园仓立筒库	平房仓、浅园仓立筒库
第一、二、三区	8℃	-5～0℃	4℃	≥0.7	3/5℃	10℃	1.5%
第四区	8℃	0～5℃	4℃	≥0.8	3/5℃	10℃	1.5%
第五区	8℃	≤10℃	4℃	≥0.85	3/5℃	10℃	1.5%
第六区	6℃	≤10℃	3℃	≥0.85	3/5℃	10℃	1.5%
第七区	6℃	≤15℃	3℃	≥0.9	3/5℃	10℃	1.5%

注：表中$t_{粮}$——粮堆平均温度，$t_{气}$——大气温度，$t_{进}$，$t_{出}$——进气和出气层粮温，$P_{气湿}$——即时大气绝对湿度，$EAH_{解吸}$——即时粮温下的粮堆平衡解吸绝对湿度，$EAH_{吸附}$——即时粮温下的粮堆平衡吸附绝对湿度，$W_{进}$，$W_{出}$——结束通风时粮堆气流进和出气截面水份，$\triangle T_{初始}$——允许通风的粮温与大气温差，$T_{目标}$——通风需要达到的目标粮温，$\triangle T_{停止}$——停止或结束通风的粮温与大气温差，$\triangle T_{极差}$——结束通风时进气和出气层粮堆温差，$\triangle W$——结束通风时粮堆进气和出气层水份差；表5中各项参数推荐值见表6。

2、具体措施

Concrete measures of temperature control

(4)春季隔热保冷心 Thermal insulation in spring

- 地坪应属于高温库地坪，此类地坪无须设隔热层，而是以防潮为主。

  The floor is the high-temperature warehouse floor, which does not need to be provided with thermal insulation layer, but is mainly moisture-proof.

- 低温仓以密闭为主，仅留一个门供进出粮使用，此门应采用双层隔热仓门。

  The low temperature warehouse is mainly air tight. Only one door need to be reserved for the use of grain in and out, and the double-layer heat insulation door should be used for this door.

- 最好在门的上部装设气幕装置。

  It is better to install air curtain device on the upper part of the door.

2、具体措施

Concrete measures of temperature control

(4)春季隔热保冷心 Thermal insulation in spring

2、具体措施

Concrete measures of temperature control

(5)夏季控温去热皮 Temperature control in summer

- 时间：高温季节内环流控温

  Timing: seasons of high temperature

- 注意：管道隔热，减少冷量损失；小功率风机；

  Notice: heat insulation of pipes to reduce the loss of cooling capacity.

- 优点：利用冷心冷量；投资少；节能环保；管理方便；冷心温升小；降低了仓湿；降低了劳动强度；改善了工作环境

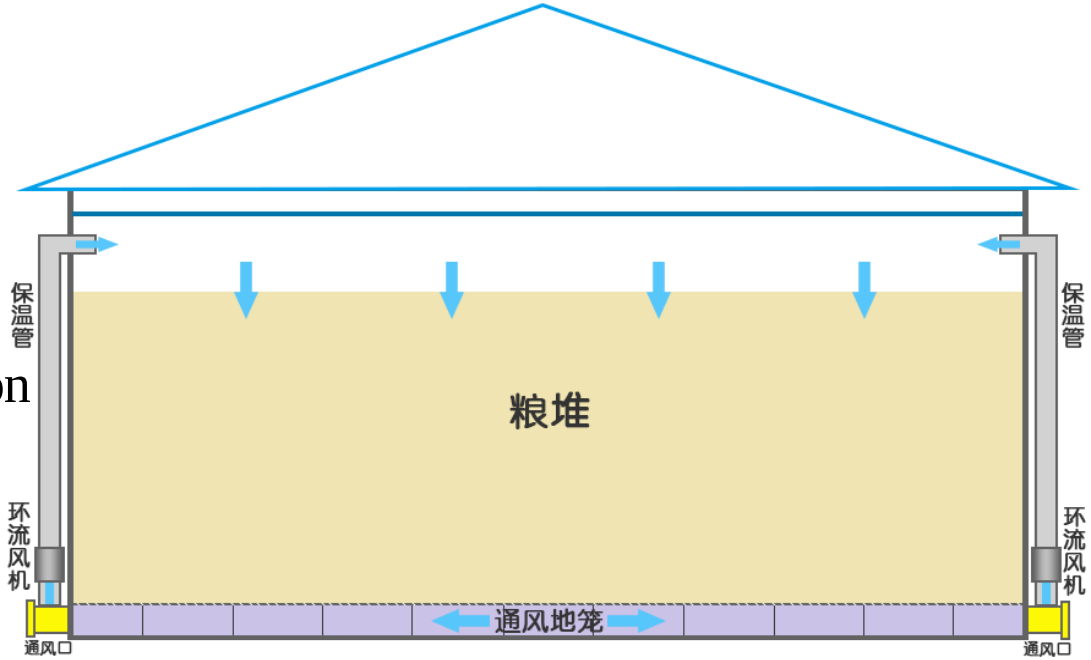
  Advantages: using cold core; less investment; energy saving and environmental .

