

# 航空工程建设

AERO-INDUSTRY ENGINEERING CONSTRUCTION

2019年第5期 总第145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  
准印证号：京内资准字9919-L0337号

## 兰州市奥体中心项目

**项目名称：**兰州市奥体中心项目

**建设单位：**兰州市体育局

**设计单位：**中航建投建筑设计研究院

### 设计亮点：

兰州市奥体中心项目总用地面积约51万 $m^2$ ，项目总建筑面积约45万 $m^2$ 。项目建设内容包括体育场馆、体育训练配套用房、配套商业用房等，主要为6万座甲级体育场、热身训练场（设400m跑道运动场、与平台相连的1500座看台及附属用房）、8000座甲级综合馆（包含活动座椅2000座）、3000座甲级游泳馆、3000座甲级网球馆、运动员公寓及体育产业用房（含地下车库及相关配套用房）、配套商业用房；此外还有室外全民健身运动场地（包括23片篮球场、12片网球场、6片笼式足球、1个标准足球场）、景观绿化等配套设施。设计力图体现出城市特有的地方文化和黄河文明，以“飞天花舞”为理念，建筑及其景观犹如花朵舞动于丝绸之路上，呈现出高低起伏、错落有致的形态。建筑和景观巧妙的组织成整体，在空间上呈现出似飞天动态、似枝叶花朵、似黄河奔腾的动态意向。各建筑单体在用地中均衡布置、充满动感，着重表现了体育竞技的速度与韵律。体育中心场地内铺装和绿地景观均设计为富有张力的流线形态，使场地环境中充满富速度感和运动特征线条，体现出大自然的规律与人类体育运动的力与美，主次分明、均衡有序的规划布局强调了奥体中心的整体性。



## 国务院办公厅印发《关于加快发展流通促进商业消费的意见》

日前，国务院办公厅印发《关于加快发展流通促进商业消费的意见》（以下简称《意见》）。

《意见》指出，党中央、国务院高度重视发展流通扩大消费。为推动流通创新发展，优化消费环境，促进商业繁荣，激发国内消费潜力，更好满足人民群众消费需求，促进国民经济持续健康发展，《意见》提出了20条稳定消费预期、提振消费信心的政策措施。主要内容包括：

一是创新流通发展。实施包容审慎监管，促进流通新业态新模式发展。推动传统流通企业创新转型升级，在城市规划、基建配套、用地保障等方面给予支持。改造提升商业步行街，对步行街基础设施、信息平台建设等予以支持。将社区便民服务设施建设纳入城镇老旧小区改造范围，促进形成以乡镇为中心的农村流通服务网络。加快发展农产品冷链物流，完善农产品流通体系。落实允许综合保税区内加工制造企业承接境内区外委托加工业务的政策。抓紧调整扩大跨境电商零售进口商品清单。

二是培育消费热点。释放汽车消费潜力，探索推行逐步放宽或取消限购的具体措施，支持购置新能源汽车，促进二手车流通。支持绿色智能商品以旧换新。活跃夜间商业和假日消费市场，完善交通、安全、场地设施等配套措施。搭建品牌商品营销平台，保护和中华老字号品牌。

三是深化“放管服”改革。加快连锁便利店发展，探索优化食品经营许可条件，放宽发行书报刊的审批要求，支持地方探索“一照多址”登记，开展简化烟草、乙类非处方药经营审批手续试点。取消石油成品油批发仓储经营资格审批，下放成品油零售经营资格审批。

四是强化财税金融支持。降低流通企业成本费用，推动工商用电同价、总分机构汇总纳税政策进一步落实。研究扩大研发费用税前加计扣除政策适用范围，加大对高性能物流设备进口的支持力度。发挥财政资金引导作用，加大金融支持力度。

五是优化市场流通环境。强化消费信用体系建设，严厉打击线上线下销售侵权假冒商品、发布虚假广告等违法行为，积极倡导企业实行无理由退货制度。

（信息来源：新华社）

## 工信部：到2022年制造业质量总体水平显著提升

9月6日，工信部发布《关于促进制造业产品和服务质量提升的实施意见》（简称《意见》）提出，到2022年，制造业质量总体水平显著提升，推动不少于10个行业或领域建立质量分级工作机制，完善重点产品全生命周期的质量追溯机制，提高企业质量和品牌的竞争力。

《意见》提出，将加快重点产业质量提升，包括提高原材料工业供给质量、增强装备制造业质量竞争力、促进消费品工业提质升级、推动信息技术产业迈向中高端等。

《意见》表示，要制定发布升级和创新消费品指南，推动轻工纺织等行业的创新产品发布。培育壮大个性化定制企业和平台，推动企业发展个性化定制、规模定制、高端定制。持续开展纺织服装创意设计园区（平台）试点示范工作，提高创意设计水平，推动产品供给向“产品+服务”转变，促进消费升级。支持重点产品与国外产品质量及性能实物对比，支持临床急需药品先进技术应用和质量提升，开展婴幼儿配方乳粉等关键领域质量安全追溯体系建设。

2019年政府工作报告提到，要打造工业互联网平台，拓展“智能+”，为制造业转型升级赋能。支持企业加快技术改造和设备更新，将固定资产加速折旧优惠政策扩大至全部制造业领域。强化质量基础支撑，推动标准与国际先进水平对接，提升产品和服务品质，让更多国内外用户选择中国制造、中国服务。深化大数据、人工智能等研发应用，培育新一代信息技术、高端装备、生物医药、新能源汽车、新材料等新兴产业集群，壮大数字经济。

各地政府结合自身优势积极行动。比如，集成电路、机器人、卫星导航与位置服务、新能源智能汽车、生物医药、航空、新材料、节能环保、高端能源装备制造、船舶与海洋工程装备等领域已被纳入上海市的战略新兴产业规划中。杭州明确表示，加快数字经济和制造业高质量发展。在打造数字经济第一城的同时，紧盯世界产业发展趋势，进一步推动生物医药、生命健康、新能源、航空航天、机器人、增材制造等未来产业发展。

（来源：《中国证券报》）

## 成都淮州新城国际会展中心项目

建设地点：四川省成都市

设计单位：中航建投建筑设计研究院

建设情况：在建

### 设计亮点

本项目位于成渝经济圈内，是“一带一路”的交汇点和支撑点之一，紧邻成都中心城区，北联国际铁路港，南接成都新天府国际机场，是成都东进主战场的地标性建筑。

项目用地面积约4.1万m<sup>2</sup>，建筑面积5.5万m<sup>2</sup>。建筑主要功能为展览中心、会议中心及航空航天博物馆。建筑

1层立面以米黄色石材实墙为主，使建筑可以很好地与山体融合；建筑2层立面以玻璃幕墙为主；建筑3层以上主体量以成都金沙遗址出土的商周“太阳神鸟”金饰为设计原型，采用正圆的几何建筑造型，将太阳神鸟的图案以参数化天窗的形式镂空于建筑金属外壳之上。

一方面，方案通过对表皮结构线的缩放、倾斜等处理手法，使屋面和立面成为一个整体，富于动势。另一方面，建筑主体量落于虚化处理的玻璃幕墙底座之上，远望会展中心如飞碟般凌空飘浮于山巅，形似“UFO”飞行器，体现出“心向蓝天，筑梦起航”的精神。历史的“太阳神鸟”与未来的飞行器“UFO”，从不同的时间维度，通过建筑语言的转译，实现了地域文化与航空梦想的相互融合。





## 深圳天马总部大厦项目

建设地点：深圳市

设计单位：中航建投建筑设计研究院

建设情况：设计中

### 设计亮点

深圳天马总部大厦项目用地位于深圳北站商务区，东侧为高铁进站轨道，南侧与深圳北站前广场隔留仙大道相邻，向西可远眺红木山水库生态片区，总用地面积约1万 $m^2$ 。项目总建筑面积为约7.3万 $m^2$ ，其中计容积率建筑面积约4.8万 $m^2$ 、地下建筑面积约2.5万 $m^2$ ，主要功能包括研发用房、宿舍、商业、地下车库等。

高度97.9m的研发用房塔楼位于用地东部，紧邻高铁

站，形成极具企业标志性的空间体量。用地西部为68.8m高的配套宿舍，其中大部分房间朝向红木山水库生态片区，充分利用基地所具有的生态景观优势。研发用房楼与配套宿舍楼分开设置，互不干扰，错落布置的建筑体量保证了各功能区拥有良好的自然采光和通风。

5.4m标高设置连接研发用房和配套宿舍楼的公共活动平台，通过连桥与北侧地块二层步行街系统及南侧深圳北站前广场接驳，形成了连接北侧科研办公区及南侧城市公共空间的重要步行系统。公共活动平台周围设置配套商业，最大化利用空间的商业价值。

由桁架构成的“空中平台”在70.9m标高连接宿舍楼与科研办公楼。空中平台结合公共活动广场形成了一个室外半围合空间，成为城市空间节点中一个尺度宜人的“城市客厅”。空中平台屋顶形成一处集景观资源与企业文化相融合的空中绿化广场。

## 通辽乌兰牧骑宫项目

建设地点：内蒙古自治区通辽市

设计单位：中航建投建筑设计研究院

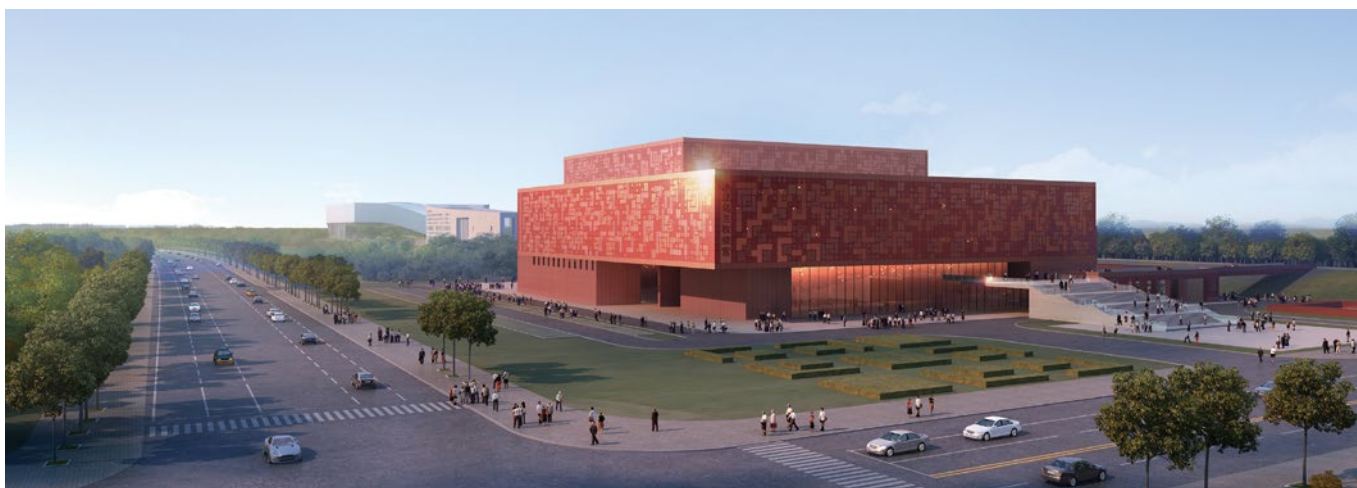
建设情况：设计中

### 设计亮点

通辽乌兰牧骑艺术宫项目选址位于通辽市科尔沁区新城区文化观演区，总用地面积约4万 $m^2$ ，总建筑面积2.8万 $m^2$ ，其中地上2.65万 $m^2$ ，地下1500 $m^2$ 。建筑地下局部1层，地上3层。

设计以“吉祥结”为理念，建筑以4个正方形体量组合形成似“吉祥结”的建筑形态意向。每个方形体量分别对应各自的功能空间尺度。景观小品也延续方形母题，使得建筑与环境自然过渡，协调整体。建筑形体同时形成似砚台开启的动势，寓意空间为艺术的容器。建筑外立面金属幕墙造型独特，采用吉祥结的基本形态进行变化，以6种1m见方的方形板块组合成富于变化又整体统一的立面形式。红色的建筑色调取意“乌兰牧骑”一词中的红色。

通辽乌兰牧骑艺术宫主要建设内容包括一个大剧院、一个多功能剧场、驻场乌兰牧骑、乌兰牧骑文化展厅、商业空间和室外剧场等。





## 援毛里塔尼亚国家公共卫生研究院 扩建和升级改造项目

建设地点：毛里塔尼亚

设计单位：中航建投建筑设计研究院

建设情况：设计中

### 设计亮点

毛里塔尼亚国家公共卫生研究院目前是该国唯一一个从事公共卫生服务、疾病预防控制和农产品安全、监测、研究和教学工作的研究院。项目总建筑面积7800m<sup>2</sup>，建设内容主要包括实验区、公共卫生服务区、行政办公区、教学区、仓储区以及附属配套服务区。其中，实验区包括病毒实验室、分子生物实验室、遗传实验室、寄生虫真菌实验室、医学细菌实验室血液生物化学实验室、结核病实验室等11类实验室；同时涵盖了P3、P2实验室以及千级洁净实验室等。

规划采用中国传统二进院落式布局，对外形成严整的城市界面，对内形成内敛的庭院空间。北庭院为开敞景观庭院。庭院西侧为半开敞式入口，东侧为祈祷室，南北两侧1层为教学及图书、档案室，北侧2层为办公空间。庭院四周采用伊斯兰风格的柱廊联系各功能。南庭院为实验区后勤庭院。庭院北侧1层为仓储用房，东、南两侧1层为配套用房，西侧1层为对外公共卫生用房，2、3层为实验室。两个庭院的设置既满足了研究院的公共性，也满足了实验区的安全、独立性。

立面在现代建筑的基础上，吸取了伊斯兰建筑精髓，提取当地建筑文化符号，采用柱廊、深窗、尖券等手法表现，也起到了一定的遮阳、通风效果。景观以硬质铺装为主，绿化以当地乔木为主，既减少了维护成本，又可作为临时祈祷场地。

实验室设计吸收国外先进设计理念，优化实验布局，整合资源，科学管理，力求把项目打造成为安全、健康、环保、节能的绿色实验室。

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准《建筑用闭门器》的公告

现批准《建筑用闭门器》为建筑工业行业产品标准，编号为JG/T268-2019，自2019年12月1日起实施。原《建筑用闭门器》(JG/T268-2010)同时废止。

