

2021中国制冷展专题研讨会

冷藏运输技术与装备论坛



蓄冷式疫苗冷链装备 关键技术及其应用

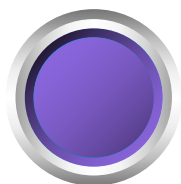
上海海事大学

章学来教授

2021-04-08

目录

- 研究背景
- 蓄冷式冷链运输技术
- 蓄冷材料制备
- 蓄冷式冷链装备研究进展
- 发展展望



研究背景

疫苗安全问题频发



截至7月22日

长春长生公司生产的流入山东的252600支不合格百白破疫苗
(批号201605014-01), 流向已全部查明, 涉及儿童未发现疑似
不良反应增高

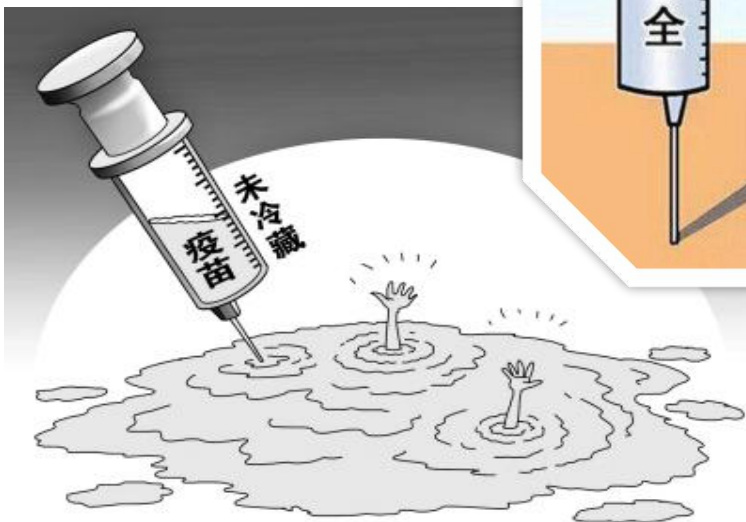
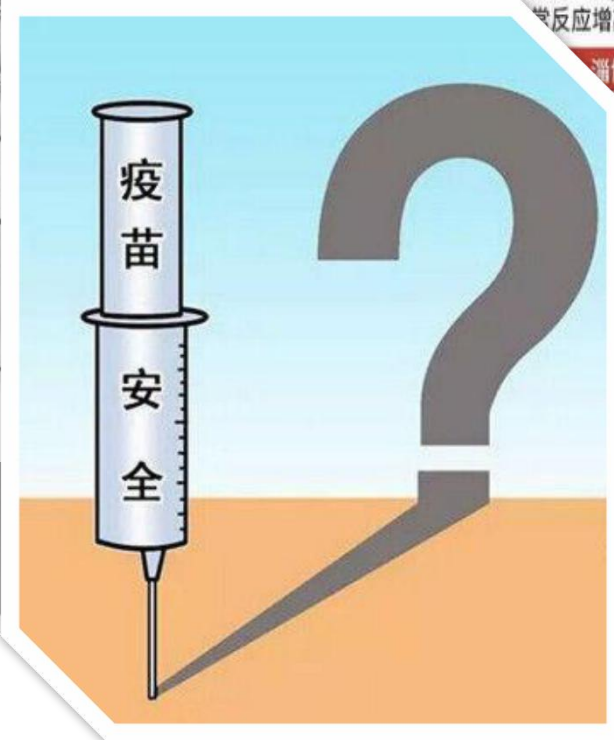
淄博、烟台、济宁、泰安、威海、日照、莱芜等8个市

涉及儿童

215184人

封存

41支



新冠疫苗的广泛接种



全民接
种

国门大
开



疫苗
制



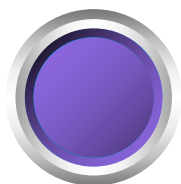
疫情爆
发

疫苗冷链物流研究背景

“疫苗运输的第一关，也是最重要的一关。”

