

虹桥交通枢纽 T2 航站楼 空调冷水系统研究

华东建筑设计研究院有限公司 陆 燕[☆]

摘要 结合该航站楼空调冷水系统案例,对空港建筑空调冷水系统在系统形式、初投资、节能性和运行调试等方面进行了分析与研究,并说明了水力模拟的重要性。

关键词 板式换热器 直供冷水系统 水力模拟 航站楼

Chilled water system of Hongqiao Transport Hub Terminal 2

By Lu Yan[★]

Abstract Based on the design of chilled water system of the terminal, analyses and researches the system modes, initial cost, energy saving and commissioning of chilled water system for airport buildings and demonstrates the importance of hydraulic simulation in the water system design.

Keywords plate heat exchanger, direct supply chilled water system, hydraulic simulation, terminal

★ East China Architectural Design & Research Institute Co., Ltd., Shanghai, China

①

0 引言

近年来,随着我国国民经济和社会的持续发展,民航事业始终处于高速增长期,尤其是空港建设,包括枢纽机场及大、中、小型机场,发展势头更显迅猛。作为大城市的门户,枢纽机场在建筑功能与造型方面具有鲜明的特点:众多的单体建筑如航站楼、交通中心、车库、宾馆、能源中心等形成一个建筑群;各单体建筑功能不一,体量大,外观要求高。上海虹桥机场——上海两大机场之一——还与高速铁路、城际铁路、城市地铁和市内地面交通等连接,成为世界上少有的大型交通枢纽的重要组成部分。

航站楼是空港建筑的核心。由于旅客的视觉和心理需要,航站楼在建筑上一般呈现出大跨度、大空间、玻璃幕墙和漂亮的曲线形屋面等特点,其能耗也尤为突出。据统计,普通航站楼的建筑能耗占航站楼总能耗的 20%~30%,枢纽型航站楼的建筑能耗达到航站楼总能耗的 40%,而在建筑能耗中,照明和空调能耗占建筑总能耗的 60%以上。

鉴于航站楼建筑面积大,造型凸显个性,在航

站楼内难以处理好冷却塔和烟囱的位置,难以设置大容量锅炉,也难以使冷热源方案实现多样化以提高制冷与供热能效,因此在航站楼外建设能源中心是许多机场航站区规划的首选方案。能源中心通常离航站楼较远,水系统的作用半径大,由此带来了空调冷热水系统输送能耗大的弊端,这也是这类工程节能中的一项挑战。

1 空调水系统输送方式

综观国内外枢纽机场及大、中、小型机场航站楼的设计,其能源中心绝大多数均设在航站楼外的总体规划区内。由于航站楼建筑的特点是长度方向超长,故能源中心空调水系统的作用半径一般均在 1 000 m 以上。

从独立的能源中心(通常冷热源设置在一起)到航站楼的空调用输送管道有冷水供回水管、热水供回水管或蒸汽管和蒸汽凝结水管。输

①☆ 陆燕,女,1962 年 5 月生,大学,学士,机电二所总工程师
200002 上海汉口路 151 号华东建筑设计研究院有限公司
(021) 63217420-6546
E-mail: yan_lu@ecadi.com
收稿日期:2011-09-21

送管道敷设方式有架空敷设、地下共同沟敷设及直埋敷设。地下共同沟又可分为通行式与半通行式两种。在夏热冬冷地区,这四种敷设方式均有应用,但投资费用差异较大,其中架空敷设方式最为经济,但可能会受敷设条件和美观的限制;通行地沟敷设方式的投资成本最高,但运行维护、增加用户等较方便。

总之,从能源中心生产空调冷热水,到系统输送,再到航站楼内分配给末端装置,是一个产、供、受相互关联的整体,只有经过统一规划、认真分析,才能获得技术、经济最佳的方案。

为便于理解下文所述和图中所示内容,首先定义三个术语:

一次泵系统——直接循环于机房中冷水机组侧的水系统;