2、具体措施

Concrete measures of temperature control

(5)夏季控温去热皮 Temperature control in summer

Thermal insulation



Circulation fan

整仓内环流控温

Circulation in granary

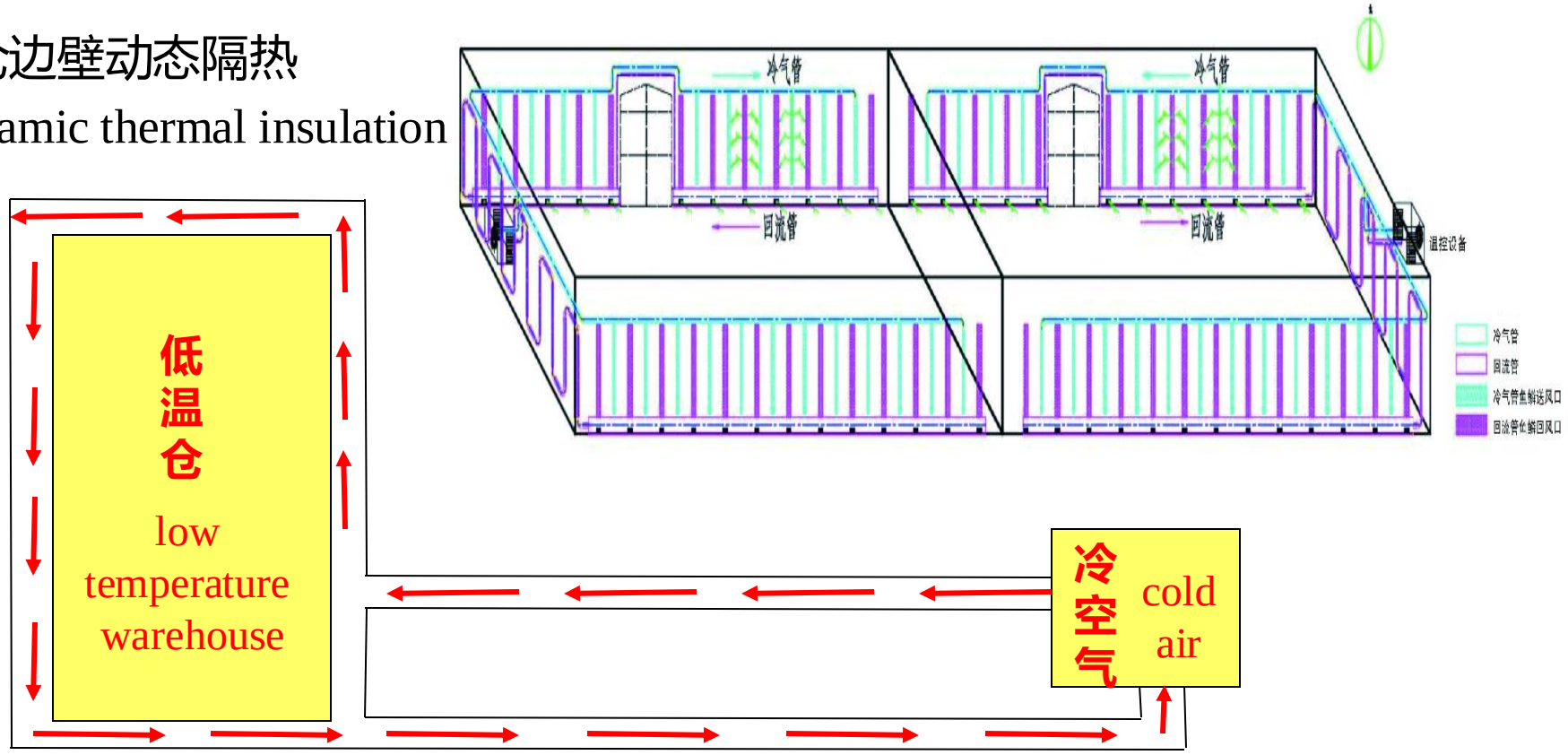
2、具体措施

Concrete measures of temperature control

(5)夏季控温去热皮 Temperature control in summer

粮仓边壁动态隔热

Dynamic thermal insulation



2、具体措施

Concrete measures of temperature control

(6)季节交替防结露 Anti-condensation during the alternate season

- 储粮结露的易发时间: 秋冬交替季节,春夏交替季节

  The prone time of dewing in stored grain: autumn-winter transition, spring-summer transition.

- 储粮结露的预防:设法消除或减小粮堆各部位之间的温差,春夏交替季节阻断热空气进入；秋冬交替季节适时通风降低粮温，缩小温差。

  The prevention of grain dewing: eliminating or reduce the temperature difference between different parts of the grain pile; blocking the hot air entering during the spring-summer transition; timely ventilation to decrease the grain temperature and reduce the temperature gap during the autumn-winter transition.

03

低温保质储藏技术工艺

Low temperature and quality preservation technology

1、低温储粮区域划分及适配工艺

Low-temperature grain storage region division and adaptation process

不同储粮生态区对应省份及控温措施推荐

Corresponding provinces of different grain storage ecological regions and recommended temperature control measures

