



信息通告

中国民用航空局机场司

编 号：IB-CA-2017-01

下发日期：2017年11月3日

民用机场航站楼绿色性能 调研测试报告

目 录

民用机场航站楼绿色性能调研测试报告.....	1
附件：民用机场航站楼绿色性能调研结果详细分析报告...	8

民用机场航站楼绿色性能调研测试报告

2014年6月，民航局机场司向北京新机场建设指挥部下达了《绿色航站楼标准》的编制任务。根据编制需要，同时为解决民用机场航站楼能耗和室内环境等方面的绿色性能¹基础数据缺失的问题，2014年7月24日，民航局机场司下发《关于对航站楼绿色指标进行调研和测试的通知》，由北京新机场建设指挥部牵头，清华大学建筑学院具体实施，北京中企卓创科技发展有限公司参与，组织成立航站楼绿色性能调研测试工作组（以下简称工作组），对我国不同气候区域典型航站楼的能源系统运行现状和室内环境品质进行调研，并对部分区域典型航站楼进行实地的空调系统能效测试。

在有关各方的大力支持下，工作组先后投入150余人次，持续工作两年多时间，完成了国内22个典型机场航站楼的函调和不同气候区域7个大型机场航站楼实地测试和调研，内容涉及航站楼的建筑规模、功能区布局、空调末端形式、客流量、能源供应系统、运行能耗、设备系统、运行策略，以及室内环境和旅客满意度等方面，共获得606个室内环境布点一年多的历史数据，约700万条环境数据记录及4500份旅客满意度调查问卷。

实地测试和调研的7个机场是北京首都机场（寒冷地区）、

¹《绿色航站楼标准》（MH/T 5033-2017）指出，绿色航站楼是在全寿命期内，最大限度地节约资源（节能、节地、节水、节材）、保护环境、减少污染，满足适用、高效、便捷、人性化要求的航站楼。据此，航站楼绿色性能主要包含节地、节能、节水、节材、环保、运行高效、服务品质等。

上海虹桥机场（夏热冬冷地区）、深圳宝安机场（夏热冬暖地区）、昆明长水机场（温和地区）、武汉天河机场（夏热冬冷地区）、重庆机场（夏热冬冷地区）和哈尔滨太平机场（严寒地区）。

工作组基于调研测试获得的资料和数据，分析总结了航站楼运行能耗特征和室内环境品质特征，建立了机场航站楼绿色性能数据库，相关成果对于《绿色航站楼标准》（MH/T 5033-2017）的编制，对各地绿色机场和航站楼规划设计运营都具有一定的指导意义和参考价值。

一、主要发现

（一）大部分航站楼未配置用能分项计量系统，不利于节能减排的精细化管理。

航站楼用能系统包括空调系统、照明系统、电梯系统、行李传送系统、商铺、屏显系统等。对航站楼各分项能耗进行单独计量不仅可以实时采集航站楼详细的分项计量，还可以分析诊断设备运行状况，挖掘运行节能潜力，十分利于管理节能和行为节能。

《公共机构节能条例》（国务院令 第 531 号）第 14 条明确指出：公共机构应当实行能源消费计量制度，区分用能种类，用能系统实行能源消费分户、分类、分项计量，并对能源消耗状况实行监测，及时发现、纠正用能浪费现象。住房和城乡建设部推出建科

〔2008〕114 号文附件 3《国家机关办公建筑和大型公共建筑能耗监测系统——楼宇分项计量设计安装技术导则》，对电能分项计量的分类、设计、安装、验收等进行了规范。各地政府也出台了细化要求，进一步明确提出对主要用电设施分项计量，对办公

楼、商场、宿舍等应计量到经济核算单元。但在本次调研机场中，有超过 75%的航站楼未安装用能分项计量系统，缺乏对各项能耗的长期精确监测，不利于运行节能和精细化管理，航站楼能耗分项计量工作急需改进。

（二）各机场航站楼总体节能潜力较大。

各机场航站楼运行能耗指标存在较大差异，与气候特征、航站楼规模和能源结构存在一定关联性。在所调研航站楼中，考虑冬季供暖能耗，各气候区航站楼单位建筑面积能耗大小排序为：严寒地区大于寒冷地区大于夏热冬冷地区大于夏热冬暖地区大于温和地区。对于航站楼电能部分（包含航站楼自身电耗和为航站楼供冷供热所配套的能源站电耗），航站楼单位建筑面积年电耗区间为 129~281kWh/(m²·a)，均值为 180kWh/(m²·a)；单位旅客电耗为 0.79-3.15kWh/人，均值为 1.90kWh/人。各气候区均值为：

- 严寒地区：152kWh/(m²·a)，1.68kWh/人；
- 寒冷地区：192kWh/(m²·a)，1.92kWh/人；
- 温和地区：148kWh/(m²·a)，1.90kWh/人；
- 夏热冬冷地区：175kWh/(m²·a)，1.93kWh/人；
- 夏热冬暖地区：236kWh/(m²·a)，2.04kWh/人。

无论是单位建筑面积年电耗还是单位旅客电耗，夏热冬暖地区最高，严寒地区最低。对于年旅客量达到 1000 万人次以上的航站楼，单位旅客电耗指标与旅客量呈现正相关。对比相同气候区相近旅客量航站楼单位平米能耗和单位旅客运行能耗，最大值约为平均值的 50%甚至 1 倍以上，同时也显著高于同一城市的商场运行能耗水平，节能潜力较大。

（三）航站楼玻璃幕墙比例过大，空调系统设计与室内冷热需求不匹配，末端容量不足、源侧容量过大。

由于新建航站楼立面基本为全玻璃幕墙，调研时发现候机区旅客夏季对太阳辐射导致的热舒适抱怨较多。而对应的空调箱与冷却塔最热月使用率基本在 70%以上，个别机场航站楼使用率已达到 100%，这说明大面积玻璃幕墙区的空调末端设计应考虑太阳辐射的影响，适当增大末端供冷容量。与之相对的是，供冷能源动力中心的冷机、冷冻泵和冷却泵最热月使用率总体偏低，调研均值分别为 52.3%、33.5%和 45.5%。在大玻璃幕墙航站楼较为普遍的情况下，要重视源侧容量过大和末端容量选择不足、同时影响系统能效和旅客满意度的问题。

（四）航站楼热舒适和光环境达标率总体良好，但也存在较为明显的改进空间。

1、航站楼热环境全年达标率较高，但缺乏对不同区域热舒适的差别控制，影响了旅客满意度。调研发现，航站楼公共区域温湿度在 80%控制时段内可达到民用建筑室内热环境设计标准舒适度 II 级要求，但不同区域达标率差别较大。旅客长期停留区域（例如候机区）存在夏季过热、冬季过冷问题，而旅客短期停留区域（例如到达、行李和迎客区域）却往往出现夏季过冷、冬季过热的现象。此外，大面积玻璃幕墙对应室内区域夏季热舒适情况较差，实测发现太阳直射区域平均辐射温度比空气温度高 3~5℃，极端情况可达到 10℃以上，是旅客抱怨的主要原因之一。

2、总体看旅客对航站楼日间采光和夜间照明效果满意度较高，但存在运行优化空间。新建航站楼日间大部分区域天然采光

照度值可达到 300~500lx，已显著高于国家相关标准要求。夜间公共区照度远低于室内环境设计标准要求的 200lx，但因按夜间行走标识进行照度设计，便捷性较好，反而没有旅客抱怨。

（五）航站楼无组织渗风和空调送风短路等气流组织问题值得重视。

由于航站楼频繁开启大门较多，无组织渗风较为严重，影响冬夏季节航站楼室内热舒适，也不利于节能。冬季主要发生在到达层、出发层大门及廊桥区域，冬季室温偏低个别航站楼登机口冬季室温甚至低于 14℃。夏季无组织渗风也会带来室内环境参数无法控制达标、湿度过大等问题。此外，部分航站楼公共区域存在夏季“气流死区”，甚至出现送回风短路现象，导致了旅客抱怨和运行能源浪费。

（六）航站楼公共区域新风量供应充足，室内 CO₂浓度基本符合国家标准规定。

调研发现，不少新建航站楼在供冷季新风机组不开的条件下，室内 CO₂浓度也基本能低于国家标准规定的限值（1000ppm）。这表明这些新建航站楼由于无组织渗风，新风量供应充足。因此建议运行中以 CO₂浓度作为一个实时监测和反馈指标，用于优化新风系统运行、合理控制无组织渗风，实现运行节能且改善室内舒适度。但调研中也发现，对于老航站楼存在冬季 CO₂浓度偏高（达到 1500ppm 以上）、新风量供应不足的情况，受到了旅客一定程度抱怨。

（七）服务的便携性对旅客整体满意度的影响最为显著。

问卷调查结果表明，旅客最关心的服务品质因素为公用设施

便捷性、空气品质和温度。对于航站楼美观性、购物便捷性和空间感受，旅客的关心程度较低。热环境、空间开阔性（室内净高）的改善对于提升旅客满意度的贡献不显著。旅客抱怨的噪声来源主要是室内交谈声，飞机噪声影响较小。因此，机场可重点从提升服务便携性的角度提升旅客的整体满意度。

二、主要建议

为促进航站楼运行节能和提升旅客满意度，体现绿色环保理念，工作组提出的主要建议如下：

（一）统一航站楼能耗数据统计口径，明确航站楼的供暖空调、行李输送、廊桥、室内照明、电梯和租户能耗需独立计量，落实完善各机场用能分项计量系统，加快建立完善各自的机场用能监测分析平台。将能耗数据作为机场年度报告的必要内容，形成用能检查与节能绩效考核的长效机制。

（二）完善民用机场航站楼能效评价，进一步研究细化不同气候区、不同吞吐量航站楼设计和运行能耗指标。年吞吐量达1000 万以上的机场，应当制定航站楼能耗控制指标红线，鼓励开展节能试点工作。

（三）落实中央城市工作会议精神和新时期建筑方针，以《绿色航站楼标准》（MH/T 5033-2017）为依据，强化对航站楼建筑规模和高度的控制。

（四）严格控制航站楼玻璃幕墙和透明天窗比例，重视天窗和西、南透光区域的遮阳设计和空调供冷末端系统设计，推广辐射空调末端方式，改善航站楼夏季太阳辐射区旅客室内舒适性。

（五）重视航站楼无组织渗风问题，以 CO₂ 浓度为监控指标，

优化新风系统运行节能；严寒和寒冷地区航站楼出入口应合理设置错开门或加装风幕。

（六）重视航站楼设施便捷性和流程便携性的设计和管理，提升便捷服务水平。重视航站楼内声混响控制，建议开展专项声学设计，保证广播清晰度。

（七）区分旅客长时间停留和短期旅客滞留区，优化热环境、光环境设计参数和运行策略。推广航站楼室内环境监测与反馈系统，提高环境信息透明度，减少信息不对称性所带来的旅客抱怨问题的产生，逐步建立航站楼能耗、环境品质和旅客满意度的运行管理大数据系统。

附件：

民用机场航站楼绿色性能调研结果详细分析报告

1 基本信息

本次函调涉及全国 43 个航站楼，调研内容包括各航站楼建筑信息、空调采暖系统和照明设备形式、运行能耗、旅客吞吐量、能源站设计等信息，共得到 22 个机场航站楼的信息反馈。航站楼基本情况为：

