

# 冷热电三联供系统研究(4): 区域供冷和区域供热

湖南大学 殷平<sup>☆</sup>

**摘要** 区域供能是冷热电三联供系统(CCHP)的重要组成部分,对国内已建的区域供能系统,尤其是对区域供冷系统的经验和教训进行总结十分重要和必要。关于区域供冷系统,作者的观点是:冷价不是判断区域供冷系统经济性的指标,热网是影响区域供能系统经济性的主要因素,目前的设计方法需要改进和提高;并非任何一种冰蓄冷技术都适合在区域供能系统中应用,不合理的应用将适得其反;输送半径是个不确定性参数,合理确定供能面积和最远距离更为重要;负荷密度和同时使用系数决定了系统的负荷特性,需要正确设计,综合利用能源;地表水是区域供能系统的理想冷热源之一,需要因地制宜地利用;燃气 CCHP 系统是解决南方地区区域供热的最佳选择。

**关键词** 冷热电三联供系统 区域供冷 区域供热 冰蓄冷 热泵

## Research of combined cooling heating and power systems (4): District cooling and heating

By Yin Ping<sup>★</sup>

**Abstract** District energy supply system is an important part of the combined cooling heating and power (CCHP) system. It is very important and necessary to summarize the experience and lessons of the district energy system, especially the district cooling system, built in China. As to district cooling system, points out that the cold price is not an index to judge the economical efficiency of the district cooling system and heating network is a chief factor affecting the economical efficiency of the system, and the design methods used now need to be improved and advanced; it is not any form of ice storage that is suitable for applying to the district cooling system, and unreasonable application will result in undesirable results; the distribution radius is an uncertain parameter, and it is more important to determine reasonably the energy supply area and the farthest distance of distribution; load density and simultaneous use coefficient determine the system load characteristics of the system, and the system should be properly designed and utilize energy comprehensively; surface water is one of ideal cooling and heating sources for the district energy system, which needs to be fully used according to the local conditions; and natural gas CCHP system is the best choice for district heating in the southern regions of China.

**Keywords** combined cooling heating and power system, district cooling, district heating, ice storage, heat pump

★ Hunan University, Changsha, China

①

### 0 引言

由于性质决定,区域供能(供冷和供热)系统是区域性燃气 CCHP 系统必不可少的重要组成部分。

2007—2011 年,国内暖通空调界曾就夏热冬冷地区和夏热冬暖地区(以下简称“南方”)是否适合建设区域供冷系统展开过一场辩论,正方和反方

的观点均十分鲜明,互不相让,针锋相对,这场辩论当时一度突破了暖通空调的专业范围,扩大到报

①<sup>☆</sup> 殷平,男,1944 年 3 月生,大学,教授  
510065 广州市天河区员村西街 2 号大院 45 号 139C  
(0) 13902250756  
E-mail: pingyin@vip. sina. com  
收稿日期:2013-05-10

纸、网络等媒体。但是最近两年,反方的声音已经越来越小,究其原因,比较复杂。由于我国国情所限,可以说这场辩论已经不仅仅是纯学术的争论、各方势力博弈的结果,区域供冷仍然在我国南方地区推广,且规模越来越大。

回顾这场辩论,焦点主要集中在:1) 区域供冷是否节能? 2) 区域供冷是否可以减少污染物排放? 3) 区域供冷的输配系统经济性如何? 4) 区域的负荷特性是否适合采用区域供冷? 5) 区域供冷可否利用天然冷源和废热? 笔者无意参加这场辩论,更无意挑起新的论战,只是想结合近几年参与多项区域供能工程实践的体会,对区域性燃气 CCHP 系统中必不可少的区域供能系统,对已建和在建的区域供能系统阐述自己的看法。

## 1 现状

在讨论燃气 CCHP 系统中的区域供能系统之前,有必要回顾国内已建和在建的区域供冷和区域供热项目,只供热的区域供热项目由于仅限于北方地区,且条件特殊和优越,所以本文不涉及。由于国内区域性燃气 CCHP 刚刚起步,所以这里所述区域供能不限于区域性燃气 CCHP 系统,也包括其他区域供能项目。

在讨论区域供冷时,有两个代表工程一定会被提到,其一是北京中关村科技园,其二是广州大学城,有关这两个工程的论文、报道、报告已经不下数百篇,见诸杂志、书籍、会议和网络。由于种种原因,据悉这两项工程的经济效益均未能达到设计指标,尤其是广州大学城区域供冷系统饱受社会诟病,被指责为制冷效率低,冷价几乎与电价同价,是浪费能源之举等等,成为反方反对在南方建设区域供冷项目的主要依据之一。平心而论,作为中国最早建设的两项冰蓄冷区域供冷工程,所留下的经验和教训是十分宝贵的,由于受到诸多条件的限制,其中很多非技术因素并不为一般人所知,因此一味指责是不公平的。