我国研制的新冠灭活疫苗的保存温度为 $2\sim 8^{\circ}\text{C}$ 。
美国辉瑞疫苗保存温度为 -70°C 。





蓄冷式冷链运输技术

常见冷链运输装备

铁路冷藏（保温）车



适应性强
温度分布均匀

冷藏船（仓）



运输能力大
运输距离长

公路冷藏汽车



投资少
管理调度方便

冷藏集装箱



容积利用率高
灵活性强

常见制冷方式



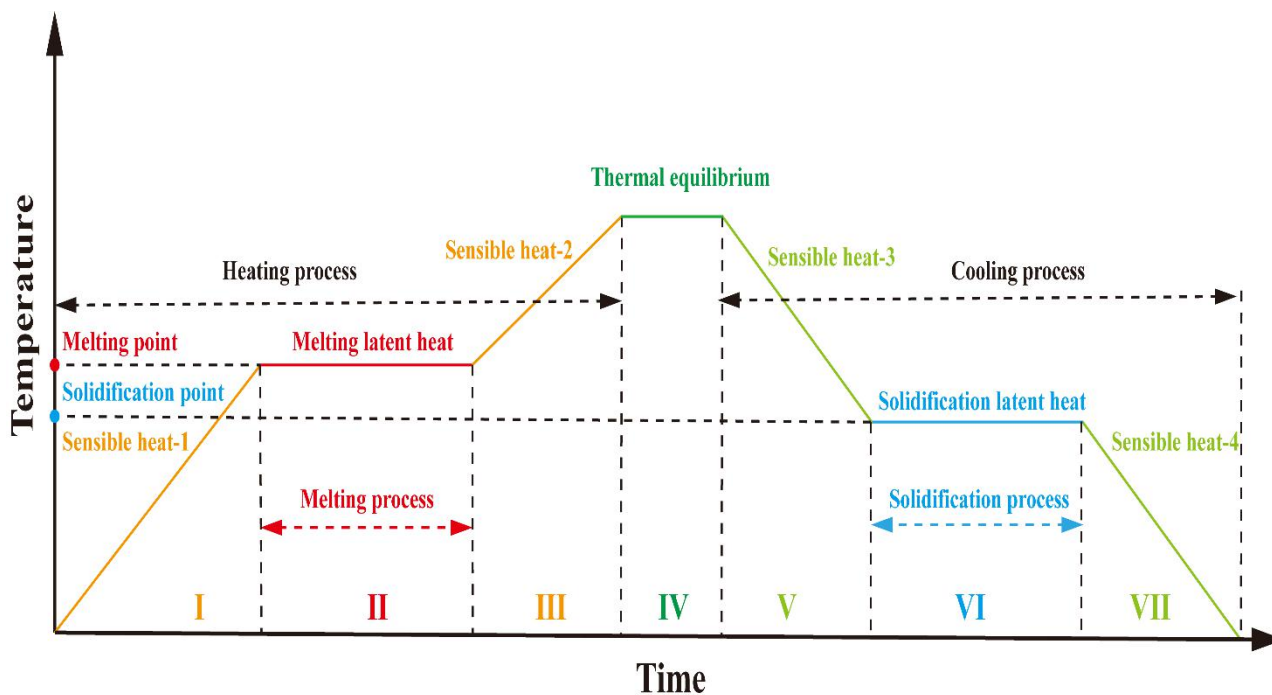
冷链运输类型	机械式	蓄冷式	冰或干冰
制冷能力	最低温度约为 -20°C ，制冷能力依车体大小而定，一般为 $1\text{kW}\sim 12\text{kW}$	制冷温度依相变蓄冷材料融解温度而定	温度 $+5^{\circ}\text{C}$ 以上冷却能力依冰量而定。干冰式使用温度可抵达 -20°C
温度调节	可用温度控制器在 $-20^{\circ}\text{C}\sim 15^{\circ}\text{C}$ 范围内进行调节。	使用不同性质的相变蓄冷材料来变换温度	无温控装置
承载效率	承载效率低	承载效率比机械式高	冷却剂占据承载空间，时承载效率降低
预冷时间	以机械式预冷时间作为比较的基准	蓄冷器冻结时同时预冷，冻结时间比机械式冻结时间长，但多利用夜间运行，故其影响较少	冷却剂在库内上部与下部混合不均，预冷不全，预冷时间长
设备费	通常设备费较高	比机械式便宜	设备费较便宜
使用费	燃料费、修理费较高	利用夜间低谷电力，使用费较低	冷却剂（冰或干冰）的费用较高
其它	使用时噪音较大	无噪音或噪音很小（有通风机时）	无噪音

蓄冷技术分类

蓄冷技术可分为显热蓄冷技术和**潜热蓄冷**技术。

“一种利用相变材料的相变过程进行冷能储存与释放的技术。”

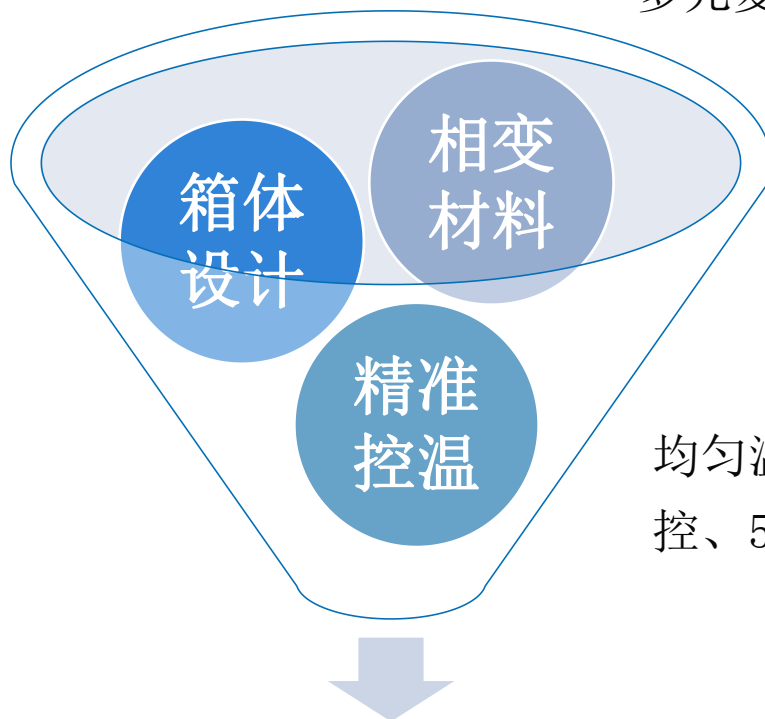
相变材料是一种用于储存能量和控制温度的材料，它属于能源应用范畴。



蓄冷式冷藏运输装备重难点攻克

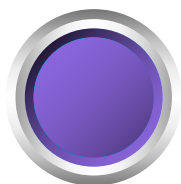
有机相变材料、无机相变材料、
多元复合相变材料等

多温区、可折叠、互联
网冷链运输箱等



均匀温度场、精确温度监
控、5G实时追踪等

成熟的相变蓄冷式冷藏运
输装备



蓄冷材料制备

筛选适宜相变材料

热物理性能

适宜的**相变温度**；
较大的**相变潜热**；
较高的**导热系数**；

化学性能

可逆相变过程；
无毒、无腐蚀性；
不易燃、不爆炸；
对环境无污染。

相变动力学

相平衡性质良好；
无相分离现象；
较小的过冷度。

经济性能

价格便宜。

不同相变材料性能对比

	有机相变材料	无机相变材料	复合相变材料
性能	性能稳定但传热差， 潜热不如无机物	长期使用易变质， 传热好，潜热高	由有机和有机、有机和无机、无机和无机相变材料混合而成，能弥补单一材料存在的不足，但一般会导致潜热和使用寿命下降
过冷度	基本无过冷	有较大过冷	
相分离	不易发生	有相分离	
安全性	腐蚀性、毒性较小	腐蚀性、毒性较大	
经济性	价格较高	价格低廉	

