

## 冷链建筑电气设计的环境适配与安全防护要点

李振宾

北京清大原点建筑设计有限公司河北分公司, 河北 石家庄 050000

**[摘要]**冷链建筑作为生鲜、医药等易腐物品储存、周转的核心载体,其电气系统的稳定运行直接决定冷链品质与运营安全。传统建筑电气设计方案难以适配其使用要求,易出现电气设备失效线路和故障等问题。文章立足冷链建筑的环境特性,系统分析电气设计中环境适配的核心需求与关键技术,为冷链建筑电气设计的标准化和安全化,高效化提供技术支持,规避各类电气安全风险,保障冷链建筑长期稳定运营。

**[关键词]**冷链建筑; 电气设计; 环境适配; 安全防护

DOI: 10.33142/sca.v9i1.18948

中图分类号: TU85

文献标识码: A

### Environmental Adaptation and Safety Protection Points for Electrical Design of Cold Chain Buildings

LI Zhenbin

Hebei Branch of Beijing Qingda Yuandian Architectural Design Co., Ltd., Shijiazhuang, Hebei, 050000, China

**Abstract:** As the core carrier for storing and circulating perishable items such as fresh food and medicine, the stable operation of the electrical system in cold chain buildings directly determines the quality and operational safety of the cold chain. Traditional architectural electrical design schemes are difficult to adapt to their usage requirements, and are prone to problems such as electrical equipment failure circuits and malfunctions. The article focuses on the environmental characteristics of cold chain buildings, systematically analyzes the core requirements and key technologies for environmental adaptation in electrical design, provides technical support for the standardization, safety, and efficiency of electrical design in cold chain buildings, avoids various electrical safety risks, and ensures the long-term stable operation of cold chain buildings.

**Keywords:** cold chain architecture; electrical design; environmental adaptation; safety protection

#### 引言

伴随着生鲜电商等新兴产业的快速发展,冷链建筑的规模数量也呈现出明显的增长趋势,功能也逐渐向集仓储、配送等综合性方向进行转变。电气系统是“神经中枢”,其设计的合理性以及科学性对冷链建筑的运行效率安全意有着直接的影响。因冷链建筑内部通常维持着低温环境,为电气的设计带来了诸多的严峻挑战,尤其是在冷热交替的区域,容易产生凝露现象,引发电气故障,给冷链建筑的运营带来严重损失。目前,我国冷链建筑电气设计多参考普通规范,专项标准待完善,加之部分设计人员重视不足等问题。本文聚焦冷链建筑电气设计环境适配与安全防护要点,梳理关键技术与防护措施,构建设计框架,为实

践提供参考,推动行业安全健康发展。

#### 1 冷链建筑的环境特性及对电气设计的影响

##### 1.1 冷链建筑的核心环境特性

冷链建筑的环境特性主要源于其功能需求,核心是维持特定的低温环境以保障易腐物品的品质,同时需满足人员作业和设备运行的基本条件,其环境特性可概括为以下4点,各特性参数及影响范围详见表1。

##### 1.2 环境特性对电气设计的核心影响

冷链建筑的特殊环境特性,会直接导致电气系统故障,对电气设备性能的影响,低温会影响电气设备内部元器件的工作特性,导致设备启动困难、运行不稳定,使用寿命大幅缩短。高湿与凝露环境会导致电气设备的金属部件锈

表1 冷链建筑核心环境特性及影响参数表

环境特性类型	典型参数范围	主要影响区域	核心影响对象
低温特性	冻结间: -40℃~-18℃; 冷藏间: -18℃~10℃; 机房: 5℃~25℃	所有储存区域、制冷机房	电气设备绝缘、线路材质、蓄电池
高湿特性	相对湿度 60%~95%, 部分区域存在凝露	冷藏间、分拣区、设备机房	金属部件、接线端子、控制模块
负荷波动特性	启动电流为额定电流 3~7 倍, 负荷波动幅度 20%~80%	制冷机房、输送设备区域	变压器、断路器、供电线路
防爆特性(部分场景)	存在氨、氟利昂等易燃易爆介质	氨制冷机房、制冷剂储存区	所有电气设备、线路连接点