最近参观者众多的另一项代表工程是广州珠江新城区域供冷工程,该工程一期供冷量为 105 MW(30 000 rt),蓄冰量 288 312 kW·h(82 000 rt·h),供冷服务面积为 100 万 m<sup>2</sup>,2010 年 3 月开始部分运行。该工程从建设开始,由于广州市物价局核准的冷价为 0.800 1 元/(kW·h),所以遭到了媒体的狂轰乱炸:“找出了一个由于空调系统设

计方案不合理而空调运行能耗很大的实例”,“区域集中供冷服务,令买家望而却步”,“集中供冷,赶走买家”等等。该工程是继广州大学城之后,另一个被批判的区域供冷典型。与广州大学城区区域供冷项目一样,该工程很多内情并未公开,仅仅以冷价一项指标就彻底否定该工程的冰蓄冷区域供冷系统也是有失公允的。

作为 2007 年国家节能示范项目的三亚亚龙湾区域供冷工程一期目前已经投入运行,当地政府评价甚高。该工程一期供冷量为 31 240 kW(8 850 rt),蓄冰量为 89 658 kW·h(25 500 rt·h),建筑面积为 47.69 万 m<sup>2</sup>。除了转移峰值电量外,其他详细经济数据不清。据悉,该工程获得政府的可观财政补贴,所以冷价明显低于一般工程。对于这项工程的实际经济性,海南发改委有关部门闭口不谈,原因不详。

“十一五”国家科技支撑计划项目研究课题之一的重庆江北嘴中央商务区区域供冷供热项目,采用了江水源热泵系统作为冷热源,该项目一期已经投入运行。该项目是目前国内设计参数和经济数据十分齐全的一项工程,值得后行者很好地学习。

天津文化中心区域供能工程采用了多项先进技术,以地源热泵(包括埋管地源热泵和地下水地源热泵)为主,夏季融合了冰蓄冷系统和冷却塔调峰技术,冬季则采用了城市热网调峰技术,该工程无论是设计方案、新技术综合还是经济效益均可称得上是国内区域供能的样板工程。

珠海横琴岛燃气 CCHP 工程是目前国内在建的最大的三联供项目,该工程电站与制冷站分设,电站燃气轮机装机功率为 3 120 MW(燃气轮机功率为 8×390 MW,汽轮机发电量为 8×160 MW),一期燃气轮机发电量为 780 MW,共设 11 个制冷站,总冷量为 911 MW。一期建设 4 个制冷站,总冷量 310 MW。供冷半径除个别建筑,均控制在 1 500 m 内,一期 4 个制冷站及冷水管网总投资 91 757 万元,供热管网总投资 8 452 万元,总计 100 209 万元(其中建筑工程 17 367 万元、设备购置 53 730 万元、安装工程 29 112 万元)。该项目规模宏大,值得国内空调界跟踪调查研究。

令人遗憾的是,国内支持区域供冷的一方的宣传重点往往放在以下几点:节约标准煤数量,节约

用水量,减少二氧化碳、二氧化硫、氮氧化物排放量等,如果是冰蓄冷,则还有转移峰值用电量。大部分工程的实际投资和运行记录并未公开,这些数据均不为外界所知,批评者所依据的数据主要来源于项目的可行性报告、评审会以及公开发表的论文和资料等。笔者曾对广州大学城能源站近两年逐时运行记录进行过统计和分析,其结果与广州大学城能源站可行性报告中列出的数据差异明显。因此这些工程的经济性究竟如何?只有投资方和运营方才清楚。以往对暖通空调典型工程的评价往往局限于设计阶段的数据分析,由于各种原因,很少见到这些典型工程的实际投资和运行费用分析,因此外界的评价难以全面,如果要真正做到减少投资,节能减排,这一缺陷应该尽快弥补。

细颗粒物和雾霾天气已成为近年来举国上下关心的大事。国内外研究表明<sup>[1]</sup>,空气中的细颗粒物是形成灰霾天气的主要成因,而近年来我国灰霾天数的增加、空气质量的下降与煤炭消耗量激增有直接关系。近10年来,我国能源消耗增长了一倍多,且能源结构中煤炭所占比例超过70%,煤炭消费从2000年的14.45亿t增长到了2010年的32.4亿t,相当于美国的3倍,印度的6倍,是全球最大的煤炭消费国。煤炭燃烧后产生的大气污染物主要包括二氧化硫、一氧化碳、悬浮颗粒物、氮氧化物等。我国燃煤产生的二氧化硫排放量占全国同类排放物总排放量的75%,二氧化氮的排放量占全国同类排放物总排放量的85%,一氧化碳排放量占全国同类排放物总排放量的60%,总悬浮颗粒(TSP)排放量占总排放量的70%。而在形成二次细颗粒物的主要前体物SO<sub>2</sub>,NO<sub>x</sub>,以燃煤为主的电力行业排放分别占47%,58%。降低大气

