

国家体育场暖通空调设计

中国建筑设计研究院 丁 高[☆] 李 莹

摘要 介绍了国家体育场的暖通空调设计原则及空调冷热源、风系统、水系统、防排烟系统的设计。

关键词 体育场 空调设计 通风设计 防排烟设计

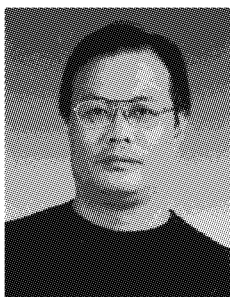
HVAC system design for the National Stadium

By Ding Gao[★] and Li Ying

Abstract Presents the design principle of the HVAC system and the design of cold and heat sources, air system, water system and smoke control and extraction systems.

Keywords stadium, air conditioning system design, ventilating system design, smoke control and extraction system design

① ★ China Architecture Design & Research Group, Beijing, China



丁 高

代表工程:

国家体育场
北京大学 100 周年纪念
讲堂
国际艺苑皇冠假日酒店
中国人民解放军总医院
中石化办公楼

1 建筑概况

国家体育场(北向剖面示意图见图 1)为 2008 年第 29 届奥林匹克运动会的主体育场,地下 3 层,地上 7 层。地下层除了停车场之外,还有媒体用房、赛事管理用房、运动员及随队官员用房、体育场运营管理用房、餐饮用房等,赛后还将增加大面积的附属商业区域。地上 1,2,5,6 层除了核心筒周围的附属商业用房及 2 层的贵宾休息厅以及 5,6 层的赛后宾馆用房外,都是大面积的开敞集散大厅。地上 3,

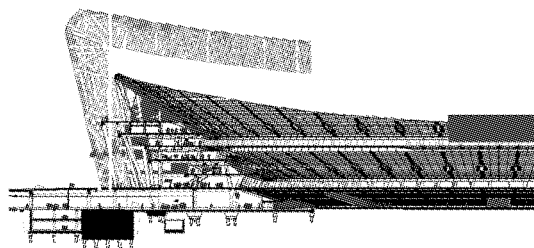


图 1 国家体育场北向剖面示意图

4 层为封闭空间,四周由玻璃幕墙与外界隔开,3 层为餐厅,4 层为包厢(赛后部分包厢将改为宾馆客房)。空调区域绝大部分集中在地下层及地上 3,4 层,2 层贵宾休息厅,以及分散在各个楼层的核心筒周围的附属商业用房。

2 设计原则

1) 以“绿色奥运、科技奥运”为主导设计思想,按照国际业余田径协会联合会、国际足球联合会的规定,满足运动员对比赛和训练的要求,满足奥运会开/闭幕式的要求。

2) 为运动员、观众和工作人员提供舒适的室内空气环境,为各种工艺技术用房提供能保证其正常工作所需的室内空气环境。

3) 暖通空调系统的设计既要满足奥运会期间的使用要求,又要兼顾奥运会后的商业运营要求,为商业运营创造(预留)较为理想的条件。

4) 为充分体现“绿色奥运”的设计理念,在能源利用,建筑热工、室内环境设计等方面采用合理的新技术、新设备,为可持续发展提供条件。

3 冷热源的选择与设计

3.1 供暖、空调热源

①☆ 丁高,男,1963 年 7 月生,大学,学士,教授级高级工程师
100044 北京市西直门外车公庄大街 19 号建筑节能与新能源工程中心
(010) 68302580
E-mail: dingg@cadg.cn
收稿日期:2007-03-20

该工程供暖、空调一次热源采用城市热力管网提供的高温热水,在建筑 0 层东、西两侧各设置 1 个换热间,在每个换热间内分别设置供暖换热系统及空调换热系统。供暖系统设计总热负荷为 1 350 kW,每个换热间设置 2 台换热器;空调系统设计总热负荷为 18 866 kW,每个换热间设置 3 台换热器。供暖空调一次热源热水供、回水温度按 120℃/70℃设计,供暖系统热水供、回水温度为 80℃/60℃,空调系统热水供、回水温度为 60℃/50℃。供暖、空调热水系统均采用闭式气压罐定压,供暖、空调热源分别接入 0 层环形通道上空的供暖管网及空调环形管网,为供暖、空调系统提供热源。体育场换热系统图见图 2。

