

智慧冷链背景下冷库空间布局设计探析

余修礼 韩海海 (通讯作者) 夏铭坚
云南省设计院集团有限公司 云南昆明 650000

DOI: 10.32629/ems.v8i7.21153

[摘 要] 在智慧冷链普及背景下，冷库作为冷链物流核心节点，其空间布局质量决定仓储运营效率、能耗控制水平与智能化适配能力。本文立足温和地区气候特征与农产品冷链需求，依托冷链物流建筑设计成果，从总平面交通组织、内部功能分区、结构适配与安全设计、智慧化优化策略四维度，阐释冷库空间布局设计逻辑与实施路径。研究表明，科学规划出入口与装卸场地、模块化组织温区与功能单元、选用适配自动化设备的结构形式、预留智慧化升级空间，可提升冷库空间利用率、降低冷热损耗、支撑物联网与自动化系统运行。研究成果可为温和地区智慧冷链冷库规划设计提供参考与指引。

[关键词] 智慧冷链；冷库；空间布局；建筑设计；温和地区

一、引言

云南省是我国特色农产品主产区，果蔬、鲜切花等对低温储运需求大，冷链物流潜力大。《云南省农产品产地仓储保鲜冷链物流建设三年行动方案（2023—2025 年）》提出，到 2025 年农产品产地冷藏保鲜设施库容量达 800 万立方米以上，建成 40 个产地冷链集配中心，果蔬、鲜切花、食用菌产地低温处理率分别达 30%、70%、70%左右，产地冷链基础设施建设进入快速发展期。温和地区气候温和、温差适中、湿度大，冷库设计需兼顾保温隔热等四大核心需求。但部分冷库设计沿用传统思路，存在出入口布局不合理等问题，难以匹配智慧冷链发展要求。因此，系统研究智慧冷链背景下冷库空间布局设计策略，对提升温和地区冷链物流效率、保障农产品品质、推动行业高质量发展有重要现实意义。

二、智慧冷链背景下冷库总平面布局设计

表 1 冷库场地出入口尺寸与布置模式

出入口宽度	设计净宽	行车模式	组成结构（由外至内）
12m	12m	一进一出	5m 车行出口 + 2m 岗亭岛 + 5m 车行入口
15m	14.5m	两进一出	5m 车行出口 + 2m 岗亭岛 + 7.5m 车行入口
18m	17m	两进两出	7.5m 车行出口 + 2m 岗亭岛 + 7.5m 车行入口

18m 出入口还可采用门卫居中布置模式，形成 9m 宽车行入口、4.5m 宽门卫室、4.5m 宽车行出口的組合，进一步提升货车进出效率，适配智慧冷库高频次、大流量的物流需求。

2.2 装卸场地布置

装卸场地是货运车辆与冷库建筑衔接的核心空间，直接影响货物装卸效率与冷热交换损耗，根据场地条件、装卸效率需求及自动化设备适配性，分为垂直式与平行式两种主流布置形式。

垂直式布置：装卸货场地与建筑出入口直接相连，且垂直于相邻市政道路，货运车辆经场地出入口直行即可到达卸

冷库总平面布局是实现人、车、货高效分流的基础，直接决定冷链物流的外部流转效率，核心需解决场地出入口规划、装卸场地选型、场内道路与消防组织三大关键问题，为智慧化装卸、运输、巡检提供顺畅的外部条件^[1]。

