

[冷链物流]

现代冷链物流中冷库的电气设计

文/福建省水产设计院 张聪亮

冷链物流泛指产品在生产、贮藏运输、销售到消费前的各个环节始终处于规定的温度区间，以保证产品质量、减少过程损耗的一项系统工程。近几年，我国高度重视冷链物流的发展，冷链物流市场前景广阔。本文简要介绍冷链物流重要设施之一冷库建筑的电气设计特点。

冷链物流现状

冷链物流最主要的应用领域集中在食品生鲜和药品领域。随着居民生活不断改善，群众对食品质量和安全方面的要求不断提高，特别是受疫情的影响，我国在冷链方面的不足凸显出来，国家对冷链物流基础设施的建设更加重视。近几年国家把冷链物流的建设纳入重点发展的方向。

伴随着时代科技的进步，交通基础设施的不断完善，电商物流的兴起，线上线下的商业模式的融合，加上对外食品进出口贸易的发展，让冷链物流在其建设和运营模式上发生了较大的变化。现代的冷链物流更加注重冷链商品配送的规范化和流通的高效率，在冷链商品的包装、储藏、配送加工及运输方面提出了更高要求。目前我国冷链服务商呈现多样化态势，主要表现为以下7种模式：仓储型、运输型、城市配送型、综合型、供应链型、电商型和平台型等，设计时就需要因地制宜，针对不同型式采取不同的建设方案。

冷库的类型

冷库是用来维持物品所需的稳定低温环境的一种

存储设施，主要用来存放食品、医药和疫苗等物品，在一定时间内确保物品的品质，并降低物品在流通过程中的损失，可以说冷库在物品的冷链流通过程中所起的作用至关重要。在冷库设计中依据的主要行业国家规范就是 GB50072《冷库设计规范》，目前 2010 年版本为现行版，新的版本正在修编中。此外还有 SBJ16《气调冷藏库设计规范》和 SBJ17《室外装配冷库设计规范》两本商业行标。

冷库按建筑规模分为大中小三档，这在 GB50072 中有明确规定，以此确定冷库用电的负荷等级。按冷藏温度一般分为高温库、低温库和超低温库，这些都是俗称，真正要根据物品的需求设计适合存放的冷库，不同物品适应的存放温度规范里有列表。一般说来果蔬、蛋品和样酒等存放在适合高温库，库温 $0\sim 4^{\circ}\text{C}$ ，其中还有一种通过调节冷间气体成分以便果蔬保存时间更长的气调库，设计时要考虑气密要求。肉类、水产类一般存放在低温库，库温 $-18\sim -25^{\circ}\text{C}$ 。超低温库一般用来存放远洋深海产品，比如金枪鱼，用来保持产品鲜度，库温 $-45\sim -50^{\circ}\text{C}$ 甚至更低。不同温度环境的冷间对电气设备选用、设置和线路敷设是不同的，比如敷设的电缆就有工作温度的要求。

按结构形式分，冷库又可分为单层库、多层库和高

层库，一般多层和高层库都为框架型式，是内陆贸易常采用的形式，占地小库容大，缺陷是垂直搬运不便，单层库可为框架或者钢结构形式，这种形式在国外很常见，搬运便利但占地大。钢结构的库一般为高架库，侧重商品的流通，对商品的包装质量规格要求较严格，采用货架存放，可设计成自动化库，周转快，但投资高，一般用于大批量的进出口贸易。

按用途分，冷库又可分为生产配套库、存储型库和物流型库。生产配套库规模不大，一般紧邻食品加工车间设置，用来临时存放加工成品。存储型库，传统冷库居多，用来长期存放物品，赚季节性商业差价，也有用作国家食品物资的战略储备。物流型冷库近代发展迅速，随着居民消费能力的提高特别是网络科技的融合，对商品快速流通的要求更高，新型物流冷库已经不仅仅是月台、穿堂和冷间的传统建设模式，新增了配送加工区域要求，冷间占用建筑规模的比重也逐渐降低，商品周转快，物流自动化程度高，能耗大。

不同制冷剂下的电气要求

冷库制冷离不开制冷剂，较常用的有三种：氨、氟利昂和 CO_2 ，以往也有用乙二醇，但它效能比不高，且对管道腐蚀性较强，现在也有乙二醇加入添加剂的产品，市场使用还不多。不同制冷剂由于特性不同，在电气设计方面有不同的要求。