1、按照所在气候区划分：严寒地区 4 个，寒冷地区 5 个，温和地区 3 个，夏热冬冷地区 7 个，夏热冬暖地区 3 个；

2、按照 2013 年²旅客吞吐量统计：客流量在 1000 万以上（含 1000 万）的 15 个，1000 万下的 7 个，500 万以下的 2 个，2000 万以上的 8 个；

3、按照建筑面积分布：分布区间为 3 万 m²~98 万 m²。

与此同时，实地调研与测试了不同气候区 7 个机场共 9 个航站楼室内环境现状和旅客满意度评价，数据采集时间为：

- 1、北京首都机场：2014 年 4 月-2016 年 7 月；
- 2、上海虹桥机场：2014 年 8 月-2015 年 1 月；
- 3、深圳宝安机场：2014 年 8 月-2016 年 7 月；
- 4、昆明长水机场：2014 年 8 月-2016 年 7 月；

²函调在 2014 年 7 月开展，其中能耗和吞吐量要求各机场分别提供 2012 年、2013 年和 2014 年的数据，由于各机场反馈的数据为 2013 年的最全面，除个别新建机场因投入运营时间晚采用 2014 年的数据外，其他机场的吞吐量和能耗数据均来源于 2013 年的数据。

- 5、重庆江北机场：2014年8月-2016年1月；
- 6、武汉天河机场：2014年8月-2016年1月；
- 7、哈尔滨太平机场：2014年12月-2016年1月。

其中，室内环境测试获得了606个布点的监测数据，约700万条数据记录。数据信息涵盖了影响室内环境品质的主要环境（热环境、光环境、声环境和空气品质）参数，包括温湿度、黑球温度（反映太阳辐射的影响）、照度、噪声、CO₂浓度（反映新风量是否充足）。旅客满意度调研方面，在各航站楼开展了多次调研，约4500位旅客参与问卷填写。评价内容涉及旅客对热环境、光环境、声环境、空气质量、航站楼美观性、空间开阔性、设施和流程的便携性（例如：登机指示、行李运送、登机距离、购物便捷等）等。

2 航站楼能耗调研分析结果

2.1 能耗调研

航站楼能耗包含航站楼总电耗和化石能源消耗。航站楼总电耗组成主要分为两部分：一是航站楼自行计量的建筑电能消耗部分；二是与航站楼配套的能源站电能消耗。航站楼主体的电能消耗包括：空调系统末端（空调箱、风机盘管、辐射地板、送排风机等）、照明系统、电梯系统（扶梯、升降梯等）、行李传送系统、楼内商铺等。能源站电耗包括：空调系统冷冻泵、冷却泵、冷却塔、冷机以及冬季供暖热水泵等。化石能源消耗主要为夏季制冷和冬季供暖用的矿物燃料消耗，包含煤、油和天然气等。

2.1.1 能耗

对于夏季制冷，所调研的航站楼并非都采用电制冷冷机，有部分航站楼采用溴化锂吸收式制冷机组。其中，夏热冬冷地区有3个机场（编号：13、15和17）采用了燃气式吸收机制冷机组，严寒/寒冷地区有2个机场（编号：3和7）采用了燃煤式吸收机制冷机组。对于冬季采暖，除了夏热冬暖地区航站楼没有采暖需求外，其余航站楼都需要在冬季进行采暖，热源大部分是锅炉。其中，采用燃油锅炉的机场有2个，均位于夏热冬冷地区。采用燃气锅炉的机场有7个，主要位于夏热冬冷地区。严寒/寒冷地区主要采用燃煤锅炉。

为便于能耗的标准化比较，依据《综合能耗计算通则》（GB/T 2589-2008），将航站楼总电耗和空调采暖所消耗的化石能源量均转化成等效标煤量进行分析³。

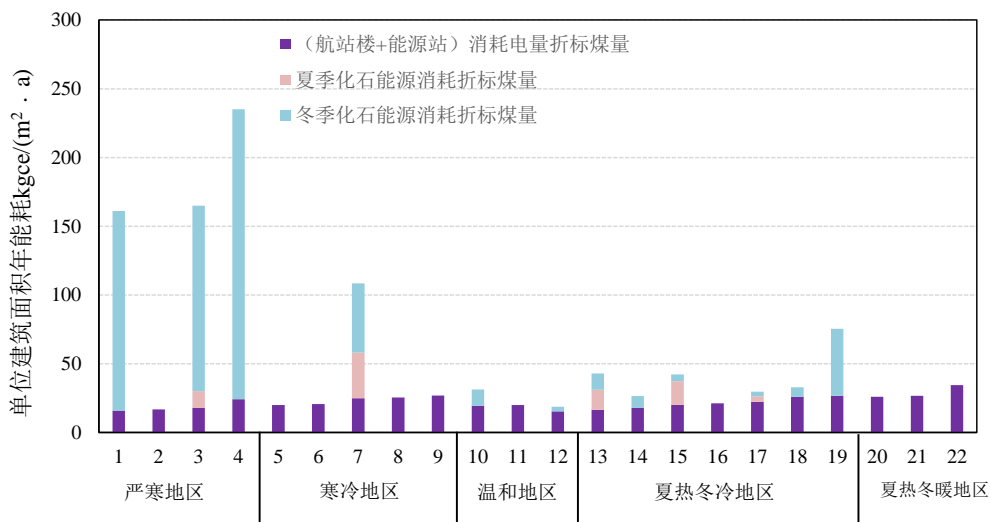


图 2.1 航站楼单位建筑面积年能耗

³由于民航行业内电耗折算采用当量指标系数 0.1229kgce/kW·h，为便于横向比较，此处选取该系数作为核算电耗的标煤耗量。

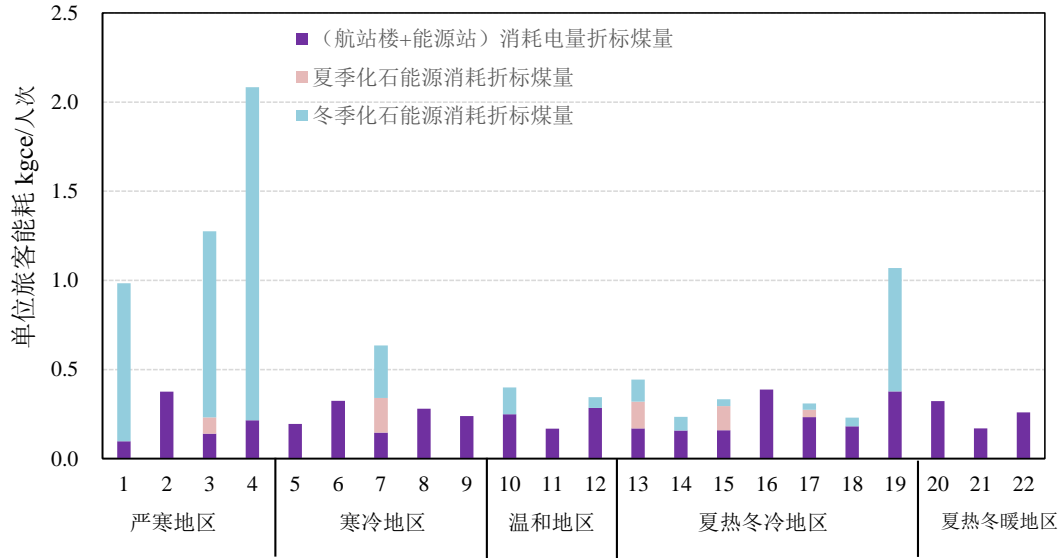


图 2.2 航站楼单位客流量年能耗

不同气候区的航站楼运行能耗差异大，与气候特征关联显著。其中，严寒地区因供暖能耗大，航站楼能耗明显高于其他地区，单位航站楼建筑面积年能耗达 $161\sim 235\text{kgce}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ ，单位旅客能耗达 $1.0\sim 2.1\text{kgce}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 。对于寒冷地区，仅有 1 个机场航站楼（编号 7）提供了供暖能耗数据，该航站楼能耗为 $108\text{kgce}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 和 $0.6\text{kgce}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 。温和地区、夏热冬冷地区和夏热冬暖地区机场航站楼能源消耗主要以电耗为主，除了编号为 19 的航站楼外，其它航站楼能源消耗量基本在 $20\sim 40\text{kgce}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 和 $0.1\sim 0.3\text{kgce}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ 之间。各气候区航站楼单位建筑面积年能耗大小排序为：严寒地区、寒冷地区、夏热冬冷地区、夏热冬暖地区、温和地区。各气候区航站楼单位旅客能耗大小排序为：严寒地区、寒冷地区、夏热冬冷地区、温和地区、夏热冬暖地区。

2.1.2 电耗

图 2.3 给出了调研航站楼单位建筑面积的全年总电耗情况。

可以看出，楼内电耗所占比例约为 72%，能源站电耗所占比例约为 28%。各航站楼总电耗分布区间较广，为 129–281kWh/(m²·a) 之间，平均值约为 180kWh/(m²·a)。此外，各气候区之间差异也比较悬殊，其中，夏热冬暖地区因受气候影响，供冷时间长，电耗显著较高（所调研的三个航站楼的均值约为 236kWh/(m²·a)。其他气候地区的单位建筑面积年总电耗指标均值分别为夏热冬冷地区 175kWh/(m²·a)、温和地区、148kWh/(m²·a)、寒冷地区 192kWh/(m²·a) 以及严寒地区 152 kWh/ (m²·a)。

若按照单位客流量年电耗来分析（图 2.4），可以看出，我国航站楼单位旅客年总电耗为 0.79–3.15kWh/人次之间，平均值约为 1.90kWh/人次，除严寒地区明显较低外，各气候区之间差异不大。然而，对于年旅客量达到 1000 万人次以上的航站楼，单位建筑面积年电耗指标与旅客量呈现出一定的正相关性。