中的细颗粒物浓度,减少雾霾天气已成了当务之急,在此形势下,部分大中城市的电网开始松绑,同意一些燃气CCHP系统并网且上网,一批燃气CCHP工程,尤其是区域性的燃气CCHP工程正在兴建。与此同时,多项与此相关的区域供冷和区域供热项目也应运而生。虽然环境保护的大幕开启,使得反对在南方地区建设区域供冷项目的声音渐弱,但是国内区域供冷的现状应引起学术界的反思和深入研究,同时也应引起政府相关部门和经营者的关注,切不可一叶遮目。

## 2 问题讨论

### 2.1 经济性

区域供冷是否节能是国内关于区域供冷辩论的主要焦点之一。事实上区域供冷系统节能的多少,反映的是该系统运行费用的高低。评价燃气CCHP系统,包括区域供能系统的经济性不应通过简单的初投资和运行费用计算,而应按照国家有关规定进行全面的财务分析。

国内暖通空调界的绝大多数人并不赞成采用家用空调的能耗与区域供冷系统的能耗进行比较。随着社会的进步,人民生活水平的提高,势必会出现更多令人更舒适、更健康、价格更高的技术和产品。经济比较应基于相同水准的产品或系统,集中空调系统比较的对象应该也是集中空调系统。

对于燃气CCHP系统,用户对电价非议最少,因为无论是直供,还是上网后由电网供电,燃气CCHP系统电价均不会高于市电的价格。包括非燃气CCHP系统的区域供能系统在内,争议最大的就是冷价和热价,“冷价等于电价”是对区域供冷最激烈的批评之一。表1是国内已经投入运行的部分有代表意义的区域供冷工程的冷价和热价。

表1 国内部分项目的冷价和热价

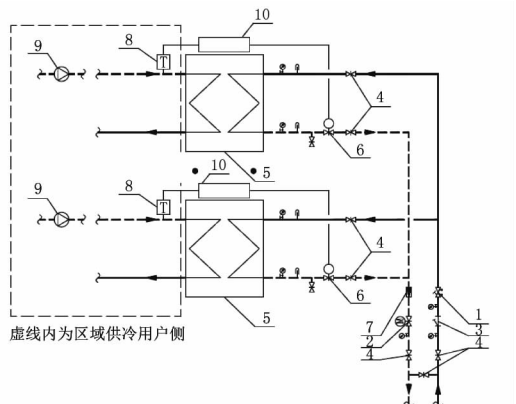
	元/(kW·h)					
	项目名称					
	中关村科技园	大学城	珠江新城	文化中心	江北嘴中央商务区	创意天地
所在城市	北京	广州	广州	天津	重庆	武汉
冷价	0.785	0.783	0.800 1	0.725	0.57	0.68
热价				0.382	0.84	0.68
备注	冰蓄冷	平均冷价	冰蓄冷	地源热泵+冰蓄冷	江水源热泵+冰蓄冷	CCHP冰蓄冷

由表1可以看出,不同工程的冷、热价相差较大,由于区域供能基数较大,所以冷、热价对运行管理公司的经济效益影响明显,对于表1中的数据有必要加以分析讨论。目前国内区域供能系统的冷、热价的高低并不能真实地反映区域供能系统的经

济性,因为影响区域供能系统经济性的因素繁多,表1中冷价最高的广州珠江新城区域供冷系统其招标的单位冷量初投资却最低,而冷价最低的重庆江北嘴中央商务区的招标的单位冷量初投资却最高。

### 2.1.1 初装费

初装费对区域供能系统的冷、热价的影响十分明显。所谓初装费,各地所包含的收费项目不同,上海包括3部分,即区域供能用户侧接入费、计量费和用户使用费(或称基础设施使用费),其他城市统称“接入费”。图1是一个标准的用户接入口<sup>[2]</sup>。



1 压差控制阀 2 电动蝶阀 3 水过滤器 4 手动蝶阀 5 板式换热器  
6 比例调节电动调节阀 7 流量计 8 温度传感器 9 变流量冷水泵  
10 PID控制器

图1 用户接入口示意图

由图1可知,用户接入口的初投资不菲。区域供能的室外管网一般是按照铺设到建筑物红线外1 m为准,用户接入口(俗称板换间)由用户投资,由区域供能建设方采购、安装和调试,只有少数建设方将外网投资延伸到板式换热器用户侧。目前各项工程收费标准不一。根据调查,国内最高的接入费已经超过200元/m<sup>2</sup>。以长江流域一个建筑面积为400万m<sup>2</sup>,发电容量为135 MW的燃气CCHP工程为例,如果按国内目前接入费的平均值100元/m<sup>2</sup>收费,总接入费收入高达4亿元,已经占到制冷站总投资13.5亿元的30%。如果保持资本金内部收益率仍然为10%,冷(热)价就可以从原来的0.39元/(kW·h)降低到0.268元/(kW·h)。由于初装费是平摊到园区内各个用户身上,一次缴纳,并不明显,较之按季需缴纳的冷(热)费更容易被用户所接受,因此初装费成为燃气CCHP系统的重要经济杠杆,起到重要的平衡作用。