本标准在住房和城乡建设部门户网站(www.mohurd.gov.cn)公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国标准出版社出版发行。

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准《玻璃幕墙粘结可靠性检测评估技术标准》的公告

现批准《玻璃幕墙粘结可靠性检测评估技术标准》为行业标准，编号为JGJ/T413-2019，自2019年6月1日起实施。

本标准在住房和城乡建设部门户网站(www.mohurd.gov.cn)公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准《智能建筑工程质量检测标准》的公告

现批准《智能建筑工程质量检测标准》为行业标准，编号为JGJ/T454-2019，自2019年6月1日起实施。

本标准在住房和城乡建设部门户网站(www.mohurd.gov.cn)公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《网络工程验收标准》的公告

现批准《网络工程验收标准》为国家标准，编号为GB/T51365-2019，自2019年10月1日起实施。

本标准在住房和城乡建设部门户网站(www.mohurd.gov.cn)公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《建筑碳排放计算标准》的公告

现批准《建筑碳排放计算标准》为国家标准，编号为GB/T51366-2019，自2019年12月1日起实施。

本标准在住房和城乡建设部门户网站(www.mohurd.gov.cn)公

开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《传统建筑工程技术标准》的公告

现批准《传统建筑工程技术标准》为国家标准，编号为GB/T51330-2019，自2019年8月1日起实施。

本标准在住房和城乡建设部门户网站(www.mohurd.gov.cn)公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准《装配式钢结构住宅建筑技术标准》的公告

现批准《装配式钢结构住宅建筑技术标准》为行业标准，编号为JGJ/T469-2019，自2019年10月1日起实施。

本标准在住房和城乡建设部门户网站(www.mohurd.gov.cn)公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准《疗养院建筑设计标准》的公告

现批准《疗养院建筑设计标准》为行业标准，编号为JGJ/T40-2019，自2019年6月1日起实施。原《疗养院建筑设计规范》(JGJ40-87)同时废止。

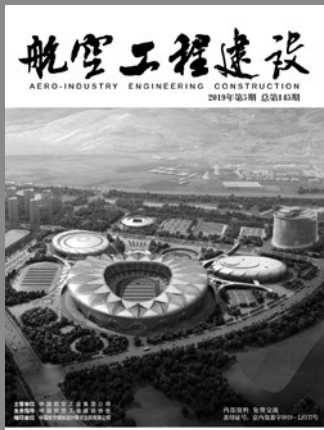
本标准在住房和城乡建设部门户网站(www.mohurd.gov.cn)公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《薄膜太阳能电池工厂设计标准》的公告

现批准《薄膜太阳能电池工厂设计标准》为国家标准，编号为GB51370-2019，自2019年11月1日起实施。其中，第6.2.5、6.2.6、8.2.3、8.2.4、8.3.3、8.3.4、9.2.9、10.2.1、11.3.5、11.3.7、11.3.10条为强制性条文，必须严格执行。本标准在住房和城乡建设部门户网站(www.mohurd.gov.cn)公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国计划出版社出版发行。

(来源“国家工程建设标准化信息网”)





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 沈金龙  
 副主任 米敬明 刘国新  
 委员 (按姓氏笔画排序)  
 丁杰 卜国磊 王玉平  
 王锋 王笃礼 刘景灏  
 李纲 李中强 肖武  
 张卫才 张立峰 陈阳  
 陈丹璐 金来建 黄春晖  
 贺宏斌 傅绍辉 葛家琪

总编 沈金龙  
 主编 陈海风  
 执行主编 王蕊  
 责任编辑 范蕊  
 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 hkgejs@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 2019年10月  
 印数 1500册  
 电话 (010)62038235  
 传真 (010)62038297  
 封面 兰州市奥体中心项目

# CONTENTS

## 目录 2019年第5期 总第145期

### 航空能力建设

- 02 单位计量站计量器具配置分析 张勤 杨阔 田恺  
 05 航空公司专属航材库建设规模分析 梅宝兴 杨益嘉  
 08 基于层次分析法的航空制造项目选址研究 岳南 谢婷婷

### 研究与探讨

- 12 北京某车间楼结构方案选型分析 张晓彤 杨会杰 赵伯友  
 17 小截面叠合柱在多层工业厂房中的应用与探讨  
 邹剑强 张庆亮 李慧成  
 24 博物馆类项目投资估算编制研究 杨旻  
 30 工业厂房空调工程造价指标研究 崔秀云  
 39 关于枢纽机场规划设计的思考 王锋刚  
 42 雨水控制技术在机库及机坪排水系统改造中的应用  
 陈洁如 闫慧  
 47 BIM技术在飞机库给排水设计中的应用与发展  
 李珺娇 王锋 刘莹颖 刘程远  
 51 某酒店空调制冷一次泵变流量系统设计 胡长才  
 54 上海某项目海水源热泵系统设计 胡长才

### 工程设计

- 58 空调绿色节能技术在门头沟区体育文化中心项目中的应用  
 高阳洋 孟凡兵

# 单位计量站计量器具配置分析

■ 张勤 杨阔 田恺 [工艺]

**摘要:** 本文立足于军工计量量值传递体系, 论述了军工单位计量站计量器具配置的原则和方法, 并以三坐标测量机和量块等典型计量器具为例, 分析了设备的选型过程, 以保证单位生产活动的量值准确性。

**关键词:** 计量站; 计量器具; 计量标准

## 0 引言

军工单位计量站作为我国国防军工计量体系的最末端机构, 直接服务于军品的研制、生产、试验、使用的全过程, 其计量器具的配置直接影响武器装备的可靠性。<sup>[1]</sup>

## 1 量传体系概述

军工计量量值传递体系: 单位计量站基于军工计量体系, 建立本单位的最高计量标准, 通过对本单位所使用的工作计量器具进行检定校准, 将计量标准传递到工作计量器具, 工作计量器具通过对生产活动中使用的工艺装备进行检定校准, 进而保证产品的量值准确统一; 同时, 单位内最高计量标准应向上溯源至区域最高计量标准或国家最高计量标准, 保证军工单位内计量量值的可溯源性。通过量值传递体系保证军工计量系统的量值准确统一。

计量器具是计量活动的物质技术基础, 能以规定的准确度复现和保存并传递计量单位量值, 是保证量值传递准确统一的载体, 因此计量器具的配置具有以下特点: (1) 法制性<sup>[2]</sup>。计量器具的管理与检定、计量检定过程的程序文件等都有相应的法规和规范可循。(2) 复杂性。由于计

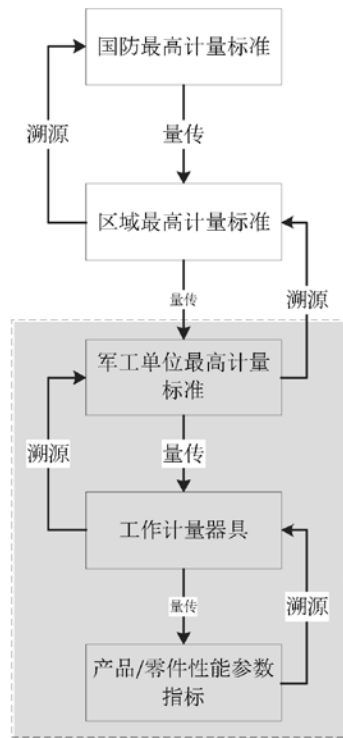


图1 量值传递溯源图

量技术专业类别较多, 而不同的计量技术专业、不同的计量检测项目所需的计量器具、所依据的计量规程文件都不同, 因此计量器具配置工作复杂。(3) 溯源性。计量器具的选配不仅要满足计量检测需求, 而且必须能溯源到国防最高计量标准, 保证测量参数的溯源性。

作者简介: 张勤, 女, 工程师, 2012年毕业于西北工业大学航空宇航制造工程专业, 现就职于航空工业规划动力工程设计研究院。

## 2 计量器具配置

按照用途的不同, 计量器具分为计量标准器具和工作计量器具。其中计量标准器具作为单位最高计量标准, 用于对单位内所使用的工作计量器具进行检定校准; 工作计量器具作为传递标准对生产活动中所使用的工艺装备等进行检定校准。

工作计量器具和计量标准器具在量值传递体系中的作用不同, 其配置的原则和方法有所差异, 下面从工作计量器具和计量标准器具两个方面对军工单位计量站计量器具的配置方法进行介绍。

### 2.1 工作计量器具

工作计量器具一般直接用于检测产品或检定生产中所使用的工艺装备, 意味着检测对象的不同对工作计量器具的差异性影响较大, 因此工作计量器具的选配取决检测对象的特点和要求。工作计量器具的选型原则如下:

按计量器具不确定度允许值选择, 根据被测对象的公差要求选择计量器具, 其原则是包括计量器具误差在内的测量方法总误差应小于被测对象的最大允许误差或公差的 $1/3 \sim 1/10$ 。

按被测对象的特性选择, 包括被测对象的外形、重量、材料、刚性、表面粗糙度等, 选择计量器具应考虑上述特性。

按被测对象的批量大小选择, 在大批量生产中, 选择专业计量器具比较合适; 在单件或小批量生产中选择通用计量器具比较合适。

### 2.2 计量标准器具

计量标准位于军工单位量值传递链的顶端, 体现了生产单位产品制造的精度水平, 其选配应从本单位的实际需求出发, 避免过高造成浪费, 过低无法满足量传需求。计量标准器具的选型流程包括需求分析、仪器选型、不确定度分析、数量计算和量值溯源等。

#### (1) 需求分析

对被检器具进行需求分析, 将测量参数按照学科(如几何量、热学、力学等)的不同, 分别确定针对各学科参数的被检器具的精度、测量范围、数量等。

#### (2) 仪器选型

针对具体需求, 对需要检定的参数按照检定规程要求进行计量仪器选型。选型规则一般应满足以下条件:

$$\begin{cases} L_a \geq L_b \\ P_a \leq \frac{1}{4} P_b \end{cases}$$

其中,  $L_a$ 表示所选仪器的量程,  $L_b$ 表示被检器具的量程,  $P_a$ 表示所选仪器的精度,  $P_b$ 表示被检器具的精度。

#### (3) 不确定度分析

分析不确定来源, 根据所选仪器的性能指标并结合计量标准的不确定度进行测量不确定度计算, 同时估算重复测量不确定度, 然后与被检器具的不确定度进行比较, 判断是否能满足要求。

#### (4) 数量计算

明确单个被检器具的平均检定时间, 根据被检器具的检定周期, 结合需求分析, 按照以下公式计算所需计量仪器的数量。

$$N = \frac{n \times T_h \times T_m}{12 \times T_j}$$

其中,  $n$ 为被检器具的数量;  $T_h$ 表示单个被检器具所需检定时间, 单位为小时;  $T_m$ 表示被检器具的检定周期, 单位为月;  $T_j$ 表示计量仪器的工作年时基数; 被求量 $N$ 即所需仪器的数量。

#### (5) 量值溯源

确定量值溯源的方式、周期和机构。根据相关检定规程要求, 定期对被检器具进行检定。

## 3 典型计量器具选型分析

### 3.1 三坐标测量机

三坐标测量机是广泛应用于测量领域的坐标测量设备, 具有测量参数多, 测量速度快, 准确可靠, 自动化程度高等特点。三坐标测量机是军工单位常用的工作计量器具, 根据用途和精度的不同分为计量型和生产型, 其选型方法基本一致。三坐标测量机的选型方法如图2所示。

### 3.2 量块

量块作为几何量专业长度计量的常用计量标准器具, 是军工单位计量站最常见的实验室设备。依据量块长度测量不确定度, 量块的检定级别分为一、二、三、四、五、六等。按照产品和所采用工艺装备的精度等级, 军工单位计量站通常选择三等量块组作为长度计量标准。

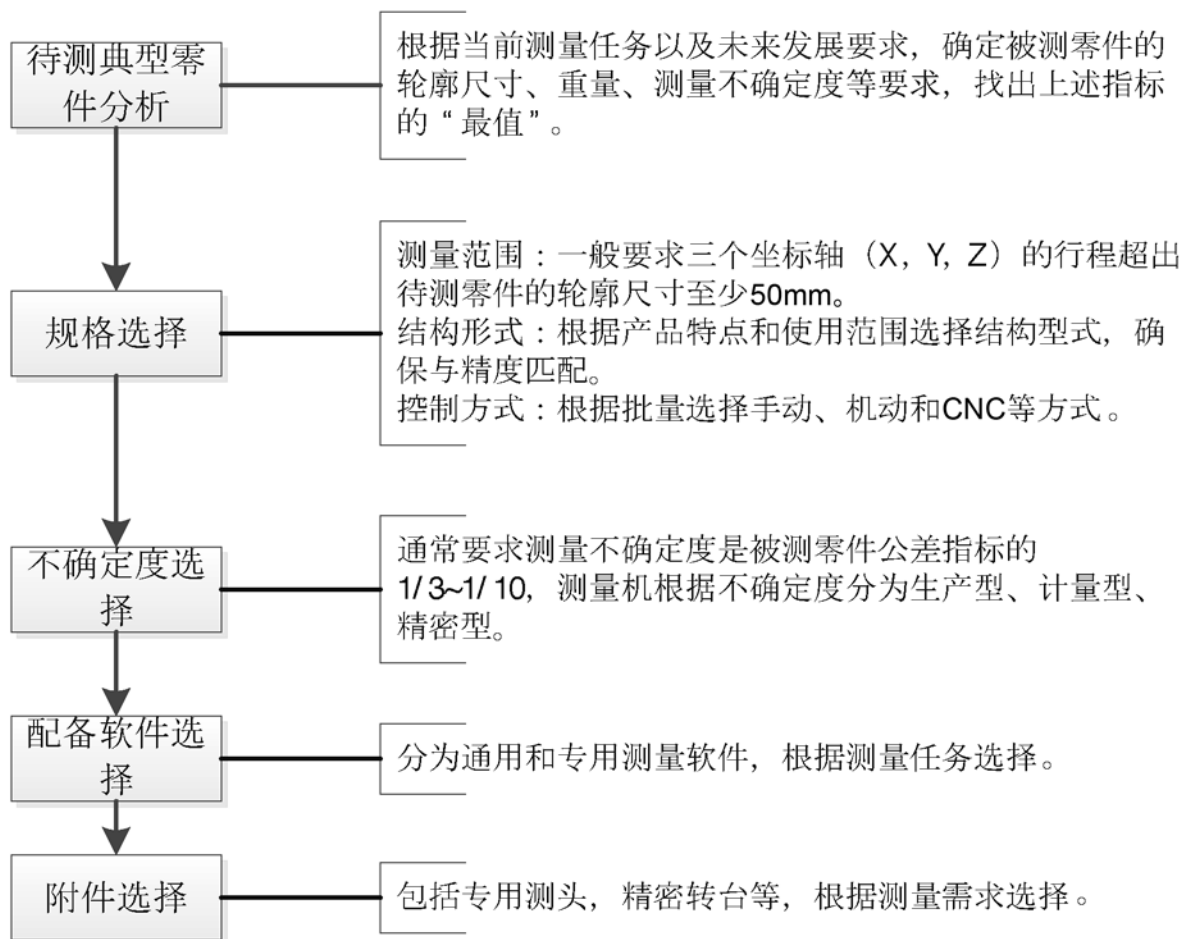


图2 三坐标测量机的选型流程

量块长度测量有直接测量和比较测量两种。直接测量用于对一等、二等量块的测量，比较测量用于三等~五等量块的测量。在量值传递系统中，用于直接测量的仪器有接触式激光干涉仪；用于比较测量的仪器有接触式干涉仪、立式光学计、测长机等。军工单位计量站的最高长度标准为三等量块，一般借助立式光学计、测长仪等测量仪器通过比较测量的方式将长度标准“向下”传递。