低温保鲜储粮区	对应储粮生态区 Grain storage ecological region	对应主要省份 Main province	控温措施推荐 Temperature control measures
低温区 Low temperature zone	第一区、第二区、第三区	黑龙江、吉林、辽宁、山东、 河北、北京、天津、山西、甘肃、青海、宁夏、内蒙古、新疆和西藏等省市自治区和直辖市的全部地区、河南和陕西部分地区	冬季通风降温+内环流控温+仓房保温隔热；空调控温选配 Winter ventilation cooling + internal circulation + warehouse thermal insulation ; air conditioning(option)
中温区 Medium temperature zone	第四区，第六区	贵州、湖南、江西、浙江、上海、安徽、湖北、重庆的全部地区,云南、 四川和江苏大部分地区,福建、广西、河南和陕西部分地区	冬季通风降温+仓房空调控温+粮堆谷冷+仓房保温隔热 Winter ventilation cooling + air conditioning + grain chilling + warehouse thermal insulation
高温区 High temperature zone	第五区，第七区	海南、广东、台湾的全部地区,以及福建大部分地区、广西和云南部分地区	通风降温+空调控温+粮堆谷冷+仓房保温隔热 ventilation cooling + air conditioning + grain chilling + warehouse thermal insulation

2、稻谷低温储藏品质指标监测模型

Changing models of grain quality index at low temperature storage

以储藏温度T/°C、储藏时间D/d、初始水分W/%作为影响稻谷品质变化的关键因素，通过实验分析建立了不同品种稻谷各项品质指标的线性回归模型。

Taking the **storage temperature T/°C**, **storage time D/d**, and **initial moisture W/%** as the key factors, linear regression models of the quality indexes of different varieties of rice grains was established.

稻谷品种	品质指标 Quality indexes	拟合模型 Fitting models	决定系数（R^2）
粳稻 Japonica rice	脂肪酸值 Fatty acid value/$Y_{脂}$	$Y_{脂}$=0.096T+0.014D+0.788W+2.788	0.825
	新鲜度 Fresh degree//$Y_{新}$	**$Y_{新}$=-1.117T-0.77D-3.604W+165.039**	**0.888**
	出糙率 Husked rice rate/$Y_{出}$	$Y_{出}$=-0.119T-0.010D-0.188W+89.869	0.800
	整精米率 Milled head rice rate/$Y_{整}$	$Y_{整}$=-0.424T-0.033D-0.391W+83.864	0.814
	黄粒米 Yellow-colored kernel/$Y_{黄}$	$Y_{黄}$=0.046T+0.004D+0.170W-2.796	0.875
	食味值 Taste value/$Y_{食}$	$Y_{食}$=-0.371T-0.108D-0.237W+62.899	0.802
籼稻 Indica rice	脂肪酸值 Fatty acid value/$Y_{脂}$	$Y_{脂}$=1.458T+0.104D+7.233W+90.488	0.815
	新鲜度 Fresh degree//$Y_{新}$	$Y_{新}$=-3.455T-1.755D-2.877W+108.321	0.811
	出糙率 Husked rice rate/$Y_{出}$	$Y_{出}$=-0.725T-0.119D-0.063W+117.342	0.822
	整精米率 Milled head rice rate/$Y_{整}$	**$Y_{整}$=-0.774T-0.024D-0.509W+56.076**	**0.831**
	黄粒米 Yellow-colored kernel/$Y_{黄}$	$Y_{黄}$=0.037T+0.018D+0.067W-9.447	0.806
	食味值 Taste value/$Y_{食}$	$Y_{食}$=-0.901T-0.044D-0.109W+101.636	0.811

3、低温储藏期间工艺调控参数

Low temperature storage process parameters

稻谷低温储藏温度、水分控制条件和质量指标控制要求

temperature, moisture control conditions and quality index control requirements

序号	控制指标 Control index	粳稻 Japonica rice	籼稻 Indica rice
1	温度控制 Temperature/°C	≤19	≤19
2	水分减幅 Moisture reduction/%	≤0.3	≤0.3
3	脂肪酸增幅 Increase in fatty acid value /(KOH)mg/100g	≤6	≤4
4	黄粒米含量增幅 Increase in yellow-colored kernel/%	≤0.5	≤0.5
5	整精米率减幅 Reduction of milled head rice rate/%	≤5	≤8
6	新鲜度 Fresh degree/分	≥ 85	≥ 90
7	发芽率 Germination rate/%	≥ 85	≥ 85
8	食味值 Taste value/分	≥ 85	≥ 85

4、稻谷高温季节入仓后整仓谷冷工艺及设备选型

Whole grain cooling process and equipment selection in high temperature season

通过整仓谷冷工艺参数(比热容、散热量等)的计算得出(比热容C_m=0.0719M+0.6867KJ(kg·°C);总散热量Q=M×[C_m×(T_1-T_2)+hg×(W_1-W_2)];制冷量(Refrigerating capacity)=Q/S):

初始含水率约14.0%的5000t稻谷高温季节入仓后，经9天从30°C降温11°C(ΔT=1.2°C)，至少需配备约56.5KW功率压缩机的谷冷设备实施降温工艺，5000t仓房建议配备2台30KW功率压缩机的谷冷机。

At least **56.5 KW** power compressor of grain cooler is needed to implement the cooling process(5000t grain with moisture content of 14.0% after 9 days of cooling by 11°C, ΔT=1.2°C).

The 5000t warehouse is recommended to be equipped with **two grain coolers with 30KW power compressor**.