### 2.1.2 机房地价

区域燃气CCHP能源站的占地面积较大,以广州大学城能源站为例,一期156 MW能源站占地45 748 m<sup>2</sup>(不包括热水制备站、制冷站、供气调压站),单位发电量占地面积已经达到2.37 m<sup>2</sup>/

kW,国内在建的燃气CCHP能源站不包括冷热源机房,能源站占地面积即使十分紧凑也达到0.5 m<sup>2</sup>/kW。目前不同城市、不同位置的地价相差十分悬殊,京沪部分地区已超过1万元/m<sup>2</sup>,因此地价已成为区域燃气CCHP能源站初投资重要组成部分,不可忽视。

国内在进行区域供能和分散集中供能经济性比较时,往往忽略了分散集中供能机房的投资,文献<sup>[3]</sup>在进行珠海横琴岛区域供冷经济分析时,给出了由于采用区域供冷系统而减少的分散集中供冷机房占地面积所带来的经济效益,9万m<sup>2</sup>办公建筑,冷量为13 853 kW,3.5万m<sup>2</sup>旅馆建筑,冷量为3 238 kW,采用区域供冷后,减少制冷机房面积2 207 m<sup>2</sup>,按照当地地价4.25万元/m<sup>2</sup>计,节约投资9 379.8万元,按银行利率7.48%计算,每年减少运行费用701.6万元,折合成冷价,可减少冷价0.308 3元/(kW·h)。这是一种十分有意义的经济分析方法,因为目前区域供冷之所以在南方难以推广,一个关键问题是用户往往只计算两种不同的供冷方式运行费用的差异,只关注冷价的高低,而不考虑分散式集中供能系统由于机房占地和冷热源设备的节省每年所带来的经济效益,如果设计师给出综合考虑的计算结果,用户会客观对待区域供能这一技术。

### 2.1.3 热网

南方区域供冷被反方诟病的另一个主要原因就是长距离、小温差、大流量、能量高损耗导致的输配系统的超高初投资和运行费用。事实上,区域性燃气CCHP系统的热网,即输配系统有其自己的特点:1)冷水、热水共网;2)枝状管网系统;3)多泵系统;4)直埋管系统。由于科学技术的发展,当区域供冷系统的输送距离控制在一个合理的范围内,区域供冷系统管道冷量损失已经不是影响区域供冷系统的主要因素,管道冷量损失一般仅占总冷量的1%~4%。不过区域供能系统存在的问题仍然不少,需要引起国内空调界的重视。

1)除了超大型区域性燃气CCHP系统外,区域性燃气CCHP系统一般均是由同一能源站向园区所有建筑物供能,因此设计通常采用枝状管网系统。枝状管网系统的优化设计十分重要,从在建的几个区域性燃气CCHP系统的热网设计来看,枝状管网系统均未优化,过于简单,不尽合理,直接影

响到系统的经济性。

2) 缺少实用性管网水力计算软件,一般采用假设速度法或等比摩阻法,其结果不但水力平衡性差,水泵扬程高,管网初投资也居高不下,管网设计计算水平的高低直接影响到燃气 CCHP 系统的经济性。同一个项目,不同设计单位设计的管网系统,其预算可以相差几倍,管网系统投资一项就可能占到区域性燃气 CCHP 系统总投资的 20% 以上。

3) 国内区域供冷系统管网内的水流速普遍偏低,主干管的水流速低于 2 m/s 已是司空见惯,明显低于国外区域供冷水流速,这已成为导致管网初投资过高的主要原因之一。

4) 区域供能系统的水系统一般采用多级泵系统,其中一级泵定流量,二级泵变流量和三级泵定(或变)流量组合形式较多。传统的做法是一级泵系统和二级泵系统之间,二级泵系统和三级泵系统之间采用板式换热器隔断。由于自动控制设计、软件,以及自控仪器仪表、执行元件水平的大幅度提高,直供系统已经在国内工程中使用,方法一是取消一级泵系统和二级泵系统中的板式换热器,方法二是系统之间的板式换热器全部取消。板式换热器的取消不但节约了大量投资,同时供水温度也可以提高,经济性得以改善。但是要在区域供能系统中实施直供系统并不容易,不但对设计、对自控系统,而且对调试和管理水平都提出了很高的要求,一个环节的缺失很可能导致整个系统的失败。在直供系统中,逆向混水现象极易发生,结果会导致供水温度升高,无法保证系统按设计要求温度运行。“暖通空调在线”网站的行业动态中有关这一课题的讨论虽然知之者甚微,但是十分精彩,其中资深网民荔枝兔的精彩点评值得一读。

