

剧场建筑的楼宇自控系统与节能技术探讨

左自璇 万冬君
北京建筑大学 北京 100044

摘要: 本文探讨了剧场建筑中楼宇自控系统与节能技术的应用,分析了剧场建筑的特点及其空调与照明系统的控制难点。针对剧场空间大、人流变化频繁的特点,提出了智能照明和暖通空调系统的节能控制措施,在确保室内环境舒适的同时降低能耗。这些措施为剧场提供了有效的节能减排途径。

关键词: 剧场; 楼宇自控系统; 节能技术

引言

随着我国文化产业的迅猛发展,全国范围内的剧场类观演建筑迎来了前所未有的繁荣时期。以北京市为例,2023年全年共计举办了49,524场营业性演出,吸引了超过1,138.5万人次的观众。作为拥有较大空间容量的剧场建筑,实施节能降耗措施不仅能够显著减少运营成本,还对提升整体的环境可持续性具有重要意义,这对于推动绿色建筑的发展至关重要。本文将从剧场建筑的特点出发,对其空调系统及照明系统的控制难点进行深入分析,并提出相应的节能控制措施。同时,本文还将介绍某剧场实施楼宇自控系统的解决方案,展示如何通过智能化手段实现节能减排的目标。

一、剧场建筑特点

1. 空间功能布局与设计特点

新型的大中型剧场建筑通常由多个功能区组成,包括观众厅、舞台区、后台准备区、演员休息室、售票大厅、公共休息厅等。这些区域的设计旨在为观众提供一个舒适且安全的观演环境,同时也为演员和技术人员提供必要的支持和服务。剧场内部特别是观众厅通常设计为封闭式结构,为了容纳大量观众,往往会设计成高大空间。

2. 观众流动与设施响应性

剧场在演出前后的人流量会有显著的变化,特别是在观众入场和散场期间,人流量会急剧增加。在这种情况下,对空间的温度和新风系统提出了更高的要求,需要系统能够迅速响应并及时调整,以保持一个恒定且舒适的室内环境。此外,由于剧场的公共空间较大,为应对不同时间段观众的参观和演出需求,需要制定多样化的照明模式,按照不同的场景开启相应的灯具,以实现既能满足使用需求又能节约能源的效果。

二、剧场建筑节能运行控制难点

剧场建筑由于其较大的空间容量而导致能耗较高,加之演出活动的时间和地点每天都在变化,这使得传统的固定设备控制模式难以满足其灵活多变的需求。剧场在演出前后会经历显著的人流量变化,尤其是在观众入场和散场期间,人流量会急剧增加,这对空调、新风系统及照明设施的响应速度和调节能力提出了极高的要求。例如,大量的观众短时间内涌入会导致室内温度上升,空气质量下降,从而需要空调系统迅速作出调整;同样,照明系统不仅需要根据天气实时变化适时调整亮度,以确保观众的舒适度,也需要根据参观、演出、清场等场景变化,调节照明控制模式。然而,传统控制系统在面对这样瞬时且大规模的变动时,往往反应迟缓,不能及时有效地进行调节。

此外,剧场的公共空间较大,为了应对不同时间段观众的参观和演出需求,需要频繁改变环境条件,如调整空调温度、通风换气次数以及照明开灯模式等。这就要求控制系统不仅能快速响应,还需具备高度的灵活性和精准的控制能力,以实现既能满足使用需求又能节约能源的效果。然而,现有的很多控制系统在这方面存在不足,它们在应对频繁变化的使用场景时常常显得力不从心。

因此,要在满足剧场日常运营需求的同时,尽可能降低能耗,是一项极具挑战性的任务。一方面需要系统能够适应瞬时大量观众进出带来的环境变化,另一方面还要能够灵活应对剧场内不同区域随时间场景变化的需求。这两方面需求相互叠加,使得剧场建筑的节能运行控制变得异常复杂和困难。

三、智能照明系统控制原理与节能措施

1. 智能照明系统的控制原理

智能照明控制系统主要通过数字信号和电信号转换

实现照明远程控制，当系统判断符合开灯要求时，给出开灯输出信号，现场执行器执行开灯操作，从而控制照明回路的开关状态，达到远程控制的目的。系统支持基于时间表的日程控制模式，用户预先设定特定时间段内的照明需求，系统根据指定时间自动调整灯光状态，无需人工干预即可完成对灯光的开启、关闭或调光操作。另外，智能照明控制系统还可与环境光照度传感器联动，根据实际光照条件自动调节室内照明亮度，当环境光线减弱至预设阈值之下时，系统判断符合开灯条件，远程启动相应的照明装置，以维持舒适的光照水平。这种功能不仅提高了能源效率，降低了能耗，同时也提升了使用者的舒适度和便利性。