量块作为长度计量标准，其量值传递过程为：首先通过标准量块检定生产中所使用工作计量器具的示值误差，将长度标准传递到工作计量器具；然后通过工作计量器具将长度标准传递到工艺装备和产品，最终使得生产过程中所有的量值具有溯源性。

#### 4 结束语

军事装备在快速发展，对军工计量的技术和能力等都提出了更高要求。军工单位计量站应瞄准型号任务需求，不断提高计量技术水平，及时更新计量设备，保证单位生产活动的量值准确性。

#### 参考文献

- [1] 李本正. 军工计量为国防科技工业发展提供保障[J]. 国防科技工业, 2009 (1): 23~24.
- [2] 麻倍之. 军工计量工作中确保量值准确应注意的方面[J]. 质量与可靠性, 2012 (2): 52~55.
- [3] 黄涛. 计量技术基础[M]. 中国计量出版社, 2007.

# 航空公司专属航材库 建设规模分析

■ 梅宝兴 杨益嘉 [工艺]

**摘要:** 航材作为航空公司机务维修工作的生产资料,是保障航班安全准点的物质基础。本文针对航材的存储特点,通过不同维修等级的航材需求,建立航材库存储面积计算模型,得出合理的航材库建设规模。

**关键词:** 航空器材;保障库;航材库建设

航材,也称航空器材,是民航从业人员对于民用航空产品和零部件的习惯叫法。民用航空产品一般是指民用航空器、航空发动机和螺旋桨,零部件是指任何用于民用航空产品或者拟在民用航空产品上使用和安装的材料、仪表、机械、设备、零件、部件、组件、附件、通信器材等。

航空公司所属航材库根据定位,可分为全国/全球保障中心库、本场保障库两种,本文的研究对象是本场保障库,主要责任是为本场维护、维修的机队提供航材。

本文从航材存储特点入手,对航材库建设规模和建设形式展开研究,能在航空维修基地项目中为航材库的设计模式提供量化研究依据,为相关项目规划设计提供技术支持。

## 1 航材分类

航材小到螺栓、螺母,大到发动机、进气道,按尺寸、重量、外形的特点,有不同的存储方式。本文按照存储形式是否能引进自动化仓储系统,将航材分为多层货架航材和非多层货架航材。其中,多层货架航材可以用传统的多层货架,也能引进自动化仓储系统;非多层货架航材则不能引进自动化仓储系统。

### 1.1 多层货架航材

多层货架航材按照货架类别可分为料箱类航材和托盘类航材。

#### (1) 料箱类航材

适合放入料箱进行存储的航材,包括垫片、密封圈、螺栓螺帽等微型航材和传感器、空速管、指示器等小型航材。此类航材的特点是质量轻、尺寸小、数量多、种类多、用量大。料箱类

作者简介:梅宝兴,男,高级工程师,2006年毕业于北京科技大学机械制造与自动化专业,现就职于中航建设民航工程设计研究院。

航材在通过验收后,存储之前需要将外包装拆开,装入更小的包装袋或者包装盒,以便放入料箱进行存储。

### (2) 托盘类航材

适合采用托盘存储的有液压附件、活门、刹车片、显示屏等中型航材。中型航材库存量中等,收发货件数比料箱类少,包装外形较规整,适合集中管理和存储,验收通过后通常保持原包装,放上托盘直接进入货架。

## 1.2 非多层货架航材

非多层货架航材按照存储方式可分为大件航材和异形航材。

### (1) 大件航材

大件航材,如发动机、进气道、雷达罩等,在安检后运入航空基地,直接送至对应存储区,就地开盖检验。因其重量和尺寸都超出了普通货架的存储能力,此航材最常见的是采用地面存放的方式进行存储。此类单项数量少、重量大、占地面积大,不同类别之间从尺寸到重量缺乏共同特点,目前沿用地面存放的存储方式。

### 2) 异形航材

飞机襟/副翼、机轮、各类隔板,生产原材料如铝板、型材、桁条等,这类航材最突出的特点是外形不规则,最长能有8m左右,适宜存储在悬臂货架、A字货架、L型货架上或专用货架。此类航材外形或细长或薄宽或圆,可以通过特殊货架进行存储,提高空间利用率,但外形变化多样,部分尺寸过大,不适合引入自动存储系统。

## 2 航材库存储形式分析

航材库作为航空基地的重要组成部分,承担着为机库、机坪上的飞机提供航材存储和管理工作。目前国内外航材库的建设形式主要有传统平库、自动化立体库两种。传统平库是已建成航材库中最常见的,由人工或者叉车进行存储货。自动化立体库通常由高层货架系统、物料搬运设备、控制和管理设备及公用设施等部分组成,在计算机控制与管理下,利用自动化物料搬运设备进行货物出、入库作业的仓库。

大件航材和异形航材由于自身特点无法引进自动化仓储系统,因此,传统平库和自动化立体库的区别在于料箱类航材和托盘类航材的存储方式。

料箱类航材在传统平库中,采用4~5层小

型货架,在自动化仓储系统中,可采用自动化料箱堆垛系统,存储量少、占地面积不足时,可采用旋转系统。托盘类航材在传统存储方式中,通常采用双层或三层货架,或者利用高位叉车的优势,建设高架仓库。叉车存储主要依靠工作人员的经验,存在一定安全隐患。引入自动托盘仓储系统后,由堆垛机替代人员操作,不仅安全和效率可以得到保障,且货架的高度远高过高位叉车能达到的高度,大大提升了竖向空间的利用率。

## 3 航材库建设规模分析

### 3.1 航材存储量计算

飞机维修包括航线、A检、B检、C检、D检,目前很多航空公司已经将B检和D检拆分到A检和C检维修范围内,更常见的是维修等级分为航线、A检、C检三类。根据调研,各级别维修周期按照航线每2~3天1次,A检2~3个月1次,C检25~30个月1次。

根据各航空公司所属航材库出库清单数据统计,可以得到单架窄体飞机在航线、A检、C检时对应的料箱、托盘、大件、异形航材的数量,宽体飞机的需求量是窄体飞机需求量的1.5倍左右。

### 3.2 航材存储面积计算

根据前文分类,料箱航材和托盘航材存在引进自动化存储系统的可能性,大件和异形航材则没有,因此,在本节的计算过程中,只有料箱航材和托盘航材会有两种存储面积算法。

#### (1) 料箱航材

在平库的存放方式中,货架按LP层考虑,单个储位占地面积为 $RLm^2$ ,每层平库中货架占地率为0.35,则料箱区所需存储面积为:

$$SL_1 = NL * RL / (LP * 0.35)$$

在引入自动化存储料箱系统之后,货架上按LP层布置,巷道式料箱货架占地率0.5,旋转货架占地率0.45,则对应存储面积:

$$SL_2 = NL * RL / (LP * 0.5)$$

$$SL_3 = NL * RL / (LP * 0.45)$$

#### (2) 托盘航材

在普通托盘货架和高位托盘货架的存放方式中,货架上按LT层布置,托盘所放货架单个储

位占地面积为 $RTm^2$ ，每层平库中货架占地率为0.35，则所需存储面积：

$$ST_1=NT*RT/(LT*0.35)$$

在引入自动化存储托盘系统之后，货架上按LT2层布置，货架占地率0.5，则对应存储面积：

$$ST_2=NT*RT/(LT*0.5)$$

### (3) 大件航材

大件航材采用就地存放方式，据统计，单件航材存储面积约 $5.2m^2$ ，则存放面积计算如下：

$$SD=ND*5.2$$

### (4) 异形航材

异形航材统一归置为双层货架，据统计，单件航材存储面积约 $0.9m^2$ ，则存放面积计算如下：

$$SY=NY*0.9$$

将上述料箱航材、托盘航材、大件航材、异形航材的总面积汇总便是每个月该航空公司航材存储需求。根据对国内几家航空公司航材保障中心的数据分析，航材周转率按照M月考虑。同时，由于非例行维修、外发给其他分公司或者其他航空公司，在所需航材总数上预留一定冗余度K供临时调配。此外，考虑专业配套用房、人员办公等约占20%面积，最终传统平库建设的规模：

$$S_1=(SL_1+ST_1+SD+SY)*(1+K)*M/0.8$$

当料箱航材和托盘航材存储采用自动化存储设备时，对应航材库建设规模：

$$S_2=(SL_2+ST_2+SD+SY)*(1+K)*M/0.8$$

## 4 小结

本文飞机维修实际需求出发，按照不同的维修等级，航材不同的存储方式，建立的航材库面积需求模型，可用于估算采用传统货架存储和引进自动化存储系统两种方式的航材库面积。

### 参考文献

[1] 孙春林. 民用航空维修质量管理[M]. 北京: 中国民航出版社, 2001.100-108.

[2] 张登滨, 李丽, 杨建根. 自动化立体仓库在军队器材管理中的应用[J]. 科技信息, 2014(5): 111-111.

# 基于层次分析法的 航空制造项目选址研究

■ 岳南 谢婷婷 [工艺]

**摘要:** 航空制造项目因其特殊性,对其选址所在城市综合能力要求较高。本文分析了影响航空制造项目选址的主要因素,针对这些因素建立指标体系,通过层次分析法评价模型,对航空制造项目的备选城市进行了权重打分,并得出选址最优排序。

**关键词:** 航空制造; 选址; 层次分析法

## 1 前言

在全球“工业4.0”和“中国制造2025”的驱动下,我国航空制造产业进入了发展的提速期,航空制造产业项目深受地方政府和投资主体青睐。和一般工业项目相比,航空制造项目具有较大的特殊性,航空制造项目要想获得竞争优势,扩大影响力,需要在其落地之前进行选址研究,合理的选址研究对于航空制造项目有着至关重要的影响。

目前,针对选址研究,国内外有很多理论研究,主要有层次分析法、模糊综合评价法、启发式算法等。本文运用的是层次分析法模型,通过分析影响航空制造项目选址的主要因素,针对这些因素建立四级量化指标体系,通过层次分析法评价模型对每个指标进行量化并赋予权重,最后得出备选址城市的权重分数,从而得出最优选址城市排序。

作者简介:岳南,男,工程师,2014年毕业于北京航空航天大学规划咨询评估专业,现就职于航空工业规划航空业务部。

## 2 备选城市选择

综合考虑城市经济发展、人才基础、营商环境、自然环境、综合竞争力等多方面因素,本研究拟选择发展较好的二线发达城市与二线中等城市作为选择对象,备选城市如表1所示。

表1 备选城市

杭州	南京	济南	重庆	青岛
大连	宁波	厦门	成都	武汉
哈尔滨	沈阳	西安	长春	长沙
福州	郑州	石家庄	苏州	佛山
烟台	东莞	无锡	太原	

## 3 研究模型

### 3.1 指标说明

#### 3.1.1 指标选取维度

依据航空制造项目选址工作特点,本文制定产业要素支撑、产业发展意向、地区特征、投资



成本4个维度的指标体系，包括产业关联、科技人员实力、研发实力、航空基因、政府支持、区域产业分工、区位交通、社会经济、项目成本9个分项指标。

### 3.1.2 指标体系构建

综合以上维度分析，构建指标体系如下：

表2 项目选址（城市）综合能力评价量化指标体系

一级指标	二级指标	三级指标	四级指标	
项目选址(城市)综合能力	产业要素支撑	产业关联	配套企业数目	
			通航运营企业数目	
			物流发展情况（运输便捷性）	
		人才基础	高新技术人占总人口比重	
			城市航空产业的就业人数	
			城市航空产业就业人数占总就业人数的比重（反应航空产业在该城市的重要程度）	
			城市航空产业就业人数占全国航空产业的就业人数的比重（反应航空产业在全国的重要程度）	
			地区研发投入	
		研发实力	发明专利数	
			高等院校的数目	
			示范区与否	
		产业发展意向	航空基因	已有项目基础
	机场布局（规划有机场）			
	政策			
	政府支持		规划	
			有综保区、自贸区（免税政策）	
	区域产业分工		我国政策对该城市的定位	
	地区特征		区位交通	城市等级（一线城市、副省级城市、计划单列市、一般城市）
				全国交通网络中的便捷指数
				是否有港口条件
				是否为沿海开放城市
		民航运输发展情况（枢纽机场吞吐量）		
		利用外资情况		
		社会经济	城市生态环境指数	
			GDP	
			人口	
			人均可支配收入	
			城市经济密度指数	
	投资成本	建设成本	建设费用（土地费用）	
			运营成本	平均工资

### 3.1.3 指标量化说明

本研究数据质量要求较高，项目组关联了以下两个专业数据库：第一个数据库是中国民用航空工业数据库（包括通用航空数据库），该数据库囊括了中国民用航空工业、通用运营行业、通用机场等设施、行业发展政策等数据信息；第二个数据库来自《中国城市统计年鉴》，该数据包含企业所在城市的城市面积、人口规模等信息。本文借鉴Campbell 和Hopenhayn、Syverson的

