

体育馆空调系统优化设计与节能分析

华南理工大学建筑设计研究院 陈祖铭[☆] 钟朝安
仲恺农业工程学院 丁力行[△] 罗玉和

摘要 结合工程设计及调查,介绍了体育馆空调形式、空调系统划分、气流组织设计与分析、空调负荷、送风量及送风温差的关系等。

关键词 体育馆 空调系统 气流组织 送风量 节能

Optimizing design and energy efficiency analysis of air conditioning systems in gymnasiums

By Chen Zuming[★], Zhong Chao'an, Ding Lixing and Luo Yuhe

Abstract Based on engineering design experience and investigation, presents the gymnasium air conditioning mode, air conditioning system division, air distribution design, air conditioning load, and relationship between air supply volume and air supply temperature difference.

Keywords gymnasium, air conditioning system, air distribution, air supply volume, energy saving

★ Architectural Design & Research Institute, South China University of Technology, Guangzhou, China

①

结合工程设计以及对部分体育馆空调系统的调查,对体育馆空调形式、空调系统划分及气流组织等进行探讨,探求符合体育馆多种经营实际所需的、利于空调系统运行节能的体育馆空调设计方案,以供体育馆设计者参考。

1 体育馆的空调系统形式与划分

1.1 体育馆的空调系统形式

体育馆建筑除比赛大厅、观众席外,还有与体育比赛有关和运行需要的附属用房,满足体育比赛的同时作为大型文娱演出、集会等多功能活动场所,其空调系统形式有以下两大类:集中式空调和分散式空调。

集中式空调系统具有集中管理,大型设备能效高,可减少装机容量,可以互为备用等优点。但如果不进行体育比赛,仅附属用房使用时,则系统运行极为不节能,经常会出现“大马拉小车”的现象,或空调系统根本开不起来,如广州天河体育中心体育馆、广东体育馆、东莞体育馆、潮州体育馆、阳江体育馆、佛山体育中心、广东奥林匹克体育中心等。

分散式空调系统具有运行灵活,无机房,但设备能效低、系统装机容量大、系统投资大等特点。

综合两者优缺点,比赛大厅、观众席以及与比赛有关的附属用房如检录室、运动员休息室,教练员、裁判员休息室等采用集中式空调系统;其余的附属用房需满足比赛的要求并兼顾赛后的使用,宜设置分散式空调系统,如深圳大运会体育中心、宝安体育中心等。

1.2 体育馆比赛大厅空调系统划分

体育馆比赛大厅空调系统的划分视体育馆的规模及等级而定,主要有以下三种:

第一种是比赛场地与观众席区域空调系统合用,统一送风,气流组织方式为上送下侧回方式或上侧送下侧回方式,当室内负荷减小时,可采用改变空调送风机转速(变频调节)或减少空调器运行台数的方法,以满足不同使用要求,1990 年以前建的体育馆基本都采用这种方式,如广东体育馆、广

①☆ 陈祖铭,男,1967 年 2 月生,大学,高级工程师,暖通空调总工程师

510640 广州市五山路华南理工大学建筑设计研究院
(020) 87110919 - 5071

E-mail: chenzm@scut.edu.cn

△ E-mail: lxding@vip.sina.com

收稿日期:2009-04-01

州天河体育中心体育馆等。采用这种空调系统的优点是系统简单、投资少,缺点是当某一部分使用时,空调系统必须全部开启,运行能耗大。

第二种是比赛场地与观众席区空调系统合用,分别送风(小型体育馆)或分设空调系统分别送风(大型体育馆),两者均采用上部喷口送风,下部回风的气流组织形式,如东莞体育馆、潮州体育馆等。采用这种空调系统的优点是空调系统可分区开启,运行能耗小,缺点是空调系统相对复杂,投资较大。

第三种也是比赛场地与观众席区空调系统合用,分别送风(小型体育馆)或分设空调系统分别送风(大型体育馆),与第二种的区别是观众席区采用上下分区送风,采用下送风方式。如广州新体育馆、北京大学体育馆、北京工业大学体育馆等。采用这种空调系统的优点是可根据观众人数分区开启空调系统,运行能耗小(与上送风相比夏季运行可节能),缺点是空调系统送风量大,所需的建筑空间大,系统复杂,投资比前两种大。