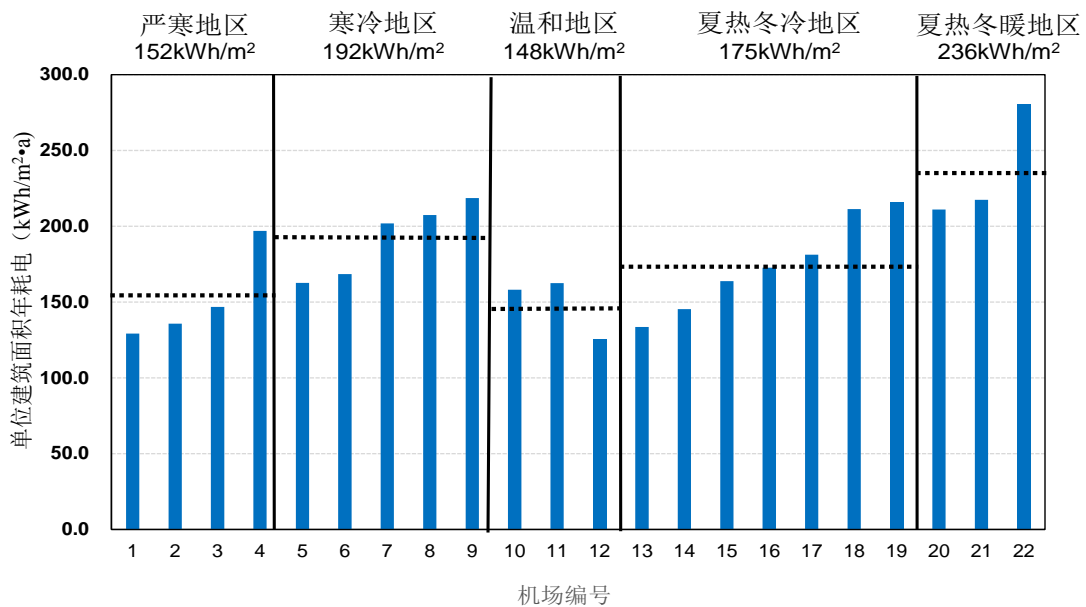


图 2.3 航站楼单位建筑面积年总电耗

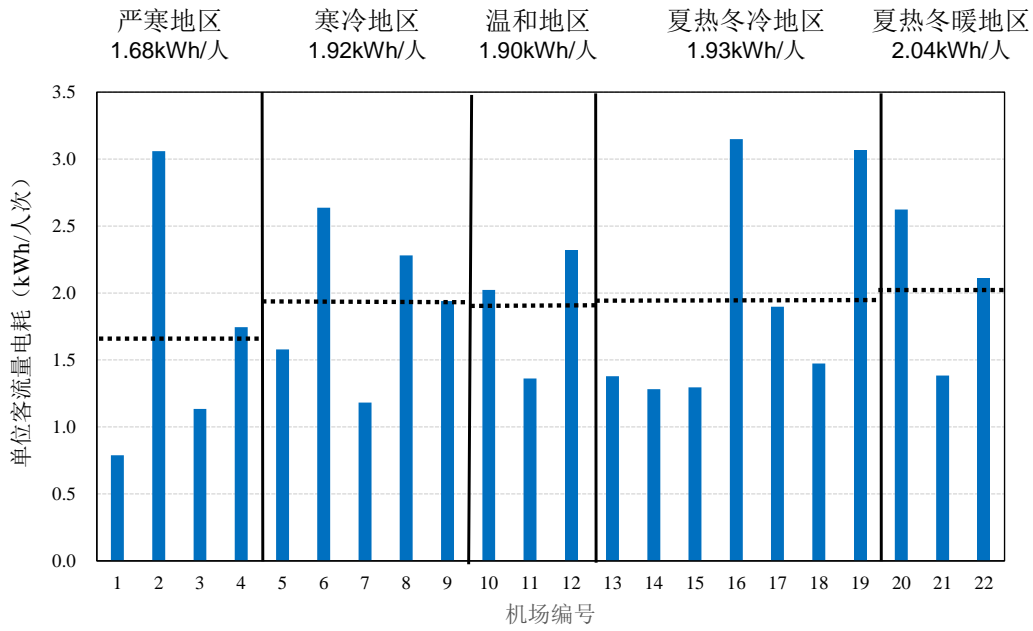


图 2.4 航站楼单位旅客年总电耗

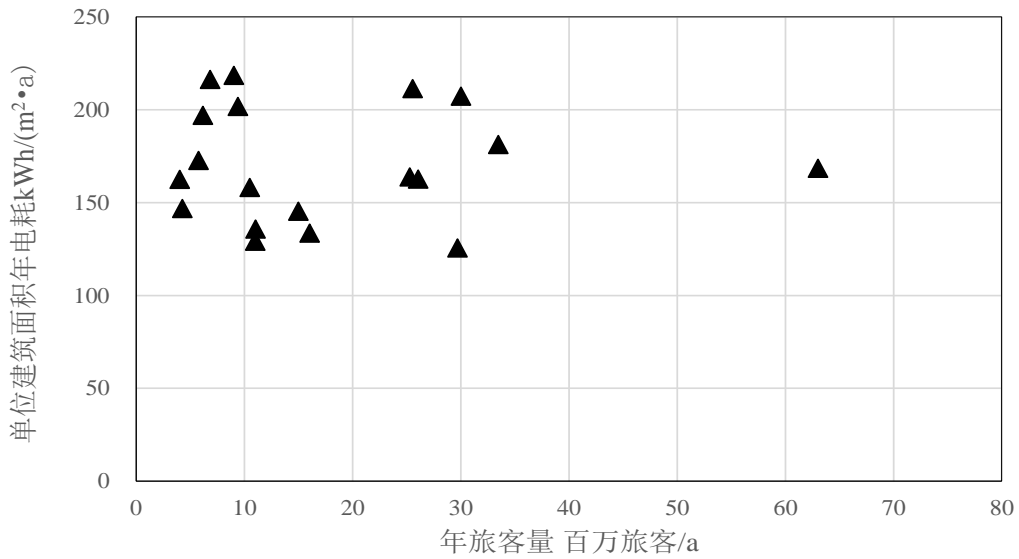


图 2.5 单位旅客年耗电量与年旅客吞吐量的关系

与《民用机场航站楼能效评价指南》（MH/T 5112-2016）进行比较发现，调研机场甲类航站楼楼内电耗指标基本上低于约束值，乙类航站楼楼内电耗指标接近或高于约束值。

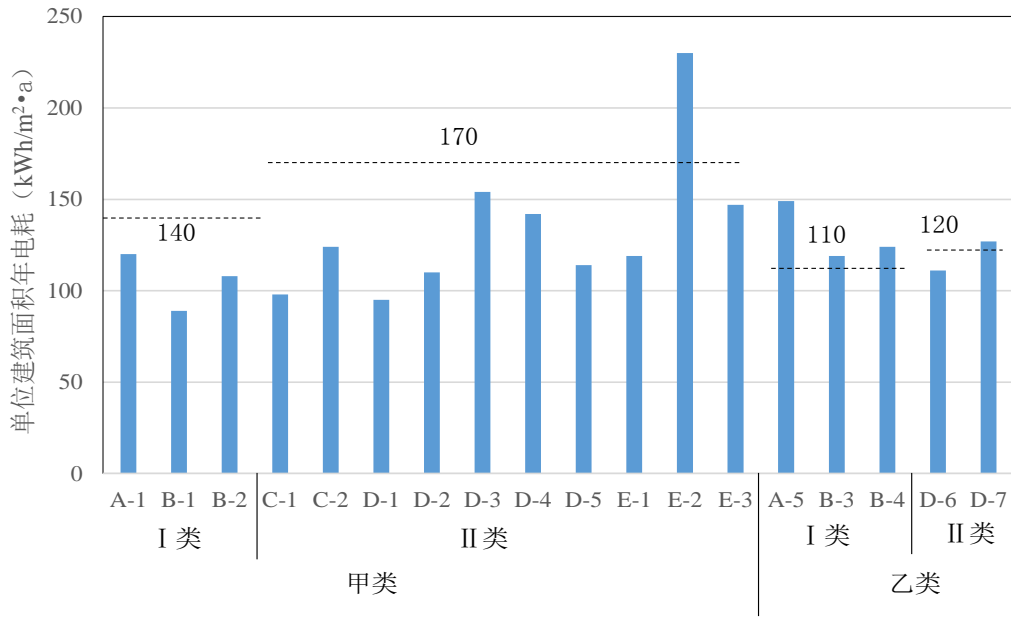


图 2.6 单位建筑面积年电耗与《民用机场航站楼能效评价指南》对比⁴

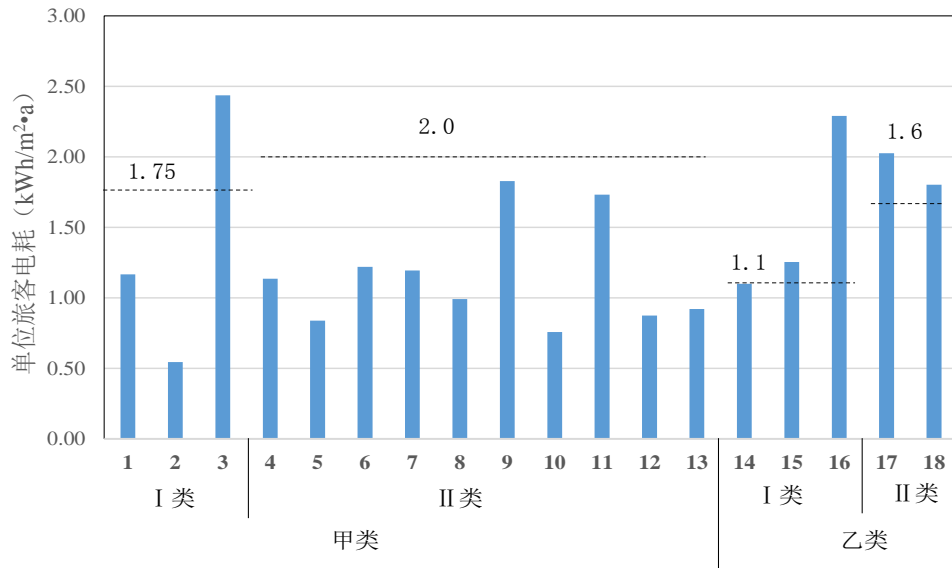


图 2.7 单位旅客电耗与《民用机场航站楼能效评价指南》对比

2.1.3 分项电耗

图 2.8 为我国约 30 个航站楼的分项实际电耗情况统计。主

⁴图中“甲类”指的是年客流量大于 1000 万的航站楼，“乙类”指的是年客流量在 50~1000 万之间的航站楼；“I 类”指的是气候区为严寒或寒冷地区的航站楼，“II 类”指的是气候区为其他气候分区的航站楼。

要结论如下：

(1) 空调箱、冷机、照明和商铺电耗是分项电耗中占比最高的前四位。其中，空调箱电耗高，主要集中在 34.9–58.4kWh/(m²·a) 之间，占比约为 17.8–33.7%。冷机电耗（不考虑吸收机）位居第二，为 20.8–49.6kWh/(m²·a)，占比约为 14.5–24.6%。照明电耗位居第三，为 23.4–30.7kWh/(m²·a)，占比约为 12.9–19.5%。商铺电耗位居第四，为 11.3–25.2kWh/(m²·a)，占比约为 8.0–12.8%。