表3 关键指标解释

项目	来源/计算方法
配套企业数目	城市内规模以上的航空制造企业数目
物流运输便捷性	城市物流指数
运营企业数	城市内运营企业数目
高新技术人口占总人口比重	本科以上人口/总人口
城市 j 行业 k 的就业人数	航空相关的交通设备制造企业就业人数
城市 j 行业 k 就业人数占同期城市 j 就业人数的比重	占城市总就业人比重
行业 k 就业人数占全国就业人数的比	占全国行业就业人数比重
R&D研发投入	统计数据
发明专利数	统计数据
高等院校数量	统计数据
示范区与否	资料，是=2，否=0
已有航空制造项目	是否有航空制造内项目
机场布局	建成的机场数+0.5*正在选址和推进的机场
航空政策	资料，有=1，无=0
航空规划	数据资料，有=1，无=0
有综保区、自贸区、免税政策	资料，有=1，无=0
城市与航空产业关联指数	城市以往发展航空制造的成绩
城市等级	一线城市=3，二线发达城市=2，二线中等城市中经济发展较好、地级市省会以上=1，其他二线中等城市=0
陆地交通指数	统计数据
是否为沿海开放城市	资料，有=1，无=0
民航运输吞吐量	统计数据
利用外资情况	外商直接投资合同项目
城市生态环境指数	统计数据
GDP	统计数据
人口	统计数据
人均可支配收入	统计数据
城市经济密度指数	GDP/土地面积
城市资本丰裕指数	上市A股家数+拟上市家数
政府财政预算	统计数据
建设成本	土地费用
运营成本	平均工资

研究,以企业所在地级及以上城市的人口数量作为衡量市场规模的基准,综合形成航空产业信息以及所在城市特征的数据库。

### 3.2 权重确定

#### 3.2.1 指标权重的确定方法

指标权重的科学确定是评价结果真实、客观、准确的基本前提条件。本研究采用层次分析法(AHP)确定指标权重。

#### 3.2.2 指标权重的计算

(1) 指标体系权重的计算方法  
构造判断矩阵,判断矩阵要满足:

$$a_{ij} > 0, a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, a_{ii} = 1$$

表4 判断矩阵标度比对照表

标度	含义(与相比较)
1	与一样重要
3	比略微重要
5	比明显重要
7	比强烈重要
9	比极端重要
2,4,6,8	分别为上述相邻判断的中值
倒数关系	若元素i与元素j重要性之比为,那么元素j与元素i重要性之比为

(2) 计算权重

$$Aw = \lambda_{\max} w$$

其中  $\lambda_{\max}$  是 A 的最大特征值,  $w = (w_1, w_2, w_3, \dots, w_n)^T$  是对应的特征向量,所得的  $w$  经过归一化以后就是权向量。

$$\triangleright a_{11} \cdot a_{12} \cdot a_{13} \cdot \dots \cdot a_{1n} = M_i$$

$$M_i = \prod_{j=1}^n a_{ij}, i = 1, 2, \dots, n$$

$$\triangleright \text{计算 } M_i \text{ 的 } n \text{ 次方根 } W_i' = (M_i)^{-n}$$

$$\triangleright \text{对向量 } W_i' = [W_1', W_2', \dots, W_n']^T \text{ 正规化,}$$

即:

$$W_i = \frac{W_i'}{\sum_{i=1}^n W_i'}$$

➤ 计算矩阵的最大特征值  $\lambda_{\max}$

$$\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nW_i}$$

其中  $(AW)_i$  表示向量  $(AW)$  的第  $i$  个元素。

➤ 一致性检验

$$C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (n \text{ 是判断矩阵的阶数})$$

查找相应的平均随机一致性指标 R.I.:

表5 平均一致性指标

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7
R.I.	0	0	0.52	0.89	1.12	1.26	1.36

计算一致性比例:

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

当  $C.R. < 0.1$  时,认为判断矩阵的一致性是可以接受的。

(3) 项目选址(城市)综合能力指标体系权重确定

由行业内5位专家对二、三、四级指标进行打分,打分过程略。

#### 3.2.3 指标权重计算结果

根据研究模型进行专家打分,得到备选城市指标体系的计算结果,如表7所示。

根据计算结果,备选城市中推荐名单有:重庆、青岛、成都、南京、宁波。

## 4 基本结论

通过上述运用层次分析法对航空制造项目选址的分析过程得出如下结论:

第一、根据本文的研究对象以及最终研究结果来看,影响选址的因素有很多方面,本文综合考虑产业要素支撑、产业发展意向、地区特征和投资成本,其中地区特征权重最大,说明航空制造业是高端产业,跟社会发展水平息息相关。

第二,在进行航空制造项目选址时,政府的支持也至关重要,航空制造业,特别是通航制造业,因市场和政策的不确定性,需要很长的培育期,在此期间需要政府通过规划和相关政策大力支

表6 项目选址(城市)综合能力指标体系评价表

一级指标	权重	二级指标	权重	三级指标	权重	四级指标	权重
项目选址 (城市) 综合能力	100%	产业要素 支撑	19%	产业关联	5.15%	配套企业数目	5.7993
						通航运营企业数目	0.916
						物流发展情况(运输便捷性)	5.4348
				人才基础	6.775%	高新技术人占总人口比重	0.9214
						城市航空产业的就业人数	2.2724
						城市航空产业就业人数占总就业人数的比重(反应航空产业在该城市的重要程度)	3.308
						城市航空产业就业人数占全国航空产业的就业人数的比重(反应航空产业在全国的重要程度)	4.2733
				研发实力	7.075%	地区研发投入	5.5235
						专利发明数	3.3061
						高等院校的数目	1.2454
		产业发展 意向	26.5%	航空基因	9.5%	示范区与否	2.0125
						已有项目基础	4.3625
						机场布局(规划有机场)	4.125
				政府支持	13.5%	政策	9.57
						规划	4.455
						有综保区、自贸区(免税政策)	2.475
		区域产业分工	3.5%	我国政策对该城市的定位	4.5		
		地区特征	45.5%	区位交通	19.575%	城市等级(一线城市、副省级城市、计划单列市、一般城市)	4.1539
						全国交通网络中的便捷指数	2.0405
						是否有港口条件	1.8948
						是否为沿海开放城市	3.1336
						民航运输发展情况(枢纽机场吞吐量)	1.0931
						利用外资情况	1.3118
社会经济	25.925%			城市生态环境指数	0.9474		
				GDP	0.8944		
				人口	0.7751		
				人均可支配收入	0.908		
投资成本	9%	建设成本	5.4%	城市经济密度指数	2.3986		
				城市资本丰裕指数	4.339		
				政府财政预算	2.6099		
运营成本	3.6%	建设费用(土地费用)	5.4				
		平均工资	3.6				

表7 指标体系计算结果

排序	城市	得分
1	重庆	2.100085
2	青岛	1.946842
3	成都	1.882637
4	南京	1.87746
5	宁波	1.760335
6	西安	1.718078
7	杭州	1.691528
8	武汉	1.619966
9	沈阳	1.519107
10	郑州	1.500225
11	大连	1.48433
12	哈尔滨	1.457876
13	苏州	1.406438
14	厦门	1.252924
15	无锡	1.205579

持,航空制造项目才能真正的落地和健康的发展。

#### 参考文献

- [1] 邓砚谷,王伟.时空视角下中国航空产业竞争力的地区差异分析[J].南昌航空大学学报.2018(3).
- [2] 丘建发.国家大学科技园的区位与选址研究[J].新建筑.2004(5):28-31.
- [3] 常建斌,蒋太利.层次分析法确定权重的研究[J].武汉理工大学学报.2007:29-100.
- [4] 黄伟,阙涛.层次分析法的应用[J].大连东北财经大学出版社.2001.

# 北京某车间楼结构方案选型分析

■ 张晓彤 杨会杰 赵伯友 [结构]

**摘要:** 本文对北京某车间楼设计的钢筋混凝土框架和钢框架分别进行了计算分析比较, 经过比选, 得出钢框架具有可提高室内净高、增加室内使用面积, 自重轻, 施工速度快, 大幅缩短工期, 综合效益好等优点, 分析了新版结构可靠性标准荷载分项系数调整对主体结构工程造价的影响, 确认该楼结构形式采用钢框架。

**关键词:** 车间楼; 钢框架; 荷载分项系数

## 1 工程概况

北京某车间楼工程位于北京市顺义区南法信镇, 首都机场内。

车间1层为生产区域, 主要为组装试装车间、设备间、实验室、组装区、试装区、包装区等; 2~4层为各专业工程师办公用房。

车间楼平面尺寸为 $57.5\text{m} \times 45\text{m}$ , 主要柱网为 $11.5\text{m} \times 7.8\text{m}$ , 地上4层, 1层层高为 $7.2\text{m}$ , 2~4层层高为 $4\text{m}$ , 主要结构高度为 $19.2\text{m}$ , 总建筑面积约 $10350\text{m}^2$ 。

本工程设计使用年限为50年, 结构安全等级为二级, 结构重要性系数为1.0。抗震设防烈度为8度, 场地类别为Ⅲ类, 设计地震分组为第二组, 多遇地震场地特征周期为 $0.55\text{s}$ , 抗震设防类别为标准设防类(丙类)。基本风压( $R=50$ )为 $0.45\text{kN/m}^2$ , 地面粗糙度类别为B类, 基本雪压( $R=50$ )为 $0.40\text{kN/m}^2$ 。

作者简介: 张晓彤, 女, 工程师, 2015年毕业于北京交通大学结构专业, 现就职于中航建设民航工程设计研究院。



图1 车间楼效果图

## 2 方案比选

对于北京高烈度区、结构高度 $19\text{m}$ 左右的多层建筑, 可采用以下几种可行的结构形式: 钢筋混凝土框架、钢筋混凝土框架剪力墙、钢筋混凝土框架+屈曲约束支撑、钢框架。

但由于建筑立面效果, 不允许在周边设置剪力墙或屈曲支撑等抗侧力构件, 而建筑内部楼电

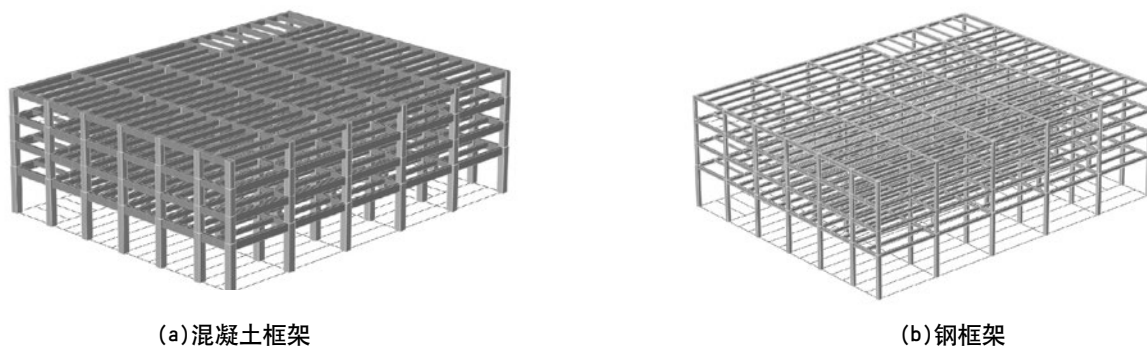


图2 结构三维计算模型

梯间分布较为偏置，在楼电梯间周边设置抗侧力构件无法形成有效的抗侧力体系。建筑使用功能为灵活开敞办公，内部其他区域也不允许设置剪力墙或屈曲支撑等结构抗侧力构件。

经过充分考虑建筑功能要求，本工程考虑采用空间使用灵活的框架结构，设计分别采用钢筋混凝土框架和钢框架进行了比较分析，结构三维计算模型见图2。

基础形式均采用柱下独立基础。地基土层承载力标准值仅有100kPa左右，需要进行地基处理，本工程采用CFG桩地基处理，以下对两种结构形式的基础和地基处理部分也进行了造价比较。

### 2.1 结构布置方案

本工程柱距为11.5m×7.8m，使用功能对净高要求较高，为尽量减小梁高，混凝土框架和钢

框架结构次梁布置方向均按11.5m长向布置，每个柱距设置两道次梁，地震作用下层间位移角不满足要求时，优先采用加大周边梁柱尺寸，最大限度保证室内净高，标准柱距的结构布置方案，见图3。混凝土框架楼屋面板采用普通混凝土楼板，钢框架楼屋面板采用钢筋桁架楼承板，板厚均为120mm。

### 2.2 梁柱截面

对于钢筋混凝土框架，标准柱距主梁采用500mm×800mm，周边主梁采用500mm×1200mm，次梁采用300mm×800mm（图3）。

对于钢框架，标准柱距主梁与柱采用刚接连接，次梁与主梁采用铰接连接，单向布置，主次梁高度相同，均为600mm（图3）。同时，钢梁腹板开设矩形洞口方便专业管线穿行，如图4，开洞