1. 液氨制冷

液氨可以说是冷库几种常用制冷剂中效能比最高的一种，技术成熟，但对于设备的管理、维护和操作要求最严。液氨严格来说不易燃易爆，但受环境影响会气化变得易燃易爆，且有剧毒性，形成的氨气比空气轻，其显著特点是泄漏后有刺鼻气味，较容易发现。正是由于液氨的这些特性，GB50072 中要求氨机房设置氨气体浓度报警装置，当空气中氨气浓度达到 100×10^{-6} 或 150×10^{-6} 时，自动发出报警信号，联动开启事故排风机，且氨气浓度传感器安装在氨制冷机组及贮氨容器上方的顶板上。该装置能保证机房氨气浓度控制在 4% 以下，远远达不到氨气的爆炸下限（16%），在此前提下机房照明可按正常环境设计。但自 2013 年上海翁牌冷藏实业有限公司液氨管道发生泄漏造成多人死亡事故发生后，许多地方政府取消了冷库用氨制冷的审批。国务院安委

会出台了《涉氨制冷企业液氨使用专项治理技术指导书》，对涉氨企业的运营和改造作了进一步的规范，并要求氨机房应急照明的灯具、开关和配电线路按防爆施工。个人认为考虑到氨气特性，设置在氨机房顶板的电气设备和线路均按防爆施工为妥，可避免操作不当引发事故。在用氨和限氨方面，目前有专家持不同意见，认为不能一味限制，毕竟对于大型冷库，氨制冷节能效果最佳且技术成熟。

氨机房有设置专门的控制室，除氨机自带的控制箱外，氨机起动控制柜、冷凝器控制柜和机房排风机控制柜等均集中布置在控制室内，氨机房以电缆沟走线为主，由于氨机房局部霜溶水多，要做好电缆沟的排水。氨作为制冷剂规范上有充注量 40 T 以内的限制，因此大型冷库冷间内一般采用冷风机制冷，存品干耗大，对存品包装要求高，这也是商家不喜欢的方面，现在有采用风机加风道模式提高制冷均匀度，降低风速减少干耗。小规模冷库才能采用顶排管，干耗小，制冷效果均匀。

2. 氟利昂制冷

氟利昂一般在常温常压下均为气体，稳定性强，无色无味无毒且比空气重，如出现大量的制冷剂泄漏，还存在使人员产生窒息的潜在性危险。因此在相关机房、阀门间要设置氟利昂体浓度报警装置，传感器安装在距地 0.3 m 的墙面、柱面上，同样联动事故排风机。氟制冷机房内的动力配线一般不采用电缆沟敷设，有用电线沟的必须用砂填满。氟利昂与氨比相对安全，因此系统可实现自动化控制的程度高，甚至做到无人操控。控制柜可以在机房内就地安装，但大型机组建议还是在控制室操作比较稳妥。氟利昂制冷不如采用氨制冷节能，但其优势在于操作和管理便捷，对操作人员的技术要求低，没有充注量限制，末端采用风机和排管均可。采用氟利昂制冷主要的不足在于环保方面，释放出来会破坏臭氧层，属于逐步淘汰的制冷剂，目前有相对环保型的氟利昂产品，价格成本较高，使用上不是长久之计。

3. CO_2 制冷

随着各地对氨制冷剂的使用限制，加上氟利昂制冷的环保问题， CO_2 制冷逐步成为冷库制冷新的选择，是近几年比较热门的冷库制冷方式。 CO_2 最大的优势是环保，不污染环境。不足方面是液化压力大，对管道和设备抗压要求比其他制冷剂高很多，这是个隐患。另外 CO_2

比空气重且无色无味,泄露后存在造成工人窒息的危险,因此需要安装 CO₂ 浓度报警装置,传感器安装方式参考氟利昂制冷系统,当前国内还没有针对采用 CO₂ 制冷冷库较成熟完整的专用技术规范。

冷库制冷也有制冷剂采用氨,载冷剂采用 CO₂ 的复叠系统,或者其他不同制冷剂之间的覆叠,但不管是什么型式的复叠,设计时只要抓住制冷剂或载冷剂的特性,在不同制冷剂或载冷剂使用场所有针对性地设计即可。

