

# 工业建筑高效制冷机房能效比研究

邓泳德

广东申菱环境系统股份有限公司, 广东 佛山 528300

**摘要 :** 本文通过对工业建筑制冷机房能效比的研究, 总结了其设计方法和影响因素, 分析了制冷机房能效比对工业建筑空调系统设计、运行及节能的影响。结果表明, 制冷机房能效比是工业建筑空调系统设计、运行及节能的重要影响因素。

**关键词 :** 工业建筑; 高效制冷机房; 能效比

## Study on Energy Efficiency Ratio of High Efficiency Refrigeration Plant Rooms in Industrial Buildings

Deng Yongde

Guangdong Shenling Environmental Systems Co., Ltd, Guangdong, Foshan 528300

**Abstract :** This paper summarizes the design methods and influencing factors through the study of energy efficiency ratio of refrigeration plant rooms in industrial buildings, and analyzes the influence of energy efficiency ratio of refrigeration plant rooms on the design, operation and energy saving of air conditioning systems in industrial buildings. The results show that the energy efficiency ratio of refrigeration plant rooms is an important influencing factor for the design, operation and energy saving of air conditioning systems in industrial buildings.

**Key words :** industrial buildings; high-efficiency refrigeration plant room; energy efficiency ratio

### 引言

工业建筑高效制冷机房能效比研究本文研究了制冷压缩机、冷却塔、冷却水泵等制冷机房主要设备的能效比, 分析了各设备对工业建筑空调系统设计、运行及节能的影响, 得到了不同制冷机房能效比对应的制冷量及能耗, 为工业建筑高效制冷机房设计方法的研究提供了理论支撑。

### 一、研究现状

由于我国工业建筑所处区域的特点, 在设计、建造和使用阶段对制冷机房的能耗要求不同。在设计阶段, 为了满足节能要求, 需根据生产工艺的特点, 选择合适的制冷机房。在建造阶段, 因受现场条件制约, 不能在工厂中进行制冷机房的安装。而在使用阶段, 制冷机房因受建筑条件和生产工艺影响, 能耗高、能耗大。因此, 必须研究出一套适用于工业建筑的制冷机房设计方法。在现有研究中, 主要集中于对制冷机房能效比的研究, 虽然部分文献对制冷机房能效比的影响因素进行了分析, 但仍有很大一部分文献未进行研究。<sup>[1]</sup>

### 二、制冷机房能效比的设计方法

制冷机房能效比设计方法主要包括负荷计算方法、性能系数法和经验系数法。其中, 负荷计算方法主要包括单位时间制冷量和总耗电量两部分。由于我国制冷行业中, 有大量的冷机应用于

工业建筑, 因此, 制冷机房能效比的设计可以采用单位时间制冷量和总耗电量的计算方法。在单位时间制冷量的计算中, 一般采用国际上常用的平均制冷量法。而在总耗电量的计算中, 一般采用以下两种方法: 1) 计算制冷机房单位时间耗电量与负荷的比值, 该比值越小, 说明该冷机的能效越高; 2) 通过实际生产情况判断某一特定工况下是否需要增加制冷机房。在实际工程中, 可根据具体情况选择一种或多种方法计算出特定工况下的制冷机房能效比。<sup>[2]</sup>

### 三、影响因素

制冷机房能效比是指制冷机房制冷系统所消耗的电能与制冷系统提供的冷冻水流量之比, 单位为  $W/kW \cdot h$ 。影响能效比的因素主要包括以下几个方面: 1) 制冷设备选型: 由于我国对制冷设备的能效等级没有明确规定, 因此, 制冷机房选用时需根据实际情况进行选型, 选择高能效设备; 2) 生产工艺要求: 工业生产中制冷机房能效比有较高要求, 尤其是大型工业企业。若不能

满足生产工艺要求，将会造成能源浪费；3）运行维护管理：由于制冷机房长期处于高负荷状态，因此，运行维护管理需要根据实际情况进行调整；4）环境温度：在环境温度较高时，压缩机的制冷量会降低，此时需加大压缩机功率。<sup>[3]</sup>

