

广州塔通风空调设计

广州市设计院 李 覲[☆] 黄 伟

摘要 广州塔高 600 m, 外形结构复杂, 划分为 5 个功能区, 根据各功能区使用特点, 低区采用水冷离心式冷水机组, 部分独立运行房间和机房采用分体空调; 高区采用模块风冷冷水机组。低区冷水、冷却水系统采用一次泵变频控制, 广电机房空调均采用冗余设计, 通过消防性能化分析评估加强薄弱环节的消防设施设计, 考虑到高空风速大, 进排风口设在楼板或屋面下沉壕沟四周, 以减小风力的影响。简要介绍了室内外设计参数、空调系统划分、冷热源、水系统、风系统、平时通风系统、防排烟系统以及空调自控设计, 并结合工程特点阐述了该项目的设计思路、处理措施以及若干技术难点, 根据运行情况总结了通风空调工程的成功与不足。

关键词 广州塔 电视塔 超高层建筑 通风空调 节能设计 运行结果

HVAC design for Canton Tower

By Li Jin[★] and Huang Wei

Abstract The Canton Tower has a complex shape structure with the height of 600 meters. It is divided into five function zones. According to the functions of each zone, adopts water-cooled centrifugal water chillers in the lower zones and split air-conditioners in partial independent operation rooms and equipment rooms, and air-cooled modular chillers in the upper zones. Both cooling and chilling water systems use frequency-controlled primary pumps in the lower zones. Redundancy air conditioning design is used in the broadcasting equipment rooms. By performance-based fire protection analysis, enhances smoke control and extraction system design. Considering strong wind in upper air, arranges the supply and exhaust outlets under the floor plate or around the peripheral of the roof sinking trench to reduce the effect of wind power. Presents briefly the indoor and outdoor design parameters, zoning of the air conditioning system, cold and heat sources, water systems, air systems, ventilation in normal times, smoke control and exhaust systems and auto control of air conditioning. Combined with the characteristics of the project, describes the design concepts, technical measures and technical difficulties for the project. According to the operation situation, summarizes the gains and lessons of the HVAC engineering.

Keywords Canton Tower, TV tower, super high rise building, HVAC, energy saving design, operation result

★ Guangzhou Design Institute, Guangzhou, China

①

1 工程概况

广州塔(见图 1)是广州市新地标性建筑和旅游观光点,位于广州市海珠区珠江文化带(横轴)与新城市中轴线(纵轴)交汇处的珠江南岸,它与亚运会开闭幕式主会场——海心沙市民广场和珠江新城核心区隔江相望。广州塔已于 2010 年 16 届亚运会前竣工并部分投入使用。

塔高 600 m,由一座高约 454 m 的主塔体和一个高 146 m 的天线桅杆构成,广州塔总建筑面积

114 464 m²,其中标高 7.20 m 以上(含 7.20 m)建筑面积 44 686 m²,7.20 m 以下建筑面积 69 778 m²。按竖直方向,塔楼划分为 5 个功能区间和 4

☆ 李覲,男,1972 年 3 月生,大学,高级工程师
510620 广东省广州市天河区体育东横街 3
号设计大厦

(020) 87513133

E-mail: lijn@gzdi.com

收稿日期:2012-02-21

一次修回:2012-03-19

①二次修回:2012-04-12



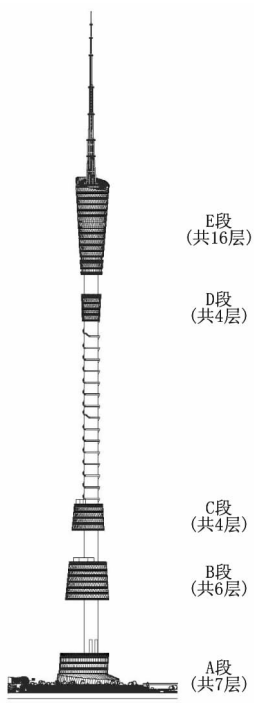


图 1 各功能层分布图

段镂空部分,有 37 个使用功能层,通过核心筒串联成为一个整体。—10.00~32.80 m 标高为 A 段,主要为两层登塔大厅、展览厅、餐饮、办公室、会议中心、地下停车库、设备用房等公共服务用房;84.80~121.20 m 标高为 B 段,主要为高科技娱乐厅、4D 影院等娱乐场所;147.20~168.00 m 标高