冷库电气设计中要留意的方面

1. 变配电房位置的选定

冷库变配电房的选址要符合 GB50053 的要求,要靠近负荷中心设置。一般冷库所在场区主要大型设备集中在制冷机房,因此一般情况下变配电房设置在制冷机房所在的设备房建筑中,紧邻制冷机房控制室。特别是氨制冷机房,可通过控制室与变配电房隔开。对于氟制冷系统,根据工艺上自动控温要求有可能大型机组与库房冷间采用一对一形式,大型机组分散设置在楼层或者冷库不同区域,这时变配电房可酌情选择在库区内靠近负荷中心位置。

很多地方用电分时段收费,存在峰谷电价,这是冷库运营商会考虑的方面。因此在变配电房负荷需要系数取值上要考虑到这个因素。除了周转快的物流冷库能耗大需要系数高外,以存储为主冷库的制冷机组考虑主要在夜间运行,与库区其他如宿舍、办公和加工等建筑在时间段上存在错开用电的情况,这时需要系数可以考虑低些,但一般不低于 0.55。

冷库市电停电时有生产或保温需求,因此一般要设置发电机组作为备用电源。有些企业为了省掉发电机,与供电方面协商采用双电源或者双回路供电,尽管理论上达到了二级负荷供电规范上的要求,实际很多区域供电还满足不了真正双电源双回路的条件,而且投资成本不小,使用时因为电源或者高压设备故障断电造成经济损失的风险很大。

2. 冷库的电气系统

冷库电气系统强电部分主要分为照明系统、动力系统和控制系统。照明系统包括工作照明、备用照明和疏散照明,其中容易忽略的是冷库月台前回车场照明的设

置;动力系统主要涉及制冷机组、循环泵、蒸发冷和冷风机等制冷设备配电;控制系统不仅仅是简单的电动机启动停止,还要考虑不同设备之间的工艺配合,有的需要设置 PLC 自动控制。电气系统弱电部分主要包括冷间呼叫系统、测温系统、监控系统、气体探测系统和火灾报警系统等等。呼叫系统和气体探测系统为了确保人员安全,测温系统与工艺操控有关,监控系统与运营管理有关。设计时要注意的是不要忽略了叉车充电间的危险气体探测。冷库搬运过程用到电动叉车,叉车用铅酸蓄电池在充电终了时释放硫酸雾,夹着少量的铅以及氢气和氧气,氢气积累到一定量有爆炸危险,因此叉车充电间要采取防火防爆措施,设置氢气探测系统与防爆排风机联动。

3. 设备选择与安装

冷库主要由月台、穿堂和冷间等功能区构成,冷间用来存放货物,传统的货物分拣就在月台穿堂上进行,对于现代物流冷库,由于存货周转快,流量大,还配套有专门的配送分拣加工区。以往冷库的月台和穿堂常设计成敞开式的常温环境,从食品安全标准角度看是不符合要求的。为保证商品在流通过程中的冷链不断,这些场所均要求维持一定的低温封闭状态,而且要求的温度不同,因此存在着温差。不同温区交界处由于温差的存在是最容易结霜结露的场所,比如各场所出入口,因此这些场所电气设备的设置和选用要特别注意。比如冷间门口附近由于冷热交换频繁,有冷凝水滴落现象,因此安装在这些场所的明装配电箱除了要有一定的防护等级外,线路还要采用下进下出方式。

冷库由于商品的进出,会不断把带水份的空气带入冷间,特别是低温库,冷间内时间长了制冷风机或顶排管容易结霜,要定期扫霜和融霜,这会影响到库内其他的电气设备和线路。GB50072 的 2001 年版本中有要求冷间内照明灯具选用防护等级为 IP54 的防潮灯具,但在 2010 年版本中却没有明确要达到的具体等级,只要求符合食品卫生安全要求和冷间环境条件。IP54 根据 GB/T 4208 阐述要达到防尘和防溅水,相当于室外用电箱柜、室外路灯、室内地面灯具和餐饮建筑中产生水汽的加工场所电气设备所要求的最低防护等级,是有一定道理的。

冷库还有些特有的要求,比如冷间内灯具要带防护罩,防止进出货时碰撞,灯具的金属外壳应接专用保护

PE线,照明支路设置剩余电流保护装置。冷间内配电线路均要选用符合环境温度条件的耐低温电缆。月台靠近回车场侧要预留供冷藏车充电的专用室外插座。冷库由于其结构形式和保温需求的特殊性,设备安装以明装为主,这样不会破坏冷库特别是冷间的围护结构,有利于保温也便于维护。冷间内的设备如照明灯具、冷风机等的控制均设置在冷间外的穿堂和月台等温度较高不容易结霜结露的场所。冷风机的急停按钮或开关不允许设置在冷间内。