(2) 整个空调系统的电耗为 73.4–121.7kWh/(m²·a)，占航站楼总电耗比例约为 41.2–62.9%，是航站楼总电耗的最主要部分。

(3) 对于能源站而言，输配系统的电耗占能源站电耗的 34%。

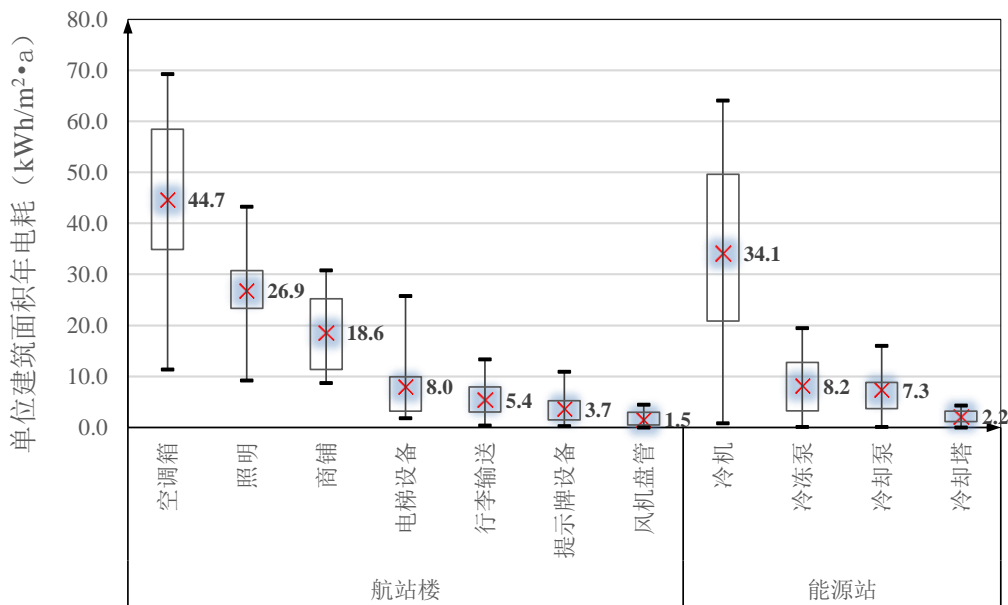


图 2.8 我国航站楼分项电耗情况统计⁵

⁵图中“空调箱”指的是带回风和全新风两类空调箱，即包括新风机组。图中的每一项由五个数⁵⁵

2.2 设备装机容量研究

2.2.1 各项设备实际装机功率

对调研的航站楼和能源站各项主要用能设备在单位建筑面积下的实际装机功率进行了统计，结果如图 2.9 所示。其中，冷机装机功率只对仅使用电制冷的航站楼进行了统计。

主要结论如下：

- (1) 冷机的装机功率最大，平均值为 $22.54\text{W}/\text{m}^2$ ；
- (2) 空调箱次之，装机功率平均值为 $11.05\text{W}/\text{m}^2$ ，由于航站楼主要采用全空气系统，因此末端空调箱风机功耗较大；
- (3) 而后依次是照明设备、冷冻泵、电梯设备、冷却泵和行李系统，其装机功率平均值在 $3.35\text{--}6.65\text{W}/\text{m}^2$ 之间；
- (4) 冷却塔、风机盘管和提示牌的装机功率较小，平均值分别为 $1.18\text{W}/\text{m}^2$ 、 $0.50\text{W}/\text{m}^2$ 和 $0.46\text{W}/\text{m}^2$ 。

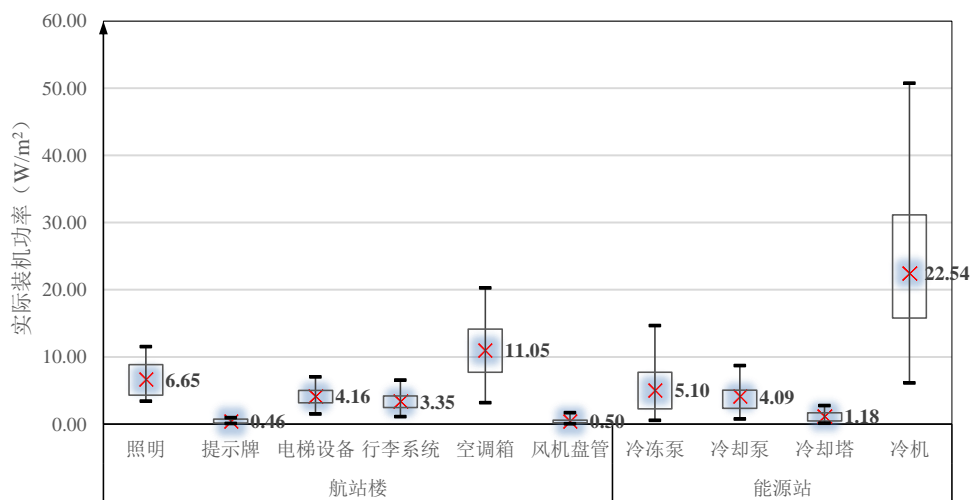


图 2.9 我国航站楼各项设备实际装机功率

⁶ 据点构成，从上到下依次为最大值、较大四分位数、平均数、较小四分位数和最小值。

2.2.2 装机功率与实际电耗的比较

通过对各项设备装机功率的分析，能够得到各项设备装机功率占总功率的比例，再和实际电耗情况进行对比，对二者进行相互验证。

航站楼实际运行电耗与装机功率比较，得到如下主要结论：

(1) 空调箱和照明设备为主要用能设备，在实际运行电耗和装机功率中均占比最大；

(2) 电梯输送、行李输送：实际电耗占比比例小于装机功率占比比例，主要是因为这两种设备在实际使用中为间断使用，非连续运行的；

(3) 空调箱、照明设备：实际电耗占比比例大于装机功率占比比例。

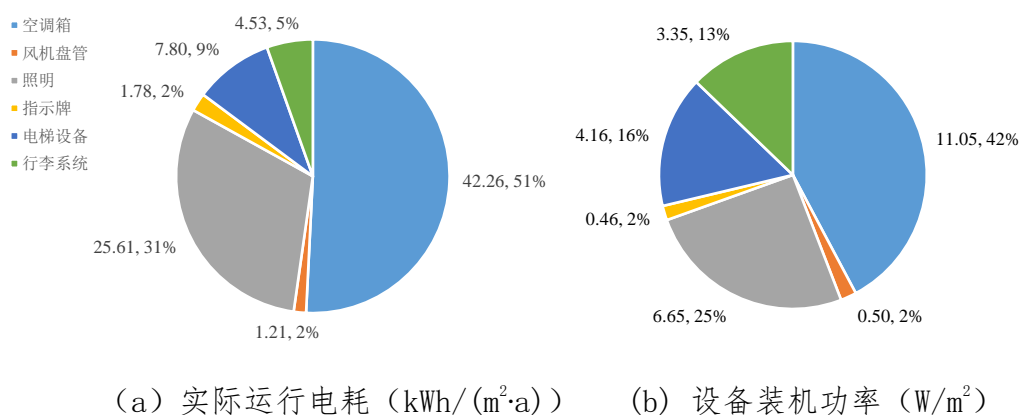
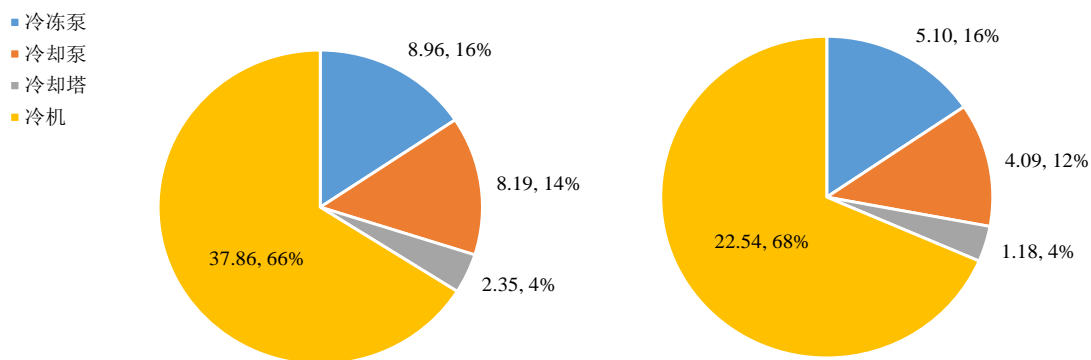


图 2.10 航站楼内各项用能设备实际电耗占比和装机功率占比比较

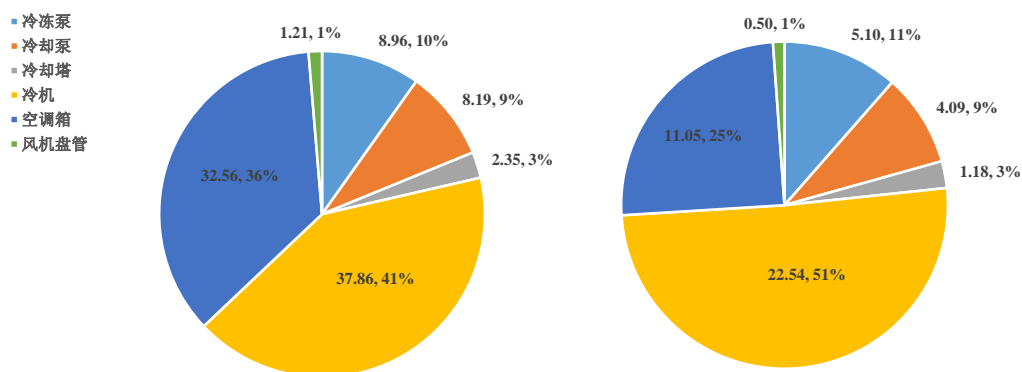
能源站各项设备的实际电耗比例与装机功率比例较为吻合，这是因为能源站的各设备在开启时间上较为统一，而各设备开启数量的比例也相对固定。



(a) 能源站实际运行电耗组成 (kWh/(m²·a)) (b) 能源站设备装机功率组成 (W/m²)

图 2.11 能源站设备实际运行电耗占比与装机功率占比比较

对于夏季空调系统设备，冷机和空调箱所占比例最高，二者之和约占 75%，冷冻泵和冷却泵之和约占 20%，其余为冷却塔和风机盘管。冷站各设备的实际电耗比例小于装机功率比例，而空调箱（末端）的实际电耗比例大于装机功率比例。其原因在于，冷站各设备在设计时均有备用，运行时并非全开；而末端的设计容量没有考虑备用。



(a) 夏季空调系统实际运行电耗组成 (kWh/(m²·a)) (b) 夏季空调系统设备装机功率组成 (W/m²)

图 2.12 夏季空调系统各项设备实际运行电耗占比与装机功率占比比较

2.2.3 空调系统各项设备最热月实际使用率

作为航站楼总电耗的主要组成部分，空调系统的电耗往往是

被重点关注的。空调系统的各项设备，在最热月的使用率是最高的。根据调研航站楼所提供的实际电耗数据和设备开启时长，折算出各项设备在最热月的平均使用功率，并且得到各设备在最高峰负荷情况下的使用率，如图 2.13 所示。主要结论：

(1) 空调箱与冷却塔的使用率较高，均值在 70%以上，说明其装机功率与实际的负荷情况较为匹配。个别航站楼的空调箱或冷却塔最热月平均使用率达到了约 100%，可见该航站楼空调箱或冷却塔在最热月几乎是全开运行的状态。该情况需要结合室内环境（温、湿度）或冷机运行状况（冷却水水温）的实测情况，以诊断其是否存在空调末端能力不足导致室内偏热或是冷却塔台数过少导致冷却水温度无法下降，进而影响冷机运行的情况。

(2) 冷冻泵和冷却泵的使用率较低，均值分别为 33.5%和 45.5%，这是因为大部分能源站都设置了备用泵。倘若其最热月使用率低于 30%，则需要考虑设计上是否存在设备选型过大或者是负荷计算过大的问题。

