

文章编号: 1671-6612 (2025) 05-776-08

寒冷地区某机场航站楼暖通空调设计

刘 海¹ 侯余波¹ 孙海涛¹ 赵晓丹² 徐 珊¹ 陈 通¹

(1. 中国建筑西南设计研究院有限公司 成都 610041;

2. 山东省机场管理集团烟台国际机场有限公司 烟台 265600)

【摘 要】 介绍了该航站楼的工程概况和暖通空调设计情况, 分析了寒冷地区航站楼设计难点, 从降低需求、提升舒适度、提升能效等方面介绍了设计解决方案, 并对增加气密性措施减少冬季冷风渗透量和采取不同供暖空调末端形式提高人员舒适度进行了着重探讨, 进而介绍了项目运行情况和现场测试数据。

【关键词】 航站楼; 降低需求; 提升舒适度; 提升能效; 气密性; 冷风渗透

中图分类号 TU831.6 文献标志码 A

HVAC Design for an Airport Terminal in Cold Zones

Liu Hai¹ Hou Yubo¹ Sun Haitao¹ Zhao Xiaodan² Xu Shan¹ Chen Tong¹

(1. China Southwest Architectural Design and Research Institute Co., Ltd, Chengdu, 610041;

2. Shandong Airport Management Group Yantai International Airport Co., Ltd, Yantai, 265600)

【Abstract】 This paper provides the project overview of an terminal building in cold zones and its HVAC design, analyzes the design challenges and solutions from the perspectives of reducing demand, improving thermal comfort, and enhancing energy efficiency. Particular emphasis is given to mitigating cold air infiltration in winter via airtightness enhancements and optimizing thermal comfort through applying different HVAC terminal units. Furthermore, the project's operational status and field-measured data are verified.

【Keywords】 Airport terminal; Reduce demand; Improve thermal comfort; Enhance energy efficiency; Air tightness; Cold air infiltration

0 引言

作为城市窗口, 机场航站楼存在“高、透、通”的特点, 主要功能空间高大通透, 大量透明围护结构运用, 流程工艺要求空间连续且互通, 加之人员的流动性强, 不同功能空间人员的停留时间不一样等, 为室内环境的营造和空调运行的管控都带来相当大的难度。研究表明, 航站楼能耗相对较高^[1], 而暖通空调系统能耗占到 40~70%^[2], 降低暖通空调系统能耗对航站楼实现双碳目标具有重要意义。

针对航站楼建筑特性与使用特点, 在寒冷地区

某机场新建 T2 航站楼的设计过程中, 暖通空调设计不仅从自身出发, 在各区域采取不同的应对方式, 还与建筑专业从源头配合, 采取了调整部分区域围护结构形式以及增加气密性的措施, 降低空调供暖需求, 设计了安全高效、舒适节能的暖通空调系统。

1 工程概况

寒冷地区某机场新建 T2 航站楼, 本期规划建设面积约 17.4 万平方米 (见图 1), 设计年旅客吞

作者简介: 刘 海 (1986.08-), 男, 硕士研究生, 高级工程师, E-mail: 125883425@qq.com

通讯作者: 侯余波 (1977.02-), 女, 硕士研究生, 正高级工程师, E-mail: 648914439@qq.com

收稿日期: 2025-06-28

吐量为2300万人次,规模等级为4E类机场,地上4层(局部夹层),地下局部1层,分为A区(北指廊),B区(中指廊),C区(南指廊,本期仅建3个近机位),D区(大厅),建筑最高点高度为37.45m,为一类高层公共建筑。4层(16.5m)为陆侧上夹层集中餐饮区;3层(12.0m)主要为值机大厅、安检区、联检区、国际候机厅及到达廊、

商业等;2层(6.0m/5.1m)主要为国内候机厅、国内集中商业区、联程中转区、出租车大巴候车区等;1层($\pm 0.0\text{m}$)主要为迎宾厅、行李提取厅、贵宾区、远机位候机厅、远机位到达厅、非联程中转厅、国际到达通道、行李处理机房、业务用房及设备用房等。