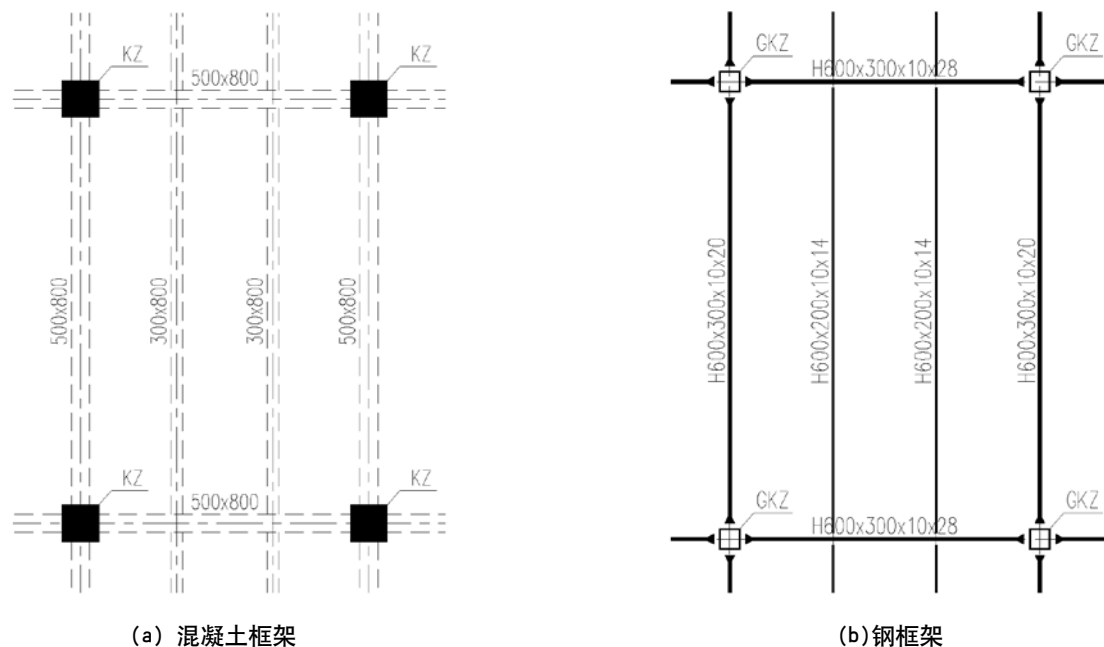


图3 标准柱距11.5m×7.8m梁柱布置图

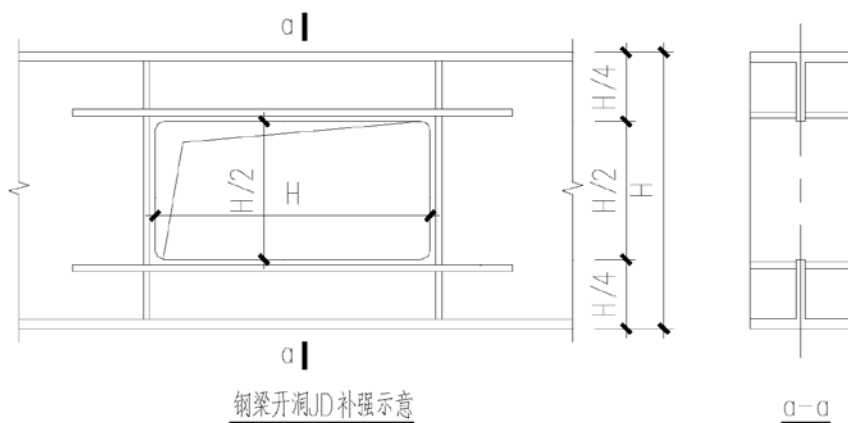


图4 钢梁开洞示意图

表1 梁柱截面对比表

分项		混凝土框架(mm)	钢框架(mm)
梁截面	标准柱距 主梁截面	500 × 800	H600 × 300 × 10 × 28 H600 × 300 × 10 × 20
	周边主梁截面	500 × 1200	H600 × 300 × 10 × 20
	标准柱距 次梁截面	300 × 800	H600 × 200 × 10 × 14 H600 × 250 × 10 × 20
柱截面	一层柱截面	1100 × 1100	□600 × 20
	二层柱截面	1000 × 1000	□500 × 16
	三层柱截面	1000 × 1000	□500 × 16
	四层柱截面	900 × 900	□500 × 16

宽度不大于梁高和750mm，高度为1/2梁高。

从表1可以看出，采用钢框架，标准柱距室内净高可提高约380mm（其中梁高减小80mm，钢梁开洞净高提高约300mm），周边主梁高度减小480mm。

采用钢框架，1层每个柱子截面面积可减小约0.85m<sup>2</sup>，每层建筑面积可增加约35.7m<sup>2</sup>（每层柱子数量为42），2、3层每个柱子截面面积可减小约0.75m<sup>2</sup>，建筑面积增加约31.5m<sup>2</sup>，4层每个柱子截面面积可减小约0.64m<sup>2</sup>，建筑面积增加约26.9m<sup>2</sup>，4层合计可增加约125.6m<sup>2</sup>。

### 2.3 计算结果比较

钢筋混凝土框架结构和钢框架结构的主要计算结果见表2。可以看出，钢框架与混凝土框架相比，结构总质量、主要楼层质量和柱底总反力均减小33%以上；地震作用下的基底剪力减小60%以

上。钢框架自重轻、抗震性能良好。

钢框架的周期较混凝土框架较长、位移角较大，但均满足规范要求，对于使用无不利影响。

### 2.4 工程造价比较

本文分别对混凝土框架和钢框架结构的主体结构材料用量进行统计，见表3、表4。

不同材料按以下材料单价进行估算，混凝土按1300元/m<sup>3</sup>（含模板），钢筋按6800元/t（含加工），钢材按11000元/t（含加工及油漆），钢筋桁架楼承板混凝土按550元/m<sup>3</sup>，钢筋桁架及钢板底模按120元/m<sup>2</sup>，CFG桩按900元/m<sup>3</sup>（含施工费用）。

综合上述计算，混凝土框架总的主体结构造价约为1285万元，钢框架总的主体结构造价约为1432万元，钢框架比混凝土框架造价高约11%。

经过以上比较，采用钢筋混凝土框架结构和钢框架结构均可满足规范要求，但采用混凝土框架梁柱截面较大，梁

柱配筋量大，还存在首层7.2m高支模危大工程，钢框架结构造价略高，但可大幅度提高室内净高，增加室内使用面积，施工速度快，大幅缩短工期，综合效益好，所以结构形式采用钢框架结构。

## 3 新版可靠性标准对工程造价的影响

《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068—2018于2019年4月1日实施，将永久荷载和可变荷载的分项系数1.2和1.4调整为1.3和1.5，有必要分析分项系数调整对主体结构工程造价的影响。

第2节计算采用了新标准1.3和1.5的分项系数，本节采用1.2和1.4的系数对两种结构形式进行计算，并进行工程造价的比较。

### 3.1 混凝土框架

通过计算，混凝土框架柱为地震工况控制，

表2 主要计算结果对比表

分项	1混凝土框架结构	2钢框架结构	(1-2) / 1
结构总质量	16254.225t	10351.727t	36.3%
主要楼层单位面积质量	1500 kg/m <sup>2</sup>	965kg/m <sup>2</sup>	35.7%
柱底总反力 (D+L)	179044kN	120023kN	33.0%
周期	0.7291s	1.4223s	—
	0.7125s	1.2654s	—
	0.6072s	1.2146s	—
基底剪力	X: 22938.40 kN Y: 22312.49 kN	X: 8559.22kN Y: 7627.61kN	62.7% 65.8%
多遇地震 位移角	X: 1/624 Y: 1/560	X: 1/346 Y: 1/299	—
上部结构 材料用量	混凝土: 3482m <sup>3</sup> 0.34m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	钢材: 872t 84kg/m <sup>2</sup>	—
独立基础 混凝土用量	1066m <sup>3</sup>	714m <sup>3</sup>	33.0%
CFG桩 混凝土用量	1385m <sup>3</sup>	928m <sup>3</sup>	33.0%

永久荷载与可变荷载分项系数的调整对框架柱无影响,工程量和造价未发生变化;由于板跨较小,楼板配筋经计算均为构造配筋,所以分项系数调整对楼板的工程量无影响;基础大小由D+L标准组合确定,独立基础配筋为构造配筋,CFG桩工程量也由D+L标准组合确定,所以分项系数的调整对基础和CFG桩的工程量也无影响。

对于混凝土框架结构,分项系数调整仅影响混凝土梁的工程量,表5列出其变化情况。

### 3.2 钢框架

通过计算,钢框架梁、钢框架柱均为地震工况控制,永久荷载与可变荷载分项系数的调整对钢框架梁、钢框架柱无影响,工程量和造价未发生变化;钢筋桁架

表3 混凝土框架材料用量统计表

分项	混凝土		钢筋	
	材料用量	分项价格	材料用量	分项价格
混凝土柱	848m <sup>3</sup>	110万	215t	146万
混凝土梁	1646m <sup>3</sup>	214万	315t	214万
混凝土板	988m <sup>3</sup>	128万	75t	51万
独立基础	1066m <sup>3</sup>	139万	233t	158万
CFG桩	1385m <sup>3</sup>	125万	—	—
分项造价合计	716元		569万	
总造价	1285万			

表4 钢框架材料用量统计表

分项	混凝土用量		钢材或钢筋	
	材料用量	分项价格	材料用量	分项价格
钢框架柱	—	—	236t	260万
钢框架梁	—	—	403t	443万
钢次梁	—	—	233t	256万
钢筋桁架楼承板	1205m <sup>3</sup>	66万	10350m <sup>2</sup>	124万
独立基础	714m <sup>3</sup>	93万	156t	106万
CFG桩	928m <sup>3</sup>	84万	—	—
分项造价合计	243万		1189万	
总造价	1432万			

表5 混凝土框架材料用量对比表

分项	混凝土用量 (m <sup>3</sup> )		钢筋用量 (t)	
	分项系数1.2、1.4	分项系数1.3、1.5	分项系数1.2、1.4	分项系数1.3、1.5
混凝土梁	1646m <sup>3</sup>	1646m <sup>3</sup>	301t	315t
材料用量差	0		14t	
差价 (总价占比)	9.5万 (0.74%)			

表6 钢框架材料用量对比表

分项	混凝土用量 (m <sup>3</sup> )		钢材 (t)	
	分项系数1.2、1.4	分项系数1.3、1.5	分项系数1.2、1.4	分项系数1.3、1.5
钢次梁	—	—	217t	233t
材料用量差	—		16t	
差价 (总价占比)	18万 (1.26%)			

楼承板由于需要满足施工阶段施工荷载要求, 钢筋桁架采用的钢筋直径大于受力阶段所需的钢筋直径, 所以分项系数调整对楼承板的工程量无影响; 基础大小由D+L标准组合确定, 配筋为构造配筋, CFG桩工程量也由D+L标准组合确定, 所以分项系数的调整对基础和CFG桩的工程量也无影响。

对于钢框架结构, 分项系数调整仅影响钢次梁的工程量, 表6列出其变化情况。

通过以上分析比较, 《建筑结构可靠性设计统一标准》GB 50068-2018对本工程主体结构工程量影响幅度在1%左右。

## 4 结论

(1) 结合建筑功能, 设计分别采用钢筋混凝土框架和钢框架进行了比较分析, 两种结构形式均可满足规范要求。

(2) 钢框架比混凝土框架造价略高, 但钢框架可提高室内净高、增加室内使用面积, 自重轻, 抗震性能好, 施工速度快, 大幅缩短工期, 综合效益好, 所以结构形式采用钢框架结构。

(3) 分析了新版结构可靠性标准荷载分项系数调整对主体结构工程造价的影响。

## 参考文献

- [1] GB50017-2017钢结构设计标准[S], 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
- [2] JGJ 99-2015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, 2016.
- [3] GB50011-2010建筑抗震设计规范(2016年版)[S], 北京, 中国建筑工业出版社, 2016.
- [4] 杨会杰, 赵伯友, 周方杰. 北京新机场某航材库结构设计[C]. 河北沧州, 第十八届全国现代结构工程学术研讨会论文集, 2018, 15~19.
- [5] 孙宁, 杨会杰, 张金术, 张艳杰. 十堰国际会展中心结构设计[J]. 建筑结构, 2015, 45(S1): 254~259.



# 小截面叠合柱在多层工业厂房中的应用与探讨

■ 邹剑强 张庆亮 李慧成 [结构]

**摘要:** 本工程首次将钢管混凝土叠合柱应用于多层工业厂房建筑之中,是小截面钢管混凝土叠合柱在多层框架中的一次探索性应用。本文通过对钢管混凝土叠合柱在大偏心受压下的纵向配筋计算,采用多种规范公式算法进行计算对比,分析其优点和不足;对叠合柱的最大套箍指标、最小含钢率等指标限值进行分析,提出改进建议,可供同类工程设计参考。

**关键词:** 多层厂房;小截面钢管混凝土叠合柱;大偏心受压;钢管柱,预制柱

## 1 工程概况

随着城市化发展,工业用地越来越紧张,尤其是老厂区,可供新建厂房的场地极少,采用多层厂房是一种不得已、也非常有效的措施。本工程位于北京海淀区,为地上3层框架结构,建筑面积约6400m<sup>2</sup>,基本柱网尺寸为12~7.5m×(10+12+10)m,平面总尺寸63m×32m,1层6.5m、2层5.5m、3层4.7m,其中局部1~2层12m通高,主体屋面总高度16.7m。楼面活载较大,2层12.0kN/m<sup>2</sup>(局部20)、3层6.0kN/m<sup>2</sup>(局部15),屋面4.0kN/m<sup>2</sup>(屋面有很多设备)。1层顶部局部设有起重量Q=3t的悬挂吊车1台。

建设地区的气象条件:基本风压 $W_0=0.45\text{kN/m}^2$ ( $R=50$ ),地面粗糙度为B类。基

本雪压 $S_0=0.40\text{kN/m}^2$ ( $R=50$ )。结构的设计使用年限为50年。建筑结构的安全等级二级。

抗震设防烈度为8度,设计基本地震加速度值为0.20g,设计分组为第二组,场地类别Ⅲ类,特征周期为0.55秒。抗震设防类别丙类。

本工程结构设计上有跨度大、层高、活载重、地震作用力大等特点,另外,本工程为橡胶制品厂房,三层甲烷、丙烷间还有防爆要求,厂房火灾危险性等级高,为丙类。

为了提高结构柱的承载力和防火能力,本工程采用一种新型柱——小截面钢管混凝土叠合柱;为了适用大跨度、重荷载的要求,同时为了减轻梁的自重,从而减小地震作用力,框架梁采用钢梁;为了节点连接可靠、保证工程质量,同时方便施工,设计拟将3层框架柱按一整根水平预制后整体吊装,因此,厂房结构形式为预制小截面钢管混凝土叠合柱—钢梁的混合框架。实际施工时,由于受到场地狭小的限制,采用了核心钢管