负荷配备制冷机,赛后增加的冷负荷依靠冰蓄冷系统解决,考虑到赛后体育场内宾馆及配套房间的空调要求,设置了一套基载主机(地源热泵系统)并联运行。这样赛时电制制冷机组可满足整个体育场的冷负荷要求,赛后不需增加制冷机设备,而仅增加冰蓄冷设备就可满足赛后冷负荷增加的要求。制冷机房内为赛后增加蓄冰装置预留了位置。赛后机房内增设溶液泵,赛时使用的冷水泵赛后采用变频控制技术,变流量运行,以节省能耗。冷水供回水温度赛时、赛后均为 $5^{\circ}\text{C}/13^{\circ}\text{C}$,冷却水供回水温度为 $32^{\circ}\text{C}/37^{\circ}\text{C}$ 。国家体育场的制冷系统图见图 3.4。

3.3 地源热泵空调冷热源

为了配合空调主导冷源的设计及满足赛时部分负荷的调节特性要求,考虑到体育场场地面积较大,地下有较充足的可埋管空间,能充分利用可再生能源,在设计中选用了地源热泵空调系统。设计总装机制冷量为 1 500 kW,制冷工况冷水设计供、回水温度为 5℃/13℃,制热工况热水设计供、回水温度为 55℃/50℃。地源热泵空调冷热源接入 0 层空调环形管网。为避免地下换热器对足球场草坪产生影响,要求换热器在草坪下的埋深在 5 m 以上。国家体育场地源热泵系统图见图 5。

4 空调水系统

4.1 空调水系统设计

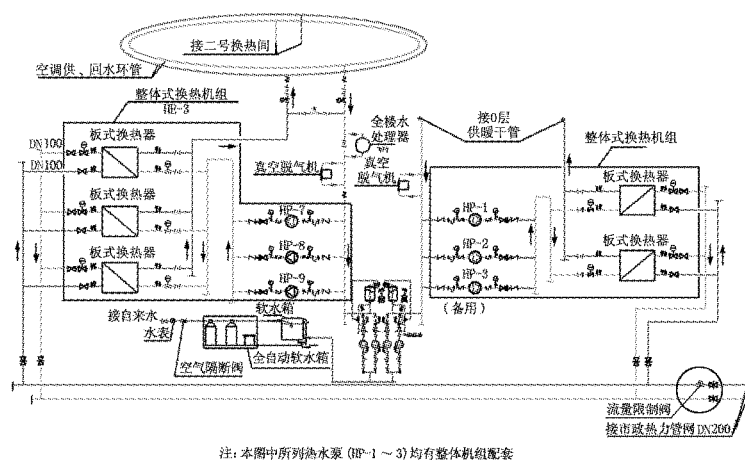


图 2 体育场换热系统图

3.2 空调主导冷源

设计原则是既要满足奥运会赛时的总冷负荷要求,又要兼顾赛后商业运营的要求。按照奥运会赛时负荷要求设置双工况冷水主机组,赛后改造时增加蓄冰系统,不增设主机,只增设蓄冰设备及溶液泵,降低赛后改造难度。

该工程奥运会赛时空调总冷负荷为 14 533 kW(4 133 rt)。根据体育场建筑的特性和为了满足国家体育场的整体景观要求,在距体育场东侧 20~30 m 处的地下设置 2 个制冷机房,在制冷机房上部设置冷却塔。为满足奥运会赛时的需要,每个机房设计 2 台双工况电制冷冷水机组,每台机组制冷量为 3 258 kW(927 rt)(空调工况),2 个机房总装机容量为 13 032 kW(3 708 rt)。

体育场冷负荷在赛时易出现瞬时高峰,且多出现在峰电时段,而其他时段负荷较为平稳,夜间谷电时冷负荷非常小的负荷特点非常适合使用冰蓄冷系统。同时,按照业主要求,目前的设计按照奥运会赛时的要求进行,赛后再进行改造。经过对奥运会赛时负荷的计算和赛后负荷的估算可知二者相差约为 26%,因此考虑采用冰蓄冷方案,按赛时