为 C 段,主要为观景厅、小食厅等休闲空间;CD 段之间镂空部分标高 168.00~334.40 m,核心筒外围设有环绕楼梯的空中漫步区;334.40~350.20 m 标高为 D 段,主要为茶室等休息场所;标高 376.00~459.20 m 为 E 段,主要为观光大厅、旋转餐厅、阻尼层等,观景、餐饮、娱乐空间、广播电视微波机房等,塔体顶端的世界最高露天观景阶梯广场,沿最顶层环梁还设有 16 个观光球舱。

2 设计参数

2.1 室外设计参数

1) A,B,C 段室外设计参数(见表 1)

表 1 A,B,C 段室外设计参数

	干球温度/℃	湿球温度/℃	相对湿度/%	室外风速/(m/s)	大气压/hPa
夏季	33.5	31	27.7	1.8	1 004.5
冬季	5	13	70	2.4	1 019.5

注:按广州市标准室外设计参数选取。

2) D,E 段室外设计参数(见表 2)

表 2 D,E 段室外设计参数

功能段	季节	干球温度/℃	湿球温度/℃	相对湿度/%	室外风速/(m/s)	大气压/hPa
D 段	夏季	31.2	28.8	25.6	5.8	964
	冬季	2.8	10.8	67	7.8	979
E 段	夏季	30.6	28.1	25.1	6.3	952
	冬季	2.1	10.1	66	8.4	967

注:表中干球温度、湿球温度、大气压按文献[1]中相关公式计算;室外风速按文献[2]中相关公式计算。

2.2 室内部分空调设计参数(见表 3)

表 3 部分室内空调设计参数

	夏季温度/℃	夏季相对湿度/%	冬季温度/℃	冬季相对湿度/%	人员密度/(m ² /人)	新风量/(m ³ /(人·h))	A 声级噪声/dB
登塔大厅	26	65			2	10 及维持正压	50
展览厅	25	65			2	20	45
观光大厅	25	65	18		2	20	50
餐厅	25	65			1.3	20	45
电影院	25	65			座位数	20	30
TV/FM 发射机房	≤30	≤85	≤30	≤85		按循环风量的 5% 计算	60
TV/FM 控制室	≤25	≤80	≤25	≤80		按循环风量的 5% 计算	60

3 空调系统划分、冷热源和水系统

3.1 系统划分

根据建筑物竖向高度、各功能分区的使用时间和功能,本工程空调系统划分成三大部分:1) A,B,C 段采用水冷离心式冷水机组系统;2) D,E 段采用风冷冷水机组系统。3) A 段部分需独立运行的市政配套用房或 24 h 运行的弱电机房采用 VRF 系统或分体空调机。

3.2 A,B,C 段

夏季提供舒适性空调,冬季不供暖。夏季集中

空调总冷负荷为 8 863 kW;单位建筑面积冷负荷指标为 149 W/m²。采用 4 台可变流量运行的 2 110 kW(600 rt)水冷离心式冷水机组(其中 1 台为变频),总装机容量为 8 440 kW(2 400 rt)。空调主机、冷水泵、冷却水泵、定压罐均设于地下 2 层东北角的空调主机房内,冷却塔设在±0.00 m 东北角。

冷水系统竖向分区,在标高 84.8 m 层设 2 台水-水板式换热器,承担 B,C 段空调负荷,隔离高低区,解决设备及管道配件承压问题。A 段冷水供

回水温度为 $7\text{ }^{\circ}\text{C}/12\text{ }^{\circ}\text{C}$, B、C 段高区冷水供回水温度为 $8\text{ }^{\circ}\text{C}/13\text{ }^{\circ}\text{C}$, 冷却水供回水温度为 $32\text{ }^{\circ}\text{C}/37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。空调冷水、冷却水系统采用一次泵变频系统。空调冷水系统为异程系统, 至 84.8 m 标高处水-水板式换热器机房为独立环路。

整个空调冷水系统(包括 D、E 段)均设置全面动态水力平衡装置, 各新风机、空气处理机、水-水板式换热器的设置自力式压差控制阀, 风机盘管系统分环路设置自力式压差控制阀。空调冷却水系统同时为水冷式柴油发电机组的冷却水系统, 在市政停电时, 自动切换其中 1 台冷却塔和冷却水泵为水冷式柴油发电机组提供冷却水, 纳入重要电力负荷。

