

高温环境下厂房通风冷却系统的自然与机械联合控制机制

孙祥

中机中联工程有限公司

摘 要：高温环境下厂房的通风冷却问题一直是工业建筑领域的重要研究方向。传统的自然通风方式能耗低但受限于气候条件，效果不稳定，而机械通风虽然效率高却带来较大的能耗负担。本文以自然与机械通风的联合控制机制为研究对象，系统分析了厂房高温环境的特点及单一通风方式存在的不足，并提出了“以自然为主、机械为辅”的协同思路。在研究过程中，结合一个钢结构厂房的设计案例，详细介绍了屋顶通风天窗、侧墙进风口、轴流风机及顶置大功率风扇等设施的组合应用，以及基于传感器与自动控制系统的联动机制。运行效果显示，该联合系统能将厂房平均温度从 38℃ 降低至 30℃ 左右，能耗相比传统方式下降约 15%。研究表明，自然与机械通风的结合不仅在节能方面具备明显优势，同时能够有效改善作业区的热环境，提高工人舒适度。本文结论对于未来高温厂房绿色节能设计与运行具有一定的参考价值。

关键词：高温厂房；通风冷却；自然通风；机械通风；联合控制机制

在当前工业化快速发展的背景下，大量厂房的工作环境面临高温问题，尤其是在夏季或者存在高热源设备的生产场所。高温环境不仅会影响工人的身体健康和劳动效率，还可能造成设备的运行不稳定，甚至诱发安全事故。因此，如何在高温条件下实现厂房的有效降温与通风，已经成为工业工程和建筑环境学研究中的重要课题。传统的单一自然通风或者机械通风系统往往存在效率不足、能耗偏高的问题，而自然与机械相结合的联合控制机制逐渐成为一种新的优化方向。

本文研究的主要目的就是探索在高温厂房环境下，如何通过自然与机械通风的协同作用来实现温度的控制与舒适度的提升。文章将围绕厂房高温环境的特点、自然通风与机械通风的优势与局限、联合控制机制的设计思路，以及实际应用案例进行详细阐述。在研究过程中，除了理论的分析，还结合一个钢结构厂房的设计案例，从实际的布局、风机选型、控制策略等方面展开说明。通过这种方式，希望能够为未来高温厂房的绿色节能运行提供借鉴和参考。

1 高温环境下厂房通风冷却的需求与问题分析

1.1 高温厂房的典型特征

在很多工业厂房内，存在高热量排放的设备，比如金属熔炼炉、玻璃加工炉、注塑机、大型电机等。这些设备在运行时不会不断释放热量，使得室内温度在夏季常常超过 35℃，甚至局部区域达到 40℃ 以上。加上厂房多为钢结构或混凝土结构，建筑本身的隔热性能较差，容易形成“热岛效应”。再加上人员较为密集，空气流通不足时，工人常常感到闷热和疲劳，影响生

产效率。此外，厂房的高度一般较大，热空气容易聚集在上部空间。如果通风设计不合理，就会导致空气分层明显，下部工作区温度过高，而顶部则积累大量热气，形成“热罩”。因此，如何合理利用空气动力学特征，使热空气快速排出，同时保证下部工作区域的空气温度适宜，是通风冷却设计的重要目标。

1.2 单一通风方式存在的问题

单一的自然通风依赖风压差和温度差，但在高温、无风的夏季时，空气流动受限，效果并不理想。而单纯的机械通风虽然可以快速见效，但能耗大、运行费用高，并且在大型厂房内如果布置不合理，会形成“风死角”，导致部分区域降温不明显。

以某金属加工厂为例，该厂房在 2019 年仅采用屋顶风机排风的自然通风方式。运行效果表明，在室外气温 35℃ 时，厂房内部平均温度仍然在 38℃，降温效果几乎没有。而在 2021 年引入部分大功率轴流风机后，虽然温度有所下降，但电费开支增加近 20%，并且部分角落依然闷热不堪。这些问题说明，仅依赖单一通风模式难以满足高温环境下厂房的综合需求。