2.1 场地出入口设计

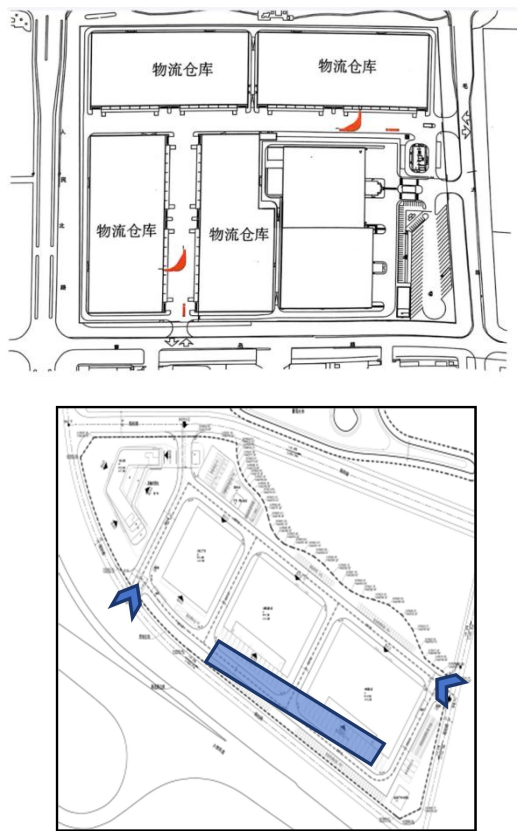
场地出入口是冷库物流流转的第一道关口，设计需兼顾交通独立性、通行效率、大型车辆适配性三大原则。为避免大型货运车辆进出对城市主干道交通流造成干扰，冷库出入口不宜直接开设于城市主干道，优先选择次干道或园区内部道路衔接。温和地区冷库根据项目规模、车流量及车型，常用出入口宽度分为 12m、15m、18m 三类，其中 15m、18m 宽出入口适配性更强，优先推荐选用，出入口转弯半径不宜小于 15m，确保 15m 长集装箱卡车顺畅转弯、进出。

不同宽度出入口采用标准化组合模式，实现车流高效组织：

表 1 冷库场地出入口尺寸与布置模式

货车位，一次倒车即可完成停靠，司机操作便捷、倒车距离短、装卸效率高。两栋面对面布置的仓库，共享卸货场地宽度建议设置为 48m，单侧独立卸货场地宽度加宽至 32m，有效避免倒车车辆与直行车辆动线冲突，适配自动化登车桥、无人叉车快速作业需求，是智慧冷库优先推荐的布置形式^[2]。

平行式布置：装卸货场地与市政道路平行，或通过内部道路衔接，货运车辆需转弯后倒车进入车位，可有效分散通过装卸区域的货车流，适合出入口空间充足、场地开阔的项目。但相较于垂直式，装卸效率偏低，对出入口转弯半径与场地空间要求更高，需预留充足空间满足自动化设备转弯、调度需求。



图示：南华县冷链物流集散中心
——平行式布置示意

图 1 垂直式与平行式装卸场地布置示意

2.3 场内道路与消防组织

场内道路需兼顾重型货车通行、消防救援、智慧巡检车辆行驶三重需求，货车道设计标准明确：直线单行车道宽度不小于 6.0m，直线双行车道宽度不小于 9.0m，转弯处道路局部加宽，适配大型车辆转弯；15m 长集装箱卡车转弯半径不小于 15m，道路纵坡不大于 6%，道路宽度不大于 9m 时，单向纵坡不大于 1.5%，避免重型货车行驶故障。考虑重型货车对雨水篦子破坏较强，场内道路排水采用侧排方式，保障道路耐久性，为智慧化巡检车辆提供稳定通行环境。

消防道路需严格遵循规范要求：直行消防车道宽度不小于 4.0m，环形消防车道宽度不小于 6m，消防车道与仓库外墙距离控制在 5~10m 范围内，道路纵坡不大于 8%，确保消防车辆快速抵达作业区域，同时适配智慧消防巡检、应急调度需求^[3]。

三、智慧冷链背景下冷库建筑内部空间布局

冷库建筑内部空间布局是保证低温存储质量、降低能耗、适应智慧化作业的关键，主要遵循温区精准划分、功能分区明确、作业动线简洁、结构适配智能设备四个原则，合理安排库房、穿堂和月台、机房三个主要功能区。

3.1 温区划分与库型选择

智慧冷链重视精准温控和分区管理，冷库要依照存储货物特性准确划分温区，达成不同货物的低温适应性储存，削减冷量交叉损耗，缩减制冷能耗。常见库型及温区、适用场景如下：

表 2 冷库库型温度区间及适用场景

库型	温度区间	适用货物类型
保鲜库	0~6℃	新鲜果蔬、乳制品、鲜肉
冷藏库	-20~-10℃	常规冷冻食品、冻肉制品
低温库	-25~-18℃	长期储存冻品、水产冻品
速冻库	-30℃以下	速冻水饺、速冻果蔬、预制菜
超低温库	-60~-45℃	生物制剂、高端海鲜、特殊食材