2. 智能照明控制系统节能措施

(1) 照度传感器的运用

在白天利用自然光来减少对人工照明的依赖是一种经济且环保的做法。然而，由于天气变化无常，为了防止室内照度因云层遮挡等因素突然下降导致视觉不适，通常会在智能照明控制系统中集成照度传感器来动态调整照明水平。通过照度传感器持续监测环境中的光照强度，一旦检测到环境照度低于预设阈值，就会触发照明系统，自动开启或调亮灯具，以维持室内适宜的光线水平。但在实际应用中发现，照度传感器的安装位置至关重要，位置的选择直接关系到系统响应的准确性。不恰当的位置可能会使传感器接收到非自然光的干扰，例如，当照度传感器周围灯具突然开启时，尽管环境已经变暗，但由于传感器感知的环境照度仍未达到预设开启值，从而影响灯具的正常开启。因此，在控制重要位置的灯具时，应避免单一控制方式，可采用多种控制方式相结合的方法，比如照度传感器与日程控制相结合等。

为了提高系统的可靠性和准确性，通常建议在不同位置安装多个照度传感器，通过多点监测可以平均单个传感器的测量误差，确保即使在光线条件复杂的情况下，系统也能准确反映实际的光照状况。另外，定期对传感器进行校准和清洁也是必要的，因为灰尘或其他污染物可能会附着在传感器表面，影响其敏感度。此外，应考虑随着时间推移传感器灵敏度可能发生变化，适时调整其设定值。

(2) 设置不同场景的照明模式

智能照明控制系统需要根据不同场景自动调整照明模式，并实现单回路分控与整体控制的有机结合，以最大限度地实现节能目的。通过智能控制系统，可以根据剧场的实际使用情况灵活调节照明系统，避免不必要的

能源浪费。鉴于剧场在演出、参观等不同运营模式下的照明需求存在显著差异，智能照明控制系统能够根据具体应用场景自动切换相应的照明模式。例如，在演出期间，系统可以按照观众进场和散场的路线，开启剧场外部公共区域的“演出模式”照明；而在白天向公众开放参观时，则切换至“参观模式”，确保访客能够清晰地看到展览品或建筑特色，同时减少不必要的能耗。当演出结束或展馆关闭后，系统将自动进入“清扫模式”。在此模式下，仅保留满足工作人员基本需求的基础照明。这种智能照明控制系统不仅为观众和工作人员提供了舒适的观演和工作环境，也最大限度提升了能源利用效率。

此外，为了应对偶尔出现的临时照明需求，智能照明控制系统还配备了群控功能，能够在不同场景下实现一键切换至对应场景的所有灯具状态，确保无论何时都能快速响应，满足实际需要。

四、智能暖通空调系统控制原理与节能措施

1. 智能暖通空调系统控制原理

空调机组控制涵盖了温湿度调节、新风比例控制及空气处理等多个方面。控制系统通常将室内温度、湿度等参数的目标数值称为“设定值”，而由传感器测量得到的实际数值则称为“实际值”。控制器通过比较设定值与实际值之间的差异，经过计算得出一个控制量，即确定现场执行器（如水阀、风阀）的开合程度，以此来调节室内温度或湿度，确保环境始终处于舒适且节能的状态。例如，温度控制通过温度传感器检测回风或送风温度，并将数据反馈给控制系统，根据设定值与实际值之间的差异来调整冷热水阀开合状态，从而精确控制室内温度。湿度控制则利用湿度传感器监测室内的湿度水平，并通过启动除湿或加湿模式来维持理想的湿度范围。新风比例控制则是通过控制风阀执行器来调节进入室内的新鲜空气与回风的比例，既保证了室内空气质量，又实现了能量使用的优化。空气处理通过管理空调机组内部的过滤器，确保室内空气质量良好及空气流通顺畅。运用压差传感器，检测风机过滤网前后气压差异值，当检测到压差超过设定值，控制系统提出更换过滤网提醒，确保风机内送风流畅。

2. 智能暖通空调控制系统节能措施

(1) 新风量控制优化

在满足室内空气质量标准的前提下，空调系统需提供一定量的新鲜空气，以确保室内人员的健康和安全。这一最低限度的新鲜空气量被称为“最小新风量”，其具体数值可以根据实际情况详细计算和评估，以确保既能

达到室内空气质量的要求，又能避免过度消耗能源。在常规操作中，剧场通常以评估得出的最小新风量作为新风量控制的主要依据。当风机启动时，默认的风阀开度设置为最小新风量。若室内人数增加或活动加剧，导致需要更大的新风量时，可以通过调整新风阀开度，增加新风量。而在室外空气质量较差的情况下，则可临时强制关闭风阀，使机组转入全回风运行模式，以保护室内环境。此外，当室外温度适宜且空气质量良好时，也可以设置为全新风模式，充分利用自然风来调节室内温度，从而减少空调系统的能耗，实现更加节能环保的运行状态。

