



# 关于上海地区大型超市全年 空调室内舒适性问题

上海市机电设计研究院 周祖毅<sup>☆</sup>

**摘要** 上海地区某些大型超市、大卖场购物环境不舒适,反映出这类空间大、人流量大的场所空调系统的设计和运行存在诸多问题。认为这类场所的空调系统设计应该遵照相关设计规范的条文要求,采用全空气式空调系统,而且室内温度设定值和新风量应全年自动可调,以达到全年舒适、卫生、节能、经济运行的效果。

**关键词** 大型超市 购物环境 舒适性 全空气式空调系统 新风量 节能运行

## Environment comfort in large supermarkets with all-year air conditioning in Shanghai

By Zhou Zuyi<sup>★</sup>

**Abstract** Finds that indoor temperatures in some large supermarkets in Shanghai are too high in winter and too low in summer, indicating some problems in the design and operation of air conditioning system in such sites with large space and a high occupancy. Puts forward that the design of air conditioning system for such sites should conform to correlative codes and adopt all-air system. Besides, the set value of the room temperature and the outdoor air volume should be auto-controllable all the year round to satisfy comfort, sanitation, energy-saving and economical operation.

**Keywords** large supermarket, shopping environment, comfort, all-air air conditioning system, fresh air rate, energy saving operation

★ Shanghai Institute of Mechanical & Electrical Engineering, Shanghai, China

①

### 1 现象

目前上海的一些大型超市和大卖场,在冬季和春、秋季室内空气既不清新,又十分闷热,特别是在节假日里,情况更是严重。

寒冷的冬季,当身着厚实御寒衣物的顾客走进大卖场时,起初也许还会因瞬间摆脱了室外的冰冷,来到了暖洋洋的温室而顿感舒畅,可是,没过多久就热得冒汗了。只得脱掉棉衣甚至毛衣,如此购物,怎能不影响顾客选购物品的心情?

在春、秋季情况也不妙。近几年每到春天,在室外温度还仅仅 23℃ 左右的时候,上海有些大报社记者在走访了许多超市、商厦之后,在报上常常发出疑问:“这是怎么啦!室外这么凉快,室内竟热得如此难受!”如果这个时候还穿着厚实的外套走进大卖场,就会感到室内太热了。而售货员和收费员们却几乎是清一色的短袖夏装。发生在装有集

中空调场所的怪异现象说明这些大超市、大卖场空调系统的设计和运行都存在很多问题。

### 2 现状和原因分析

#### 1) 室内温度控制功能的缺失或不足

有很多已建成多年或者新近建设的大型超市、大卖场,在空调工程设计时就没有考虑采用室内温度的自动调节设施;或者是虽然系统中采用了相应的控制仪器和调节装置,但由于维护管理的不到位而形同虚设;再有一种是系统虽然采用了简单的温度手控或者自控手段,但功能不全,不能随室外空

①☆ 周祖毅,男,1936年5月生,大学本科,原副总工程师,教授级高级工程师

200060 上海市长寿路 800 弄 16 号 702 室  
(021) 62305198

E-mail:zhouzuyi@sina.com

收稿日期:2010-04-23

修回日期:2011-05-26

气温度、比焓以及人员数量的变化自动再调(重设)。上述种种情况都是导致室内温度失调的直接原因。

## 2) 室内温度控制值的随意、无序设定

大型超市、大卖场在使用功能上与办公室、宾馆客房之类公共场所不同,办公建筑内人来去匆匆,而宾馆内客人则需要长时间驻留工作或者生活。在大型超市、大卖场内来去匆匆的顾客,着装状况主要着眼于室外气候的适应,进场后既无条件、也无必要更衣。所以,场内冬季温度控制值的设定,理应着眼于首先满足顾客进场后购物环境的舒适度要求。这也可说是商业上顾客至上法则的体现。至于场内工作人员,由于有为之专设的更衣室,有随时根据室内温度实时状况更换着装的便利条件,其着装随室内温度可有更多的选择余地,体感当不会受到很大影响。

然而,现在比较普遍的情况却是与之相反,大卖场的空调和室内温度的设定仿佛只是为场内工作人员所考虑、所设置,这当然是本末倒置了。冬季顾客入场后热得出汗,只能说明空调系统要么是无法控制的失调;要么就是设定的温度过高。经验表明,要让身着冬装的顾客不出汗,20℃的温度都显得偏高,所以,笔者以为,在这种情况下把室内温度控制在16~18℃也许是适当的。

