

# 航空工程建设

AERO-INDUSTRY ENGINEERING CONSTRUCTION

2015年第4期 总第120期



主管单位 中国航空工业集团公司  
业务指导 中国航空工业建设协会  
编印单位 中国航空规划设计研究总院有限公司

内部资料 免费交流

**建设地点：**四川 乐山

**设计单位：**中航规划飞机工程设计研究院

**建设情况：**在建

**用地面积：**133 528m<sup>2</sup>

**总建筑面积：**258 137m<sup>2</sup>

## 设计理念——水韵华西

本设计充分利用基地环境资源，整体规划动感有序，充分体现生命“生生不息，自由多变”。通过设计师的巧妙布局，使得建筑与景观相互辉映。住院楼临水而建，开窗即可尽收无限江面美景，建筑亦与水刚柔并济，生活因而和谐自然，景致因而更加的丰富迷人。置身其中，或在欣赏风景，或又成为别人欣赏的风景，徜徉其中，曼妙无穷。

## 设计特色

### 1、规划结构——生长+复合+秩序，持续发展规划

本次规划的出发点是充分尊重城市规划，尊重城市的肌理，从整体出发，兼顾医院未来的发展而进行。建筑整体规划，多处预留发展余地，可自由生长、扩展。充分考虑后期发展的可能性，使建筑资源、人力资源、设备资源、环境资源得到最合理的利用，避免土地和资源的浪费。

### 2、功能分区——多元价值+动态平衡

提出了“整体规划，灵活设计”的设计原则。合理的功能分区是医院设计的立足点，根据对项目用地的现状分析，按照医患活动区域分区，内外有别以减少交叉感染，建筑单元模块灵活可变。

### 3、绿化系统——水脉+平衡

充分利用基地内外形态各异的水，力求让医者心胸开阔、患者心情舒畅。在满足基本医疗需求的基础上，“上善若水”更注重建筑品质与人精神需求的相互交融。

### 4、以人为本——体现对患者如家庭般的关怀，树立“以人为本”的设计观念

在建筑的总体布局和建筑细部处理上，本设计在各种空间处理上充分体现了热爱生命、尊重生命、以病人为中心，同时也兼顾医护人员的设计原则。在每个候诊空间均设计了采光的候诊廊，并配以一定的病人休息空间，内部空间以院落式空间为主，尺度宜人，为病人带来家的温馨的感受；同时每个医疗单元也单独设计了医护人员区域，体现了建筑设计对病人、医护人员的同等关怀。



## 中国航空工业建设协会第五次会员大会（第五届一次理事会）胜利召开

## 中国航空工业建设协会第五次会员代表大会



中国航空工业建设协会第五次会员代表大会(第五届一次理事会)于2015年7月3日在江西景德镇昌飞宾馆召开。大会由理事会常务副理事长廉大为主持，集团领导李平、常洪亮、昌飞集团总经理周新民以及会员单位主管业务领导共93人参加。

协会第四届理事会从2011年7月至2015年7月，已届满四年到期；按照《中国航空工业建设协会章程》规定要求召开本次会员大会。本次大会应到人数130人，实到人数93人，符合协会章程规定要求，可以开会。

本次大会共进行了八项议程，首先由昌飞集团总经理周新民致欢迎词；接着进行会议议程：副理事长常洪亮宣读换届报告的批复；大会审议通过了理事长李平作的《第四届理事会工作报告》、秘书长张忠良作的《第四届理事会财务

情况报告》、副理事长李世民作的《中国航空工业建设协会章程》修改草案的报告，并选举通过了第五届理事会成员名单、第五届理事会常务理事名单、第五届理事会理事长、副理事长、秘书长名单、副秘书长名单；最后大会听取了理事长李平关于第五届理事会今后工作设想的报告。

会上，协会表示将在国防科工局、中航工业集团公司和新一届理事会的领导下，认真落实李平理事长提出的第五届理事会工作思路。面对新形势，主动适应新常态，不断加大自身建设，进一步提高双向服务能力，提高桥梁和纽带作用的价值，积极为集团的战略落地当好助手参谋，为集团公司的固定资产投资建设作出应有的贡献。

本次大会取得了圆满成功！

## 住建部印发《关于推进建筑信息模型应用的指导意见》加强顶层设计 推进BIM应用

为指导和推动建筑信息模型 ( Building Information Modeling, BIM ) 的应用, 由住房和城乡建设部研究制定的《关于推进建筑信息模型应用的指导意见》( 以下简称《意见》) 于近日发布。

《意见》中强调了BIM在建筑领域应用的重要意义, 提出了推进建筑信息模型应用的指导思想与基本原则, 同时明确提出推进BIM应用的发展目标, 即“到2020年末, 建筑行业甲级勘察、设计单位以及特级、一级房屋建筑工程施工企业应掌握并实现BIM与企业管理系统和其他信息技术的一体化集成应用。到2020年末, 以下新立项项目勘察、设计、施工、运营维护中, 集成应用BIM的项目比率达到90%: 以国有资金投资为主的大中型建筑; 申报绿色建筑的公共建筑和绿色生态示范小区。”

《意见》指出, 各级住房城乡建设主管部门要结合实际, 制定BIM应用配套激励政策和措施, 扶持和推进相关单位开展BIM的研发和集成应用, 研究适合BIM应用的质量监管和档案管理模式。

《意见》同时为建设单位、勘察单位、设计单位、施工企业、工程总承包企业及运营维护单位推行BIM应用的工作重点提出指导意见, 提出有关单位和企业要根据实际需求制定BIM应用发展规划、分阶段目标和实施方案, 合理配置BIM应用所需的软硬件。改进传统项目管理方法, 建立适合BIM应用的工程管理模式。构建企业级各专业族库, 逐步建立覆盖BIM创建、修改、交换、应用和交付全过程的企业BIM应用标准流程。通过科研合作、技术培训、人才引进等方式, 推动相关人员掌握BIM应用技能, 全面提升BIM应用能力。

## 最高检：工程建设领域开展行贿犯罪档案查询工作

近日, 最高检、住建部、交通部、水利部已联合下发通知, 将在工程建设领域全面开展行贿犯罪档案查询工作。最高人民检察院等四部门联合下发的《关于在工程建设领域开展行贿犯罪档案查询工作的通知》( 下称《通知》) 规定, 在工程项目招投标、设备物资采购、建筑企业资质许可、个人执业资格认定、企业信用等级评定与管

理等工程建设领域各环节全面开展行贿犯罪档案查询工作。检察机关对有关部门、单位和个人提出的书面查询申请, 应当经审核后查询, 在3个工作日内提供查询结果。

《通知》指出, 住房城乡建设、交通运输、水利等主管部门、建设单位( 业主单位)、受委托的代理机构在工程项目招标、设备物资采购过程中, 可以针对有关单位或个人直接向检察院进行行贿犯罪档案查询, 也可以要求参加工程项目投标、设备物资供应的单位和个人自行向检察院查询并提交查询结果。对经查询有行贿犯罪记录的单位或者个人, 根据不同情况作出处置, 包括限制其在一定时期内进入本地区、本行业建设市场, 取消投标资格, 从供应商目录中删除, 扣减信誉分, 不予( 暂缓) 许可, 责令停业整顿, 降低资质等级, 吊销资质证书等方式。

## 广州启动研究建设航空大都市

在“航空大都市·广州新门户”论坛现场, “航空大都市概念模型”的创立者、美国北卡罗来纳大学教授、国际航空城会议主席约翰·卡萨达表示: “广州最有可能形成中国第一个航空大都市”。约翰·卡萨达认为, 速度经济时代, 机场已经成为全球生产和商业活动的重要节点, 同时也就出现了一种新型的城市: 航空大都市。广州拥有强大的客流量及物流量, 是属于全球高端空港圈, 航空大都市的凝聚效应, 将引发产业联动。而广州作为国际中转枢纽带来大量的旅客, 将带动极大的旅游消费, 促进各产业及旅游业的发展。

随着速度经济时代的到来, 广州建设“航空大都市”的步伐也在加快。2012年, 国务院发布《关于民航业发展的若干意见》, 首次提出“着力把北京、上海、广州机场建成功能完善、辐射全球的大型国际航空枢纽”。今年6月, 广州市社会科学院金融所也开启“广州建设国际航空大都市政策体系研究”专项课题。

知识: 航空大都市指的是一个区域里面的航空公司、机场和地区的一个综合集成, 它是由航空来主导, 距离机场大约40公里的辐射范围, 可以提供高速、高效的连接, 实现非常快的速度连接性, 使人们能更快速地去接触到供应商、客户及企业的合作伙伴。

## 国内首个模块化绿色钢结构住宅主体完工

低层绿色生态钢结构示范工程、国内首个模块化绿色钢结构住宅主体日前完工，进入装修阶段，该工程位于武汉市蔡甸区凤凰山开发区，是一栋两层楼的钢结构建筑，由10个长方形模块组成。相较传统建筑，该产品可减少能源消耗60%、建筑材料耗费50%、用水消耗量50%、温室气体排放60%。

## 3000亿的冬奥盛宴 建筑行业分羹几何？

2022年冬奥会落户北京，北京成为第一个既举办过夏奥运会又举办冬奥会的城市。值得一提的是，冬奥会不但是体育的盛宴，也是资本的狂欢。据估算，此次冬奥会所涉及的冰雪运动带动的其他关联产业收入将达到3000亿元以上，“白色经济”借力冬奥会登上风口，建筑、建筑装饰、建材作为奥运工程建设的主力军，必将成为受益者，迎来新的发展机遇与前所未有的升级挑战。

在这3000亿元的产业蛋糕中，基础建设自然是重头戏。奥运场馆建设和基础设施投资将是主要驱动因素。历届奥运会的举办都对当地的建筑、房地产行业产生了重要影响。2022年冬奥会的申办对基础设施建设的需求主要来自三方面，其一是场馆建设，虽然北京的冬奥会场馆大部分将沿用2008年奥运会场馆，但张家口与延庆的冬奥场馆都需要新建或改建；其二是交通基础设施建设，例如已经开工建设的京张高速铁路；其三是京津冀地区尤其是张家口地区的通讯、体育、文化、会展和酒店等配套基础设施建设。

## 61项工程建设标准开始实施

自8月1日起，已有61项工程建设领域的新标准开始实施。其中包括《建筑机电工程抗震设计规范》、《核电厂岩土工程勘察规范》、《建筑与桥梁结构监测技术规范》、《汽车库、修车库、停车场设计防火规范》、《水土保持工程设计规范》、《综合医院建筑设计规范》等52项国家标准和《泡沫混凝土应用技术规程》、《建筑工程风洞试验方法标准》、《农村住房危险性鉴定标准》等9项行业标准。

## 发改委批复两大工程 项目总投资约109亿元

近日，国家发改委批复同意实施青海格尔木机场改扩建工程，项目总投资3.73亿元；批复同意建设岷江犍为航电枢纽工程，项目总投资估算105.022亿元。两个项目投资共计约109亿元。据了解，格尔木机场改扩建工程主要建设内容包括新建8000m<sup>2</sup>的航站楼、3个机位的站坪、6580m<sup>2</sup>的停车场、400m<sup>2</sup>的货运库以及1160m<sup>2</sup>的消防站等，岷江犍为航电枢纽工程主要建设内容包括船闸、发电厂房、大坝、泄水闸、鱼道及相关配套工程设施等。两个项目的勘察、设计、施工、监理和重要设备材料采购等均采用公开招标方式。

## 未来航空制造产业发展新方向 ——航空智能工厂

航空工业处于制造业的尖端，目前呈现出多学科、边缘性、尖端性等特点。为了顺应飞机等武器装备制造业的发展趋势，满足未来国防军事的需求，长寿命、高可靠性和短周期已成为航空产品研发的基本指标。在此形势下，传统的航空制造企业组织模式与制造方法已经难以满足航空工业发展的需求。近年来，随着德国工业4.0等与智能制造相关的概念被提出，各发达国家均把智能制造作为促进本国武器装备制造业创新发展的重要途径。

智能工厂是智能制造生态系统的核心，也是未来智能制造基础设施中的关键组成部分。在智能工厂中，通过赛博物理系统将人、数据、资源进行深度融合，使产品的制造过程得以全面优化，真正实现高效率、高柔性的智能制造。目前，西门子、戴姆勒、博世等著名的德国企业已投入巨资进行研发，美国GE公司也将在近年内投入15亿美金，用于工业互联网的开发，旨在实现数字世界与机器世界在制造过程中的深度融合。在航空领域，波音、洛克希德·马丁等世界先进航空制造企业在实施新的战略规划时，也高度重视智能工厂的建设，认为其代表着未来航空工业制造技术和制造产业发展的新方向。

## 2015年科技月活动新闻

### 结构专业

6月29日上午，针对今年科技月活动安排，结构专业进行了技术交流，主题是“抗震减震与改造加固”，大部分的内容涉及“建筑抗震减震”和“改造加固”两个领域。

首先，总师金来建介绍了3月份在日本东京举办的“纪念阪神大地震20周年学术研讨会”的主要内容，对目前中日两国在建筑抗震性能化设

计、减震设计方面的最新成就进行了介绍，有利于大家了解目前国际上最新的抗震减震设计方面的最新进展。之后，结构专业人员分别就“呼和浩特美术馆抗震超限设计”、“徐州航站楼抗震超限设计”、“带局部夹层门式刚架结构抗震性能分析及设计建议”等八个问题结合项目情况，展开分析探讨，结构专业共80余位同志参加了本次技术交流。

### 暖通专业

6月18日，暖通学术研讨会在公司报告厅隆重召开，本次研讨会的主要方向是空调及洁净，是落实公司《人才品牌体系建设方案》及《人才成长指引》要求、按照公布公司专业技术队伍体系架构后的第一次专业分组活动，会议由空调及洁净方面的第一梯队负责人李晓谊副总主持。

会上，暖通专业人员分别以《APEC功能区、北京国际电影节会场雁西湖会展中心空调系统》、《复材车间洁净空调设计及现场问题处理》、《配餐厂房空调设计》、《医药洁净厂房实施策略》等

为题进行项目介绍和专业问题分析研讨，所交流内容皆是经验之谈，与会者受益匪浅。会议最后由专业总师肖武进行了总结性发言，高度肯定了此次研讨会的内容及意义，宣讲了专业技术队伍体系架构、公司业务范围的现状及未来五年的拓展方向，鼓励大家积极参加暖通各个研究方向的小组活动，引导各级技术人员在某业务领域和专业技术领域做专、做精，希望年轻设计师尽快成长、学有所长，成为公司高度发展的不可或缺的主力军。

### 工程造价专业



6月30日，工程造价专业技术委员会在公司六楼学术报告厅举办了“全过程造价管理技术”主题技术论坛，公司全体工程造价专业人员参加了活动。

围绕“全过程造价管理技术”主题，工程造价专业总师和三位副总师分别从项目施工招标阶段造价控制点、结算阶段常见问题处理、项目造价负责人应具备的能力及基于项目管理平台的全价值链项目造价管理四个方面为工程造价专业人员做了交流。交流人员围绕自己的交流题目，总结规律，提炼经验，指出施工招标阶段招标文件造价控制点、工程量清单及招标控制价控制点；针对结算中经常遇到的分包结算、工程水电费结算处理，结合案例同大家分享；系统分析EPC项目造价负责人工作内容、工作重点及应具备的能力，为大家提供借鉴。最后王总结合公司项目管理平台，讲解了全过程造价管理的要点和平台应用。此次论坛对提高工程造价专业技术人员全过程造价管理业务能力与水平，促进技术经验在公司内共享和指导实践具有重要意义。

### 给排水专业

给水排水专业于6月18~19日举行了建筑消防、工业废水处理两次技术论坛活动。

建筑消防论坛结合去年发布实施的《消防给水及消火栓系统技术规范》（GB50974-2014）而进行，主讲人精心准备了图文并茂且内容丰富的课件，对该规范的重点条文进行深度解读，对新增的强制性条文进行了重点讲解和分析，对近期施工图外审中提到设计问题进行重点剖析。专业总师王锋结合航空厂所的实际情况，与大家共同探讨了如何利用既有消防设施来满足新规范要求的具体措施。通过论坛大家加



深了规范条文理解，对于规范中有争议性条文的理解达成共识，通过对有疑问的条文进行深入浅出的讲解，论坛起到了答疑解惑的效果，对目前进行的工程的消防设计具有重要的指导意义。

工业废水处理论坛结合公司今年完成的几个项目，针对设计过程中遇到的问题以及处理方法，分享分析问题、解决问题的过程，提升设计人员设计能力、开阔眼界、提高认知水平。

## 规划专业



### 《厦门临空产业发展规划》顺利通过专家评审

7月29日，在厦门举办《厦门临空产业发展规划》专家评审会上，由中国航空规划设计研究总院有限公司完成的《厦门临空产业发展规划》顺利通过专家评审，并获得与会专家的一致好评。该规划是继三亚新机场临空区之后由公司完成的又一填海型枢纽机场临空经济区规划，巩固了公司在填海型机场和临空区规划领域的绝对技术优势。

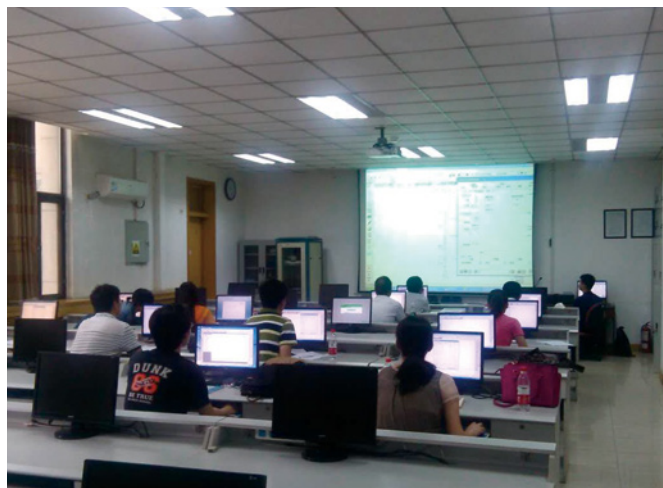
## 电气专业

### 新版ETAP软件2/4期培训活动如期举行

6月23日下午，ETAP软件本年度第二期培训活动在清华大学ETAP实验室如期举行。继第一次培训后，我司电气专业的工程师们对本软件保持着高度的关注，本次活动同样得到了各院的大力支持。

与第一期培训的内容不同，本期培训更偏向于实际工程应用方面，着眼于配电系统设计与校验中经常会遇到的短路计算及继电保护配合问题。刘明宙工程师介绍了基于IEC60909标准的短路计算方法，ETAP三维数据库概念及操作，短路计算及继电保护配合的系统建模及分析校验方法三方面内容。和实际工程紧密相关的培训内容引起了各参训工程师的广泛关注，与培训师进行了热烈和深入的讨论。

本次培训得到了良好的反响，大家表示会继续关注软件的培训课程，并将所学内容用于辅助日常的工作中。第二期培训活动至此圆满结束。



## 工程造价专业



### 工程造价专业召开2016年北京市建设工程概算定额（构筑物分册）编制工作会

2015年3月27日，给排水专业组织了给水管道应用技术交流。

由成都贝根管道有限责任公司的专业工程师为大家介绍介绍了缩合式整体衬塑复合钢管、对焊式双面衬塑钢管、钢丝网骨架（聚乙烯）复合管等给水管道的技术特点、应用场所等。交流会上，大家就给水系统、循环冷却水系统埋地及明装管道的连接方式、防腐做法、塑料层防脱落的技术措施等问题进行了深入交流。

# 中国商用飞机有限责任公司北京民用飞机技术研究中心

建设地点：北京昌平

设计单位：中航规划飞机工程设计研究院

建设情况：在建

总用地面积：A地块：11.61ha；B地块：12.35ha

总建筑面积：80 000m<sup>2</sup>

本项目外饰面主体选用红色陶土板，局部配合灰色金属板及玻璃幕墙，整体建筑风格简洁大气、色彩统一，线条流畅，特点鲜明，体现高效、简洁、环保的企业特色而不失现代气息。建筑通过体量穿插丰富立面造型，通过建筑材料的细致运用和细节设计，体现精致与典雅的学院气质。







## 中国航空研究院 研发保障基地项目科研楼

建设地点：北京朝阳

设计单位：中航规划飞机工程设计研究院

建设情况：在建

用地面积：30 522.82 m<sup>2</sup>

总建筑面积：157 420 m<sup>2</sup>

本项目为高科技办公楼，位于北京市北苑路东侧，中国航空总医院南侧，由1号科研办公及2号实验楼组成。基地内人车分流，景观简洁雅致，建筑造型简洁大方。

1号主楼位于基地西南侧，为总高度100米的方形塔楼。建筑整体挺拔、简洁、精美，运用现代建筑语言，以竖向线条为主营造出积极向上的高科技办公楼形象。东、西立面局部采用点支式玻璃幕墙，与内部通高中庭相呼应，体现高品质科研楼的形象。1号楼外幕墙采用石材幕墙后开启经由石材幕墙两侧金属穿孔板通风的创新方式，避免立面凌乱，保持主楼完整形象，提升了建筑品质。首层通高三层的大堂贯穿东西，将东面良好的绿地景观引入建筑内部；四层80米通高共享大厅与交错的空中平台形成丰富的立体共享空间。2号楼位于基地北侧，为高49.6米的板式实验楼，建筑造型与立面模数与1号楼相协调统一。



## 中航飞机公司飞机研发设计中心

建设地点：陕西西安

设计单位：中航规划飞机工程设计研究院

建设情况：在建

用地面积：48 029m<sup>2</sup>

总建筑面积：161 749m<sup>2</sup>



本项目建筑设计具有前瞻性、可持续性，使用空间具有相对的灵活性，符合需求变化后的方便调整。建筑设计力在表现中航工业文化和实力，传统神韵和现代风格相结合，建筑造型简洁、大气、浑厚，表现力度与气势，打造地标性航空工业建筑形象。建筑造型采取简洁规整的几何形体，风格简约，造型特点突出，空间形象简朴庄重、完整大气。设计通过对建筑材料的细致运用和窗格尺寸的准确把握，使建筑在稳重大气的基调下被赋予轻盈舒展的风格，既朴素雅致，又不失精致和尊贵。

## 江西洪都集团某综合设计楼

建设地点：江西南昌

设计单位：中航规划飞机工程设计研究院

建设情况：建成

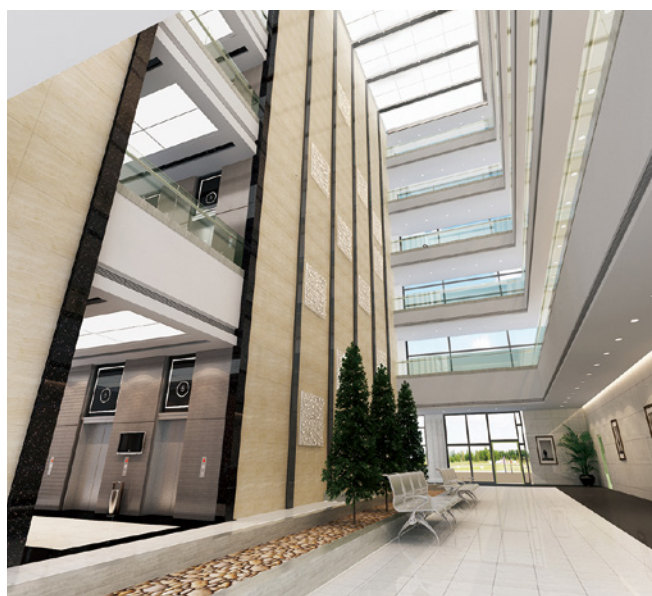
用地面积：4.98ha

总建筑面积：48 778m<sup>2</sup>

本项目位于厂区北部中间，由主楼和附楼组成。厂区遵循九宫格的理念设置，设计楼如利剑般的耸立于厂区最前端，预示企业的开拓精神。综合技术楼简洁、明快的设计风格使得整栋建筑更为庄重气派，形成强烈的视觉冲击力和企业标志性。弧形形体沿东西向舒缓展开，环抱北向主入口，体现出开放、包容的现代国防科技新理念。建筑平面布局西北侧的80度的锐角及梭型的流线设计使建筑对风向进行了很好的疏导，有利于结构的抗风设计。建筑底层设置外廊，加强广场围合感，创建从开敞、半开敞、半封闭、到封闭的空间体验序列。建筑环抱广场，低层虚空，突出飞腾之感。主楼内两层的挑高大堂与6层通高的中庭相连，空间的趋于流动性和完整。9至12层通高中庭使办公人员从走廊能一览无余的观看到中庭的整体效果，给办公一种全新的感受。

建筑平面布局中合理紧凑，使核心筒及交通面积达到最小，标准层有效使用率达到最高。

节能方面，在附楼屋面顶部设置太阳能薄膜发电板，由此产生的电量作为局部照明使用；考虑各部门空调使用时间段不同，空调采用VRV系统分层控制，集中将室外机置于附楼及主楼屋面，利于散热，优化美观，便于统一管理。



## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《智能建筑设计标准》的公告

现批准《智能建筑设计标准》为国家标准，编号为GB50314-2015，自2015年11月1日起实施。其中，第4.6.6、4.7.6条为强制性条文，必须严格执行。原《智能建筑设计标准》GB/T50314-2006同时废止。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《电子工业防微振工程技术规范》的公告

现批准《电子工业防微振工程技术规范》为国家标准，编号为GB51076-2015，自2015年9月1日起实施。其中，第3.0.6、5.1.1、7.1.7条为强制性条文，必须严格执行。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《光伏压延玻璃工厂设计规范》的公告

现批准《光伏压延玻璃工厂设计规范》为国家标准，编号为GB51113-2015，自2016年3月1日起实施。其中，第12.1.2、12.5.3、14.2.8(3)条(款)为强制性条文，必须严格执行。

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准《博物馆建筑设计规范》的公告

现批准《博物馆建筑设计规范》为行业标准，编号为JGJ66-2015，自2016年2月1日起实施。其中，第4.1.3、4.1.5条为强制性条文，必须严格执行。原《博物馆建筑设计规范》JGJ66-91同时废止。

## 住房和城乡建设部关于发布行业产品标准《给水排水用蝶阀》的公告

现批准《给水排水用蝶阀》为城镇建设行业产品标准，编号为CJ/T261-2015，自2016年1月1日起实施。原《给水排水用蝶阀》CJ/T261-2007同时废止。

## 住房和城乡建设部关于发布行业产品标准《建筑产品分类和编码》的公告

现批准《建筑产品分类和编码》为建筑工业行业产品标准，编号为JG/T151-2015，自2016年1月1日起实施。原《建筑产品分类和编码》JG/T151-2003同时废止。

## 住房和城乡建设部关于发布行业产品标准《建筑用穿墙防水对拉螺栓套具》的公告

现批准《建筑用穿墙防水对拉螺栓套具》为建筑工业行业产品标准，编号为JG/T478-2015，自2016年1月1日起实施。

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准《建筑反射隔热涂料应用技术规程》的公告

现批准《建筑反射隔热涂料应用技术规程》为行业标准，编号为JGJ/T359-2015，自2016年2月1日起实施。

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准《保温防火复合板应用技术规程》的公告

现批准《保温防火复合板应用技术规程》为行业标准，编号为JGJ/T350-2015，自2015年12月1日起实施。

## 住房和城乡建设部关于发布行业产品标准《混凝土塑性阶段水分蒸发抑制剂》的公告

现批准《混凝土塑性阶段水分蒸发抑制剂》为建筑工业行业产品标准，编号为JG/T477-2015，自2016年1月1日起实施。

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准《建筑隔震工程施工及验收规范》的公告

现批准《建筑隔震工程施工及验收规范》为行业标准，编号为JGJ360-2015，自2015年12月1日起实施。其中，第5.4.2、5.5.1、5.5.2、6.1.3条为强制性条文，必须严格执行。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《石油天然气工程设计防火规范》的公告

现批准《石油天然气工程设计防火规范》为国家标准，编号为GB50183-2015，自2016年3月1日起实施。其中，第3.1.1、3.1.2(1、2、3)、3.2.2、3.2.3、4.0.8、5.2.1、5.2.2、5.3.1、6.1.1、6.3.8、6.6.5、6.6.7、6.6.10(4)、6.7.3、6.7.8、6.8.1、6.8.9(4)、6.8.12、6.9.7、7.3.2、8.3.1、8.4.3(1)、8.4.6(1)、8.4.8、8.4.9、8.5.4、8.6.1、9.2.3、10.1.4、10.2.5、10.2.9、10.3.8、10.4.3、10.4.4条(款)为强制性条文，必须严格执行。原国家标准《石油天然气工程设计防火规范》GB50183-2004同时废止。



**主管单位** 中国航空工业集团公司  
**业务指导** 中国航空工业建设协会  
**编印单位** 中国航空规划设计研究总院有限公司

**顾问委员会**

**主任** 李平  
**副主任** 廉大为  
**委员** (按姓氏笔画排序)  
 王伟 刘晋忠 李世民  
 陈远明 张忠良 杨锐  
 周训文 周凯 贺沂  
 张继超 常洪亮 梁相文

**编辑委员会**

**主任** 陆国杰  
**副主任** 刘子彦  
**委员** (按姓氏笔画排序)  
 丁杰 卜国磊 马培贤  
 王玉平 王坚 王笃礼  
 王锋 朱丹 向立学  
 米敬明 陈丹湖 李中强  
 李守旭 李纲 肖武  
 杨杰 陈海风 金来建  
 周桂 贺宏斌 唐永堃  
 郭志海 徐克利 黄春晖  
 傅绍辉 葛家琪 魏旗

**总编** 陆国杰  
**主编** 陈海风  
**执行主编** 王蕊  
**责任编辑** 李楠  
**出版** 《航空工程建设》编辑部  
**地址** 北京德外大街12号  
**邮编** 100120  
**E-mail** hkgcjs@avic-apc.com  
**印刷单位** 北京奇麒麟印刷有限责任公司分公司  
**发送对象** 公司内部及本系统内部  
**印刷日期** 2015年8月  
**印数** 1500册  
**电话** (010)62038276 62038235  
**传真** (010)62038297  
**封面** 乐山嘉州医院

# CONTENTS

## 目录 2015年第4期 总第120期

### 航空能力建设

- 02 不同类型机场周边空港经济区规划战略选择与定位 佟京昊
- 07 光导航新技术PBN在机场建设中的应用 张帆
- 12 航站楼类高大空间分层空调设计冷负荷减小率的数值分析  
 刘晓雨 梁超 梁乃正 邵晓亮 李先庭 姚春
- 18 声学软件在航空发动机试车台设计上的应用  
 陈珏 王娜 万能

### 研究与探讨

- 21 钢支撑-混凝土框架结构在多层厂房中的应用  
 闫军 张晓光 余长霞
- 25 金属接地板的电学腐蚀及防护 苏碧萍
- 29 仿古商业建筑暖通若干控制要点探讨 高阳洋 孟凡兵
- 33 建设工程进度控制 袁凤翔
- 35 建设项目全过程造价控制要点分析 庞亚玲
- 39 LED蓝光能量分析 陈寅生

### 新兴产业咨询

- 44 国内外汽车风洞技术与发展现状 马玉清
- 49 生鲜食品加工配送中心工艺设计研究 李箐

### 工程设计

- 54 中航规划科研综合楼结构设计  
 崔巨宏 贾洁 金来建 吕敬辉 刘茵
- 61 某过河热力管道支架基础选型分析与设计 顾强强

# 不同类型机场周边空港经济区 规划战略选择与定位

佟京昊 「规划」

**摘要：** 本文通过分析国际空港经济区相关理论形成的历史原因并对比我国城市发展的历史和实际，指出空港经济区建设在借鉴国际先进经验的同时也要立足于我国特有国情。并根据我国实际情况对民航机场进行了分类，从而针对不同类型机场在空港经济区建设规划中所要注意问题展开研究。针对我国国际枢纽机场、区域枢纽机场、骨干机场、支线机场、区域门户和旅游机场在空港经济区建设中面临的不同问题、战略选择和规划定位进行了简述。

**关键词：** 空港经济区；中国特色；综合交通体系；规划；机场分类

临空经济理论起源于上世纪60年代美国航空专家Mckinley Conway等人对于航空综合体的相关研究。1991年，美国约翰·卡萨达(John Kasarda)教授在阐述交通运输对于工商业企业区位选择的重要影响，提出交通运输对于企业区位选择影响可分为五次浪潮，驱动因素分别为海运、河运、铁路、公路和航空，第五次浪潮由航空运输驱动产业发展。自上世纪90年代开始，随着我国民航业的快速发展，空港经济区建设引起各方面高度关注，这些理论被国内专家在研究临空经济区发展中反复引用。近年来，随着我国经济发展转型升级的要求日益迫切和我国机场设施建设的不断加快，各机场所在地方政府对航空运输这一交通模式对本地区综合发展的带动作用普遍抱有较大期望，空港经济区(也称空港经济区)建设方兴未艾。在空港经济区建设规划过程中，规划者大量借鉴国际成熟经

验，将国际知名空港经济区建设模式、空间布局移植到国内。这种方式，使本领域一些国际先进研究成果得以应用，迅速提升了我国空港经济区规划建设水平，但在实践中也遇到了一些问题。究其原因，需要从历史和现状对我国民航运输乃至整个综合交通运输体系发展中一些不同于其他国家的特点要有清醒认识。

## 1 历史上，我国交通运输发展与城市形式之间的关系与美欧有很大差异

美国作为世界最发达国家也是最大的民航运输国家，其交通运输发展经验和空港经济区建设模式一直是国内规划界效仿的对象。但是需要指出的是，以美国为代表的北美国家，其城市形成与交通运输的发展有着比较独特的关系。美国学者埃里克·兰帕德通过对美国15个大城市的成长历史研究认为：直到1860年，工业人口比例在这些美国主要城市人口比例所占比重仍然相当低，

作者简介：佟京昊，男，高级工程师，2007年毕业于北京理工大学工商管理专业，现就职于中航规划城镇规划设计研究院。

大部分人口是从事商业和交通运输业，而其商业发展也是以交通运输为基础，所以这些城市城镇化进程并非依赖工业化进程，更多程度上是依赖于交通的发展。虽然这种城市形成与交通延伸紧密相关的现象在世界范围都有存在，但在北美国家尤其典型和普遍。这是因为北美国家基本都是由幅员辽阔的殖民国家演变而来，其城市体系形成，并非依靠原住民的人口聚集和产业发展，而是伴随殖民者的拓荒进程逐步形成的，研究美国城市的成长历程，可以明显地看到在不同时期，其城镇建设与码头、公路、铁路、机场建设有着明显的依存关系。而在欧洲，欧洲的真正崛起和城镇化发展与15—17世纪的大航海时代密切相关，跨洋贸易和殖民掠夺为随后的工业文明奠定了基础，所以在欧洲，特别是西欧地区，很多历史悠久的大型城市都是由港口城市演化而来。美欧这种城市围绕交通枢纽建设成长的发展历史，最终决定了城市的发展形态和产业布局，使美欧很多城市在城市形态上和产业选择上会以大型综合交通枢纽为核心。