(3) 冷机的使用率偏低，均值约为 52.3%。说明各航站楼普遍存在冷机设备选型过大或者是负荷计算过大的问题。

以温和地区航站楼为例，由于气候条件的影响，夏季冷负荷较小，而由于室外空气温度较低，因此过渡季甚至是夏季采用全新风的运行策略的情况可能较多，所以在设计时，要合理地负对荷进行计算、科学地对设备进行选型，尤其注意要避免将冷机、冷冻泵和冷却泵选型过大，或是将末端空调箱选型过小。从图

2.13 的数据来看，该地区 B1 航站楼冷机、冷冻泵和冷却泵在最热月的使用率均在 12.0%左右，设备选型过大，造成了不必要的浪费；而空调箱是全开运行的状态，很可能存在末端能力不足而导致室内环境不达标的情况。

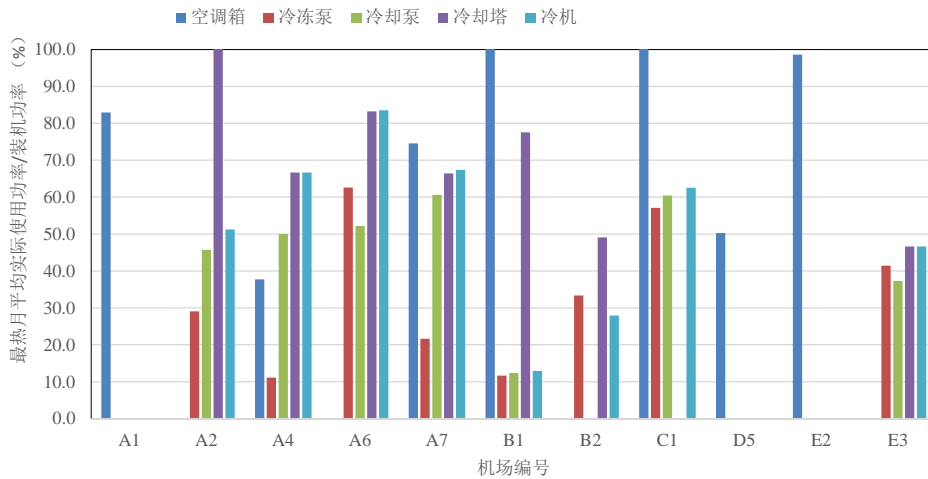


图 2.13 各机场空调系统各项设备最热月实际使用率⁶

3 航站楼室内服务环境品质实测结果

3.1 室内环境质量测试

3.1.1 热环境

3.1.1.1 设计标准

《民用建筑供暖通风与空调设计规范》（GB 50736-2012）（下称规范）对长期逗留区域空气调节室内参数分舒适度等级进行了规定，如表 3.1 所示。对于短期逗留区域空气调节室内计算参数，可在长期逗留区域参数基础上适当放低：夏季空调室内计

⁶没有数据的项是因为该航站楼未能提供电耗数据或装机容量，红色数字对应的航站楼采用了溴化锂吸收式制冷机组。

算温度宜在长期逗留区域基础上提高 2℃，冬季空调会内计算温度宜在长期逗留区域基础上降低 2℃。

表 3.1 长期逗留区域空气调节室内参数

参数	舒适度等级	温度(℃)	相对湿度(%)	风速(m/s)
冬季	I 级	22-24	30-60	≤0.2
	II 级	18-21	≤60	
夏季	I 级	24-26	40-70	≤0.25
	II 级	27-28		

表 3.2 为我国部分既有航站楼室内温湿度设计

航站楼 编号	房间功能	夏季		冬季	
		干球温度 /℃	相对湿 度/%	干球温度 /℃	相对湿 度/%
1	值机大厅	26	50	20	30
	到港大厅	26	50	20	30
	安检大厅	26	50	20	30
	候机室	26	50	20	30
	公共区域	26	50	20	30
	行李提取	26	50	20	30
2	值机大厅	26	55	20	-
	到港大厅	26	55	20	-
	安检大厅	26	55	20	-
	候机室	26	55	20	-
	公共区域	26	55	20	-
	行李提取	26	55	20	-
3	值机大厅	25	55-60	20	30
	到港大厅	25	55-60	20	30
	安检大厅	24	55-60	22	30
	候机室	24	55-60	22	30
	公共区域	25	55-60	22	30
	行李提取	25	55-60	22	30
4	值机大厅	25	55	20	40
	到港大厅	25	55	20	40
	安检大厅	25	55	20	40
	候机室	25	55	20	40
	公共区域	25	55	20	40
	行李提取	25	55	20	40

表 3.2 为我国部分既有航站楼室内温湿度设计。可以看出，

我国航站楼夏季室内设计参数主要按照规范 I 级舒适度等级进行设计，集中在 24-26℃、50-65%RH 之间，冬季按照规范 II 级舒适度等级进行设计，主要集中在 20℃、30-40%RH 之间。对于旅客长期停留区域（如候机室）和短期停留区域（如到港大厅、行李提取等）的设计要求无显著差异。

3.1.1.2 温湿度

图 3.1 和图 3.2 显示了实测的各机场航站楼的室内空气温湿度水平。在夏季，各航站楼室内空气温湿度比设计的 I 级舒适度等级的温度（24~26℃）要偏高，舒适度等级 II 级以上达标率（温度 24~28℃，湿度 40~70%）约 70%。在冬季，各航站楼室内空气温湿度基本能够达到舒适度等级 II 级设计以上标准，达标率（温度 18~24℃，湿度小于等于 60）约 75%。简言之，各航站楼冬夏季室内温湿度普遍存在偏热的情况，部分时段的温度高于标准 3~5℃，可能的原因是航站楼大多采用大面积玻璃幕墙的结构特点，夏季室内的太阳辐射得热量大，导致空调冷负荷剧烈增加，空调末端难以及时处理，从而室温升高；也有可能是末端供应不足所致；而在冬季，白天透过玻璃幕墙照射到室内的太阳辐射可以抵消一部分的空调热负荷，而空调末端按照无太阳辐射得热的设计负荷进行供热，则会导致过量供热，室温偏高。此外，良好的运维管理水平对于舒适环境的营造也息息相关。

此外发现，对于旅客逗留时间较短的迎客区和行李提取区域，室内空气温湿度冬季过热、夏季过冷的现象比较明显。实际上，旅客在这些区域只是短暂停留，温湿度控制可适当放宽，既