蚀, 接触电阻增大, 局部过热, 进而烧毁设备; 凝露还会渗入设备内部, 导致设备失控。对于防爆区域, 若电气设备不具备相应的防爆等级, 将会引发安全事故。对供电系统稳定性的影响冷链建筑用电负荷的剧烈波动, 影响电气设备的正常运行, 制冷机组等大型设备的频繁启停会产生冲击电流会造成供电设备造成损伤, 长期作用下会导致设备老化加速, 甚至引发供电系统故障, 造成大面积停电, 若停电时间过长, 会导致储存物品变质, 造成重大经济损失。冷链建筑的墙体和地面多采用保温材料, 线路敷设时需穿透保温层, 若处理不当, 会破坏保温层的完整性, 导致冷量流失。应急照明系统若未考虑低温特性, 蓄电池无法正常工作, 停电时无法提供有效的应急照明。

## 2 冷链建筑电气设计的环境适配要点

### 2.1 供电系统的环境适配设计

供电系统是冷链建筑电气设计核心, 环境适配性影响电气系统稳定可靠, 需结合冷链环境与负荷特点针对性设计。依相关标准, 按规模、功能及断电损失分级。大型、国家储备冷库及医药冷链核心负荷为二级, 用双回路或一回路由专用线+自备电源; 小型非核心负荷为三级, 单回路加应急备用电源。防爆区供电独立, 设应急电源保事故设备运行。选节能型干式变压器, 适应低温且无漏油风险; 容量结合负荷波动核算, 留 30%~50% 余量, 负荷大且淡旺季差异大时用 2 台, 负荷率 0.8~0.9。布置靠近负荷中心, 低温区保温, 与氨制冷机房毗邻有防火要求。用电负荷波动大、感性负荷多, 设无功补偿系统, 集中与分散结合, 功率因数一般 $\geq 0.9$ ; 设电压调节装置保电压稳定; 供电系统设浪涌保护器, 户外接入处选适配低温的。

### 2.2 电气设备选型的环境适配设计

电气设备的选型是环境适配设计的关键, 需根据冷链建筑不同区域的环境参数(温度、湿度、防爆要求), 选用具备相应适配能力的设备。对于冻结间、冷藏间等低温高湿区域, 照明灯具优先选用耐低温 LED 灯, 其启动速度快、能耗低, 且能够适应 $-40^{\circ}\text{C}$ 的低温环境, 防护等级不低于 IP54, 避免凝露渗入灯具内部, 温度、湿度传感器需选用高精度、耐低温型号, 温度传感器精度不低于 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , 能够适应 $-40^{\circ}\text{C}\sim 10^{\circ}\text{C}$ 的温度范围, 湿度传感器能够适应 60%~95% 的相对湿度范围, 且具备防凝露功能, 确保检测数据的准确性。对于制冷机房等负荷波动剧烈的区域, 制冷机组和水泵等设备的控制柜需选用具备过载、缺相保护等功能的型号, 能够承受 3~7 倍的启动冲击电流, 避免负荷波动对设备造成损伤, 断路器的额定电流需留有足够的余量, 应对负荷波动。对于存在氨制冷等防爆需求的区域, 电气设备需严格按照 GB50058—2014《爆炸危险环境电力装置设计规范》要求选型, 选用具备相应防爆等级的设备: 氨气属于 II 类 A 级爆炸性气体, 避免电火花引燃氨气, 氨气浓度检测报警设备需选用防爆型, 设置在设备上方距顶 0.2m 处,

能够实时检测氨气浓度, 当浓度达到报警阈值时, 及时发出报警信号, 并联动事故通风设备。应急设备选型急设备需充分考虑冷链环境特性, 应急照明优先选用耐低温和长寿命的 LED 应急灯, 其蓄电池需选用耐低温型号, 能够在 $-20^{\circ}\text{C}$ 的低温环境下正常工作, 应急供电时间不低于 90min, 确保停电时能够为人员疏散、设备应急操作提供充足照明同时设置保温防护措施, 避免低温影响其运行性能。