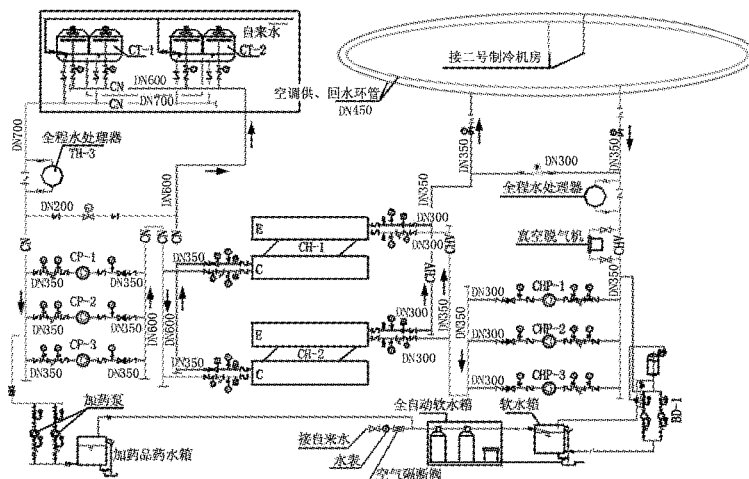
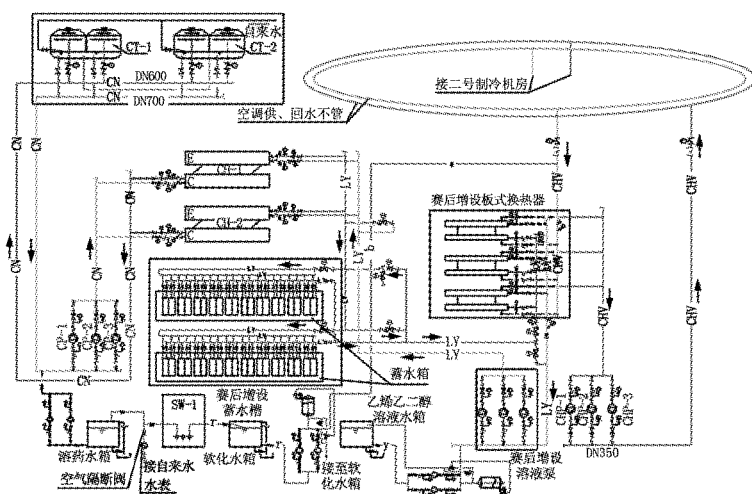


图3 国家体育场制冷系统图(赛时)

奥运会赛时空调系统集中使用,空调负荷波动较小,故空调水系统采用一次泵系统。水系统采用压差旁通控制,变流量运行。由于制冷机房为2个,0层及以上层空调区域的负荷不均衡,故在0层环形通道上空设计一个环形空调供、回水管网,主导冷源及地源热泵冷热源均接入环形管网中。负荷侧的空调水管均从管网上接出至核心筒管井或0层空调机房。在每个环路分支处均设置平衡阀,在空调



调系统及分体多联式空调系统等。

0 层南侧候场区采用全空气双风机空调系统。参照赛后商业改造方案及防火分区的划分设置空调系统,并要求能满足在过渡季及冬季变新风量运行的要求。该空调系统赛后作为商业用空调系统的一部分,主要用于高档商业区,由于空调机组及主风管安装条件已按赛后预留,赛后只需根据建筑及装修的需要改造支管系统即可。0 层办公用房、赛事管理用房等房间采用风机盘管加新风空调系统。3 层餐厅中的空调内区全部采用全空气双风机空调系统,其他区域采用风机盘管加新风系统。4 层的包厢全部采用风机盘管加新风空调系统。为满足赛时(夏季)12 个核心筒周围房间的温度要求,在餐饮服务点、小商店、临时医疗站和公共厕所均设置风机盘管空调系统。对于设备发热量较大、运行时间特殊的弱电控制设备用房,增设分体多联式空调系统。