满足旅客的基本舒适需求，又可节约空调采暖系统的运行能耗。

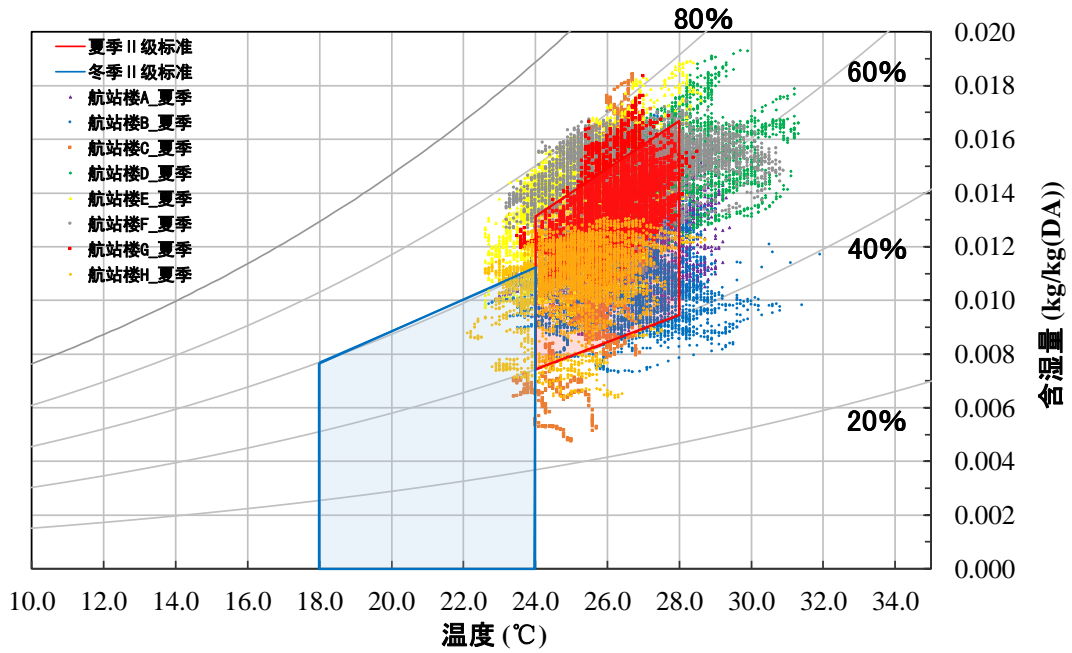


图3.1 各机场航站楼夏季室内温湿度

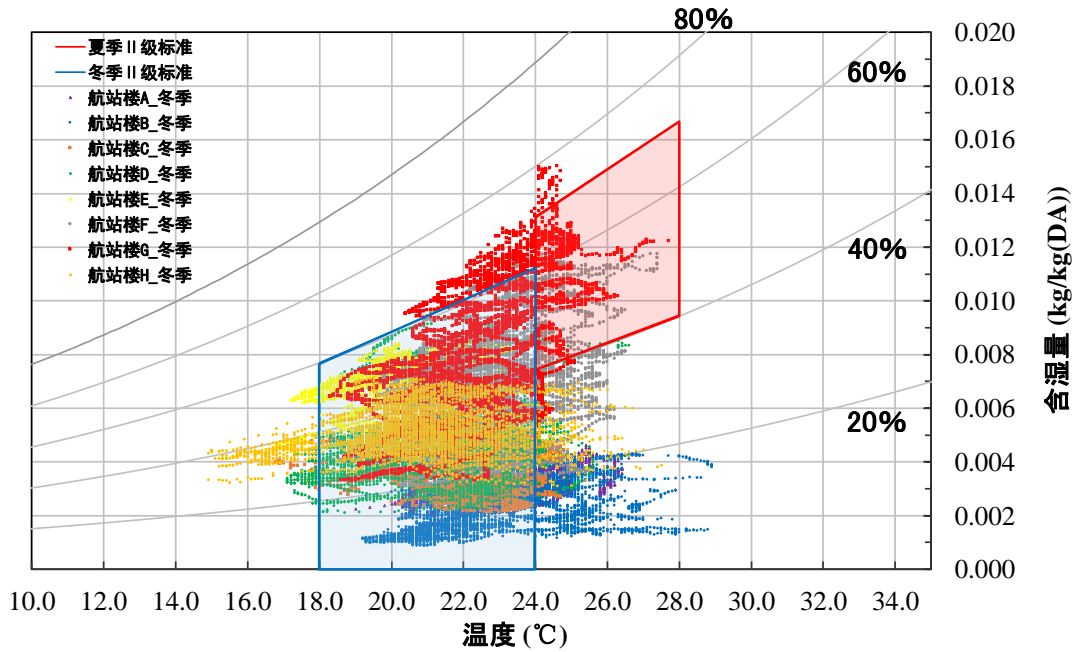


图3.2 各机场航站楼冬季室内温湿度

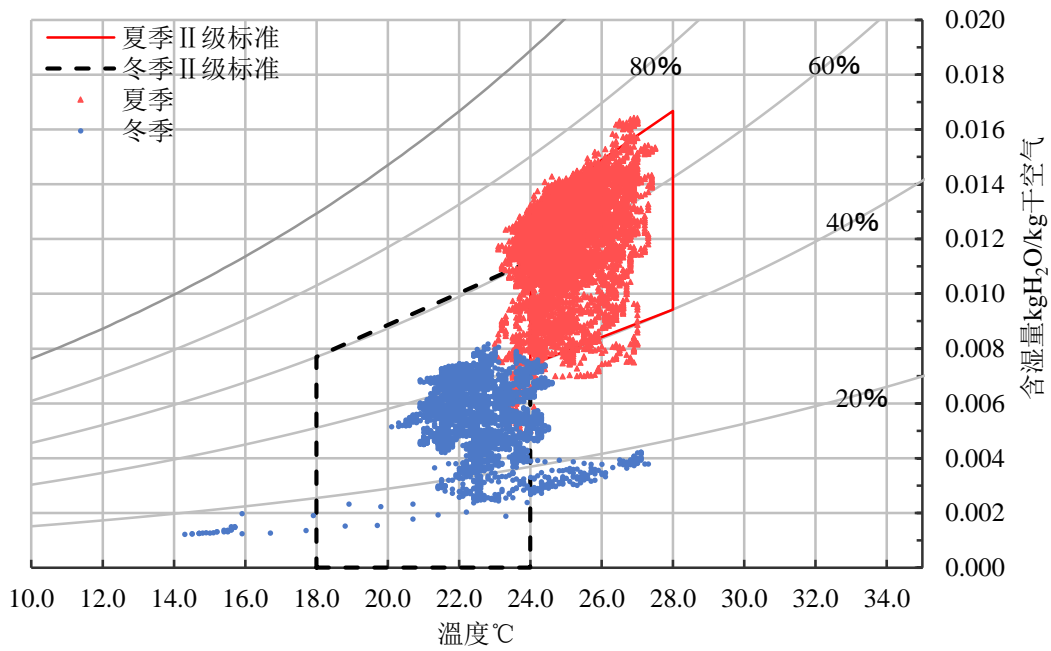


图3.3 某北方城市机场航站楼行李区冬夏季温湿度分布

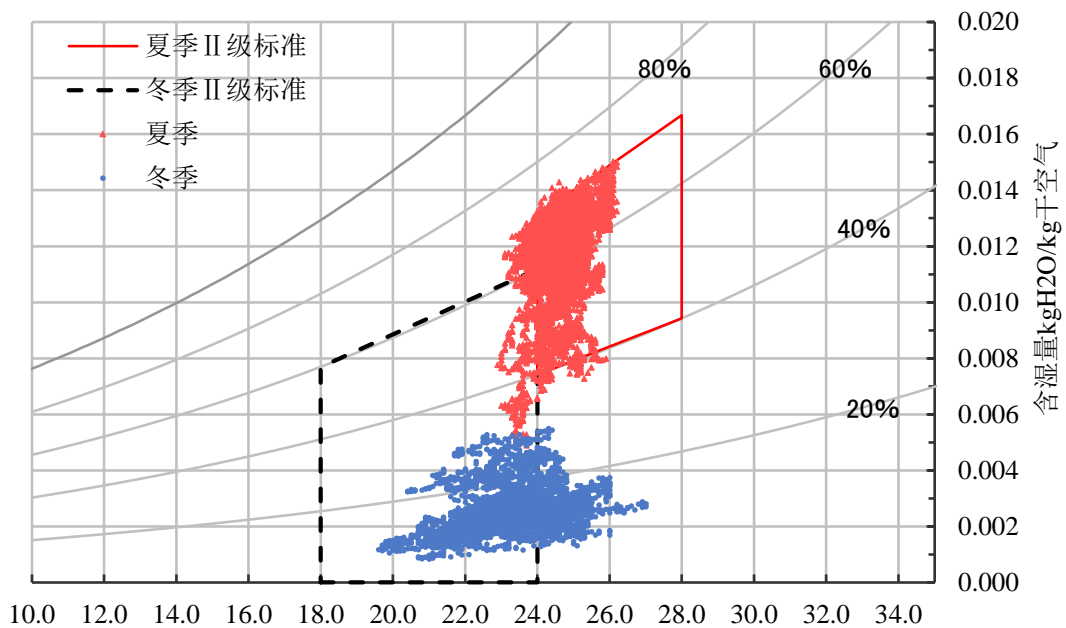


图3.4 某北方城市机场航站楼迎客区冬夏季温湿度分布

3.1.1.3 黑球温度

航站楼大范围采用玻璃幕墙透明围护结构，倘若未进行有效的遮阳设计，会有大量辐射热透过玻璃幕墙进入室内，会极大的

影响旅客的热舒适。实测发现，部分机场航站楼室内太阳辐照区域平均黑球温度比空气温度高 3~5℃，极端情况差异甚至可达到 10℃。比较发现，辐射区域的空气温度比非太阳辐射区域空气温度平均能高达 1.5℃左右，依据热舒适模型，旅客在同样的穿着条件和活动水平条件下，在太阳辐射区域的舒适度会比非太阳辐射区域的差一个等级。因此，在航站楼的设计中需要着重考虑辐射对旅客热舒适造成的影响。图 3.5 为某机场航站楼室内黑球温度和空气温度的对比值。

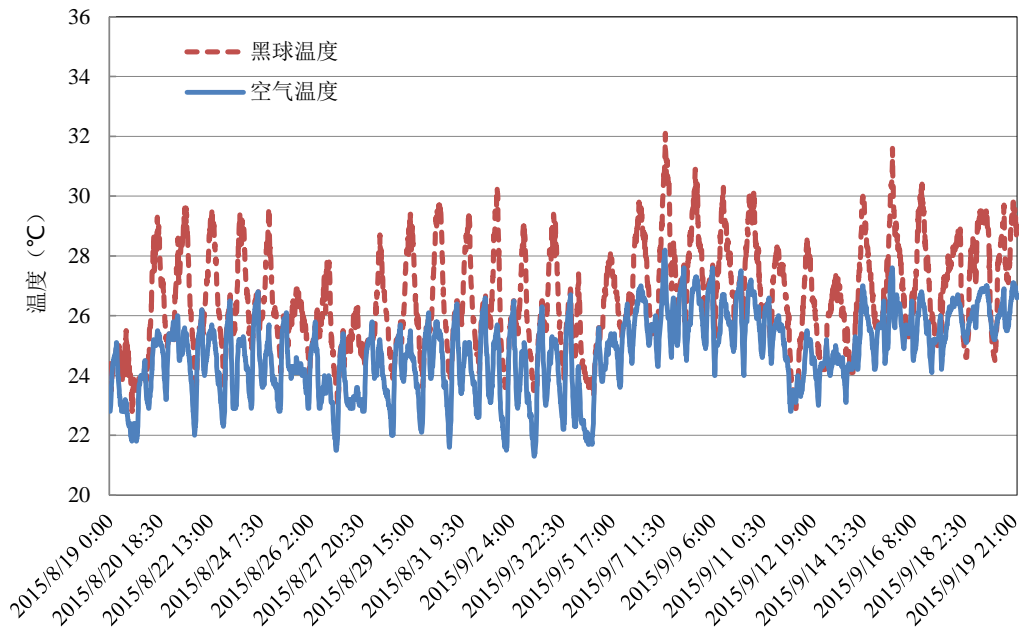


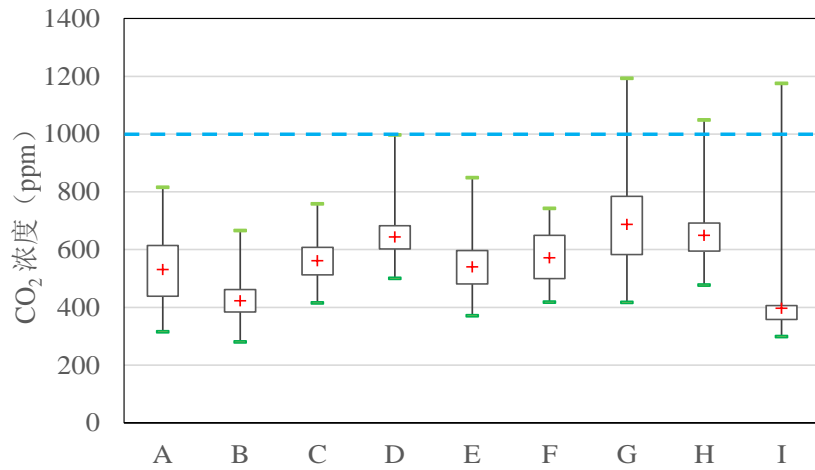
图 3.5 某机场航站楼候机厅内黑球温度与空气温度比较

3.1.2 CO₂浓度

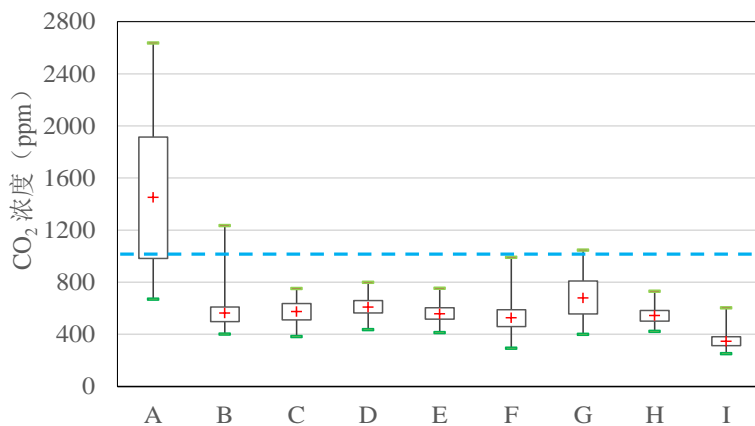
良好的通风换气是提高室内空气品质的有效保证。通常，可通过监测 CO₂浓度的方式进行新风需求控制，并且，CO₂浓度监控和新风系统的联动，可以有效地降低新风系统能耗。

绝大多数时间，室内 CO₂浓度都低于 1000ppm，满足标准要

求。但实际调研也发现，在夏季和冬季，为了减少空调负荷保证室内温度的舒适性，新风阀往往是处于关闭状态。而在高密度人员流动情况下，航站楼仍能维持较好的 CO₂ 浓度，与航站楼内存在大量无组织渗风息息相关。从航站楼出入口风量测试证实了这一现象，并且发现，底层的渗风尤其严重。渗风不仅会影响室内的舒适性，而且在室外空气质量不佳（如雾霾天）的情况下，由于未经过过滤装置而直接渗入室内，会对室内的空气质量带来不利影响，应引起重视。



(a) 值机厅



(b) 候机厅

图 3.6 各机场航站楼出发层 CO₂ 浓度分布

3.1.3 光环境

由于室外背景照度的变化以及不同区域采光设计的差异，各航站楼室内工作面的天然采光照度波动均较为剧烈，例如航站楼 F 的室内天然采光照度最小值为 244lx，照度最大值却高达 1300lx。但各机场之间的天然采光照度的平均水平相差不大，位于 300~500lx 之间，符合标准要求。