2 比赛大厅空调负荷及送风量的确定

体育馆比赛大厅空调负荷及送风量应根据体育馆等级、所在地区,以及体育馆的送风方式确定。

2.1 比赛大厅空调负荷

由于体育馆内人员密度大(可达到 2~2.5 人/ m^2),比赛场地上方有较大的照明散热量,大型体育馆可达 200 W/m^2 ,小型体育馆也达到 70 W/m^2 ,因此总冷热负荷主要由人体和照明负荷构成,其次是新风负荷及围护结构负荷。部分体育馆的冷负荷数值见表 1。

表 1 比赛大厅冷负荷

	座位数/ 个	比赛大厅冷 负荷/ kW	人均冷负荷/ ($\text{W}/\text{人}$)
北京工业大学体育馆	7 500	3 060	408
中国农业大学体育馆	7 000	2 979	426
柳州李宁体育馆	8 025	3 442	429
广东药学院体育馆	5 136	2 810	547
南沙体育馆	8 000	2 806	351
武钢体育馆	5 000	1 480	296
广东体育馆	3 000	1 279	426

2.2 比赛大厅空调送风量及送风温差

空调系统送风量与气流组织的形式及送风温差有很大关系,采用喷口上送风下回风时,送风温差可以采用 8~12 $^{\circ}\text{C}$,送风量最小;采用散流器下送时,送风温差可以采用 8~10 $^{\circ}\text{C}$;采用座椅或地面旋流风口置换送风时,送风温差不能太大(一般 3~5 $^{\circ}\text{C}$),送风量最大;部分体育馆折合每人的送风量见表 2。

表 2 比赛大厅送风量及送风温差

气流组织形式		座位数/个	总送风量/ (m^3/h)	人均送风量/ ($\text{m}^3/(\text{人} \cdot \text{h})$)	送风温差/ $^{\circ}\text{C}$
北京工业大学体育馆	阶梯侧壁下送上回	7 500	748 000	99.7	5
中国农业大学体育馆	阶梯侧壁下送上回,后上部喷口送风下回	7 000	420 000	42.9	5~10
柳州李宁体育馆	阶梯侧壁下送上回,上部纤维织物空气分布系统上送下回	8 025	380 000	47.3	5~10
广东药学院体育馆	上部侧喷口上送下回	5 136	339 720	66.1	10
南沙体育馆	纤维织物空气分布系统上送下回	8 000	360 000	45	10
武钢体育馆	上送下回	5 000	200 000	40	10
广东体育馆	散流器上送下回	3 000	171 800	57	10

比赛场地的送风量应根据场地运动员、教练员、裁判员以及工作人员数量确定,从笔者所设计的体育馆来看,比赛场地的送风量约比赛大厅空调总送风量的 0~25%,其使用结果均能满足使用要求。

为减少制冷设备的噪声与振动,制冷机房及冷却塔应远离主比赛大厅,空气处理机房设置在阶梯座位下或后部。

3 比赛大厅空调系统气流组织设计与分析

3.1 比赛大厅与观众席区气流组织模拟

为使体育馆室内温度场、速度场满足观众的舒适度和体育馆比赛的要求,同时达到降低初投资,

减少运行费的效果,一般应对体育馆的空调送风气流组织进行 CFD 模拟。

CFD 模拟分析的方案有多种,应根据空调系统的划分进行模拟分析。笔者作了如下模拟分析:一是利用座椅下旋流风口的置换送风方案;二是常规的喷口或散流器的送风方案。模拟分析表明,喷口送风方案观众席区风速 0.2~0.3 m/s 、比赛区风速 0.3~0.4 m/s ,能满足大部分时间使用要求,但无法满足羽毛球和乒乓球等小球比赛的要求;座椅下旋流风口的置换送风方案,送风口出口风速 $\leq$ 0.2 m/s 、观众席人员活动区域及比赛场地区域风速不超过 0.2 m/s ,完全符合设计规范和体育工艺