稻谷质量(kg),1000t	稻谷初始含水率(%)	稻谷比热容(kJ/(kg*°C))	水分蒸发潜热(kJ/kg)	温度下降(°C)	总散热量(kJ)	降温天数(d)	制冷时间(s)	制冷量(kw)	COP	谷冷设备功率(kw)	5000t标准仓配置谷冷机总功率(kw)
1,000,000	11	1.4776	2500	11	23753600	9	777600	30.5	3.0	10.1	**50.9**
1,000,000	12	1.5495	2500	11	24544500	9	777600	31.5	3.0	10.5	**52.6**
1,000,000	13	1.6214	2500	11	25335400	9	777600	32.5	3.0	10.8	**54.3**
1,000,000	**14**	**1.6933**	**2500**	**11**	**26126300**	**9**	**777600**	**33.6**	**3.0**	**11.2**	**56.0**
1,000,000	15	1.7652	2500	11	26917200	9	777600	34.6	3.0	11.5	**57.6**
1,000,000	16	1.8371	2500	11	27708100	9	777600	35.6	3.0	11.8	**59.3**
1,000,000	17	1.9090	2500	11	28499000	9	777600	36.6	3.0	12.2	**61.0**
1,000,000	18	1.9809	2500	11	29289900	9	777600	37.6	3.0	12.5	**62.7**
1,000,000	19	2.0528	2500	11	30080800	9	777600	38.6	3.0	12.8	**64.4**

5、低温储藏稻谷出仓缓苏工艺

Tempering process of rice stored at low temperature

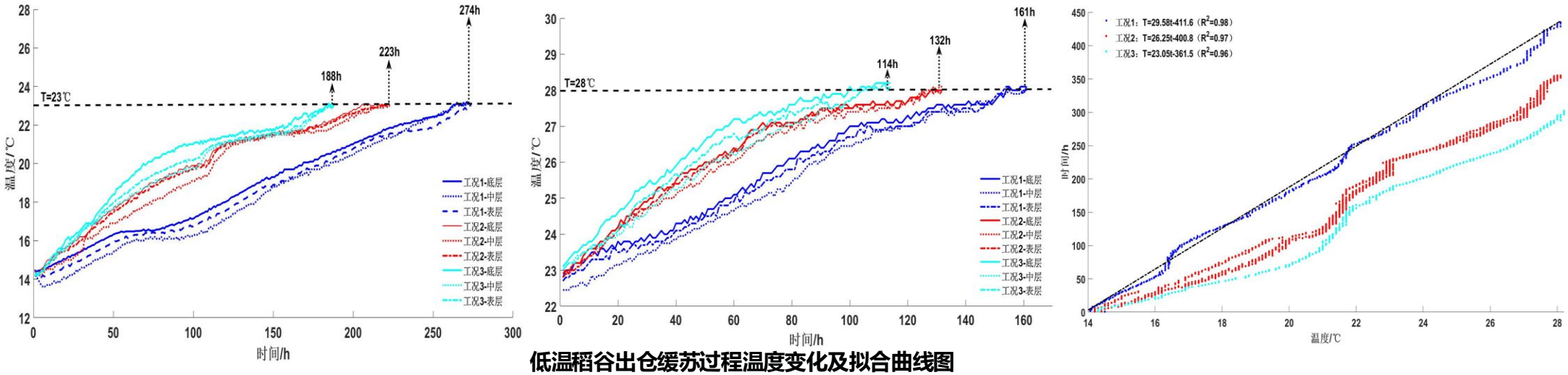
$$DPT_r = \frac{474242}{1872.7 - 89.1 \times \lg(EAH_r)} - 273$$

方案：通过不同风量模式（0.45m/s、0.95m/s、1.45m/s）和出仓目标温度（23℃和28℃）的设定，**系统研究了低温储藏稻谷在高温季节出仓缓苏升温过程中其品质变化规律。**

Method: different ventilation modes (0.45m/s, 0.95m/s, 1.45m/s) and outlet target temperature(23 and 28℃), to study the **quality change law** of low-temperature stored grain during the process of tempering in high temperature season

结果：初始粮温14.5℃，**在风速0.95m/s**下缓速升温至23℃(室外30℃)和28℃(室外35℃)，平均用时223h和355h，**升温速率为0.038℃/h**；稻谷水分、整精米率保持效果较好、有效抑制了脂肪酸值和碎米率的上升；缓苏温度与时间的拟合方程为T=26.25t-400.8（t为目标温度/℃，T为缓苏时间/h），决定系数(R^2)为0.97。

Result: When the temperature **(**initial grain temperature 14.5℃) was slowly increased to 23℃ (outdoor 30℃) and 28℃ (outdoor 35℃) at **a wind speed of 0.95 m/s** and **the heating rate was 0.038℃/h**, the quality index remained good.