但是，这种在美欧较普遍存在的这种城市围绕交通设施建设发展模式，在我国虽也有个例却并不普遍。我国作为持续五千年历史的农耕文明国家，在城市形成原因上要复杂得多。总的来说，在城市建设上，以自给自足为特点的农耕文明在城市选址上会更重视在土地、水源等发展资源的质量和数量而非对外交通情况。正是这种宏观上城市发展与交通设施建设的形成逻辑上的先后差异，使得交通设施建设起到的更多的是城市功能的补充作用而非主导作用。特别是，在交通与城市发展的关系中，在很长时间内交通落后一度成为制约我国经济发展的瓶颈问题。我国这种城市发展的客观历史使得城市产业资源分布不以交通枢纽建设为核心已成为普遍现状，而在此条件下，新的交通枢纽建设更需要尊重本地城镇化发展和产业发展规律，才能最大发挥出促进作用。

## 2 我国特有国情决定了民航我国综合交通体系的地位和发展特点

根据约翰·卡萨达“五次浪潮理论”，航空作为最先进的运输方式在综合交通运输体系中的地位将快速提升，从而产生对区域经济的带动作用。但在2013年，我国全年全国民航完成旅客运

输量3.5亿人次，比上年增长10.9%。而同一时期，国家铁路旅客发送量完成20.75亿人次，同比增长10.7%；全国高速公路日平均行驶量为229416万车公里，比上年增长14.6%。可以看到，虽然目前航空运输在我国综合交通运输体系中所占的比重远低于美、欧发达国家，但相比我国公路、铁路等地面交通运输方式，当前，航空运输的发展速度并未有显著优势，在我国综合交通运输体系中的地位并未有显著提升。要理解这一点，必须对我国特有国情有充分认识。由于我国人口基数大而且聚集集中于中东部地区，根据著名的胡焕庸线暨以黑龙江黑河与云南腾冲连线为分界线划分，东南国土面积占全国的43%，而人口约占全国人口的94%左右，西北地区面积占全国面积的57%，人口却只占全国人口的6%左右。因此，我国中东部地区人口密度远大于欧洲与北美，这种现实国情使我国在综合交通体系建设战略选择上与美欧国家产生巨大差异，举例来说，加拿大卡尔加里—爱得蒙顿两市之间距离与南京—上海基本相同，加航每天有超过20个航班往来于卡尔加里—爱得蒙顿，而南京和上海之间一个航班也没有。究其原因，因为南京、上海的人口十余倍于卡尔加里—爱得蒙顿，庞大的交通压力会使政府在交通战略上选择修建承载运力和运输成本有明显优势的高速铁路和高等级公路，而加拿大稀少的人口无法为铁路和穿梭式公路运输提供支撑，促使其政府会选择建设成本更低的航空运输方式。正是由人口密度决定的我国建设高效率地面交通基础设施的综合收益远高于美欧国家的现实国情，使我国综合交通体系中地面交通与航空之比远大于美欧国家。目前我国在中东部地区已经建成并正在进一步建设全世界最为密集的高等级高速公路网和高铁网络。我国高铁在技术上已能实现300km/h以上的运营速度，相比之下，如果考虑候机和安检所需时间，在1000km旅程内，航空运输与地面交通相比已基本丧失在效率、成本、灵活性上的优势。因此，可以判断，在未来一段时间内，航空运输在我国综合交通运输体系中所占比重将很难迅速提升。

正是航空运输在我国交通体系的这种特有定位，决定了我国民航航线以中远航线为主，以连接中心城市大型枢纽机场为主，短途支线航空发展长期停步不前的特点，从而也决定了我国航空客流分布极不均衡的现实特点。2013年，我国境

内民用航空(颁证)机场共有193个(不含香港、澳门和台湾,下同),其中定期航班通航机场190个,定期航班通航城市188个。所有通航机场中,年旅客吞吐量达到100万人次以上的有61个,完成旅客吞吐量占全部机场旅客吞吐量的95.4%;年旅客吞吐量达到1000万人次以上的有24个,完成旅客吞吐量占全部机场旅客吞吐量的76.8%;各机场中,年货邮吞吐量达到10000吨以上的有50个,完成货邮吞吐量占全部机场货邮吞吐量的98.5%。

表1 2013年我国机场旅客吞吐量分布情况

| 旅客机场吞吐量规模 | 机场数量 | 所占比重  |
|-----------|------|-------|
| 1000万以上   | 24   | 76.8% |
| 100~1000万 | 37   | 18.6% |
| 100万以下    | 129  | 4.6%  |

需要指出的是,这种机场吞吐量的极度不均衡在一定程度上是由我国国情决定的,但是我国主要航空公司的经营战略选择,进一步加剧了这种不均衡现象。2013年我国共有运输航空公司46家,其中中航、东航、南航三家国资民航集团运输周转量合计共占到总运输周转量的77.3%。而同期,作为三大国资民航集团总部所在地的北京、上海和广州三大城市机场旅客吞吐量占全部机场旅客吞吐量的29.0%,货邮吞吐量占全部机场货邮吞吐量的51.8%。这一数据说明,全国有将近一半的航空旅客是从这三个城市出发或是以之为飞行目的地,而几乎全部航空货物都是从这三个城市出发或是运抵这三个城市。从经营角度上说,将尽量多的航班安排在航空公司主要运营基地,虽然可能会带来空域拥堵和机场使用紧张的情况,但可以在成本控制和调度灵活性等诸多领域给航空公司经营带来很大优势。目前,东航、海航正在推广的空铁联运项目正是将周边地区客源进一步向公司核心基地机场聚集的举措。东航“空铁通”已可实现苏州、无锡、常州、南京、杭州、宁波和台州七个城市与上海虹桥、浦东两大机场东航航班的双向联运,从而将这些城市的航空客源进一步向上海集中。这无疑加剧了我国航空吞吐量分布极不均衡的现状。

### 3 在充分认识我国民航现阶段发展现状和特点情况下规划空港经济区发展需要注意的问题

综上所述,目前我国民航运输业发展有明显区别于美欧等国的特点,但这些特点是由我国城市和交通发展的历史、现实方面的诸多因素共同造成的,是我国特有国情决定的。因此,在规划机场周边临空经济区发展时既需要借鉴国际先进经验,但也要从我国实际出发,注重将科学原理和普遍规律与我国特殊国情相结合,才能保证空港经济区规划编制的科学性、可行性、集约性。从国际经验来看,空港经济区的发展潜力很大程度上取决于旅客吞吐量的情况,通过分析仁川、迪拜、史基辅等国际较成功的几个国际枢纽机场空港经济区建设经验,这些国际枢纽型机场空港经济区建设思路都是围绕以争夺国际中转旅客为中心。而对于各国国内机场空港经济区建设研究,成功的空港经济区建设都将机场自身发展与本地区区域综合发展需求紧密结合。

目前,我国民航发展有很多自身特点,规划符合我国航空发展特点的空港经济区,首先要能清晰区分我国不同吞吐量和不同作用的机场类别,并以此作为确定空港经济区发展战略的重要依据。在美国,由于机场分布比较均衡,商用机场类别的划分基本依据客流量划分(见表2)。在我国,机场分类情况比较复杂,相关管理部门一直没有出台具体的划分标准。但参考民航总局颁布的《中国民用航空发展第十二个五年规划》对机场的定性分类与空港经济区规划的实际需要。本文对于我国民航机场分类见表3,并对空港经济区发展战略简要划分标准及空港经济区战略选择与定位论述如下。

#### 3.1 国际枢纽机场

根据我国《中国民用航空发展第十二个五年规划》,目前我国计划建设为具有国际竞争力的国际枢纽机场只有北京首都机场、上海浦东机场和广州白云机场。这三个机场分别为我国三大民航集团中航、东航、南航的主基地机场,在航线安排上有着巨大的先天优势。而且这三个机场所在城市分别是我国首都和东南沿海两个最繁荣的大都市和口岸城市。2013年,三个机场旅客吞吐量占全国航空旅客吞吐量比重达24%,货邮吞吐量比重更是超过50%。



表2 美国商用机场分类及划分标准

| 商用机场类别 | 机场类别名称     | 划分标准                            |
|--------|------------|---------------------------------|
| 主要商用机场 | 大型枢纽机场     | 每年登机旅客数超过全美登机旅客的1%              |
|        | 中型枢纽机场     | 每年登机旅客数占全美登机旅客量的0.25%~1%        |
|        | 小型枢纽机场     | 每年登机旅客数占全美登机旅客量的0.05%~0.25%     |
|        | 非枢纽型主要商用机场 | 每年登机旅客数大于10000人但小于全美登机旅客量的0.05% |
| 其它商用机场 | 其它商用机场     | 每年登机旅客数在2500人~10000人            |

表3 本文对我国民航运输机场分类及划分标准

| 商用机场类别   | 机场类别名称 | 划分标准                             |
|----------|--------|----------------------------------|
| 枢纽型机场    | 国际枢纽机场 | 我国三大民航集团主基地机场                    |
|          | 区域枢纽机场 | 每年旅客吞吐量超过1000万                   |
| 一般民航运输机场 | 骨干机场   | 每年旅客吞吐量在500~1000万或所在地为省会城市的非枢纽机场 |
|          | 支线机场   | 中型机场：每年旅客吞吐量200~500万             |
|          |        | 小型机场：每年旅客吞吐量小于200万               |

这类机场具备与周边国家主要枢纽机场争夺国际中转旅客的条件和资源，在战略上可以参照仁川、史基辅等著名机场空港经济区建设经验，建设以商务、休闲为主要功能的临空核心区，其它功能逐步向外发散的大型临空经济区。但是，在实践过程中，由于本场空域等资源饱和，周边建设用地有限，本地区经济发展良好等原因，这些城市政府普遍更重视机场对本地的服务功能，缺乏构建以吸引国际中转客源为主要竞争模式的具备国际竞争力的空港经济区的积极性。

### 3.2 区域枢纽机场

《中国民用航空发展第十二个五年规划》中列举的区域枢纽机场共有20个，除南宁吴圩机场以外，基本都是年吞吐量超过1000万人的机场，综合分析我国吞吐量达到1000万人次及近年有望达到1000万人次的机场可以看到，这些机场无一不是位于省会城市或我国重要口岸城市。

这类机场一般会有一定数量的国际航班，但是由于受制于航空公司的经营战略，国际航班数量不会很多，只能解决部分本机场辐射区域内国际航线客源的出发和到达需求，很难吸引国际中转旅客在此中转。机场周边可以发展以商务和加工业为主的空港经济区，产业选择着重与本地主要和特色产业相关联或依托本地资源优势的产

业，并可以根据需要规划建设较大规模保税加工区或其他保税设施。需要指出的是，这类机场即使战略得当，措施有力，但受制于地方政府资源调配能力限制，在发展目标上也很难上升成为国际枢纽机场，发展战略应以扩大机场的区域辐射范围为主要着眼点。

### 3.3 骨干机场

2013年，我国未达到500万人吞吐量的省会城市机场，全部处于西部地区，如：拉萨、西宁、银川等，其中吞吐量最小的拉萨机场旅客吞吐量为220万。根据中国民航管理局规定，在我国年年吞吐量小于500万人的运输机场属于中小机场，民航局会根据需要按年度给予补贴，以帮助其维持正常的运转。因此，年吞吐量达到500万人是衡量机场影响力的重要标志之一。

这类机场一般坐落于省会城市或商业投资活动发达地区，有一定的区域辐射范围和交通资源基础。在未来发展中，这类机场有可能逐步成长为区域性枢纽机场，但也有可能受临近地区枢纽型机场和地面交通方式竞争发展受限。因此，在这类机场空港经济区规划中，除了要因地制宜的选择产业外，还需要开展更大区域的交通战略发展研究，帮助机场巩固自身交通地位，谋求成为枢纽型机场。

### 3.4 支线机场

这类民航运输机场占据我国机场的绝大部分,2013年,我国190个通航班机场里,有150多个机场年旅客吞吐量未达到500万,140多个机场年旅客吞吐量未达到200万。这类机场发展差距巨大和面临的问题也多种多样,2013年,年增长率超过25%和出现负增长的机场全部属于这类机场。这类机场大都只有国内航班连接枢纽型机场,很多机场一天只有几个航班。这类机场自身条件差距较大,其中部分条件较好的机场经过科学规划,有可能逐步发展成为骨干机场。但是,其中绝大部分机场将长期作为支线机场存在,航空在本区域交通战略中只是作为对外交通的一种补充手段。

对于这类支线机场空港经济区规划,首先要确定的是本机场的长期发展战略目标。由于近几年,民航总局在对小机场补贴的实际操作中,以年吞吐量200万为界限,对于吞吐量200万人次以下的小机场给予包括按旅客人次变动补贴在内的年度补贴,使一些支线机场可以在长期客流量不足的情况下运营。使得地方政府对支线机场发展在战略上面临两种选择:其一,对于客流量超过200万的中型机场和计划超过旅客吞吐量最终超过200万的机场,仍以增加客流量以提升机场本身价值和经济带动作用为主,使其能迅速成为骨干机场。其二,对于本地客流有限,潜在发展有限的小型机场,可长期定位为支线机场,不追求扩大区域影响力,仅以满足本地对外交通为主要职能。对于前者,空港经济区规划应以深入挖掘区域发展潜力,整合区域资源,提升区域影响力为主要研究方向。对于后者,应以航空在城市对外交通中的地位为主要着眼点,空港经济区规划要控制规模,定位要注意承接本区域在城市整体功能的定位。

### 3.5 区域门户机场和旅游机场

需要特别注意的是,在民航十二五规划中,对于部分机场着重强调了其区域门户地位和旅游机场地位。这是与一种区别于前述基于交通地位分类的,基于功能性的分类方法,关注的是机场所在区域与民航发展潜力关系密切的资源禀赋条件。在民航十二五规划中,列举的国际门户功能机场有哈尔滨机场、青岛机场、昆明机场、乌鲁木齐机场;列举的旅游机场有三亚、桂林机场。

这类机场以上述六个机场为代表,但不局

限于这六座机场。这类机场均坐落于重要口岸城市或国际旅游目的地所在区域,资源禀赋优异,发展潜力巨大。这些机场一般已开通部分国际航线。对于这类机场,如果战略举措得当,相关规划合理,是有可能在较短时间大副提升旅客吞吐量,从较长时期看,甚至有可能成长为国际枢纽型机场。这类机场空港经济区发展潜力很大,如规划合理可以有效提升机场地位,促进本地区民航事业发展和国际交通地位提升,提升机场客流量,提升本区域综合价值,是开展空港经济区建设综合回报最高也是对空港经济区规划技术水平要求最高的机场类别。

总的来说,我国综合交通体系发展日趋成熟,各种交通方式在国家运输体系的定位和作用日渐清晰,民航设施建设高速、有序。随着我国新型城镇化战略的不断落实和经济转型升级要求的日益迫切,以民航机场为核心的空港经济区和以包括机场在内的综合交通枢纽周边的综合交通枢纽经济区建设在较长时间内会被越来越多的地方政府所重视。一些兼具我国特色和国际先进水平的空港经济区和综合交通枢纽经济区可能被规划设计出来。因此,未来空港经济区规划必须要对我国城镇化、综合交通体系建设战略和特色,区域经济和产业发展特点有着深刻的理解和认识。

### 参考文献

- [1] MCKINLEYCONWAY. TheFly—inConcept. 1965.
- [2] 王运祥. 试论美国交通运输业的发展 [J]. 黄淮学刊:社会科学版, 1992, (2): 29-32.
- [3] 邱连中, 黄为. “白马非马”——支线航空发展的世界潮流与中国特色 [J]. 民航管理, 2004, (10)(11).
- [4] 龚峰, 冯智贵. 国内外临空经济研究综述[J]. 物流工程与管理, 2012, 34(3), : 154-157.
- [5] 民航发展研究所“十一五”机场规划研究小组. 美国机场布局规划的基本思路[J]. 中国民用航空, 2004, 44(8): 45-46.
- [6] 朱晖, 潘爱丰. 空铁联运下高铁枢纽地区的规划设计策略[J]. 规划师, 2014, 30(3): 50-54.
- [7] 黄敏恩. 轨道交通枢纽城市综合体规划探索 [J]. 规划师, 2014, 30(6): 64-69.

# 导航新技术PBN 在机场建设中的应用

张帆 [工艺]

**摘要:** 基于性能导航(PBN)是国际民航组织提出的一种新型运行概念, ICAO已将PBN作为未来全球导航技术的主要发展方向。本文介绍了PBN技术的优越性, 通过对PBN实际应用案例的分析, 总结PBN技术对我国民航机场规划建设的积极作用, 并提出相关的建议措施。

**关键词:** 基于性能的导航; PBN; 机场建设

## 1 引言

导航技术一直是影响民航运输发展的关键要素, 为进一步提供空域容量和运行效率, 满足航空运输飞行量不断增长的需求, 基于性能的导航(PBN)应运而生, 并逐渐显示出自身的优势。

PBN技术是飞行运行方式的重大变革, 代表未来导航技术的发展方向, 是国际民航CNS/ATM系统建设的重要组成部分, 也是我国从航空大国向航空强国迈进, 建设“新一代航空运输系统”的核心技术之一。PBN技术的应用使得飞行程序、净空处理、导航设施等方面产生巨大变化。因此, 研究PBN技术特点, 分析总结PBN技术对民航机场设计的影响, 对今后民用机场规划设计具有十分重要的现实意义。

## 2 PBN技术概述

PBN概念源于ICAO定义的新航行系统(CNS/ATM)的概念。在CNS/ATM中,

新导航系统的成分之一为“逐步引进区域导航(RNVA)能力, 并使其符合所需导航性能(RNP)”。PBN的概念产生于区域导航(RNAV)和所需性能导航(RNP)的基础之上。PBN规定了航空器在指定空域内或沿ATS航路、仪表程序飞行时RNAV和RNP系统的性能要求, 即在某一特定空域环境中运行所需的精确性、完整性、连续性和功能性。PBN概念包含了3个基本要素, 即导航规范、导航应用和支持系统运行的导航设施。

相对于传统导航方式, PBN的实施与应用具有很大的优势。实施PBN技术, 可以确定明确的运行要求, 避免机载和地面设备的重复性安装, 从而也避免重复性的适航和运行批准。对空中交通管理部门来说, 可以减少管制员的工作负荷, 更好的保证飞行安全; 对于航空公司来说, 可以减少成本投入, 提高效益; 对于社会与环境来说, 可以减少航空运输对环境的负面影响。

## 3 PBN技术应用分析

### 3.1 PBN技术在高原机场的应用

中国民航定义机场海拔高度大于1500m(4922ft)的机场为高原机场; 海拔高度在2438m

作者简介: 张帆, 女, 高级工程师, 2008年毕业于中国民航大学通信与信息系统专业, 现就职于中航规划民航工程设计研究院。

及以上的机场为高原机场。我国高原机场数量居全球之首。

高原机场气象条件复杂，温差大、风速大、风向多变，经常伴随严重的乱流和风切变，天气变化迅速。高原机场大多建设在山谷、半山腰，净空条件恶劣，起飞着陆常常在山谷中进行，飞机的起降性能显著衰减、飞行技术难度大、仪表飞行程序设计和实施的难度大，而且没有备降场，一遇恶劣天气，航班常常延误或被取消，给航空公司带来巨大损失。

RNP程序能够绕山和其他障碍物建立飞行航迹，这样飞机能够安全下降穿云，为接地保持正确定位。离场时，飞机在起飞时不需要使用一系列低速机动操作进行转向飞行，可以在飞向狭窄的山谷，确保飞机两侧避开地形。为了提高我国在高原机场的运行安全水平，改善运行环境，提高航空公司经济效益，可以在我国在高原山区机场大力推广RNP技术。下面通过一些应用实例分析PBN技术在高原机场的良好适用性。

### 3.1.1 拉萨贡嘎机场

拉萨贡嘎机场（见图1）标高3569.5m，跑道长4000m、宽45m，机场飞行区指标4E，可供波音B747等大型飞机起降。

机场四周环山（周围山高约在海拔5000m左右），气象变化难以预测。强风引起扬沙严重影响低高度的水平能见度，同时地形扰动产生的动力乱流，导致颠簸和风切变。同时由于机场海拔高度，导致发动机性能急剧衰减，飞机的起飞和着陆性能显著降低。拉萨机场09L跑道进近和27R跑道离场在实施RNP运行之前，完全依靠飞行员在目视条件下机动飞行，不仅飞行难度大，而且天气标准高，经常导致航班的延误、返航甚至取消。每年都会有约30%的航班受地形和气象条件制约而返航，仅此一项就令航空公司每年蒙受几千万元的损失。

实施RNP技术后，实现09L跑道进近和27R跑道离场的仪表飞行，机场运行标准得到了很大改善（见表1），极大地提高了国航在拉萨机场运营的正点率和安全水平，并使40余年来只能单向起飞的拉萨机场具备了双向起降和夜航飞行的能力。

### 3.1.2 林芝米林机场

林芝/米林机场（见图2）位于雅鲁藏布江南岸河谷地带，机场标高2949m，跑道长3000m，是典型的高原峡谷机场，被誉为“国内飞行难度最

表1 拉萨贡嘎机场RNP进近程序与传统程序对比表

| 跑道    | 传统程序运行 |       | RNP进近程序 |       | RNP值 |
|-------|--------|-------|---------|-------|------|
|       | 能见度    | 最低下降高 | 能见度     | 最低下降高 |      |
| RWY27 | 5km    | 4200m | 3.5km   | 3877m | 0.30 |
| RWY09 | 10km   | 6300m | 1.5km   | 3706m | 0.15 |



图1 拉萨贡嘎机场飞行区



图2 林芝米林机场

大的机场”。

按照传统的爬升梯度限制，在满足越障要求的前提下，飞机无法加载足够燃油飞抵成都。为保障机场运行，林芝机场设计使用RNP飞行技术运行。实施RNP技术后，不但满足了成都—林芝航线需求，而且极大提高了机场的航班安全率和正点率。

### 3.1.3 丽江三义机场

丽江三义机场（见图3）标高2242.6m。改扩建后机场跑道长3000m，宽45m，飞行区等级指标4D。丽江机场属于高原机场，地形复杂。通过表2我们可以看出，实施PBN技术之后，丽江三义机场运行安全性和经济性得到了极大的提高。丽江三义机场实施PBN技术前后对比见表2。

### 3.2 PBN技术在平原地区的应用

PBN技术在我国西部的高原机场取得了成功的应用，在平原地区同样可以大显身手。PBN技术可在我国东部繁忙地区的缓解空中交通拥挤的状况，增加空域容量，减少航班延误等方面显示出巨大优势。

#### 3.2.1 海南地区的应用

海南地区于国内最早应用PBN，目前在洋区航路使用RNP10，在三亚凤凰机场试飞RNP APCH项目，规划在全岛航路和进离港航线应用RNAV1。

##### (1) 洋区航路

三亚区管洋区航路使用RNP10（RNAV规范）飞行，不需要任何地面导航设施，平行航路间隔最小50NM，要求机载航空器两套远程导航系统（IRS/FMS，INS，GNSS），有A1、L642、M771、N892四条平行航路。RNP10的应用产生了巨大的社会效益和经济效益：第一，实施平行航路提高了交通流量；第二，导航设施减少，降低了空管的投入成本和运行费用；第三，平行航路的实施，降低了管制员的工作负荷，提高了飞行运行的安全性。

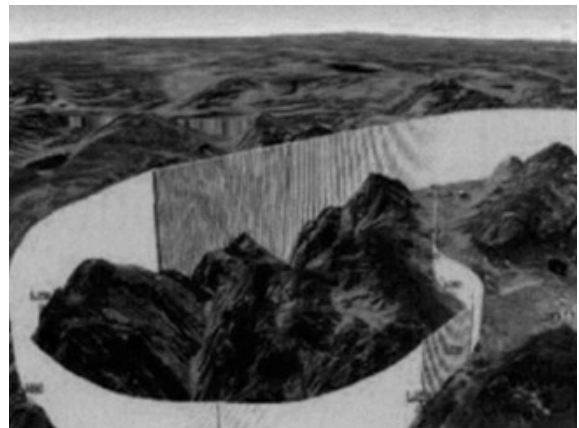


图3 丽江三义机场RNP航迹

##### (2) 三亚机场进近

三亚凤凰国际机场位于中国最南端三亚市西北11km处，跑道长3400m，宽60m，飞行区等级4E。可满足波音747、空客340等大型飞机满载起降的要求。RNP技术使得机场26号跑道落地标准

表2 丽江三义机场实施PBN技术前后对比表

|     | 20号跑道                          | 02号跑道  | 其他                            |
|-----|--------------------------------|--|-------------------------------|
| 实施前 | 盲降下滑角达3.5°，飞机经常冲出跑道，安全隐患高。     | 无法进行仪表进近，离场起飞爬升梯度高达5.3%，影响飞机荷载和航空公司利润。       | 目视盘旋只能在跑道西侧，导航台信号受遮挡。         |
| 实施后 | 下滑角降至2.9°，飞机下滑轨迹更为平缓提高了飞行安全水平。 | 实现了02号跑道仪表进近，提高运行保障能力和运营效益。降低爬升梯度限制，增加了飞机业载。 | 减少地面导航台盲区对进近的影响，提高正点率、节约运行成本。 |

大幅度下降,由原来NDB/DME决断高度(DA)320m降到215m,能见度由4km降到2.4km。这样,在吹西风或下雨时(由雨量大小及能见度决定),26号跑道基本可用,从而改善目前只要吹西风、下雨时,26号跑道的天气标准基本上无法达到落地标准,大部分航班只能返航或备降海口的现状。

### (3) 海南全岛PBN规划

为了适应海南地区流量快速增长的需要,提高海南和湛江地区的空管保障能力,开辟海南地区中部和西部4条航线(其中一条平行航线)。海南地区将在这些航线上使用RNAV-1规范,这将明显提高海南地区的空中交通流量,减少空管的导航基础设施投资和运行成本。

### 3.2.2 珠三角地区的应用

近年来,相对于国民经济和航空生产的快速发展,可用空域等基础性资源的有效供给不足是中国民航始终面临的一个突出矛盾,这一点在中南地区,尤其是珠三角地区尤为突出。珠三角地区有两个超千万的大型机场——广州白云机场、深圳宝安机场。排名前五位的运输航空公司,中南地区占其三——南航、海航、深航,其中南航和深航的基地均位于珠三角地区,同时,世界航空货运巨头FEDEX、UPS已将其亚太地区转运中心落户广州、深圳。珠三角地区空域流量占民航1/4强,无论是从高峰小时起降架次,还是日起降架次,已成为中国乃至全球航空运输高度繁忙区域之一。

鉴于PBN有助于提高航空器运行效率和运行安全水平,实行平行进离场航段,为飞越高密度终端区域的航空器提供旁通航路,提高交通流量;增加终端区内进离场航线定位点,更多直飞航路,减少飞行距离;提供更有效的爬升和下降剖面,便于飞行员操作;减少陆空通话和雷达引导需求,降低飞行员和管制员工作负荷。这些优势对于广州白云和深圳宝安这种繁忙机场至关重要。

2007年1月18日,在珠三角空域紧张的情况下,广州白云国际机场率先在全国繁忙机场中开始RNAV程序试运行。全面实施PBN技术后,广州白云机场30%的进离场程序路径较原来缩短了15km,每日可以为起降广州的航班节省飞行路径逾4041km。

PBN技术在广州终端区的成功应用,为解决

京津地区、长三角等空中交通流量大的地区的航路拥堵、空域资源有限等问题奠定了基础、积累了经验。

## 4 几点建议

通过对PBN技术特点及其在机场运行中作用的阐述,可以看出,PBN技术符合我国未来民航的发展需求,在民航机场建设领域具有广阔的应用前景。针对PBN技术在机场建设、空域规划、机场管制等方面的积极作用,总结以下几点措施建议:

### (1) 机场建设方面

PBN方案研究在机场建设前期阶段就应该得到足够地重视,机场场址是否满足PBN方案的要求,直接影响项目的可行性;如果已有的机场在地形和空域复杂地区,还会影响到机场的净空处理量乃至机场的投资。随着PBN技术应用,飞行仪表程序对导航设施的要求也发生了变化。以往导航方式是依赖陆基的无线导航设施,因而导航设施对仪表程序的限制比较大,仪表程序也完全依赖地面导航设施。但PBN导航技术的出现,未来的仪表程序越来越依赖星基导航设施和机载导航设备,PBN的设计也就更具灵活性。

因此,机场建设前期首先要拟定、设计PBN方案,然后依据PBN方案安排导航设施的建设布局。如果导航设施建设布局不能满足相关导航规范,应进一步优化、调整PBN方案,依据调整的PBN方案进一步优化导航设施建设布局,二者最终达成一致。最终,PBN确定的导航设施布局符合导航规范的要求,导航设施布局能够满足PBN的使用要求。

### (2) 空域规划方面

PBN和空域规划二者是相辅相成的关系,PBN是空域规划的核心内容,保障PBN顺畅运行也是空域规划的目的。

对现有机场而言,首先要依据基本空域和地形条件制定出PBN方案。PBN方案规划的飞行路线加上线路保护区,通常就是PBN的航空器运行所需的空域规划的范围。空域规划人员依据PBN方案与有关单位进行沟通协商,尽量满足PBN方案的要求,对空域规划不能满足PBN的要求,应根据空域的限制和地形限制情况对PBN作适当的调整。对准备建设的机场而言,鉴于上述PBN和空域规划的关系,在机场建设初期PBN设计和空

域规划就应该同步开展。

### (3) 机场管制指挥方面

飞行安全是民航的根本所在,基于性能导航PBN是保障飞行安全的关键和战略性基础工作之一,直接关系到航空器运行安全。基于性能导航PBN是管制指挥的基础,是为更好地管制指挥提供服务的。在管制运行体系建设上,构建以民航运行管理中心为指挥核心,以区域、终端进近和塔台为主线的管制运行体系。大力推进管制运行的标准化、规范化,健全民航运行协调决策机制,提高应对突发事件的能力。在设备运行保障体系建设上,要建立分级管理与集中监控的设备运行保障体系。通过一线的实际工作可以发现PBN的不足,并及时反馈给PBN设计人员,对基于性能导航PBN进行优化、调整,更好地为管制指挥服务。

## 5 结语

总之,PBN技术代表未来导航技术的发展方向,是我国从航空大国向航空强国迈进,建设新一代航空运输系统的核心技术之一。PBN技术符合未来民航的发展需求,既适用于地形复杂、净空条件差的高原机场,也适用于空中交通流量大、空域资源紧张的繁忙地区,在民航机场建设领域具有广阔的应用前景。

### 参考文献

- [1] ICAO DOC 8168, Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, Aircraft Operation (Volume 11), Fifth Edition, 2006.
- [2] ICAO DOC 9613, Performance-based Navigation Manual, Third Edition, 2008.
- [3] 中国民航局飞行标准司, 航路与终端区实施RNAV1 RNAV2 的运行指南 (AC-91-FS-2008-09), 2008.
- [4] 中国民用航空局, 中国民航基于性能的导航实施路线图(第一版). 2009.
- [5] 张健, 缪志新. 基于性能的导航技术本质及应用前景分析[J]. 中国民用航空, 2010(4): 57-59.
- [6] 程擎, 杨荣盛. 全球实施PBN最新进展及对我国的启示[J]. 中国民用航空, 2010(4): 60-62.
- [7] 蔡清毅. 基性能导航(PBN) 技术介绍[J]. 空中交通管理, 2011(4): 8-12.
- [8] 杨洪海, 张光明. 中国民航PBN发展战略及实施现状[J]. 中国民用航空, 2010(12): 19-22.
- [9] 刘永谋. 从空管角度看PBN技术的应用[J]. 中

国民用航空, 2010(12): 37-39.

[10] ICAO DOC 9137-AN/898/2 机场勤务手册第6部分—障碍物控制.