4. 线路敷设

冷库的电气线路敷设以明敷设为主,冷间内线路敷设根据温度和制冷形式不同可采用直敷、穿管和穿桥架等多种敷设形式。目的是为了减少线路穿越保温层的穿越点,尽量少破坏围护结构。月台穿堂等场所,如果除围护结构外没有设置专用冷库保温层,可采用局部暗敷设形式。穿越冷间保温层的电气线路必须相对集中,减少穿越点以降低冷损,且穿越处必须采取可靠的防火和防止产生冷桥的措施。现采用桥架将线路引至冷间外引入点,然后转为小套管保护,外墙墙体侧进行防火封堵,冷间内保温层侧进行防冷桥密封。为提高防冷桥效果,穿越点处电缆保护套管直径一般不大于 $\phi 25$,可采用耐低温耐火工程塑料管。

以往冷间末端采用顶排管的冷库居多,由于冷间内空气含水分,在低温状态下容易结霜结冻,电气管道内容易冻结不便维护,因此线路进入冷间后以直敷设为主,利用排管支架,或者钢索,或者通过经过冷桥处理的预埋吊点进行敷设。现代大型冷库末端普遍采用冷风机制冷后,由于冷风机的抽湿效应,冷间内总体较干燥,造成管道冻结的概率小,因此,风机库冷间内采用桥架管道布线的形式多。特别是物流冷库,规模大线路多,采用桥架集中敷设利大于弊。

5. 呼叫和测温系统

冷间内在库门口附近设置呼叫按钮,防止人员被困库内,门外库门上方设置声光警示。呼唤信号同时传送到有人值班的房间。有回笼间的冷间呼叫按钮设置在回笼间内靠近库门处。设有呼叫按钮的冷间,冷间内库门的上方设置长明灯,可采用自带蓄电池灯具,蓄电池安装在冷间外照明控制箱内。冷库要求设置测温系统,并可记录。冷间内温度传感器的安装要避开靠近库门处,由于进出货物影响,温度波动大,测量不准确,还要避

开冷风机和送风道出风口,宜设置在靠近外墙处和冷间的中部,安装高度不宜低于1.8 m。

冷库的疏散照明

冷库一般划分为丙类仓库,消防应急照明和疏散指示标志的设置符合GB50016《建筑设计防火规范》的要求。值得探讨的是,消防应急照明和疏散指示标志设置的目的是引导人员在紧急情况下进行有效疏散,主要用在外来人较多的公共建筑和人员密集场所,避免由于慌乱或不熟悉环境找不到疏散方向和路径。对于冷库这类建筑,除了因物流需求在专用配送分拣加工区有可能人员较多外,一般的月台或穿堂面积不大,人员不多,基本上是搬运工人,对工作环境比较熟悉,冷间内人就更少,是否这类场所全部都要设置消防应急照明和疏散指示标志有待探讨。注意GB50016中两个概念的不同,疏散走道和疏散路径。疏散走道是有采取防火分隔措施在火灾时能确保空间相对安全的通道,而疏散路径只是指向安全出口或者安全疏散走道的一种方向指示,主要用在大空间公建外来人员密集场所。冷库冷间内空间高大,疏散指示标志安装不能太高,为了不破坏保温层不能暗装,明装在货架和内柱上容易被碰撞,而且冷间内货物货架容易遮挡。因此,建议冷库冷间外的月台、穿堂、楼梯和前室可考虑参照疏散通道要求,设置消防应急照明和疏散指示标志,而冷间内环境特殊,人员很少,且都是熟悉环境的搬运工,考虑设置备用照明即可。现行GB50072中未对冷间内消防应急照明和疏散指示标志设置作出要求。

GB51157《物流建筑设计规范》的第13.2.7条规定物流建筑的存储区、多层货架的各层通道等场所应设消防应急照明和疏散指示标识,在其条文说明里还指出物流建筑作业区域隔墙少,灯光疏散指示标识间距可大于20 m,但不超过柱间距离。物流建筑是包含低温存储型建筑的,但是不是冷库就是物流建筑,还没有明确的规范条文界定。有人认为有些冷库以存储为主,周转次数少,存品用来赚取季节性差价,此类冷库应该叫存储库而不是物流库。但这种说法不太严谨。由于冷库形式多样,冷库规模大小不一,冷间内环境状况不同,是否都按照GB51157条文处理,是否能达到期望的效果,这种做法值得商榷。