低温稻谷出仓缓苏过程温度变化及拟合曲线图

04

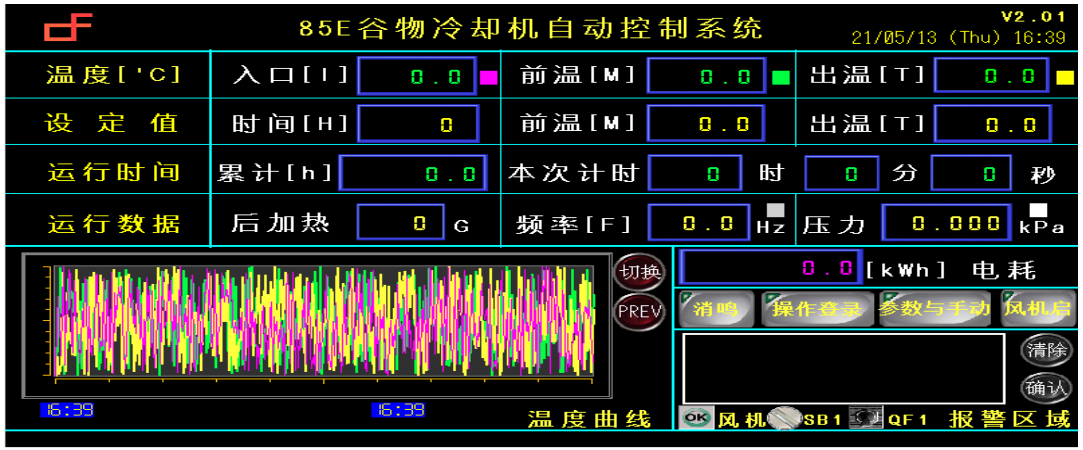
粮食储藏控温控湿设备

Temperature and humidity control equipment for grain storage

1、稻谷仓移动式高效、智能谷物冷却机

Mobile high-efficiency and intelligent grain coolers for grain warehouse

- 谷冷机设计方案对原谷冷机进行了智能控制系统升级
  Upgraded on the basis of the original 85 type grain cooler
- 智能化接口采用485，与网口相匹配
  The intelligent interface uses 485 to match the network port
- **进风、回风控制无需人工干预，节能降耗**
  Inlet and return air control **without** manual intervention
- 根据低温仓要求优化控制程序
  Optimize the control program according to the requirements



2、原粮、成品粮空间控温控湿设备

Temperature and humidity control equipment for raw and finished rice

30kw仓上空间控温设备

30kw warehouse space temperature control equipment

成品粮控温控湿机组

Finished rice temperature and humidity control unit

10kw空气源热泵控温控湿设备

10kw air source heat pump control equipment

粮仓专用空调

Special air conditioner for warehouse

- 粮仓专用空调是风管式一体机空调，核心部件均在仓外。专用空调蒸发器换热面积大、冷风量大，送风距离可达 20 m，降温均匀性好。

  The special air conditioner is a duct-type all-in-one air conditioner, and the core components are all outside the warehouse. The evaporator has a large heat transfer area, a large cold air volume. The air supply distance can reach 20 m and the cooling uniformity is good.

- 全密封机组可在平房仓熏蒸或浅圆仓气调时使用，满足夏季高温天杀虫并控温的需要；可以调控出风湿度，以降低空调控温的粮食水分减量。 光伏直流空调：可实现零运行成本控温储粮。

  It has fully sealed unit for fumigation or air conditioning to meet the needs of insecticide and temperature control; the humidity of the air outlet can be regulated.
  Photovoltaic DC air conditioner: temperature control for storage with zero operating cost can be achieved.

- 空调机组制冷量通常按照粮仓堆粮线以上空间体积进行配置，根据仓房隔热气密性能和控温目标，经验值为 12 W/m^3 ~ 18 W/m^3。对于仓内吊顶仓或者拱板仓，通常 100 m^2 ~ 200 m^2 的面积需要配置 1 台 3500 W 制冷量的空调。

  The experience value of the cooling capacity of the air-conditioning unit is 12 W/m^3 ~ 18 W/m^3
  For ceiling warehouses or arch warehouses, an area of 100 m^2~200 m^2 needs an air conditioner (3500 W)