二次泵系统——承接一次水,运行于机房与航站楼换热站之间的水系统;

三次泵系统——在航站楼的换热站内承接二次水(或通过板式换热器换热),连接空调末端装置的水系统。

以下根据笔者设计的几个大型航站楼空调工程,对几种空调水系统的特点进行分析和探讨。

1) 如图 1 所示,在能源中心内设置一次泵定流量系统,由二次泵变流量系统(泵在能源中心内)将冷水送到航站楼的换热站。换热站内设板式换热器,换热器的下游侧为三次泵变流量系统,循环于板式换热器与用户空调器之间。

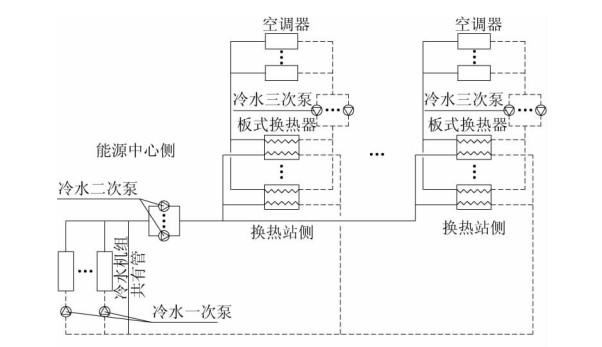


图 1 二、三次水之间含板式换热器连接形式

2) 如图 2 所示,在能源中心内同样设置一次泵定流量系统,由二次泵变流量系统(泵在能源中心内)将冷水送到航站楼中的各换热站,站内的三次泵接受二次水后供给用户空调器。该系统在二、三次水之间不设板式换热器,即依靠三次泵抽取二

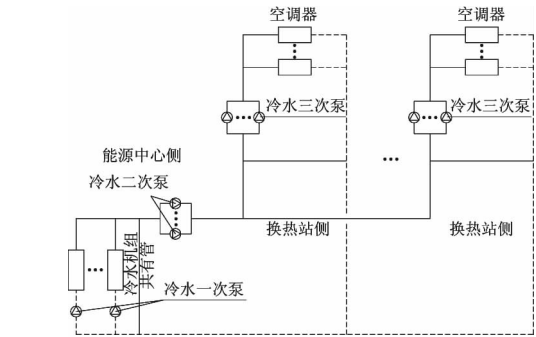


图 2 二、三次水直接连接形式

次水直接供给用户空调器。

2 不同水系统的节能性与经济性比较

能源中心的冷源系统与航站楼内用户侧冷水系统的连接方式涉及到一次投资、运行经济性和系统定压等问题。为了利于末端用户系统的水力平衡,常在航站楼内设置多个热力站,即使一、二次水系统的水泵扬程在合理的范围内,又使每个末端水系统的作用半径不致过大,阻力又较接近。

在原上海浦东国际机场 T2 航站楼的水系统设计中,采用了图 1 所示的连接方式。因为各换热站内设有板式换热器,二次水回路不直接与板式换热器后的三次水回路相连,各板式换热器后的三次水回路之间在水力上相互独立,避免了各三次水回路在对末端装置进行水量调节时的相互干扰。但含板式换热器的系统,除了需要增加各类配件外,用户侧的供水温度,即三次水温度会比二次水温度高 1~1.5℃,降低了冷水利用能级。

在上海虹桥机场 T2 航站楼设计中,采用了图 2 所示的二、三次水直接供水系统。该直供系统利用低阻力共有管将各三次水回路在水力上解耦。对图 1、图 2 两种系统形式下能源中心离心式冷水机组、二次泵系统以及 T2 航站楼各换热站的造价分析与比较得出,直供系统比含板式换热器系统减少直接投资约 13 958 766 元。对能源中心离心式冷水机组、二次泵系统以及 T2 航站楼各换热站三次泵系统的运行能耗分析与比较得出,直供系统比含板式换热器系统减少运行能耗约 624 494 kW·h/a;从能源中心冷水机组、二次泵和三次泵三种主要耗能设备的用电量来看,直供系统综合节能率为 3.1%^[1]。