## 四、能效比的定义

目前，针对工业建筑的高效制冷机房设计尚无统一标准，对于高效制冷机房的定义各有不同，常见的有两种：第一种为制冷压缩机能效比定义，该定义仅针对制冷机房，并未考虑其他设备的能效比。该定义将制冷机房中制冷压缩机、冷却塔、冷却水泵的能效比整合到一个数值中，其中制冷压缩机能耗为制冷机房运行过程中能量损失最大的设备，也是工业建筑高效制冷机房设计的关键所在；冷却塔和冷却水泵能效比可以分别代表制冷机房整体及局部区域的能效比，其定义与工业建筑空调系统设计原则相符。因此应选取制冷机房中的冷却塔、冷却水泵、制冷压缩机作为研究对象，考虑其能量损失及节能潜力，利用相关设计软件计算不断分析其对工业建筑空调系统设计、运行及节能的影响。<sup>[4]</sup>

## 五、工业建筑制冷机房概述

工业建筑的特点主要有：生产过程中所产生的高温、高湿和有害气体以及噪声，使得空调系统要求对环境空气进行冷却、除湿、排湿、除湿等处理；生产设备的高温高湿使厂房内设备和管道内的热量无法散出，导致建筑围护结构易结露，这就要求空调系统要有较好的抗结露能力；厂房内人员较多，作业过程中产生的噪声也会造成室内人员不适，因此工业建筑空调系统需兼顾人员舒适性和对噪声的控制；生产过程中会产生大量的含尘气体和污水，排放到大气中会造成严重的环境污染；车间内由于温湿度较大，往往需要采用湿式除尘或干式除尘等方法进行处理，湿式除尘装置需要提供新鲜的含尘空气；车间内设备多且结构复杂，对空调系统性能要求较高。<sup>[5]</sup>

### （一）制冷负荷

空调系统的设计负荷主要来源于制冷设备的运行工况，以及对生产设备的冷却、除湿等要求。但由于工业建筑空调负荷通常比民用建筑大得多，因此在设计中需考虑这些负荷因素对制冷机房能效比的影响。根据相关研究表明，制冷机房能效比主要取决于制冷负荷、压缩机能耗、制冷机的性能系数（COP）和新风机能效比等因素，其中最重要的因素是制冷机的性能系数（COP）。因此，在工业建筑中，可以通过改变制冷负荷和压缩机能耗等参数来提高制冷机房的能效比。通过改变制冷负荷，可以使制冷系统运行在高效区间内；通过改变压缩机能耗，可以提高压缩机能效比。<sup>[6]</sup>

### （二）工艺对空调系统性能的要求

工业建筑往往需要对生产过程中所产生的高温、高湿和有害气体以及噪声进行处理，所以空调系统应具备如下性能：1）提供高温、高湿和有害气体的控制，避免环境温度过高或过低而影响产品的质量和生产效率；2）提供足够的新风以满足室内的通风换

气要求；3）提供足够的热湿处理，保证厂房内空气质量符合规范要求；4）提供合适的控制温度，减少热量散失；5）提供合适的湿度控制，减少水分进入产品而影响产品质量；6）提供合适的噪声控制，确保生产安全。这就要求空调系统具有良好的节能性，可以有效地减少能量浪费，提高能源利用效率。<sup>[7]</sup>

### （三）制冷机房主要设备介绍

本文以某工业建筑制冷机房为例，分析其主要设备能效比的影响因素。1）制冷压缩机。制冷压缩机是整个制冷机房中能耗最大的设备，其能效比直接影响整个制冷机房的能效比。不同能效比下，制冷机房的制冷能力基本相同。制冷压缩机的选型应根据空调负荷来选择，制冷机房内配置的制冷压缩机应根据建筑负荷需求进行选型；2）冷却塔。冷却塔是空调系统中主要的降温设备，其能效比直接影响空调系统的整体性能和能耗。冷却塔一般采用空气自然冷却方式，分为塔式冷却塔和塔式混合式冷却塔，其能效比从高到低依次为混合式、塔式和空气自然冷却。混合式冷却塔具有投资低、占地面积小、运行费用低等优点，但是其效率受冷却水温度影响较大；塔式冷却塔具有投资高、占地面积大、运行费用高等优点，但是其效率受空气自然冷却影响较小；3）制冷剂。制冷剂是制冷机房内主要的传热介质，其能效比对制冷机房内冷源能耗影响较大。在制冷机房内机组运行过程中应尽量减少制冷剂蒸发潜热，并减少压缩机吸气及排气中所含制冷剂量；4）压缩机电动机。压缩机电动机是制冷机房内最耗电的设备之一，其能效比与冷却水泵、冷却塔电机效率密切相关。在工业建筑空调系统中，为保证压缩机高效运行及避免环境噪声过大，应尽量选用高效电动机；5）控制柜及控制仪表等其他辅助设备。制冷机房内的控制柜及控制仪表等辅助设备会影响制冷机房能效比，从而影响整个制冷机房空调系统运行效率及能耗。因此在设计中应根据建筑负荷情况选择合适的控制方式实现节能运行。<sup>[8]</sup>