[11] 钱炳华, 张玉芬. 机场规划设计与环境保护[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2000

[12] 王维. 机场净空管理[M]. 北京: 中国民航出版社, 2008

# 航站楼类高大空间分层空调设计冷负荷减小率的数值分析

刘晓雨 梁超 梁乃正 邵晓亮 李先庭 姚春 「暖通」

**摘要:** 高大空间分层空调设计冷负荷通常采用经验系数法计算,对于航站楼类高大空间,经验系数的取值研究较少。以无锡某航站楼的远机位候机厅、近机位候机厅和办票大厅3个高大空间为例,利用CFD软件,在夏季空调设计工况下,通过调整送风参数使工作区温度达到室内参数设计要求,求出分层空调冷负荷,并获得分层空调冷负荷相比于全室空调负荷的减小率,1减去该减小率所得数值即为航站楼类高大空间冷负荷计算所用的经验系数。结果表明,航站楼因围护结构形成的冷负荷占总冷负荷的比例较小且顶部不能设置排风口,分层空调设计冷负荷计算所用的经验系数取0.85~0.95较为合适。

**关键词:** 航站楼;高大空间;分层空调;设计冷负荷;经验系数;减小率

## 0 引言

高大空间,指面积一般在数千乃至数万平方米以上,高度在10m以上的建筑空间<sup>[1]</sup>。航站楼是一种比较特殊的高大空间,它具有玻璃幕墙面积大、人员数量大和灯光负荷大等特征<sup>[2]</sup>。随着我国经济的发展和人民生活水平的提高,航站楼的数量和规模都在快速增长,同时也带来了建筑能耗大的问题,其中暖通空调能耗所占比重最大<sup>[3]</sup>。航站楼一般采用的空调系统是分层空调系统<sup>[4]</sup>,其仅对下部空间进行空调,由于考虑到飞机尾气污染、噪声污染以及机场安全性等问题而对上部较大空间不设置风口,只在屋顶设置起排污作用的天窗<sup>[5]</sup>。分层空调系统下,室内温度分布存在明显的分层现象,导致航站楼空调的设计冷负荷不能简单地视为均匀混合的全室空调来计算。而冷负荷计算是航站楼建筑能耗的基础,它关乎空调系统的设备选型以及日常运行的调控效果。因此,合理计算航站楼分层空调

的设计冷负荷是很有必要和有意义的。

目前,国内对高大空间分层空调的设计冷负荷计算主要采用经验系数法。经验系数法最早由日本的宫川保之等人<sup>[6]</sup>提出,它认为分层空调冷负荷由下部空调区本身得热形成的冷负荷和上部非空调区对下部空调区热转移形成的冷负荷两部分组成,转移负荷又包括辐射热转移负荷和对流热转移负荷。随后,邹月琴等<sup>[1][5][7]</sup>通过南京汽轮机电机厂房现场测试和模型实验研究对该方法进行了改进,并拟合出直观的图表以供查阅计算。进一步简化后,经验系数法直接化为在全室空调负荷的基础上乘以经验系数 $a$ 来计算分层空调负荷,该系数 $a$ 通常为0.5~0.85。经验系数法简单方便,现已被《实用供热空调设计手册》(第二版)<sup>[8]</sup>采用,并在工程界得到了广泛应用。然而,从以上分析可发现,设计手册中给出的经验系数取值主要针对工业厂房类高大空间。虽然有学者对大厅、中庭、体育馆等其他高大空间<sup>[9]</sup>的经验系数取值进行了研究,但是针对航站楼类高大空间的研究较少,而且仅有的这些研究<sup>[10]</sup>缺乏严谨性甚至存在逻辑错误,或者将得热量与冷负荷的关系混淆,或者未能正确理解设计冷负荷的定义。

作者简介:刘晓雨,女,高级工程师,1993年毕业于哈尔滨建筑工程学院热能工程系,现就职于中航规划民航工程设计研究院。



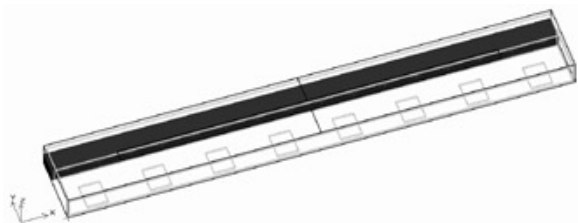
为了合理地计算航站楼类高大空间分层空调的夏季设计负荷,选取合理的经验系数 $a$ ,本文将以无锡某航站楼的远候机厅、近候机厅和办票大厅为研究对象。通过设计6个工况,利用CFD软件计算各个工况下的分层空调冷负荷,从而获得分层空调负荷相比于全室空调负荷的减小率,1减去该减小率即为经验系数 $a$ 。与此同时,利用模拟获得的室内参数分布,可得到高大空间内的热平衡关系,从而为该经验系数 $a$ 的取值提供理论分析。

## 1 物理模型

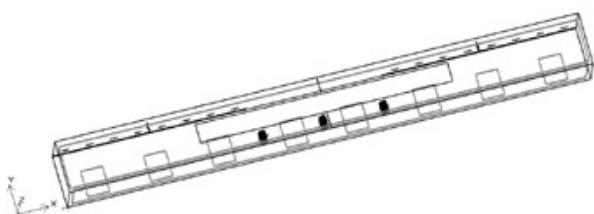
### 1.1 模型介绍

该航站楼中典型的高大空间为位于二层的远机位候机厅、近机位候机厅和办票大厅,它们各自采用独立的分层空调系统,具体见图1。

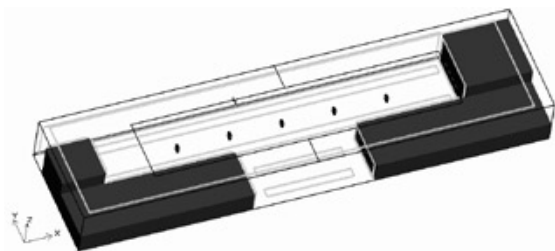
如图1(a)所示,远机位候机厅尺寸为 $216\text{m}(X) \times 30\text{m}(Y) \times 11\text{m}(Z)$ ;屋顶为金属屋面系统,并



(a)远候机厅



(b)近候机厅



(c)办票大厅

图1 无锡某航站楼的物理模型

有遮阳系数为0.857的内遮阳和 $90\text{m} \times 9\text{m}$ 的天窗;北墙(正X方向)和西墙(正Y方向)是玻璃幕墙,均为外墙;楼板因吸收太阳辐射而设置为定热流边界条件,热流量为太阳辐射强度乘以楼板面积;其余均为内墙,定义为绝热边界条件;西侧有一大小为 $216\text{m} \times 9.5\text{m} \times 6\text{m}$ 的商业区,商业区由于有单独的空调系统,因此将其设置为绝热边界条件;商业区4.5m高处布置了一排喷口,将其设置为送风速度为 $3\text{m/s}$ ,风量为 $210000\text{m}^3/\text{h}$ 的矩形风口;顶部照明设计负荷为 $59\text{kW}$ ,设备设计负荷为 $35\text{kW}$ ,候机人员设计负荷为 $59\text{kW}$ 。

如图1b所示,近机位候机厅尺寸为 $216\text{m}(X) \times 22\text{m}(Y) \times 18\text{m}(Z)$ ;屋顶为金属屋面系统,并有遮阳系数为0.857的内遮阳和 $104\text{m} \times 8\text{m}$ 的天窗;楼板因吸收太阳辐射而设置为定热流边界条件,热流量为太阳辐射强度乘以楼板面积;其余均为内墙,定义为绝热边界条件;西侧4.5m高处布置了一排喷口,将其设置为送风速度 $3.4\text{m/s}$ ,风量 $140000\text{m}^3/\text{h}$ 的矩形风口;中间还有3个风柱,其2.5m处的送风口设置为速度 $3\text{m/s}$ ,风量 $70000\text{m}^3/\text{h}$ 的矩形风口;顶部照明设计负荷为 $63\text{kW}$ ,设备设计负荷为 $37\text{kW}$ ,候机和安检人员设计负荷为 $38.5\text{kW}$ 。

如图1c所示,办票大厅尺寸为 $216\text{m}(X) \times 54\text{m}(Y) \times 23\text{m}(Z)$ ;屋顶为金属屋面系统,并有遮阳系数为0.857的内遮阳和 $140\text{m} \times 20\text{m}$ 的天窗;北墙和西墙是玻璃幕墙,均为外墙;楼板因吸收太阳辐射而设置为定热流边界条件,热流量为太阳辐射强度乘以楼板面积;其余均为内墙,定义为绝热边界条件;室内有4个商业区,大小分别为 $80\text{m} \times 24\text{m} \times 10\text{m}$ 、 $80\text{m} \times 24\text{m} \times 10\text{m}$ 、 $30\text{m} \times 30\text{m} \times 17\text{m}$ 和 $20\text{m} \times 20\text{m} \times 17\text{m}$ ,均设置为绝热边界条件;四个商业区4.5m高处均布有喷口,将其设置为送风速度 $3\text{m/s}$ ,风量 $280000\text{m}^3/\text{h}$ 的矩形风口;中间还有5个风柱,其2.5m处的送风口设置为速度 $4.5\text{m/s}$ ,风量 $70000\text{m}^3/\text{h}$ 和速度 $6.5\text{m/s}$ ,风量 $70000\text{m}^3/\text{h}$ 的矩形开口;顶部照明设计负荷为 $84.5\text{kW}$ ,设备设计负荷为 $50\text{kW}$ ,候机和安检人员设计负荷为 $22.4\text{kW}$ 。

各屋顶、天窗和外墙(均为玻璃幕墙)都定义为第三类边界条件,给定其传热系数,具体见表1。

另外,在夏季空调设计工况下,无锡的室外干球温度为 $34.6^\circ\text{C}$ ,湿球温度为 $28.6^\circ\text{C}$ ,太阳辐射强度<sup>[11]</sup>如表2所示。

表1 各围护结构的物性参数

|                           | 东墙 (玻璃幕墙) | 西墙 (玻璃幕墙) | 北墙 (玻璃幕墙) | 屋顶 (开有天窗) | 楼板   |
|---------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| 吸收系数                      | 0.7       | 0.7       | 0.7       | 0.9       | 0.65 |
| 传热系数 (W/m <sup>2</sup> K) | 2.27      | 2.27      | 2.27      | 0.24      | —    |
| 遮阳系数                      | 0.17      | 0.18      | 0.24      | 0.35      | —    |

注：“—”表示相关数据在计算中未使用到，因此未列出

表2 太阳总辐射强度

| 朝向       | S (南)                | W (西)                | N (北)                | E (东)                | H (水平)               |
|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 夏季空调设计工况 | 325 W/m <sup>2</sup> | 200 W/m <sup>2</sup> | 174 W/m <sup>2</sup> | 369 W/m <sup>2</sup> | 929 W/m <sup>2</sup> |

从玻璃幕墙和窗户射入的太阳辐射部分被楼板吸收，其他部分则按角系数分配到各壁面。对于远候机厅，楼板对屋顶的角系数为0.55，楼板对东墙的角系数为0.26，楼板对商业区的角系数为0.15，楼板对北墙的角系数为0.04。对于近候机厅，楼板对屋顶的角系数为0.55，楼板对东墙的角系数为0.45。对于办票大厅，楼板对屋顶的角系数为0.5，楼板对西墙的角系数为0.33，楼板对商业区的角系数为0.17。

## 1.2 工况设计

基于飞机尾气污染、噪声污染以及机场安全性等方面的考虑，航站楼在顶部一般不设置排风口。此时主要通过各围护结构和门窗的无组织漏风(相当于排风)与新风达成平衡，维持室内压力稳定。为了较真实地描述无组织漏风，这里假设两种极端，一种认为排风都在屋顶排除，而另一种认为排风都在空调区排除(相当于在空调箱排除)，实际的无组织漏风则介于这两种极端之间。因此，本文对远候机厅、近候机厅和办票大厅都设计两个工况，一个排风在屋顶，一个排风在空调区，排风量等于新风量，为10%的总风量。具体工况设计见表3。

## 2 计算方法

由上文可知，各边界条件都已确定，对6个工况均固定其送风量不变，然后不断调整送风温度，利用CFD软件来模拟各送风温度下的室内流场和温度场。当工作区平均温度满足航站楼室内设计要求时，此时的送风温度则满足要求。从而，根据该送风温度和风量就可求得分层空调冷负荷，如式(1)所示：

$$Q_{\text{冷负荷}} = c_p m_{\text{送}} (t_{\text{设计}} - t_{\text{送}}) \quad (1)$$

式(1)为室内冷负荷的定义式，式中 $m_{\text{送}}$ 指送风质量流量， $t_{\text{送}}$ 指送风温度， $t_{\text{设计}}$ 指室内设计温度，对于航站楼该值取为26℃。

而对于全室空调冷负荷，假定室内为均匀混合，均为26℃，然后根据各得热量相加求得。这里需要说明一点，由于在全室空调系统和分层空调系统下，室内的余湿量和新风量均相同，因此在求各自冷负荷时均未考虑室内湿负荷和新风负荷。

在分别获得全室空调冷负荷和分层空调冷负荷后，易求出分层空调冷负荷相比全室空调冷负荷的减小量和减小率，然后1减去该减小率即为航站楼

表3 工况设计

|     | 模拟对象 | 设计工况     | 排风位置 |
|-----|------|----------|------|
| 工况1 | 远候机厅 | 夏季空调设计工况 | 空调区  |
| 工况2 | 远候机厅 | 夏季空调设计工况 | 屋顶   |
| 工况3 | 近候机厅 | 夏季空调设计工况 | 空调区  |
| 工况4 | 近候机厅 | 夏季空调设计工况 | 屋顶   |
| 工况5 | 办票大厅 | 夏季空调设计工况 | 空调区  |
| 工况6 | 办票大厅 | 夏季空调设计工况 | 屋顶   |

类高大空间分层空调冷负荷计算中的经验系数 $\alpha$ 。

另外, 本文对该航站楼在夏季空调设计条件下进行稳态模拟的CFD软件是广泛应用于建筑采暖与通风空调领域的AirPak 2.1<sup>[12]</sup>。在AirPak模型中, 采用Indoor zero equation湍流模型<sup>[13]</sup>, 利用有限体积法对方程进行离散, 差分格式为一阶差分格式, 迭代算法为SIMPLE方法, 并设置线性欠松弛因子以提高收敛性, 采用六面体进行网格划分, 经网格无关性检验, 远候机厅网格数约为23万, 近候机厅网格数约为38万, 办票大厅网格数约为60万。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 工作区流场和温度场

通过模拟, 可获得各个工况下工作区(2m以下区域)的典型流场和温度场分布, 具体见图2。

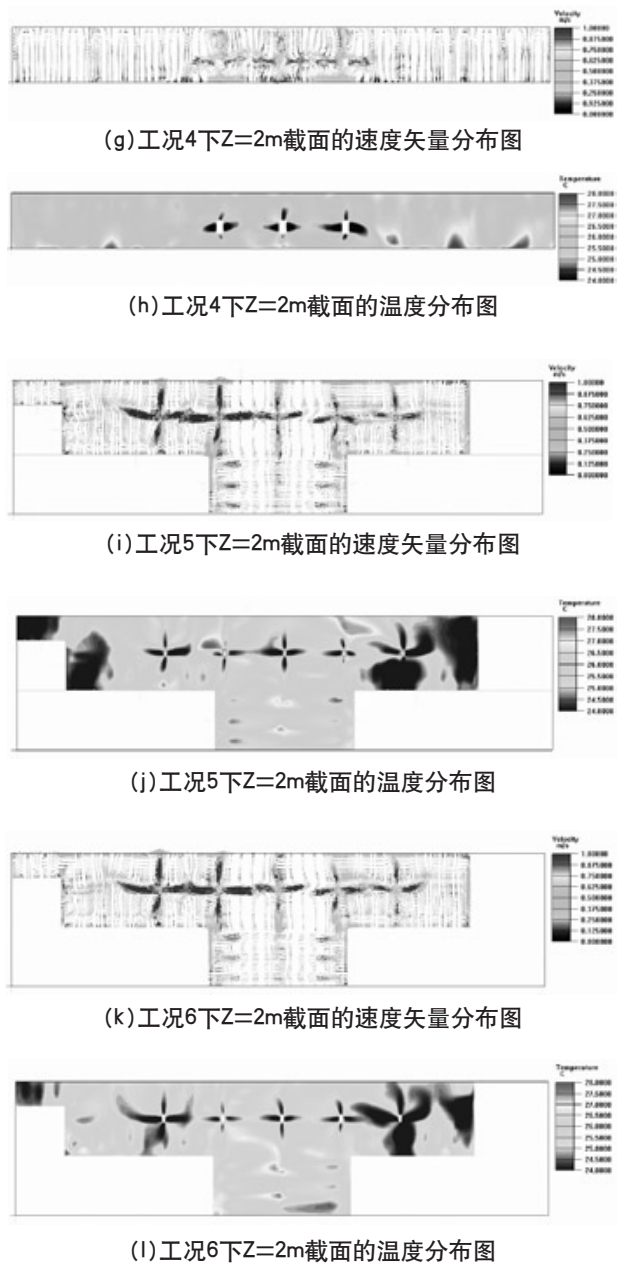
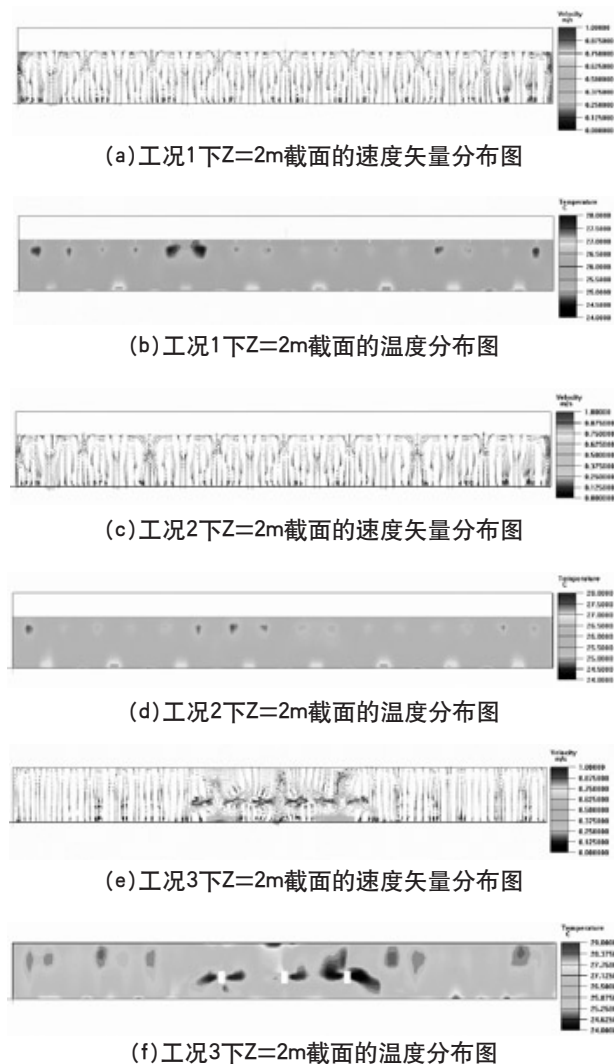


图2 各工况下工作区的典型流场和温度场

由图2可知, 在射流周围区域速度较大, 温度较低, 这较好地反映了射流特点。各工况下工作区的流场和温度场分布较均匀和对称, 且计算得到工作区平均温度均约为 $26^{\circ}\text{C}$ , 满足航站楼室内参数设计要求。

#### 3.2 送风温度

在保证工作区参数满足室内设计要求后, 可获得各工况下的送风温度, 具体见图3。

由图3可知, 排风在屋顶时(工况2、4和6)的送风温度要比排风在空调区(工况1、3和5)

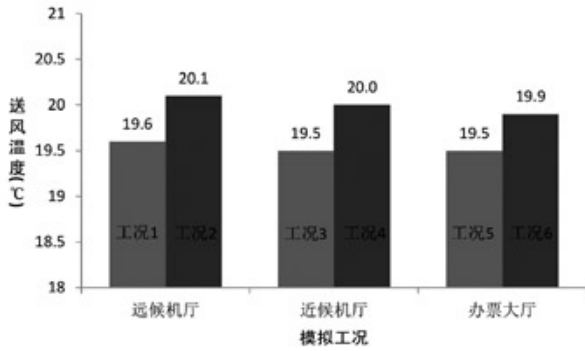


图3 各工况下的送风温度

高，这意味着其冷负荷要更小，排风在屋顶有助于减小冷负荷。而且，对于远候机厅、近候机厅和办票大厅3个不同的高大空间，排风在屋顶时其送风温度增加的幅度均约为0.5℃，这说明排风在屋顶时对这三类空间有着类似的降低冷负荷效果。

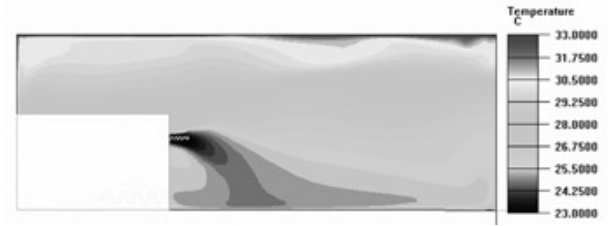
### 3.3 冷负荷

在获得各工况下的送风温度后，可根据式(1)求得各工况下的分层空调冷负荷，具体见表4。

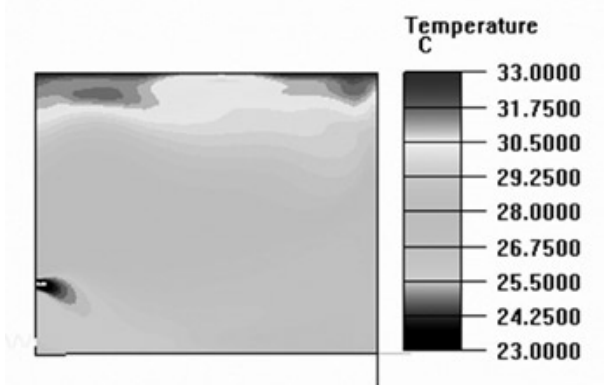
表4中，全室空调冷负荷当做基础负荷，各工况下分层空调冷负荷与全室空调冷负荷的差值称为冷负荷减小量，冷负荷减小量与全室空调负荷的比值称为冷负荷减小率。

由表4可知，当排风在空调区时(工况1、3和5)，分层空调冷负荷均小于全室空调冷负荷。这是因为室内存在明显的温度分层(见图4)，上部和下部区域温差近10℃，从而使得从围护结构传进来的热量 $q_{围护}$ 有所减小。

式(2)为工况1、3和5下整个高大空间内的热平衡方程。分层空调与全室空调相比，得热量 $q_{太阳}$ 、 $q_{人员}$ 和 $q_{设备}$ 均相同，仅围护结构得热量 $q_{围护}$ 更小，因此在送风量 $m_{送}$ 一定的情况下，送风温度 $t_{送}$ 将增大，从而根据式(1)可知冷负荷将减小。另外，对



(a) 工况1下X=75m断面处的温度分布



(b) 工况3下X=75m断面处的温度分布



(c) 工况5下X=108m断面处的温度分布

图4 工况1、3和5下的垂直温度分布

于工况3，由于近候机厅中无外墙， $q_{围护}$ 仅为从屋顶传进来的热量。因此，因存在温度分层而从 $q_{围护}$ 省下的冷负荷最少，从而其冷负荷减小率最小，为5.53%。

$$q_{太阳} + q_{围护} + q_{人员} + q_{设备} = c_p m_{送} (t_{回} - t_{送}) \quad (2)$$

表4 各工况下的冷负荷

|        | 工况1      | 工况2      | 工况3      | 工况4      | 工况5      | 工况6      |
|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 全室空调负荷 | 484.0 kW | 484.0 kW | 479.8 kW | 479.8 kW | 988.0 kW | 988.0 kW |
| 分层空调负荷 | 442.6 kW | 408.0 kW | 453.3 kW | 418.4 kW | 916.9 kW | 860.5 kW |
| 冷负荷减小量 | 41.4 kW  | 76.0 kW  | 26.5 kW  | 61.4 kW  | 71.1 kW  | 127.5 kW |
| 冷负荷减小率 | 8.55%    | 15.69%   | 5.53%    | 12.79%   | 7.19%    | 12.90%   |

由表4可知,当排风在屋顶时(工况2、4和6),不仅因为存在温度分层使得 $q_{\text{围护}}$ 减小,而且排风也将带走部分热量,因此在送风量 $m_{\text{送}}$ 一定的情况下,送风温度将更高,从而使得室内负荷减小得更多。

### 3.4 讨论与分析

实际的航站楼无组织漏风介于排风在屋顶和排风在空调区两种极端之间,从而实际的航站楼分层空调冷负荷减小率介于两者之间,为5%~15%,即经验系数法中的经验系数 $a$ 取为0.85~0.95。该经验系数 $a$ 取值大于《实用供热空调设计手册》(第二版)中的0.5~0.85,这主要由航站楼本身特点决定的。航站楼高大空间,一方面因存在大面积玻璃幕墙,导致太阳辐射得热量占总得热量比重较大,而围护结构得热量比重较小,因此从围护结构节省下来的冷负荷较小;另一方面,由于航站楼自身特殊原因其顶部不能设置风口,因此排风带走的热量有限。综合这两方面,导致航站楼分层空调负荷减小率较小,即经验系数取值较大。

航站楼均有玻璃幕墙面积大和顶部不设置排风口等特点,因此本文针对无锡某航站楼的经验系数取值可推广至其他航站楼,从而指导航站楼分层空调系统的设计。另外,这种利用CFD工具来确定分层空调冷负荷计算中经验系数取值的方法可应用于其他类型的高大空间中。

## 4 结论

本文以无锡某航站楼的远候机厅、近候机厅和办票大厅3个高大空间为例,设置6个工况,利用CFD工具进行模拟计算,在合理设计各类边界条件下,通过调整喷口射流的送风参数使得室内参数达到设计要求,然后利用送风参数计算出分层空调冷负荷,随之分层空调负荷与全室空调负荷的比值即经验系数也计算得到。通过分析可知,用经验系数法计算航站楼类高大空间的分层空调冷负荷时,经验系数取值应为0.85~0.95。由于不同类型的高大空间其负荷特征不同,计算分层空调冷负荷时不能采用统一的经验系数取值,因此可利用本文这种借助CFD工具确定经验系数取值的方法来分析其他类型的高大空间。

### 参考文献

- [1] 邹月琴,王师白,彭荣,杨纯华.高大厂房分层空调负荷计算问题.制冷学报.1983.4:49-56.
- [2] 刘魁星.航站楼负荷动态模拟和特性分析.天津大学.2009.
- [3] 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.中国建筑工业出版社.2010.
- [4] 李琳,杨洪海.高大空间四种气流组织的比较.建筑热能通风空调.2012.31(3):60-62.
- [5] 邹月琴,王师白,彭荣,杨纯华,戎子年等.分层空调热转移负荷计算方法的研究.暖通空调.1983.03:11-18.
- [6] 李先瑞.关于计算确定大空间上下的室温分布问题的实验研究.暖通空调.1981.4:29-36.
- [7] 邹月琴,王师白,彭荣等.分层空调气流组织计算方法研究.暖通空调.1983.13(2):1-7.
- [8] 陆耀庆.实用供热空调设计手册(第二版).中国建筑工业出版社.2007.
- [9] 赖河静.高大空间空调系统不同气流组织形式的能耗分析研究.重庆大学.2011.
- [10] 石利军.航站楼分层空调上下区负荷分配研究.重庆大学.2011.
- [11] 中国建筑科学研究院.GB50736-2012 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范.中国建筑工业出版社.2012.
- [12] Li, Y. Computational Fluid Dynamics Technology and Its Application in Wind Environment Analysis. Journal of Urban Technology. 2010, 17(3): 67-81.
- [13] Chen, Q. and Xu, W. A zero-equation turbulence model for indoor airflow simulation. Energy and Buildings. 1998. 28:137-144.

# 声学软件在航空发动机试车台设计上的应用

陈珏 王娜 万能 「设备」

**摘要:** 航空发动机在试车台内试车时,试车噪声大,并且试车噪声频带宽,会对周围环境造成很大污染。因此试车台声学设计在试车台设计中是一个重要部分。对声学仿真软件(Raynoise和 Predictor)的功能及特点进行简单介绍。利用Raynoise和Predictor对航空发动机试车台进行声学仿真以及与实测比较分析,仿真结果与实测数据符合较好,可以作为一种可视化的设计手段用与试车台声学设计中。

**关键词:** 噪声控制;发动机;试车台;声学仿真

## 1 引言

试车台作为航空发动机在地面试车和维修检查的平台,航空发动机在工作时会产生高分贝的宽频带噪声。发动机试车台是发动机工厂噪声污染的重点对象<sup>[1]</sup>。在发动机试车时的噪声控制是发动机试车台设计的一个重点关注的问题。

试车台向外界辐射的噪声会影响厂区内工作人员以及干扰周围居民的生活环境。国家对噪声排放也有相应的标准要求<sup>[2][3]</sup>。目前,国内试车台主要以U型结构为主,试车台的进气塔口以及排气塔口排放的噪声是试车台厂界噪声的主要来源。

声学软件的发展对试车台的声学设计提供了一个新的思路。本文利用声学仿真软件对某试车台的内外场进行仿真,仿真结果与实测数据符合较好,可以作为一种可视化的设计手段用与试车台声学设计中。

## 2 软件仿真

Raynoise是比利时LMS公司为声学工程师研制的声学CAD软件,模型计算采用镜像声源法和声线跟踪法。该软件主要用于建筑声学的计算机辅助设计。

Predictor是丹麦B&K公司研制的声学CAD软件,模型计算采用声线跟踪法。该软件可用于仿真建筑物对外场的声辐射,绘制任意形状厂界的声场分布图,并且可同时绘制2D和3D的声场分布图。

### 2.1 Raynoise软件仿真

对试车台内部声场用Raynoise软件进行了仿真。某试车台声学模型见图1。

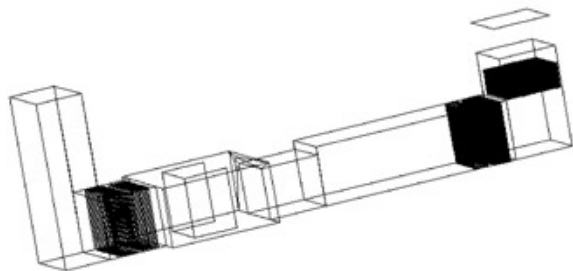


图1 某试车台声学模型

作者简介:陈珏,男,助理工程师,2013年毕业于西北工业大学声学专业,现就职于中航规划设备工程设计研究院。

由于试车台内有各种噪声控制元件，如进排气消声元件，试车间墙面吸声板等。不同的材料有不同的声学特性。在仿真时，它们有不同的吸声系数。对模型单元进行分组的目的就在于对不同吸声系数的模型表面进行分类设置。对于本试车台而言，主要的声学表面为混凝土墙面、试车间两侧墙面吸声板、进排气消音元件、排气消音间内C型障板等。

对于已分组的模型，需要对各种分组的表面进行声学材料属性设置。Raynoise提供了一些常用材料和结构的吸声系数，也可以自己定义吸声系数<sup>[4]</sup>。对于一般常见材料的吸声系数都在数据库中直接调用，如混凝土墙面吸声系数。对于非标消声元件的吸声系数，一般由于尺寸问题无法直接通过测量获得，可以根据所填充的吸声材料的吸声系数进行估计。

由于发动机噪声指向性十分明显，一般来讲，发动机噪声被分为进口噪声和喷口噪声，进口噪声主要是作为发动机向试车间和进气塔方向辐射的噪声源，喷口噪声主要作为排气噪声源，向排气道方向辐射。对于声源设置，在仿真中设置两个声源，分别模拟发动机的进口噪声和喷口噪声。发动机中心标高处，试车间内声场分布见图2。

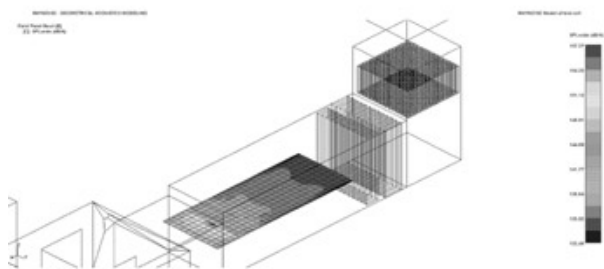


图2 试车间内声场分布图

通过对消声元件吸声系数的合理调整，试车台几个关键测点处的仿真数据与实测结果对比见表1。可以看到，仿真结果与实测数据吻合较好。

## 2.2 Predictor软件仿真

完成试车台内部声场仿真后，对试车台向外界辐射噪声进行仿真。试车台外场辐射噪声仿真采用B&K公司的Predictor软件进行。

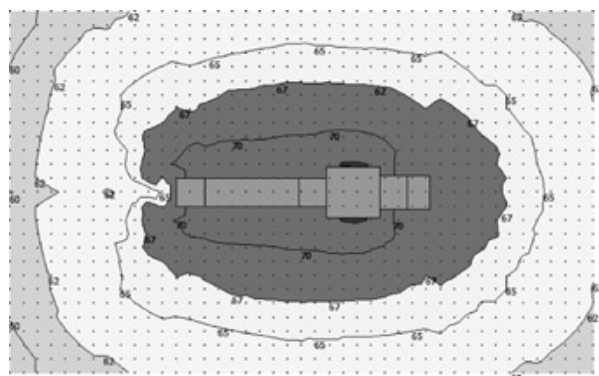
Predictor软件提供了较为简单的建模功能。在工作界面选用building功能可以建立试车台的立

表1 内场仿真结果与实测数据对比表

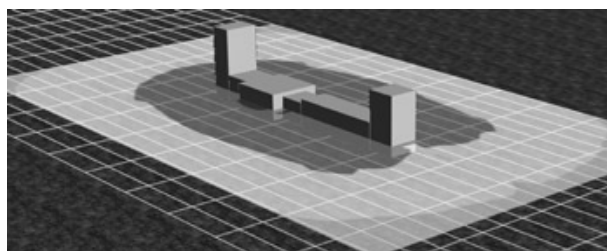
| 测点位置  | 仿真结果 (dB)      | 实测数据 (dB)      |
|-------|----------------|----------------|
| 隔声大门内 | 136.5          | 136            |
| 进气塔底  | 122.2          | 121.4          |
| 进气塔口  | 109.7(86.5dBA) | 105.7(87.6dBA) |
| 排气塔口  | 106.2(82.9dBA) | 103.9(84dBA)   |

体外轮廓。通过设置building属性中的高度可以调整建筑物的高度属性<sup>[5]</sup>。试车台向外辐射噪声的声源主要包含进气塔口和进气塔墙面，排气塔口和排气塔墙面，以及试车间墙面。Predictor建立模型后在试车台向外辐射噪声的屋面、屋顶处设置面声源。声源数据来源为Raynoise软件的仿真结果。Predictor软件在计算辐射噪声时需要设定计算步长来保存计算结果。在本车台向外辐射噪声计算中，采用5m的步长进行计算。结算结果见图3，分别为2D结果图和3D结果图。

仿真结果与实测数据对比见表2，随着距离的增大，面声源可以近似为点声源，整个衰减规律也与实际符合得越好。



(a)2D仿真结果图



(b)3D仿真结果图

图3 某试车台外场仿真结果图

表2 外场仿真结果与实测数据对比表

| 测点位置    | 仿真结果<br>dB(A) | 实测数据<br>dB(A) |
|---------|---------------|---------------|
| 进气塔外10m | 67            | 65            |
| 进气塔外30m | 63            | 63            |
| 进气塔外60m | 60            | 57            |
| 排气塔外10m | 68            | 64            |
| 排气塔外30m | 65            | 62            |
| 排气塔外60m | 62            | 59.5          |

### 3 结论及展望

通过对几个试车台的内、外场声学软件仿真的工作以及现场实测数据的对比分析,可以得出以下结论。

(1)利用B&K公司的Predictor软件可以准确评估试车台的外部声场环境(包含除试车台外的其他建筑),声场仿真结果对试车台设计具有重要参考价值。与实测数据相比,远场噪声的仿真数据误差范围基本在3dB范围内,软件计算的声场比实际测试的声场值要略大。在声学方案设计初期,软件建模简单快速,易于实现对外场声环境的快速准确预测,远场计算结果准确性相对较高,声场的变化规律与实测基本一致。

(2)使用Raynoise软件计算室内声场,建模过程相对繁琐,由于气流的存在,在消声元件的吸声系数设置上存在较大的修正量,经过多次实测数据修正的边界条件,用于室内声场预测可以给出较为准确的声压级值,可以对试车台设计中消声措施的降噪效果进行准确预测。

(3)在本质上来讲,由于整个试车台内部有气流存在,不能仅当作静态声场来看待。气动噪声对发动机试车台内场仿真的影响是不可忽略的。在未来试车台声学设计中,将尝试与气动声学软件相结合的设计方法,使声学设计更加精确和可靠。

#### 参考文献

- [1] 王娜, 万能, 汤道敏. 某涡轮风扇发动机试车台的声环境研究[J]. 环境工程, 2012, 4(30): 107-109.
- [2] GB 50454-2008, 航空发动机试车台设计规范[S].