图1 航站楼航拍图

Fig.1 Aerial photo of the terminal

2 暖通空调设计情况介绍

2.1 冷热源

为T2航站楼、交通中心等建筑提供空调冷热水的动力中心位于航站楼东侧。冷源采用水蓄冷系统,热源为市政供热。动力中心除需满足本期使用需求外,还要为远期扩建服务,采用了土建一次建成、设备分期投入的方式。

根据逐时逐项负荷计算,T2航站楼本期设计空调冷负荷综合最大值为16520kW,空调热负荷为15452kW。动力中心本期服务范围的设计日累计冷负荷为352561kWh。

航站楼远期扩建会给动力中心增加近4万 m^2 的供能服务面积。计算分析表明,若满足远期30%的蓄冷能力,本期蓄冷率在36%左右,基本是投资费效年值的最低点,经济性较好,因此本期建设考

虑蓄冷罐一次到位。结合动力中心场地情况,兼顾系统定压要求及蓄冷水罐的合理高径比,设计采用2台蓄冷水罐,每台水罐的设计蓄冷量为64200kWh,罐体直径21m,蓄水高度24m,总蓄冷率为36.4%。制冷主机选用4台离心式水冷冷水机组,单台制冷量为4922kW。预留远期扩展机位2个。

冬季供热由市政热网提供,服务原T1航站楼的锅炉房保留,作为应急保障。设计对比了在动力中心统一换热后供机场各个热用户使用,以及一次水直供到各个热用户再换热的方案,后者投资更低,且能满足各个热用户不同的二次侧供水温度需求。因此采用了一次高温热水($110/70^\circ\text{C}$)直供到用户换热站的方式。因市政热网接口靠近动力中心,为便于管理及结算,一次水经动力中心后再由

机场的热力管网分至各用户,动力中心内设有一次侧的热量计量和一次侧备用泵,在市政热网资用压力不足时启用。

2.2 空调水系统

动力中心的供冷服务对象少于供热,且热水温差大,需要的管径远小于供冷(若用供冷管兼做一次侧供热管道,绝大部分时间内流速低于 0.25m/s ,

供能响应时间过长),因此动力中心至各用户侧泵房或换热站的管路冷热分设。航站楼等冷、热均由动力中心提供的,楼内空调水管为两管制,经一体化板式换热机组换热后的热水二次侧与冷水三级泵组后的管路合用。图2为水路总图及楼内泵房和换热站位置的示意图,总图管网采用直埋敷设。