蓄冷实验常用仪器

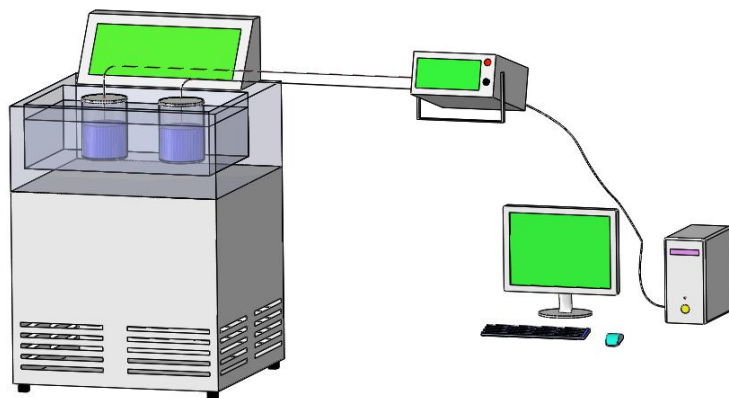
热仪
差示扫描量



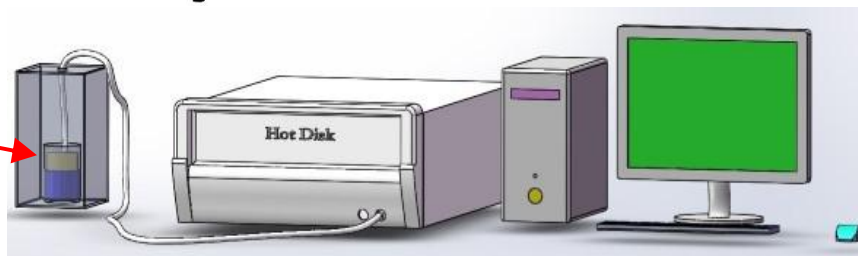
扫描电子显
微镜



低温恒温槽



高低温交变箱



Hot Disk 热导率测试
仪

复合相变材料案例一

● 配比:

聚丙烯酸钠 (PAAS) 水凝胶 + 多壁碳纳米管 (MWCNTs)

● 性能测试:

热物性	相变温度 ℃	相变潜热 J/g	导热系数 $W \cdot (m \cdot K)^{-1}$
第1次	-0.294	334.4	0.9021
循环100次	-0.546	333.8	/

小尺度粒子 (MWCNTs) 的加入改变了基液的结构, 使其由混乱无序的液体分子状态变成均匀排布的“类固”状态, 增强了混合物内部的能量传递过程;

另一方面, 悬浮的粒子受布朗力、静电力等微作用力支配, 在相变储能材料中作无规则扩散, 其微运动产生的微对流同样会增强能量传递过程, 强化相变储能材料的传热。

复合相变材料案例二

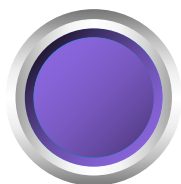
- 配比：
- 山梨酸钾 + 氯化钾 + 蒸馏水
- 性能测试：

热物性	相变温度 ℃	相变潜热 J/g	导热系数 $W \cdot (m \cdot K)^{-1}$
第1次	-2.8	254.6	0.3682
循环200次	-2.6	236	/

在-20℃的蓄冷工况下冻融循环200次，未添加KCl的复合相变材料出现了-5.3℃的过冷度，而含5g/l KCl的复合相变溶液仍然没有过冷度，表明KCl在山梨酸钾水溶液相变过程中具有良好的成核作用，使得该复合相变蓄冷剂在循环使用过程中保持优异的热稳定性。

其余复合相变材料

	质量配比	相变温度 ℃	相变潜热 J/g	导热系数 $W \cdot (m \cdot K)^{-1}$
十四烷：正辛酸	51/49	1	191.8	0.379
癸醇：棕榈酸	97.8/2.2	2.9	203.6	0.267
癸醇：棕榈酸/EG	混合物与EG质量比 15/1	2.7	193.9	1.416
正辛酸：肉豆蔻酸	87/13	7.13	146.1	0.2832
正辛酸：肉豆蔻酸 /0.3%CuO	白猫洗洁精为分散剂	7.727	151.2	0.428
十二醇：辛酸	40/60	2.08	224.5	0.3



蓄冷式冷链装备研究进展

冷藏车箱体设计

多品温物流



单品温物流



多温共配与普通配送模式单指标比较

指标	模式	多温共配	单一配送
技术特征		多种温度货物搭配	单一货物
温度划分		不同温度区域	单一温度
车辆配备		常温车	冷藏、冷冻、常温车
终端设备		常温仓库	冷藏、冷冻、常温仓库
冷冻系统		不需要	需要
温度连续性		高	低
操作成本		低	高
固定成本		低	高
配备容量		高	低

蓄冷保温箱的研发与实验

传统的物流箱一般采用**冰袋**放置箱内的方式进行冷却，占用箱内空间且不利于重复多次使用；

蓄冷保温箱将蓄冷材料填充至**蓄冷板**中，在保温箱中持续供冷；

小批量高品质货物集中供冷运输，**灵活性高，经济环保，可控性强。**



**可循环使用
更省成本**



箱体保温材料性能比较

导热系数mW/m.k



VIP板



有机材料
• 聚氨酯泡沫
• EPS泡沫



无机材料
• 玻璃棉
• 火焰棉
• 珍珠岩



优点

缺点

低导热系数、最佳保温隔热性能，芯材可循环利用

成本较传统保温材料高，价格贵

较无机材料具有良好的保温隔热性能，产品可成板型

有限的保温隔热性能，板材可形变

价格低、不燃

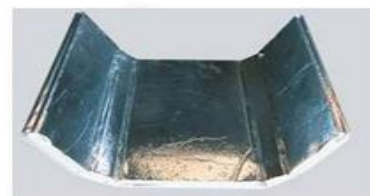
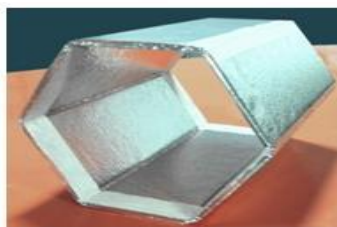
不防潮、强度低、保温隔热效果差、有粉尘和颗粒