5) 水泵能耗过大是区域供冷系统中普遍存在的一个问题,导致这一现象的原因是:① 水力计算过于保守;② 管网布置不合理;③ 输送距离过长;④ 设备安全系数过大;⑤ 自动控制设计落后。其后果不但可能影响到系统的经济性,而且系统中水量过大使得大温差变成常规温差,同时水泵温升过高也提高了供水温度。

## 2.2 冰蓄冷

冰蓄冷技术在我国已经推广应用 20 余年,是一项成熟的技术,它可以利用峰谷电价差提高系统

的经济性,可以实施大温差,可以增加系统运行时间。因此在区域供冷和燃气 CCHP 系统中应用,除了已为广大暖通空调专业人员认同外,政府决策部门和投资方一般也能接受。

在区域供冷系统中,应用冰蓄冷技术实现冷水侧大温差的意义远大于利用峰谷电价差来提高系统经济性的意义,因为热网投资在区域供冷系统中所占比例直接影响到系统的经济性,10 °C 温差已经普遍被采用。但是冰蓄冷技术在燃气 CCHP 系统中应用有几个问题,需要高度重视:

1) 冰蓄冷分为静态蓄冰和动态蓄冰,静态蓄冰主要有外蓄冰冰盘管(外融冰和内融冰)和封装冰(冰球),动态蓄冰主要有冰浆、制冰滑落式(片冰式)和过冷水。使用静态蓄冰技术时,为获得低温水和大温差,国内已建的几个著名的区域供冷系统都采用了冰盘管外融冰系统。可是最近国内出现了内融冰冰盘管中标区域供冷工程的例子,设计参数为 3 °C/13 °C,由于内融冰冰盘管融冰初期出水温度为 3~4 °C,经过板式换热器后至少升温 1 °C,加上水泵和管道温升将无法保证用户侧的设计参数,如果用户侧还有板式换热器,冷水初温至少会升至 6 °C 以上,后果严重。

2) 国内冰蓄冷工程融冰末期的出水温度高于设计温度的现象十分普遍,这一现象不但出现在静态蓄冰系统,采用制冰滑落式和过冷水技术的动态蓄冰系统也经常出现。这一问题之所以未引起广泛重视,主要是由于国内绝大部分的冰蓄冷系统采用的仍然是常温系统,加上系统总的制冷量大于设计负荷,问题未能全面暴露。如果在区域供冷系统中采用低温大温差技术,融冰末期出水温度高的现象必须重视。

3) 区域供冷系统目前一般采用冷水侧大温差(8 °C,10 °C)。由于水系统设计问题,国内区域供冷系统的冷水侧大温差实际上常常只有 5 °C,甚至更小,应引起注意。

## 2.3 输送半径

区域供冷输送半径是国内区域供冷系统中一个研究课题,表 2 是部分研究成果。

表 2 区域供冷最佳输送半径 m

	文献			
	[4]	[5]	[6]	[7]
输送半径	1 000	<950	650	1 812 <sup>1)</sup>

1) 10 °C 冷水温差。

由表2可知,不同研究者得出的结论并不一致。笔者认为,区域供能系统的输送半径是一个不确定的变量,如果以区域供能系统的总能耗最小为目的,企图通过数学的手段来寻求最佳的室外管网输送半径,这种方法是值得商榷的。确定合理的供能面积和限制最远距离似乎更为重要。

对多个已建和在建的区域性燃气冷热电CCHP系统进行分析,供能面积和最远输送距离与以下因素有关:1) 园区形状;2) 能源站位置;3) 交通要道的布置;4) 冷水温差;5) 容积率;6) 各种建筑物的功能和负荷特点;7) 气候特点;8) 气价和热(冷)价。上述任何因素的变化,都会影响区域供能系统的总能耗,需要具体问题具体分析。

#### 2.4 容积率和负荷特性

在规划区域供能系统时,容积率受到普遍的关注,甚至成为能否立项的关键因素。事实上由于容积率只是一个小区的总建筑面积与用地面积的比率,并不能真正反映负荷的特点,而负荷密度和同时使用系数更能反映供能负荷的特性。南方区域供能的负荷特性是反方反对在南方推广区域供冷的另一个重要理由,间歇供冷和同时使用系数低是主要问题。

事实上,如同北方热电厂夏季热量不能充分利用的道理一样,在南方即使是综合热效率超过80%的区域燃气CCHP系统也存在诸多能源不能合理利用的地方,关键是如何根据不同园区的负荷特点,通过合理的设计,能源的综合利用使得综合热效率进一步提高。