作者简介:邹剑强,男,研究员,1989年毕业于重庆建筑工程学院民建专业,现就职于航空工业规划技术发展中心。

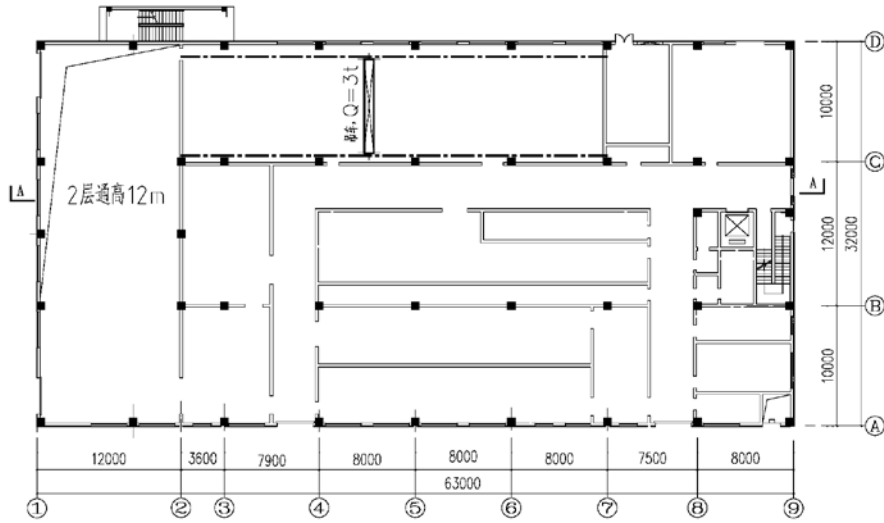


图1 厂房一层平面图

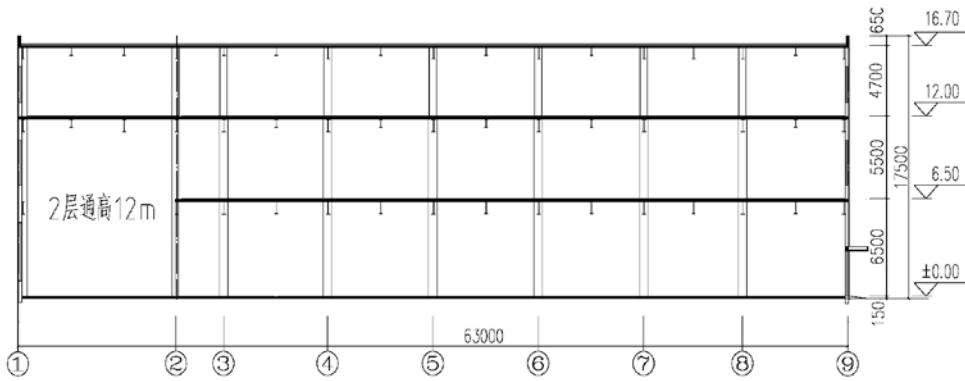


图2 厂房A-A剖面图

带柱钢筋笼整体安装，钢管内、外混凝土分别现场浇筑的方法施工。厂房平剖面图见图1、图2。

## 2 PKPM主要计算结果

本工程采用PKPM2010 V2.2版进行计算和设计，在该版本中，叠合柱是按《型钢混凝土组合结构技术规程》JGJ 138-2001计算。

### 2.1 柱轴压比

本工程框架抗震等级为二级，框架柱轴压比按不大于0.75控制。实际计算柱最大轴压比最大值为0.46，可见预制叠合柱的抗轴压承载力非常大，柱截面大小主要由地震作用下层间侧移控制。

### 2.2 最大层间位移角

参考《高层建筑钢-混凝土混合结构设计规程》CECS 230:2008第4.1.7条混合框架结构弹性

层间位移角限值为1/400。本工程计算结果X方向为1/422(1层)、Y方向为1/413(2层)，满足规范要求。

### 2.3 规定水平力下的楼层最大位移比

考虑偶然偏心地震作用在规定的水平力下最大层间位移与平均层间位移的比值，X方向为1.07(第3层)；Y方向为1.17(第1层)，均小于1.2，满足规范要求。

### 2.4 楼层侧移刚度比

本层塔侧移刚度与上一层相应塔侧移刚度70%的比值或上3层平均侧移刚度80%的比值中之较小者，最小值发生在1层， $R_{atx1}=1.3433$ ， $R_{aty1}=1.4626$ ，均大于1.0，满足规范要求。

### 2.5 楼层抗剪承载力比

抗侧力结构的层间抗剪承载力，本层与上一层之比，最小值发生在1层， $Ratio_{Bu X}=1.05$ ， $Ratio_{Bu Y}=1.03$ ，均大于80%，满足规

范要求。

### 2.6 结构振动周期、转角、平动系数、扭转系数

第1、2振型均为平动振型，第3振型扭转振型，且扭转为主第一自振周期T3与平动为主的第一自振周期T1之比0.87，不大于0.90，结构平面布置合理。

表1 结构振动周期

振型	周期	转角数	平动系数 (X+Y)	扭转系
1	1.1155	90.0	1.00 ( 0.00+1.00 )	0.00
2	1.0620	0.0	1.00 ( 1.00+0.00 )	0.00
3	0.9659	84.7	0.03 ( 0.00+0.03 )	0.97
4	0.3529	88.3	0.99 ( 0.00+0.99 )	0.01
5	0.3338	177.7	0.99 ( 0.99+0.00 )	0.01
6	0.2974	67.1	0.09 ( 0.01+0.08 )	0.91

### 2.7 预制叠合柱配筋

底层叠合柱截面650mm×650mm，单边最大计算配筋面积45cm<sup>2</sup>，实配钢筋6Φ32，As=48.2cm<sup>2</sup>，满足要求。

综合以上分析，本工程结构布置合理，叠合柱承载力高，抗震性能好，计算结果设计满足要求。

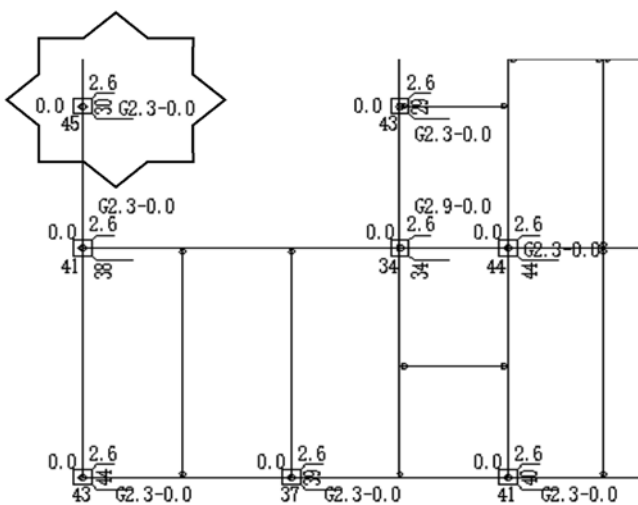


图3 底层叠合柱PKPM计算配筋面积

### 3 YJK核算

为验证软件计算结果的准确性，采用YJK 1.6软件，将PKPM计算数据自动转入YJK进行复核计算。

由表2可知，PKPM与YJK计算的总荷载、周期、总地震力等整体指标基本吻合，满足要求。

进一步检查叠合柱配筋，结果显示YJK计算叠合柱底层基本上都超筋，单边最大计算配筋面积71cm<sup>2</sup>，比PKPM结果增大57.8%，无法进行配筋设计。

表2 PKPM与YJK计算内力对比

对比项	PKPM	YJK	相差
全楼总恒载/KN	6844.77	6839.75	100.1%
全楼总活载/kN	1893.87	1893.87	100.0%
第1振型周期/s	1.1155	1.1128	100.2%
第2振型周期/s	1.0620	1.0681	99.4%
第3振型周期/s	0.9659	0.9692	99.7%
X向地震剪力/KN	7706.94	7706.94	100.0%
Y向地震剪力/KN	7346.00	7346.00	100.0%

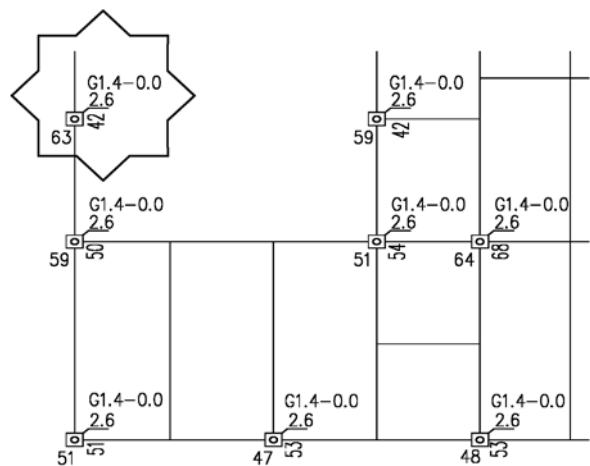


图4 底层叠合柱YJK计算配筋面积

经核实，方柱-圆管截面框架柱，PKPM是按JGJ 138-2001进行配筋计算的，而YJK是按叠合柱规范CECS 188:2005进行配筋计算的。为什么柱配筋会有如此大的差距呢？究竟哪种计算结果可靠呢？

对于钢管柱，YJK提供了几种规范的计算结果。以图中10号柱为例，采用不同规范，对比了2个软件的计算结果，如表2所示。

表3 10号柱PKPM与YJK内力与配筋对比

计算软件	PKPM	YJK	YJK	YJK
采用规范	JGJ 138-2001	JGJ 138-2001	YB 9082-2006	CECS 188:2005
轴力N/kN	-1623	-1701.0	-1701.0	-2345.2
弯矩Mx/ kN·m	1910	1765.5	1765.5	1775.1
弯矩My/ kN·m	218	194.4	194.4	237.1
计算配筋 Asx/cm <sup>2</sup>	4022	3684	3788	5833
相差	100.0%	91.6%	94.2%	145.0%

由表3可见,采用JGJ 138-2001和YB 9082-2006,PKPM与YJK计算结果是基本相符的,但采用CECS 188:2005则计算配筋差别太大。

#### 4 钢管混凝土叠合柱配筋计算算法探讨

钢管混凝土叠合柱是在钢筋混凝土柱截面中部设置有圆钢管混凝土柱,它是钢管混凝土柱的一种特例,相对于常规T型、十字、□型,圆钢管混凝土柱不但对核芯混凝土有很大的环箍效应,而且核芯混凝土可以采用高强度混凝土,因此,钢管混凝土叠合柱的抗压承载力比常规钢管混凝土柱好得多。

对于常规钢管混凝土柱设计,国家较早的规范是冶金工业部标准《钢管混凝土结构技术规程》YB 9082-97,提出了对钢管混凝土柱刚度和正截面抗弯强度,均采用简单叠加的原理进行设计,即:

$$EA=E_c A_c+E_{ss} A_{ss} \quad (1)$$

$$EI=E_c I_c+E_{ss} I_{ss} \quad (2)$$

$$N \leq N_{cy}^{ss} + N_{cu}^{rc} \quad (3)$$

$$M \leq M_{cy}^{ss} + M_{cu}^{rc} \quad (4)$$

式中:

$E_c A_c$ 、 $E_c I_c$ : 钢筋混凝土部分的截面轴向刚度和截面抗弯刚度;

$E_{ss} A_{ss}$ 、 $E_{ss} I_{ss}$ : 钢管部分的截面轴向刚度和截面抗弯刚度;

$N$ 、 $M$ : 钢管混凝土柱承受的轴力和弯矩;

$N_{cy}^{ss}$ 、 $M_{cy}^{ss}$ : 钢管部分承受的轴力和弯矩;

$N_{cu}^{rc}$ 、 $M_{cu}^{rc}$ : 钢筋混凝土部分承受的轴力和弯矩。

对于钢管和钢筋为对称配置的矩形截面钢管混凝土柱的正截面抗弯承载力计算,可以采用简单叠加方法(算法1)计算,即:先设定钢管截

面,分别按钢管部分承受最大轴力、钢筋混凝土部分承受剩余轴力和全部弯矩;钢管部分承受最大弯矩、钢筋混凝土部分承受剩余弯矩和全部轴力2种情况计算柱配筋,取其中的较小计算配筋截面作为设计结果。

这种算法,适用于小偏压、大偏压、拉弯等各种情况,适用范围很广,设计结果也偏于安全。问题是对于钢管混凝土柱,其中钢管部分和钢筋混凝土部分各承担多少轴力和弯矩,概念上不太清楚。

在YB 9082-97第6.3.2条文说明中,补充了建议计算方法(算法2):先设定钢管截面,然后按一定比例确定钢管部分承担的轴力和弯矩,钢筋混凝土部分承受剩余轴力和剩余弯矩直接进行配筋计算。该算法比理论解略偏于安全,又比算法1结果更加经济,计算也不十分困难,因此在2006年修订标准《钢管混凝土结构技术规程》YB 9082-2006作为了该版规范的正式计算方法。该算法先计算钢管部分承担的轴力和弯矩:

$$N_{cy}^{ss} = \frac{N-N_b}{N_{uo}-N_b} \cdot N_{co}^{ss} \quad (5)$$

$$M_{cy}^{ss} = 1 - \left| \frac{N_{cy}^{ss}}{N_{co}^{ss}} \right|^m \cdot M_{yo}^{ss} \quad (6)$$

其中: $N_b$ 为界限破坏时的轴力,取 $N_b = 0.5 \alpha_1 \beta_1 f_c b h$ ,然后由钢筋混凝土部分承担剩余的轴力和弯矩:

$$N_c^{rc} = N - N_{cy}^{ss} \quad (7)$$

$$M_c^{rc} = M - M_{cy}^{ss} \quad (8)$$

由式(5)可以看出,当 $N > N_b$ 时,钢管将分担部分轴力, $N$ 比 $N_b$ 大得越多,分担的比例也就越大;当 $N < N_b$ 时,钢管轴力会转化为计算拉力对混凝土施压,这样对混凝土部分配筋同样有利,因此,无论小偏压还是大偏压,按该算法计算钢管对混凝土部分配筋总是有利的,这也比较符合常理。但是对于 $N < N_b$ 情况,属于插值外推,公式是否还适用,本规范中没有具体说明,也就是说,不知该公式是否适用于大偏压情况。

另外,由于该规程钢管混凝土柱的截面设计是按叠加原理,在设计中并未要求钢管混凝土共同作用,因此在规程6.1.9条明确指出,除“过

渡层、过渡段及钢骨与混凝土间传力较大部位经计算需要在钢骨上设置抗剪连接件时,宜采用栓钉”以外,“钢骨上一般不设置抗剪连接件”。

《高层建筑钢-混凝土混合结构设计规程》CECS 230:2008采用了以上冶金行业标准。

2002年,建设部颁布了行业标准《型钢混凝土组合结构技术规程》JGJ 138-2001。该规程对于轴向刚度和抗弯刚度仍采用简单叠加;但对于型钢柱配筋计算,根据平截面假定,对于充满型实腹型钢的型钢混凝土柱的正截面抗弯承载力计算,推出了钢骨柱的偏心受压正截面受压承载力的精确计算方法(算法3)。这种算法按平截面计算假定进行推导,大偏压、小偏压均适用。

建设部行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3-2010采用了JGJ 138-2001的精确计算方法。

2016年行业标准JGJ 138-2001改为《组合结构设计规范》JGJ 138-2016,范围从型钢混凝土组合结构扩大到钢管混凝土及组合楼板等,但是对钢骨混凝土梁柱计算仍保持平截面计算假定,计算原理没有变化,取消了JGJ 138-2001第4.1.2条中的圆管及格构柱截面。

另外设计上值得注意的是,JGJ 138-2016第14.7.1条对柱上栓钉的设置要求比其他规范严格,仅“梁柱节点区上、下各2倍型钢截面高度范围”、“承受较大外加竖向荷载或附加弯矩的节点区的型钢柱翼缘部位”两条,就使得不加栓钉的部位有所限制。

以上是目下钢骨混凝土柱的3种计算方法,对于小偏压的常规H型、十字、□型钢骨混凝土柱是满足要求的,对于圆钢管的钢骨混凝土柱也是适用的。不过,圆钢管对核芯混凝土存在环箍效应,而且钢管内可以采用C60~C100高强度等级的混凝土,因此核芯钢管混凝土部分的承载力会比常规钢骨混凝土柱高很多。但是,怎么考虑这种效果呢?