3.3 D、E 段

夏季供冷, 冬季供暖。夏季集中空调总冷负荷为 $2\,060\text{ kW}$, 冬季集中空调总热负荷为 580 kW ; 单位建筑面积冷负荷指标为 101 W/m^2 , 热负荷指标为 28 W/m^2 。针对本工程特点, 空气源机组采用模块化, 这种机组应用灵活, 可通过电梯井道进行竖直运输, 便于维修和安装。本工程采用 2 台 $500\text{ kW}(142\text{ rt})$ (供热量 465 kW) 模块化空气源热泵机组 + 2 台 $500\text{ kW}(142\text{ rt})$ 模块化风冷冷水机组, 供冷总装机容量为 $2\,000\text{ kW}(568\text{ rt})$, 供热总装机容量为 930 kW 。

图 2 为 D、E 段冷水系统原理图。空气源热泵机组和风冷冷水机组分别组成独立的供冷(供热)系统。空调主机、冷(热)水泵、定压罐均设于 355.2 m 标高处。其中 1 台模块化风冷冷水机组及其相应的冷水泵纳入重要电力负荷, 市政停电时, 由柴油发电机提供电力, 以保证电视、广播发射机房及其控制室等区域的空调不间断供应。冷水供回水温度为 7

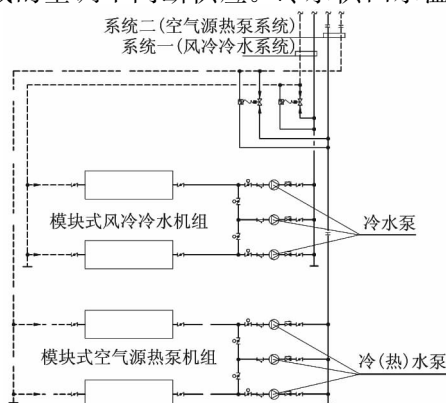


图 2 D、E 段冷水系统原理图

$^{\circ}\text{C}/12\text{ }^{\circ}\text{C}$, 热水供回水温度为 $45\text{ }^{\circ}\text{C}/40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

空调水系统采用末端侧变流量系统, VIP 包房层为四管制, 其余为两管制。空调冷水系统为异程(采用风机盘管楼层水平同程)。

模块化空气源热泵机组夏季提供冷水, 冬季提供热水(同时兼作广电系统备用冷水系统), 模块化风冷冷水机组系统全年提供冷水, 根据功能和运行需要在末端或层间进行切换。

4 空调风系统

A 段员工食堂、美食街、展厅、登塔大厅、多功能空间、会议厅、大办公室、过厅等大空间房间采用定风量全空气系统, 过渡季节可实现全新风运行。更衣室、贵宾餐厅等小空间房间采用风机盘管加独立新风系统。

B 段和 C 段高科技娱乐厅、电影院、小食厅、观景厅采用定风量全空气系统加转轮热回收新风机组。空调机房集中设置, 按就近原则设转轮热回收新风机组, 回收排风系统中的能量, 换热后的新风送入附近的空气处理机。

D 段和 E 段茶室、VIP 包房、制作间、旋转餐厅、观景大厅等因受建筑条件限制采用风机盘管加转轮热回收新风机组, 转轮热回收新风机组回收排风系统中的能量。

E 段微波机房、广电设备间等采用定风量全空气系统, 24 h 运行。每个系统设置 2 台空气处理机, 每台均负担空调区域 75% 冷负荷, 平时变频运行, 当 1 台空气处理机发生故障时关闭, 切换另 1 台机至工频运转。

空气处理机和新风机组的空气处理过程为: 粗效过滤、静电除尘净化、降焓除湿(或加热)、光催化杀菌净化; 转轮热回收新风机组的空气处理过程为: 粗效过滤、静电除尘净化、新排风全热交换、降焓除湿(或加热)、新风光催化杀菌净化。

5 平时通风系统

车库、库房、卫生间、设备机房等房间设置机械通风系统。

受建筑条件的限制, 本工程厨房油烟排放点均处在较敏感区域。A 段 -5.0 m 层厨房设置油烟净化系统、全面通风兼消防排烟兼事故通风系统、岗位送冷风兼消防补风系统、全面补风系统。各餐饮厨房高温油烟先经设于灶具上方的运水烟罩处理, 再经两级高压静电油烟净化器和活性炭吸附/