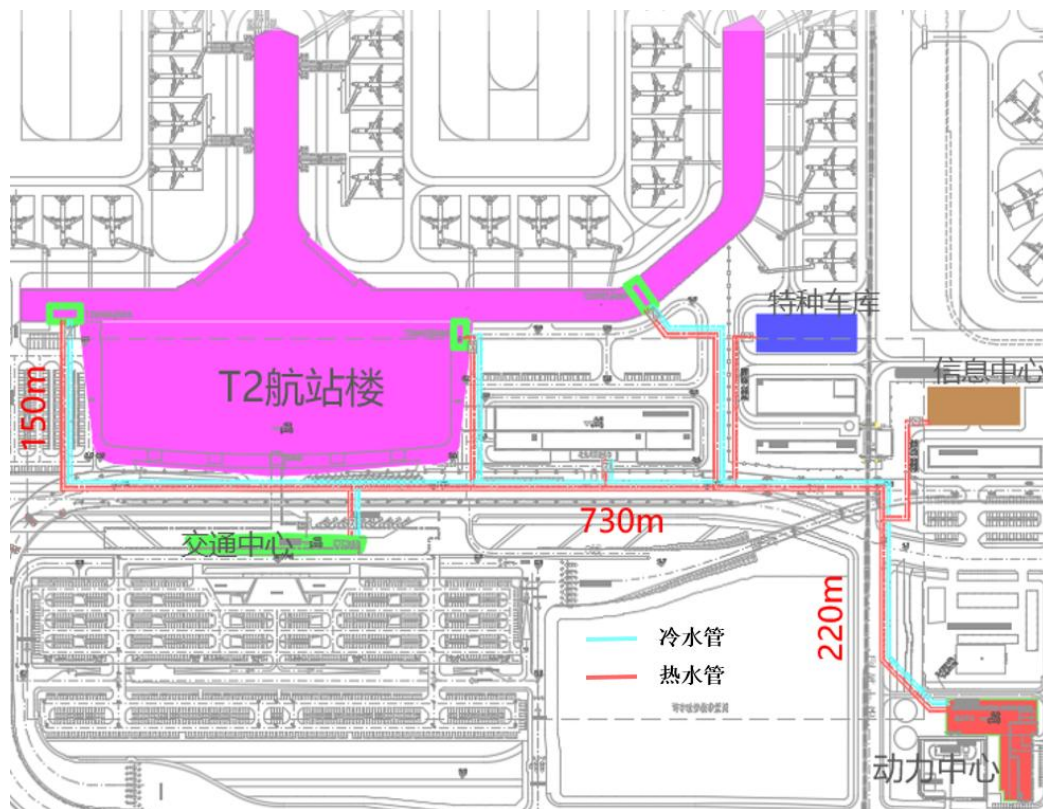


图2 空调水总平面示意图

Fig.2 Air conditioning water system general layout diagram

空调冷水系统采用直供,三级泵变流量系统,蓄冷水罐兼做定压罐。一、二级泵设置于动力中心,三级泵根据其服务范围分散设于楼内。空调冷水系统采用大温差系统,供回水温度为 $6/13^{\circ}\text{C}$,温差 7°C 。

空调热水系统采用二次水系统,一、二次侧均为变流量系统,热水一次水直接供至航站楼各换热站处,换热站与三级泵房合用或紧邻设置。根据市政热网资料,一次水侧供回水温度为 $110/70^{\circ}\text{C}$,温差为 40°C 。航站楼的二次水侧设计供回水温度为 $60/45^{\circ}\text{C}$,温差 15°C ,供应空调末端和散热器(散热器独立设分支),辐射末端通过混水方式降低供水温度及温差。

2.3 空调末端系统

全空气系统是航站楼旅客公共区最常用的空调末端形式。本项目公共区采用区域变风量的一次回风全空气系统,系统风量随负荷变化调节。全空气系统新回风比均可根据二氧化碳浓度调节,空调季节按照满足卫生要求的最小新风比运行,减少新风处理能耗;过渡季节根据室外干球温度变化改变新回风比,直至全新风运行,最大限度利用室外新风“免费制冷”。

公共区内不同的功能厅,根据建筑构型、装修方案等采取了适宜的气流组织方式。迎宾厅、行李提取厅、值机厅、A指廊二层候机厅、安检等候区等区域在气流组织设计上采用分区分层空调的原

则,结合房中房屋顶或风柱进行侧送风,回风口设置于回风竖井或风柱下部区域。

本项目指廊候机厅区域为混凝土平屋面,除A指廊二层层高较高外,其余候机厅区域层高为6m或9m,吊顶后高度在4m~7m,因此其余候机厅区域气流组织均采用顶送下回的方式,在候机区下部利用侧向百叶多点集中回风。

楼内的部分独立区域,如贵宾、两舱、业务用房区域,分隔为多个小房间,适合采用室内末端加独立新风的系统形式。贵宾区域和两舱休息室是航站楼的重要保障区域,室内热舒适要求高,空调供应时段和负荷特性与其余区域存在差别,有提前(延后)供冷(供热)的需求。经与业主协商,贵宾区域和两舱休息室采用多联机空调+新风系统,新风系统设置加湿措施。