### （四）高效制冷机房能效比与传统制冷系统的比较

在制冷系统中，采用传统制冷系统的方式是将大量的冷却水经过冷却水泵和冷却塔后，送至房间进行降温，以达到对空调房间进行降温的目的。一般情况下，空调系统采用的是循环冷水机组-冷却塔-冷却水-蒸发器-冷冻水系统，该系统结构简单，在整个过程中基本不会对冷却水塔、冷却塔进行加热或补水，从而避免了因冷却水循环过程中产生的热量造成冷量损失。采用高效制冷机房可使冷却水泵和冷却水塔的耗电量降低约30%。经计算可知，在相同的工况下，高效制冷机房的耗电量比传统制冷系统降低约40%。从另一角度来看，采用高效制冷机房后空调系统可以实现以下两点效果：1）空调系统的末端设备均可以根据房间负荷的变化而选择最佳运行工况；2）相对于传统制冷系统而言，高效制冷机房不会造成冷水机组、冷却塔等设备的过度老化，其运行周期更加长久。但由于目前国内缺乏对高效制冷机房能效比设计方法的研究，相关设计规范及标准也尚不完善，因此目前使用较为广泛的仍是传统制冷系统。在实际工程中采用高效制冷机房进行设计时，仍需考虑多种因素对冷机房能效比的影响。近年来，在我国工业建筑领域大力推广高效制冷机房设计方法，并通过高效制冷机房能效比进行计算、分析和对比研究。

## 六、影响因素分析

由于制冷机房设计参数的确定对节能意义重大,本文对制冷机组能效比、冷却塔能效比三个主要指标进行了计算和分析。同时,结合工业建筑的特点,研究了影响制冷机房能效比的各种因素。1)设计参数。制冷压缩机的能效比与设计参数的关系主要取决于制冷机组的制冷量,而制冷机组的制冷量主要取决于蒸发温度(R407c)和冷凝温度(R407f),因此,在设计制冷机房时应考虑两种工况下的制冷压缩机总制冷量,再结合制冷剂充注量,确定总制冷量;2)在工业建筑中使用的冷水机组有三种:一是分体式冷水机组,二是分体式多联机,三是冰蓄冷机组。分体式冷水机组一般采用压缩机制冷,并配有水泵和冷却塔;多联机一般采用低温冷水机组或冷冻水-水换热器换热,并配有水泵和冷却塔;冰蓄冷机组一般采用冰蓄冷板式换热器换热,并配有水泵和冷却塔。在制冷机房中采用上述不同类型的冷水机组时应考虑其能效比;3)冷却塔是一种利用空气来降低被冷却介质温度的设备。它由塔体、塔盘、风扇等部件组成。其作用是吸收被冷却介质在蒸发过程中产生的热量,并向外界散发热量以降低被冷却介质的温度。在制冷机房中采用冷却塔时,应考虑其能效比和设计参数的关系,选择合适的冷却塔形式及型号;4)水泵及其他辅助设备。水泵是制冷机房中主要动力设备之一,它通过水流把能量输送到建筑物中去。为了保证空调系统在不同工况下能正常运行,需要对水泵进行控制和调节。在工业建筑中常用的水泵有普通离心泵和螺杆泵两种类型。螺杆泵效率高、体积小、质量轻,广泛应用于各类工业建筑中;而普通离心泵则适用于高层建筑或工业建筑中对水量要求较高的场合。此外,工业建筑中还需考虑水泵是否满足末端设备在不同工况下的运行要求和水泵工作时产生的噪音污染问题。<sup>[9]</sup>