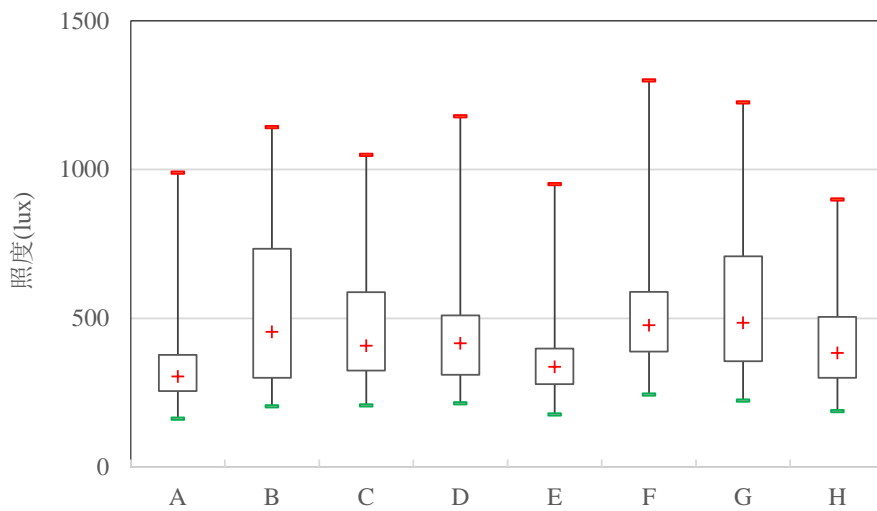
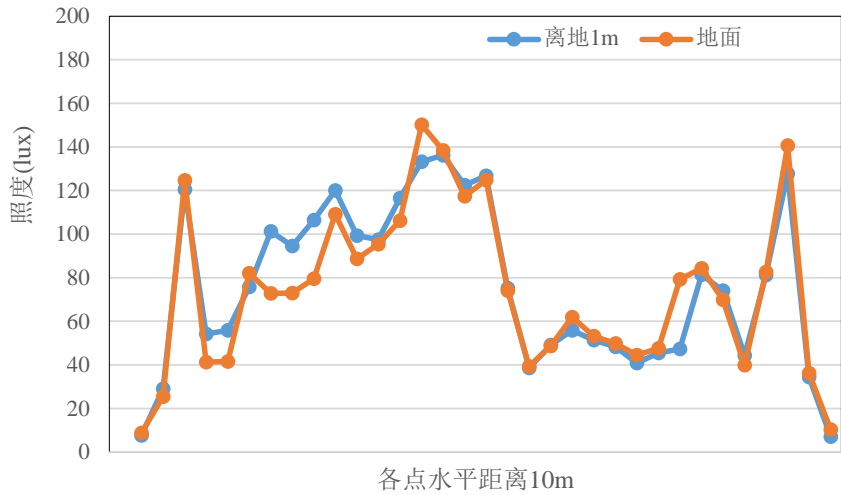
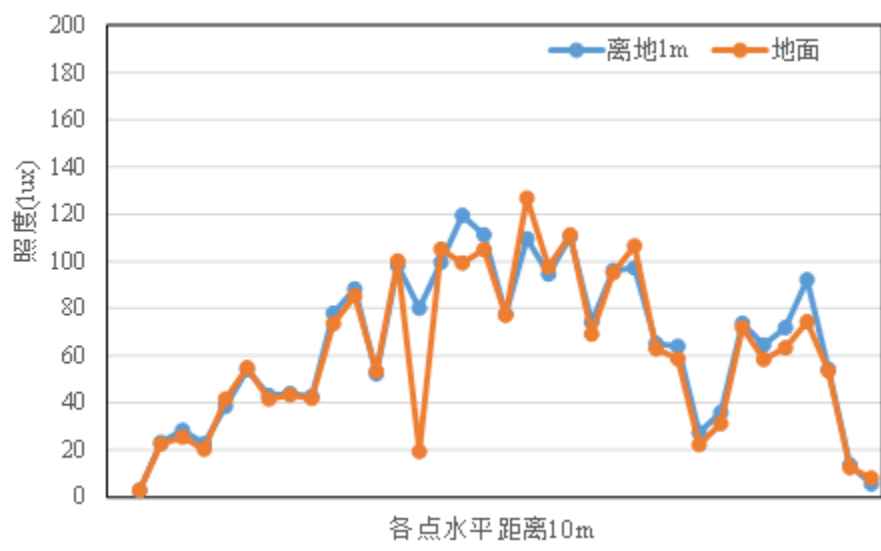


图 3.7 各机场航站楼出发层天然采光照度图

对于人工照度，现有标准规定航站楼室内照度不低于 200lx。然而，实测发现，夜间航站楼人员停留区室内照度水平维持在 80~150lx 之间（图 3.8），并未达到标准（200lx）要求，但是从旅客满意度调研结果来看，旅客并未表示抱怨。实际上，旅客对环境的需求会因旅客流程差异有所不同。例如，出发大厅旅客等候时间长，有阅读等需求，到达大厅为旅客短暂停留区域，其照度标准可以比出发区域适当放低。如此，不仅可以满足旅客需求，同时还能进一步降低照明能耗。但是，照度究竟多少限值适宜仍需进一步深入研究。



(a) 出发层



(b) 到达层

图 3.8 某机场航站楼室内夜间照度水平

3.1.4 室内噪声

由于旅客频繁流动、交谈、播音广播等原因，并且受航站楼高大空间影响，各航站楼室内噪声强度都处于较高的水平，平均值在 55~70dB 之间。根据声音的等级分类，30~40dB 是较理想的安静环境，超过 50dB 就会影响睡眠，70dB 以上会干扰谈话，若经常听到这些嘈杂的声音，会影响听觉。

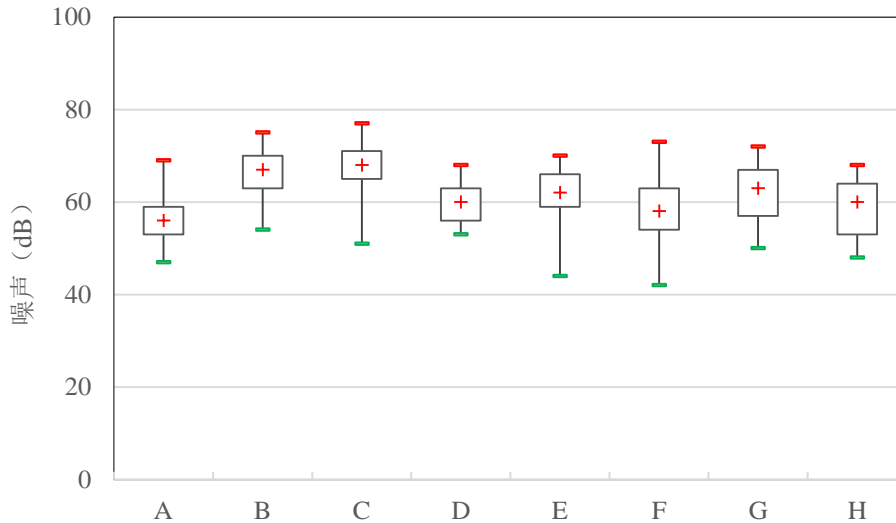


图 3.9 各机场航站楼室内噪声强度四分位图

3.2 旅客主观满意度调研

3.2.1 整体感受

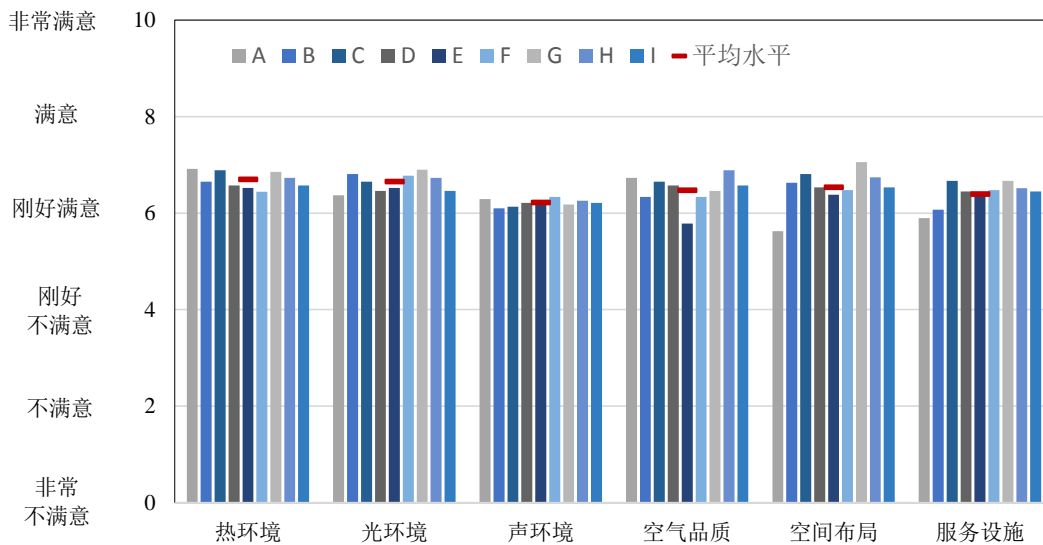


图 3.10 各航站楼旅客的满意度评价及平均水平

综合所有航站楼的旅客满意度调研结果，可以发现，旅客对 E 航站楼的空气品质、A 航站楼的空間布局以及 C 航站楼的服务设施表示不满，对各航站楼的热环境和光环境都表示满意，并且平均满意度最高。对于室内声环境，各航站楼的旅客满意度评价差异最小，且满意度评价最低。进一步询问发现，旅客对声环境