业务用房区域采用风机盘管加独立新风的系统形式,气流组织顶送顶回。新风系统内外区分设,为塔台服务的新风系统采用了热回收技术。

2.4 供暖系统

本项目位于寒冷地区,供暖季较长,在对该机场T1航站楼实地调查过程中,冬季问题反馈较多。因此本次设计在增加建筑气密性的基础上,又对以下区域补充设置供暖设施。

一层迎宾厅出入口多,又有垂直交通空间从地面直通屋顶,传统的空调送风方式既耗能,效果亦不佳。为降低温度梯度、减少冷风渗透量、提高人员舒适度,在该区域设置地面辐射供暖系统。

贵宾区域和两舱休息室采用的多联机空调系统,灵活性高。但考虑到该区域的高舒适度要求和寒冷地区多联机冬季运行能效、能力等,增设了供暖系统。结合装修需求,贵宾区域采用地面辐射供暖系统,两舱休息室采用散热器供暖。

远机位候机厅位于指廊一层,也是冬季冷风渗透严重,空调效果难以保障的区域之一。由于多种因素限制,未能采用地面辐射方式供暖,但在远机位候机厅外幕墙侧设置座椅式散热器,改善室内热环境。

3 设计难点及解决方案

作为典型的交通建筑,航站楼具有多开口、多连通的特性,整个旅客公共区全是一个连通的空间,无法完全物理隔断;加上工艺流程需求,航站

楼内垂直交通体多,所形成的垂直贯通空间体量也较大,导致温度梯度大,加剧了烟囱效应,使得底层冷、顶层热的现象比其他建筑更为明显。寒冷和严寒地区,冬季室内外温差大,烟囱效应更明显。因此寒冷地区更需关注如何增加气密性,从建筑措施和供暖方式着手,降低冷风渗透。

航站楼内部分重点区域由于使用性质、空间关系等原因,导致影响室内热环境或体感舒适度的因素不一。如安检工作区由于玻璃隔断、安检人员的着装及工作强度等因素,往往造成该区域工作人员的体感舒适度较差;陆侧的上夹层集中餐饮区,既是整个航站楼旅客可达最高层,距金属屋面较近,又因消防需求要开敞,对送风限制较大,也是楼内热湿环境较难控制的区域之一。

项目设计过程中,多次对该机场T1航站楼进行实地调查和现场测试。现场测试和调查反馈主要问题集中在迎宾厅、行李提取厅、远机位候机厅等冬季冷风渗透严重,温度偏低的区域,如原T1航站楼迎宾厅冬季温度长时间在15℃左右;安检工作区夏季温度较高。现场问题也进一步印证了寒冷地区航站楼暖通空调设计的重难点。

结合青岛胶东国际机场T1航站楼^[3]、成都天府国际机场T1、T2航站楼^[4,5]和重庆江北国际机场T3A航站楼^[6]等项目设计经验和运行情况,本项目暖通空调设计针对上述难点和业主关切的问题进行详细分析,采取了相应措施。

3.1 航站楼降耗方案

减少围护结构负荷、减少冷风渗透,是从源头出发,降低空调供暖需求的有利措施。设计过程中,暖通专业与建筑专业密切配合,通过详实的计算分析,促成了局部土建措施的优化,为实现绿色、低碳航站楼的建设目标奠定了基础。

3.1.1 围护结构优化设计

T2航站楼指廊区域屋顶在方案阶段为金属屋面,且天窗宽度为6m,如图3(a)所示,在施工图设计阶段优化为混凝土屋顶,减少轻质围护结构使用范围,降低了指廊的建筑高度,并将屋顶天窗带宽度控制在4m左右,如图3(b)所示,降低了围护结构导热系统和太阳辐射得热量,达到了降低空调负荷和照明负荷的统一,具体对比计算如表1所示。