(2) 水阀控制优化

在楼宇自控系统中，空调水阀的控制策略至关重要。PID（比例-积分-微分）控制算法是一种广泛应用的技术，用于精细调节水阀的开启程度，进而控制室内的温度。当检测到室内温度偏离预设值时，PID控制器会根据当前偏差的大小、偏差持续的时间以及偏差的变化率来调整水阀的位置。具体来说，当室内温度高于设定值时，PID控制器会计算出一个控制信号，该信号使得水阀逐步关闭，减少冷水流入，从而使室内温度下降。反之，若室内温度过低，PID则会增大水阀的开启度，增加冷水流量，以提高室内温度。此过程是动态且连续的，通过不断地监测环境变化，PID算法能够实时调整，确保室内温度维持在一个舒适的水平。

然而，在剧场演出情境下，大量观众进场会导致室温迅速上升，这会打破原有的温度平衡状态。在这种情况下，仅依赖PID控制可能无法迅速应对这种突然变化。因此，剧场通常会采用一种混合策略，在短时间内（例如演出期间），剧场可能会启用一种更为直接的控制方法，比如强制调整风阀开度，根据送回风温度传感器的数据以及现场人员的实际测量结果强制调整水阀的开启度。这种方法可以更快地响应温度变化，帮助快速恢复至设定的温度范围。在演出结束后，随着人流散去，室温基本稳定，此时再次将水阀控制切换回PID自动调节模式，以便于长期稳定的温度控制。这种结合自动控制与人工干预的方法，既保证了在特定情况下（如大量人流涌入）能够迅速作出反应，又能在常态下保持良好的自动化管理，从而为观众提供一个舒适宜人的环境。

(3) 使用变频技术

变频技术也是一种有效的节能措施。变频技术通过调整电机的工作频率来改变其转速，从而精准控制风机和水泵的输出功率。在剧场中，变频器可以根据实际需求动态调整风机和水泵的速度，避免了传统定速系统在

非满负荷状态下运行造成的能源浪费。例如，在演出前后或观众较少时，变频器可以降低风机和水泵的速度，减少能耗；而在高峰时段，则可以根据实际需要提升转速，确保足够的空气流通和冷却供热能力。变频技术的应用不仅有助于节约能源，还有助于延长设备寿命，降低维护成本，从而进一步提升整体系统的运行效率。

结论

剧场建筑因其独特的空间布局和频繁变化的人流特性，面临着楼宇自控系统的诸多挑战。一方面，剧场需要在短时间内应对大量观众进出所带来的温度、空气质量变化，另一方面，剧场还需要根据不同时间段的使用场景灵活调整环境条件，如空调温度、通风换气频率以及照明模式等。这使得传统的固定设备控制模式难以满足其灵活多变的需求。

针对剧场建筑的特点，本文提出了多项节能控制措施。对于照明系统，本文提倡使用智能照明控制系统，根据实际光照条件自动调节室内照明亮度，结合照度传感器与时间表控制，实现不同场景下的照明模式自动切换，不仅为观众和工作人员提供了舒适的环境，也最大限度地提高了能源利用效率。

对于空调系统而言，通过优化新风量控制，确保在满足室内空气质量的同时避免过度消耗能源。同时，采用PID控制算法精细调节水阀开度，确保室内温度的稳定性。在特定条件下，如演出期间，采用更直接的控制方法以快速响应温度变化，之后再恢复为自动调节模式。这些措施不仅提升了观众的舒适度，也达到了节能减排的目的。综上所述，通过对暖通空调系统和照明系统的智能化控制，剧场建筑不仅能够有效应对环境变化带来的挑战，还能实现节能减排，从而促进剧场的可持续运营。

参考文献

- [1] 曹文娟, 刘吉兆. 建筑电气照明系统智能化及节能化研究[J]. 光源与照明, 2024, (05): 50-52.
- [2] 王鹏. 民用建筑电气中智能照明控制系统的应用[J]. 灯与照明, 2024, 48(02): 1-4.
- [3] 张世杰. 基于物联网技术的建筑电气智能照明控制系统设计与应用分析[J]. 光源与照明, 2024, (06): 34-36.
- [4] 刘清伟. 智能建筑空调系统自动控制设计与节能应用[J]. 低碳世界, 2016, (36): 274-275.
- [5] 王蕾. 节能减排理念在建筑暖通空调设计中的应用分析[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2024, (24): 79-81.