过滤除味,然后由排风机在 7.2 m 标高层东北角和 32.8 m A 段屋面排出。E 段 412.4 m 标高层厨房油烟处理方式类似,油烟处理后在 459.2 m 标高 E 段屋面广场排出。

隔油机房、排污机房、垃圾间设置机械排风系统,排出废气经过活性炭过滤器吸附/除味后排放。

燃气厨房、燃气计量间、气瓶间等机房设置事故通风系统。

广电水冷冷凝器机房用于放置电视发射设备等的水冷冷凝器,设计时预留通风条件。空气由半均压环下部低阻百叶进入,经水冷冷凝器风机排出的热风通过半均压环上部排至室外,图 3 为广电水冷冷凝器机房均压排风示意图。

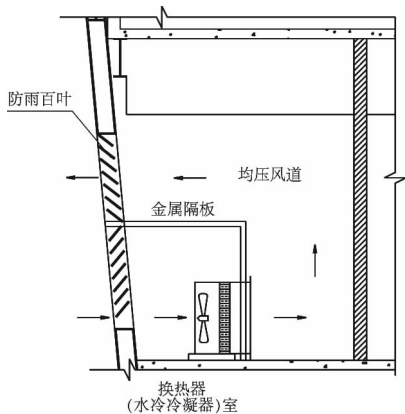


图 3 广电水冷冷凝器机房均压排风示意图

广州塔属超高层建筑,高层区域无任何遮挡,大楼周围的风力和风向随时变化,因而引起进排风口百叶处的风压也随之不断变化,进排风口的设计安装需尽量减少风力和风向的影响,因此,应避免在外墙处设置百叶。高空区域进排风口尽可能在楼板上或屋面开口,四周设置百叶(见图 4)。

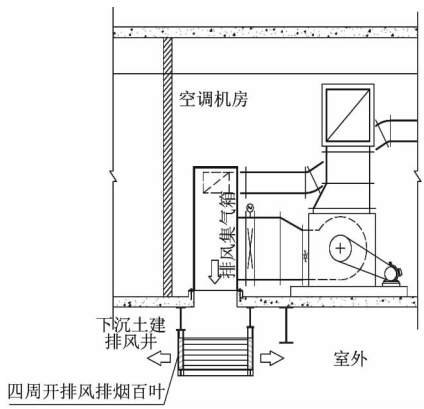


图 4 C 段底部排风井做法

6 防排烟系统

6.1 常规消防加压送风系统

所有防烟楼梯间、楼梯前室和消防电梯合用前室均设置机械加压送风系统,其中塔体部分分 7 段设置机械加压送风系统,见图 5。350 m 层、448.8 m 层封闭避难层设置机械加压送风系统。

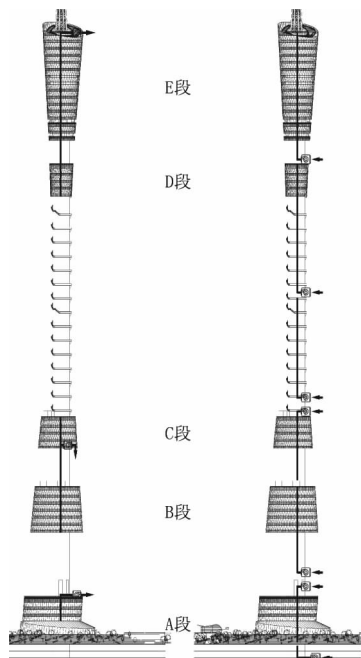


图 5 塔体防排烟分段示意图

6.2 常规消防排烟系统

车库、内走道、功能区域均设置机械排烟系统,其中塔体区域 7.20 m 平台层以上功能段划分 3 段设置机械排烟系统,每段排烟系统高度不超过 120 m。

6.3 消防性能化论证补充消防措施

—10.0 m 和—5.0 m 核心筒周围的环形安全通道、±0.0 m 塔体周围安全通道设置机械加压送风系统。电梯门直接开在塔内房间的观光电梯井道设上下 2 个机械加压系统。塔体内的封闭楼梯间设置机械加压送风系统。7.2 m 层登塔大厅上部设置可自动开启排烟窗自然排烟。

7 自控与监测

本工程设 BAS 系统,暖通空调自控系统为 BAS 的独立子系统。其中冷水机组、水泵、冷却塔、水处理设备、空气处理机、新风处理机、热回收型新风处理机、排风机、各种电动阀门等设备均纳入自控系统。中央空调控制室可实现对上述设备和系统的参数检测、参数与动力设备状态显示、故