(a) 金属屋面效果图



(b) 混凝土屋顶实景图

图 3 航站楼指廊屋顶优化

Fig.3 Terminal pier roof optimization

表 1 指廊屋面形式变化对比表

Table 1 Comparison table of roof form for terminal pier

指廊屋面形式	空调冷负荷指标/(W/m ²)	单位面积风量指标/[(m ³ /h)/m ²]
金属屋面, 天窗宽 6m (方案阶段)	181	41
混凝土屋面, 天窗宽 4m (实际实施)	160	33

由表 1 可知, 相较于方案阶段的屋面形式, 航站楼指廊实际实施的混凝土屋面, 其单位面积空调冷负荷降低 11.6%, 单位面积风量指标降低约 19.5%, 从源头降低了需求, 也减少了空调设备、风管的布置对建筑层高和机房面积影响。

3.1.2 门斗优化设计

本项目除在迎宾厅、值机厅等常规区域的外门设置门斗外, 在远机位候机厅、行李处理机房与行李提取厅间也设置了门斗或挡风措施 (见图 4)。远机位候机厅的门斗要兼顾旅客登车需求, 采用了“L”型方式, 避开主导风向且避免登机口间形成

“穿堂风”。行李系统传输皮带穿墙处设置小门斗, 降低冷风渗透量, 节约空调能耗。文献[7,8]对航站楼等高大空间建筑渗透风测试计算进行了研究, 文献[9]对高大空间建筑冬季渗透风的关键影响因素进行了分析, 并提出了相应的应对措施, 本次设计对各区域设置门斗进行了对比计算, 渗透风计算公式为^[8]:

$$G = C_d A_o \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (1)$$

式中: C_d 为流量系数; A_o 为门斗的面积, m²; ΔP 为热压, Pa; ρ 为空气密度, kg/m³。



(a) 值机大厅入口门斗



(b) 远机位候机门斗



(c) 行李皮带穿墙处小门斗

图 4 航站楼典型区域外门门斗实景图

Fig.4 Realistic image of the outer door foyer in typical areas of the terminal building

根据公式 (1) 对 T2 航站楼典型区域外门有无门斗渗透风量进行计算分析, 计算结果如图 5 所示。

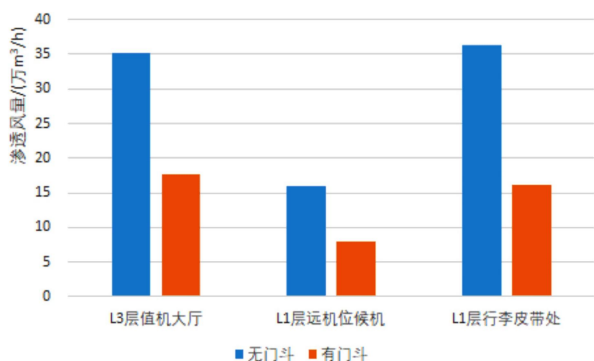


图5 航站楼典型区域外门有无门斗渗透风量对比图

Fig.5 Comparison diagram of air infiltration rates for outer door with and without foyer in typical areas of the terminal building

由图5可知, T2航站楼典型区域外门增加门斗后, 冷风渗透量可降低50~60%, 根据计算, 通过增加门斗航站楼冷风渗透耗热量总计减少约3917kW, 占总热负荷的20%以上。

行李传输通道处设置塑料软帘挡风也是降低渗风的有效措施之一, 但软帘对行李通行有一定阻碍, 且效果不如土建围挡。本项目到达行李平台输送, 在行李系统传输皮带穿墙处设置小门斗, 冷风渗透量减少约58%。

3.1.3 空调供暖方式优化降低渗透风

研究表明, 类似迎宾厅的建筑空间, 采用传统的侧送侧回的方式反而会诱使冷风进入, 增加渗风量, 从而加大耗热量。而采用地面辐射的方式, 温度梯度小, 有助于减少冷风渗透, 降低空调供暖需求, 与传统全空气分层送风相比, 冬、夏季渗风量分别降低22%和33%^[10]。本项目在迎宾厅采用了地面辐射供暖, 达到用较低的能耗获得满意舒适度的目的。