VIP在绝热应用方面相比传统绝热材料具有巨大的优势和潜力

高性能长寿命真空绝热板的研发



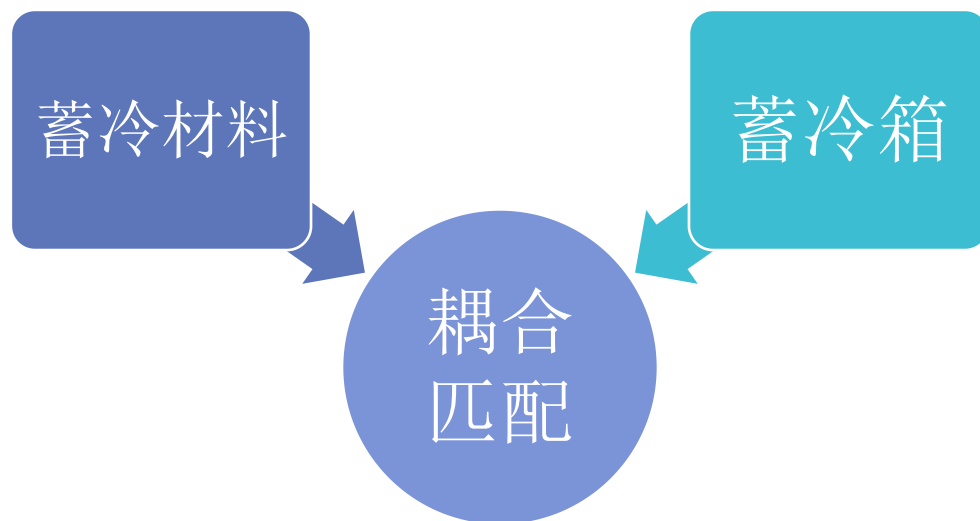
- 采用间歇式抽真空加热预处理工艺及可降阶反气体渗法



高性能真空绝热板及异形真空绝热板

蓄冷保温箱优化

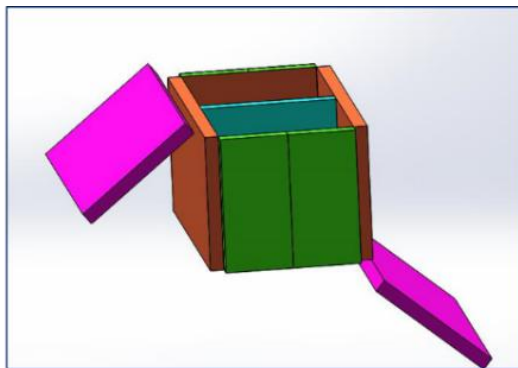
冷藏箱中由于冷热空气发生自然对流并在冷藏空间内形成循环导致冷藏箱内上下温差较大，箱内空间**温度分布不均匀**对冷藏货物的储藏运输十分不利，如何解决冷藏箱内温度分布不均问题，合理设计相变材料和蓄藏箱的匹配是需要解决的重要问题。因此需要对蓄冷箱的优化进行设计研究。