### 2.3 线路敷设的环境适配设计

冷链建筑线路敷设要兼顾, 确保安全稳定运行。优先选耐低温和防腐蚀的铜芯电缆。 $-40^{\circ}\text{C}$ 以下定制超低温柔性电缆, 禁用聚氯乙烯绝缘电缆。敷设方式优先使用明敷, 用镀锌桥架或铠装电缆保护。穿透保温层用密封套管加聚氨酯发泡密封变频器输出电缆单独处理, 防止干扰。低温区留伸缩余量, 接头选防水防腐耐低温且密封, 减少接头数量接线盒等部位严格密封, 高湿腐蚀区护套层选防腐材质, 防爆区连接点等防爆密封, 避免接头裸露松动。

### 2.4 接地与防雷系统的环境适配设计

冷链建筑接地与防雷系统关乎电气安全, 需结合环境特性优化设计, 接地用 TN-S 或 TN-C-S 系统, PE 线与 N 线分离, 金属部件可靠接地, 电阻 $\leq 4\Omega$ 。低温高湿区接地体选耐腐蚀耐低温材质, 引线用铜芯电缆, 截面 $\geq$ 相线 1/2。防爆区设等电位联结端子箱, 机房两侧接地干线至少两处连接地体。定期检测, 清理接地体周边冰雪杂物。防雷按规范设外部与内部防雷措施。外部用避雷针、带、网覆盖建筑, 引下线用铜芯电缆, 截面 $\geq 16\text{mm}^2$ , 间距 $\leq 18\text{m}$ , 内部在供电进线端等设浪涌保护器, 户外线路用屏蔽电缆且屏蔽层接地, 防雷金属部件做防腐耐低温处理。

## 3 冷链建筑电气设计的安全防护要点

### 3.1 供电系统的安全防护

供电系统的安全防护是电气安全防护的核心, 需重点防范过载、短路、漏电、过电压等故障, 确保供电系统的稳定运行。每台电气设备均需设置独立的过载保护与短路保护装置, 保护装置的额定参数需与设备的额定电流、启动电流相匹配, 确保设备过载或短路时, 保护装置能够快速切断电源。对于制冷机组等大型设备, 需设置专门的过载保护继电器, 当电流超过额定值时, 及时发出报警信号, 并切断电源。断路器的选型需考虑负荷波动与启动冲击电流, 选用具备瞬时脱扣、延时脱扣功能的型号, 避免误动作。此外, 定期清理设备内部的灰尘、凝露, 检查保护装置的动作灵敏度, 确保其正常工作。针对冷链建筑高湿环境下的漏电隐患, 在低压配电系统的进线端、分支线路、电气设备的电源端设置漏电保护器, 对于人员作业频繁的区域, 漏电保护器的动作电流不大于 30mA, 动作时间不大于 0.1s。对于制冷设备、照明系统等, 漏电保护器的动作电流可适当增大。供电系统中设置避雷器、浪涌保护器等, 浪涌保护器需分级设置, 确保浪涌电压能够被

有效抑制, 避雷器需安装在防雷引下线与接地体之间。此外, 优化供电线路的敷设方式, 减少线路的电感、电容, 降低浪涌电压的产生概率, 确保供电电压的稳定性。

### 3.2 电气设备的安全防护

对于电气设备的安全防护除了需要考量设备的选型, 同时也应该考虑环境因素, 以此确保设备的稳定运行。对于因散热不良、接触不良所引起的设备过热问题, 应该定期检查电气设备的接线端子等部位, 若接头出现松动, 及时紧固, 同时将接触面的氧化层进行清理。对于处于高温环境区域的设备, 为了增强其散热能力, 根据实际情况加装有效的散热装置; 对于大型的关键设备, 配备化温度监测系统, 及时监测设备的温度, 若温度超出核定值时, 第一时间触发报警机制, 并能够及时通知人员启动降温措施, 必要时断电。在电气绝缘性能维护方面, 期检测电气设备的绝缘电阻, 若检测结果显示绝缘性能下降, 应该及时进行维修, 必要时更换部件。电气设备的金属部件应该进行接地处理, 要保障人员的安全。另外, 对于高湿度环境中的电气设备定期进行防潮处理工作, 同时也应该对设备的密封状况进行严密检查, 避免因潮湿空气侵入设备内部, 从而导致短路、绝缘性能下降等问题。