3.1.4 自然通风利用

项目所在地过渡季时间长, 设计时与建筑专业密切配合, 结合气候、光照、风向、自然排烟等因素, 优化建筑布局, 调整开窗位置与尺寸, 如优化后大厅屋顶天窗面积达694m², 根据现场测试, 过渡季值机厅、迎宾厅、候机厅等高大空间大部分区域室内温度可在22~27℃, 大幅缩短空调运行时长, 降低空调系统运行成本。

3.2 舒适度改善设计

3.2.1 安检工作区空调系统优化

安检工作区由于工艺流程特殊, 通道间需设置

玻璃隔断且安检工作人员劳动强度大, 着装偏厚, 因此设计中重点关注该区域热环境。经过性能化软件模拟计算发现, 若采用安检区两侧房中房上部侧送风的方式, 气流被玻璃隔断阻挡, 安检工作区内温度场分布不均现象较为严重, 且较多区域温度达不到设计要求。与建筑专业配合后, 在安检后的空侧商业房中房设置连板, 利用其布置风管, 实现顺安检通道方向的送风。每个通道内旅客、安检工作人员三条通道均有送风口服务, 送风口气流与安检通道方向一致, 且不受安检入口处横向玻璃隔断影响, 具体布置如图6所示。对配合后的空调方案再次经性能化软件模拟计算, 结果表明新空调方案下安检工作区的温度场和速度场均可满足要求。

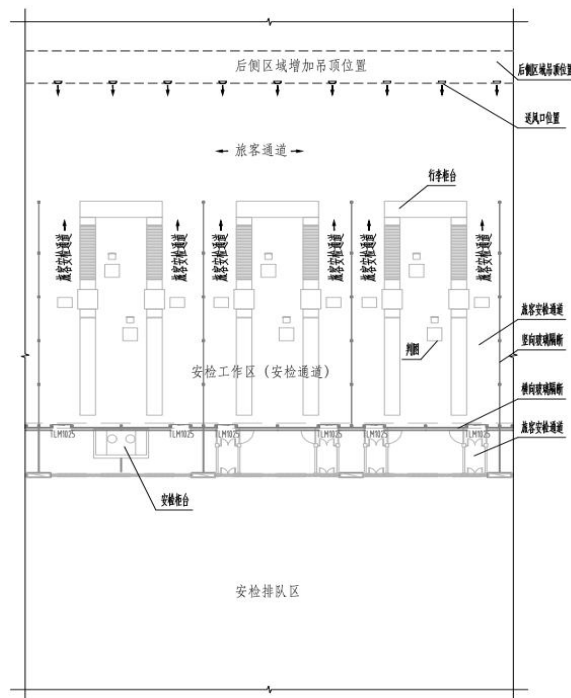


图6 安检区空调风口布置示意图

Fig.6 Schematic diagram of air conditioning vent layout in the security check area

3.2.2 陆侧集中餐饮区空调系统优化

本项目陆侧集中餐饮区设置在4层, 餐饮外摆区面积较大, 如图7(a)所示, 且顶部为航站楼大屋面, 叠加其他楼层热空气上浮影响, 外摆区利用房中房顶侧送难以实现舒适的热环境。经与建筑配合, 在外摆区两侧及中间位置(4.5m标高)处增加吊顶, 如图7(b)所示(阴影区为增加吊顶区域), 利用吊顶进行下送和侧送风, 改善集中餐饮区整体热环境。