针对云南特色农产品，温区进一步细化：热带水果（香蕉、芒果）12~15℃，鲜切花 7~10℃（多数鲜花 2~4℃），冻猪肉 -18~-15℃，水产品 -18℃以下，布局时将同类温区集中设置，形成模块化温区单元，减少温区切换能耗，适配物联网系统分区调控温度，实现精准化、智能化温控管理。

3.2 核心功能分区组织

3.2.1 库房（存储区）

库房是冷库核心功能空间，包含冷却间、冻结间、冷藏间、冰库等，设计需兼顾空间利用率、自动化适配、保温节能。单层冷藏库柱距优先采用 12m，适配标准货架模数；层高差异化设计：单层冷藏间不小于 6m，多层冷藏间不小于 5m，单层高架冷库不小于 13m 且不大于 28m，适配不同高度自动化货架、AGV 搬运机器人通行。库房尽量少开窗、少开洞，工艺、水、电等设备管道集中布置，减少冷热空气交换；采用快速冷藏门，门扇与地面、门框接触面安装加热丝防冻结，无需设置回笼间，减少开门能耗，同时为温湿度传感器、监控摄像头、AGV 充电点位预留安装空间。

3.2.2 穿堂与月台（装卸缓冲区）

穿堂与月台是冷库内外衔接的关键枢纽，承担货物装卸、临时周转、冷热缓冲功能，是降低冷热损耗、提升装卸效率的核心区域。月台宽度严格遵循规范，不小于 7m，建议不小于 12m，预留货物临时堆放、自动化设备作业空间；月台高度比室外装卸货广场高 1.2~1.3m，配置高度调节板，适配不同车型装卸需求。穿堂作为缓冲空间，有效隔绝外界热空气直接进入库房，降低冷热交换损耗。智慧冷库优先采用月台居中、穿堂连通布局，业务大厅、叉车充电间、更衣室、卫生间等辅助功能区布置于两侧，动线清晰、管理集中，适配自动化装卸、人员高效作业需求。

3.2.3 机房（设备区）

机房包含制冷机房、控制室、高低压配电室、发电机房等，承担制冷、供电、设备管控功能，集中布置便于智慧化集中管控、减少管道能耗。制冷机房靠近库房布置，缩短制冷管道长度、减少冷量损失；控制室与制冷机房相邻，便于

实时监控制冷系统运行参数，适配能源管理系统、智能监控系统集成；柴油发电机可采用室外一体化设备，减少机房占地面积、降低建造成本，同时预留智慧化设备监控、数据传输接口^[4]。

3.3 结构形式适配

冷库结构形式直接影响空间利用率、自动化适配性与施工周期，主流分为三类：1）钢筋混凝土 + 砌块结构：坚固耐久、承重能力高、防火性能好，适合大型冷库；但施工周期长、内部柱网密集，降低冷库有效使用容积，投资成本较高，适配性较弱。2）钢结构 + 保温板结构：以轻型钢架为

承重结构，搭配聚氨酯、聚苯乙烯夹芯保温板，施工周期短、空间开阔、柱网灵活，适配自动化货架、AGV 作业，是智慧冷库主流选择。3）装配式冷库结构：采用门式刚架结构，金属面绝热夹芯板现场组装，施工工期短、库内净高可达 20m、柱网间距大，空间利用率最高，适配窄巷道货架、三向堆垛叉车，智能化适配性最强，适合中小型智慧冷库。

3.4 防火分区设计

冷库防火安全是智慧运营的前提，需划分防火分区、严控建筑规模，同步落实防火间距与消防设施配置要求。

表 3 不同耐火等级、建筑形式冷库冷藏间防火分区控制指标

冷库耐火等级与建筑类型	库房最大占地面积（m²）	单个防火分区建筑面积（m²）
一、二级耐火等级单层 / 多层冷库冷藏间	7000	3500
高度>24m 且层数≥2 层高层冷库（一、二级耐火）	5000	2500
三级耐火等级冷库	1200	400