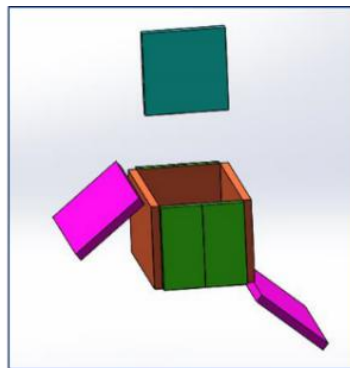
可折叠式疫苗蓄冷保温箱



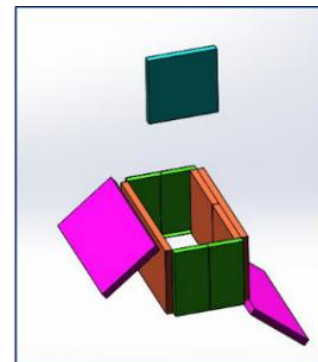
◆ 装备设计



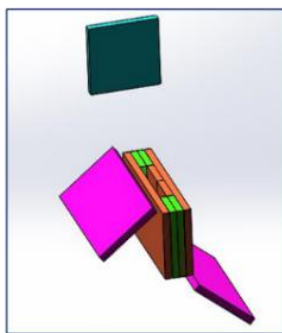
打开上下板



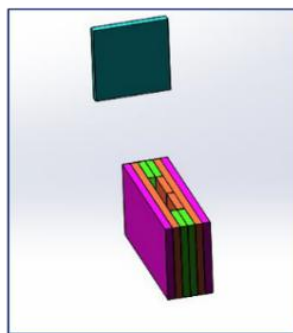
移出隔离板



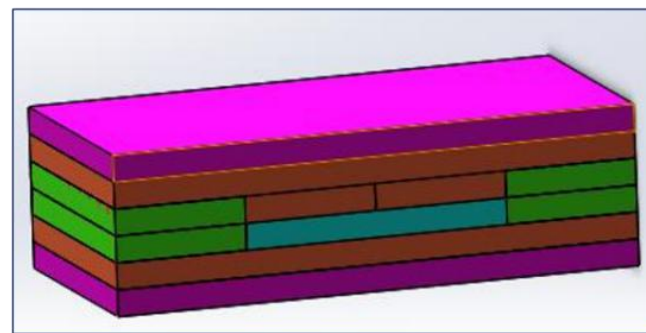
移出左右侧板
贴前侧或后侧



折叠左右侧板



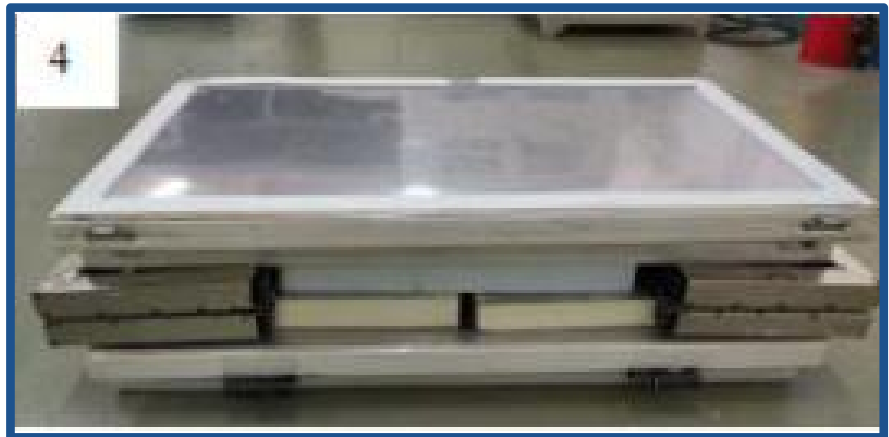
折叠上下板



放入隔离板，完成折叠

可折叠式疫苗蓄冷保温箱

◆ 装备设计



可折叠式疫苗蓄冷保温箱



◆ 实验对比研究

可折叠保温箱



常见保温箱

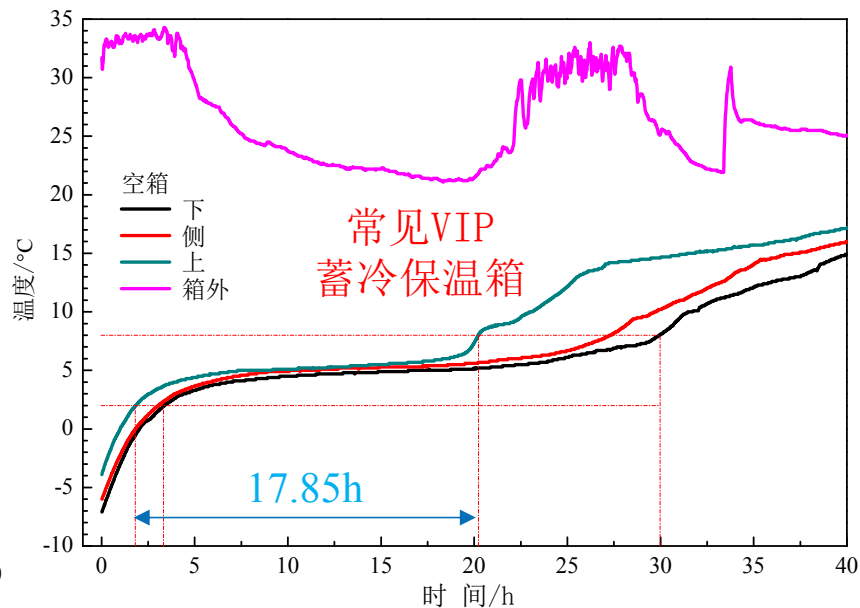
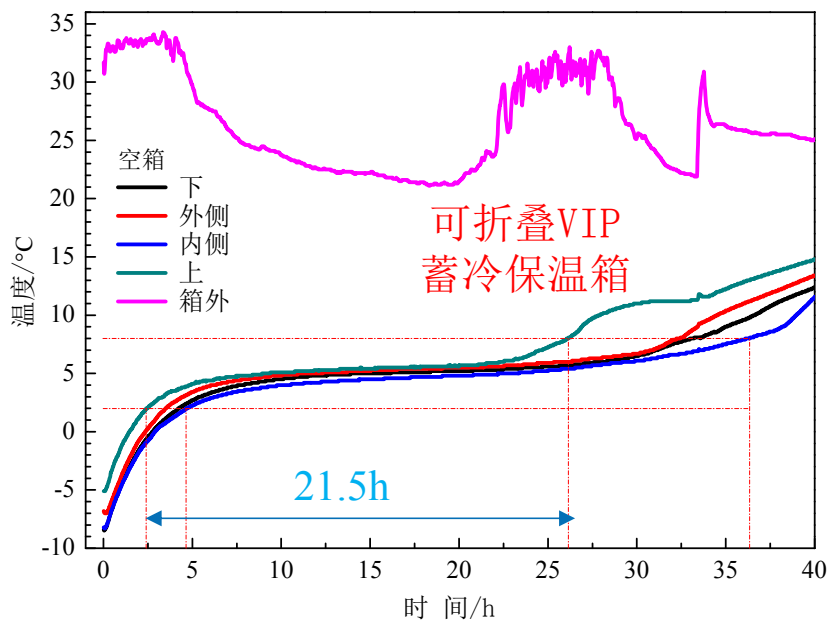