障报警、自动调节与控制、工况自动转换、设备联锁与自动保护以及中央监控和管理等。现场 DDC 可实现对现场设备的全部控制功能。

7.1 水冷离心式冷水机组系统

设群控系统,根据监测到的空调实际负荷、空调主机运行电流,合理选择冷水机组和冷水泵、冷却水泵、冷却塔的运行台数,并实现顺序开启(关闭)及故障自检。根据管道压差和流量控制冷水泵(含高区二次冷水泵)运行台数及实施变频调速;根据冷却水供回水温差和流量控制冷却水泵运行台数及实施变频调速。测量每台冷水机组冷水供回水压差,当压差小于冷水机组最小允许值时,打开冷水供回水总管之间的 PID 旁通阀,实现冷水机组最小水量保护。冷却塔为自带风机变频器的智能型节能冷却塔。高区根据水-水板式换热器二次冷水出水温度控制板式换热器一次冷水流量,实现对高区二次冷水温度控制。

7.2 风冷冷水机组系统

设群控系统,根据监测到的空调实际负荷,合理选择风冷冷水(或热泵)机组、冷(热)水泵的运行台数,并实现顺序开启(关闭)及故障自检。冬夏季工况的自动切换,确保广电供冷故障的自动切换。水系统为变流量系统,在冷水(热水)供回水总管间设压差旁通装置。

7.3 空气处理系统

不设新风预处理的空气处理机采用回风温度控制,根据回风二氧化碳浓度控制新风比,过渡季节根据焓值控制全新风运行。

设新风预处理的空气处理机采用回风温度控制,需供暖的机组还带冬夏季自动切换。

新风机组(含热回收新风机组)采用送风温度控制。

大房间的风机盘管采用网络型温控器,控制浮点式电动两通阀(常闭)实现对房间温度连续控制,并设手动三速风挡开关,通过网络接口接入楼宇自控系统。

小房间的风机盘管采用温控器控制浮点式电动两通阀(常闭)实现对房间温度连续控制,并设手动三速风挡开关。

车库送排风机采用 CO 浓度控制的变频调速控制。

B~E 段新风处理机、排风机、送风机等与室外

百叶相连接风管均设置电动风阀,与上述设备联锁开关,并实现在室外风速超限时紧急关闭电动风阀。

8 设计思路和处理措施

8.1 系统设计要安全可靠

广州塔作为广州市的地标性建筑物和广播电视发射塔,安全可靠性是设计首要考虑的,设计中采取了一系列的措施:

1) 应用成熟可靠的传统技术如空调风系统、冷源分区等,并充分考虑设备间的互为备用性,如冷热源系统。

2) 广电机房的风系统和水系统均采用冗余备份,以确保系统安全。

3) 消防设计严格遵循“预防为主,防消结合”的原则。本项目所有空调通风管道系统,风管、水管保温材料、消声材料等,均采用不燃材料制作;所有防火阀均纳入消防火灾自动报警系统,系统能随时监控通风、空调、防排烟系统情况;所有电动防火阀均为全自动型,消防火灾自动报警系统能定期检查其动作的正确性。

4) 通过消防性能化分析评估,有针对性地对该项目的消防防排烟系统进行优化设计。

5) 极端情况的保护措施包括为确保室内空气质量,空调机组和新风机组均设置了静电除尘段和光催化净化段;同时,为确保在疾病流行期间室内公共卫生条件良好,全热回收系统还设置了旁通管路;高空风速较大,在一定风速条件下,空调新、排风系统设置了紧急情况(例如:台风天气)关闭装置。

8.2 体现节能环保的设计理念

广州塔在空调冷热源、水系统、空调风系统等方面应用了一系列行之有效的节能技术。

8.2.1 冷热源系统的节能设计

1) 低区空调水系统采用 4 台 2 110 kW(600 rt)冷水机组(其中 1 台变频)的搭配,考虑了空调负荷变化的需要,确保在过渡季节部分负荷工况下冷源系统的高效运行。