## 3) 空调工程承包、设计和施工体制中的问题

在本行业内司空见惯的是,有一些空调工程的承包商尽管自身资质不足,技术力量和水平有限,但是却可以较低报价赢得业主的青睐,承接从设备供应到设计、安装、施工和调试的全部工程。他们往往倾向于把问题简单化,以为工程质量体现在:所供应设备质量的可靠;工程成本的降低;经营利润的最大化;室内冬暖夏凉效果的保障。至于系统设计是否符合设计规范的要求,将来系统运行是否节能,室内空气品质是否符合卫生和健康要求等问题,往往总是被忽略。

近年来在一些外国知名空调设备供应商组织的小规模技术交流活动中,业内专家就曾不止一次地提及类似性质的问题。专家们的共同观点是,尽管多联机式空调系统的特长、优点多多,但是,如果把它用于理应采用全空气式系统的空间大、人流量大的场所,那就属于不该、不当之举。笔者为此甚至提出,在此类情况下如果一定要用多联机式系统

或者风机盘管式系统,那么就应另外设计并安装一套风量可随室内外温度(或者比焓)、或CO<sub>2</sub>浓度变化自动调节的新风和排风系统才好。

## 4) 空调系统的设计误区

如今各地的大超市、大卖场空调系统的设计形式基本上都摆脱不了如图1(新风分配到各室内机)或类似图1(比如采用带或不带冷却与加热功能的独立新风系统)所示的模式。姑且不讨论我国极北和极南地区,至少在以上海为代表的我国中部的广大区域,一般大超市、大卖场空调的冷热源设备大多采用的是空气源热泵式冷、热风机组或冷、热水机组。空气处理末端装置采用的基本上都是空气源热泵机组的室内侧换热机组、卧式(或立式)大型风机盘管机或所谓的变风量空调机。所有这些空气处理末端装置的结构和工作原理基本上都是如图2所示,比较简单,其功能也单一:冬季送暖风;夏季送冷风;春秋季因停开制冷机或者热泵机,既不供暖,也不供冷。至于室内新风的补给,基于节能运行,减小新风冷(热)负荷的考虑,一般都是按夏季供冷时商场内可能的最大人数(或日平均人数)和每人20 m<sup>3</sup>/h计算的必要最小量取值。在如

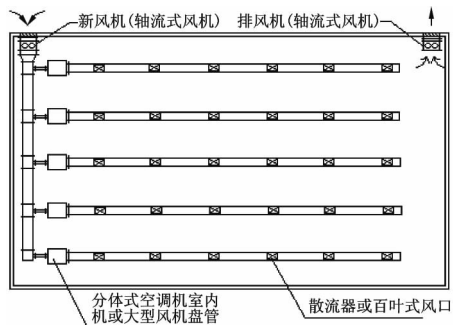


图1 一般大卖场空调系统的平面图

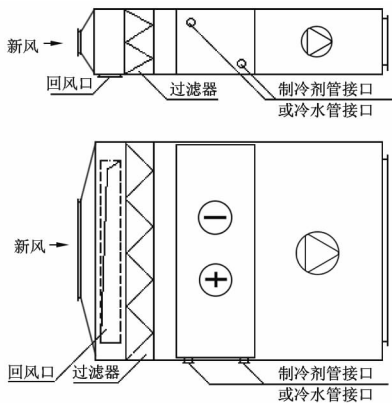


图2 热泵机组的室内机或大型风机盘管机

图1所示的系统中这一量值在全年空调运行过程中是固定不变的。即使新风机和排风机采用转速控制,新风量和排风量也只能在很小的范围内调节,不可能实现全新风运行。

这种全年固定新风量的空调系统不可避免地存在一个矛盾,即为了节能,冬季和夏季需要开动热泵机运行时,为降低新风负荷,希望控制新风量最小;可是到了春、秋季,为了推迟开启制冷机组(春季)或者提前停止制冷机组(秋季),希望尽可能多地引入新风量,以充分利用此时室外温度较低的新风作为自然冷源,实现向室内“免费”供冷降温。可是,这种全年固定新风量系统显然不可能做到两全其美。满足了前者要求,却实现不了后者的功能。