主要是抱怨噪声大、广播声音不清晰，而噪音抱怨主要是室内交谈声，并非室外飞机噪声。

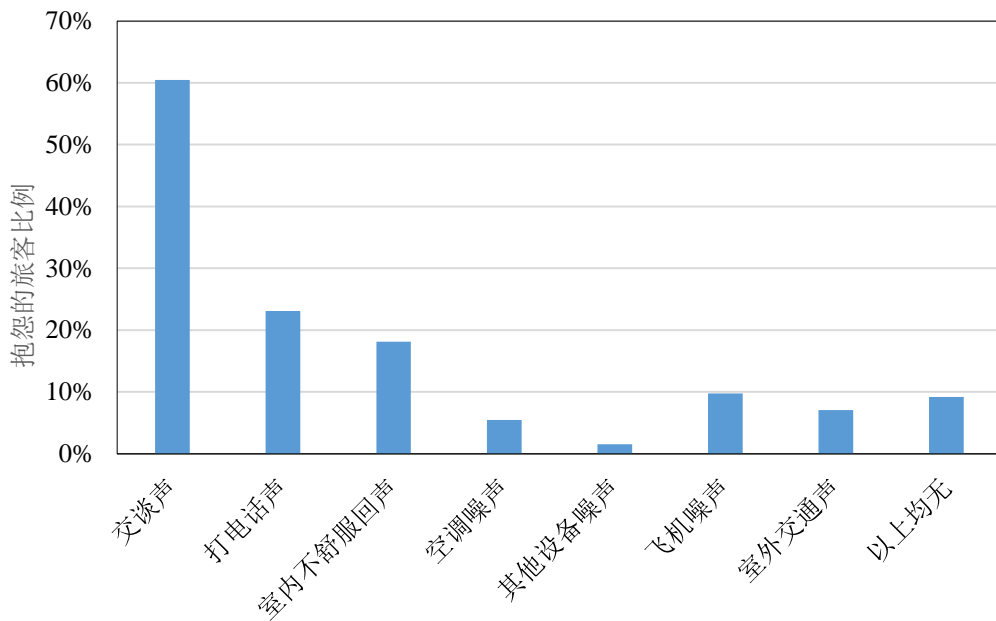


图 3.11 旅客抱怨的噪声来源

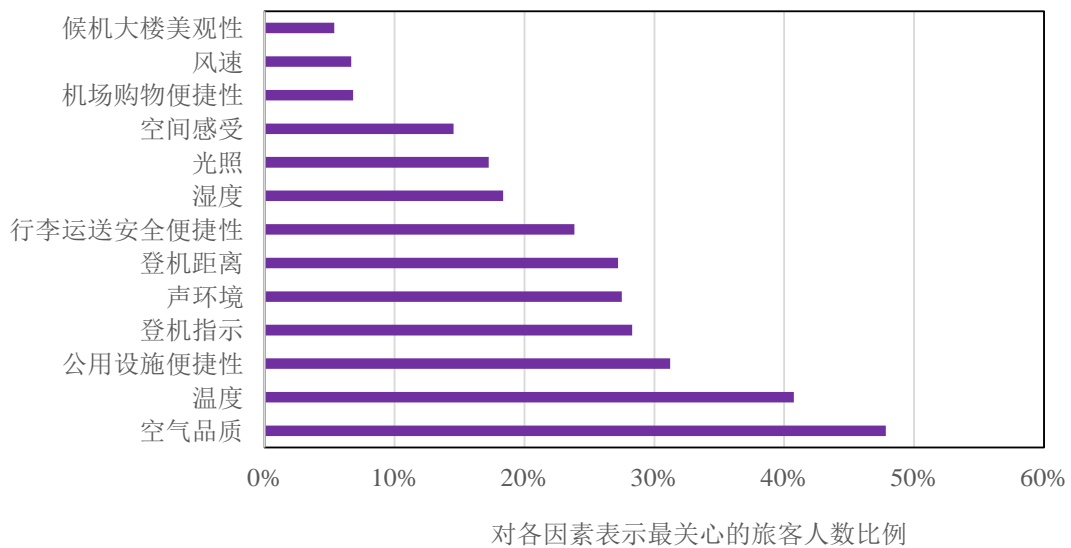


图 3.12 旅客最关心的因素

对旅客最关心的三个因素和最不满意的三个因素进行调研，统计发现，旅客对空气品质、温度以及公用设施便捷性的关注度最高，其次是登机指示、声环境、登机距离，而对大楼美观性、

风速、购物便捷性以及空间感受的关注度相对较低。对于旅客最不满意的三个因素，排在前位的是：声环境、公用设施便捷性和登机距离。这与前述的旅客对声环境的满意度最低结果相符。

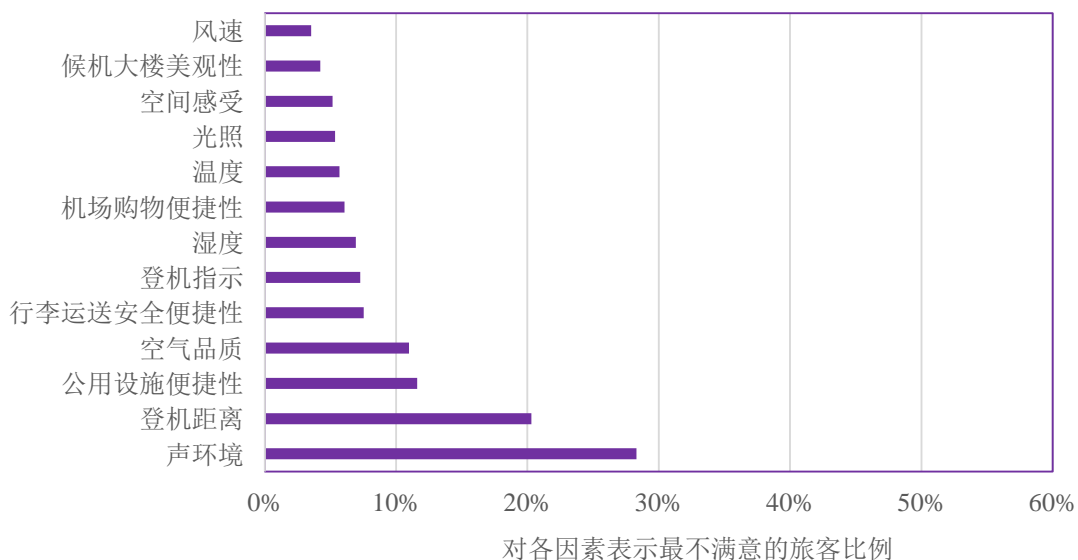


图 3.13 旅客最不满意的因素

因此，航站楼设计应重视室内声环境的控制。此外，在保证航站楼功能布局功能的条件下，应控制航站楼规模，避免尺度太大造成登机距离过长，给旅客带来不便。同时，应加强配套设施便捷性的设计和管理，提升航站楼的服务性能。

3.2.2 单项满意度对整体满意度的影响

根据 Kano 模型，对每项单一因素都将问卷样本分为三组：

(1) 满意组：旅客对某分项的满意度评分为“满意”或“非常满意”；

(2) 不满意组：旅客对该分项的满意度评分为“不满意”或“非常不满意”；

(3) 参照组：旅客对该分项的满意度评分为“较满意”或

“较不满意”。引入两组取值为 0 或 1 的虚拟变量，通过其组成的数对分别代表以上三组。例如，数对 (1,0) 代表了满意组，数对 (0,1) 代表了不满意组，数对 (0,0) 则代表了参照组。最终通过带虚拟变量的多元回归进行分析。

$$Y = a_0 + \sum_{N=1}^6 (a_{1, factorN} \cdot X_{1, factorN} + a_{2, factorN} \cdot X_{2, factorN})$$

Y : 旅客室内环境整体满意度

a_0 : 参照组的整体满意度平均得分

$X_{1, factorN}$: 某IEQ分项的满意组对应的虚拟变量

$X_{2, factorN}$: 某IEQ分项的不满意组对应的虚拟变量

$a_{1, factorN}$: 某IEQ分项的满意组的回归系数

$a_{2, factorN}$: 某IEQ分项的不满意组的回归系数

图 3.13 显示了回归结果，位于上方的白色条形柱代表了对应的因素性能优越时对旅客整体满意度的积极影响，而位于下方的灰色条形柱这代表该因素表现欠佳时对旅客整体满意度的消极影响。

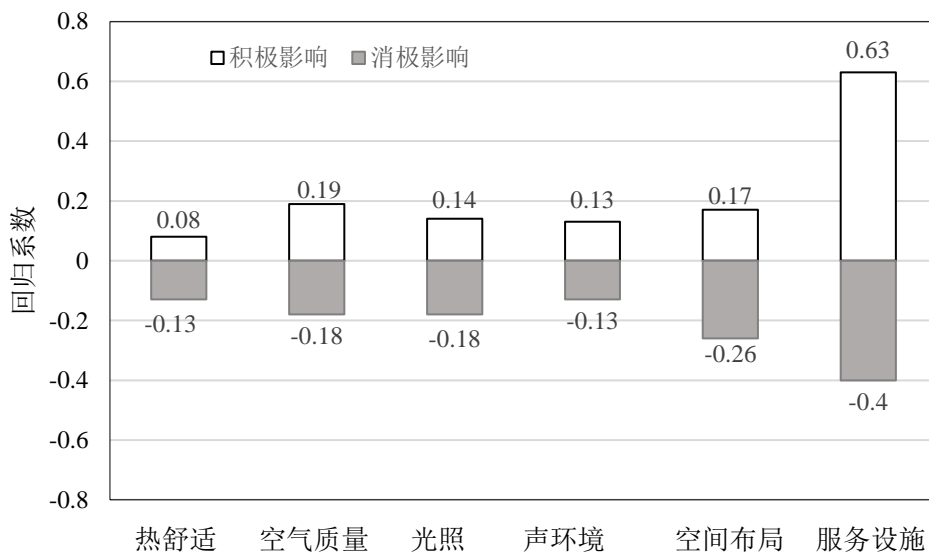


图 3.14 旅客各单项因素满意度对整体满意度的影响分析

主要结论:

(1) 对于热环境与空间布局, 当其性能欠佳时对旅客整体满意度的消极影响大于其性能优越时对旅客整体满意度的积极影响。意味着如果旅客对此的性能需求没有得到满足, 那么旅客的不满情绪会急剧增加; 当此需求得到满足后, 可以消除旅客的不满, 但并不能带来整体满意度的显著增加。根据 Kano 模型, 热环境与空间布局均属于必备型需求, 即必须有的属性。因此, 对设计与运行的启示为: 应尽可能地满足旅客对室内热环境与空间布局的基本需求, 但不必投入过多资源。

(2) 对于服务设施, 当其性能优越时对旅客整体满意度的积极影响大于性能欠佳时对旅客整体满意度的消极影响。意味着如果旅客对此项的性能需求得到满足, 那么旅客的满意度会急剧增加; 当此需求不满足时, 往往也不会引起旅客强烈的不满。根据 Kano 模型, 服务设施属于兴奋型需求, 即航站楼的服务设施通常不会被旅客过分期望, 随着其满足旅客期望程度的增加, 顾客满意也急剧上升, 但一旦得到满足, 即使服务设施表现并不完善, 旅客表现出的满意度也是非常高的。因此, 对设计与运行的启示为: 服务设施便捷性是旅客的潜在需求, 如果将这点做好, 会大大有益于整体满意度的提升。

(3) 对于空气品质、光环境与声环境, 当其性能优越时对旅客整体满意度的积极影响 \approx 性能欠佳时对旅客整体满意度的消极影响。意味着如果旅客对此的性能需求得到满足, 那么旅客的

满意度会急剧增加；同时当此需求不满足时，旅客的满意度也会急剧下降。根据 Kano 模型，空气品质、光环境与声环境均属于旅客的意愿型需求。因此，对设计与运行的启示为：空气品质、光环境与声环境对整体满意度的影响近乎线性，若想进一步提高满意度，可以增强这些方面的性能。

工作组成员：

北京新机场建设指挥部：李强、潘建、易巍、赵莹、程欣迪；
清华大学建筑学院：林波荣、余娟、肖伟、刘加根、周浩、赵海湑、黄彦祥、李敏、张春晖、张小曼、张德银、王者、耿阳、孙弘历、纪文杰、张楠、郑天添、段然；北京中企卓创科技发展有限公司：徐军库、李博、张雯、孙施曼。