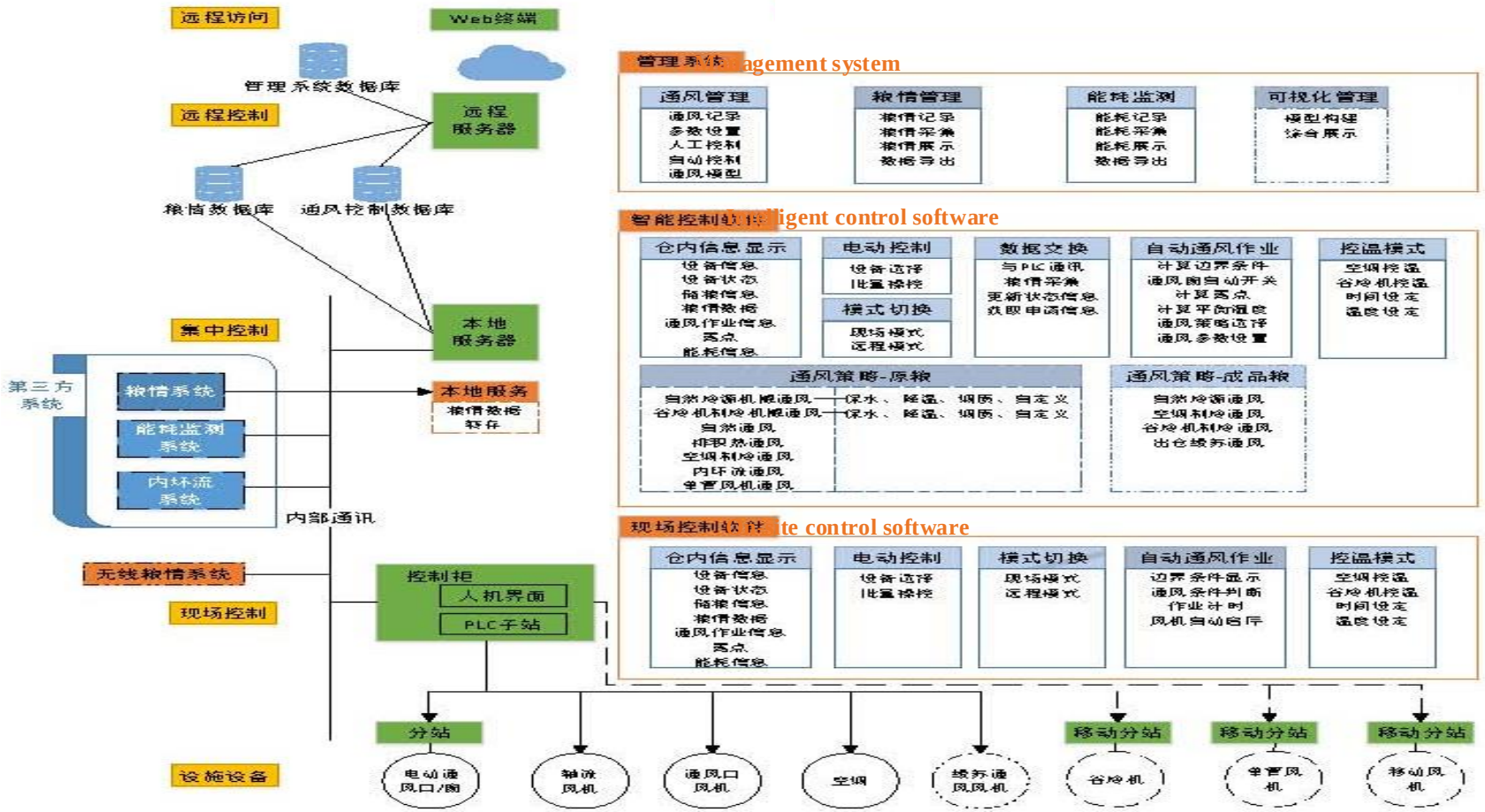
05

控温储藏智能控制系统

Intelligent control system of temperature control for grain storage

1、控温储粮控制系统

Control systems of temperature control for grain storage



computer software copyright

中华人民共和国国家版权局

计算机软件著作权登记证书

证书号：软著登字第5993904号

软件名称：原粮保鲜储藏智能化环境控制系统 V1.0

著作权人：国贸工程设计院

开发完成日期：2020年04月15日

首次发表日期：2020年04月20日

权利取得方式：原始取得

权利范围：全部权利

登记号：2020SR1115208

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。

No. 06448807

2020年09月17日

中华人民共和国国家版权局

计算机软件著作权登记证书

证书号：软著登字第5993913号

软件名称：成品粮保鲜储藏智能化环境控制系统 V1.0

著作权人：国贸工程设计院

开发完成日期：2020年04月15日

首次发表日期：2020年04月20日

权利取得方式：原始取得

权利范围：全部权利

登记号：2020SR1115217

根据《计算机软件保护条例》和《计算机软件著作权登记办法》的规定，经中国版权保护中心审核，对以上事项予以登记。

No. 06448808

2020年09月17日

2、控温储藏环境管控系统—实现储藏环境智能管控一体化

Temperature control storage environment control system-to achieve intelligent control integration

- 采用“**多系统一平台**”和“**多端融合**”的思路,利用可扩展的模块化设计方式，通过内部标准协议，将所有**保管系统集成**在统一的现场综合控制柜，并向上级管理平台提供接口。

  'Multi-system, One Platform' and 'Multi-terminal Integration'

- **实现远程监测、智能控制和各系统间协同作业。**以达到自动化、智能化、科学化管控的目的。

  Realization of remote monitoring, intelligent control and synergistic operation among systems

- **具备仓内信息显示和设备操作功能。**实现温湿度查看、通风控制、能耗监测；与可视化系统并网，提供实时数据，响应数据采集、控制指令等任务，实现集中、远程控制等；具备智能通风功能，结合环境温湿度等输入信息，根据预设的限值，后台自动计算，判断通风和除湿的时机，自动控制设备的开关。

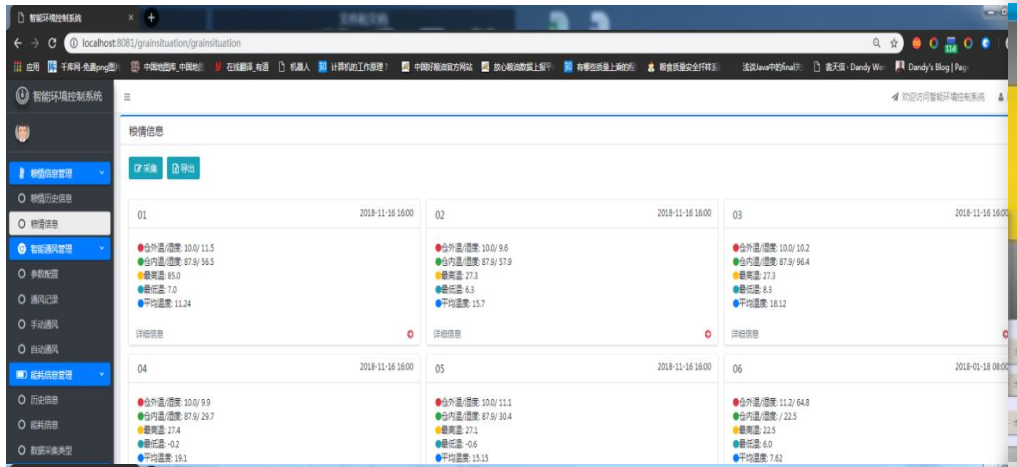
  Functions for displaying information in the warehouse and the equipment operation