在这类舒适性空调系统中,为了既能确保良好的空气分布,又能达到节能的效果,系统的送风量最少一般相当于室内 $5\text{ h}^{-1}$ 左右的换气次数。而上述按室内在场人员数量计算的设计最小新风量最多也只占总送风量的 $5\%\sim 10\%$ 。正是由于这一新风量是全年固定不变的,所以,它也就成为系统的最大可能新风量。换言之,这一系统的最大可能新风量只相当于室内 $0.25\sim 0.5\text{ h}^{-1}$ 的换气次数。所以,这种系统在春、秋季最为大卖场顾客所诟病,因为其时室外温度并不高,比如仅为 $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,还未到热泵机组预定运行的季节,但是由于顾客盈门,室内人体和照明灯具的大量散热,仅靠相当于 $0.25\sim 0.5\text{ h}^{-1}$ 换气次数的 $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ 新风量,远远不足以遏制室内温度的大幅升高,室内温度无法保持于舒适范围内。于是,春、秋季室内出现 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上热得令人出汗的现象也就不足为奇了。

及至冬季,尽管室外气温可能接近 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,但由于大卖场一般都是密闭式空间,既无外门,又无外窗,外墙和屋面还有良好的保温,所以,外围护结构的热损失负荷很小。人体和照明的散热量往往大大超过外围护结构的热损失。这表明建筑物内即使是在冬季也存在较大的供冷负荷,不但不需要供暖,反而要求供冷。这个时候如果空调系统的运行还是盲目地开启热泵机组进行供暖,那无异于是把身着棉袄的顾客置于类似桑拿浴场的火热环境。那么,停开供暖还不成吗?确实如此,有时只是停止供暖还不行,还得向室内供冷才能有效抑制室内温度的升高。当然,如果这时启动制冷机组供冷,

显然是不妥的,因为此时室外低温空气即是取之不尽的冷源。不过,能取多少室外空气冷源?所取的室外空气冷源是否能平衡室内的散热负荷?显然,这又回到了上述相当于 $0.25\sim 0.5\text{ h}^{-1}$ 换气次数的新风量够不够的问题上了。

如果空调系统的设计采取类似如图1所示的做法,新风供冷量便可能不足以控制室内温度于顾客的适宜温度( $16\sim 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),那么室内也就不可避免出现本文开始时所描绘的景象。

从能量利用角度分析还可看到,图1所示系统的一个弊病在于,其自身的动力潜力并未能得到充分利用,用以改善室内热环境。系统所具有的动力本来可以在某些季节提供至少相当于 $5\text{ h}^{-1}$ 换气次数的新风供冷降温能力,然而,如今却只能提供相当于 $0.25\sim 0.5\text{ h}^{-1}$ 换气次数的新风供冷降温能力,其余的潜力都耗在回风的室内循环、改善室内空气分布上了。

### 3 相关设计规范和设计标准的规定

其实,对于大超市、大卖场这类人流量大、空间大的公共场所空调工程设计,GB 50019—2003《采暖通风与空气调节设计规范》和GB 50189—2005《公共建筑节能设计标准》都有相应的规定和要求。比如,前者规定,对于空间较大、人员较多的空气调节区宜采用全空气式空调系统;全空气系统可用新风作冷源时,应最大限度地使用新风。后者在相关条文中更有明确的规定,指明房间面积或空间较大、人员较多的空调区,其空调风系统不宜采用风机盘管系统;设计定风量全空气空调系统时,应考虑实现全新风运行或可调新风比的可能性,同时应设计相应的排风系统。

此外,近几年我国卫生部针对人员聚集的公共场所空调系统的设计和运行管理,从人群健康、卫生安全角度出发,制定了一系列法规。在这些法规中对全空气式空调系统设计和运行管理的审查和监管,表现出了格外的重视。其中主要的关注点有二:一是新风量的确保;二是回风空气的处理(过滤效能和杀菌消毒)。