3 冷水直供系统的方式与控制

从对虹桥机场 T2 航站楼两种冷水输送方式的分析可知,直供系统无论在初投资方面还是在运行费用方面与含板式换热器系统相比都有优势。随着国家和业主对节能要求的不断提高和控制技术的成熟与完善,三次泵直供系统的应用日益增多。二、三次泵直供系统从管路的连接方式看又可分为两种基本形式:图 3 所示的二、三次泵串接系统和图 4 所示的二、三次泵分环路系统。

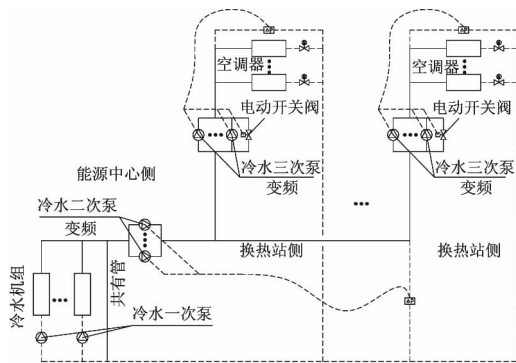


图 3 二、三次泵串接系统

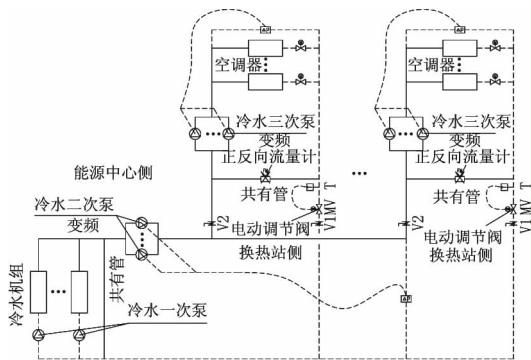


图 4 二、三次泵分环路系统

串接系统的最大优点是当二次泵系统的资用压力可被用户侧系统利用时,近端用户的三次泵扬程可减小,甚至关闭三次泵,通过打开旁通的电动开关阀实现二次水直接供给用户,所以从节能角度看串接系统最好。但该系统各用户之间有一定的压力相关性,控制系统较复杂且有许多不可预计的因素。若三次泵系统负担的区域较小或各用户之间压力相差不大,宜采用这种二、三次泵串接系统。

对于像航站楼那样的大型空调冷水系统,其近、远端换热站距离一般会达到 1 000 m 左右,为利于末端水力平衡和减少各系统之间互相干扰,宜采用如图 4 所示的二、三次泵分环路系统,它设置

了一根共有管,使二、三次水系统实现水力解耦,各环路相对独立,可基于不同的压差和温度来独立控制每个区域运行。

虹桥机场 T2 航站楼内共有 8 个换热站,近、远端换热站相距约 700 m,各换热站的负荷差异较大,主楼换热站负荷约为长廊负荷的 3 倍,部分负荷运行时最小负荷率可达到 15%。基于各换热站后三次水系统之间需水力解耦,减少相互干扰,故采用了如图 4 所示的二、三次泵分环路系统。

为使系统节能运行,减少管理工作,直供系统的控制极为重要。目前比较成熟的二、三次泵直供系统是采用设置低阻力的共有管方式^①,通过换热站内总回水温度传感器 T 和设在总回水管上的电动两通调节阀 MV 来调节、适应三次侧的冷量需求。同时在共有管上可设置正反向流量计作为辅助控制,虽然流量计的控制精度不如温度计高,但其直观性好,反应速度快。