的要求,可满足体育馆比赛场地与观众席区任何时间的使用要求。座椅送风与喷口送风 CFD 模拟分析结果见图 1~4。

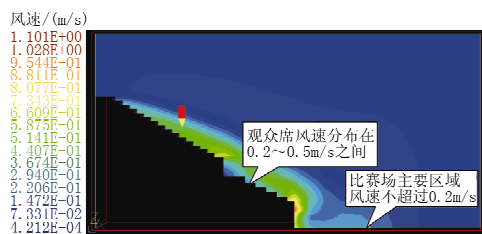


图 1 座椅送风方案断面风速分布

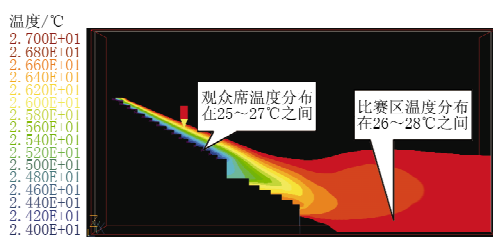


图 2 座椅送风方案断面温度分布

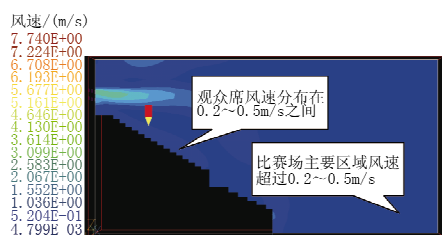


图 3 喷口送风方案断面风速分布

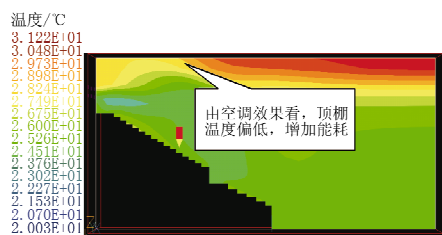


图 4 喷口送风方案断面温度分布

3.2 比赛大厅与观众席区气流组织形式确定

体育馆比赛大厅与观众席区气流组织形式的设计,应根据体育馆的等级、规模、用途以及运行的节能性综合考虑确定,常用的有上送下回、侧送下回、下送上回和分区送上下回等,结合送风口的形式,分别阐述如下。

1) 比赛场地与观众席区散流器上送下回的气流组织形式

这种气流组织形式是把送风管安装在顶棚或网架上,回风口均匀布置在下部阶梯座位下和比赛

场地周边,这种方式的优点是送风温差大(可达 10 °C),可以把表冷器处理后的空气(机器露点温度 14~15 °C,相对湿度 90%~95%)直接均匀地送到空调区,减少送风量,降低风机能耗,满足不同的室内参数要求;缺点是冬季如需送热风时,比赛场地及下部观众区由于热气流的上升而送不下来,冬季应有改变送风速度和方向的措施。当小球比赛时,风速难以满足要求而需停止送风,这种方式适合中小型体育馆,如广东体育馆。

2) 比赛场地与观众席区喷口侧送下回的气流组织形式

这种气流组织形式是把送风管安装在大厅四周墙上部,根据看台的坡度设置不同角度的喷口送风,回风口均匀布置在阶梯座位下和比赛场地周边,由于送风射流长以及送风气流的卷吸,与第 1 种相比,可降低送风系统投资及风机能耗(可减少送风量),是较经济的一种送风方式;冬季送热风时,能有效控制送风气流。但由于送风速度大,当进行小球比赛时,难以控制风速,气流噪声较大,这种方式适合大中型体育馆,如潮州体育馆利用大厅外围结构上部的建筑空间作送风道,风道分上、下两层分别向观众席区的上、下区域喷口送风,比赛场地两端设一排喷口向比赛场地送风,空调效果很好。

3) 观众席区散流器上送、比赛场地喷口侧送下回的气流组织形式

这种气流组织形式是把送风管安装在座位区顶棚或网架上,观众席区散流器上送,回风口均匀布置在阶梯座位下和比赛场地周边,比赛场地由安装在大厅两端墙上部的喷口送风,这种方式适合中小型体育馆,如东莞体育馆。

4) 观众席区座位送风、比赛场地活动座位后墙侧送中上回的气流组织形式

这种气流组织形式是把送风管(或送风静压箱)安装在阶梯座位下面,通过地面旋流风口或孔管风口向观众席区送风,比赛区由活动座位后墙侧送风,回风口集中布置在观众席区的中上部,这种方式的最大优点是可实现分层空调,在夏季运行较节能,处理后的空气及新风直接供给观众,空气质量好,观众席区及比赛场地温度场及速度场均匀,比赛场地风速容易控制;缺点是地面送风口易扬尘、风口数量多等,为避免吹冷风感,送风温差不能

太大(一般 $3\sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}$),送风速度小(一般 0.2 m/s 左右),处理空气量大,约比顶送风或侧送风的送风量大一倍左右,所需的送风空间大,与前述几种相比造价最高,对于风速要求较高的场馆,采用这种送风方式是较佳的选择,北京工业大学体育馆就采用这种方式。上送风方式为全空间温度控制,耗冷量大于观众区下送风方式。