[3] GB 12348-2008, 工业企业厂界环境噪声排放标准[S].

[4] RAYNOISE Revision 3.1 Users Manual [M].

[5] Predictor Type 7810 Help [M].



# 钢支撑-混凝土框架结构 在多层厂房中的应用

闫军 张晓光 余长霞 「结构」

**摘要:** 在钢筋混凝土结构中设置钢支撑后,可提高结构抗侧刚度,减小结构水平位移。通过对模型工程进行地震作用计算,分析了钢支撑框架对提高结构抗震性能所起到的作用,对规范中关于包络设计的要求进行了分析,并对此类工程提出设计建议。

**关键词:** 抗震性能;抗侧刚度;钢支撑;包络设计

## 1 引言

钢筋混凝土框架结构具有空间布置灵活、使用方便的优点,在多层厂房中应用广泛。但框架结构的侧向刚度较小,对于建造在高烈度区的厂房,尤其是在层高较高时,为满足水平位移限值要求,需增大梁柱截面,造成“肥梁胖柱”,影响建筑美观和有效利用。框架-剪力墙可以有效提高结构抗侧刚度,减小水平位移,但剪力墙会影响专业管线铺设,某些厂房不方便设置剪力墙。为此,有学者提出在混凝土框架结构中引入钢结构支撑以提高结构的抗侧刚度。抗震规范<sup>[1]</sup>中提出了钢支撑-混凝土框架结构,《抗规》将钢支撑框架在整个结构中的地位类比于框架-剪力墙中的剪力墙,对钢支撑框架的结构布置、抗震计算、水平位移限值等做了一些原则性的规定。

目前,各国在钢结构框架-支撑体系方面已取得大量研究成果<sup>[2-6]</sup>,并得到广泛应用。但对钢支撑-混凝土框架的研究较少:陆新征等<sup>[7]</sup>开展了利用人字支撑提高异形柱框架结构抗扭性能的研究;陈新孝等<sup>[8]</sup>开展了偏心支撑钢筋混凝土框架的试验研究与极限分析;石见光等<sup>[9]</sup>对偏心钢支撑-钢筋混凝土框架的侧移和地震反应进行了研究;代红军等<sup>[10]</sup>对钢筋混凝土框架-钢管支撑结构进行

了地震反应分析;樊海涛等<sup>[11]</sup>进行了带X型支撑钢筋混凝土框架结构抗震性能分析;孟维华<sup>[12]</sup>进行了钢支撑-混凝土框架结构设计探讨。钢支撑-混凝土框架结构的工程实例不多,本文通过对模型工程进行地震作用计算,分析了钢支撑框架对提高结构抗震性能所起到的作用,并对此类工程提出设计建议。

## 2 抗震性能分析

### 2.1 模型的建立

以生物制药厂房为例,由于洁净要求高,空调系统多,技术夹层中专业管线密布,故建筑层高较高,且工艺要求上不方便在厂房内部设置剪力墙,因此,大多采用钢筋混凝土框架结构。由于框架结构抗侧刚度相对较低,在高烈度区为了控制层间位移角,梁、柱截面往往较大,配筋率也较高。

针对上述多层厂房特点,建立模型工程:某3层厂房,首层层高8.0m,二、三层层高7.5m,平面尺寸(8m×12)×(8m×6)。楼面恒荷(含次梁、楼板、面层、隔墙)10kN/m<sup>2</sup>,楼面活荷10kN/m<sup>2</sup>,屋面恒荷8kN/m<sup>2</sup>,屋面活荷(含屋面设备)4kN/m<sup>2</sup>,抗震设防烈度8度(0.2g),建筑场地类别Ⅲ类。

对于上述厂房,分别采用纯框架结构及钢支撑-混凝土框架结构来实现。对于钢支撑-混凝土

作者简介:闫军,男,高级工程师,1998年毕业于哈尔滨工业大学计算力学专业,现就职于中航规划电子工程设计研究院。

框架结构,要求底层的钢支撑按刚度分配的地震倾覆力矩应大于结构总地震倾覆力矩的50%;结构的层间位移角限值取为1/650。钢支撑采用X形支撑,并考虑横向支撑沿厂房纵向的3种布置方式,见图1。主要构件截面及材料强度见表1。

从表1可见,增设支撑后,柱截面由750×750减小到600×600,效果非常明显。但同时,由于支撑斜杆轴力的竖向分量增加了与其相连框架柱的轴力,为满足轴压比要求,且不加大柱截面,故与支撑斜杆相连的框架柱采用了型钢混凝土柱,柱内型钢截面为十字形布置,由两个工字钢H360×200×12×16拼接而成。

## 2.2 多遇地震作用分析

采用SATWE软件进行多遇地震下的弹性计算,主要计算结果见表2,比较各结构方案的地震响应,可以得出以下结论:

(1)纯框架体系抗侧刚度小,层间位移角大;抗扭刚度弱,扭转周期比大,由于振动耦联的影响,结构的扭转效应将明显增大,故需采取措施加强边榀框架刚度,提高结构抗扭性能。

(2)支撑-框架体系抗侧刚度明显加强,相应地,结构地震作用也变大,基底剪力相比纯框架结构增加约20%;支撑部分承担了大部分的地震剪力及倾覆力矩;框架部分的地震作用明显减小,底层柱剪力仅为纯框架结构的43%,框架倾覆力矩仅为纯框架结构的65%。

(3)3种支撑-框架体系沿纵横双向布置的支撑数量相等,抗侧刚度也基本一致,但支撑的平面布局不同造成了抗扭刚度有较大差别:方案1中横向支撑沿厂房纵向均匀布置,两端及中部均设有

支撑,抗扭刚度最好;方案2中横向支撑的布置接近于厂房中部,抗扭刚度最差;方案3是将方案2的横向支撑向两端移动两跨,抗扭刚度也较好,但支撑间距较大,不利于楼板传力。从使用功能来讲,建筑内部支撑越少越好,因此应优先考虑沿建筑外墙布置支撑,并适当设置内部支撑以减小支撑间距,确保楼板能够有效地传递水平力。

## 2.3 弹塑性静力推覆分析

采用PUSH&EPDA软件进行了结构弹塑性静力推覆分析(PushOver),对结构在大震及中震作用下的变形进行了验算。对于纯框架体系,大震作用下性能点最大层间位移角为1/92(中震为1/218),底层梁柱端部出现大量塑性铰。对于支撑-框架1方案,大震作用下性能点最大层间位移角为1/128(中震为1/293),且此时塑性铰仅出现在底层支撑斜杆的两端,框架梁柱则未出现塑性铰,支撑发挥了第一道防线的的作用。支撑-框架2、支撑-框架3方案的计算结果与支撑-框架1方案接近。从变形验算结果中可见,大震作用下支撑-框架1的层间位移角比纯框架体系减小约30%;中震作用下支撑-框架1的层间位移角比纯框架体系减小约25%。支撑-框架体系的抗震性能要优于纯框架体系,且支撑构件易于替换,其震后修缮、加固亦相对简单。

## 2.4 技术经济比较

对比两个模型的一层配筋计算值可见:支撑-框架体系中框架柱多数为构造配筋,远小于纯框架体系中的柱配筋;支撑-框架体系中框架梁的支座钢筋仅为纯框架体系的60%。当然,支撑-框架体系中的钢支撑及柱内型钢的用钢量也不可忽略。利用结构工程量统计模块STAT-S对两种结构体系

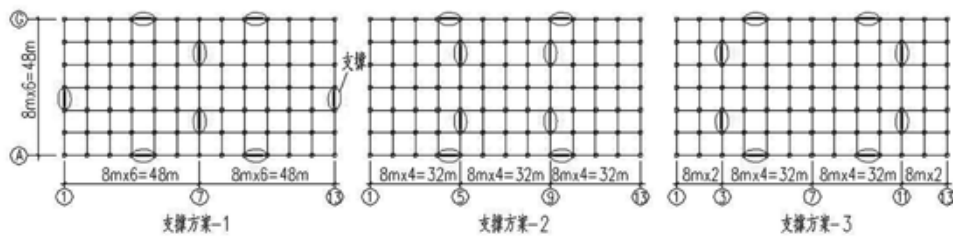


图1 支撑布置图

表1 主要构件截面

| 计算模型    | 框架柱                                   | 框架梁                | 支撑斜杆  |
|---------|---------------------------------------|--------------------|---|
| 纯框架方案   | 二层: 750×750, C40;<br>三层: 600×600, C40 | 一~三层: 400×800, C30 |   |
| 支撑-框架方案 | 一~三层: 600×600, C40                    | 一~三层: 400×800, C30 | 一、二层: 300×300x16, Q345;<br>三层: 250×250x10, Q235 |

表2 多遇地震作用下弹性计算结果

| 计算模型   | 作用方向 | 层间位移角 | 扭转位移比 | 周期比, Tt/T1        | 基底剪力kN, (剪重比)  | 底层柱剪力, (占总剪力%) | 支撑倾覆力矩/总倾覆力矩      |
|--------|------|-------|-------|-------------------|----------------|----------------|-------------------|
| 纯框架    | X向   | 1/567 | 1.05  | 1.157/1.215=0.95  | 17182, (6.79%) | 100%           | 0/302304=0        |
|        | Y向   | 1/558 | 1.20  | 1.157/1.230=0.94  | 16983, (6.72%) | 100%           | 0/299096=0        |
| 支撑-框架1 | X向   | 1/686 | 1.04  | 0.851/1.022=0.83  | 20231, (8.17%) | 7352(36%)      | 197522/354910=56% |
|        | Y向   | 1/652 | 1.20  | 0.851/1.024=0.83  | 20137, (8.13%) | 7249(36%)      | 199203/353410=57% |
| 支撑-框架2 | X向   | 1/687 | 1.06  | 1.043/ 1.017=1.02 | 20225, (8.21%) | 7354(36%)      | 196999/353954=56% |
|        | Y向   | 1/686 | 1.24  | 1.043/ 1.016=1.03 | 20248, (8.22%) | 7279(36%)      | 200490/354275=57% |
| 支撑-框架3 | X向   | 1/687 | 1.04  | 0.861/1.017=0.85  | 20225, (8.21%) | 7354(36%)      | 196989/353947=56% |
|        | Y向   | 1/686 | 1.17  | 0.861/1.016=0.85  | 20242, (8.21%) | 7277(36%)      | 200426/354174=57% |

进行工程量统计,见表3,考虑到实际工程中的材料损耗,对理论钢筋用量乘以1.15的修正系数。由表3可见,二者用量基本持平,由于柱截面加大,纯框架体系较支撑-框架体系混凝土用量多 $286\text{m}^3$ ,单位面积混凝土用量增加 $0.02\text{m}^3/\text{m}^2$ 。

通过以上比较可以看出,纯框架体系与支撑-框架体系在材料造价上并无太大差别。支撑-框架体系优点是减小了柱截面,增加了一部分使用面积;缺点是由于采用了一些型钢混凝土柱,增加了施工的难度。

### 3 关于包络设计

《抗规》G.1.4条第3款规定“混凝土框架部分承担的地震作用,应按框架结构和支撑框架结构两种模型计算,并宜取二者的较大值”。也就是说,对于混凝土框架部分需要进行包络设计。条文说明中对本条的解释是“按照多道防线的概念设计,支撑是第一道防线,混凝土框架需适当增大按刚度分配的地震作用,可取两种模型计算的较大值”。作为第一道防线的支撑,大震作用下斜杆受压屈曲,混凝土框架部分按刚度分配的剪力会比多遇地震下大,为了确保结构在大震下不倒塌,就需要作为第二道防线的框架具有一定的抗侧力能力。采用包络设计无疑会提高结构安全性,但同时也增加了结构

造价。对于支撑-框架1方案,若不考虑支撑作用,则1层框架柱承担的地震总剪力为13784kN,扣除与支撑连接的型钢混凝土柱,其余部分柱承担82%的地震剪力,为11302kN,与考虑支撑作用时的6028kN相比,增加87%。相应地,梁、柱配筋也大幅提高,钢筋用量增加约15%,增幅较大,不经济。

是否需要调整对框架部分的地震作用进行调整,以及如何进行调整,关键在于结构在大震下的抗倒塌能力是否满足要求。斜杆受压屈曲后仍然具有一定的承载力,且还有一部分拉杆在起作用,如果直接按无支撑的框架结构进行调整似乎过于严格。《抗规》关于支撑斜杆的受压承载力验算公式(8.2.6-1)中,钢材强度设计值需乘以受循环荷载时的强度降低系数。该系数主要是考虑在罕遇地震下斜杆反复受拉压,且屈曲后变形增长很大,转为受拉时变形不能完全消除,这就造成再次受压时承载力降低,即出现退化现象,长细比越大,退化现象越严重。对于长细比 $\lambda=120$ 的Q235钢,按公式计算得到的强度降低系数为0.69,与建研院编制的《抗震验算和构造措施》(1986)中钢压杆非弹性工作阶段综合折减系数 $k=0.65$ 相当。可见,斜杆屈曲后还具备一定的承载力。另外,《抗规》规定对于连接人字支撑和V形支撑的框架梁,需考虑支撑屈曲时的不平衡力作用,不平衡力取受拉支撑的最小屈服承载力减去受压支撑的最大屈服承载力的0.3倍,可见,偏于

表3 用钢量统计

| 计算模型   | 框架柱(kg/m <sup>2</sup> ) | 框架梁(kg/m <sup>2</sup> ) | 钢支撑+柱内型钢(kg/m <sup>2</sup> ) | 合计(kg/m <sup>2</sup> ) |
|--------|-------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------|
| 纯框架    | 15.84                   | 20.01                   | --                           | 35.85                  |
| 支撑-框架1 | 9.4                     | 17.72                   | 4.58+4.32=8.9                | 36.02                  |

安全的估计,斜杆屈曲后仍具有30%的承载力。

《高规》<sup>[13]</sup> 8.1.4条规定,对于框架-剪力墙结构,当某一楼层框架部分承担的地震剪力 $V_f < 0.2V_0$ 时,需对框架剪力进行调整,使其不小于 $0.2V_0$ 及 $1.5V_{f,max}$ 的较小值。这一规定,就是为了确保框架部分在墙体破坏后能够发挥第二道防线的的作用,但其并未采用包络设计,而是给出了一个调整范围。关于包络设计,是对少墙框架结构的要求<sup>[14]</sup>,在少墙框架结构中,框架部分承受的地震倾覆力矩大于结构总倾覆力矩的80%;而本文研究的支撑-框架结构中,框架部分承受的地震倾覆力矩小于结构总倾覆力矩的50%,二者具有明显的差别。支撑-框架体系与框-剪体系在抗震性能上有很多相似之处,能否借鉴框-剪体系的 $0.2V_0$ 调整做法,有待研究。

对于支撑-框架1方案,考虑支撑作用时各层框架部分承担的地震剪力分别为:7330kN、6760kN、6287kN,均不小于底部总剪力的20%(4025kN),作为第二道防线的框架已经具备一定的抗侧力能力。本文尝试不调整框架地震作用,即不放大框架配筋,通过以下几种方式来模拟支撑屈曲后结构在大震(中震)下的抗震性能。

将支撑斜杆壁厚减薄至原厚度的0.3倍进行PushOver分析,大震作用下性能点最大层间位移角为1/82,中震为1/224。

假定大震下压杆退出工作,支撑斜杆作为单拉杆件参与工作;进行PushOver分析,大震作用下性能点最大层间位移角为1/93,中震为1/244。

取消全部支撑杆件进行PushOver分析,大震作用下性能点最大层间位移角为1/51,中震为1/158。

从上述3种情况的计算结果可见,对于支撑-框架1方案,即便不对框架部分地震作用进行调整,仍然能够做到大震不倒。建议对此类厂房仍按支撑-框架体系进行设计,若框架部分按刚度分配的地震力过小,如框架柱剪力小于底部剪力的20%,才对框架的地震作用适当调整;直接按包络设计可能会造成不必要的浪费。

## 4 结论

(1)钢支撑-混凝土框架结构体系是在混凝土框架结构中布置一定数量的钢支撑斜杆所组成的结构体系。支撑斜杆与框架梁、柱形成支撑桁架,在水平力的作用下,通过楼板的变形协调与

框架共同工作。由于支撑桁架具有较强的抗侧刚度,框架部分承担的地震作用明显减小。

(2)钢支撑-混凝土框架结构应用于多层厂房时在技术经济指标上与混凝土框架结构基本持平,虽并无明显优势,但可显著减小柱截面,增加使用面积;支撑-框架体系具有两道防线,抗震性能优于框架结构,且支撑构件易于替换,其震后修缮、加固亦相对简单。

(3)《抗震规范》关于框架部分的地震力调整是基于多道防线的概念提出的,对于本文所关注的多层厂房,应根据工程具体情况确定地震力调整幅度,若能够通过大震变形验算,一般不需要调整。

## 参考文献

- [1] GB 50011-2010 建筑抗震设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [2] JGJ 99-98 高层民用建筑钢结构技术规程[S].北京:中国建筑工业出版社,1998.
- [3] 刘大海,杨翠如. 高楼钢结构设计[M].北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [4] 黄世敏,杨沈等. 建筑震害与设计对策[M].北京:中国计划出版社,2009.
- [5] 陈明华,高轩能. 支撑类型和布置方式对高层钢框架结构抗侧移刚度的影响[J]. 钢结构, 2006增刊: 220-225.
- [6] 管克俭,王新武,彭少民. 钢框架支撑体系的应用和分析方法[J]. 中国工程科学, 2003, 5(5): 80-83.
- [7] 陆新征,江见鲸. 利用斜钢支撑提高异形柱框架结构抗扭性能的研究[J]. 工业建筑, 2002, 32(6): 39-41.
- [8] 陈新孝,牛荻涛. 偏心支撑钢筋混凝土框架的试验研究与极限分析[J]. 工业建筑, 2003, 33(3): 35-38.
- [9] 石建光,叶志明. 偏心钢支撑-钢筋混凝土框架的侧移和地震反应[J]. 工业建筑, 2008, 38(1): 106-109.
- [10] 代红军,祁皓. 钢筋混凝土框架-钢管支撑结构地震反应计算分析[J]. 福州大学学报: 自然科学版, 2009, 37(6): 889-894.
- [11] 樊海涛,王志,赵黄娟,孙爱伏. 带X型支撑钢筋混凝土框架结构抗震性能分析[J]. 建筑科学与工程学报, 2013, 30(2): 35-41.
- [12] 孟维华. 钢支撑-混凝土框架结构设计探讨[J]. 甘肃科技, 2013, 29(10): 124-126.
- [13] JGJ3-2010 高层建筑混凝土结构技术规程[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [14] 全国民用建筑工程设计技术措施(2009)结构(混凝土结构)[M].北京:中国计划出版社,2012.

# 金属接地极的电化学腐蚀及防护

苏碧萍 「电气」

**摘要:** 敷设在相同环境内的不同材质的接地极或敷设在不同环境内的相同材质的接地极, 之间相互连接, 会产生电化学腐蚀。本文阐述了电化学腐蚀机理, 提出防护措施, 以增加接地极使用寿命, 使其与建筑物有相同的寿命, 减少更换接地极的成本, 使电气装置的接地配置安全有效, 减少电击或建筑物火灾事故发生。

**关键词:** 接地极; 电化学腐蚀; 化学腐蚀; 伏特电池; 阴极保护

新标准《IEC 60364-5-54:2011 低压电气装置 第5-54部分: 电气设备的选择和安装 接地配置和保护导体》的附录C中, 在C.4——埋入混凝土基础内接地极以外的其它接地装置部分可能出现的腐蚀的问题中指出“……应注意到埋入混凝土内的普通钢材(裸露或热浸镀锌)与埋入土壤内铜材的电化学电位相等。因此, 对埋入基础附近土壤内的钢材与埋入混凝土基础内的接地极钢材的不同接地装置部分存在电化学腐蚀危险……”该条文涉及敷设在土壤内的钢材接地极与敷设在混凝土内的钢材接地极, 产生电化学腐蚀的问题。为此, 需清晰电化学腐蚀产生机理, 以提出防护措施, 增加接地极的使用寿命, 使其与建筑物寿命相匹配, 避免因接地极腐蚀使其性能下降, 进而导致电击或火灾发生。

## 1 金属接地极的腐蚀

金属接地极和周围的气体或液体等介质接触时, 所发生的化学破坏过程称为金属接地极的腐蚀。其腐蚀可分以下几种。

### 1.1 化学腐蚀

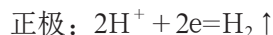
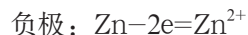
金属接地极与干燥空气(O<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S、Cl<sub>2</sub>等)或非电解质接触, 发生化学作用, 引起的腐蚀称为化学腐蚀。在金属接地极表面形成一层氧化物。在化学腐蚀过程中, 电子的传递是在金属与氧化物间直接进行, 因而没有电流产生。化学腐蚀与温度有关, 温度越高腐蚀加快。

### 1.2 电化学腐蚀

不纯的金属或合金与电解质溶液接触, 发生原电池反应, 较活泼的金属原子失去电子被氧化而引起的腐蚀称为电化学腐蚀。电化学腐蚀的基本原理是原电池理论。由于不同金属标准电极电位存在着差别, 当两种金属处于同一电解质中, 并由导体连接这两种金属时, 原电池就形成了。电流通过导体和电解质形成电流回路。

从伏特电池的定义, 较活泼的金属为负极, 较不活泼的金属为正极。例如, 将铜片和锌片插入稀硫酸溶液中, 并在两金属之间连上导线, 就构成一个原电池。这就是伏特电池, 如图1所示。

因为锌比铜活泼, 所以锌是负极, 铜是正极。电极反应是:



作者简介: 苏碧萍, 女, 研究员, 1993年毕业于天津大学电力系统及其自动化专业, 现就职于中航规划飞机工程设计研究院。

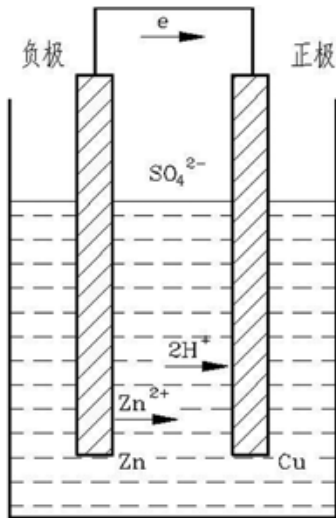


图1 伏特电池示意图

此时两种金属之间的电位差越大，则电路产生的电压越大，常见金属电极电位见表1。

电化学腐蚀电池一旦形成，阳极金属表面因不断地失去电子，发生氧化反应，使金属原子转化为正离子，形成以氢氧化物为主的化合物，也就是说阳极遭到了腐蚀；而阴极金属则相反，它不断地从阳极处得到电子，其表面因富集了电子，金属表面发生还原反应，没有腐蚀现象发生。电化学腐蚀程度与阳极和阴极间的电位差、接地极面积有关。常见金属在电化学腐蚀电流作用下的年腐蚀量见表2。

## 2 敷设在土壤内或混凝土内常用金属电极电位

金属接地极一般敷设在土壤内或混凝土内，常用金属接地极极电位见表3。

## 3 电化学腐蚀防护

### 3.1 考虑腐蚀和机械强度的埋入土壤或混凝土内的常用接地极的最小尺寸(见表4)

表内的数值为最低要求，应按环境腐蚀严重程度、建筑物使用寿命及接地极面积，适当增大接地极的尺寸。

### 3.2 避免形成阴极和阳极的措施

通常的接地系统设计中，在建筑物外设置人工接地极，材料为镀锌扁钢，同时利用混凝土内钢筋作为接地极，二者通过接地线联结为电气通

表1 常见金属标准电极电位表(25℃)

| 金属名称 | 化学符号 | 电极电位/V |
|------|------|--------|
| 钾    | K    | -2.92  |
| 钙    | Ca   | -2.87  |
| 钠    | Na   | -2.71  |
| 镁    | Mg   | -2.34  |
| 铝    | Al   | -1.67  |
| 锰    | Mn   | -1.05  |
| 锌    | Zn   | -0.76  |
| 铬    | Cr   | -0.71  |
| 铁    | Fe   | -0.44  |
| 镉    | Cd   | -0.40  |
| 镍    | Ni   | -0.25  |
| 锡    | Sn   | -0.14  |
| 铅    | Pb   | -0.13  |
| 氢    | H    | ±0.00  |
| 铜    | Cu   | +0.35  |
| 银    | Ag   | +0.81  |
| 金    | Au   | +1.42  |

(摘自《DIN 57100 / VDE 0100 等电位联结和基础接地》17.附录1中的表5)

表2 常见金属在电化学腐蚀电流作用下的年腐蚀量

| 金属名称 | 在一年内流过1mA的溶解量/g | 在一年内流过1mA的溶解量/(cm <sup>3</sup> ) |
|------|-----------------|----------------------------------|
| 铁    | 9.1             | 1.2                              |
| 铜    | 10.5            | 1.2                              |
| 铅    | 34.0            | 3.0                              |
| 锌    | 10.7            | 1.5                              |
| 铝    | 2.9             | 1.1                              |
| 镁    | 4.0             | 2.3                              |

(摘自《DIN 57100 / VDE 0100 等电位联结和基础接地》17.附录1中的表7)

路。从表2可以看出混凝土内的钢筋电极电位为-0.1~-0.3V，而在土壤中敷设的镀锌铁电极电位为-0.7~-1.0V，如果将两处的接地极连接起来，形成原电池，其电位差为-0.4~-0.9V之间。土壤中敷设的镀锌铁接地极的镀锌层被腐蚀掉，变成生锈铁，其电极电位为-0.4~-0.6V，

表3 在土壤内或混凝土内常用金属电极电位表

| 金属名称     | 电解液  | 对铜/硫酸铜的电位/V) |
|----------|------|--------------|
| 铅        | 土层湿度 | -0.5~-0.7    |
| 铁(钢)     | 土层湿度 | -0.5~-0.8    |
| 铁(生锈的)   | 土层湿度 | -0.4~-0.6    |
| 铸铁(生锈的)  | 土层湿度 | -0.2~-0.4    |
| 锌(包括镀锌铁) | 土层湿度 | -0.7~-1.0    |
| 铜        | 土层湿度 | ±0.0~-0.2    |
| 混凝土内铁    | 水泥湿度 | -0.1~-0.3    |

(摘自《DIN 57100 / VDE 0100 等电位联结和基础接地》附录1中的表6)

两部分接地极间电位差为-0.1~-0.5V之间。继续不断腐蚀土壤中的接地极，腐蚀程度取决于与两部分接地极面积的比例，利用混凝土内的钢筋面积越大，土壤中敷设的接地极被腐蚀越快。

为了减小电化学腐蚀，可采取以下措施：

——在土壤中敷设的接地极应该用混凝土包围，使接地极完全敷设在相同的敷设环境内，使两部分接地极具有同一电极电位，不产生电化学腐蚀。

——从表2还看出：混凝土内的钢筋电极电位为-0.1~-0.3V，而在土壤中敷设的铜电极电位±0.0~-0.2V，是非常接近的，这就给利用混凝土内钢筋作为接地装置提供了一个良好的工程解决办法。如《建筑物防雷设计规范》第5.4.5条所

表4 考虑腐蚀和机械强度的埋入土壤或混凝土内的常用接地极的最小尺寸

| 材料和表面                | 形状                | 直径/mm  | 截面积/<br>mm <sup>2</sup> | 厚度/<br>mm   | 镀层重量/<br>(g/m <sup>3</sup> ) | 镀层/外护<br>层厚度/μm |
|----------------------|-------------------|--------|-------------------------|-------------|------------------------------|-----------------|
| 埋在混凝土内的钢材(裸、热镀锌或不锈钢) | 圆线                | 10     |                         |             |                              |                 |
|                      | 条状或带状             |        | 75                      | 3           |                              |                 |
| 热浸镀锌钢c               | 带状b或成型带/板-实体板-花格板 |        | 90                      | 3           | 500                          | 63              |
|                      | 垂直安装的圆棒           | 16     |                         |             | 350                          | 45              |
|                      | 水平安装的圆线           | 10     |                         |             | 350                          | 45              |
|                      | 管状                | 25     |                         | 2           | 350                          | 45              |
|                      | 绞线(埋在混凝土内)        |        |                         | 70          |                              |                 |
| 铜包钢                  | 垂直安装的型材           |        | (290)                   | 3           |                              |                 |
|                      | 垂直安装的圆棒           | (15)   |                         |             |                              | 2000            |
| 电沉积铜包钢               | 垂直安装的圆棒           | 14     |                         |             |                              | 250°            |
|                      | 水平安装的圆线           | (8)    |                         |             |                              | 70              |
|                      | 水平安装的带            |        | 90                      | 3           |                              | 70              |
| 不锈钢a                 | 带状b或成型带/板         |        | 90                      | 3           |                              |                 |
|                      | 垂直安装的圆棒           | 16     |                         |             |                              |                 |
|                      | 水平安装的圆线           | 10     |                         |             |                              |                 |
|                      | 管状                | 25     |                         | 2           |                              |                 |
| 铜                    | 带状                |        | 50                      | 2           |                              |                 |
|                      | 水平安装的圆线           |        | (25) <sup>d</sup> 50    |             |                              |                 |
|                      | 垂直安装的圆棒           | (12)15 |                         |             |                              |                 |
|                      | 绞线                | 每股1.7  | (25) <sup>d</sup> 50    |             |                              |                 |
|                      | 管状                | 20     |                         | 2           |                              |                 |
|                      | 实体板<br>花格板        |        |                         | (1.5)2<br>2 |                              |                 |

注：括号内的数值仅适用于电击防护，不在括号内的数值适用于雷电防护和电击防护。

a. 铬≥16%，镍≥5%，钼≥2%，碳≤0.08%。

b. 如轧制带状或带圆角的切割的带状。

c. 镀层应均匀、连续和无斑点。

d. 经验表明，在腐蚀和机械损伤风险极低的场所，可采用16mm<sup>2</sup>。

e. 此厚度是为在安装中铜镀层能耐机械损伤而规定的，如果能按制造商说明书要求采取特殊措施(例如先在地面上钻孔或在接地极顶端上安装保护套)以免铜镀层受机械损伤，则此厚度可减少至不小于100μm。

(引自《IEC 60364-5-54: 2011 低压电气装置 第5-54部分：电气设备的选择和安装 接地配置和保护导体》表54.1)

规定：敷设于土壤中的接地体连接到混凝土基础内起基础接地体作用的钢筋或钢材的情况下，土壤中的接地体宜采用铜质或镀铜或不锈钢导体。

——在总等电位联结中，户外埋地敷设的金属管道、电缆金属外护套等与总等电位联结端子连接，混凝土内的钢筋与总等电位联结端子连接，其户外埋地敷设的金属管道、电缆金属外护套应包绝缘或其它措施。

### 3.3 阻断阴极和阳极之间的连接

敷设在土壤中的接地极同时采用铜和镀锌铁时，铜金属在土壤中的电极电位为 $\pm 0.00 \sim -0.2\text{V}$ ，镀锌铁在土壤中的电极电位为 $-0.7 \sim -1.0\text{V}$ ，最大的电位差为 $-0.5 \sim -1.0\text{V}$ ，其电化学腐蚀过程与上述相同，不赘述。

为了提高高频接地效果，设计中通常使用铜金属作为接地极，此时，不应再与其它金属接地极相连接。而且，应与相邻的设备外壳构架基础、电缆金属外护套、设备、管道等保持一定距离，否则，二者之间形成原电池，对设备和电缆等造成腐蚀伤害。

### 3.4 阴极保护

根据电化学腐蚀电池阳极不被腐蚀的原理，可使被保护金属接地极作为电化学腐蚀电池阳极，以免受电化学腐蚀。也就是通常所说的牺牲阳极的阴极保护法。

在采用铁金属接地极系统中，可加入锌板也作为接地极，锌板在土壤中电极电位为 $-0.7 \sim -1.0\text{V}$ ，而铁在土壤中电极电位为 $-0.4 \sim -0.6\text{V}$ ，显然铁为电化学腐蚀电池的阳极，锌板为电化学腐蚀电池的阴极。锌板发生电化学腐蚀，定期更换锌板以保护铁金属接地极不受腐蚀。

## 4 结语

产生电化学腐蚀电池的条件：存在电位差的阴极和阳极、阴极和阳极之间有连接及阴极和阳极在同一电解质中。除去或改变任一条件即可阻止或减缓电化学腐蚀的发生。本文所述保障接地极最小尺寸及接地极表面覆盖镀层、避免形成阴极和阳极、阻断阴极和阳极之间的连接及牺牲阳极的阴极保护措施，在工程设计中较为实用。同时，我们期待随着科学进步和发展，会有更多的方案可供选择。

## 参考文献

- [1] IEC 60364-5-54:2011 低压电气装置 第5-54部分：电气设备的选择和安装 接地配置和保护导体(Low-voltage electrical installations Part 5-54: Selection and erection of electrical equipment Earthing arrangements and protective conductors).
- [2] DIN 57100 VDE 0100 等电位联结和基础接地(译文) 中国航空工业规划设计研究院 1992年10月.