1) 根据调查,在空房率零的上海某住宅小区,区域供能系统的同时使用系数也只有50%左右,而在经常有一定空房率的广州住宅小区,区域供能系统的同时使用系数只有30%~40%。所以除了少数高档住宅小区外,住宅小区一般不适宜单独采用区域供能系统,甚至也不适合建设燃气CCHP系统。而对于以旅馆和餐馆为主的旅游区,由于客流量变化大,即使有政府补贴,相当一部分业主也不愿意由区域供能系统供能,在这些地区是否适合建设燃气CCHP能源站或区域供能系统也是值得考虑的。

2) 除了住宅小区外,一个园区往往是由不同功能的建筑组成,其负荷特性不尽相同,在区域供

能系统设计时不能面面俱到,因小失大。笔者参与设计的夏热冬暖地区的一个燃气CCHP系统,总建筑面积达到500万 $\text{m}^2$ ,其中只有10万 $\text{m}^2$ 为旅馆建筑,需要全年供热,空调季节24h供冷,其余均为商业建筑和办公建筑,只有在空调季节的白天需要供冷,建筑投资方最后同意旅馆建筑独立供热和供冷的方案,这样不但减少了热水管网的投资,同时也避免了超低空调负荷时的供冷。

3) 在夏热冬冷地区的商业园区,燃气CCHP系统不但会遇到冬夏夜间余热利用的问题,过渡季节的余热如何利用也是一个难题。笔者在武汉的一个工程中建议采用动态制冰的冰浆技术,除了夏季夜间采用冰蓄冷、冬季同槽蓄热外,过渡季节除了电制冷制冰,还可以利用余热制冰,由于城市用冰量大,销路可以保证,大大改善了燃气CCHP系统的经济性。

#### 2.5 地源热泵

以地源(土壤、地下水、地表水)作为区域供冷和区域供热的冷热源,从理论上来说由于采用的是可再生能源,应该是一种理想的能源,值得大力推广。但是这3种地源由于条件的限制,只能在少数条件具备的工程中应用,虽然项目不多,但是对已建项目应该很好总结。

由天津市建筑设计院设计的天津文化中心区域供冷和区域供热项目,采用了具有冷、热调峰设施的复合式三工况地源热泵系统,以地源热泵(包括埋管地源热泵和地下水地源热泵)为主,夏季综合了冰蓄冷系统和冷却塔调峰技术,冬季则采用了城市热网调峰技术。该项目服务面积785 510 $\text{m}^2$ ,设计冷负荷85 875 kW,单位面积冷负荷109 W/ $\text{m}^2$ ,设计热负荷51 938 kW,单位面积热负荷66 W/ $\text{m}^2$ ,蓄冰量221 241 kW·h,冷却塔调峰6 600 t,市政热网调峰15 100 kW。该项目总投资42 300万元。系统COP自动监测数据为3.1~3.4,实测冬季COP为3.187,夏季COP为3.18。该项目融合了多种先进技术,通过科学分析、精心设计、现场实测、悉心总结,成为国内区域供冷和区域供热的一个样板工程。

由中国建筑设计研究院设计的重庆江北嘴中央商务区区域供冷供热是国内另一项区域供冷和区域供热的样板工程。该项目采用嘉陵江水作为热泵机组的冷热源,夏季采用电制冷+冰蓄冷技

术。该项目的供冷供热范围是江北嘴中央商务区 A 和 B 两区域内 332 万  $\text{m}^2$  的公共建筑,分两期实施,设置 1,2 号两个能源站。空调冷负荷为 202.6 MW(单位面积空调负荷为:办公建筑 100  $\text{W}/\text{m}^2$ 、商场 150  $\text{W}/\text{m}^2$ 、酒店 80  $\text{W}/\text{m}^2$ 、住宅 65  $\text{W}/\text{m}^2$ 、地下商场 125  $\text{W}/\text{m}^2$ ),供暖热负荷为 77 MW(单位面积供暖负荷为:办公建筑 35  $\text{W}/\text{m}^2$ 、商场 25  $\text{W}/\text{m}^2$ 、酒店 40  $\text{W}/\text{m}^2$ 、住宅 30  $\text{W}/\text{m}^2$ 、地下商场 15  $\text{W}/\text{m}^2$ )。同时使用系数为办公建筑 0.7、商场 0.5、酒店 0.55、住宅 0.3。夏季联合供冷冷水初温 3  $^{\circ}\text{C}$ ,温差 10  $^{\circ}\text{C}$ ;冬季热水初温 45  $^{\circ}\text{C}$ ,温差 8  $^{\circ}\text{C}$ 。江水冬季平均温度 10  $^{\circ}\text{C}$ (极限 7  $^{\circ}\text{C}$ ),温差 6  $^{\circ}\text{C}$ (极限 3.7  $^{\circ}\text{C}$ );夏季平均温度 27  $^{\circ}\text{C}$ (极限 30  $^{\circ}\text{C}$ ),温差 6  $^{\circ}\text{C}$ (极限 5  $^{\circ}\text{C}$ )。根据重庆市政府招标:二期工程建设规模为供冷总负荷 85 706 kW,供热总负荷 28 130 kW,集中供冷供热建筑面积为 145.95 万  $\text{m}^2$ 。建设内容为 2 号能源站 8 套机组及其配套设施、智能监控及计量收费系统、室外管网工程和二期取水工程。二期工程总投资 32 145 万元,其中建筑安装工程费用 26 271 万元,工程建设其他费用 1 207 万元,基本预备费用 2 203 万元,建设期贷款利息 2 353 万元,铺底流动资金 111 万元。这项工程得到了重庆市建委的大力支持,重庆市节能中心和重庆建筑技术发展中心自始至终领导这项工程的建设和运行,并得到了重庆大学和中国建筑西南设计研究院的帮助。对于这项工程,中国建筑西南设计研究院在项目的可行性研究、江水源调查、设备选型、设计方案制定方面所投入的力量之大,所完成的工作之细,考虑问题之全面在国内空调工程中实属罕见。