上述有关规定表明,如图1所示的系统是不符合设计规范、标准和法规要求的。

### 4 正确和合理的空调系统设计

#### 1) 全空气式空调系统的正确应用

按照设计规范和节能设计标准要求,对于诸如

大卖场、大商场这类人流量大、空间大的空调对象,应采用全空气系统。至于全空气空调方式的定义,国内外教科书上都有十分明确的说法。所谓全空气空调系统是指空调房间的室内负荷全部由经过处理的空气来负担的空调系统。图 1 所示的系统,由于房间的热湿负荷全部是由水(冷水和热水)或者制冷剂承担,所以,它只能是全水系统或者制冷剂式系统。对于这类空调对象房间采用风机盘管加新风系统的水-空气系统或制冷剂式系统,以及如图 1 所示的类似大型风机盘管加新风(新风与回风一起全由水予以处理)的全水系统,都是不符合设计规范和节能设计标准要求的。

再一方面,鉴于近年来 SARS 和甲型 H1N1 流感在人群中的交叉感染、快速传播的教训,国家卫生部针对人群密集公共场所空调系统的设计和运行,相继制定了相应的标准和法规,要求对这类空调系统加强和提高回风的过滤效能并增加消毒、杀菌的功能。要满足这一要求,则非全空气式空调系统莫属。

然而十分遗憾的是,目前普遍流行的做法正是采用像如图 1 所示的系统解决方案,只是因为它结构简单、初投资少、安装占地面积和空间小,比较容易获得业主的青睐。对照上述关于空调系统分类的定义,这样的系统显然很容易被判定为非全空气系统。但是,还有一种情况却非如此直观而被识别。比如,同样对于这类大卖场、大超市空调对象,有些设计方案采用所谓的变风量空调器并设有专用的空调机房,因而在工程设计说明中往往都是宣称采用的是全空气系统。这种做法和说法显然是有问题的。其实,在上世纪 70 年代曾经十分风行的所谓变风量空调器,只是一种采用外转子电动机通风机的简约型空调机组。尽管由于其可用外接变阻器或可控硅实现转速调节而改变运行风量,但它无法摆脱风机盘管型机组的本质和特征(过滤效能低下和新风量、回风量控制功能的缺失等)。不能说仅仅由于有了机房的区隔,相应空调房间的冷(热)负荷就是全部由空气承担的,于是,用它构成的空调系统便是全空气式系统了。在这里表面形式和实质内容孰是孰非,应该是十分清楚的。

2) 室内温度控制设定值应该根据季节和顾客的着装状况正确设定并可随季节自动再调

大卖场空调的服务对象既然主要是顾客,那么,为顾客创造和保持舒适、宜人的购物环境应成为卖场空调的目的。影响顾客舒适感的一大因素——室内温度设定值的确定,便不能不考虑季节性和顾客的着装状况。因此,笔者以为对于大卖场、大商场的空调,夏季室内温度控制以不低于 28℃为好;冬季只需达到 16~18℃即可。否则,顾客会感到过冷或过热,商场留不住客源,不利于营业。

另外,室内温度传感器的设置、维护和管理也应得到重视。室内温度自动控制传感器作为保持室内热环境舒适性和系统运行节能性的关键性仪器仪表,必须时时保持正常和完好状态。为了避免无关人员的无序干扰和误操作,传感器的温度设定、操作应有授权许可,而且在功能上应齐全、完备,并结合新风、回风的自动控制,具备全年随季节变化的自动再调功能。

### 3) 新风量应随室外气候的变化全年自动可调

对于诸如大卖场、大商场这类人流密度大、空间大的空调对象,不仅应采用全空气式空调系统,而且新风量应该全年可根据室内外空气参数的实时比较情况实现自动调节。正是由于全空气空调方式的结构合理、功能齐全,所以它具有风机盘管系统和制冷剂式系统不可替代的作用。在舒适性全空气式空调系统中很重要的一项功能,即是它具备全年新风量的自动可调功能。笔者以为,把这一点定为判别人流量大、空间大场所全空气式空调系统是否正确设计和节能运行的一项判据,也许是不为过的。至于为什么要强调自动可调,手动调节不行吗?确实不行。新风阀、排风阀和回风阀这三个风阀的开度若要靠手动根据室内外温度(更不必说按设计规范和标准要求的比焓了)情况的变化频繁地操作,简直是无法想象的。

### 4) 推荐的大卖场空调工程的风系统和自动控制原理图

根据以上所述,推荐的全空气式空调系统的结构、功能和自动控制模式见图 3,各个水阀、风阀的动作、开度随全年室外气候的变化而变化的情况见图 4。结合图 3、4 可以简要地作如下解读:

① 图 3 是全空气舒适性空调系统的标准模式。它含有送风机和回风机,构成所谓的双风机式系统。系统中除新风阀外还设有回风阀和排风阀。这些风阀接受并在同一个温度控制信号的指令下

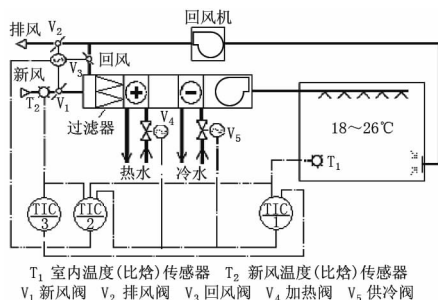


图3 舒适性全空气式空调系统的结构、功能和控制原理图

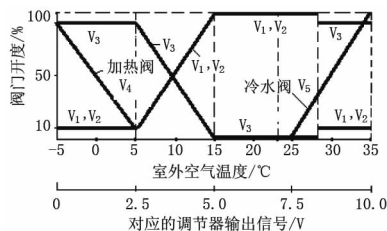


图4 室内散热量很大的大卖场全年空调各个阀门开度的可能变化

协调动作。系统中分别设有空气加热器和冷却器。在诸如大卖场、大商场，即使是已确信冬季没有供暖负荷，加热器也往往不可缺少，因为即使在地处长江中、下游的我国广大中部地区，冬季室外温度低于 $0^{\circ}\text{C}$ 的情况还是屡见不鲜的。在这种情况下基于防冻的安全要求，利用加热器预热，确保进入后续设备的空气温度不低于 $5^{\circ}\text{C}$ ，是十分必要的。

② 图4所示为一典型分程控制模式的控制作用和效果。其实质是各调节器发出统一的 $0\sim 10\text{V}$ 的电子控制信号，各调节执行机构的电子定位器按控制程序需要，预设信号反应区段，从而简便、廉价地实现有序的、逻辑的控制，避免冷热抵消。

③ 从图4中可看到，为了减小预热负荷，在室外温度 $t_1$ 低于 $5^{\circ}\text{C}$ 的情况下，把新风阀 $V_1$ 和排风阀 $V_2$ 的开度控制于最小，并相应地把回风阀 $V_3$ 的开度控制于最大是合理的。此后，随着室外温度 $t_1$ 升高，为保持室内温度 $t_2$ 于 $18^{\circ}\text{C}$ ，便需逐步加大新风阀 $V_1$ 和排风阀 $V_2$ 的开度并相应地减小回风阀 $V_3$ 的开度。等到室外温度 $t_1$ 达到 $15^{\circ}\text{C}$ 后，新风阀 $V_1$ 和排风阀 $V_2$ 全开，回风阀 $V_3$ 全关。这样一直持续到当室外温度 $t_1$ 升高到 $28^{\circ}\text{C}$ 后，新风量超过卫生标准之需的增大将会带来供冷负荷的加大，所以，新风阀 $V_1$ 和排风阀 $V_2$ 又需回归到最小开度。

④ 再看加热阀 $V_4$ 和供冷阀 $V_5$ 的动作。在室外温度 $t_1$ 达到当地设计计算最低温度时，加热阀 $V_4$ 处于最大开度。随着气温 $t_1$ 升高，加热阀 $V_4$ 逐步关小，一直到室外温度 $t_1$ 达到或者超过 $5^{\circ}\text{C}$ 后，加热阀 $V_4$ 全关，停止加热。此后，随着室外温度 $t_1$ 继续升高，室内温度 $t_2$ 即完全依靠逐步加大新风量，亦即加大新风自然供冷潜力，自动保持于 $15\sim 25^{\circ}\text{C}$ 范围内。及至室外温度 $t_1$ 达到 $25^{\circ}\text{C}$ 后，也许即使新风阀 $V_1$ 、排风阀 $V_2$ 全开，要使室内温度 $t_2$ 保持于哪怕是 $28^{\circ}\text{C}$ ，看来也难以继了，于是，便需要有机供冷冷源设备投入运行，打开供冷阀 $V_5$ ，开始夏季供冷工况运行。

与此同时，只要室外温度 $t_1$ 不高于室内目标控制温度 $28^{\circ}\text{C}$ ，新风仍然不失供冷潜力，故仍需全开新风阀，以减小机械供冷的负荷。显然，当室外温度 $t_1$ 达到和超过 $28^{\circ}\text{C}$ 后，新风空气也就完全失去了自然供冷潜力，空调系统的供冷便得完全依靠制冷机组了。