# 仿古商业建筑暖通若干控制要点探讨

高阳洋 孟凡兵 [暖通]

**摘要:** 介绍了天井烟囱效应在仿古商业建筑自然排烟技术中的应用,自然通风在被动节能技术中的应用,并对仿古商业建筑暖通设计中应注意的若干问题进行了分析。通过对仿古商业建筑空调形式的比选,建议优先考虑多联机系统。对仿古商业建筑空调室外机与建筑外形的结合布置、空调室内机风口与仿古内装修的结合布置、散热器与建筑外立面的结合布置问题进行了探讨,并得出相应结论。因仿古商业建筑设计初期业态的不确定性,要求暖通专业做好设计预留工作。

**关键词:** 仿古商业建筑;自然排烟;自然通风;注意事项

## 1 引言

目前,仿古商业建筑功能越来越多,集娱乐、餐饮、酒店、购物等功能于一身,具有人员密度大,空间结构复杂多样,货物摆设多等特点,如何充分利用仿古商业建筑自身的特点优化暖通设计也提上日程。本文主要从自然排烟、自然通风、空调形式的必选、暖通专业设计与建筑的融合以及设计中的预留考虑等几方面进行探讨。

## 2 仿古商业建筑中自然排烟技术的应用——天井烟囱效应

自然排烟方式结构简单、经济、易操作,不需要电源及专业设备,且烟气温度升高时排烟效果也不下降,具有可靠性高、投资少、管理维护简便等优点。而仿古建筑的一些措施客观上对自然排烟是非常有利的,设计中可以积极加以利用。如仿古建筑中的天井,利用“烟囱效应”,可有效避免火势向水平方向扩散,为及时扑灭火

灾和人员疏散争取宝贵的时间,下面对天井烟囱效应进行理论分析。

天井一般是指短边长度不小于6m(或半径不小于6m),横截面积不小于100m<sup>2</sup>且其共享层数不少于三层的室内庭院。仿古建筑中用于排烟的天井设置方式见图1、2所示。



图1 天井实例1



图2 天井实例2

作者简介:高阳洋,女,高级工程师,2007年毕业于哈尔滨工程大学热能工程专业,现就职于中国规划建筑设计研究院。

在火灾发生初期，火场温度升高，空气膨胀，体积增大，容重减小，因而火场周围的冷空气与火场上的热空气产生密度差，热空气上升，此种现象称为“烟囱效应”。热空气上升的作用力，称为浮力。浮力的大小与火场空气的温度和建筑物内竖井的高度有关，可按式计算：

$$P = (r_0 - r_i)H$$

式中：P—由于烟囱效应产生的浮力，Pa；

$r_0$ —常温下空气的容重， $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

$r_i$ —火灾温度下空气的容重， $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

H—建筑物内着火房间上部竖井的高度，m。

例：建筑物内起火前的室内温度为 $27^\circ\text{C}$ ，空气容重为 $1.29\text{kg}/\text{m}^3$ ；起火后火场空气平均温度为 $750^\circ\text{C}$ ，空气容重为 $0.378\text{kg}/\text{m}^3$ ，火场上部的竖井高度为 $40\text{m}$ ，则竖井内产生的浮力为：

$$P = (r_0 - r_i)H = (1.29 - 0.378) \times 40 = 36.48 \text{ kg}/\text{m}^3 = 364.8 \text{ Pa}$$

可见，天井烟囱效应产生的浮力很大，这也是建筑物发生火灾后火势迅速向上蔓延的动力。因此，结合某仿古商业街项目，在对其进行排烟设计的过程当中，充分利用了天井的烟囱效应，促使扩散至天井区域的烟气能够得到良好且及时地排放。某仿古商业街天井排烟效果图见图3。



图3 某仿古商业街天井排烟效果图

### 3 仿古商业建筑中被动节能技术的应用——自然通风

我国仿古建筑历来十分重视建筑的自然通风，自然通风对建筑内部环境的舒适有重要的作用，而自然通风的零能耗对于建筑节能有着重要意义。自然通风是指利用建筑内外风力或热压造成的风来促使空气流动而进行的通风换气。自然

通风的作用体现在两方面：第一，实现有效的被动式制冷。这意味着在不消耗不可再生能源的情况下，降低室内气温，带走潮湿空气，并以气流降低皮肤温度，达到人体热舒适。第二，提供新鲜、清洁的自然空气，以维持室内空气的卫生，有利于人的生理和心理健康。建筑通风的设计方法，就是以建筑设计配合室外“可利用通风条件”，提高室内有效风速，从而达到通风换气的目的。可以说，自然通风不仅具有改善室内空气环境，实现建筑的生态型的特点，更是减少建筑对空调及新风设备的依赖，实现建筑节能性的重要手段。

随着全球性能源危机的加剧和可持续发展思想的广泛认同，生态理念在建筑的设计、建造、使用过程中越来越受到重视，因此开发低成本的建筑生态技术具有更广泛的应用前景，“烟囱效应”就是其中之一。结合仿古建筑的建筑造型与结构特点，在适宜的季节形成“烟囱效应”可以积极加以利用。

所谓“烟囱效应”，是指建筑下部面向外部开口的水平连通空间与建筑中的垂直连通空间组合而成的建筑室内导气空间，其剖面形态呈现出明显的“烟囱”形态(见图4)。“烟囱效应”空间主要是利用烟囱的工作原理，在夏季炎热无风或微风时，使室内空气出现温度差，此时热空气膨胀、变轻、上升，由顶部排出室外，造成内部气压变小，外部空气就由下部进入室内补充，从而产生拔风效应，持续为室内带来新风，降低室内温湿度，改善室内热环境，实现建筑室内空气自我循环更新。

例如，在夏天无风的早晨，夜间冷却了的“烟囱”从室外吸入较热的空气，这种逆向烟囱效应能使室内获得舒适的空气流动。当“烟囱”内不断升温，烟囱的作用又颠倒回来，凉爽的室外空气又被利用起来。除利用“烟囱效用”进行

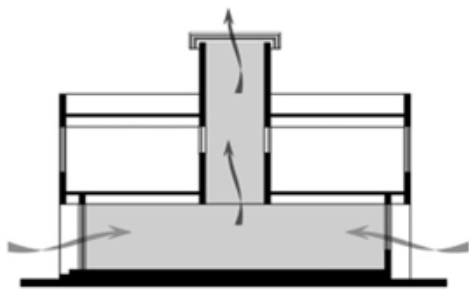


图4 烟囱“效应”的工作原理

通风外,对于仿古建筑而言,还有如下优点。

(1)采光。对于进深较大的仿古商业建筑,其中部的采光往往不够,利用“烟囱效应”顶部开口,并且在其内壁采用可反射材料,不仅可以解决室内的新风问题,也可以利用它的反射为室内带来阳光。当“烟囱”的平面空间较大时,还可利用其上端开口引入的阳光,在室内种植植被,既可丰富室内景观,提高室内生活的质量,又能提供新鲜的空气。

(2)蓄热。如果“烟囱”顶端采用玻璃材料,在寒冷的冬季,关闭“烟囱”出风口,由玻璃材质包裹的出风管则变成了一个温室,可以为室内蓄积热量,减少热损耗。

## 4 仿古商业建筑暖通设计注意事项

### 4.1 仿古商业建筑空调形式的比选

对仿古商业建筑来说,对建筑物本身的美观及其周围环境是有要求的,因此,对空调系统形式的选择很重要。下面从几方面比较冷水机组和多联机两种冷源形式对仿古商业建筑的适用性。

(1)如果中央空调系统冷源采用冷水机组,制冷机必将占用很大空间,相关设备多,管路复杂,还有运行时噪音较大;另外,冷却塔是冷水机组必须的设备,该设备安装在室外一定程度上影响仿古商业街的视觉效果,而多联机则不存在上述问题。

(2)多联机大多应用了变频技术,可根据室内负荷的变化,室外压缩机通过转速的变化来调整制冷剂的流量输出,配合室内机的变化,所以能耗可以降低。多联机系统在10%的负荷运行时就可实现无极调节,冷水机组则在30%负荷时才可实现无极调节。对于仿古商业街这种使用率不很固定且偏低的建筑物,多联机调节方式的灵活性就显得更有优势,节能效果也更好。

(3)虽然从设备初投资来看,多联机初投资高于冷水机组约30%,但是从后期的运行费、管理费和维修费来综合比较,多联机还是比较节省的一种中央空调形式。实践证明,变频一拖多中央空调运行费用不到冷水机组系统运行费用的一半,后期的系统管理维护也不像冷水机组系统那样麻烦,一般不需要派专人进行操作维护,只需定期清洗室内机的过滤网,操作简单,维护方便。

综上所述,对于仿古商业建筑的项目,空调

系统形式宜优先考虑选用多联机。

### 4.2 仿古商业建筑空调室外机与建筑外形的结合布置

仿古商业建筑的外立面多设计成坡屋面,由此导致本专业的空调室外机安装位置成为难题。以某仿古商业街项目为例,经与建筑专业协商,最终确定建筑屋面形式为内平外坡型或内设闷顶外部全坡型,既满足本专业设计需求,保证甲方能随时进入该区域对空调室外机和风机进行保养和维修,又保证该位置将不导致争议或影响邻里关系,还能保证仿古建筑的外立面和屋面的视觉效果,详见图5。如果在设计前没有考虑仿古建筑的特殊性,导致室外机无法遮挡,租户将自行随意安装,这样将会对建筑外立面构成致命影响,从而直接影响的是业主的经济效益。



图5 某仿古商业街屋顶效果图

当确实不具备条件时,设计也应预留室外机的安装空间,通过一定的结构设计,使暗装的室外机与建筑融为一体。但是,有限的空间和周围存在的遮挡物必将导致暗装的室外机散热效果恶化,对系统性能产生不利影响。针对上述情况,通常设计做法如下:加设排风管将热风引至外墙外或排风百叶处;加大室外机排风扇的静压;在排风管上增加机械通风设施,避免排风短路。

### 4.3 仿古商业建筑空调室内机风口与仿古内装修的结合布置

仿古商业建筑中应用现代空调技术时,需要结合仿古建筑整体内装修效果综合考虑。空调风口不仅要承担空调系统的送回风功能,同时也是建筑室内装饰物的重要组成部分。精装修或二次装修设计时不仅要考虑风口本身的功能,同时应兼顾客口的建筑装饰效果以及与灯具的协调。

首先,布置风口时要有一定规律,尽量做到均匀对称。个别不需要送风口或未设末端空调设备的地方可以布置装饰性的假空调送风口,起对称补位的作用。其次,风口的色彩应与仿古建筑吊顶色彩协调,与吊顶颜色接近为佳。传统的铝合金本色风口已经不太适用,与仿古建筑吊顶色彩相一致的彩色喷塑风口更受欢迎。再次,可以选用送回风口与灯盘一体化的产品。

#### 4.4 仿古商业建筑中散热器的布置

结合建筑窗台高度和未来商业可能的业态,综合考虑散热器布置的位置和尺寸的选取。以某仿古商业街项目为例,位于该项目中心区域的酒店,与室外庭院相邻的内走廊均为高窗,窗下墙高度有限,热负荷相对很大,这就需要从散热量和高度两方面综合考虑散热器设备的选择和布置。

#### 4.5 仿古商业建筑设计中的预留考虑

由于仿古商业建筑业态的不确定性,设计中必须做好预留考虑。因为甲方一般不会在施工图阶段确定商业街各店铺的销售形式或具体业态方案,可能涉及商铺、餐饮、物业用房等,所以本专业需要预留足够电负荷和相应的建筑竖井条件,以满足日后多种建筑功能之间转换的需求。具体设计考虑如下:

(1)每个商户考虑餐饮的可能,预留大小适当的通风竖井至建筑平屋面,与建筑专业依据平面布局布置竖井和预留屋面排风机位置,该位置将不会导致争议或影响邻里关系,同时避免运营过程中因业态变化业主自行改造而破坏建筑外立面效果和结构设施。

(2)每个商户考虑安装分体空调的可能,按户型集中预留分体空调冷凝排水管位置,避免运营过程中因业态变化业主自行改造而破坏建筑外立面效果和结构设施。

## 5 小结

(1)在仿古商业建筑排烟设计中,应充分利用天井的烟囱效应,使扩散至天井区域的烟气能够得到很好并且及时的排放。

(2)结合仿古商业建筑的造型与结构特点,在适宜的季节可以积极利用“烟囱效应”等被动式节能手段。

(3)通过对仿古商业建筑空调形式的比选,建议优先考虑多联机系统。

仿古商业建筑设计中应充分考虑空调室外机与建筑外形的结合布置、空调室内机风口与仿古内装修的结合布置以及散热器与建筑外立面的结合布置。

(5)仿古商业建筑设计中,因设计初期业态的不确定性,要求暖通专业在设计中还需做好预留考虑的工作。

#### 参考文献

- [1] 建筑设计防火规范GB50016—2014.
- [2] 刘剑.浅谈多联机在小型星级宾馆工程中的应用优势[J].建筑热能通风空调,2009.
- [3] 郁文红,杨昭,张世钢.空调风口与建筑装饰[J].暖通空调,2004,34卷,第10期.

# 建设工程进度控制

袁凤翔 「工程管理」

**摘要:** 本文阐述了施工进度管理重要性和必要性,分析进度控制的几种措施。只有综合运用合同措施、经济措施、组织措施、管理措施、技术措施,制定纠正偏差的方案,才能使进度得到有效的控制,最终实现进度目标。

**关键词:** 进度控制重要性和必要性;进度控制措施

## 1 进度控制的重要性的必要性

项目建设过程中,为实现进度目标,必须进行进度控制,以达到工程项目按照预定时间完成及交付使用。进度控制的目的是通过控制以实现工程的进度目标。

(1)现代工程具有投资规模大,建设周期长,不确定因素多等特点,而工程进度常受到这些主观或客观因素制约。整个工程由成千上万条相关联系的工作构成,一项工作滞后,尤其是关键线路上的工作滞后,很容易造成整个工程的滞后。在工程项目建设过程中,工程项目的实际进度往往不能按计划进度实现,实际进度与计划进度常常存在一定的偏差,有时候甚至会出现相当程度的滞后。

(2)工程进度直接影响工程投资。加快工程进度,往往就以工程效益的降低及投入的加大为代价;而拖延工期对于施工单位和建设单位来说,都会使效益降低。从建设单位的角度分析,工期的拖延,可能会加大银行贷款的利息,延后回收成本,造成一定的社会负面影响。而对于施工单位而言更是负担重重,工期一旦拖延,施工机械及人员就会滞留,无法投入到下一个项目,无法快速偿还租用的设备,使额外费用增加。

(3)安全控制、工程质量和施工进度辩证统一。①工程进度过快,势必会影响工程各工序的衔接,不合理的工期安排直接导致工程质量隐患,引起返工,进而导致工程进度拖延,直接影响到工期。②工程进度过快,易产生安全隐患,引发安全事故,而引发了安全事故,则需停工,对事故进行排查,反而会对施工进度带来制约。

## 2 进度控制的措施

### 2.1 合同措施

#### (1)合同工期的确定

一般来说,合同工期主要受建设单位的要求工期、工程规模的定额工期以及投标价格的影响。招投标时,由于工程项目工期紧迫,建设单位通常不采用定额工期而根据自身的现实需要提出要求工期,并由此限定投标工期,只从价格上选择相对低价者中标。多数施工单位为了实现中标这一首要任务,被迫接受工期要求,致使在工程实施过程中,无法满足人力、材料、机械设备的投入,制约了工程进度。因此,确立合理的合同工期,将有利于减小建设单位在进度目标控制中存在的风险。

#### (2)工程款支付的合同控制

工程进度控制与工程款的合同支付方式密不可分,工程进度款既是对施工单位履约程度的量化,又是推进项目运转的动力。如合同中对工程进度款支付的约定方式通常为按每月完成工程量计量,可调整为按形象进度计量,即将工程项目总体目标分解为若干个阶段性目标,在每一阶段完成并验收合格后根据投标预算中该阶段的造价支付进度款。这样不但使工程进度款的支付准确明了,更重要的是提高了施工单位的主观能动性,使其主动优化施工组织和进度计划,避免做到哪算哪、做得多少算多少的情况出现。

#### (3)合同工期延期的控制

合同工期延期一般是由于建设单位、工程变更、不可抗力等原因造成的;而工期延误是施工单位组织不力或因管理不善等原因造成的,两者概念不同。因此,合同约定中应明确合同工期顺延的申报条件和许可条件。

作者简介:袁凤翔,男,高级工程师,2004年毕业于天津大学电气工程及其自动化专业,现就职于中航规划航空业务部。

## 2.2 经济措施

无论在什么时候,经济杠杆都是行之有效的的重要手段之一,工程项目进度控制也不例外。建设工程项目进度控制的经济措施涉及资金需求计划、资金供应的条件和经济激励措施等。

(1)强调工期违约责任。建设单位要想取得好的工程进度控制效果,实现工期目标,必须突出强调施工单位的工期违约责任,并且形成具体措施在进度控制过程中就对企图拖延、蒙混工期的施工单位起到震慑作用。

(2)引入奖罚结合的激励机制。长期以来,在实现工程进度控制目标的巨大压力下,针对施工单位合同工期的约束大多只采取罚,但效果并不明显,而且比较被动。而采取奖罚结合的办法可以引导施工单位变被动为主动。施工单位在合同工期内提前完工奖励的幅度可以约定为一个具体数值或是与违约金支付的比例相当。由于奖励比惩罚的作用更大,争创品牌的施工单位自然会积极配合建设单位的进度控制,尽可能为此荣誉而努力,也有利于促成双方诚信合作的良性循环。

## 2.3 组织措施

组织协调是实现进度控制的有效措施,为实现项目的进度目标,应充分重视健全项目管理的组织体系。

(1)为有效控制工程项目的进度,必须处理好参建各方工作中存在的问题,建立协调的工作关系,通过明确各方的职责、权利和工作考核标准,充分调动和发挥各方工作的积极性、创造性及潜在能力。

(2)在项目组织结构中应设专门的工作部门和符合进度控制岗位资格的专人负责进度控制工作。

(3)进度控制的主要工作环节包括进度目标的分析和论证、编制进度计划、定期跟踪进度计划的执行情况、设定进度控制预警值、超过预警值后采取纠偏措施,以及调整进度计划。这些工作任务和相应的管理职能应在项目管理组织设计的任务分工表和管理职能分工表中标示并落实。

(4)编制项目进度控制的工作流程。进度控制工作包含了大量的组织和协调工作,应进行有关进度控制会议的组织设计。

## 2.4 管理措施

建设工程项目进度控制的管理措施涉及管理的思想方法和手段以及承发包模式、合同管理和风险管理等。

(1)用网络计划的方法编制进度计划有利于实

现进度控制的科学化。用工程网络计划的方法编制进度计划时,必须很严谨地分析和考虑工作之间的逻辑关系,通过工程网络的计算可发现关键工作和关键路线,也可知道非关键工作可使用的时差,工程网络计划的方法有利于实现进度控制的科学化。

(2)承发包模式的选择直接关系到工程实施的组织和协调。为了实现进度目标,应选择合理的合同结构,以避免过多的合同界面而影响工程的进展。工程物资的采购模式对进度也有直接的影响,对此应作比较分析。

(3)注意分析影响工程进度的风险,并在分析的基础上采取风险管理措施,以减少进度失控的风险量。

(4)重视信息技术(包括相应的软件、局域网、互联网以及数据处理设备)在进度控制中的应用。虽然信息技术对进度控制而言只是一种管理手段,但它的应用有利于提高进度信息处理的效率、有利于提高进度信息的透明度、有利于促进进度信息的交流和项目各参与方的协同工作。

## 2.5 技术措施

建设工程项目进度控制的技术措施涉及对实现施工进度目标有利的设计技术和施工技术的选用。

(1)不同的设计理念、设计方案对工程进度会产生不同的影响,在设计工作前期,特别是设计方案评审和选用时,应对设计技术与工程进度的关系作分析比较。在工程进度受阻时,应分析是否存在设计技术的影响因素。

(2)施工方案对工程进度有直接的影响。施工方案选择时,不仅应分析技术的先进性和经济合理性,还应考虑其对进度的影响。在工程进度受阻时,应分析是否存在施工技术的影响因素,为实现进度目标有无改变施工技术、施工方法和施工机械的可能性。

## 3 结束语

总之,为使工程建设的实际进度与计划进度一致,应及时将实际进度与计划进度进行对比,综合运用合同措施、经济措施、组织措施、管理措施、技术措施,制定纠正偏差的方案,才能使进度得到有效的控制,最终实现进度目标。

## 参考文献

- [1] 从培经,和宏明,施工项目管理手册,北京:中国物价出版社,2002.
- [2] 齐东海,宋向群,工程项目进度管理,大连:大连理工大学出版社,2001.(发布时间:2011-09-059).

# 建设项目全过程造价控制要点分析

庞亚玲 「工程造价」

**摘要:** 为实现投资控制目标,需要有唯一的全过程投资控制主体对建设项目的投资做全过程的集成管理和综合控制。应注重前期投资估算的精度,工程造价的每一个阶段都要及时同上一个阶段做对比分析,实时掌握投资动态,保证上一个阶段对下一个阶段的控制作用。

**关键词:** 投资控制主体;全过程造价控制;限额设计;对比分析

我国工程建设项目分成前期立项阶段、设计阶段(初步设计、技术设计、施工图设计)、实施阶段(招投标、过程控制、竣工结算)和项目后评价阶段。建设项目的造价控制要求也是贯穿整个项目的建设周期的。

建设项目投资估算对工程总造价起控制作用,即建设项目的投资估算是项目决策的重要依据之一。可行性研究报告一经批准,其投资估算应作为工程造价的最高限额,不得任意突破。此外,一般以投资估算作为编制设计文件的重要依据。项目经过决策阶段后,在设计阶段编制初步设计概算及施工图预算,实施阶段编制总包及分包的招标控制价,在项目竣工后,编制工程结算和竣工决算价,至此才能反映建设工程的实际造价。项目后评估阶段对投资效果进行分析,考查建设项目的实施是否达到预期的投资效果。

在工程造价前期阶段和工程合同价格的形成阶段中,从投资估算到竣工决算的形成过程实际上就是工程造价全过程计价的编制流程和顺序。这些计价内容和造价表现形式是一个连续过程中的不同“里程碑”,它们之间相互关联,相互影响,随着计价深度逐渐增加、计价精度愈来愈高,前一阶段的计价内容和成果是下一阶段计价的基础和依据,下一阶段的计价内容和成果则是对上一阶段(或若

干阶段)计价工作的具体化和准确化。前一阶段的计价对后面的计价都具有控制作用<sup>[1]</sup>。

## 1 造价控制存在的问题

实际工程项目的整个实施过程中,“三超”(设计概算超投资估算、施工图预算超设计概算、竣工决算超施工图预算)反常现象非常普遍。出现“三超”的原因主要有以下几方面:

### 1.1 建设项目的特点

建设项目是在某个固定位置根据特定的用途、规模和功能进行建设,单件性特定性的特点决定任何建设项目不可能成批进行建造,每个项目的工程造价都是不一样的。工程项目单件性的特点,使得造价控制的同类项目工程造价可比性不强,参考价值不高。

### 1.2 工程造价的动态性

工程项目具有建设周期长、影响因素多的特点。物价的变化、不利的自然条件、政策及因素等众多不可预见的影响,都会对工程造价产生不同程度的影响,不利于造价控制。工程造价在整个建设期都处在不确定的状态之中,直至竣工决算才能最终确定工程的实际造价。

### 1.3 造价管理的多主体性

项目立项时,一般由项目建设单位(业主)或其委托的工程咨询机构编制可研估算。设计概算及施工图预算一般由设计单位编制。招标控制价一

作者简介:庞亚玲,女,高级工程师,2002年毕业于哈尔滨工业大学电气工程及其自动化专业,现就职于中航规划动力工程设计研究院。

般由招标代理或造价咨询机构编制。实施过程由工程监理或造价咨询企业进行投资控制。竣工结算由业主组织,造价咨询机构审核竣工决算由项目建设单位(业主)编制。

可见不同的阶段由不同的主管部门、不同的专业咨询机构、不同的专业资格人员进行造价管理,工程造价管理的多主体性,不利于工程造价的控制,造成了投资控制工作目标与控制过程脱节,各阶段控制缺乏连贯性,投资控制责任主体和执行主体不明晰等问题。出现三超现象问责不清,只能建设单位自己想办法解决。

## 2 应对措施

建设项目的复杂性、不确定性和动态性,工程计价的单件性和多次性的特点,决定了建设单位为实现投资控制目标不超过预期值,就要求有唯一一个管理主体(基于业主)对整个项目进行系统性、综合性和全局性的集成管理。同时,需要有唯一的全过程投资控制执(职)业资格主体<sup>[2]</sup>对建设项目的投资控制做全过程、全团队、全要素的集成管理和综合控制。下面仍是根据建设周期的各阶段就投资控制的要点及难点进行分析,从笔者参加过的全过程投资控制项目中总结经验教训,提取投资控制精华。从影响投资控制的各种因素中找出主要因素,并提出控制措施,从而保证建设项目全过程投资控制目标的实现。

### 2.1 可行性研究阶段的投资控制

#### 2.1.1 投资估算的重要性

据统计,投资决策阶段对项目造价的影响程度达到75%~95%,设计阶段对项目造价的影响程度达到35%~75%,施工阶段为5%~35%,竣工决算阶段为0%~5%。很显然,工程造价控制的重点应该在工程实施前的投资决策和设计阶段,应在项目早期及设计阶段即进行工程造价的确定及优化。但目前我国的工程建设项目各阶段实际投入的时间和人力物力却是同各阶段造价占总投资的比例成反比的。在前期的投资决策阶段往往是为了项目立项开展,没有经过详细的策划就仓促开始,而把过多注意力放在了工程实际实施阶段,寄希望于项目实施阶段许多实际问题的迎刃而解。固然一个项目从开始策划到最终结束,实施阶段是一个历时最长,项目参与方最多,影响工程造价因素最多的阶段。但皮之不存,毛将焉

附,如果项目开始就有许多问题为后面的实施已经埋下隐患,那么用再多的精力管控占总造价不超过40%的实施阶段的造价控制,对整个项目的投资控制都是得不偿失,本末倒置的。

#### 2.1.2 可行性研究结算投资估算编制注意事项

由可研估算投资偏差原因分析(见图1)可以看出,概算超估算的主要原因有建设单位原因、设计单位原因及估算编制者的原因等。其中,建设需求不明确或在概算阶段提高标准及要求是概算超估算的主要原因。因此投资估算阶段,保证投资估算准确性,将概算控制在批准的可研投资的范围内的主要手段如下:

(1)选择有全过程投资控制能力的的全过程投资控制主体对项目进行全过程投资控制,保证投资控制各阶段的可追溯性及可控性。

(2)全过程投资控制主体从项目投资估算阶段开始就要与建设单位充分沟通的基础上,明确业主的建设需求及想法:如明确项目的建设范围、建设规模及投资估算的范围及内容;协助业主将需要确定的投资影响因素逐一确定并及时记录。实在不能在前期估算阶段确定且对后期投资影响较大的因素要将估算时的想法及估算依据落实,形成备忘录备查。

(3)建筑工程费用估算可采用类似项目预算指标法或详细估算法进行估算。不管采用何种方法,造价人员均需在踏勘现场的基础上,分析拟建项目与参照项目预算指标的相关因素及不同点,如地区、时间、专业、标准、场地条件等因素对指标进行调整,对建筑工程费用进行修正。尤其要考察拟建项目的场地自然状况,如大型土石方工程,是否需要换填等。如天津某项目可研估算考虑基础处理费用时对天津的地质复杂情况考虑不足,实际施工时,基础处理增加费用2000多万,比估算时基础处理费用增加1/3。同时还要考察施工场地是否狭小等状况,与专业人员沟通考虑措施费的计算。主要设备价格要按照各专业所提供参数询价及参考近期招标价格确定。

室外工程要考虑室外景观绿化的规模和标准;注意室外工程及厂外工程的区别<sup>[3]</sup>,明确室外工程及厂外工程市政接口条件。

(4)工艺设备要考虑某些大型工艺设备的设备基础是单独计算,还是包含在建筑工程的工程量中;落实每台工艺设备的招标方案并按招标方案计算招标费用;某些设备(如弱电设备、UPS设



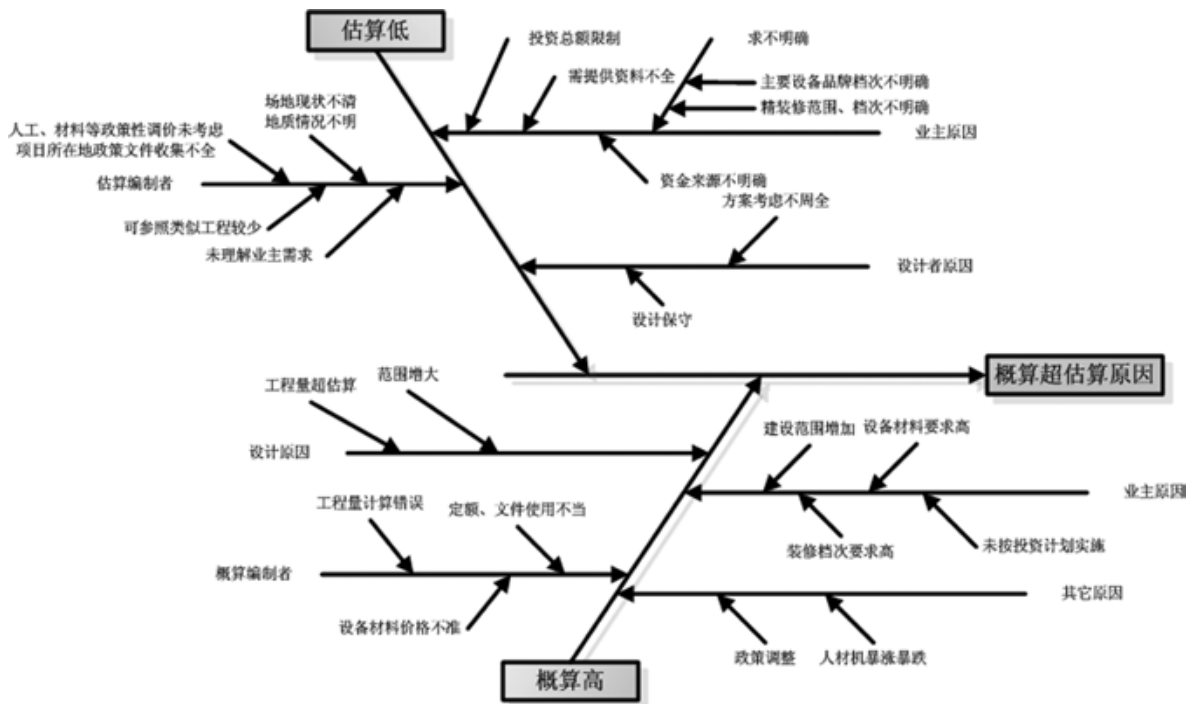


图1 可研估算投资偏差原因分析

备), 屏蔽机房等与建筑工程中相关专业的设备费是否重复或遗漏。

(5)工程其他费用一般按照国家或行业规定或地方性收费项目及标准计算。如土地购置费、施工图设计文件审查费、市政公用设施配套建设费、人防异地建设费、工程造价咨询费、高可靠性供电费、地震灾害评价费、交通评价费、深基坑方案评审费用等, 应逐一落实, 防止疏漏; 特别是土地的相关费用要落实所包含的内容, 如购地费中是否包含契税、土地评估费、耕地占用税、城市基础设施配套费等。场地准备费要在踏勘现场的基础上, 考察拟建项目的场地现状, 如是否有旧建筑的拆除、管线移位等情况。生产准备及开办费要与建设单位明确办公人员人数及标准, 按实计算该项费用。根据项目类型选择是否需要计算联合试运转费用, 如试车台、锅炉房等项目应该记取联合试运转费用。

因批准的投资估算是整个项目投资控制的源头, 一经批准即项目的最高限额不能随意修改和变更。所以投资估算阶段必须充分考虑投资估算的各方面因素, 尽量落实对投资估算合理性影响较大的方面, 将投资估算做得合理足额。不能因投资总额限制而盲目压低没有节约潜质的项目, 为后续项目实施过程埋下超投资的隐患。

## 2.2 初步设计阶段的投资控制要点

根据项目的不同情况, 一般分为初步设计阶段及施工图设计阶段。设计工作的完成, 项目的投资也就基本确定, 所以初步设计概算及施工图预算是承上启下, 影响项目投资控制的最关键环节。初步设计概算编制主要注意事项如下:

(1)因本文讨论的是唯一造价控制主体对建设项目做全过程的投资控制, 所以该造价控制主体应了解可研估算情况及过程, 在初步设计概算及施工图预算控制阶段有的放矢, 有针对性的控制项目投资。

(2)设计者应增加经济意识, 推行技术经济相结合的方式限额设计。确定项目建设总体建设范围及标准, 包括内外装修范围及标准, 保证投资额不超可研估算。

(3)根据项目场地实际状况、详细地勘资料进行投资计算; 根据项目所在地合理选用概算定额(或预算定额)、造价文件及相关取费文件; 主要设备材进行实际询价并参考其它项目近期招标价格确定。

(4)应参考实施过程中可能进行的招标策划(总包范围、分包范围及数量)考虑招标代理服务费费用。

(5)对于后期实施过程中很有可能需要二次深化设计的部分分项工程(如幕墙工程、精装修工程等)要考虑后期深化设计费用及变更费用。

初步设计完成后应与可研估算进行同口径对比分析,对差距较大的单项应分析其具体原因并与业主及设计者沟通,提出解决方案。如无特殊原因及变化应确保初步设计概算不超过投资估算总额。

### 2.3 实施阶段的投资控制

建设项目经批准开工建设,即进入建设实施阶段,即按工程设计要求、施工合同条款、施工组织设计及投资计划等,在保证工程质量、工期、成本、安全目标的前提下进行施工。实施阶段虽然对造价的影响程度只到达项目投资额的5%~35%,但因为实施阶段历时最长、影响工程造价控制的不确定性因素及突发事件最多。所以也就决定了实施阶段投资控制的关键在于如何控制变化及应对变化,保证实施过程按实施策划方案顺利进行。实施过程投资控制注意事项:

#### 2.3.1 做好实施过程前期策划、编制招标控制价

(1)熟悉图纸,策划分几个标段,每个标段的总包分包,各标段及总分包的界限范围及招标方式等。

(2)编制详细的招标文件,编制合理的招标控制价;总包招标文件要更加熟读图纸,确定甲供设备材料、暂估价设备材料、指定品牌设备材料及自主报价材料;明确各种设备材料结算时是否可以调整及调整方式。招标文件要有合同的内容,避免中标后再对合同条款进行谈判。

(3)选择合适的评标办法,建议使用工程量清单报价的招标一定要有清标阶段,分析综合单价是否合理,有没有偏高或偏低的现象,避免投标单位实行不平衡报价,在实施过程中谋取利益。

#### 2.3.2 注重实施阶段的过程控制

(1)精装修二次设计、专业分包项目二次深化设计等更应体现限额设计。如精装修二次设计,应在精装修设计开始即组织建设单位与设计单位沟通,原投资估算或概算的精装修的方案设想及限额。不应出现先设计,后算账,导致超过原预期装修标准。

(2)规范变更管理,坚持“先批准,后变更”的原则,严格控制重大设计变更,完善变更报批手续;对于施工过程中的调整减项工程承包方往往不会主动提供资料,这就要求项目管理者及时做好记录并保存资料,进度款支付或结算时从合同价款中扣除。

(3)做好实时投资记录分析,将实施过程中的

增加及调减项目金额及时计算汇总,了解项目投资实施情况,与可研及初设或预算(投资控制目标)定期做对比分析,控制实际投资情况,保证项目投资不出现大的偏差。

(4)建设单位基建部门、实际使用者,上层领导需求不一致时,应组织会议并就某项变更达成一致意见后再实施变更管理过程,避免更改设计的随意性。

#### 2.3.3 做好工程的结算审核工作

(1)工程实施过程中要做好资料的收集整理工作,包括:招标文件及相应答疑文件、投标报价、合同、施工图纸会审记录、增减项签证单、会议纪要等。

(2)注意各标段及合同包的界限范围,避免重复结算各两个合同包造成投资增加。结合竣工图及变更洽商记录进行结算,如过程中已对变更洽商进行整理估价,结算时只是对变更洽商造价的确定和落实,对实际投资应不会产生大的影响;注意减项项目的扣减。

(3)结合招标文件及合同规定的结算原则,进行甲供设备材料、暂估价设备材料及暴涨暴跌材料结算。

## 3 结论

(1)若想保证造价控制按既定的目标进行,首先要保证既定目标的准确性。即在前期投资估算阶段结合项目特点,提高可行性研究报告的深度及投资估算的精度。

(2)为保证各阶段控制目标的承续性,需要有唯一的全过程投资控制主体对建设项目的投资控制做全过程综合管控。

(3)注意建设项目各阶段投资控制的要点及难点,选择合适的控制方法进行投资控制。发现各阶段间的投资偏差,应及时分析原因并给予纠正,以确保既定控制目标的实现。

#### 参考文献

- [1] 严玲,尹贻林.工程计价学[M].北京:机械工业出版社,2006.
- [2] 杨宇东.建设项目全过程投资控制之瓶颈与破解[J].建筑经济,2011(2):28.
- [3] 王大鹏.可行性研究阶段投资估算的编制方法及注意事项[J].建筑经济,2012(5):26.