工程建设协会标准《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》CECS 188:2005在总结多年的研究和工程实例上,提出了一种新的叠合柱计算方法(算法4):在计算结构位移和内力时,刚度仍采用简单叠加;在计算叠合柱配筋时,对钢管混凝土轴向刚度采用与承载力相一致的比例进行提高,使核芯钢管混凝土分担更多的轴向压力,从而可以减小外围混凝土承担的压力。

$$N_{co}=N-N_{cc} \quad (9)$$

$$N_{cc}=N E_{cc}A_{cc}(1+1.8\theta)/[E_{co}A_{co}+E_{cc}A_{cc}(1+1.8\theta)] \quad (10)$$

式中:

N:叠合柱的轴压力设计值;

$N_{cc}$ 、 $N_{co}$ :钢管混凝土和钢管外混凝土承受的轴压力设计值;

$E_{cc}$ 、 $E_{co}$ :钢管内和钢管外混凝土的弹性模量;

$A_{cc}$ 、 $A_{co}$ :钢管内和钢管外混凝土的面积;

$\theta$ :钢管混凝土的套箍指标。

这种计算方法计算将核心钢管砼承受更多的轴力,以减小钢管外混凝土的轴压力,增加其延性,对于小偏压叠合柱,有其合理性,也成功地运用在很多高层建筑设计中。但是,对于高烈度地震区的多层建筑框架柱,常常轴压力小、弯矩大,框架柱为大偏压构件,如果核芯部分减去更多的轴压力,钢管外的钢筋混凝土柱部分就会比不考虑钢管的有利作用、按常规钢骨柱计算的配筋大,甚至比按普通混凝土柱计算配筋大,呈现出明显不合理现象。

在大偏压混凝土柱计算中,轴压力对提高柱的抗弯承载力有很大作用,随着这轴压力的增大,柱抵抗弯矩的能力也增大。对于GB 50010-2010中公式6.2.17-1、2,对称配筋的大偏压柱可以简化为:

$$N \leq \alpha_1 f_c b x \quad (11)$$

$$M = Ne \leq \alpha_1 f_c b x (h_0 - x/2) + f'_y A'_s (h_0 - a'_s) = Mc + Ms \quad (12)$$

以截面为650mm×650mm的C40柱、对称配筋6#32为例进行计算,结果见表4。由表4可以看出,大偏压柱的轴压力可以大大提高柱的弯矩承载力,轴压力对柱弯矩影响很大,因此,设计中如何计算柱轴压力,将很大程度上影响着柱配筋计算。

表4 轴力对大偏压混凝土柱弯矩承载力影响

N(KN)	Mc (KN·m)	Ms (KN·m)	Mc+Ms (KN·m)	提高比例%
0	0.00	955.2	955	0.0%
500	290	955	1245	30.4%
1000	560	955	1515	58.6%
1500	809	955	1765	84.7%
2000	1039	955	1994	108.8%
2500	1248	955	2203	130.7%
3000	1438	955	2393	150.5%
3500	1607	955	2562	168.2%
4000	1756	955	2711	183.8%

## 5 按不同规范计算配筋实例

为比较这几本规范的计算差别,拿本工程中10号柱截面的控制设计内力按以上各种规范公式计算配筋,结果见表5。

预制叠合柱:柱截面650mm×650mm,钢管内外混凝土均按C40计算,Q345B钢管D299×14,柱配筋采用,柱计算层高H=7.0m。地震下组合内力:N=-1623kN,M<sub>x</sub>=1910kN·m,V<sub>y</sub>=586.7kN。

表5 按不同规范计算柱配筋对比

采用规范	YB9082-97	YB9082-2006	CECS 188:2005	GB50010-2010
计算配筋 Asx/cm <sup>2</sup>	47.34	44.10	65.25	60.65
相差	100.0%	93.2%	137.8%	128.1%

由表5可以看出,对于大偏压钢管柱的纵向配筋,YB 9082-2006算法比YB 9082-97更加经济,比按单纯钢筋混凝土规范计算则节省更多。而按叠合柱规范CECS 188:2005计算,甚至比按单纯钢筋混凝土规范还大很多,因此,CECS 188:2005对于大偏压叠合柱纵向配筋计算是不合理的,建议改进。

## 6 关于最大套箍指标与最小含钢率的指标限值

钢管混凝土叠合柱是我国自主创新的一种新型结构柱,承载力高,抗震性能好,耐火时间长,抗腐蚀能力强,在高层建筑中得到广泛应用,取得了很好的效益。在高层建筑中,这种柱截面一般在800~1200,钢管内混凝土基本采用现浇形式。如果将这种形式的柱做成预制柱,与长柱技术结合起来,将2~10层的框架柱做成一整根柱,即可广泛应用于一般多层建筑中,将大大扩大叠合柱的应用范围,提高建筑物的抗震能力,加快施工速度,同时施工现场会更加环保、绿色,对未来建筑将产生重要影响。因此,研究叠合柱的含钢指标对柱的承载力影响和配筋计算,推广预制叠合柱的应用,很有现实意义。

在本工程设计中,除了纵向配筋计算方式

外,我们还发现两个问题:

一是最小含钢率,YB 9082-2006第6.1.3条规定,“对于非抗震和三、四级抗震结构,不小于2%,对于一、二级抗震结构,不小于4%。”其他规范,如《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3-2010,均要求钢管柱含钢率不小于4%。对于叠合柱,CECS188:2005略微降低了要求,第6.2.12规定,“对于一、二级抗震结构,钢管混凝土的套箍指标不宜小于0.5,含管率不宜小于3%;对于非抗震和三、四级抗震结构,钢管混凝土的套箍指标不宜小于0.4,含管率不宜小于2%。”

二是钢管混凝土的最大套箍指标 $\theta$ ,根据《钢管混凝土结构技术规程》CECS 28:2012第4.1.8条,“套箍指标 $\theta$ 宜为0.5~2.5”,其后承载力公式均按此范围确定。在条文说明中指出,“套箍指标过小,则钢管对混凝土的约束作用不大;若套箍指标过大,则钢管壁可能较厚,不经济。”

在高层建筑中,这些指标都容易满足。但是,当将小截面钢管混凝土叠合柱用于多层结构中时,这些指标有时就很难满足。

例如,本工程中,柱截面为650mm×650mm,采用Q345B钢管D299×14,钢管内外混凝土均C40,框架抗震等级为二级,含钢率2.97%,略小于规范要求,套箍指标 $\theta=3.53$ ,又大于规范要求,如果将钢管内混凝土提高到C60, $\theta=2.45$ ,才基本满足要求。其实,C40从受力来说肯定是没有问题的;钢管壁厚再厚一点,改为D299×16、甚至D299×20,对框架柱肯定是有利的,也是可行的。

又如,柱截面为500mm×500mm,采用Q345B钢管D201×7,钢管内外混凝土均C40,框架抗震等级为三级,含钢率1.71%,套箍指标 $\theta=2.52$ ,均不满足现行规范要求。事实上,D201x7钢管混凝土短柱的受压承载力达290KN,完全可以支承3层楼房,如果500x500混凝土柱中增加这样一根钢管混凝土柱,抗震承载力肯定好多了。

再如,柱截面为500mm×500mm,采用Q345B钢管D140×5,钢管内混凝土采用C80,框架抗震等级为三级,含钢率0.85%,套箍指标 $\theta=1.56$ ,含钢率不满足现行规范要求。但是,D140×5钢管混凝土短柱的受压承载力达166KN,足可以支承2层楼房,如果500×500混凝土柱中增加这样一根钢管混凝土柱,抗震承载力也会很好。对于2~3层框架来说,是非常有利的,只不



过指标超过现行规范的范围要求。

因此,对于多层建筑,由于柱截面小,核心钢管就更小,如果采用钢管柱或者叠合柱提高其抗震能力,就有必要进行更深入的研究,将最大套箍指标提高,将最小含钢率减小,以满足工程实际的需求。

## 7 结语

钢管混凝土叠合柱是我国自主创新的一种新型结构柱,其承载力、抗震性能、防火、耐久等各项性能都非常好,如果做成预制长柱、应用于量大面广的多层建筑中,将大大提高建筑抗震能力,对未来建筑将产生重要影响。

通过本文的研究对比,得出以下结论与建议:

(1) 冶金工业部标准YB 9082-2006和建筑行业标准JGJ 138-2001对于常规  型、十字、 型钢骨混凝土柱,基本理论相当成熟可靠,是满足要求的,该规程对于圆钢管的钢管混凝土柱也是适用的。不过,圆钢管对核芯混凝土产生很大的环箍效应,强度增大系数 $\eta$ 为2~5;如果钢管内采用C60~C100高强度等级的混凝土,强度又比常规C40高1.5~2.5倍,因此总体上可以提高3~12.5倍,核心钢管的强度可以做得相当高,但该规程没有考虑这些有利因素。

(2) 工程建设协会标准CECS 188:2005的纵向配筋计算,考虑圆钢管混凝土柱的有利因素时,主要是针对小偏压柱,对于大偏压柱纵向配筋计算结果存在不合理现象,大偏压时不建议采用。

(3) 在叠合柱规范未调整之前,对于小截面钢管混凝土叠合柱在大偏压下的纵向配筋计算,如果暂时不考虑钢管混凝土的有利作用,按JGJ 138-2001或者JGJ 138-2016进行配筋计算,设计结果是偏于安全的。

(4) 对于多层建筑采用钢管柱或者叠合柱,其最大套箍指标和最小含钢率范围,亟待研究、调整改进,扩大使用范围,以满足工程实际需求。

(5) 对于多层建筑采用钢管柱或者叠合柱,尤其是在大偏心受压下的纵向配筋计算、节点构造等,亟待更多更深入的理论和试验研究,提出合理配筋计算方法。

(6) 对于叠合柱计算与设计,目前PKPM及YJK都没有区分钢管内外不同混凝土强度等级;YJK1.7.1版本开始增加了按不同期施工的叠合比 $m$ ,而PKPM则没有增加。因此,为了便于工程

设计采用叠合柱,也期待结构设计软件进行相应调整。

## 参考文献

- [1] 冶金工业部标准《钢管混凝土结构技术规程》YB 9082-97.
- [2] 冶金工业部标准《钢管混凝土结构技术规程》YB 9082-2006.
- [3] 建筑行业标准《型钢混凝土组合结构技术规程》JGJ 138-2001.
- [4] 建筑行业标准《组合结构设计规范》JGJ 138-2016.
- [5] 工程建设协会标准《钢管混凝土叠合柱结构技术规程》CECS 188:2005.
- [6] 工程建设协会标准《高层建筑钢-混凝土混合结构设计规程》CECS 230:2008.
- [7] 建筑行业标准《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ 3-2010.
- [8] 工程建设协会标准《钢管混凝土结构技术规程》CECS 28:2012.
- [9] 国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010-2010.
- [10] 《高层建筑钢结构设计》(第二版),陈富生,邱国桦,范重著.
- [11] 一种装配式框架带钢牛腿长柱及其施工方法,ZL201310527768.x,邹剑强,付桂宏.

# 博物馆类项目投资估算编制研究

■ 杨旸 [工程造价]

**摘要:** 博物馆具有典藏维护、研究、展示、教育推广等基本功能,是比较复杂的民用建筑。依据藏品的保护、展示的需求,对房间、设备提出了特殊的技术条件,需要保证投资估算的准确性,将建设资金控制在批复限额内,防止“三超”现象的出现。本文旨在通过分析博物馆类建筑的功能,总结出其不同于一般公共建筑投资构成的特点,为博物馆类项目投资估算编制提供指导和借鉴。

**关键词:** 博物馆;功能特点;投资估算

## 0 绪论

博物馆类项目作为一种对历史文物、自然标本和其他实物资料的收藏保管、陈列宣传和科学研究的机构,其特点就是以实物为基础,采用形象化方法,向人们传播科学知识、陶冶艺术情操。博物馆是人类文明发展的结晶和知识的宝库,更是人类文化的窗口,是人类不断发展过程中积累起来的文化金字塔。本文基于《博物馆建设标准(征求意见稿)》,结合自身参与项目的经历,通过对博物馆类项目功能特点的分析,从投资的角度分析博物馆类建筑与一般民用建筑投资构成的差异,为今后博物馆项目投资估算编制提供借鉴学习。

## 1 博物馆类项目定义与功能组成

### 1.1 博物馆项目的定义

博物馆项目主要是指供收集、保管、研究和陈列、展览有关自然、历史、文化、艺术、科学、技术方面的实物或标本之用的公共建筑,简单解释就是为藏品保管、陈列展览、文化教育及学术研究等业务活动而专门设计修建的城市公共

文化建筑。

### 1.2 博物馆项目的分类

博物馆项目的规模分为特大型、大型、中型和小型,其划分标准为预估藏品数量、预估观众年客流量和建筑面积。本文采用建筑面积来划分博物馆工程的规模。(详见表1)

表1 博物馆工程规模划分表

规模	预估藏品数量 (万件套)	预估观众年客流量 (万人)	建筑面积 (m <sup>2</sup> )
特大型	10~50	120~300	40001~100000
大型	5~10	50~100	20001~40000
中型	1~5	10~50	4000~20000
小型	<1	<10	0~4000