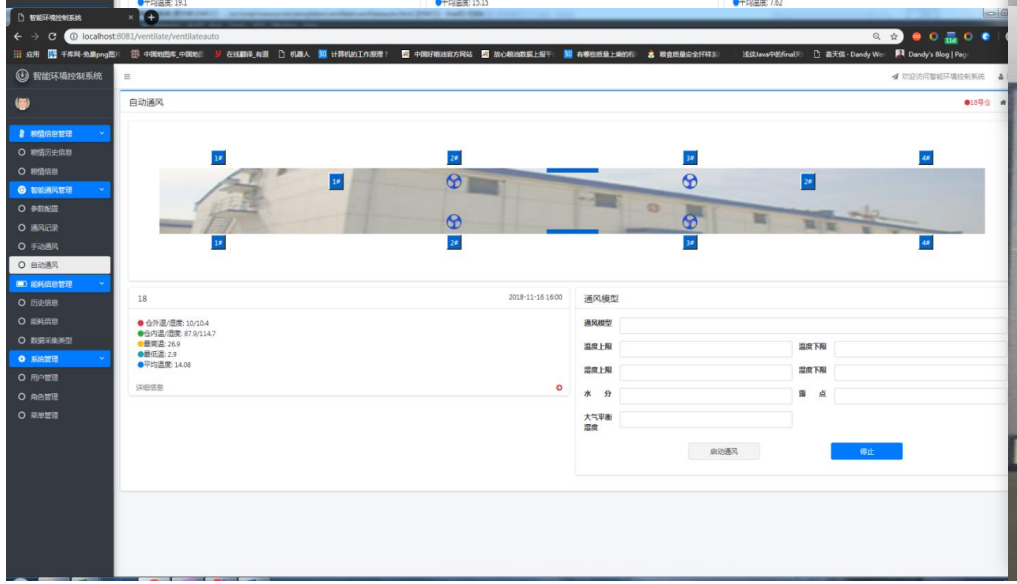
- **支持对通风和低温设备的集散控制，批量操作，作业记录和能耗统计。**

  Supports for distributed control system, batch operation, job logging and energy consumption statistics of ventilation and low-temperature equipment

3、控温储藏环境管控系统操作界面

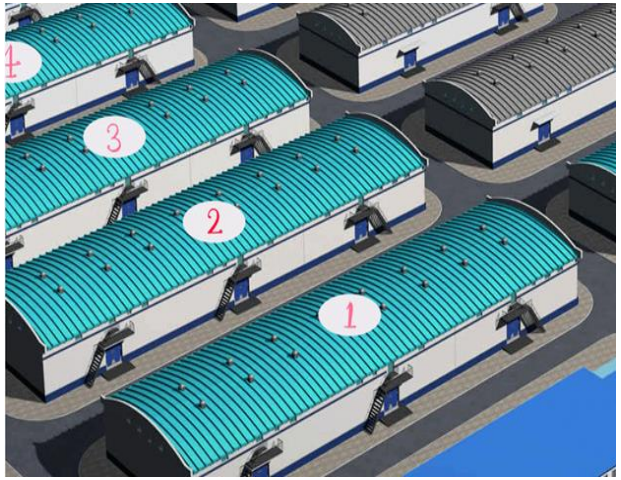
Operation interfaces of temperature control storage environment control system