# LED蓝光能量分析

陈寅生 「电气」

**摘要:** 为了评估LED照明光源的蓝光能量比例, 首先需要根据LED光源发出光的光谱分布规律来进行积分计算, 确定这个电光源的光电转换率, 再依据IEC 62471:2006, modified和EN 62471:2008对蓝光波长的划分, 对该波段的光谱能量进行积分计算, 确定这部分光能量占可见光能量的比例。通过两个比例, 换算出蓝光占照明光源输入能量的比例。最终依据GB 50034建筑照明设计标准中对各类场所照度标准核定其安全范围。本文分别对国外和国内300余例LED照明光源的光谱曲线进行蓝光能量分析, 并与常用典型电光源的蓝光能量进行对比, 得出LED光源作为普通照明的安全结论。

**关键词:** LED照明; 光电转换率; 可见光能量; 蓝光能量

蓝光对人体的影响, 有正面影响, 也有负面影响, 在我们大量采用蓝光激发YAG荧光粉的白光LED照明之前, 和国家对LED照明光源的蓝光限制标准出台之前, 需要对LED照明的光危害问题进行分析, 以确保LED照明中的蓝光对人体的影响在安全范围之内。

任何一项标准都是在事物出现之后, 人类根据该事物的使用情况进行总结分析之后做出, 电光源的标准也是如此。在工业安全标准还未正规的时代就已经发明和生产了大量的白炽灯。与单一波长的激光系统相比, 对灯和灯系统的光学辐射危害的评估和控制要更为复杂。其辐射测量十分困难, 因为所要测量的不是一个简单的点光源, 而是一个扩展光源, 它有可能被漫射体或投影物镜改变, 并且灯的光谱分布可能受辅助光学元件、漫射体、透镜以及类似的装置和条件变化的影响而改变, 同时, 还需要根据这些光在一段时间内对人类和生物的影响进行评估, 不单需要科技界人员进行理论分析和评估, 而且还需要

医学界的生物实验和病理评估, 因此是一个非常复杂的过程。

为了评估某一个波段的光源, 诸如白炽灯、荧光灯、LED等灯系统对人类的影响, 首先需要确定这个电光源的光电转换规律, 根据发出光的功率和光谱的分布规律来进行计算分析。对照明系统来说, 电光源所发射的光谱分布, 由于光路中光学元件(例如透镜、折光板等)的过滤和折射, 可能与仅由灯自身发出的实际光谱分布不同, 其次, 光源的尺寸或投影的尺寸必须在视网膜危害光谱区加以说明; 再者, 可能有必要确定辐照度和有效辐亮度与距离的变化关系。在没有精密仪器的情况下, 进行测量并进行定量分析不是件容易的事。

为了分析计算电光源光谱中部分波长能量与发出的可见光能量的关系, 首先对照明光源常用色温的白光LED光源进行光电转换规律的研究, 选取色温为: 2700K、3000K、3500K、4000K、4500K、5000K、5700K和6500K共8组, 并对这些LED光源的光电转换效率进行分析。虽然各企业生产的产品略有差异, 各品牌的白光LED也有所差别, 但是总体符合下图所示规律, 其转换率随色温的提高而增加。

作者简介: 陈寅生, 男, 研究员, 1983年毕业于北京邮电大学无线电技术专业, 现就职于中航规划技术研究院。

根据白光LED光源的特性，它工作时，除了产生可见光外，还产生热量，由于LED光源没有不可见光能量的产生，所以，计算它的光输出比例相对比较容易。按照能量守恒原理，这光和热两部分能量之和应该等于它的输入能量。在目前生产技术水平下，蓝光激发荧光粉的LED照明光源在380nm~780nm范围内的光辐射通量大约占灯标称功率的25%~35%(见图1)，即100W标称功率的LED电光源，可以产生25W~35W的可见光能量，这部分光能，为波长380nm~780nm的可见光能量，由于用蓝光激发YAG荧光粉，互补产生白光的LED没有小于380nm和大于780nm的能量，按照能量守恒定律，其余65%~75%的能量转换为热能。

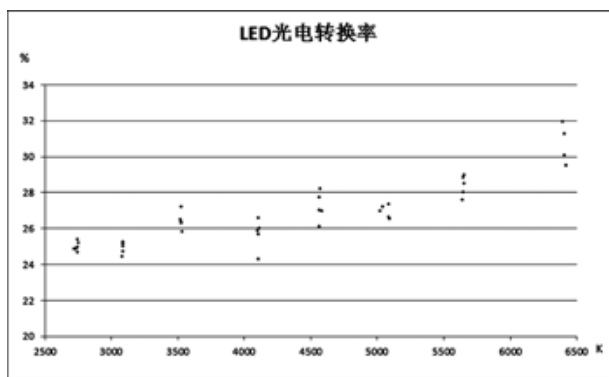


图1 LED光电转换规律

上图为目前国内技术水平所生产的商业化产品的光电转换率，国外的LED产品光电转换率略高于国内生产水平。随着LED照明技术的不断发展、光效会有所改变，转换系数将会得到提高。

### 1 美国CREE公司LED产品380~500nm能量分析

首先，对美国CREE公司的产品进行统计分析，取样样本192个，功率范围21W~292W，色温范围从1823K~6456K。“蓝光”激发主波长峰值在445nm~450nm，光效从早期产品的32lm/W到前阶段一般产品的101lm/W，根据数据统计分析处理，其“蓝光”波峰能量与色温相关，随着色温的升高，主峰能量相对提高，目前产品的“蓝光”主峰能量大约占灯系统每瓦输入功率2.5mW~3mW(见图2)。虽然这个关系反映了LED照明产品的“蓝光”能量，但分布范围较大，无法给出相对准确的对应关系。

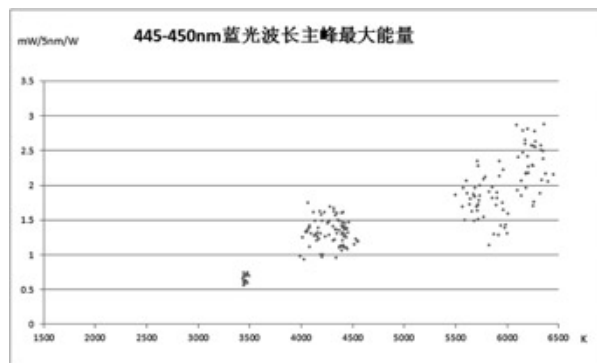


图2 CREE LED蓝光主峰最大能量分布

为了得到较为准确的“蓝光”能量与LED灯的关系，根据这192个产品的光谱特性曲线，对380nm~780nm的光谱曲线积分，得到每一个产品的可见光能量，再对这部分能量中380nm~500nm的光谱曲线进行积分，得到这部分能量的比值：

$$\int_{380}^{500} E(\lambda) d\lambda / \int_{380}^{780} E(\lambda) d\lambda$$

根据这些数据进行统计分析，发现380nm~500nm波长的能量与可见光能量基本呈比例关系，它与LED灯的功率没有较为准确函数关系，而与它的色温密切相关，根据这些数据所绘制出的散点(见图3)。

从图3我们可以看到，380nm~500nm波长的光能量在整个可见光能量中的比例分布范围比较集中，基本上与色温成线性比例关系，从1800K色温时的2%到6500K色温时的33%。色温越低，“蓝光”能量越少；常用照明产品色温范围在2700K~6500K，最高“蓝光”能量出现在色温的高端，占可见光能量的比例约为33%。

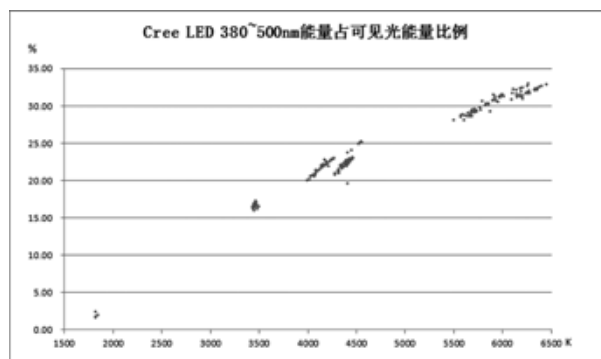


图3 美国CREE公司白光LED中380nm~500nm能量占可见光能量比例

## 2 国内LED产品380nm~500nm能量分析

美国CREE公司的产品属于国际知名品牌，国内生产的产品是否符合这一规律，也需进行验证。我们对国内部分厂商所提供的LED球泡灯、支架灯和工矿灯光谱特性曲线进行分析，共得到139个测试样本，从单颗LED到大功率工矿灯和路灯，功率范围从0.06W单颗小功率LED，到177W的大功率LED工矿灯，色温范围从2700K~8000K，采用同样的比例关系见下面计算公式，其蓝光能量比例曲线见图4。

$$\int_{380}^{500} E(\lambda) d\lambda / \int_{380}^{780} E(\lambda) d\lambda$$

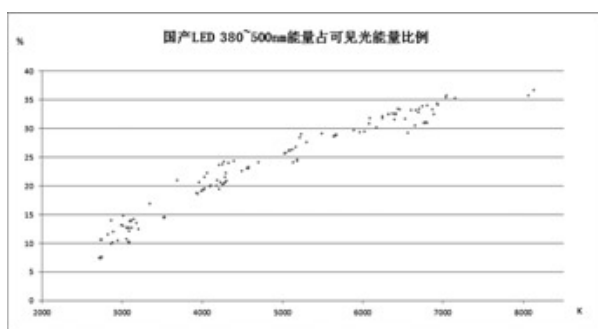


图4 国产白光LED中380nm~500nm波长能量占可见光能量比例

以上所统计分析样本取自5个不同的生产厂商，根据各厂商所提供的光谱特性曲线，分析结果与CREE公司的LED产品，蓝光能量比例基本相同，但由于各企业的产品略有差异，因此这部分的“蓝光”能量比例也略有不同，总体符合前面所做分析。

为了进一步验证这一规律，再次对LED灯380nm~500nm波长能量占可见光能量的比例进行验证，考虑到不同公司的不同产品可能会有差异，所以采用单一公司的同一种LED照明光源，取样样本为贵州黔聚源光电有限公司生产的LED支架灯，同样进行蓝光能量比例分析。取样样本40个，色温分别选择为2700K、3000K、3500K、4000K、4500K、5000K、5700K、6500K，每种色温产品各取5只；测试目的是验证蓝光能量比例的对对应范围。

首先假定前面分析的CREE公司和国产LED产品蓝光所占比例对应关系正确，则2700K色温的

LED蓝光能量应占11%左右，3000K色温的LED蓝光能量应占13%左右，3500K色温的LED蓝光能量应占17%左右，4000K色温的LED蓝光能量应占20%左右，4500K色温的LED蓝光能量应占23%左右，5000K色温的LED蓝光能量应占26%左右，5700K色温的LED蓝光能量应占30%左右，6500K色温的LED蓝光能量应占33%左右，测试结果见图5。

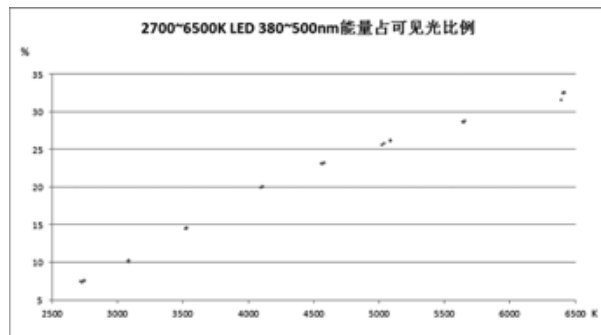


图5 贵州黔聚源光电有限公司支架LED灯进行蓝光能量比例验证

通过以上蓝光能量比例分析，所测7.5W 0.6m LED支架灯在2700K~3500K 380nm~500nm能量占光输出能量较CREE公司和其他国内公司LED产品在同等条件下的比例略有降低，降低幅度大约为3%，所测4000K以上色温7.5W 0.6m支架LED的蓝光比例无明显变化。得到结论基本上与前面分析结果相同，蓝光能量与色温成正比，且基本为线性关系。

根据前面所做光电技术指标分析结果，目前生产技术水平，白光LED照明光源的光能量输出占输入功率的25%~35%左右。按照美国CREE公司和国内企业所生产的产品统计，在2700K~6500K色温范围内380nm~500nm能量占光输出能量的8%~33%，我们以6000K色温LED进行计算，得到2700K~6500K色温的LED在380nm~500nm波长的能量小或等于灯系统输入电功率的2%~11.6%。

## 3 LED与荧光灯380~500nm能量对比

前面分析计算了蓝光激发YAG荧光粉的白光LED在380nm~500nm波长的能量，这一问题的引出源于大家对LED蓝光危害的担心。但是蓝光问题是始终存在的，无论是白炽灯、荧光灯、还是金卤灯，只是蓝光含量多少的问题，任何一种光

源都含有蓝光成分。目前常用的荧光类电光源，是大家所接触最多的电光源。为了比较直观的了解这一问题，我们对飞利浦三基色荧光灯和国产普通支架荧光灯在380nm~500nm波长的能量进行分析。

所测三基色荧光灯的色温范围是2700K~6500K，光源为飞利浦TL5和TL-D支架荧光灯，分别为T5和T8两种直径。由于荧光灯含有少量不可见的紫外光和红外光，为了具有可比性，采用同样的计算公式380nm~500nm波长的光输出能量占380nm~780nm的比例，其蓝光输出能量占可见光能量的11%~38.5%，在同等波长范围内，这部分能量占可见光能量的比例高于LED灯4%，测试得到的蓝光能量比例所对应的散点图见图6。

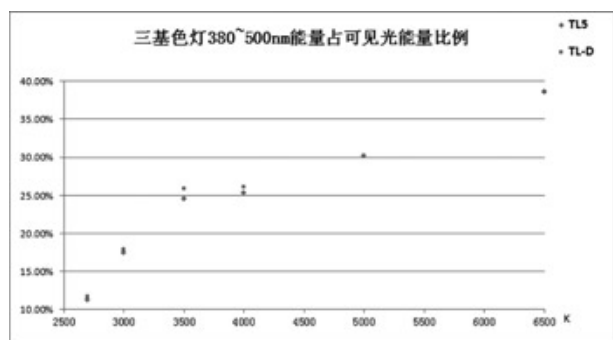


图6 飞利浦三基色支架灯380nm~500nm能量占可见光能量比例

从图6的对应关系可以看到，2700K色温三基色荧光灯在380nm~500nm波长的能量与可见光能量的比例高于LED在同样条件下约4.8个百分点；3000K高7个百分点；3500K越高10个百分点；4000K高5个百分点；5000K高4个百分点；6500K高6个百分点；各色温情况下均高于LED。

以上分析了三基色荧光灯在380nm~500nm波长能量占可见光能量的比例，由于三基色荧光灯同时含有360nm的紫外光(见图7)，按照IEC 62471和EN 62471标准的有害光定义起始点是300nm，所以其“有害光”占可见光的比例要高于上述测试分析比例。

从图7我们可以看到，三基色荧光灯光谱为阶梯状，纵坐标的单位是 $\mu\text{W}/5\text{nm}/\text{lm}$ ，根据T5荧光灯的发光效率可以推算出它的“蓝光”主峰能量。为了具有对比性，选取飞利浦公司4500K TL5三基色直管荧光灯，其光谱曲线见图8。

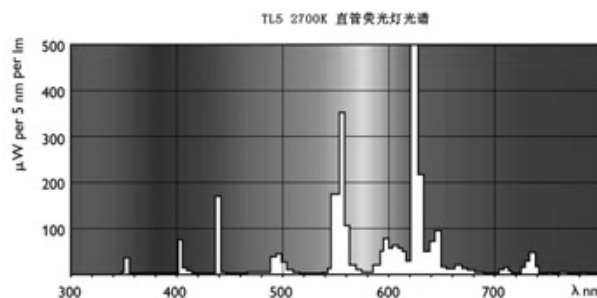


图7 典型三基色支架灯光谱

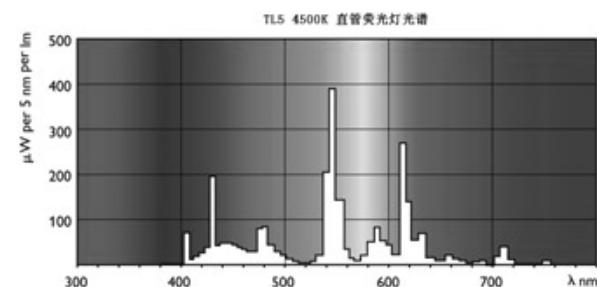


图8 4500K TL5直管荧光灯光谱

从上图可以看到TL5 4500K直管荧光灯的“蓝光”出现在约430nm波长，其波峰约 $200\mu\text{W}/5\text{nm}/\text{lm}$ ，按照发光效率 $104\text{lm}/\text{W}$ 计算，其波峰约为 $20.8\text{mW}/5\text{nm}/\text{W}$ ，要高于CREE公司4500K LED的波峰能量。

从CREE公司的LED光源与飞利浦公司的三基色荧光灯光源进行“蓝光”能量比较，无论从波峰能量的大小，还是380nm~500nm波段能量的大小，LED照明光源的“蓝光”能量均小于T5荧光灯的“蓝光”能量。

前面分析了三基色荧光灯的“蓝光”能量，并与CREE公司的LED灯进行了比较，再来看普通荧光灯的情况，分析普通支架灯在380nm~500nm的能量占可见光能量的比例见图9。由于普通荧光灯的使用在逐步降低，所以只选取3只普通支架灯，色温为6500K，所得到的这部分能量与可见光的比例约39%，与三基色支架灯的这部分能量比例相同，也就是说LED同样比普通支架灯在380nm~500nm波长的能量要低。

#### 4 常用电光源380nm~500nm能量对比分析

由于荧光灯是目前使用最广泛、最常见的光源，用LED照明取代传统荧光灯或三基色荧光灯

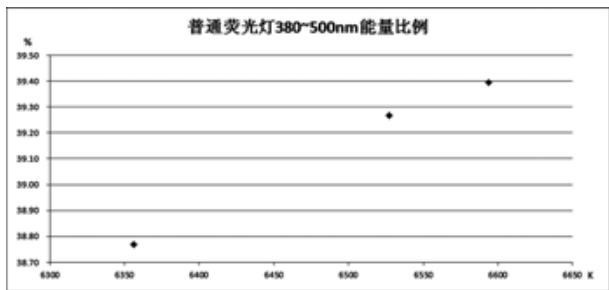


图9 普通支架灯380nm~500nm能量占可见光能量比例

的“蓝光”能量在前一节已经进行了初步分析，从分析的数据结果证明，蓝光激发YAG荧光粉产生白光的LED照明要比荧光灯所产生的“蓝光”能量要低，而目前许多公共场合还大量使用金卤灯进行照明，LED的“蓝光”能量与金卤灯的“蓝光”能量高低情况如何，如果在替代金卤灯时，是否会使人产生疑虑，为了搞清LED与这些光源在380nm~500nm段的能量高低，进一步分析了这一问题。

由于金卤灯的光谱分别向380nm以下波长和780nm以上波长延伸，但这两部分的光为不可见光，为了统一标准进行比较，只对380nm~780nm的光能量进行积分，选取雷士照明同一企业电光源产品：

陶瓷金卤灯12个，色温3000K和4000K两种，3000K陶瓷金卤灯的这部分能量占可见光能量约17%，4000K陶瓷金卤灯的这部分能量占可见光能量约28%。

石英金卤灯15个，色温3000K、4000K、5000K三种，3000K石英金卤灯的这部分能量占可见光能量约25%，4000K石英金卤灯的这部分能量占可见光能量约33%，5000K石英金卤灯的这部分能量占可见光能量37%左右。

我们同时选取了17个雷士公司生产的三基色支架灯，色温范围在2700K~6700K之间，这部分能量占可见光能量在12%~42%之间，与上节飞利浦荧光灯的分析结果基本吻合。

LED的色温范围在2700K~7000K之间，分别为球泡灯16个，支架灯15个，这部分能量占可见光能量在12.6%~32.5%之间，也与3.2.1节和3.2.2节分析结果吻合。根据这些分析数据绘制成散点图见图10。

从上图可以清楚地看到，用蓝光激发YAG荧光粉产生白光的LED其“蓝光”能量普遍低于金

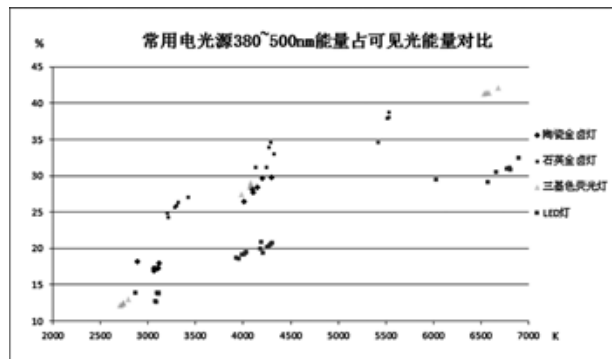


图10 常用电光源380nm~500nm能量占可见光能量对比

卤灯、荧光灯等传统光源的这部分能量。从对比数据结果，LED照明要比传统光源在光生物安全方面更加放心。

# 国内外汽车风洞技术与发展现状

马玉清 「工艺」

**摘要:** 本文介绍了汽车风洞的基本型式,并通过总结国内外主要汽车风洞的基本数据,对比总结出汽车风洞相对于航空航天风洞的不同特点。介绍了我国首座汽车风洞——上海地面交通工具风洞中心的建设情况与技术特点,最后总结现代汽车风洞的技术发展趋势。

**关键词:** 汽车;风洞试验

## 1 绪论

风洞是指在一个按一定要求设计的管道系统内,采用动力装置驱动可控制的气流,根据运动的相对性和相似性原理进行各种气动力试验的设备。它是进行空气动力实验最常用、最有效的工具,在航空航天、汽车、建筑、桥梁等工程领域,具有重要应用意义。

其中,现代汽车风洞通过对汽车与空气之间相对运动的力学研究,对汽车产品开发过程中有关减小空气阻力、降低油耗、减少噪声,保障安全性、稳定性,以及发动机冷却等方面进行科学验证和改进的专门设施。

近年来,汽车工业进步与竞争的焦点主要为节省能源和开发高性能的汽车,现代汽车风洞技术得到了迅速发展,尤其是美、英、德、法、日等汽车生产强国。在我国,随着位于同济大学嘉定校区的上海地面交通工具风洞中心的建设落成,也标志着我国汽车风洞设计建设的正式起步。

本文主要对国内外的现代汽车风洞技术及建设情况进行简要的介绍。

## 2 汽车风洞发展概况

汽车、火车、自行车、船舶等近地面交通运

输工具,当其运动时,都会产生空气动力扰动,而空气作用力和空气压力对车船的性能有相当大的影响。问题的复杂性主要表现在阻碍运动的空气阻力、运动物体的稳定性、旅客车的通风以及雨雪在风挡上的沉积等方面,进行风洞模拟实验,是解决类似问题的有效手段。

随着汽车工业的迅猛发展,运输空气动力学问题日益受到世界各国工业界的重视。目前,世界各国,尤其是发达国家主要汽车公司都拥有汽车风洞。

### 2.1 汽车风洞一般型式

汽车风洞的一般型式见图1。

汽车风洞型式以及风洞回路总体布局与常规低速风洞相似,与常规的低速风洞设计相比,汽车风洞的设计特点主要体现在试验段以及与汽车模拟实验特殊要求有关的部件上。

### 2.2 国内外主要汽车风洞数据

国内外汽车风洞的基本数据总结见表1。

通过对比分析可以看出:

- (1)整车风洞试验段尺寸一般在5m左右量级;
- (2)试验风速最高70m/s左右;
- (3)多为开口试验;
- (4)一般有声学要求。

### 2.3 汽车风洞尺寸量级的选择

由于试验对象的不同,因此汽车风洞与航空风洞具有一定差别。汽车正面投影面积约为 $2\text{m}^2$ ,按堵塞比为10%设计,因此汽车风洞试验段尺寸一

作者简介:马玉清,女,助理工程师,2010年毕业于北京航空航天大学飞行器设计与工程,现就职于中航规划设备工程设计研究院。



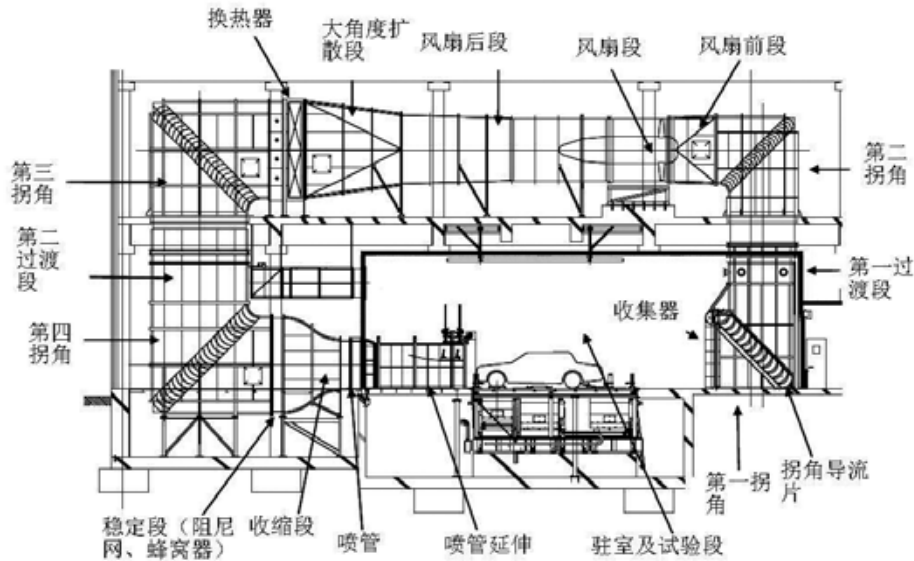


图1 汽车风洞一般型式

一般在5m量级。

根据固壁边界对汽车模型实验数据影响的试验研究，建议模型高度与试验段地板至顶壁间距之比为1:3，模型最大迎风宽度与试验段宽度之比为1:3。这是因为，当上述两个比值大于1:3时，由于试验段侧壁和/或顶壁接近模型，会使力和力矩的全部分量曲线非线性化，造成数据不准确。

与常规低速风洞相比，汽车风洞的显著特点之一是汽车模型试验时，模型放置在带有边界层控制的试验段地板，试验中模型的典型姿态是大偏角、小迎角。为了真实模拟汽车行驶过程，模型前方的试验段地板长度，在保证试验段模型来流均匀的前提下，还需提供边界层控制所要求的长度，以降低试验地板上的边界层厚度，获得均匀的地面流场。另外，在模型下游还应有一能使模型尾流获得充分发展的尾流区长度。因此，试验段地板长度一般为典型汽车模型长度的5~7倍，地板宽度至少为模型长度的3倍。

汽车风洞最高吹风速度一般为200km/h左右，这也是由汽车本身的属性所决定的。

#### 2.4 汽车模型支撑方式

与航空风洞不同的是模型的支撑方式和测力天平的布置方式。由于汽车是在地面上行驶，因此风洞试验中汽车模型需要安装在模拟地板上。为消除汽车模型风洞试验时由于试验段地板与气流存在相对运动而产生的边界层对模型试验数据的影响，国外例如DNW风洞已将活动地板技术用

到汽车风洞中。活动地板以与风洞气流相同的速度和方向运动，以模拟真实的地面条件。汽车4个车轮下均有天平式感应器。天平是由柱状刚性体构成，用来支撑汽车的4个车轮。

#### 2.5 声学要求

噪声治理是当今世界各国环境保护的重点项目之一，对现代化的汽车来说，如何降低车体动力噪声以及周围气流流体噪声（风切声、风摩擦声）是一个重要课题。汽车噪声是不仅造成噪声污染，也是影响汽车座舱舒适度的重要因素。风洞试验是对汽车噪声研究的重要手段之一，因此，现代汽车风洞的设计需要在满足空气动力学性能的基础上，同时要满足声学试验的要求：

- (1)自由场条件，无声反射；
- (2)足够的空间条件，可以进行远场声测量；
- (3)较低的试验段背景噪声，对声学试验结果不产生干扰。

因此，汽车风洞多为开口试验段。

### 3 同济大学汽车风洞介绍

同济大学上海地面交通工具风洞包括国内首座汽车气动声学整车风洞、国内首座热环境整车风洞和一个集汽车造型、加工、设备维护、科研和管理于一体的多功能中心。

该风洞中心在噪音控制、地面模拟、空气动力测量精度、环境模拟等关键技术指标上均达到

表1 国内外汽车风洞的基本数据表

| 风洞名称                | 地址 | 建设时间 | 试验段        |          |       | 整体尺寸       | 最大速率<br>(km/h) | 收缩比  | 风扇功率<br>(MW) | 温度<br>(°C) | 声学指标                              |                                     |
|---------------------|----|------|------------|----------|-------|------------|----------------|------|--------------|------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
|                     |    |      | 宽×高<br>(m) | 长<br>(m) | 类型    |            |                |      |              |            |                                   |                                     |
| Audi (AAWK)         | 德国 | 1999 | 3.94×2.8   | 9~10     | 3/4开式 | 47.65×16.6 | 300            | 5.5  | 2.6          |            | 45m/s时, 60dB                      |                                     |
| BMW AVZ (2 nozzles) | 德国 | 2008 | 6.5×3.85   | 14       | 3/4开式 |            | 250            | 5.7  | 4.1          | ≤20        |                                   |                                     |
|                     |    |      | 5.43×3.32  | 14       | 3/4开式 |            | 300            | 8    |              |            |                                   |                                     |
| 克莱斯勒3/8             | 美国 | 2002 | 2.29×1.34  | 8.23     | 3/4开式 | 32.94×12   | 196            | 5.4  | 4.6          |            | 140km/h时, 流场内67.5dB, 流场外62.3dB    |                                     |
| DNW (4试验段)          | 荷兰 | 1980 | 9.5×9.5    | 20       | 闭式    | 129×30     | 223            | 4.8  | 12.6         | ≤42        |                                   | 80m/s时, 流场外85dB, 125HZ, 60dB, 18kHz |
|                     |    |      | 8×6        | 20       | 闭式    |            | 417            | 9    |              |            |                                   |                                     |
|                     |    |      | 6×6        | 16       | 闭式    |            | 547            | 0.5  |              |            |                                   |                                     |
|                     |    |      | 8×6        |          | 开式    |            | 306            | 9    |              |            |                                   |                                     |
| Ford DTF WT8(2 试验段) | 美国 | 2001 | 5.56×3.34  | 14.33    | 3/4开式 |            | 192            | 6    | 1.93         | 0~55       | 140km/h时, 流场内67.6dB, 流场外63.7dB    |                                     |
|                     |    |      | 4.15×2.54  | 13.41    | 3/4开式 |            | 241            | 10.9 |              |            |                                   |                                     |
| GIESZA              | 法国 | 2003 | 6.38×3.7   | 15.1     | 3/4开式 |            | 245            | 6    |              | <35        | 80km/h时, 49.8dB, 160km/h时, 67.1dB |                                     |
| Honda               | 日本 | 1991 | 7×4        | 13.25    | 3/4开式 |            | 200            | 6    | 3.6          | 20         | 最高速时120dB                         |                                     |
| Honda               | 日本 | 2010 | 6.7×3.6    | 14.5     | 3/4开式 |            | 200            | 6    |              |            |                                   |                                     |

表1 国内外汽车风洞的基本数据表(续)

|                               |     |      |            |       |       |              |     |      |       |        |                      |      |        |
|-------------------------------|-----|------|------------|-------|-------|--------------|-----|------|-------|--------|----------------------|------|--------|
| Hyundai (HAWT)                | 韩国  | 2000 | 7 × 4      | 18    | 3/4开式 |              | 200 |      | 2.55  | 20~50  | 100km/h时, <60dB      |      |        |
| IVK (FKFS) 斯图加特               | 德国  | 1988 | 5.8 × 3.87 | 9.94  | 3/4开式 |              | 263 | 4.4  | 2.98  |        | 150km/h时, 流场外72-77dB |      |        |
| Nissan (2 试验段)                | 日本  | 1986 | 7 × 4      | 12    | 3/4开式 |              | 190 | 6.4  | 2.2   | 室温~50  | 100km/h, 66dB        |      |        |
|                               |     |      | 270        |       |       |              | 12  |      |       |        |                      |      |        |
| pininfarina                   | 意大利 | 1972 | 半径2.82m半圆  | 8     | 3/4开式 |              | 260 | 6.9  | 3.1   |        | 100km/h, 68dB        |      |        |
| 同济大学/SAWTC                    | 中国  | 2009 | 6.5 × 4.25 | 15    | 3/4开式 |              | 250 |      | 4.12  |        |                      |      |        |
| VM climatic wind tunnel (CWT) | 德国  | 1965 | 7.5 × 5    | 10    | 闭式    | 82 × 49 × 21 | 150 | 4    | 2.6   | -30~50 |                      |      |        |
|                               |     |      |            |       |       |              |     |      |       |        |                      |      |        |
| JARI Full Scale               | 日本  | 1976 | 4 × 3      | 10    | 闭式    |              | 205 | 4.06 | 1.2   |        |                      |      |        |
|                               |     |      | 6 × 5      |       |       |              | 13  | 1.63 |       |        |                      |      |        |
| The Lola wind tunnel          | 美国  | 1999 | 2.7 × 2.47 |       |       |              | 140 | 7    | 0.375 | 23     |                      |      |        |
| volvo多功能风洞                    | 瑞典  | 1986 | 6.6 × 4.1  | 15.82 | 1/2开式 | 74.55 × 29.9 | 198 | 6.06 | 2.3   | 20~60  | 30m/s, 噪声为30dB       |      |        |
|                               |     |      |            |       |       |              |     |      |       |        |                      |      |        |
| FIAT 气动环境风洞                   | 意大利 |      | 7 × 4.6    | 10.5  | 1/2开式 |              | 200 | 4    | 1.8   | 5~30   | 100km/h, 83dB        |      |        |
|                               |     |      | 4.2 × 3    |       |       |              | 160 |      |       |        |                      | 0.36 | -10~50 |
|                               |     |      | 4.2 × 3    |       |       |              | 160 |      |       |        |                      |      | -50~20 |

世界领先的水平，并拥有风洞项目全部自主知识产权。同济大学汽车风洞图见图2。

其中，气动声学风洞喷口尺寸为 $6.5\text{m} \times 4.25\text{m}$ ，如前文分析为5m左右量级的整车风洞，开口试验段长15m，试验风速可达 $250\text{km/h}$ ，可进行微型汽车到中型面包车的整车试验，更大尺寸的车辆则需使用缩比模型试验。活动地板采用先进的五带移动地面系统，真实模拟汽车行驶过程中车底的路面状态。

另外值得一提的是，依靠特殊的低噪声风机系统和复杂的声学处理技术，该气动声学在风速为 $160\text{km/h}$ 情况下，整个实验室背景噪音被压到61dB，而相同规格风洞的国际先进水平为65dB。该气动声学风洞是目前世界上同量级噪声值最低的风洞，这标志了我国汽车风洞声学特性达到世界一流的水平。

热环境风洞则设有7/14可变大小喷口，对应试验最大风速 $200/100\text{km/h}$ ，模拟温度及相对湿度范围分别为 $-20^{\circ}\text{C} \sim +55^{\circ}\text{C}$ 和 $5\% \sim 95\%$ ，并设有可变强度和角度的全光谱阳光模拟装置及双轴驱动转毂系统，能模拟各种气候条件和车辆行驶工况，以实现发动机冷却系统及空调系统等的优化。

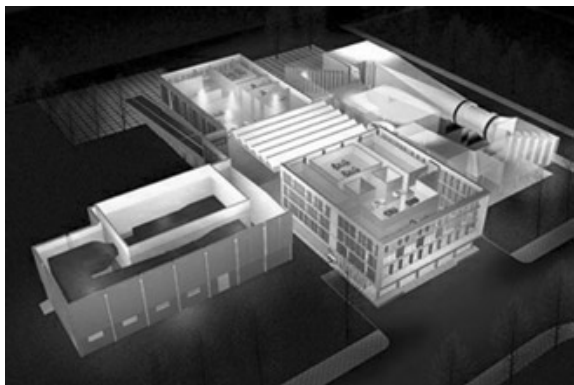


图2 同济大学汽车风洞图

#### 4 汽车风洞技术发展趋势及结论

首先，汽车风洞试验要真实有效地模拟汽车行驶中的空气动力特性，风洞试验段中的气流品质是影响试验能力的最主要指标之一。流场品质包含许多参数如速度均匀性、速度脉动、气流偏角、湍流度、静压梯度、边界层厚度、温度均匀性和噪声度等。提高风洞试验段中的试验空间内流场品质是各类型风洞的一致目标。

其次，汽车在研制设计时需要考虑到季节气候和环境因素的影响，在汽车风洞中进行环境模拟试验具有经济、有效、试验条件易于控制等优点，是研究气候、环境因素对汽车性能影响的有效途径。因此，能够进行自由调节气流的温度及湿度、光线照射量以及其他气候条件的环境试验是对于汽车风洞的重要需求方向之一。

另外，由于汽车对噪声控制具有越来越高的要求，因此，汽车风洞对背景噪声的控制及进行声学试验的能力也提出了迫切的需求。如何采取降噪措施，对风洞回路及回路中的部件做最佳的声学处理，以达到降低背景噪声的设计目标，是设计和建造中的关键。

汽车风洞是高复杂性的实验设施，为确保风洞试验的有效性与经济性，必然的趋势是建立测试复杂多维的测试实验室，集空气动力试验、环境试验、声学试验为一体，以覆盖整个产品生命周期。

#### 参考文献

- [1] Craig L. VanGordon, Overview of Wind Tunnel Testing for Automotive Development, Jacobs Technology, Inc. 2008 SAE International, 2008-28-0007.
- [2] George, A.R., Automobile Wind Noise and Its Measurement, Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, PA, ISBN978-1560918271, 1996, SP-1184.
- [3] Edward G. Duell, Joel Walter, Joseph Yen and Tony Nagle, Progress in Aero-acoustic and Climatic Wind Tunnels for Automotive Wind Noise and Acoustic Testing, 2013 SAE International, 2013-01-1352.
- [4] 蔡国华, 傅立敏, 关于改造航空风洞为汽车试验风洞的技术探讨, 航空学报Vol. 20 No. 1, Jan. 1999.