## 七、高效节能技术与能耗分析

### (一) 高效节能技术

根据《公共建筑节能设计标准》(GB50189-2015)规定,工业建筑的制冷机房能效比为2.5~3.5,可见,工业建筑制冷机房能效比与制冷系统的制冷量及能耗密切相关,并随制冷机房能效比的增加而减小。目前工业建筑大多采用冷水机组和风机盘管供冷,但冷却塔因其耗水量大、效率低、噪音大、使用寿命短等问题,成为工业建筑空调系统节能的薄弱环节。研究发现,在工业建筑中,冷却塔的效率受气候条件影响较大,在寒冷地区设计的冷却塔效率约为20%~30%;在炎热地区设计的冷却塔效率约为40%~60%。冷却水泵因其能效比低、能耗大等特点也成为工业建筑空调系统中的节能薄弱环节。根据《公共建筑节能设计标准》(GB50189-2015)规定,工业建筑应采用高效冷水机组及高效冷却水泵。据统计,当冷却塔的能效比为5~6时,制冷机房能耗约为5.06~7.12 kW/h;当冷却塔能效比大于3时,制冷机房能耗约为5.35~5.52 kW/h。随着节能减排要求的提高,传统冷却水泵在工业建筑空调系统中已经很难满足需求。根据《公共建

筑节能设计标准》(GB50189-2015)规定,高效冷却水泵应具备以下特点:高效、可靠、运行平稳、安装维护简便;应具有自动控制功能和故障自诊断功能;高效冷却水泵应采用低噪音设备。与传统冷却塔相比,高效冷却水泵具有更高的能效比和更低的噪声值。目前,我国在高效冷却水泵研发方面取得了一定进展,如深圳华为能源技术有限公司研发出一款基于微通道技术的新型高流量高效冷却水泵——华为Pcwl水处理变频泵。该泵系体采用新型结构设计,在保证流量需求的前提下降低了能耗和噪声水平。同时,其出口压力可根据流量需求进行调整以实现精确控制。

### (二) 不同能效比对应的制冷量和能耗分析

制冷机房能效比是指制冷压缩机、冷却塔、冷却水泵等制冷机房主要设备的能效比,其中,空调系统主要设备包括制冷压缩机、冷却水泵。为研究不同能效比下各设备对工业建筑空调系统的设计、运行及节能的影响,以某化工企业制冷机房为例进行研究。该企业主要生产液氯,所需制冷量为4 500 kW,采用水-空气冷媒空调系统,设计制冷机房的能效比为3.3,以水-空气冷媒系统为例,计算得到不同能效比下的总功耗,当能效比小于1.5时,总功耗随能效比增大而减小;当能效比大于1.5时,总功耗随能效比增大而增大。因此,在工业建筑设计时,应根据其工艺特点确定适当的能效比值。<sup>[10]</sup>

## 八、总结

在工业建筑节能领域中,高效制冷机房设计方法不仅可以帮助空调系统实现高效运行、降低能耗、减少投资成本、减少占地面积和降低运行费用等目标,还可以提高工业建筑空调系统设计水平及建筑能效。因此,研究和制定符合我国国情的工业建筑高效制冷机房设计方法对促进我国工业建筑节能减排具有重要意义。

## 参考文献:

- [1] 钱恒利, 邹思, 许宗金, 等. 某低温工艺项目制冷机房系统高能效优化研究 [J]. 制冷与空调, 1-9.
- [2] 凌荣武, 王亮, 王曦, 等. 基于全生命周期成本的装配式高效制冷机房设计 [J]. 西安工程大学学报, 2023, 37(05): 107-115.
- [3] 李元阳, 邱艺德, 方兴, 等. 高效制冷机房标准化设计及其应用 [J]. 制冷与空调, 2023, 23(06): 92-100.
- [4] 何照傲, 郑丽军, 陈玲超. 中天钱塘银座集中空调制冷机房能效等级计算 [J]. 暖通空调, 2023, 53(S1): 82-84.
- [5] 易求鸿. 江门市某厂房制冷机房运行诊断与仿真优化 [D]. 广州大学, 2023.
- [6] 薛闪闪. 公共建筑制冷机房系统性能测试及节能调控优化研究 [D]. 北京建筑大学, 2023.
- [7] 罗平. 基于 Near-Optimal 整体能效控制的某制冷机房系统高效化改造 [J]. 机电产品开发与创新, 2023, 36(03): 150-154.
- [8] 徐睿玮, 周涛, 王晓峰, 等. 高效机房在区域集中供冷系统设计中的应用 [J]. 机电信息, 2023, (10): 35-38.
- [9] 张有华. 基于高效制冷机房技术的分析与探讨 [J]. 居舍, 2023, (11): 167-169.
- [10] 蒋慧. 高效制冷机房优化设计及对比分析 [J]. 节能, 2023, 42(02): 16-19.