3.3 比赛大厅空调系统的回风与排风

比赛大厅人员及照明灯光散热量大,全年均有余热量;其建筑空间大,热量积聚在大厅上部,在大厅上部应设排风系统排除余热。

比赛大厅空调系统的回风口设置应与送风方式结合考虑,当散流器上送风时,应在阶梯座位下或比赛场地四周均布回风口;当比赛场地与观众席区喷口侧送风时,应在阶梯座位的上、中、下和比赛场地四周布置回风口,并可以调节风量,才能保证不同季节空调区的舒适性;当采用下送风时,在人活动区的上部设置回风口,才能有效排除室内的余热。

4 空调系统的节能

4.1 空气处理的节能

空调系统的划分还应注意系统运行的节能性,系统设计时应根据当地的气候变化,考虑全新风运行的可能性,并应考虑空调系统排风的出路;空气处理应避免再热而造成冷热量的抵消,当为满足室内空气状态点,空气处理过程必须再热时,可允许室内空气状态点在一定范围内波动(如温、湿度可允许波动),从而避免空气处理过程的再热。

4.2 空调系统的热回收

《公共建筑节能设计标准》(GB 50189—2005)和各省市地方节能标准均强调空调系统的热回收,由于热回收设备的投资较大且造成运行的复杂化,是否采用热回收设备应进行经济技术比较分析后确定。

4.3 空调系统的自动控制

为保证空调系统的正常及节能运行,有必要设置自动控制系统,由于自动控制系统投资大,应根据其等级、规模及重要性设置不同的自控系统,大中型特级体育馆(奥运会、国际比赛馆)应设中央空调控制室,实现对制冷机组、水泵、冷却塔、空气处理机、新风处理机、排风机等设备的监视、测量、控制和运行记录;小型乙级、丙级体育馆可对制冷机组、水泵、冷却塔设置简单的自控系统,其他设备宜

手动控制,以降低建设成本。

5 结论

5.1 体育馆空调系统宜采用集中与分散相结合的方式,比赛大厅、观众席以及与比赛有关的附属用房采用集中空调系统;其余的附属用房应满足比赛的需要并兼顾赛后的经营使用,宜设置分散的空调系统。

5.2 比赛场地与观众席区空调系统宜分设或分别送风,大中型体育馆观众席区宜分设系统。

5.3 除对风速要求严格的体育馆采用座位下地面送风外,体育馆比赛大厅一般宜用上侧喷口送风或观众区散流器送风、比赛场地喷口送风、座位下分散回风或集中回风的气流组织,较为经济适用。

5.4 体育馆由于利用率非常低,不同于其他使用率高的公共建筑,其空调系统可以不设置热回收系统。

参考文献:

- [1] 赵彬,李先庭,马晓钧,等. 体育馆类高大空间的气流组织设计难点及对策[J]. 制冷与空调,2002,2(2): 10-14
- [2] 邹月琴,贺绮华. 体育建筑空调设计[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1991
- [3] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 2版. 北京:中国建筑工业出版社,2008
- [4] 范存养. 大空间建筑空调设计及工程实录[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2001
- [5] 肖剑仁. 福建省体育馆通风空调系统设计[J]. 暖通空调,2007,37(12):101-105
- [6] 丁高,李莹. 国家体育场暖通空调设计[J]. 暖通空调,2007,37(6):11-14
- [7] 孙敏生,王威,万水娥. 国家大剧院观众厅空调系统和气流组织方式的设计和分析[J]. 暖通空调,2003,33(3):1-8
- [8] 刘方,翁庙成,蒲清平,等. CFD在某候机厅空调气流组织设计中的应用[J]. 暖通空调,2007,37(5):77-79
- [9] 张欢,杨尚一,由世俊,等. 体育馆空调气流组织的CFD模拟研究[J]. 暖通空调,2008,38(3):87-90
- [10] 陈祖铭,王钊,钟朝安,等. 北京工业大学体育馆空调系统设计[J]. 暖通空调,2008,38(10):115-120
- [11] Lam J C, Chan A L S. CFD analysis and energy simulation of a gymnasium [J]. Building and Environment, 2001, 36(3): 351-358
- [12] Ye X, Lian Z. Air distribution numerical simulating of isothermal jet with interference parameters in large space [J]. Simulation Modeling Practice and Theory, 2005, 13(2):139-155