由于温度控制的精度高,因此主控系统通过换热站内总回水管上的温度传感器测得的温度值,控制设置在总回水管上的两通电动调节阀。当末端负荷减小时,末端压差增大,压差控制器使三次水变频泵频率减小,流量减小,于是从能源中心提供的二次水通过共有管正向流动,与三次水回水混合后使温度传感器处的温度降低,减小两通电动调节阀的开度;反之,当末端负荷增大时,末端压差减小,压差控制器使三次水变频泵频率增大,流量加大,从能源中心提供的二次水与通过共有管反向流动的三次水回水混合,从而使回水温度升高,增大电动两通调节阀的开度。此外,考虑到控制安全性和备用需要,将设在共有管上的正反向流量计作为辅助控制,当用温度传感器进行温度控制出现故障时,利用正反向流量计的流向和流量大小来控制总回水管上的两通电动调节阀的开度。流量控制具有反应快速的特点,但精度不高。

为确保直供系统控制的精确性,在虹桥机场 T2 航站楼的设计中采用了小循环的 PLC 程序控制,使用工业级传感器与通信总线,直供系统的控制自成系统。为使能源中心能实时了解末端用户使用情况,各换热站内冷热水能量计的测量信息、

① ITT 公司设计手册摘选,2005

直供系统的控制信息以及三次泵运行信息等均通过 485 通信接口传输给 T2 航站楼的 BA 系统和能源中心的供冷监控系统,但它们对直供系统只作监视,不作控制。

为使系统初调试和自动调节达到理想状态,每个换热站内总回水管上的电动两通调节阀 MV 的选择与手动调节阀 V1 在初调试中的开度是三次泵直供系统良好运行的关键。由于换热站内空调冷水总供回水管直径最大可达 300~500 mm,故电动两通调节阀一般选用长行程、接近等百分比的调节型蝶阀,该阀的有效控制开度在 20~70°。在确定其口径前,必须对各换热站入口处二次水系统提供的资用压力进行计算,图 5 给出了虹桥机场 T2 航站楼内各换热站资用压力计算所得值。

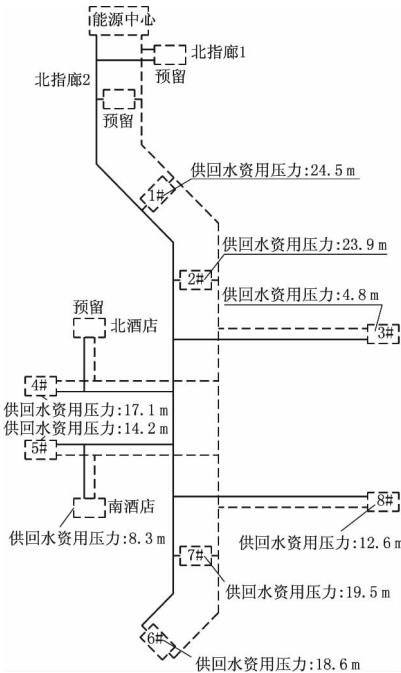


图 5 虹桥 T2 航站楼各换热站资用压力计算图示

图 5 中的资用压力是在水系统满负荷工况下的计算值,资用压力最大的是 1#换热站,为 24.5 m;最小的是 3#换热站,为 4.8 m。二者相差 19.7 m,此差值需要通过水系统上的手动调节阀 V1 予以消除,消除方法是利用总管上的能量计的流量读数来控制 and 调节手动调节阀的开度。

鉴于共有管的低阻力要求,其设计阻力按 0.5 m 计算,各换热站内总回水管上的电动两通调节阀 MV 的口径计算结果见表 1。

表 1 各换热站总回水管上电动两通调节阀口径计算结果

	最大流量/ (m ³ /h)	压差/ m	计算 K _v 值	调节阀口 径/mm	调节阀实 际 K _v 值
1# 换热站	620	0.5	2 772	DN300	3 604
2# 换热站	500	0.5	2 236	DN250	2 364
3# 换热站	1 275	0.5	5 701	DN350	6 233
4# 换热站	1 990	0.5	8 497	DN400	8 571
5# 换热站	1 990	0.5	8 497	DN400	8 571
6# 换热站	620	0.5	2 772	DN300	3 604
7# 换热站	500	0.5	2 236	DN250	2 364
8# 换热站	1 275	0.5	5 701	DN350	6 233
南侧酒店	604	0.5	2 701	DN300	3 604