折叠/展开仅需6步，一体式折叠，操作简单。保温箱有效容积大于16L，VIP隔离板可将其分隔为两个温区。

可折叠式疫苗蓄冷保温箱



◆ 实验对比研究——空载

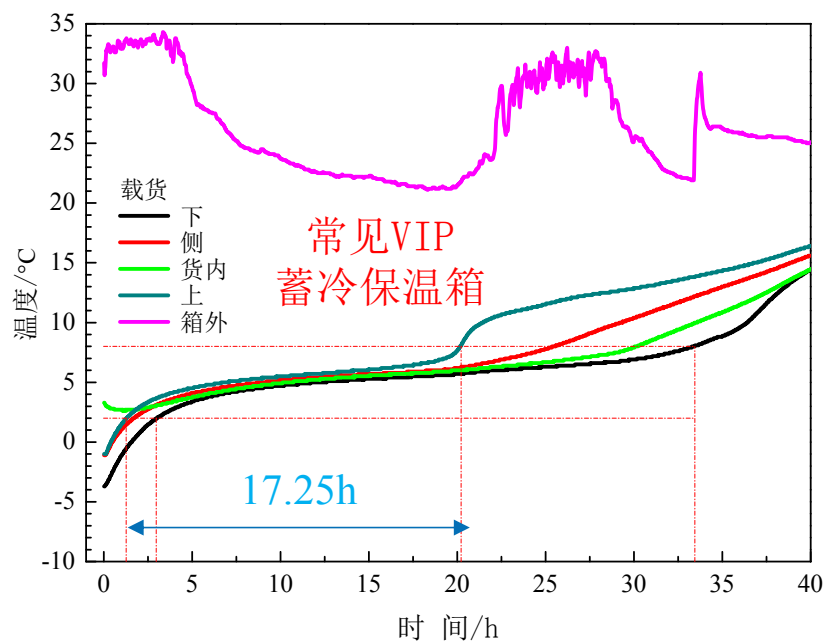
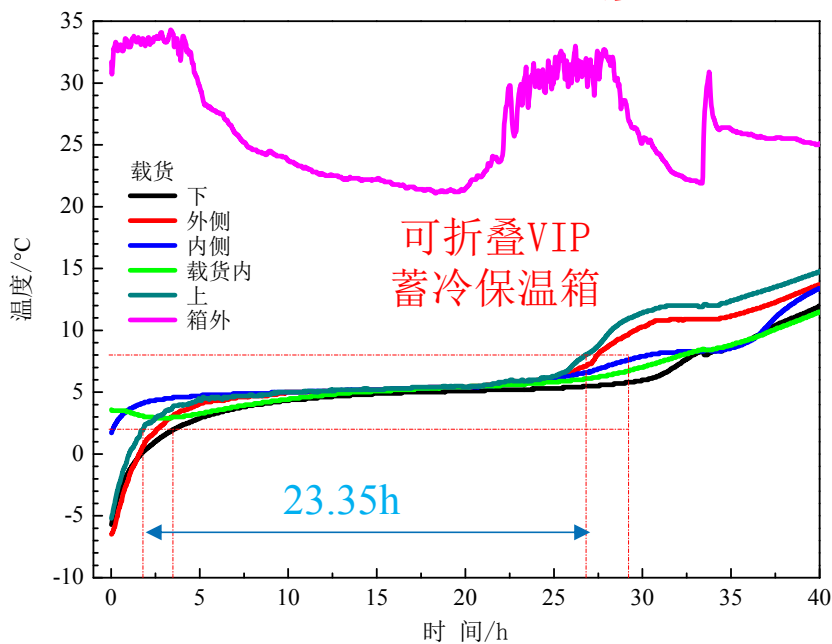


空载时，可折叠蓄冷保温箱的保温时间相对于普通VIP蓄冷保温箱延长了20.4%。

可折叠式疫苗蓄冷保温箱



◆ 实验对比研究——载货



载货时，可折叠蓄冷保温箱的保温时间相对于普通VIP蓄冷保温箱延长了35.36%。

经济实用对比

同规格VIP蓄冷保温箱成本对比

	加工方式	最大尺寸/mm	构成	成本 ^a (元)
VIP拼装 蓄冷保温箱	直接拼装	676*356*356	板材 (气硅) 包装 (板材膜材/外箱或外包)	900
可折叠VIP 蓄冷保温箱	加工安装	676*356*356	板材 (玻纤/聚氨酯/塑钢) 配件 (铰链/密封条/组装型材等)	600