6 通风系统设计

国家体育场的通风分为自然通风和机械通风两种。主体育场观众席采用自然通风方式,车库、设备用房、厨房和卫生间排风采用机械通风方式。

6.1 自然通风

为了保证自然通风方式能满足观众区热安全的要求及确定合适的开口位置,运用计算流体力学(CFD)模拟手段对夏季典型条件下观众区和比赛区的自然通风效果进行了模拟分析,得到了各处的温度、速度等参数的数值模拟结果,并对计算结果采用热安全性评价指标进行了分析。根据观众区和比赛区的不同需求、体育场内的人员分布特点以及对两个区域的不同关注程度,对国家体育场自然通风的效果进行了综合评价。根据温度场和速度场的模拟结果,使用湿黑球温度作为评价指标,对体育场观众区和比赛区进行了热安全评价。

根据计算结果可知,无论是比赛区,还是观众区,湿黑球温度最高均为 29℃,体育场各处的湿黑球温度均低于 32℃,这表明,从热安全角度出发,在开幕式时自然通风可以确保体育场内人体不会因为过热而导致热损伤。

6.2 机械通风

0 层通风系统设计原则为:根据该工程的建筑特性及场地景观要求,将建筑内的排风分为有污染气体和无污染气体(仅有温升的空气)两大类,有污染气体(车库和厨房排风)在远离体育场的地方开通风孔直接排至室外,无污染气体(空调系统正压排风、建筑设备用房的排风)排至 0 层环形通道,再由设于 0 层环形通道内的主排风系统集中排至室外。0 层环形通道内的主排风系统的多台风机采用并联方式,可根据需要改变排风量,满足平时及火灾时的不同风量要求。

停车库均设置机械排风及机械补风(送风)系统,并对应设置车库排烟系统,车库排烟系统能满足消防排烟时的

补风要求。由于部分车库层高较小,通风系统采用了射流风机,在满足消防排烟要求的前提下减少了车库内的风管数量。

0 层东侧餐饮厨房区设置排风系统,在 0 层设置排风机房,厨房的油烟气体经过专用油烟净化机组处理后,通过设于地下的排风管道排至室外。补风系统采用新风处理机组,将室外空气过滤、冷(热)处理后送入厨房。在厨房内设置事故排风系统。

设备用房(包括换热间、水泵房、变配电室等)均按规定的换气次数设置排风系统,并对应设置补风系统,排风系统将没有污染的气体排至 0 层环形通道。

0 层环形通道作为通风系统连接室外出口的重要部分,设置两套排风兼排烟系统。作为排风系统时,系统设计最大风量是所有排至 0 层环形通道风量的综合值;作为排烟系统时,根据消防性能化设计及评估得到的结论,每个系统的排烟量为同时负担两个防烟分区的风量。系统的风量取二者中的大值。在 0 层设置通风机房及排风口,火灾时由消防控制中心打开火灾区域的排烟口排烟。

所有核心筒周围的公共厕所均设置竖向机械排风系统,主排风机设于每个核心筒的顶层,排风机采用低噪声风机。为使排风系统平衡,在各层分支处设置定风量平衡风阀。

气体消防房间设置独立排风系统,排风口设于底部,并在穿越该房间的其他空调通风管上设置电动防火阀,使该房间与其他房间隔绝,气体消防排风机的控制开关设在气体消防服务房间门外。

7 防排烟系统设计

防排烟系统原则上按照《高层民用建筑设计防火规范》(以下简称《高规》)设计,《高规》不能涵盖或超越《高规》的内容需经北京市消防局同意,并进行消防性能化设计及评估。

每个核心筒的防烟楼梯间均设置加压送风系统。防烟楼梯间每 2 层设置 1 个常开式百叶送风口,合用前室每层均设置 1 个常闭(电动打开)的百叶送风口。

车库均设置排风兼排烟系统,并对应设置排烟补风系统。

根据消防性能化设计及评估要求,在 0 层环形通道按 500 m² 面积为一个分区的原则划分防烟分区,并设置 2 套排烟(兼作排风)系统,在环形通道上空布置环形排烟风管。排烟补风由连接 0 层环形通道的室外入口自然补给。本排烟系统还负担 0 层环形通道内外侧房间的排烟。

3,4 层封闭空间按消防性能化设计及评估的要求设置机械排烟系统。排烟量按《高规》要求计算,补风为自然补风。为保证各层集散大厅的安全性,排烟均通过核心筒竖井至体育场顶层排放。

按《高规》要求,风管在穿越机房、重要房间、防火墙、变形缝两侧处及与主管连接的水平支管上均设置防火阀。