2) 采用系统效率最优的控制方式对冷水机组、水泵的运行台数进行控制,最大限度提高制冷系统运行效率。

3) 采用冷水、冷却水双侧一次泵变频控制,将大大减少冷水、冷却水输送能耗。

4) 根据室外气象条件和空调负荷需求控制冷

却塔风机台数和变频运行。

5) 高区冬季采用热泵机组供暖。

6) 高区空调水系统采用一泵到顶无中间换热的超压系统,减少了二次换热带来的能量损失。

8.2.2 空调风系统的节能设计

1) 为人员密度较大且变化明显的塔座服务的全空气系统,新风量根据回风二氧化碳浓度控制,在过渡季节可实现全新风运行。

2) B,C,D,E段区域设置了高效分子筛型转轮热回收装置,以回收排风系统中的能量,按设计计算可节约总冷负荷约 600 kW,每年可以减少当量电力消耗 317 810 kW·h,投资回收年限少于 2 年。

8.3 解决超高层电视塔建筑暖通空调的若干技术难点

1) 突破软件限制,进行热负荷和逐项逐时的冷负荷计算。本项目空调负荷计算复杂,因建筑形体复杂、高空温湿度和风速等气象条件随高度变化、外遮阳结构复杂。在设计中采用计算机软件结合手工分段方式计算空调负荷。

2) 电视塔高度高、建筑形体复杂、内部空间紧张、竖直管线多,与建筑、结构等各专业的配合难度大。由于塔内各平面均为椭圆形,若分层设置机房,机房的利用率较低,设计中按功能段集中设置空调设备机房;通过精心设计,仔细排管,集中在非商业空间设置机房,最大限度地增加了建筑的商业价值。

3) 大型空调设备竖直运输难度大。高区的模块化空气源热泵机组、风机、空气处理机在设计选型过程中就充分考虑了竣工后的维修保养的可能性,通过电梯和电梯井道可完成设备竖直运输。

4) 高空风速较大,广电水冷冷凝器机房、高空外百叶设置方式较好解决了高空风速对进排风的影响。

9 运行情况

广州塔项目于 2010 年 9 月通过验收,目前,除

E 段广电机房部分未投入使用外其余部分已正常运行。经过 1 年多的运行,通风空调系统整体运行良好,室内环境、通风空调节能等各项参数满足设计要求。

上下区空调主机搭配与实际负荷拟合性好,调配负荷非常容易,特别是下区采用的变频离心机,在过渡季节部分负荷运行时,效率高、喘振点低。高区的风机盘管系统较好地适应了椭圆形玻璃幕墙日照引起的各个朝向冷负荷变化,游客反映室内环境舒适。空调冷水系统全面动态水力平衡措施运行有效,空调用冷高峰的 7、8 月冷水平均供回水温差接近 5℃。高空风速未对通风空调系统造成影响。厨房油烟处理效果良好,厨房室内工作环境适宜,油烟排放浓度远低于 2 mg/m³ 的国家标准,气味轻微。

鉴于广州塔的特殊性,冷水管保温采用了不燃的铝箔玻璃棉管套保温,而由于广州塔施工单位多,管线布置复杂,施工前后周期较长,造成了成品保护的困难,少部分玻璃棉管套铝箔防潮层破损后未能及时发现和修补,运行后冷凝水随即侵入,造成部分管段保温失效。空调自控和节能控制系统未能稳定投入使用。目前,条块分割的工程招投标方式,将设计、设备、施工和调试等环节独立招标,容易造成信息传递不完整、责任主体不清晰、协调解决困难等问题,值得工程界思考。

参考文献:

- [1] ASHRAE. ASHRAE handbook—fundamentals[M]. Atlanta: ASHRAE Inc, 2005
- [2] 电子工业部第十设计研究院. 空气调节设计手册[M]. 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995
- [3] 刘天川. 超高层建筑空调设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2004
- [4] 钱以明. 高层建筑空调与节能[M]. 上海: 同济大学出版社, 1995
- [5] 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, 2004

第 6 届中国新能源国际高峰论坛在北京举行

论坛于 2012 年 4 月 13—14 日在北京举行。本次论坛安排了开幕式主题论坛和太阳能热利用、光热发电等 9 个分论坛。全国政协副主席、全国工商联主席黄孟复参加了开幕式。太阳能热利用分论坛包括太阳能热水器行业发展趋势及展望和太阳能工业热利用及应用新形式两大部分,

相关专家学者和企业家围绕我国太阳能热利用产业的发展现状及前景预测、太阳能热利用建筑一体化及产品和工程标准、不同太阳能集热器与建筑结合技术和实例等主题作了学术报告。500 余人参加了论坛。

(本刊特约通讯员 吴延鹏)