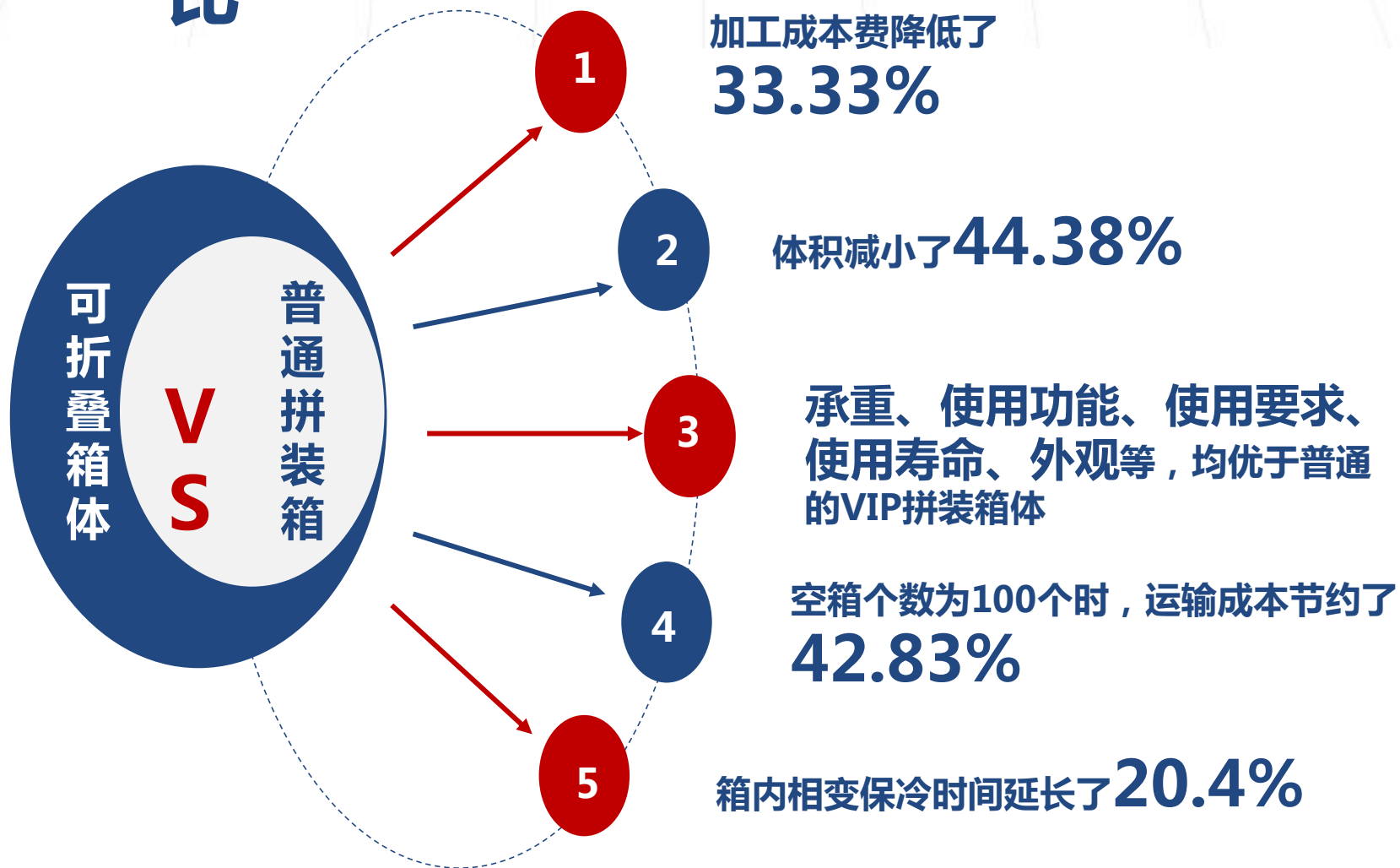
^a成本由合作企业提供

经济实用对比

VIP蓄冷保温箱性能对比

		VIP拼装蓄冷保温箱	可折叠VIP蓄冷保温箱
保温性能		可折叠VIP蓄冷保温箱 > VIP拼装蓄冷保温箱	
承重	抗压	依靠VIP板承重，与VIP板材的强度有关	塑钢板及聚氨酯一体成型，抗压较好
	载重	依靠夹带或外箱外包	依靠铰链等金属件
使用功能		可箱内隔离分为多温区	可箱内隔离分为多温区；折叠后占用空间减小，储存要求降低；打开/折叠都比较容易
使用要求		箱体板材基本是暴露的，若出现破损漏气，其导热系数大大增加，因此需注意VIP板材的防刺穿	由于箱体内外层都是塑钢板，同时具有较好的承重能力，所以其适用范围较广泛；且折叠箱体的左右侧及隔板也可以增加塑钢板
使用寿命		通过以上对比分析，折叠箱的使用寿命将超过常规的VIP拼装箱	
体积		$8.567 \times 10^{-2} \text{ m}^3$	折叠后体积为 $4.765 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ （降低了44.38%）
外观		外侧可纸箱包装，但内层板材仍是暴露的 视觉上无法达到美观	箱体内外层是塑钢板，具有较丰富的色彩，可以做到不同的设计风格，满足客户的视觉要求