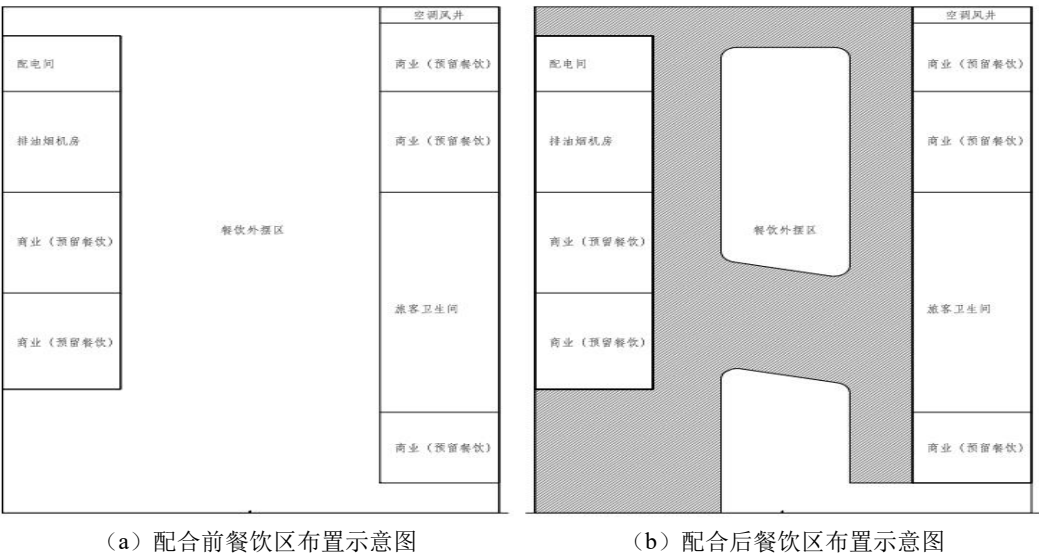


图 7 陆侧集中餐饮区布置示意图

Fig.7 Schematic diagram of the landside central dining area layout

3.2.3 空调供暖末端优化

迎宾、远机位候机等位于底层，既与室外相通，又存在上下连通空间的区域，由于烟囱效应冬季上热下冷现象突出，仅靠空调送风难以保证较好的室内环境，甚至会加剧此现象，因此本次设计在此类区域优化空调供暖末端方式，提升室内环境和人员舒适度。

迎宾厅设置地面辐射供暖系统，降低温度梯度，减少冷风渗透量，提高人员舒适度。根据现场实际测试（详见第 4 节），T2 航站楼迎宾厅室内

温度比原 T1 航站楼提高 5℃ 以上。

远机位候机厅外门较多且开启频繁，同时该区域有扶梯与上部空间连通，因此除在外门增加门斗外，在该区域幕墙侧补充设置座椅式散热器。根据现场实际测试（详见第 4 节），T2 航站楼远机位候机厅室内温度比原 T1 航站楼提高 6.5℃ 以上。

3.3 能效提升设计

为降低航站楼空调能耗，采取了空调系统小型化与标准化、高效设备应用、输配系统低阻化等措施进行能效提升设计，具体措施如表 2 所示。

表 2 T2 航站楼能效提升设计

Table 2 Energy efficiency improvement design for terminal 2

技术手段	具体措施	优点
空调系统小型化与标准化	空调系统服务区域合理划分，空调机房水平和竖向均就近设置	单位风量耗功率（Ws）比《公共建筑节能设计标准》GB50189-2015 ^[1] 限值降低 15~30%
	空调系统规模控制及空调器规格标准化，结合不同区域的建筑特点，分别采用房中房屋顶侧送风、送风柱、整体化空调末端等形式	实现分区分层空调，便于采购、安装以及后期运行维护
高效设备应用	主机、水泵等暖通设备高效设计及选用，运行控制策略优化设计	主机等选用一级能效设备，结合水蓄冷系统运行控制策略，使主机、水泵在高效区间运行降低能耗
	一体化板换机组、整体式空调末端、座椅式散热器等集成产品应用	减少现场安装工作量，降低施工出错风险，节省机房面积，同时增加系统可靠性，方便后期维护
输配系统低阻化设计	管路低阻化设计：低阻力设备及管件的应用，管道路由比选优化	降低空调水系统和风系统阻力
	大温差输送：冷冻水供回水温差为 7℃，一次侧温差为 40℃ 高温热水直接供至航站楼各换热站处	减少流量，降低输送能耗