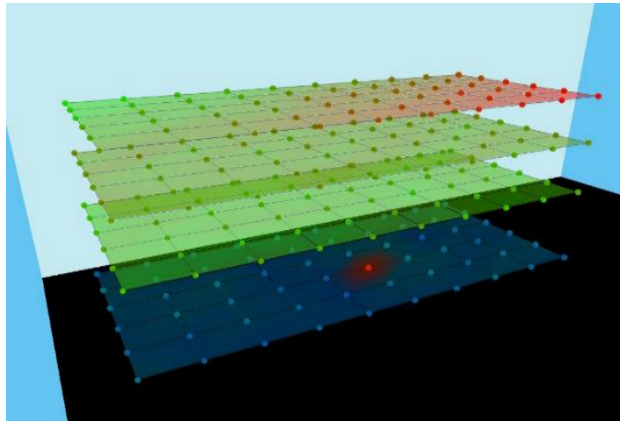


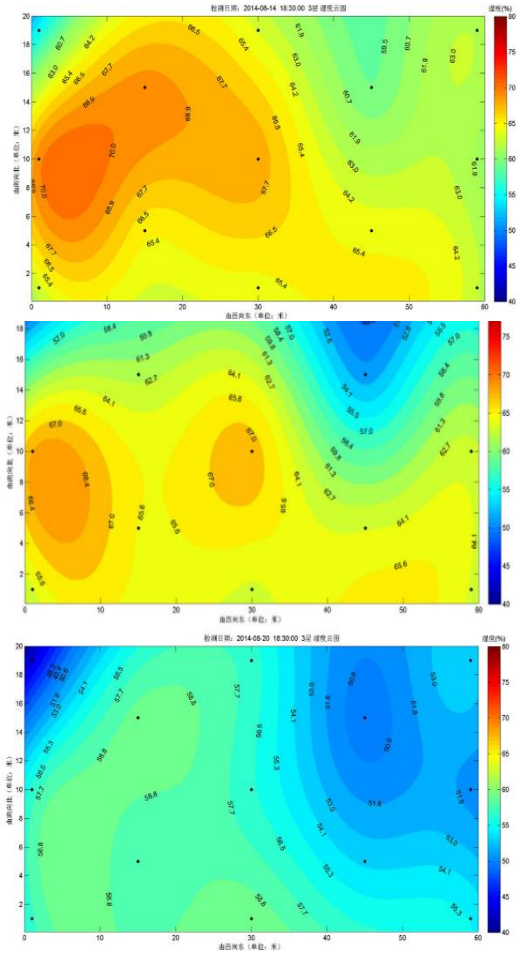


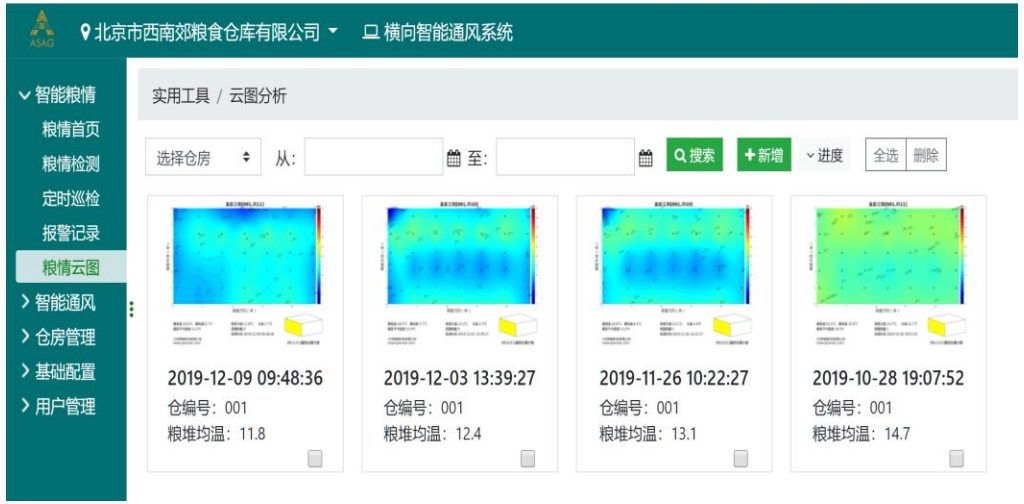
4、实现功能：粮情检测与云图分析

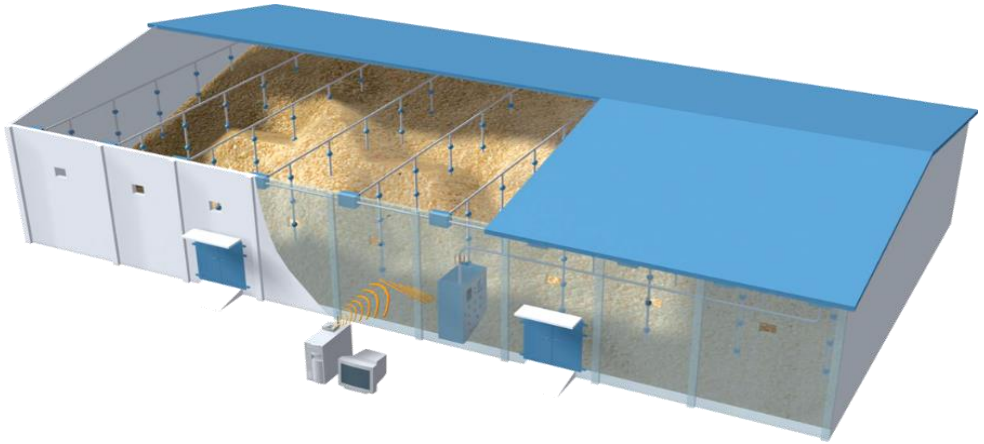
Implementation: grain situation detection and cloud image analysis





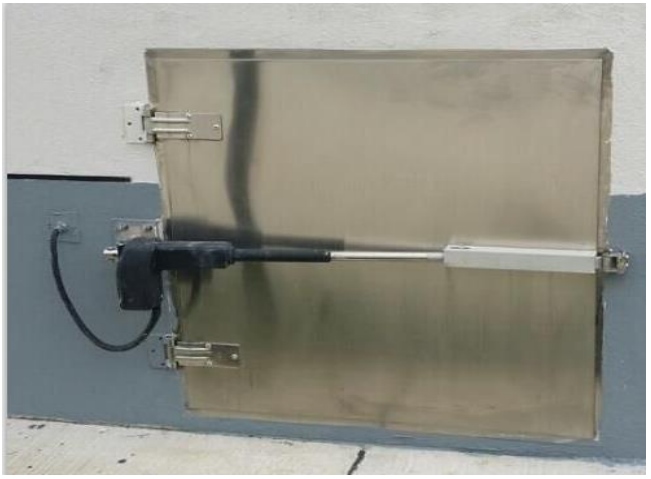






4、实现功能：仓储设施设备智能控制

Implementation: intelligent control of storage facilities and equipment



4、实现功能：不同储粮阶段的多种控温技术的智能管控一体化

Implementation: intelligent control integration of multiple temperature control technologies

WFP World Food Programme

请多提宝贵意见！
Thank you！

石天玉 sty@ags.ac.cn

WFP-China SSC Knowledge Sharing Platform

Cloud School

Sharing for Learning