由于地理管和地下水地源热泵系统在区域供冷和区域供热中应用的可能性极小,以下仅对地表水地源热泵系统在区域供冷和区域供热系统应用中存在的几个问题加以讨论:

1) 工程总投资的控制。国内已建的采用地源作为冷热源的区域供冷、供热工程,初投资普遍偏高,其后果一是需要提高冷、热价或接入费,以弥补初投资过高的不足,结果导致园区内用户不愿意使用集中供冷、热;二是银行贷款难以偿还,经济性太差。已投入使用的此类工程出现了上述问题,个别江水源区域供冷供热工程的单位造价已超过了燃气 CCHP 工程,因此可行性分析报告的财务分析

必须实事求是,应逐项分析资金的走向。

2) 采用地表水地源热泵作为冷热源时,地表水温的取值必须慎重,以月平均温度为依据的方法是不合理的。笔者委托有关单位对珠江、奉化江、黄浦江和广州南湖的水温进行过实测,结果表明,平均水温明显偏离当地月平均温度。当采用地表水地源热泵作为冷热源时,必须以实测值作为依据。以武汉为例,2011 年 7 月实测平均气温为 28.45  $^{\circ}\text{C}$ ,高于历年平均值 0.65  $^{\circ}\text{C}$ ,最高室外温度为 37  $^{\circ}\text{C}$ 。由于 2011 年 7 月长江水深只有 5 m,所以平均水温高达 32.2  $^{\circ}\text{C}$ ,在最高气温下水温超过 34  $^{\circ}\text{C}$ 。2012 年被否决的武汉市一个以长江水作为冷热源的燃气 CCHP 工程,其可行性报告夏季冷却水温就是以武汉市夏季室外平均气温作为设计参数,如果此项目上马,后果难以预料。

3) 采用地表水地源热泵作为冷热源时,应注意江水实际深度和取水点的距离。武汉水文地质大队给出的汉口站 1952—2002 年的平均水深为 17.01 m,可是长江三峡大坝建成后,长江水位急剧下降,2011 年 4—8 月最深为 6 m,最浅为 4.5 m。水深变浅导致除了表面水温升高外,加上热污染,水面和水底的温差变小,长江、黄浦江、珠江、奉化江夏季水面和水底实测温差均小于 0.2  $^{\circ}\text{C}$ 。与此同时取水距离延长,水泵能耗明显增加。

4) 采用地表水地源热泵作为冷热源时,水处理设备的选择十分重要。区域供能系统由于冬夏所需地表水水量巨大,而地表水,尤其是江水,除了重金属处理外,除砂任务繁重,水处理系统的初投资在区域供能系统中所占比例居高不下,明显影响到区域供能系统的整体经济性。对于水处理,设计师一般习惯采用主要用户为集中空调系统的水处理设备制造厂家的设备,根据笔者的比较,当水量相同、指标相同时,专门为电厂和化工厂服务的水处理设备制造厂家的水处理设备的价格要低得多。另一方面在设备初投资中比例最大的除砂设备,不同设备的性价比也相差悬殊,需要反复斟酌和比较。

## 2.6 供暖

除了夏热冬暖地区的大多数建筑,其他地区的公共建筑和商业建筑,冬季一般都需要供暖。燃气 CCHP 系统冬季供暖,除了采用内燃机作为原动机有可能余热不足外,余热均可满足供暖的需求。