注:K_v 值为采用国际单位计算出的阀门流通能力。

4 冷水直供系统水力模拟

通过对虹桥机场 T2 航站楼冷水三次泵直供系统及其控制方式、控制设备要求等的分析与研究,得到了其经济性、节能性的定量结果。为了验证理论结果的正确性并为调试提供指导,在设计过程中还进行了水系统的水力模型研究,模拟不同流量时系统的水力工况,以评估三次泵直供冷水系统能否达到预期效果。

模拟了整个直供冷水系统在 100%, 75%, 50% 及 25% 负荷时,即分别对应共同沟处管路中的总流量为 7 460, 5 700, 3 800, 1 900 t/h 时系统的基本特性,为系统运行提供定量依据。

在水系统模拟分析中得到了一个结论:在完成一个工况的水系统平衡调试后,其他工况下各换热站的供回水手动总阀开度可以基本维持不变,随着共同沟总流量的变化,各换热站的流量也会同比例变化。这样的—个水系统特性可在一定程度上减少初调试的工作量,即在完成一个工况的水系统平衡调试后,其他运行工况下无需再调节(或可微调)各换热站的供回水手动调节阀的开度,各区域流量平衡主要通过调节水泵的开启台数及运行频率来实现。这给不同负荷工况下的水系统调试工作带来了极大方便。

在水系统模拟分析中还论证了三次泵直供系统的另一个重要特性,即各换热站采用共有管后,三次泵系统各种运行工况(水泵运行不同台数)与进入各换热站的流量关系不大,仅影响共有管上流量的大小。表 2 是水系统在 75% 负荷时,1# 换热站内三次泵运行台数变化和频率变化的模拟结果。

表 2 75%负荷时 1# 换热站在水泵运行不同台数与频率时的流量比较

水泵运行状态		换热站总流量/(t/h)	与设计流量(409 t/h)的偏差/%	共有管流量/(t/h)
开启台数	运行频率/Hz			
0	0	406	-0.7	406
1	20	411	0.5	204
1	40	413	1.0	5
1	50	414	1.2	-96
2	50	416	1.7	-241
3	50	417	2.0	-277

从表 2 可看出,三次泵运行台数及频率变化基本不影响进入 1# 换热站的流量,而只影响二、三次泵之间共有管内的流量。

图 6 显示,水系统在 75%负荷时,关闭或开启全部 8 个换热站内的所有三次泵,进出各换热站的

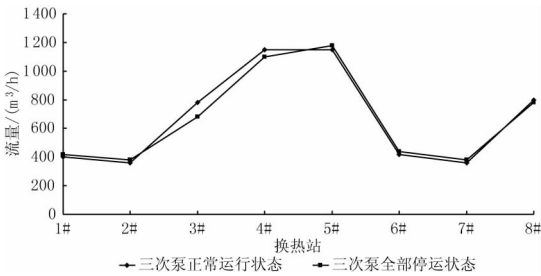


图 6 三次泵全部开启或关闭时各换热站流量曲线

流量曲线基本重合。这进一步说明三级泵的运行台数不影响各换热站的流量。

5 冷水直供系统的调试与实测

系统调试一般均需经过手动与自动调试两个阶段,自动调试阶段常需经过半自动调试过程。许多工程无法进入良好自控状态,除了自控系统自身原因外,手动调试不到位也是影响系统实现全面自控的重要因素。

在 T2 航站楼的水系统调试中,将以上研究成果及水力模拟分析结论用于指导调试,既大量减少了调试工作量,又取得了很好的调试效果。表 3 为拟定流量 6 000 m³/h 时各换热站的流量测试值;图 7 为拟定流量 4 000 m³/h 时各换热站的流量测试值。