# 生鲜食品加工配送中心工艺设计研究

李箐 「工艺」

**摘要:** 文章对生鲜食品加工配送中心工艺设计的要点和具体方法进行了研究,总结了此类厂房的总体规划程序,工艺设计方法及流程等,并通过实例分析对工艺设计中生产纲领、物料平衡、设备选型、车间规模等设计要点的计算方法进行了研究探讨。

**关键词:** 生鲜食品;加工配送中心;工艺设计

生鲜食品加工配送中心(以下简称生鲜配送中心)是指将原材料进行加工,制成生鲜食品(果蔬、鲜肉、水产)半成品、主食、熟食、配菜、盒饭等产品,并通过计量、包装、贴标、分拣、配送、实现面向超市、便利店、酒店、快餐店等零售终端的高效率的物流系统<sup>[1]</sup>。生鲜配送中心是近年来新兴的食品工业建筑,其规划设计属于食品工厂设计的范畴,综合性较强。生鲜配送中心以厂房的工艺设计为核心,而工艺设计又是以生产产品的生产车间的设计和布局为核心,此外,工艺设计还必须向非工艺设计和其他相关方面从工艺角度提出要求,为土建、采暖、通风、给排水、电气等厂房建设所必须的配套设施设计所需的基础资料提供依据和数据。

## 1 总体规划设计程序

生鲜配送中心从最初的建设构想到方案的制定实施是一个复杂、涉及面广的规划咨询过程。主要阶段可分为:前期数据调研与分析、配送中心定位、流程设计、环境设计、细化方案等,每个阶段又包含多个任务子项。其规划设计流程及步骤见图1。

## 2 工艺设计要点

生鲜配送中心工艺设计围绕最终产品的生

产展开,主要的设计内容包括产品方案、工艺流程、物料平衡、设备选型、加工车间规模及布置、配套设施基础数据的计算等方面。

### 2.1 产品方案和生产纲领的确定

在制定产品方案前首先需要了解企业现状,对产品市场进行调研和产品需求进行分析,确定产品的品种、产量、包装形式、生产季节和班次等。根据笔者近年的项目经验,生鲜配送中心的主要产品种类主要有:农产产品、畜产产品、禽产产品、水产产品、配菜产品、中央厨房产品(熟食、烘焙类面点、中式面点等)等几大类,一般根据市场分析和产品定位选择其中的产品进行组合。生产纲领与产品系列、销售金额、销售数量、门店数均有直接关系,通常采用微观预测法来确定。以下列举某生鲜配送中心的产品方案及生产纲领的测算方法。

#### 2.1.1 统计现有产品的销售情况,评估产品发展趋势,预测产品未来的销售金额

某连锁超市企业已建有一生鲜配送中心,其产品以中央厨房产品为主,由于市场发展原配送中心产品已不能满足周边门店的需求,需新建厂房满足产品需求,产品预计增长情况见表1。

#### 2.1.2 根据未来销售金额预测结果和产品的基本参数,结合项目的产品定位,得到项目的生产纲领(见表2)

表2为某生鲜配送中心生产纲领设定表,结合销售额预测和产品系列标准单价,本生鲜配送中心的生产纲领定为22.88t/天。

#### 2.1.3 确定建设规模

生产纲领确定后,建设规模的大小与产品特

作者简介:李箐,女,高级工程师,2008年毕业于中国农业大学食品科学与工程专业,现就职于中航规划民航工程设计研究院。



图1 生鲜食品加工配送中心总体规划设计程序

表1 某生鲜配送中心现有产品系列增长预测表

| 产品系列 | 09年销售金额 (万元) | 10年销售金额 (万元) | 10年销售增长率 | 5年平均增长比例预测 | 预测根据             | 5年后预测销售额 (万元) |
|------|--------------|--------------|----------|------------|------------------|---------------|
| 卤制品类 | 2932         | 3120         | 6.4%     | 20%        | 卤制品有冷却肉          | 7763          |
| 凉拌菜类 | 1521         | 1635         | 7.5%     | 20%        | 预期发展的重点          | 4068          |
| 快餐类  | 960          | 1149         | 19.7%    | 34%        | 未来做社会配餐销量会有很大的增长 | 4997          |

表2 某生鲜配送中心生产纲领的设定

| 中分类  | 小分类   | 五年后销售额 (万元/年) | 单价 (元/kg) | 日均销售量 (t/天) |
|------|-------|---------------|-----------|-------------|
| 卤制品类 | 卤制品   | 7763          | 35        | 6.08        |
| 凉拌菜类 | 荤类    | 1220          | 30        | 1.11        |
|      | 素类    | 2848          | 11        | 7.09        |
| 快餐类  | 炒菜    | 3556          | 25        | 3.90        |
|      | 米饭    | 711           | 5         | 3.90        |
|      | 寿司、饭团 | 730           | 25        | 0.80        |
| 合计   |       | 31625         |           | 22.88       |

点、配送频率、配送的门店数、配送半径和建筑物的自动化水平均有关系，目前尚无成熟的计算方法，一般根据国内外同类厂房建设经验选取单位生产能力估算法、生产能力指数法或比例估算法等进行估算。

## 2.2 工艺流程设计

生鲜配送中心工艺流程的设计主要包括：

(1)产品流线的选择。根据产品方案选择产品流线，相近或相似的产品流线可集中或部分集中设置。

(2)流线设计。生鲜配送中心内的流线主要有物流（食品流线、垃圾流线、运载工具流线）和人流（生产员工流线、行政办公员工流线），各流线相互独立，不交叉、不返流。

(3)洁净区域的划分。在生鲜配送中心内可按洁净度分为：污染区、非控制区、准洁净区、洁净区4个区域。人流、物流、气流要加以严格区分。各区域的作业人员要避免交叉，进入高洁净区的人员需要进过二次消毒的程序。在人流不能交叉而物流需要通过的相邻区域需要设置传递窗或传递门进行物料传送。

按照生鲜食品从入库到出库经过的工序，生鲜配送中心内部的主要工艺流程可分为以下几个大的环节。

### 2.2.1 入库验收

生鲜配送中心一般采取的是统一采购、集中送货、锁定供货渠道、统一结算的经营策略。冷藏物流车将生鲜食品从产地运送至生鲜配送中心，卸

货至原料暂存区后进行验收。验收主要由三部分组成，一是清点数量，二是查验质量，三是检测供应商的包装是否符合标准化要求。产品品种不同，验收的标准也不同。经过入库验收后，仓库人员要按照类别、品种将货物分类，分别存放到指定的库房和仓位，或直接进行下一步操作。

### 2.2.2 加工或贮藏

按原料进入生鲜配送中心后是否存在加工工序可将产品分为非加工型和加工型两大类。经验收后的生鲜食品，一部分先放进各类产品对应的冷藏库、冷冻库或常温贮藏库保存，另外一部分直接进入加工区，经加工后出货。进入生鲜配送中心的食品原料，是先冷藏还是立即加工出货，是根据订单或者生鲜食品的品种不同来确定。加工流程是生鲜配送中心中复杂且关键的流程之一，随产品类别不同而不同。加工分为两类，一是制成品加工即深加工，包括西式糕点、面包和中式面点的加工，以及半成品配菜、熟食等的加工；二是初加工，即只对生鲜食品进行包括清洁、分拆、分选、包装等简单工序的加工。

### 2.2.3 分类小包装

小包装实际上是一个标准化的过程，也就是将生鲜食品分类、筛选，然后覆膜、称重、贴标。最后，将小包装装进标准物流容器里。

### 2.2.4 金属残留检测、称重、包装

每一种成品在出库之前都要进行金属残留检测，以避免在加工过程中刀切斧砍或是自动化设备留下金属碎片，以保证食品安全。称重和包装实际上是一个标准化的过程。

### 2.2.5 分拨前暂存

做好小包装的生鲜食品，放在标准容器里，运送至出货暂存区。然后，根据订单进行拣选，等待配送车辆来运输。这期间，根据食品种类、性质的不同将成品放至不同温度带的暂存区域，以保证新鲜。

### 2.2.6 出库配送

生鲜配送中心一般每天分两个批次出货，通常是凌晨一次，上午一次。成品一般由冷藏车运送，保持恒温。到终端后，这些成品放在保鲜厨柜里销售，这样整个生鲜品始终处在一个冷链的环境中。

## 2.3 物料平衡计算

物料计算是为了确定各种主要原料的采购运输量、仓库存储量，并为计算生产过程中所需设

备和劳动力定员等的需要量提供依据。根据物质平衡原理，原辅料的质量与经过加工处理后所得成品和损耗量相平衡<sup>[2]</sup>。在确定完产品种类、生产纲领、建设规模和产品生产的工艺流程后，应对成品和原料进行物料平衡计算，这样才能确定每个加工车间及工序处理的物料形态和量，进而归纳出设备选型和车间规模计算所需的基础数据。某生鲜配送中心物料平衡计算表见表3。

通过表3可以得出：此生鲜配送中心的原料需用量主要为肉类、蔬菜类和米类，分别为9.14t/天、9.04t/天、3.90t/天。

## 2.4 设备生产能力的计算、选型和配套

物料计算是设备选型的依据，设备选型是影响产品质量的关键，体现生产水平的标准，为动力配电、水、汽用量提供计算依据，是工艺平面布局的基础。在进行设备选型和计算时，应根据每一个品种单位时间产量的物流平衡情况和设备生产能力来确定所需设备的台数。一般先根据每个车间内细部的工艺流程选择设备种类，再根据单位时间需处理的原料、半成品或成品的量来选择合适型号的设备。举例说明某生鲜配送中心蔬菜前处理间需描述的主要设备参数见表4。

## 2.5 厂房内各区域的面积需求，整体平面布置

生鲜配送中心内按照大的区域可划分为原料存储区、加工区、成品存储区、收发货区等大的区域，每个区域根据作业形态、工序、自动化程度以及存储方式的不同应该选择合适的计算方法来确定区域面积。在各区域面积确定后根据工艺流程进行平面布置和优化。

### 2.5.1 加工区域的面积确定

以某生鲜配送中心内卤制品前处理间的面积需求分析表来说明加工区域面积的确定方法，详见表5。

### 2.5.2 存储区域的面积确定

存储区分两类：产成品存储区和原料存储区。生鲜配送中心的原料一般根据生产纲领确定的产品需求量，结合其各自得出品率、单位面积存储能力、存储天数和面积折算系数等参数，得到各种原材料的存储面积。成品存储区一般以胶筐和笼车为存放载体，在根据每种成品的胶筐额定承载、胶筐和笼车的标准尺寸，结合存储天数、面积折算系数等参数，得到各种成品的存储面积。

### 2.5.3 收发货区的面积确定

生鲜加工配送中心收货车辆一般按照10m

表3 某生鲜配送中心物料平衡计算表

| 大分类  | 小分类 | 原料品类 | 成品量 (t/天) | 出品率  | 原料所需量 (t/天) |
|------|-----|------|-----------|------|-------------|
| 卤制品类 |     | 肉类   | 6.08      | 50%  | 12.15       |
| 凉拌菜类 | 荤类  | 肉类   | 1.11      | 50%  | 2.23        |
|      | 素类  | 蔬菜   | 7.09      | 70%  | 10.13       |
| 快餐类  | 炒菜  | 肉类   | 1.95      | 50%  | 3.90        |
|      |     | 蔬菜   | 1.95      | 70%  | 2.78        |
|      | 米饭  | 米    | 3.90      | 170% | 2.29        |
| 小计   |     |      | 22.08     | —    | 33.48       |

表4 某生鲜配送中心蔬菜前处理间主要设备清单

| 序号 | 蔬菜前处理间  | 数量 | 外形尺寸 (长×宽×高) /mm | 主要参数               |
|----|---------|----|------------------|--------------------|
| 1  | 落地电子秤   | 1  | 400×400×1150     | 最大称量: 60kg         |
| 2  | 不锈钢三星水槽 | 1  | 2300×700×800     | —                  |
| 3  | 不锈钢控水台  | 1  | 850×700×800      | —                  |
| 4  | 切菜机     | 1  | 500×1100×1220    | 可变速, 80-100 /h     |
| 5  | 蔬菜清洗机   | 1  | 2900×1130×1250   | 300-500 /h         |
| 6  | 蔬菜脱水机   | 1  | 1050×1100×980    | 70-80kg/次, 15min/次 |
| 7  | 去皮机     | 1  | 555×728×970      | 100 /h             |
| 8  | 切丁机     | 1  | 780×1350×1300    | 350kg/h            |
| 9  | 不锈钢作业台  | 2  | 1500×750×800     | —                  |

表5 某生鲜配送中心卤制品前处理间面积计算表

| 区域  | 作业形态 | 设计条件 | 数量 (kg) | 设计能力      | 计算值   | 工作效率 | 最终 (6H作业) | 占地面积                | 计算面积(m <sup>2</sup> ) |
|-----|------|------|---------|-----------|-------|------|-----------|---------------------|-----------------------|
| 前处理 | 解冻   | 解冻槽  | 6,077   | 200kg/h·人 | 30h·人 | 80%  | 6.33(7)人  | 10m <sup>2</sup> /人 | 70                    |
|     | 清洗   | 机器   | 12,153  | 400kg/h·台 | 30h·台 | 80%  | 6.33(7)台  | 15m <sup>2</sup> /台 | 105                   |
|     | 注射   | 机器   | 12,153  | 800kg/h·台 | 15h·台 | 80%  | 3.16(4)台  | 15m <sup>2</sup> /台 | 60                    |
|     | 滚揉   | 机器   | 12,153  | 600kg/h·台 | 20h·台 | 80%  | 4.22(5)台  | 15m <sup>2</sup> /台 | 75                    |
| 合计  |      |      |         |           |       |      |           |                     | 310                   |

长, 标准载重4t计算; 发货车辆按照4.2m长, 每车可装载14个笼车的标准计算。计算时, 依据每天原料的配送量和成品胶筐的配送量确定收发货区的车位数, 进而确定收发货区的面积。

### 2.6 人员计算与平衡

生鲜配送中心根据每台设备需要的操作工人数、运输机辅助工人数来确定各工段的定员人数, 总计各工段的人数, 即为生产员工的总人数。各设备、工段的生产人员数量一般是参考同类型工厂的实际人数并结合新建厂的情况来确定。此外, 还需考虑与生鲜配送中心规模相匹配

的行政办公人员数量及生产各部门男女员工的比例及工作班制, 以满足厂房的设计需求。

### 2.7 对建设配套设计提出设计依据与所需数据

生鲜配送中心作为新兴的食品工业类厂房有其自身的独特性和惯用的设计方法, 但其设计首先仍遵从食品安全和质量管理的要求, 严格按照HACCP管理体系认证的相关要求进行设计, 消除或最大限度降低生鲜食品的生物性危害、物理性危害和化学性危害, 使产品具有可追溯性, 达到生鲜食品的安全卫生要求。工艺设计者不但要向相关专业提出所需基础耗量的数据, 也需提出



为满足食品安全卫生配套设施（建筑、结构、暖通、给排水、电气等）所需达到的要求。

### 2.7.1 建筑

生鲜配送中心地面要求平坦、防水防滑、易清洗、耐磨，有排水措施；由于生鲜配送中心有大面积的冷库及冷加工间，所以墙体多为冷库板，在油烟、蒸汽产生量较大的区域要注意选用抗油污、易清洗、不易变形变质的材料；吊顶要求采用表明光洁、耐腐蚀，耐高温、不霉变且不易脱落掉渣的材料；由于生鲜配送中心内有较多的内部物流周转运载工具，门、过道墙壁、各冷库大门应作防撞保护，主要加工操作区的房间门除满足消防需要的外多采用可自行关闭的弹簧门；一些有高度较高设备的加工区应注意根据最高设备的高度来定加工间的净高。

### 2.7.2 结构

生鲜配送中心一般采用钢筋混凝土结构，根据厂房的跨度和生产工艺要求一般选择 $12\text{m} \times 12\text{m}$ 、 $12\text{m} \times 8\text{m}$ 、或 $8\text{m} \times 8\text{m}$ 的柱网尺寸。厂房内多数加工区域对地面荷载要求不高，一般情况下 $<1\text{t}/\text{m}^2$ ，但是对于某些特殊区域，如猪肉胴体传送吊轨经过的收货、暂存、加工区域等，需根据具体的承载重量计算荷载值；一些有熟食加工要求的生鲜配送中心可能将各类灶具集中在安装桥两侧悬挂布置，需根据设备的重量计算地面局部区域可能承受的最大荷载值；各类库房必须按照货架规格和拟放原料的种类来确定合适荷载值。

### 2.7.3 暖通

生鲜配送中心作为食品冷藏链环节的重要组成部分，设计中必须适应不同生鲜食品的特点，按照严格的温度、湿度、清洁度要求进行，注意不同洁污分区内洁净空气的流向，保证高洁净区空气的洁净度，某些洁净度要求较高的区域可将房间内设为正压环境，而将污染区域设为负压环境。在部分有产生大量蒸汽、油烟设备的房间应作局部通风处理，同时根据加工间内操作人员的数量和相关的设计规范考虑新风量和换气次数以满足工作环境的体感舒适度。

由于生鲜配送中心内按照工艺流程的不同划分有较多的温度带，且低温车间和冷库很多，配套制冷机组的负荷量较大，需要根据工艺使用要求将机组尽可能集中设置，减少浪费。同时，需考虑不同区域能灵活、独立进行控制，这样能减少设备闲置时段空调系统的运行时间，实现节能环保的要求。

### 2.7.4 给排水

工艺设计需统计出车间内所有用水设备的给排水量和点位，食品工艺用水应符合饮用水水质标准并与其它用水系统的管路完全隔离，排水应考虑设备排水、地面排水和冷凝水排水等并提出明确位置。在生鲜配送中心可能有的车间内会有含大量油脂的废水排出，这些区域应考虑集中或分开设置隔油器将油脂及沉渣隔离后统一处理。生鲜加工中心中有较多的排水沟和地漏，所有排水管道应通畅，并便于清扫及疏通，并有水封及防鼠装置。

### 2.7.5 电气

电气专业按照工艺设备表和工艺布置图进行配电设计，工艺设备表中需明确各设备用电的电压和功率，并应考虑应急供电需求；生鲜配送中心内多数车间较潮湿，所有电源插座应做防潮防水处理；加工间内的照度需满足食品工厂最低的照明要求，加工间、检验间等房间的灯光颜色不能干扰对食品颜色的判断和检测；弱电系统设计根据工艺要求和建筑功能需求等考虑设置电话、局域网、火灾报警系统、广播系统、电视监控系统、安防报警系统以及出入口控制系统。

## 3 结束语

生鲜配送中心的建设在我国尚处于起步阶段，但发展迅速，大型零售连锁企业的竞争日趋激烈。十八届三中全会召开后，政府更是将食品安全问题提到了一个新的高度，提供品质优良、食用安全、品种多样的生鲜产品是决定企业核心竞争力的一个关键要素，而实践证明，生鲜配送中心成为保证食品品质、卫生标准的一致性、控制加工损耗、提高农副产品附加值的一个重要手段，生鲜配送中心的建设是行业发展的必然结果，同时，也是我国建设食品冷链物流的一个必然趋势。生鲜配送中心的设计涉及面广，从前期规划到后期建设需要食品、物流、工程等多方面知识的综合运用。本文将生鲜配送中心工艺设计的核心内容进行了研究探讨，以期起到抛砖引玉的作用。

### 参考文献

- [1] 李涛. 生鲜加工配送中心建设[J]. 中国食品工业, 2007 (11): 42~44.
- [2] 曾庆孝. GMP与现代食品工厂设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.

# 中航规划科研综合楼结构设计

崔巨宏 贾洁 金来建 吕敬辉 刘茵 「结构」

**摘要:** 中航规划科研综合楼工程采用框架-剪力墙结构。结构存在扭转、部分穿层柱、楼板开大洞等局部不规则,部分跨度大的梁采用组合钢梁,根据结构不规则性的各项特点,相应采取加强措施。在层高仅3.9m情况下,保证15.3m大跨度办公区室内2.7m净高,并对大跨度、变截面、高开洞率组合钢梁进行有限元分析,精细设计。总结了结构专业配合BIM设计做的工作。

**关键词:** 方案比较;不规则;组合钢梁;绿色建筑;BIM

## 1 工程概况

中航规划科研综合楼(建筑效果图见图1)总建筑面积47000m<sup>2</sup>,其中地上面积30000m<sup>2</sup>,地下面积17000m<sup>2</sup>。建筑物地上15层,结构主要屋面标高59.10m,1、3层层高4.2m,2、4~15层层高3.9m;地下4层,地下1层层高5.4m,地下2~4层层高3.5m。建筑物标准层平面(见图2)尺寸为57m×46m,主要柱网6.3m~11m×6m~15.3m。地上主要功能为会议、办公、报告厅、展厅,地下1层为餐厅及厨房等;地下2~4层为车库,地下4层为人防工程。地质情况良好,土层均匀,基础形式均采用钢筋混凝土无梁筏板基础。

结构设计基准期为50年,安全等级为二级。抗震设防烈度为8度,设计基本地震加速度值为0.20g,地震分组第一组,建筑场地类别Ⅲ类,抗震设防类别为标准设防类(简称丙类)。

业主提出的要求是面积最大化、办公区要无柱大空间、净高要不小于2.7m、造价要经济还要

达到绿色三星建筑的评价标准,给结构设计带来的难度是由于平面用地有限、限高不得超过60m,主要抗侧力构件只能布置中部两个核心筒处,周边抗扭刚度略差,南、北两个大空间跨度分别达15.3m、12.0m,结构高度受限(见图2)。另外,还存在局部越层柱、部分楼层楼板开洞尺寸较大等不利布置。根据业主要求,进行了多方案比较,最终采用框架-抗震墙结构,抗震墙等级一级,框架等级二级;地下1层抗震等级同上部结构,地下2~4层逐层降低一级,并不低于四级。



图1 建筑效果图

作者简介:崔巨宏,男,高级工程师,2002年毕业于同济大学土木工程专业,现就职于中航规划建筑设计研究院。

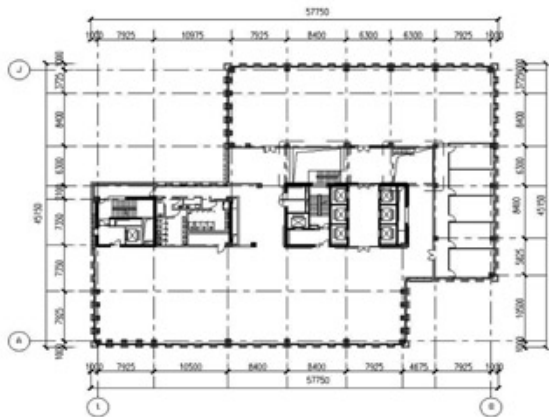


图2 标准层平面图

## 2 结构体系选型

### 2.1 结构体系比选

根据《绿色建筑评价标准》(GB/T50378-2006),在建筑设计选材时,应考虑材料的可循环使用性能,可再循环材料使用重量占所用建筑材料总重量的10%以上(现阶段认为钢材属于循环材料)。

分别按“钢框架结构”、“钢框架-剪力墙结构”、“混凝土框架-剪力墙结构(部分钢梁)”3种结构形式从安全、经济、净高、绿色建筑等方面计算比选,(见图3、图4、图5)方案一和方案二均采用钢管混凝土柱。

经核算,3种结构方案均可满足现行规范关于结构安全的相关要求。在各项指标控制在较为经济合理的情况下,对各结构方案的结构指标(见表1)和经济指标比较(见表2)归纳如下:

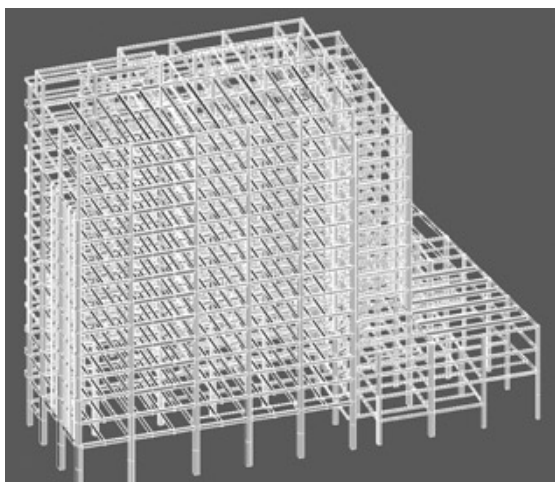


图3 钢框架

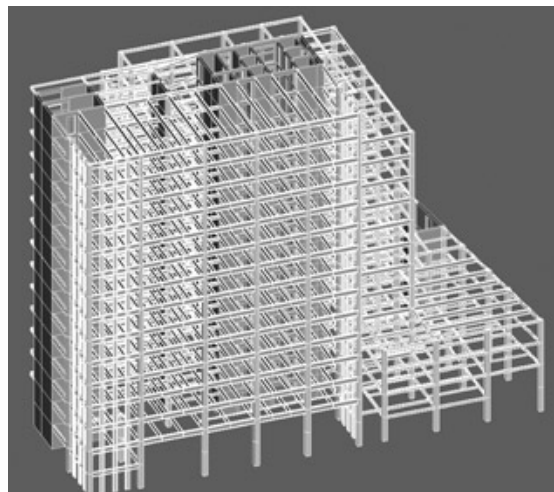


图4 钢框架-剪力墙

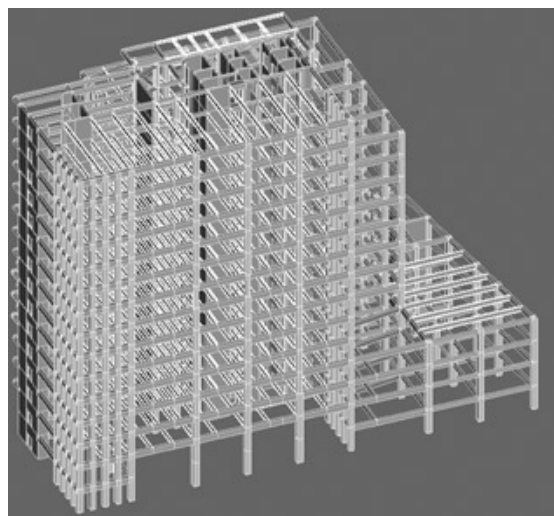


图5 框架-剪力墙结构

方案阶段,建筑师提出是否可在各楼层灵活设置中庭。钢框架-剪力墙混合结构和框架-剪力墙结构都具有刚度大的优势。但是本工程中各楼层核心筒周围错落布置通高的中庭,框剪结构中楼板起着协调框架和剪力墙变形的作用,楼板洞口过大将无法保证横向作用传递到剪力墙上;如封堵中庭楼板,则难以满足建筑师的需求。采用框架结构可不受此限制,易满足建筑师中庭开板洞的需求,此外,钢框架结构建设周期短,施工质量容易保证。但钢框架结构缺点同样突出:抗侧力体系完全采用钢结构,造价偏高;结构振动周期偏长,达3.0s,说明结构偏柔;钢框架与砌体连接较为复杂,地震下难以达到协调变形;边柱、角柱长细比超规范限值,浪费用钢量。

表1 各结构方案的结构指标比较(方案阶段)

|         | 周期         | 位移        | 单位面积质量                     |
|---------|------------|-----------|----------------------------|
| 钢框架     | T1= 3.0430 | X向: 1/316 | 950~1000kg/m <sup>2</sup>  |
|         | T2 =2.4993 | Y向: 1/347 |                            |
|         | T3 =1.9875 |           |                            |
| 钢框架—剪力墙 | T1= 1.2411 | X向: 1/807 | 1100~1200kg/m <sup>2</sup> |
|         | T2= 1.1056 | Y向: 1/882 |                            |
|         | T3= 0.9725 |           |                            |
| 框架—剪力墙  | T1= 1.2607 | X向: 1/846 | 1350~1420kg/m <sup>2</sup> |
|         | T2= 1.1249 | Y向: 1/989 |                            |
|         | T3= 0.9512 |           |                            |

表2 各结构方案经济指标比较(单位: 元)

| 钢框架        | 框架梁        | 框架柱        |           | 剪力墙        | 楼板         | 钢筋桁架模板<br>总价 | 总造价   |
|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|--------------|-------|
|            | 钢材         | 钢材         | 混凝土       | 混凝土        | 混凝土        |              |       |
|            | 31,069,500 | 17,275,500 | —         | —          | 8,580,000  | 1,300,000    | 5825万 |
| 钢框架<br>剪力墙 | 框架梁        | 框架柱        |           | 剪力墙        | 楼板         | 钢筋桁架模板<br>总价 | 总造价   |
|            | 钢材         | 钢材         | 混凝土       | 混凝土        | 混凝土        |              |       |
|            | 26,202,000 | 6,913,500  | 426,667   | 10,102,875 | 8,580,000  | 1,300,000    | 5352万 |
| 框架剪<br>力墙  | 框架梁        | 钢梁         | 框架柱       | 剪力墙        | 楼板         | 钢筋桁架模板<br>总价 | 总造价   |
|            | 混凝土        | 钢材         | 混凝土       | 混凝土        | 混凝土        |              |       |
|            | 5,718,075  | 2,063,600  | 4,629,125 | 9,357,333  | 13,200,000 | —            | 3500万 |

经与建筑师充分沟通,控制各层楼板有效宽度均大于50%,并保证每二~三层有一层连续楼板,同时在中庭边无核心筒的部位增设剪力墙,以保证抗震效果。各层开洞位置有效传递地震力的楼板,分别按每层地震力验算楼板的抗剪,确保结构的合理性。