### 3.3 线路的安全防护

在线路的铺设过程中需要着重注意线路, 避免受到挤压, 当线路穿墙或者是经过转角部位时, 使用保护套管进行防护。明敷线路应该采用套管以及桥架做好保护, 避免因物体刮擦、人为触碰等外界因素而导致线路损坏。低温可能会导致绝缘层材料发生开裂等问题, 是需要定期对线路的绝缘层进行检查, 若有异常及时更换。与此同时, 电路应该远离尖锐的物体, 避开与高温部件的接触, 确保线路的绝缘性能以及机械强度。线路的接头应该选择耐低温、防腐、防水等特性的材料, 连接完成之后, 线头进行密封处理, 防止凝露水汽。在铺设动力电缆以及控制电缆时应该分开铺设, 避免发生交叉重叠, 确保控制系统的正常运行同时更有利于线路的维护与管理。

### 3.4 应急防护系统设计

应急防护系统是冷链建筑电气安全防护的重要补充, 核心是应对停电、电气故障、火灾、爆炸等突发情况, 确保人员能够快速疏散、故障能够快速处置, 降低事故损失。应急供电系统选用具备自动启动功能的备用电源, 市电中断后能够快速启动, 报警系统等核心设备供电, 备用电源的容量需根据核心设备的用电负荷核算, 留有足够的余量。设置应急蓄电池组, 应急蓄电池需选用耐低温型号, 确保在低温环境下能够正常工作, 应急供电时间不低于 90min。设置电源切换装置, 避免停电时间过长导致储存物品变质与安全隐患。应急照明系统应急照明系统需覆盖冷链建筑

的所有区域, 疏散通道的应急照明亮度不低于 0.5lx。构建完善的故障报警系统, 整合电气故障报警和氨气浓度报警等功能, 当出现氨气浓度超标、火灾等故障时, 报警系统能够快速发出声光报警信号, 同时将报警信息传输至监控中心, 通知工作人员及时处置, 降低事故损失。

## 4 电气设计的运维管理要点

冷链建筑电气设计的环境适配与安全防护, 保障电气后期安全运行, 建立完善的运维管理体系, 定期开展巡检, 及时发现并处置故障隐患, 制定专项的运维管理制度, 配备专业的运维工作人员。定期开展巡检与检测, 重点检查设备的运行状态和线路的完整性可靠性等, 发现故障隐患及时记录并处置。加强对电气设备的维护与保养, 延长设备的使用寿命。完善故障处置与应急演练, 建立快速故障处置机制, 明确各类电气故障的处置流程与方法, 提高工作人员的应急处置能力, 确保突发情况能够得到妥善处置。

## 5 结论与展望

冷链建筑电气系统的环境适配与安全防护, 关乎其长期稳定运营及安全风险规避, 设计质量影响易腐物品、人员及建筑整体安全。本文针对冷链环境下的电气安全隐患, 从配电系统、电气设备、线路、应急防护方面构建了全方位的安全防护体系, 制定了电气设计后期运维管理措施, 从而保障冷链建筑长期稳定运营。冷链产业发展使建筑功能更复杂, 对电气系统要求更高, 未来设计将向智能化、节能化、安全化发展。一方面, 借助物联网、大数据构建智能电气监控系统, 实现故障预警与精准处置, 提升运行效率与安全水平; 另一方面, 完善专项规范标准, 加强新型设备研发应用, 优化适配与防护技术。同时, 加强设计与运维人员专业培训, 保障设计实施与运维工作, 助力冷链产业安全健康发展。

### [参考文献]

- [1]GB 50072—2010.冷库设计规范[S].
- [2]GB 50057—2010.建筑物防雷设计规范[S].
- [3]GB 51348—2019.民用建筑电气设计标准[S].
- [4]中国建筑东北设计研究院有限公司.GB 51348-2019 民用建筑电气设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2020.
- [5]王旭.大型冷库的电气设计[J].现代建筑电气,2012,12(11):10-13.
- [6]廖昕.冷库电气设计探讨[J].建筑电气,2017,36(4):18-21.
- [7]张聪亮.现代冷链物流中冷库的电气设计[J].电气时代,2021(5):42-46.

作者简介: 李振宾(1991.9—), 毕业院校: 华北科技学院, 所学专业: 自动化, 当前工作单位: 北京清大原点建筑设计有限公司河北分公司, 职务: 主设, 职称级别: 工程师。