表 3 总流量为 6 000 m³/h 时各换热站流量测试值

	系统总管	1# 换热站	2# 换热站	3# 换热站	4# 换热站	5# 换热站	6# 换热站	7# 换热站	8# 换热站
设计流量/(m³/h)	6 000(5 820)	491	372	900	1 237	1 237	491	372	900
实测流量/(m³/h)	5 760	495	375	740	1 140	1 125	455	355	820
流量偏差/(m³/h)	240	4	3	-160	-67	-112	-36	-17	-80
误差/%	4.0	0.8	0.6	-17.7	-5.4	-8.0	-7.3	-4.5	-8.9
共有管流量/(m³/h)		9	13	-9	25	6.5	-20	-9	-11

注:1) 由于现场测试条件限制,流量测试点无法完全满足要求,故各支系统的流量存在一定偏差,但仍然在可信的范围内。

2) 设计流量括号中数据 5 820 m³/h 为能源中心内流量计所示流量值。

3) 5 760 m³/h 为共同沟内总管处用超声波流量计测得的流量值。

4) 误差是以设计流量 6 000 m³/h 为基准计算得出的。

5) 共有管流量是指手动调节阀按设计要求调节开度后的实测值。

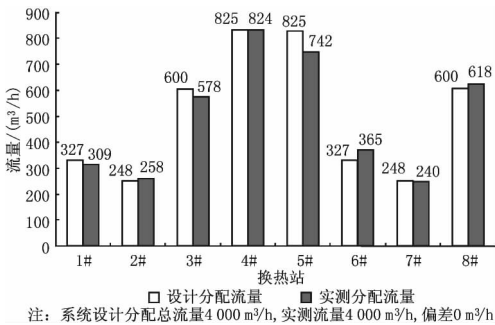


图 7 总流量为 4 000 m³/h 时各换热站流量测试值

表 4 显示了 2009 年 8 月 4 日 2# 换热站的现场调试值与模拟值的对比,可以看出模拟结果与现

表 4 2009 年 8 月 4 日 2# 换热站调试值与模拟结果对比

		模拟值	现场调试值	二者偏差/%
流量	回水管总流量/(m³/h)	343	320	7.2
	共有管流量/(m³/h)	8	10	-20
阀门开度	供水总阀 V2	38.9	43	9.5
	回水总阀 V1	38.9	43	9.5
三次泵频率	1 号泵/Hz	29.3	28.2	3.9
	2 号泵/Hz	29.3	28.2	3.9
	3 号泵/Hz			

场调试数据基本相符,特别是水泵的运行状态与模拟结果几乎一致,验证了水系统模拟的准确性。

(上接第 10 页)

2010 年 3 月,虹桥机场 T2 航站楼正式启用,2010 年夏季供冷系统投入运行。由于前期的系统研究、精心设计和良好调试,空调冷水直供系统进入全自动运行状态,整个系统运行达到了设计预期效果。

6 结语

6.1 对大型空港建筑的空调冷水系统进行研究很有必要,可为设计提供理论依据和技术支持,也为系统调试与运行提供方法和数据。

6.2 空调冷水直供系统在航站楼建筑中得到成功运用,系统方式和控制方法趋于成熟和可靠,主要控制方案是通过总回水温度传感器和两通电动调

节阀来调节三次侧的冷量需求,同时可在共有管上设置正反向流量计作为辅助控制手段。

6.3 各换热站采用共有管后,三次泵系统各种运行工况(水泵运行不同台数)与进入各换热站的流量关系不大,仅影响共有管流量的大小。

6.4 系统水力模拟是空港建筑大型水系统精细化设计的手段之一,可验证研究结果,指导调试,使调试周期大大缩短,调试效果达到预期。

6.5 调试是系统实现预期效果的重要环节,注重系统调试是实现系统高效、节能运行的重要手段。

参考文献:

- [1] 沈列丞. 虹桥交通枢纽 T2 航站楼空调冷水直供系统技术经济性分析[J]. 暖通空调, 2011, 41(11): 2-5,44