南方地区,不以燃气 CCHP 系统和热电联产系统的余热作为热源的区域供热,冬季热源是个大问题。以燃煤锅炉作为热源的区域供热系统,在环境保护呼声越来越高的今天,已是寸步难行。即使是像上海张江高科技园区的集中供暖系统,由于燃煤循环流化床锅炉采用了硫排放污染防治技术,通过了环境评估,但是今后在大中城市也难以复制。多项调查研究结果表明,“十二五”期间大气污染控制基本是通过电厂脱硫实现的,到“十二五”末,电厂脱硫装机已经达到整体装机的 80%,这意味着每发 1 kW·h 电排放的 SO<sub>2</sub> 已经比美国的电厂低。但是与此同时,脱硫带来的污染物总量削减却给新的大煤电机组挤出了更多的发展空间,加速了新煤电的扩张。2010 年末,火电装机总量达到了 2005 年的两倍,与装机量一起激增的,是氮氧化物排放量,这直接导致了大气环境的恶化。然而除去二氧化硫以及氮氧化物,燃煤产生的大气污染中,还有汞、多环芳烃等许多有毒、有害污染物尚未纳入控制范围内,因此,单纯控制末端污染排放而不控制煤炭消费,对于大气污染控制来说,无疑是事倍功半。如果采用燃气锅炉替代燃煤锅炉,没有政府补贴,超高的热价将带来一系列新问题。地源热泵是一种理想的热源,但是对于区域供热,可能只有江水源热泵,或海水源热泵在某些项目中是可行的,毕竟条件有限,难以推广。

虽然在最近的“南方是否需要集中供暖”的大讨论中,“小区供热”受到政府官员、媒体和普通百姓的交口称赞,但是这一大受欢迎的好办法在南方将极大地受制于热源。由于在夏热冬冷地区,公共建筑和商业建筑空调供暖需要同时提供,所以除了少数项目外,区域供冷的规划根本无须反对,往往会由于冬季无法实施区域供热而夭折。显然燃气 CCHP 系统是解决南方地区区域供热的最佳选择。

### 3 结论

3.1 为了保护环境,随着区域性燃气 CCHP 系统的兴起,将有更多的区域供能系统(包括在我国的南方地区)开始建设,总结已建区域供能系统的经验和教训十分重要。

3.2 由于影响国内区域供冷系统冷价的非技术性因素较多,因此不能以冷价作为判断区域供冷经济性的指标。将家用空调和区域供能系统进行经济

比较也是有失公允的。

3.3 热网是影响区域供能系统的最主要因素,提高国内热网的设计水平是当务之急。

3.4 冰蓄冷技术可以提高燃气 CCHP 系统的经济性,但是并非任何一种冰蓄冷技术都适合在区域供能系统中应用,不合理的应用将适得其反。

3.5 由于影响因素繁多,区域供能系统不存在最佳的输送半径,应该确定合理的区域供能面积,并限制最远输送距离。

3.6 负荷密度和同时使用系数是影响区域供能经济性的重要因素,应根据不同建筑的负荷特性正确设计,综合利用将大幅度提高区域供能系统的经济性。

3.7 利用地表水作为区域供能系统的冷热源,符合充分利用和开发可再生能源的全球战略,但是要取得成功,不但要因地制宜,而且需要一系列高新技术相配合。

3.8 燃气 CCHP 系统是解决南方地区区域供热的最佳选择。

### 4 致谢

本文在撰写过程中,得到重庆大学刘宪英教授,同济大学龙惟定教授,天津市建筑设计院伍小亭总工、王砚高工,中国中元国际工程公司李著萱总工的指导和帮助,在此表示诚挚的谢意。

### 参考文献:

- [1] 绿色和平组织. 全国通缉,灰霾元凶——PM2.5 与燃煤污染 [EB/OL]. [2013]. <http://www.greenpeace.org/china/zh/publications/reports/climate-energy/2011/PM25/>
- [2] 中国电力投资集团南方分公司. 珠海市横琴新区冷供热设计技术导则(2012年5月修订版)[EB/OL]. [2013]. <http://www.doc86.com/p-793387787449.html>
- [3] 侯震林. 区域集中供冷和中央空调系统的研究比较 [J]. 企业技术开发, 2011, 30(21): 24-26
- [4] 朱纪军, 刘谨. 区域供冷系统及其供冷半径探讨 [J]. 制冷, 2004, 23(1): 69-72
- [5] 姜凯, 冯圣红. 区域供冷系统最佳供应半径的研究 [EB/OL]. [2008]. <http://www.cpdf.cnki.com.cn>
- [6] 张思柱, 杨俊, 龙惟定. 区域供冷系统最佳供应半径研究 [J]. 暖通空调, 2008, 38(4): 116-119
- [7] 康英姿, 仵浩, 华贲. 区域供冷系统经济供冷距离研究 [J]. 暖通空调, 2010, 40(8): 135-139