最终结构体系采用较经济的混凝土框架—剪力墙结构。

## 2.2 关键问题及解决办法

### 2.2.1 结构的抗扭刚度

本工程墙、柱布置受建筑平面布置的制约(见图6),除楼电梯间周边可布置两个较小的核心筒外,仅G轴、3轴可分别布置一道6m~7m长的剪力墙,标准层平面尺寸为57m×45m,两个核心筒尺寸为8m×7.5m、17m×9.5m,核心筒平面位置偏置,Y向尺寸略小。为满足办公空间2.7m的净高、不设结构柱的要求,楼盖钢—混凝土组合梁,梁端铰接以便更好地发挥混凝土受压的作用,腹

板开孔用来布置管线,造成抗扭刚度和Y向刚度均偏弱。

为解决这个问题,在建筑物周边,结合建筑立面、结构刚度和质量分布,选择性设置密柱;调整核心筒剪力墙刚度,使各层刚度中心与质量中心接近;增加各层边框梁高度,提高结构的抗扭刚度。采取措施后,第一、第二自振周期分别为X向、Y向平动周期,平动系数1.0;仅个别楼层,在偶然偏心地震作用下,最大位移与层平均位移的比值超过1.2,但均小于1.35;随着侧向刚度的增加,弹性层间位移角可以满足规范要求。

### 2.2.2 错落的中庭

建筑师在各楼层核心筒周围错落布置二~三层通高的中庭(见图6、图7),为避免结构出现楼板局部不连续,导致结构因不规则超限,并保证地震力的传递,经与建筑师充分沟通,控制各层楼板有效宽度均大于50%,并保证每二~三层有一层连续楼板。同时在中庭边无核心筒的部位(G轴)增

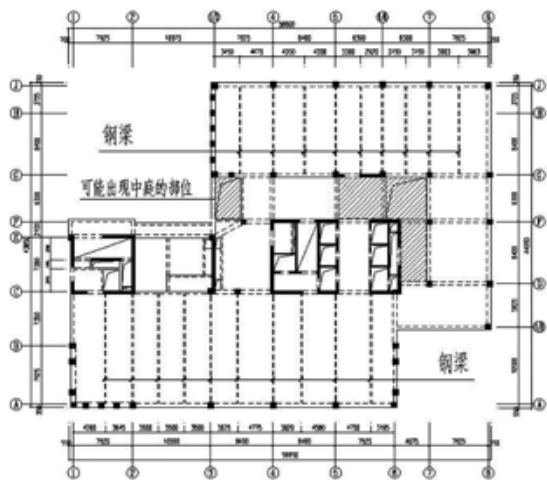


图6 标准层结构布置平面图

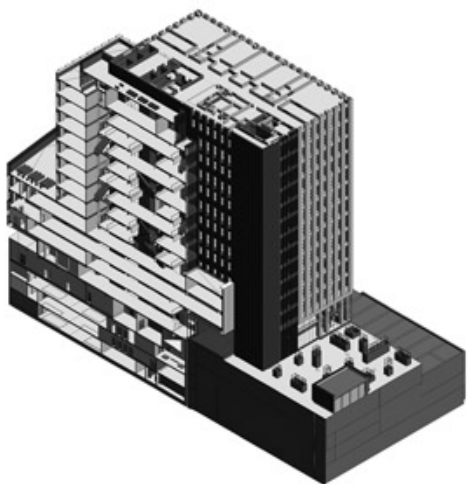


图7 BIM模型中庭部位剖切图

设剪力墙，以保证抗震效果。各层开洞位置有效传递地震力的楼板，分别按每层地震力验算楼板的抗剪。最终在实现建筑室内效果的同时，确保结构的合理性。

### 2.2.3 竖向刚度不规则

受建筑形体制约，13层收进12m(见图8)，略大于下层平面尺寸的25%，竖向刚度不规则。采取措施为，适当增加12层顶板尺寸收进部位楼板厚度，板厚150mm，并配上下钢筋网；抗侧力体系的刚度和承载力存在突变，适当增加相邻层墙、柱配筋，提高抗侧力构件的抗震性能。

### 2.2.4 穿层柱的影响

计算判断穿层柱的影响，框架剪力墙结构底部，主要由剪力墙承担地震剪力，主楼范围内，共38根结构柱，仅主入口处1~2层3根结构柱为穿

层柱(图8、图9)，约占全部结构柱数量的8%，承担的地震剪力有限。按中震弹性计算结果，3根穿层柱承载地震力较小，计算配筋仅为构造配筋。施工图设计中，穿层柱箍筋全长加密，提高穿层柱的竖向配筋率和体积配箍率，控制穿层柱的轴压比；适当提高1~2层抗震墙的竖向和水平配筋率，并增加暗柱配筋。

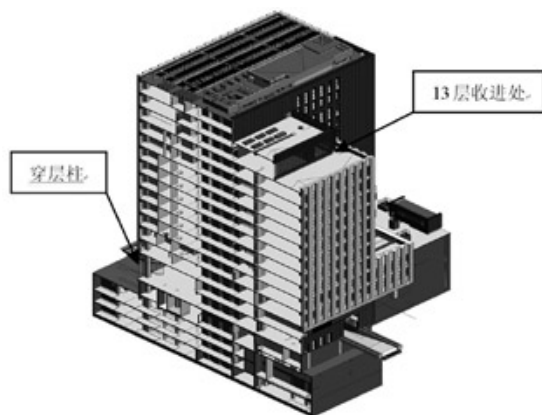


图8 BIM模型收进部位剖切图

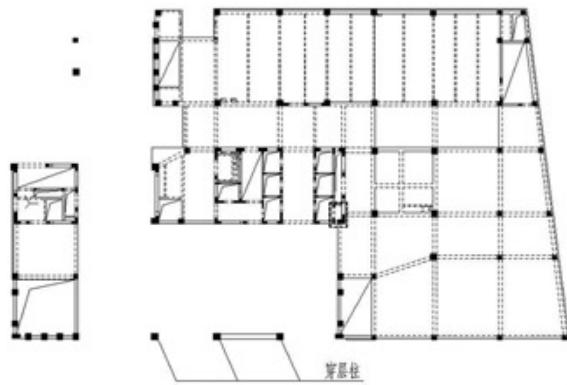


图9 一层顶结构平面图

通过采取以上措施，确保结构不超限，既节省了建设周期，又节约了结构造价。

## 3 钢-混凝土组合梁分析

### 3.1 为保证室内效果采取的措施

为取得有效办公面积最大化，在层高限制在3.9m的前提下，在12m和15.3m跨办公区内，如何实现业主使用空间2.7m净高的要求是设计的重点。

在设计中，楼盖采用便于穿越设备管线钢

梁,考虑到节点构造简单,便于保证施工质量,采用可充分发挥钢材强度的钢-混凝土组合梁,组合楼盖在钢梁上翼缘部位设置暗梁,既在构造上加强了钢梁与混凝土楼板的连接,又加强了边框架柱与核心筒、内框架柱的连接。钢-混凝土组合楼盖尺寸见图10,梁腹板处根据构造,留满结构洞,12m跨钢梁跨中高度700mm,15.3m跨钢梁跨中梁高850mm,端部梁高分别为400mm、450mm,留出2.5m宽的管线区域,全部机电管线均排在结构预留洞或梁端变截面处,结构梁下无管线,最终15.3m办公区内,钢梁端部约2m宽范围内空间净高2.7m,跨中约11m宽度范围内空间净高2.8m,室内装修完成后的效果见图11。

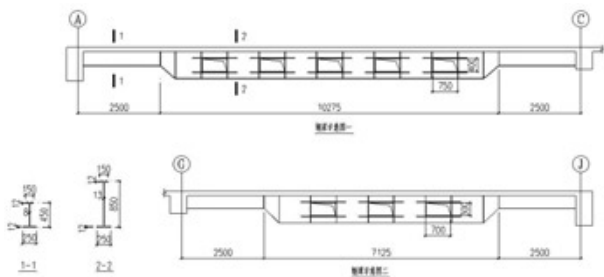


图10 钢梁示意图

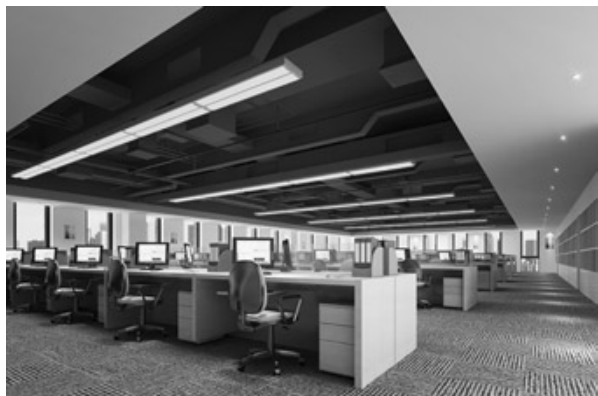


图11 室内效果图

### 3.2 大跨度组合钢梁分析

本工程办公区室内不吊顶,钢梁暴露于室内,钢梁造型需美观轻巧,同时结构专业管线,确保净高。大跨度组合钢梁(见图12)端部变截面,腹板高开洞率,且按组合梁进行设计,受力情况复杂,采用MIDAS Gen软件,对构件细分,按几何非线性有限元方法设计。钢梁材质为Q345B,混凝土强度等级为C30,钢梁断面见图7。在程序中,钢梁腹板、加劲肋、上下翼缘按板单元模拟;根据《钢结构设计规范》确定组合钢梁混凝土有效翼板

宽度后,混凝土翼板按实体单元模拟。组合钢梁抗剪连接件栓钉,根据其变形协调及传递剪力的特点,通过使钢梁上翼缘与混凝土楼板共节点的方式模拟,计算结果见图12~图15。



图12 组合钢梁轴测图



图13 组合钢梁应力图



图14 组合钢梁混凝土板顶应力图

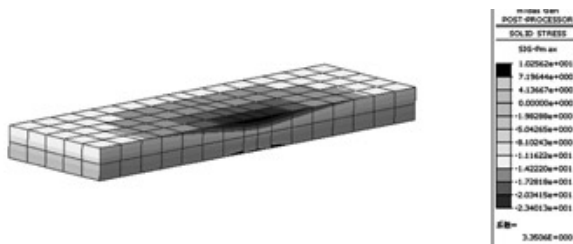


图15 组合钢梁混凝土板局部应力图

钢梁腹板开洞位置补强板根据《钢结构连接节点设计手册》腹板开洞、补强原则设置,并将纵向加劲肋拉通。MIDAS Gen程序有限元计算结果与SATWE程序按《钢结构设计规范》计算的结果比较,钢梁应力和变形计算结果基本一致,在MIDAS Gen的计算中,洞边腹板及补强板应力均满足规范要求。梁端变断面处,按全截面验算,可以满足抗弯和抗剪的要求,钢梁腹板和下翼缘局部出现应力集中,主拉应力为303N/mm<sup>2</sup>,通过设置加劲肋的方式,保证腹板及翼缘的局部稳定性,可见腹板高开孔率H型钢组合梁按《钢结构连接节点设计手册》补强时,其强度、挠度均可保证。

梁端变截面处，当组合钢梁的钢材抗拉强度完全发挥时，钢材的拉力通过栓钉，传递到混凝土楼板，混凝土楼板底部将出现拉应力区，折算平均拉应力为 $4.0\text{N}/\text{mm}^2$ ，厚度约 $20\text{mm}$ 。采取的措施是：板底平行钢梁方向配筋  $8@150$ 、垂直钢梁方向配筋  $8@100$ ，并在钢梁顶部设置暗梁，暗梁的纵筋为 $4\ 20$ ，经核算可以承担楼板底部出现的拉应力。

与混凝土楼盖相比，钢-混凝土组合楼盖自重较轻，更容易出现在振动激励下，使用人群不舒适的情况。在施工图设计中，钢-混凝土组合楼盖的舒适度也是控制的重点。在MIDAS有限元计算，第一自振频率的理论计算值为 $4.60\text{Hz}$ (见图16)，满足并高于混凝土规范及高规中的要求。与不开孔的钢梁相比，开孔组合梁的舒适度指标无明显变化。



图16 MIDAS自振频率计算结果

根据《高规》中，附录A的相关规定，进行楼盖结构竖向振动加速度的计算。由于面层做法差异，人行走引起的楼盖振动峰值加速度的理论计算值约为 $0.0296\text{m}/\text{s}^2 \sim 0.0389\text{m}/\text{s}^2$ ，满足并高于高规中要求的不大于 $0.05\text{m}/\text{s}^2$ 。国际标准化组织(ISO)通过测定人对步行荷载的感知度，确定了一个基本标准(见图17)。即通过限制限值最大加速度来规定不同用途的建筑物对步行荷载的抗振指标。现有的理论计算值也是可以满足的。

#### 4 配合BIM设计做的工作

目前，建筑设计行业BIM(Building Information Modeling,建筑信息模型)正在从概念慢慢转向实施。本工程的施工图设计，全过程采用BIM的方式完成，是我公司第一个采用BIM的

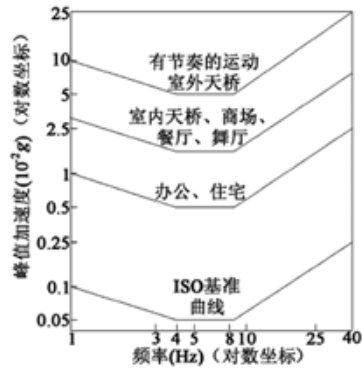
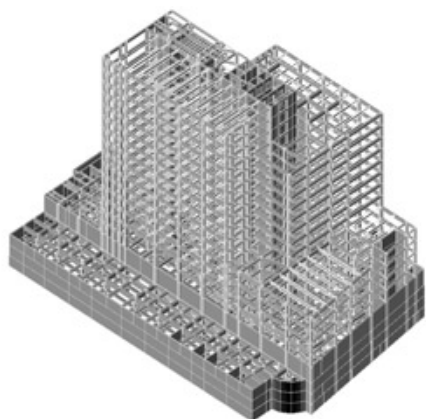


图17 ISO关于楼盖舒适度的规定

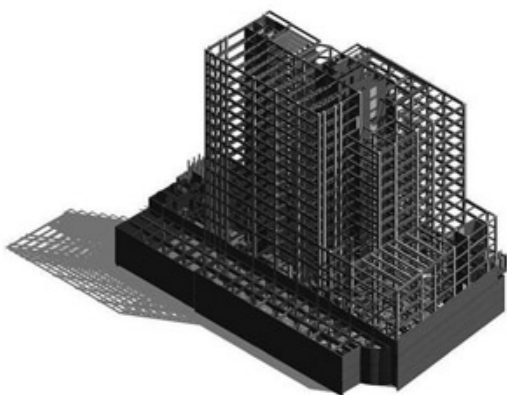
方式完成施工图设计的大型项目。放眼业内，这种全过程采用BIM完成施工图设计的工作方式，也是一次有益的尝试和探索，为后来的项目积累了宝贵的经验和教训。本工程采用Autodesk公司针对建筑行业推出的三维参数化BIM系列软件Revit(包括建筑软件Revit Architecture、结构软件Revit Structure和设备软件Revit MEP)完成设计，BIM模型见图18。

相对与传统的设计方式，由于结构模型的精确建立，BIM模型可以在设计阶段，暴露出更多结构与其它专业的矛盾，并及时解决，大大提高了设计准确性；三维的视图方式，让设计团队对复杂空间体会更直观；同时为综合管线的排布提供了极大的方便；业主也可在设计早期，即对工程形成感性认识，提出自己的想法，提高设计效率。

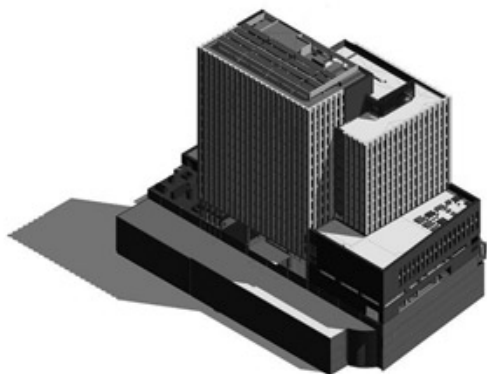
目前PKPM软件的计算模型可导入Revit中，但通过Revit模型，将建筑物的结构构件信息和荷载导入国内设计院采用的主流设计软件还有困难。由于PKPM软件对节点间距有最小要求，习惯上多在节点及轴线上居中布置结构杆件，且会适当简化模型；当结构构件实际设计中需大量偏心布置，且建筑变化较为丰富，结构构件尺寸和定位需与建筑功能布置相协调时，在PKPM中建立一个与实际结构构件定位相一致的模型，工作将变得很复杂。本工程在SATWE计算完成后，结构工程师与建筑师共同在Revit中建模，并及时根据建筑功能布置，不断地调整结构构件的尺寸和定位。在初始模型完成后，在设计过程中，随设计的深入，逐步修改完善模型。目前，结构构件——即便是较复杂的构件，如本工程中的变截面开孔钢梁——都可以很精确地建立到模型当中。



(a)PKPM计算模型



(b)BIM结构模型(不含楼板)



(c)完整BIM模型

图18 计算模型与BIM模型的对比

Revit软件中,钢筋的表达有两种方式。第一种方式是与目前建设部批准推行的平面整体表示方法一致,即以平面标注的方式表达。在Revit软件中,可通过文字标注的形式来实现,由于目前国内基于Revit平台的二次开发绘图软件多在研发阶段,与基于AutoCAD平台的二次开发的绘图软

件相比,在Revit中操作还不够方便。相信随着设计行业BIM工作方式的普及,这个问题应该不难解决。

第二种表达方式是将钢筋的三维实体建到BIM模型中——对施工企业而言,这样的模型对指导钢筋施工具有很实际的作用。但随着工程规模的增加,这种表达方式对计算机硬件的要求迅速增加,需要强有力的硬件支持。此外,结构构件的钢筋形状,取决于相应抗震等级、构造方式,将软件功能与本土规范、图集对接一致,还有很多工作要做。

施工图设计中,采用Revit生成各层结构的模板图,在CAD中完成配筋及详图的绘制。

## 5 结语

(1)从造价经济的角度考虑,钢结构及混合结构造价均大大高于混凝土结构,本工程高度不高,抗侧力体系采用混凝土结构更为合理。

(2)目前楼板虽楼板开洞较多,通过与建筑师沟通,保证楼板有效宽度,以有效传递地震力,在实现建筑效果同时,保证了结构合理性。

(3)在层高仅3.9m情况下,采用大板、宽梁,变截面钢梁、钢梁开洞等多种措施,保证15.3m大跨度办公区室内2.7m净高。

(4)对受力复杂的大跨度、变截面、高开洞率的组合钢梁充分分析,精细设计。

(5)全过程采用BIM进行施工图设计,为以后的项目积累了宝贵经验和教训。

## 参考文献

- [1] 《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3-2010) .
- [2] 《钢结构设计规范》(GB 50017-2003).
- [3] 《绿色建筑评价标准》(GB/T50378-2006).
- [4] 聂建国,樊建生《钢与混凝土组合结构设计指导与实例精选》中国建筑工业出版社2008.
- [5] 李星荣,魏才昂《钢结构连接节点设计手册》中国建筑工业出版社2005.
- [6] 《Autodesk Revit Structure 2012应用宝典》同济大学出版社,2012.



# 某过河热力管道支架基础选型分析与设计

顾强强 「结构」

**摘要:** 热力管道在跨越河道时,须考虑支架基础选型问题。本文从两种支架基础形式对比出发,总结出利用单桩基础在解决过河热力管道支架的优势,并采用midas建立有限元模型对桩土共同作用进行分析,从而验证理论分析的可靠性。

**关键词:** 热力管道;独立基础;桩基础;m法;midas分析;有限元

## 1 工程概况

某工程热力管道需要跨越河流,河流宽约40m,该热力管道支架工程位于某县城经济开发区,交通十分便利,见图1。



图1 支架过河示意图

## 2 地质资料

拟建场地地基土在勘察深度内可划分为5层,由上而下依次为:①杂填土(Qml)、②淤泥质粉质粘土(Q4al)、③粉质粘土(Q4al)、④粉砂(Q4al)、⑤粉质粘土(Q4al)。基础持力层为④层粉砂或⑤层粉质粘土。各层力学特性见表1。地质剖面图见图2。

## 3 支架受力条件

根据工艺提供条件,支架承受轴向力15kN,垂直力10kN,见图3。

表1 地基承载力特征值

| 地层编号 | 地层岩性  | 地基承载力特征值 |
|------|-------|----------|
|      |       | fak(kPa) |
| ①    | 杂填土   |          |
| ②    | 淤泥质黏土 | 80       |
| ③    | 粉质黏土  | 100      |
| ④    | 粉砂    | 130      |
| ⑤    | 粉质黏土  | 110      |

作者简介:顾强强,男,工程师,2008年毕业于浙江大学结构工程专业,现就职于中航规划市政工程设计研究院。

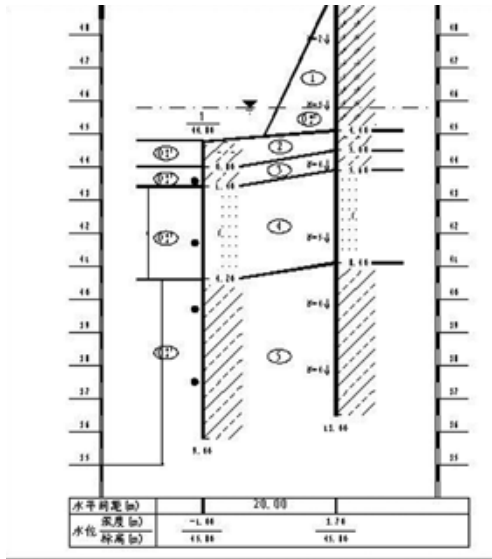


图2 地质剖面图



图3 支架受力图

## 4 基础选型

### 4.1 独立基础

根据地勘报告,拟建筑物基础坐在④层粉砂上,采用④层粉砂为基础持力层的天然地基独立基础。基础承载力特征值为130kPa。

由于支架位于河流中,按照《城市供热管网结构设计规范》<sup>[1]</sup>须考虑融冰压力。融冰压力会对基础产生弯矩,因此基础设计时,应综合考虑上述工艺条件及融冰压力。

根据《城市供热管网结构设计规范》第3.3.12条,计算得出融冰压力为67.5kN。计算得出融冰压力产生的弯矩为168kN×m,支架轴向力产生的弯矩为105kN×m,最终计算得出基础尺寸为宽度3.0m,长度3.2m,见图4。

### 4.2 单桩基础

独立基础面积较大,而且位于河道中,施工不便。由于支架承受的管道轴向力及融冰压力均为水平力,且竖向荷载较小,因此可以考虑单桩基础来作为支架基础。当用单桩基础时,必须考虑桩体承受的弯矩。

#### (1)m值的确定

对于桩在水平荷载下的桩身内力计算,采用Winkler假定,即通常所说的“m”法。地基土水平抗力系数的比例系数“m”值宜通过桩的水平静载试验确定,但由于试验费用及时间等原因,有些建筑物可不进行水平静载试验,可采用规范提供的经验值见表2采用。

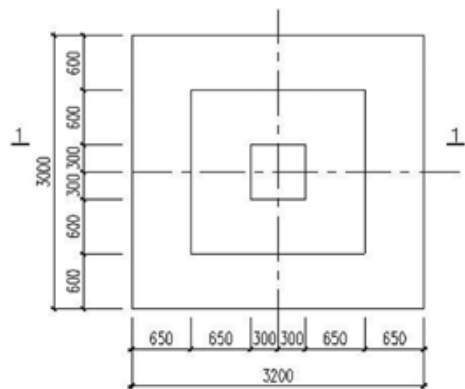


图4 独立基础平面示意图

表2 非岩石类土的m值和m<sub>0</sub>值

| 土的名称  | m和m <sub>0</sub> (kN/m <sup>4</sup> ) | 土的名称                               | m和m <sub>0</sub> (kN/m <sup>4</sup> ) |
|---|---------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| 流塑性黏土I <sub>L</sub> >1.0, 软塑黏性土1.0≥I <sub>L</sub> >0.75, 淤泥 | 3 000~5 000                           | 坚硬,半坚硬黏性土I <sub>L</sub> ≤0,粗砂,密实粉土 | 20 000~30 000                         |
| 可塑黏性土0.75≥I <sub>L</sub> >0.25, 粉砂,稍密粉土                     | 5 000~10 000                          | 砾砂,角砾,圆砾,碎石,卵石                     | 30 000~120 000                        |
| 硬塑黏性土0.25≥I <sub>L</sub> >0, 细砂,中砂,中密粉土                     | 10 000~20 000                         | 密实卵石加粗砂,密实漂,卵石                     | 80 000~120 000                        |

本工程采用钻孔灌注桩，桩径0.8m，地上部分6m，地下部分12m。由图2可知，桩基础周围土层为④层粉砂或⑤层粉质粘土。因此需要求得主要影响深度 $h_m=2(d+1)$ 米范围内的平均 $m$ 值作为整个深度内的 $m$ 值<sup>[2]</sup>。

$$m = \gamma m_1 + (1 - \gamma) m_2 \quad (1-1)$$

式中：

$$\gamma = \begin{cases} (h_1/h_m)^2 & h_1/h_m \leq 0.2 \\ 1 - 1.25(1 - h_1/h_m)^2 & h_1/h_m > 0.2 \end{cases}$$

式中 $h_1$ 为第一层土层厚度，取为2.9m。 $m_1$ 为第一层土体 $m$ 值， $m_2$ 为第二层土体 $m$ 值。由表2及土层液化指数取④层粉砂 $m$ 值为5000kN/m<sup>4</sup>，取⑤层粉质粘土 $m$ 值为8000kN/m<sup>4</sup>。

$$\text{由 } h_1/h_m = 2.9/3.6 = 0.806 \quad (1-2)$$

$$\text{可知： } \gamma = 1 - 1.25(1 - 0.806)^2 = 0.953$$

进一步推出修正后的 $m$ 值为：

$$m = 0.953 \times 5000 + (1 - 0.953) \times 8000 = 5141 \text{ kN/m}^4$$

(2) 桩的水平变形系数  $\alpha$ ：

$$\alpha = \sqrt[5]{\frac{mb_0}{EI}} \quad (1-3)$$

式中 $b_0$ ：桩身的计算宽度

对于圆形桩：当直径 $d \leq 1\text{m}$ 时：

$$b_0 = 0.9(1.5d + 0.5) \quad (1-4)$$

EI：柱的抗弯刚度。根据《建筑桩基技术规范》<sup>[3]</sup>

$$EI = 0.85E_c I_0 \quad (1-5)$$

其中 $E_c$ 为混凝土弹性模量， $I_0$ 为桩身换算截面惯性矩。对于圆形截面： $I_0 = W_0 d_0^2 / 2$ 。

根据以上公式(1-3) ~ (1-5) 得出：

$$\alpha = 0.44$$

由 $\alpha h = 0.44 \times 12 = 5.28 > 2.5$ 。按照弹性桩来考虑<sup>[2]</sup>。计算模型见图5。

图中： $H_0$ 为地面冲刷线处剪力， $M_0$ 为弯矩。此处分两种工况：

①  $H_0$ 为管道轴向力，为15kN， $M_0$ 为轴向力引起的弯矩为114kN × m。

②  $H_0$ 为融冰压力，为67.5kN， $M_0$ 为融冰压力引起的弯矩为168kN × m。

(3) 计算桩身最大弯矩

采用《港口工程桩基规范》<sup>[4]</sup>附录C提到的简化 $m$ 法计算桩身的最大弯矩：

$$Y = \frac{H_0 T^3}{E_P I_P} A_y + \frac{M_0 T^2}{E_P I_P} B_y \quad (1-6)$$

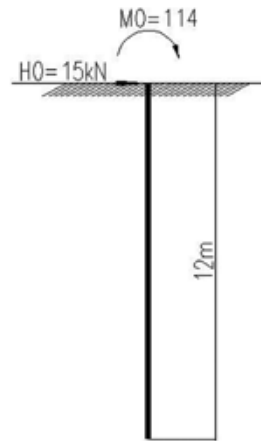


图5 弹性桩计算简图

$$M = H_0 T A_m + M_0 B_m \quad (1-7)$$

式中： $Y$ 为桩身在泥面或泥面以下的变形

$M$ 为桩身在任意截面处的弯矩

$$T = 1/\alpha$$

$A_y$ 、 $B_y$ 、 $A_m$ 、 $B_m$ 分别为变形和弯矩的无量纲系数，可按照附录C表C.2.2查用。

$$Z_m = \bar{h} T \quad (1-8)$$

$$M_{\max} = M_0 C_2 \quad (1-9)$$

$Z_m$ 为桩身最大弯矩距泥面深度， $\bar{h}$ 换算深度，可根据：

$$C_1 = \frac{M_0}{H_0 T} \quad (1-10)$$

按照附录C表C.2.2查用。

将工况一： $M_0 = 114 \text{ kN} \times \text{m}$ ， $H_0 = 15 \text{ kN}$ 代入公式(1-10)可得 $C_1 = 3.35$ ，查表C.2.2得换算深度为： $\bar{h} = 0.63 \text{ m}$ 。

则 $Z_m = \bar{h} T = 1.43 \text{ m}$ ，查表C.2.2得 $C_2 = 1.155$ 桩身最大弯矩为：

$$M_{\max} = M_0 C_2 = 114 \times 1.155 = 131.67 \text{ kN} \times \text{m}。$$

将工况二： $M_0 = 168 \text{ kN} \times \text{m}$ ， $H_0 = 67.5 \text{ kN}$ 代入公式(1-10)可得 $C_1 = 3.35$ ，查表C.2.2得换算深度为： $\bar{h} = 0.911 \text{ m}$ 。

则 $Z_m = \bar{h} T = 1.43 \text{ m}$ ，查表C.2.2得 $C_2 = 1.45$ 桩身最大弯矩为：

$$M_{\max} = M_0 C_2 = 168 \times 1.45 = 243.6 \text{ kN} \times \text{m}。$$

以上两种工况产生的泥面处的位移分别为1.91mm与2.40mm，均小于10mm。

(4) 桩身配筋

将上述两种工况产生的弯矩和剪力进行叠加，对桩身进行配筋计算，配筋为12根三级20mm直径钢筋。配筋率及裂缝均满足设计要求。

## 5 有限元模型

采用MIDAS/GEN<sup>[5]</sup>对该桩建立有限元模型,采用荷载工况一所述内力对桩进行分析,模型按每0.50m一个单元,弹簧每1m一个,弹簧刚度系数取

$$k = b_0 \times \frac{(C_{上} + C_{下})}{2} h_i \quad (1-11)$$

式中 $C = m \times h$ 为地基系数,  $h$ 为当前土到泥面处的距离。 $C_{上}$ 、 $C_{下}$ 为当前土层上下表面地基系数。

建立后的有限元模型见图6,分析后的弯矩图见图7。

分析得出最大弯矩为 $127 \text{ kN} \times \text{m}$ ,与理论分析得出弯矩 $131.67127 \text{ kN} \times \text{m}$ 误差为3.6%。分析得出最大弯矩的位置大约在1.5m处,与分析得出的1.43m非常接近,误差仅为4.6%。



图6 桩有限元模型

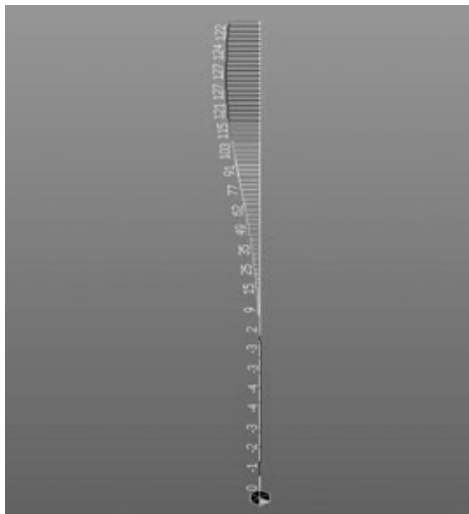


图7 桩身弯矩图

## 6 结论

综上对过河管道支架基础进行选型分析和设计可以看出:

(1) 当采用独立基础时,施工要采用围堰法施工才行,且由于基础底面积较大以及支架间距较小,必须在整个河流宽度范围内进行围堰,才能进行施工独立基础,操作及施工难度加大。而当采用钻(冲)孔灌注桩单桩基础时,可以避免上述问题的产生,且造价较小,因此采用钻(冲)孔灌注桩单桩基础是合理的选择。

(2) 通过对单桩基础进行有限元分析可以得出其结果与理论分析耦合度较高,从而验证理论分析取值合理,准确度较高。

(3) 对于过河管道支架,当竖向力较小而水平力较大时,可以优先考虑单桩基础。

### 参考文献

- [1] GJJ 105—2005 《城镇供热管网结构设计规范》[S].北京:中国工业出版社,2005.
- [2] JTJ 024—1985 《公路桥涵地基与基础设计规范》[S].北京:人民交通出版社,2007.
- [3] JGJ 94—2008建筑桩基技术规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [4] JGJ 54—98 港口工程桩基规范[S].北京:人民交通出版社,1998.
- [5] MIDAS/Gen 分析与设计原理[M].北京迈达斯技术有限公司.

## 中国航空规划设计研究总院有限公司 飞机工程设计研究院

中国航空规划设计研究总院有限公司飞机工程设计研究院（以下简称“飞机院”），是中航工业规划规模最大的直属实体单位，是公司旗下在工程建设领域，以市场为导向，垂直一体化的全价值链服务单元。工程多次获得国家级、省部级优秀工程设计奖和科技进步奖。

飞机院与中国航空工业同成长、共进步，60年来为航空主机厂所的基础设施建设提供专业化的咨询设计服务。飞机院技术实力雄厚，在飞机工程工艺设计、军工项目前期咨询、大跨度钢结构、超大空间空调技术等方面处于国内领先水平。飞机院依托技术创新能力，在航天、民用通航、医疗养老、火工品等领域展现出强大实力。飞机院积极改进商业模式，由咨询设计为主转变为以设计为龙头的全价值链服务体系，业务范围涵盖规划、咨询、设计、工程总承包等全过程服务，经济指标年均增长率超过30%。

飞机院拥有完善合理的专业设置和高水平的人才队伍。全院共350余人，现设工艺、建筑、结构、给排水、暖通、动力、电气、弱电、总图、造价、室内、景观等12个专业室，以及分布于全国各地的20多个工程管理项目部。

飞机院以“为国防工业绘就蓝图，为中航规划树立标杆，为客户伙伴创造价值，为团队员工谋求幸福”为使命，志存高远，追求卓越，为“规划梦想，建设辉煌”而不断努力！



2015年第4期（总第120期）  
2015年08月出版  
准印证号：京内资准字9914-L0337号



乐山嘉州医院