其实，设计规范相关条文还表明，对于全空气式系统除了可采用上述双风机系统外，也可采用如图5所示的一般单风机系统并辅以变风量排风机图式。两者的功能相近，都可满足大空间、大人流场所空调要求。

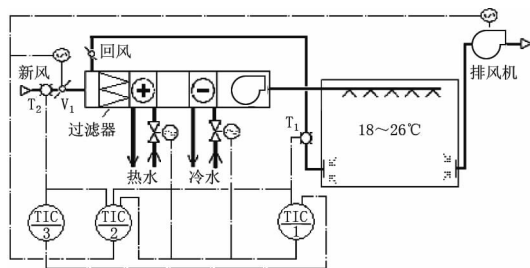


图5 采用单风机系统并辅以排风机的图式

## 5) 室内 $\text{CO}_2$ 浓度传感器及新风空气实时需用量控制技术的应用

以上的讨论还只是涉及比较常规的室内热环境保持的话题。对于人流量大、空间大场所空调的进一步节能运行和室内空气品质的改善，当今还有更高的要求。正如上文所述，在常规的系统设计中，新风量是按照预先设想的可能最大（或者平均）人流量计算的。即使系统的新风量全年可随季节变化自动调节，其新风阀和排风阀的最小开度也要根据这一最大人流的最小新风量来整定。所以，新风阀和排风阀的这一最小开度也是带有相当盲目

性和不确定性的。实际上,对于人流量大、空间大的空调对象,其人流量在一天中随时间变化很大。用一个虚设而且固定不变的人流量代表时刻在变化的实时人流量是失实和不真切的。这种最小新风量取值控制的最可能结果,不是新风量较实际需要的多了,导致能源的浪费,就是较实际需要的少了,导致室内空气品质的降低,有违卫生健康标准。所以,在这样的场合下采用平均  $\text{CO}_2$  浓度计作为室内人流量的传感器,与采用进、出人头自动点数积算器,具有异曲同工的效果,并且比较简便可行。这也正是 GB 50189—2005《公共建筑节能设计标准》第 5.3.8 条规定的由来。该条条文规定:“在人员密度相对较大且变化较大的房间,宜采用新风需求控制。即根据室内  $\text{CO}_2$  浓度检测值增加或减少新风量,使  $\text{CO}_2$  浓度始终维持在卫生标准规定的限值内。”简言之,就是要求采用新风量实时需要量的闭环控制。由于这涉及卫生标准,按理,它应该具有超越节能性控制要求的优先控制权限。这一点是不难在自动控制设计中予以安排和得以实现的。采用室内  $\text{CO}_2$  浓度传感器对新风量和排风量进行自动实时控制的实施,主要是着眼于夏季和冬季,当要求新风阀和排风阀控制于最小开度的时段。在所涉时段内,一旦  $\text{CO}_2$  浓度传感器检测到室内  $\text{CO}_2$  浓度低于上限设定值,它可通过相应的

调节器发出指令,超越最小新风量控制信号,命令新风阀和排风阀加大开度;当  $\text{CO}_2$  浓度传感器检测到室内  $\text{CO}_2$  浓度低于下限设定值,它又可通过调节器发出指令,超越最小新风量控制信号,命令新风阀和排风阀进一步减小开度。

## 5 结语

上述讨论是笔者根据近年来我国颁布的若干相关设计规范和标准就全空气空调系统设计的理解。但是,不得不说的是,在目前的一些空调工程设计中鲜有按照新的规范和标准要求去实施的。对此现象笔者深感不解,时至 21 世纪的今天,仍沿用上个世纪 60—70 年代的过时设计手法,这 50 年来的技术进步何在? 当前,在节能减排的紧迫要求下,每个负责责任的空调工程设计工程师有义不容辞的义务本着与时俱进的精神,求新、求变,认真贯彻执行新的设计规范和标准,作出正确、合理、节能的空调工程设计。

## 参考文献:

- [1] 中国有色工程设计研究总院. GB 50019—2003 采暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2003
- [2] 中国建筑科学研究院,中国建筑业协会建筑节能专业委员会. GB 50189—2005 公共建筑节能设计标准[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2005