4 项目运行情况

根据相关统计数据,T2 航站楼通航近 1 年来,旅客吞吐量约为 837.2 万人次。根据现场反馈,空调供暖各系统运行正常,室内环境控制效果良好,特别是冬季供热效果比原 T1 航站楼改善明显,温度梯度远小于 T1(T1 冬季垂直温差在 10~15℃)。设计团队于 2025 年 2 月对 T2 航站楼典型区域的供热季室内热环境进行现场测试,测试结果如表 3 所示。

表 3 T2 航站楼典型区域室内热环境测试结果
Table 3 Test results of indoor thermal environment in typical areas of terminal 2

典型区域	冬季	
	温度/℃	相对湿度/%
值机厅	21.9	30
候机厅	22.3	31
远机位候机厅	22.7	34
安检等候区	22.2	33
行李提取厅	21.8	31
迎宾厅	20.3	29

由表 3 可知,T2 航站楼内典型区域供热季室内温度在 20.3~22.7℃之间,相对湿度在 29~34%之间,室内热环境基本达到设计要求。

根据机场能耗管理平台数据,T2 航站楼供热季单位面积年耗热量为 0.251GJ/(m²·a),即为 69.6kWh/(m²·a),满足《公共交通建筑能耗标准》T/CECA 20042-2024 的引导值要求^[12],达到了设计预期。

5 结语

本文着眼于某机场航站楼暖通空调设计在降低负荷需求、提升舒适度及能效三个维度展开方案成效论述。在设计阶段重视从源头出发,结合地域特点,与建筑等专业紧密配合,降低空调供暖需求,同时对暖通空调系统进行多方位研究,通过三级泵变流量系统、大温差输送技术、自然通风、高效设备应用、变频技术、大空间气流组织优化、新风热

回收、空调水系统及风系统管路低阻化设计等一系列绿色低碳技术的优化集成应用,降低了运营成本,提升了室内舒适度,提高了项目的经济性、可靠性和节能性。本项目暖通空调系统设计经验可为今后类似工程提供设计参考。

参考文献:

[1] 司鹏飞,戎向阳,石利军,等.机场航站楼能耗构成特征案例分析[J].暖通空调,2019,49(6):63-67.

[2] 清华大学建筑节能研究中心.中国建筑节能年度发展研究报告 2018[M].北京:中国建筑工业出版社,2018:132-135.

[3] 侯余波,王继伟,戎向阳.青岛胶东国际机场 T1 航站楼[J].暖通空调,2020,50(9):12-13,71.

[4] 杨玲,戎向阳,路越,等.成都天府国际机场 T1,T2 航站楼[J].暖通空调,2020,50(9):14-15.

[5] 杨玲,熊帝战,张立文.基于全系统整体节能原则的系统构建方法在某大型能源站中的应用[J].暖通空调,2023,53(3):48-53.

[6] 侯余波,戎向阳,康宁.重庆江北国际机场 T3A 航站楼[J].暖通空调,2020,50(9):6-7.

[7] 林琳,刘效辰,张涛,等.航站楼等高大空间建筑渗风测试计算方法研究[J].建筑科学,2018,34(4):10-18.

[8] LIU X C, ZHANG T, LIU X H, et al. Energy saving potential for space heating in Chinese airport terminals:The impact of air infiltration[J]. Energy, 2021,215:119175.

[9] 刘效辰,张涛,梁媚,等.高大空间建筑冬季渗透风研究现状与能耗影响[J].暖通空调,2019,49(8):92-99.

[10] LIU X C, LIU X H, ZHANG T, et al. Influence of air-conditioning systems on buoyancy driven air infiltration in large space buildings: A case study of a railway station [J]. Energy Buildings, 2021,210:109781.

[11] GB 50189-2015,公共建筑节能设计标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2015.

[12] T/CECA 20042-2024,公共交通建筑能耗标准[S].北京:中国建筑工业出版社,2024.