火灾报警系统的设置

设置火灾报警系统要根据 GB50016 规范的 8.4.1 条文确定,然后再依据 GB50116《火灾自动报警系统设计规范》进行设计。根据 GB50016,一般情况下冷库建筑不需要设置火灾报警系统,但要注意其它专业是否设置了火灾时需要联动的消防设备。如电梯前室的防烟系统等,如果有此类需要联动的设备在相应场所或部位,必须考虑设置火灾报警系统。根据 GB50116 要求,至少要采用集中报警系统,设置消防控制室和消防应急广播,这样的做法是可以探讨的,本文不再累牍。

GB50072 中 4.2.2 条文说明中,对冷库冷间内是否设置火灾自动报警和自动喷淋消防设施作出了分析。分析认为根据冷间工况,对起动消防系统的控制温度难以设定,设置过低误动作的可能性很大。如按正常火情温度设定,达到正常火情温度时已是较为严重的程度。因此在冷间内设置自动报警对冷库的冷间而言,意义不大,日常维护、管理费用不小,故此措施不可取。

GB51157 第 15.8.1 条规定,每座占地面积大于 1 000 m² 的丙类存储型建筑要设置火灾自动报警系统。第 15.8.1 条规定建筑高度大于 12 m 的低温场所宜设置

吸气式感烟火灾探测器。以往冷间存货包装参差不齐,密封性也不好,存品周转次数少,存放时间长,冷间内空气中水分多在低温下容易结霜,特别是顶排管送冷形式,对传统探测设备有影响。而现代物流冷库存品包装规范,采用冷风机送冷居多,虽然局部仍会结霜,但冷间内空气相对干燥,对电气设备影响小,可考虑采用吸气式火灾探测器(也称为空气采样火灾探测器)。吸气式火灾探测器的工作原理是通过在防护空间布置空气采样管网,并在采样管网上打采样孔,通过采样孔把保护区的空气吸入探测器进行分析,从而进行火灾探测。可见冷库如果要设置火灾探测器,采用空气采样火灾探测器比较适合。是否冷库都要设置,要根据冷库的性质用途、冷间内环境条件和工艺制冷方式确定,让安装的设备起到需要的效果。

冷库建筑看上去比较单一,但实际上由于制冷工艺的不同,用途的不同,结构形式的不同,存在着多样性和复杂性,设计时不能一概而论。随着物流行业的发展,上下游产业的规范化,让冷库建筑在使用功能和空间布局上有了很大的变化,自动化、智能化存储方式必然是未来冷库建设的主题。EA

(收稿日期:2020.11.03)

(上接第 32 页)

场主体还可以在更好地履行系统频率稳定义务的同时,通过辅助服务市场收益对其机组改造的成本进行容量成本的回收。调频辅助服务交易也为“新能源安装储能装置谁来付费”的困境提供了一种破局思路与成本疏导方式。

结束语

本研究阐述了东北电网及其辅助服务市场的发展现状,指出了东北电网频率存在的频率质量低、机组调用无序、缺乏激励及规模不明的问题。在此基础上,提出了调频交易的建设方案,从建设目的、交易模式、市场准入、调用原则以及收益与分摊原则的角度,提出了调频交易的方案。最后,从市场准入的角度总结了该方案的设计亮点,讨论了综合能源参与的必要性及对应能源所应承担的角色。

如何让新能源更好地参与电力市场必将时代发展的重点问题,因此,如何解决新能源出力随机性和波动性带来的电网频率波动也必将是后续调频辅助服务交易建设的重点问题。东北电网可以考虑风光应急调频服务、一次调频服务、爬坡和惯量等新兴交易品种,将每项对电网频率安全有贡献的维度指标化、量化,完善市场的激励机制,更好地完善并网发电企业辅助服务的补偿机制。同时,考虑到电力现货市场的不断建设,与调频辅助服务提供的实时属性,也可以在东北辅助服务市场不断发展和完善的过程当中,探索调频辅助服务与电能量市场衔接或联合优化的运行方式。从而切实做好网源协调,发挥市场在资源配置中的作用。EA

(收稿日期:2020.10.10)