2 自然与机械通风的协同作用机理

2.1 自然通风的优势与局限

自然通风是最为节能的一种方式，主要依靠风压差和温差推动空气流动。比如在厂房的屋顶开设天窗或通风口，就可以利用热压效应让热空气上升排出。同时在墙体底部设立进风口，引入室外较凉的空气，从而形成空气对流。其优点是能耗低，运行成本几乎为零，而且在风速适宜的季节效果较为明显。但是，

自然通风存在明显的局限性。第一,它受气候条件影响较大,在炎热而无风的天气下几乎失效。第二,厂房内部热源分布不均,容易出现局部空气不流动的情况,形成“热斑”。第三,自然通风缺乏可控性,难以根据实时生产负荷和人员分布进行灵活调整。

2.2 机械通风的优势与不足

机械通风主要依赖风机、冷却塔、蒸发冷却器等设备来组织空气流动。它的优势是可控性强,可以根据需要调整风量、风速和送风方向,快速降低局部区域温度。例如,在焊接车间安装大功率顶置风扇,可以迅速驱散焊接烟雾和高温气体,改善工人操作环境。不足之处主要在于高能耗和高运行费用。大型轴流风机、离心风机的电力消耗非常可观,如果长时间运行,厂房的能耗负担极大。同时机械通风会带来一定的噪音污染,影响工人舒适度。

2.3 联合控制的基本原理

自然与机械通风的联合控制机制,就是在充分利用自然条件的同时,通过机械手段进行辅助调节,实现节能与效果的平衡。其核心思路是“以自然为主,机械为辅”,即在有风条件下优先依靠自然通风,而在空气流动不足或温度过高时,启动机械通风进行补偿。

例如,在一个钢结构厂房中,白天利用屋顶通风口和侧墙进风口形成自然对流;当温度超过设定值(如 32°C)时,自动启动局部机械风机,增强空气流动。同时在车间局部热源集中区域(如熔炼炉旁)设置独立的排风机,将热气直接排出。这种模式不仅保证了整体温度的可控,还减少了风机的运转时间,节约能耗。

3 联合通风冷却系统的设计与应用案例

3.1 系统设计思路

在厂房通风冷却系统的联合控制设计中,主要包含以下几个方面:

第一,空间布局要科学。根据厂房的朝向、热源位置和人员分布,合理设置进风口和排风口。例如,在长方形厂房的两端布置大面积百叶窗,引入自然风,而屋顶设置带风帽的排气口,利用热压效应排出热气。

第二,机械设备要分区布置。对于局部高温区域,采用局部强排风机,而不是全厂房大范围送风,这样既能精准控制温度,又能节约能源。

第三,控制系统要智能化。通过传感器实时监测温度、湿度和风速,并与自动控制系统联动,实现风机的启停与调速控制。例如,在厂房安装温湿度传感器,当温度超过 30°C 时自动启动机械风机,当温度降至 28°C 以下时则关闭,保证运行效率。

3.2 案例分析

以某钢结构焊接车间为例,厂房面积约 5000 m^2 ,层高 12 m ,内部布置有 10 台焊接机器人和数台大型焊机,夏季室内温度常常达到 38°C 以上。

设计方案如下:

(1)在屋顶设置 20 个自然通风天窗,每个面积 1.2 m^2 ,并采用自动开启装置。

(2)在厂房两侧墙壁下方设置长条形进风百叶窗,面积总计 50 m^2 。

(3)在焊机集中区域设置 6 台轴流排风机,每台风量为 $20000\text{ m}^3/\text{h}$ 。

(4)在厂房中央安装 4 台大功率顶置风扇,直径 7 m ,用于整体空气搅拌。

(5)控制系统采用PLC与温湿度传感器联动,当厂房平均温度超过 32°C 时,自动启动轴流风机;超过 35°C 时,再启动顶置风扇。

运行效果表明,在室外温度 35°C 的情况下,车间平均温度控制在 30°C 左右,工人操作区域温度不超过 31°C 。与之前的单一通风方式相比,能耗降低约 15% ,而工人的满意度调查显示舒适度提升显著。