两座贴邻布置的一、二级耐火等级库房需严控防火间距与构造：贴邻库房总长度不大于 150m，冷藏间总占地面积不大于 10000 m²，相互贴邻侧外墙采用防火墙，屋顶承重构件、屋面板耐火极限不低于 1.00h，库区配套设置环形消防车道；库房占地面积大于 1500 m²时，沿库房两个长边布置消防车道。高层冷库沿建筑一个长边或周边 1/4 且不小于一个长边长度的底边布置不少于 2 块消防车登高操作场地，建筑每层外墙对应位置设置消防救援口，单个防火分区消防救援口设置数量不少于 2 处；全库区同步配套智慧消防报警、应急联动系统，实现消防设施智能化管控。

四、智慧冷链背景下冷库空间布局优化策略

4.1 构建人车货分流的智慧化作业动线

以自动化设备运行为核心，重构场内作业流线：货运车辆沿园区外围道路行驶，避开人员通道与 AGV 作业区；人员通道靠近办公区、辅助功能区，减少与货物动线交叉；设置独立 AGV 专用通道，宽度匹配设备尺寸、转弯半径，实现人、车、货高效分流，提升作业效率与安全性，适配智慧化调度、管理需求。

4.2 强化模块化温区与缓冲空间设计

采用模块化温区设计，将温度相近、存储特性相似的货物集中布置，相邻温区间设置保温隔墙阻断冷桥，减少冷量损耗；强化穿堂、月台、缓冲间等过渡空间设计，提升冷热缓冲效果，降低外界热空气对库房温度的扰动；外墙采用传热系数≤0.25 W/(m²·K) 的高效保温材料，配合制冷系统余热回收技术，为办公区供暖，降低整体能耗，契合绿色低碳发展理念。

4.3 预留弹性空间适配智慧化升级

智慧冷链技术更新迭代快，冷库空间布局需具备弹性适配能力：柱网、层高、通道宽度预留自动化设备升级、扩容

空间；机房、控制室预留监控终端、能源管理系统、数据传输接口；库房、穿堂预留传感器、摄像头、AGV 充电点位，兼顾当前运营需求与未来技术拓展，降低后期改造、升级成本，保障冷库长期适配智慧冷链发展趋势。

五、结语

智慧冷链背景下，冷库空间布局设计需突破传统仓储思维束缚，以高效流转、精准温控、弹性适配、绿色低碳为核心目标，统筹总平面交通组织、内部功能分区、结构选型与安全设计。温和地区冷库需结合本地气候特征、农产品存储需求及智慧化运营特点，优选垂直式装卸场地、模块化温区布局、钢结构或装配式结构形式，科学规划出入口、通道、月台、机房等关键节点，适配自动化装卸、物联网监控、智能调度等智慧化系统运行。科学合理的空间布局，能够有效提升冷库空间利用率、降低冷热损耗与运营能耗、保障货物品质安全，推动冷库由传统低温仓储向智慧化冷链枢纽转型。未来，随着数字孪生、人工智能、智能传感技术在冷链领域的深度融合，冷库空间布局将进一步与智慧运营、绿色低碳深度绑定，为我国冷链物流高质量发展提供更强有力的支撑。

[参考文献]

[1]何桂香,刘国强,沈雄新,等. 冷库水平空气幕热湿阻隔性能数值模拟研究[J/OL]. 西安交通大学学报, 2026, (07): 1-12[2026-05-24].

[2]高学斌,陈茹,邓兴旺,等. 高大空间物流冷库气流组织特性研究[J]. 节能, 2025, 44(12): 6-10.

[3]郑尚敏. 无人冷库叉车面临的技术问题及其专用技术研究[J]. 工程机械与维修, 2025, (11): 8-10.

[4]黄逸茗,李保国,王欣. 小型装配式冷库的温度场分布及监测布点优化研究[J]. 包装工程, 2025, 46(17): 202-221.