经济实用对比

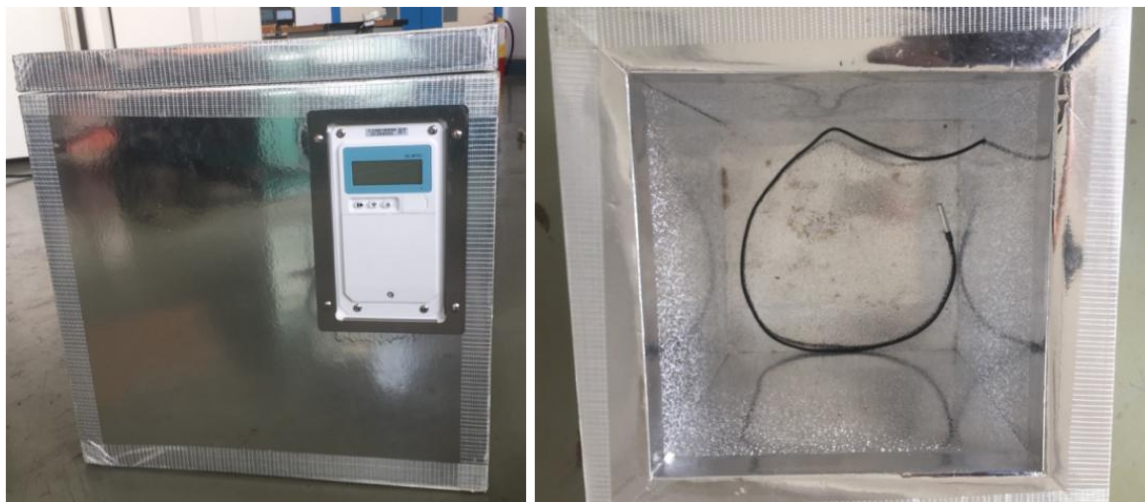


新型蓄冷盒疫苗蓄冷保温箱



◆ 装备设计

冷链箱



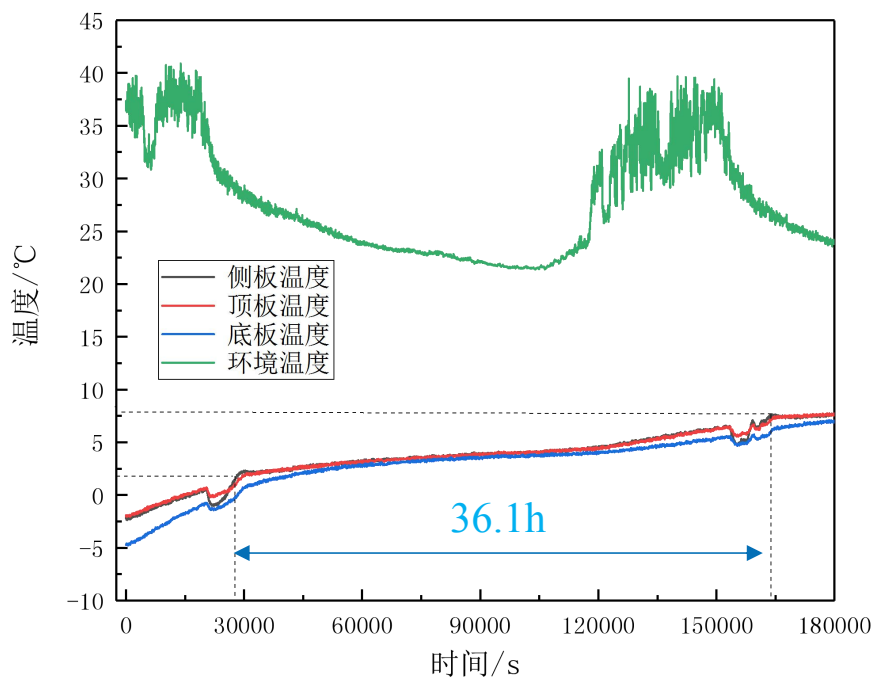
蓄冷盒

新型蓄冷盒疫苗蓄冷保温箱

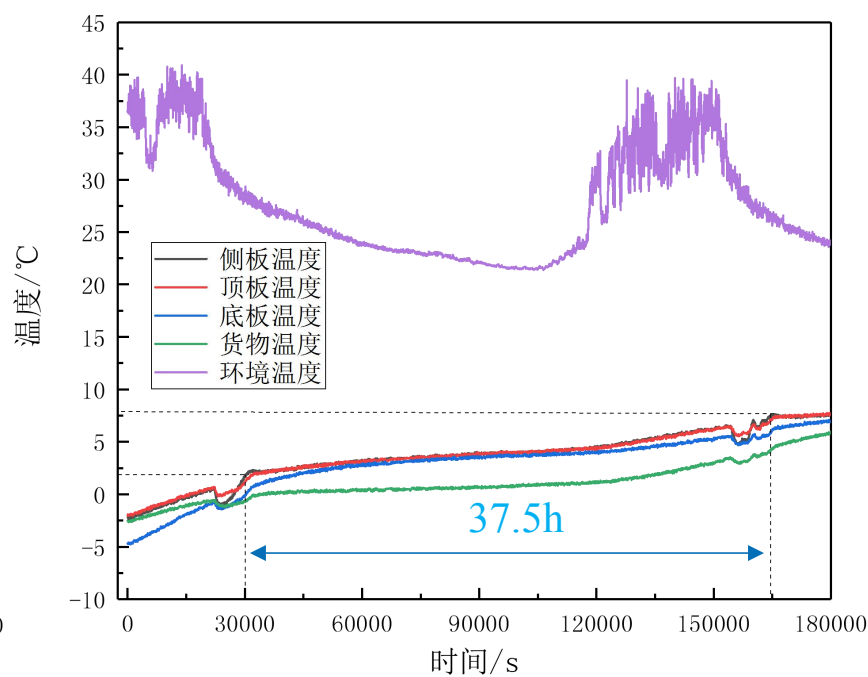


◆ 实验对比研究

空载



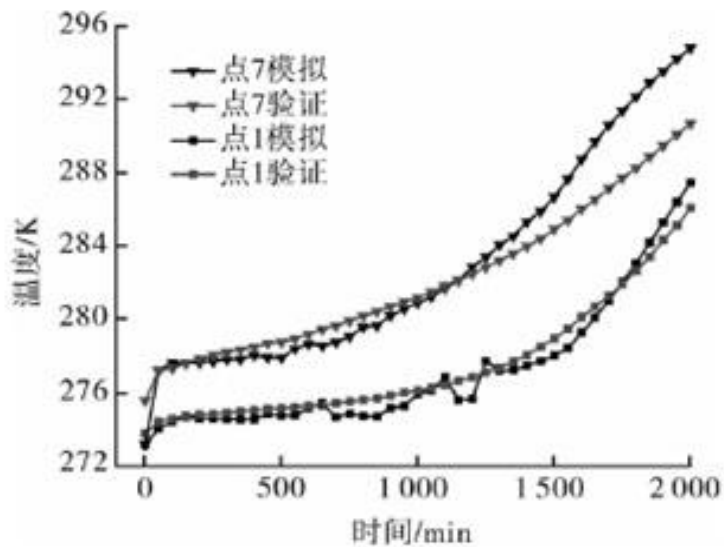
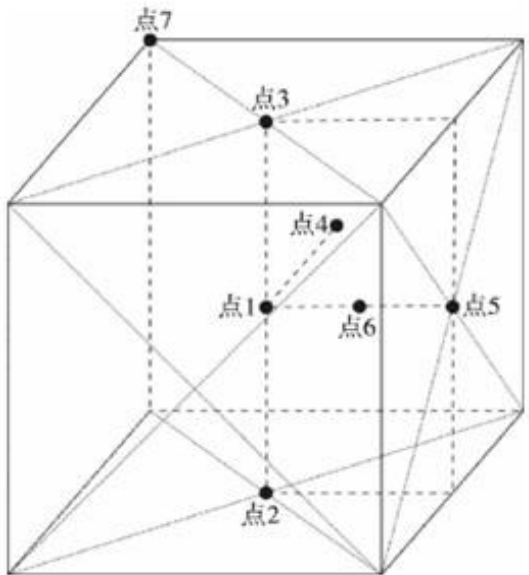
满载



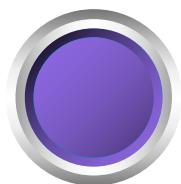
具有良好的蓄冷保温效果，可以得到广泛的应用。

温度场均匀性问题

◆ 预冷温度对温度场均匀性的实验研究



如果相变材料的预冷温度会使得与外部环境的热交换也随之加快，从而减弱甚至得到更差的保温效果。



发展展望

发展展望



✦ 实现智能监控冷链物流运输过程。

智能控制是蓄冷箱在运营过程中有效管理的重要手段，但目前技术应用在蓄冷箱的程度较低，一般为RFID技术和温度测量技术，这个技术阶段对于温度实时监控、实时动态跟踪反馈等功能是无法实现的，不利于数据收集、数据挖掘和数据预测。

✦ 将物联网技术应用到冷链物流中。

物联网会对整个产品流通过程进行实时监控，将从中产生的各类数据进行收集分析。然而，整个过程中产生的数据量十分庞大，加上历史累积数据，使得物联网海量数据的储存问题成为一项亟需解决的难题。

✦ 设计多规格多温区的冷链运输装备。

考虑不同的应用场景来设计蓄冷箱的规格和多温分区，以充分提高蓄冷箱运用的经济性，储载货空间应有一定的弹性。

✦ 研究影响冷链运输装备温度场均匀性的因素。

如蓄冷板的摆放位置，大型箱的蓄冷板位置摆放不当则会产生较大的温差，此时应考虑加设循环风扇以形成强制对流；同时要考虑箱体的重心高度和装货空间的利用率，最好是采用蓄冷板顶置和侧置相结合的方式。



Thank you for your attention
感谢您的关注

章学来教授

Email: xlzhang@shmtu.edu.cn