3.3 应用与优化策略

在高温厂房的通风冷却系统中,自然与机械联合控制虽然已经能够在一定程度上解决温度过高和空气流动不足的问题,但在具体应用过程中仍然需要不断优化,才能实现更高效和更节能的效果。首先,在应用层面要重视分区管理的理念。不同的厂房区域热源分布差异很大,比如靠近熔炉、焊接设备的工位往往温度更高,而仓储区则相对凉爽。如果统一采用同一强度的机械通风,必然造成能源浪费。因此在实践中,可以通过安装分区传感器和局部控制风机,使得不同区域的风量随实际情况自动调整,这样既能避免过度冷却,也能保证重点区域空气质量。

优化策略还包括引入蒸发冷却或预冷技术。在一些空气湿度相对适中的地区,采用喷雾或湿帘对进入厂房的空气进行预冷,可以显著降低送风温度,从而减轻机械风机的负担。这样的措施不但能够提高整体降温效果,而且节能效果明显。此外,结合厂房屋顶的太阳能光伏系统,部分风机可以实现清洁能源驱动,进一步减少运行成本。

气流组织优化也是一个关键点。传统设计往往容易出现空气短路和流动死角,使得部分工位的温度依然居高不下。通过BIM模型和CFD仿真软件进行气流分布模拟,可以在系统建设前就预测不同布置方案的效果,进而选择更合理的进风口和排风口位置。

应用与优化还需要考虑智能化管理。在传统的厂房中,风机的启停多由人工操作完成,反应速度慢且缺乏精确性。而在联合控制系统中引入物联网平台,可以实现温湿度实时监控与远程控制,当检测到局部温度上升过快时,系统能自动开启对应区域的机械风机,这样的方式不仅提高了环境调节的灵活性,也减少了不必要的能源消耗。

4 结论

综上所述,高温环境下厂房的通风冷却问题具有复杂性,单一的自然通风或机械通风方式都难以完全满足需求。而自然与机械相结合的联合控制机制,为厂房降温提供了一种兼顾节能与效果的路径。在这种机制下,可以根据实际气候条件 and 生产环境灵活调节,使空气流动既有自然动力的基础,又有机械动力的辅助,形成良好的互补。

本文通过对高温厂房特征的分析,阐述了自然通风与机械通风各自的优势和局限,并提出了联合控制的基本原理和设计思路。在案例中,联合控制系统表现出了显著的温度改善效果和能耗优化水平,表明这种机制在实际应用中具有较强的可行性和推广价值。当然,仍需要在不同类型厂房中进行更多的实证研究,

尤其是结合智能控制、绿色能源等新技术,以实现更加全面和高效的高温厂房通风冷却目标。

参考文献:

- [1] 孙文琪. 旧厂房改造商办建筑热环境优化设计研究 [D]. 华侨大学, 2023.
- [2] 司翔. 抽水蓄能电站有限空间焊烟扩散机理与通风研究 [D]. 北京建筑大学, 2023.
- [3] 蒲静, 蒋福建, 袁艳平, 等. 非等温热源作用下的工业热廊道热压自然通风特性研究 [J]. 西安建筑科技大学学报 (自然科学版), 2022, 54(5): 770-779.
- [4] 边之豪. 基于 CFD 的水电站地下厂房通风系统多场数值模拟及节能优化研究 [D]. 华中科技大学, 2022.
- [5] 熊慧慧, 孟晓静, 贾开发. 室内余热强度和通风换气次数对工业厂房湿球黑球温度影响研究 [J]. 工业安全与环保, 2022, 48(5): 54-57.
- [6] 李鹏飞. 负压环境下高温厂房通风优化模拟研究 [D]. 南华大学, 2021.
- [7] 蒲静. 建陶工业车间高温廊道通风降温方式研究 [D]. 西南交通大学, 2021.
- [8] 彭兆晨. 锻铸厂房熔炼工作区环境治理研究 [D]. 西安工程大学, 2021.