### 1.3 博物馆建筑的功能组成

博物馆项目的组成因馆藏的性质、规模不同而有差异,但根据博物馆的特性,主要分为4个区域:a.陈列区;b.藏品库房区;c.技术及办公区;d.观众服务设施区。

#### a. 陈列区

陈列区是博物馆对外开放的主要区域,主要由门厅、陈列室、展厅、教室、多功能厅、视听室等房间组成。门厅是博物馆人流集散的主要区

作者简介:杨旸,男,工程师,2015年毕业于中国石油大学土木工程专业,现就职于中航建设合约商务中心。



域,通常还会用做组织一些社交活动的场所。陈列室、展厅是博物馆的核心区域,用于举办各种专题性展览,因此在建筑的总面积中占有很大比例。现代博物馆为了向人们更好提供教育服务,还须配备适当规模的教室、讲演厅等。

#### b. 藏品库房区

藏品库房区主要由库前区和藏品库两部分组成。库前区主要由拆箱间、鉴选室、暂存库、消毒室、登录编目室、暂存库、周转库等房间组成,一般大、中型博物馆的各种用房配备齐全,小型博物馆通常将性质接近的工作室合并。藏品库主要是按藏品类别设置,所以通常会分为金属器具、陶瓷器、书画库、木器库等区分,有时也根据藏品的珍贵程度分别设置,有时也分为珍藏库、一般藏品库等。库房的建筑设计通常按藏品的性质、保管要求、珍贵程度等确定防震、防火、安防等级别要求,以及防潮防光等相应的措施。

#### c. 技术工作及行政办公区

技术工作区的组成主要依据博物馆的性质、规模而异。通常设有文物修复室、研究室、展陈设计室等房间,对于一些大、中型博物馆还会设有摄影室、文物保护实验室等。特殊的博物馆还会设有模型制作室,标本制作室等工作用房。

行政办公区主要包括有办公室、接待室、会议室、物业管理用房、职工食堂、设备机房等组成。

#### d. 观众服务设施区

由于博物馆日益趋向公众化,成为大众交流休息的场所,所以博物馆除了售票厅、游客服务中心、纪念品店、存包处、安检室、设备租赁房等常规房间外,大、中型博物馆还会设置咖啡厅、餐厅等房间。

## 2 博物馆类项目的特点

### 2.1 建筑结构特点

博物馆类项目不仅是一个文物收藏保护场所,它还是一座城市文化的体现,是城市内标志性建筑之一。受现代建筑设计理论的影响,博物馆类的建筑造型由传统的宫殿式逐步趋向于现代化、时尚化,同时,每一个设计师都愿意将自己的设计理念融入设计作品中,现代博物馆项目在造型、材料的选择上都有“新、特、奇”的特点。其次,博物馆的建筑层高与展厅面积的大小、展品的体量有着密切的联系,展厅面积大,

层高会相对高一些,面积与高度的比例相对更协调,所以博物馆的平面都不在同一标高,并且内部都有大柱网、大空间的特点。

博物馆内收藏的文物历史价值和社会意义重大,一旦损毁将无法挽回,所以结构设计要保证博物馆的结构在罕遇的地震下只遭受轻微损害或中等损坏。同时,为了保证参观舒适度和馆藏文物安全性,对交通等工业震动也有着更高的防护要求。所以,博物馆的结构设计时不仅要考虑地震对于博物馆的影响,同时还要考虑交通震动产生的影响。

### 2.2 工艺设备设计特点

博物馆的工艺设计是博物馆设计的核心内容。工艺设计的任务是按照博物馆的功能,为文物的收藏与保护、文物的展陈、文物的研究及社会教育与服务,提供系统的科学合理的解决方案,其目的是为博物馆的设计与建设提供基本的设想与要求。因此,也是建设过程中十分重要的环节。

### 2.3 通风空调系统

博物馆对于空气环境的要求在不同区域温湿度控制下的目的不同。如展厅、藏品库房有关的区域,主要以文物长久保存为优先考虑,而湿度对于文物的长久保存影响要大于温度的影响,所以博物馆温湿度的设计通常以湿度控制为优先原则。文物长期处在一定的气候中,已适应当地的气候条件,所以要从稳定的要求出发,控制温湿度的稳定性,会在库区设置环境参数监测装置,一般都采用独立的空调系统或局部添加恒温恒湿空调机组、温湿度调节设备等。对于办公区和观众参观区等区域,需要兼顾人员的舒适性,所以根据客流量对公众区域的温湿度影响,设置自动调节及空气中有害气体检测装置。

### 2.4 文物保护及安防系统

公安部发布的《文物系统博物馆风险等级和安全防护级别的规定(GA27-2002)》和国家质量监督检验检疫总局发布的《博物馆和文物保护单位安全防范系统要求(GB/T 16571-2012)》两个文件分别对博物馆的安防提出了具体要求,将博物馆的防护等级划分为三级,每一级都有具体的人力防范、设备防范和技术防范详细的要求。

### 2.5 消防系统

博物馆的消防系统除了满足相应规范的要求外,还要考虑所采用的系统、设施和设备不应对

藏品展品形成直接和潜在的威胁,博物馆藏品区应依据博物馆的规模及藏(展)品性质设置自动灭火系统及设备,一些收藏纸质书画、纺织品等库房应设置气体灭火装置。

## 2.6 智慧博物馆系统

智慧博物馆是近年来在数字博物馆的基础上发展起来的,它提供“物、人、数据”三者之间的双向多元信息交互通道。博物馆中的人、物的信息可动态感知,并通过网络汇集,借助物联网和云计算技术,实现对博物馆服务、保护和管理的智能化自适应控制和优化。以“人为中心”的信息传递模式,使藏品与藏品、藏品与展品、藏品/展品与保护、研究者、管理者与策展者、受众与展品等元素之间的联系真正达到智慧

化融合,充分运用互联网技术,提升博物馆的传播影响力。

博物馆建筑智能化包含信息设施系统、信息化应用系统、公共安全系统、建筑设备监控系统、博物馆信息管理系统、物联网藏品管理及展示系统等。

## 3 博物馆类项目估算编制重点

### 3.1 充分了解建设方意图

在做博物馆类项目的投资估算编制时,编制人员对于建设项目的规模、功能、标准、投资等方面的具体内容要与建设方反复沟通,虽然建设方在设计需求中会提出一个建设目标,但这个目标有时只是代表了建设方的意向目标,而博物馆工程属于

表2 博物馆智能系统表

智能化系统		特大型	大型馆	中型馆	小型馆	
信息设施系统	通信接入系统	●	●	●	●	
	电话交换系统	●	●	○	△	
	信息网络系统	●	●	●	●	
	综合布线系统	●	●	●	●	
	室内移动通信覆盖系统	●	●	●	●	
	有线电视及卫星电视接收系统	●	●	○	△	
	广播系统	●	●	●	●	
	会议系统	●	●	○	△	
信息化应用系统	多媒体信息显示和查询	●	●	●	○	
	语音导览系统	●	●	○		
	数字化博物馆网站	●	●	●	△	
	声讯服务系统	○	○	○	△	
	物联网藏品管理与导览	●	○	△	△	
公共安全系统	火灾自动报警系统	●	●	●	●	
	安全技术防范系统	安全防范综合管理系统	●	●	●	○
		入侵报警系统	●	●	●	●
		视频安防监控系统	●	●	●	●
		出入口控制系统	●	●	●	●
		电子巡查系统	●	●	●	●
		汽车库管理系统	●	●	○	○
		安防对讲系统	●	●	●	○
安全检查设施	●	●	○	△		
客流分析系统	●	●	●	△		
建筑设备监控系统(含能耗监测管理系统、自动照明控制系统和智能化系统集成)		●	●	●	●	
博物馆信息管理系统		●	●	●	○	
说明						
●	应设置					
○	宜设置					
△	可设置					

功能性特别强的建筑，里面包括各式各样的展陈设施、专业灯光照明、藏品的保护储藏等内容，这些设备设施的档次高低、设计方案不同、配置内容不同，都会对投资造成影响，因此在编制投资估算前，要主动与建设单位沟通，将设备的功能、档次、样式与建设单位确认清楚。其次，博物馆类项目是非经营性项目，属于政府投资的公益性工程，投资估算需要通过当地财政部门审核，如果对投资的编制内容与建设方沟通不清楚，过程中就会存在许多不必要的反复修改与调整。因此，如何能清楚地与建设方取得有效沟通，将建设方的需求了解清楚，对于编制人员十分重要，是编制好投资估算费用重要的一步。

### 3.2 与设计沟通各专业方案

建设单位都希望现代博物馆外观效果能体现当地独有的特色，而且每一个设计师也都会将自己的设计理念融入到设计作品中。其次，根据每一个博物馆的藏品不同、功能不同、定位不同等，内部配置的各专业系统也会不一样，所以，在编制投资估算时，编制人员不光要考虑满足建设单位的使用要求，同时也要根据设计方提供的设计方案因地制宜，编制各专业系统费用。

### 3.3 展陈内容、规模、标准

博物馆展陈工程是一个集艺术、科学、技术、工程等多项工作协作的复杂系统工程，不同于普通的室内装饰工程。两者从性质和目标的角度的区分，室内装饰工程的作用是美化环境，展陈目的是知识信息的传播；从两者的工作内容和工作规律上区分，室内装饰工程的主要工作内容是对于建筑物表面的装饰，而展陈工作则更侧重于观众之间互动，艺术创作和文物保护等工作。博物馆展陈工程费大概包括：展柜、展墙、展板、专业灯光、模型、展项控制、雕塑艺术等内容。以下是介绍几种博物馆常用的展陈设备。

#### 3.3.1 展壁与展墙

展墙主要分为两种：固定式展墙和液压可移动式展墙。

固定式展墙也称墙面固定式展壁，主要特点是耐火、防潮、不变形、不开裂、安装简便，多用于展厅的墙面，与装饰工程中的装饰板墙面类似。材质从内到外基本都采用层压结构，基层采用防火耐潮8—12mm LCF板，上附9—15mm高密度夹板，外附5—8mm进口软木板（图1），整体热压后一次成型。一块展壁的尺寸为标准

1220×2440×120mm，每m<sup>2</sup>价格在1500元左右。安装方式为展壁的背后要做轻钢龙骨支撑体系（龙骨属于精装修工程），然后再将展壁安装到龙骨之上，展壁外再满敷海基布面层并外刷乳胶漆，乳胶漆可以反复刷涂，可遮盖使用一定期限后产生的钉眼或变更展壁颜色。

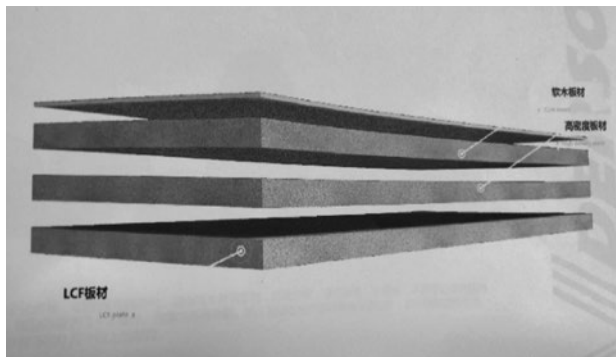


图1 墙面固定式展壁

可移动式展墙的特点是灵活多变，可以在展厅内各个地方使用，不受空间位置限制，可单独使用，也可几组一起拼接使用。展墙操作简便，底部配有可收缩式带刹车功能的万向轮，当展墙固定于地面可完全隐藏于展墙内部，使展墙完全固定于地上并不出现任何的移动（图2）。出于对展墙的安全性、稳定性、平整性的考虑，此展墙的底座由钢管制作而成，作为展墙和订挂展品后的全部承重底撑，内部框架由铝方通制作而成，以满足展墙订挂后的负荷要求。外部板材同展壁一样，从内到外基本都采用层压结构，外附9—15mm高密度夹板，外附5—8mm进口软木板，整体热压后一次成型，再满敷海基布面层并外刷乳胶漆，底部设可翻折式金属不锈钢踢脚板，踢脚线轻触翻折后，液压操作装置外露，可实现展墙的上下移动。移动展墙的尺寸为2500×2800×500mm，3m以上展墙厚度为600mm，每m<sup>2</sup>价格在2000元左右。

#### 3.3.2 抗震型壁柜

抗震型壁柜整体为金属结构，设计有抗震结构梁，主框架及基座为钢结构。壁柜玻璃多采用超白夹胶安全玻璃，边框材料多采用铝合金型材，壁柜的开启系统采用平推侧滑的机械结构。整体密闭型结构，气体交换率达20%/24h。安全性能方面配有防盗专用锁具，隐藏式安装，根据需要可以选配一些自动报警装置。照明多采用

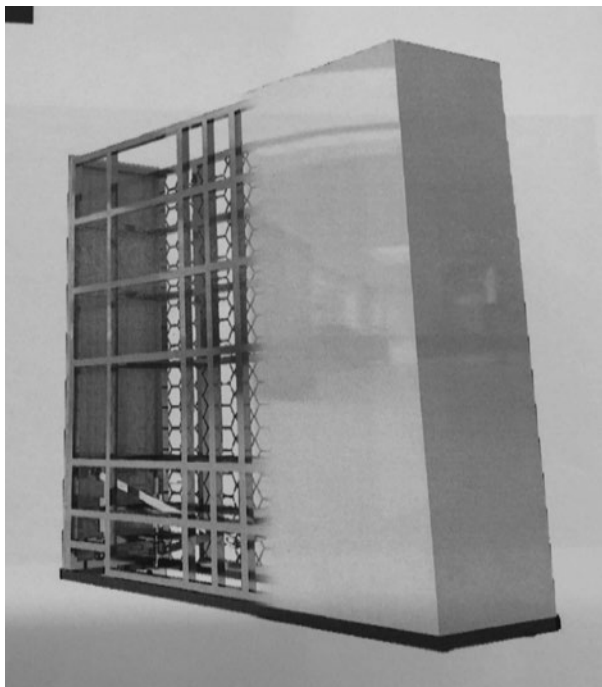


图2 可移动式展墙

LED和光纤照明，内部需设恒温恒湿系统。此类壁柜每m单方造价在35000元左右。

### 3.3.3 专业灯光照明

从建筑节能方面考虑，博物馆在一定条件下鼓励采用自然采光，但由于展厅设计有时无法满足自然采光的条件，因此展厅内的光环境需要专业设计，灯光设计的原则是使藏品不受损坏，观展时避免直接眩光和反射眩光，避免藏品在保存、展示的光环境中受到破坏。

### 3.4 数据的收集与调研

博物馆类项目由于地域、展品及定位的不同，相互差异性大，彼此费用可借鉴性小，因此对造价编制者的经验能力要求高，在编制投资估算时，除了参考类似项目的单方指标，还应结合本项目的自身特点，尤其一些特殊的工艺设备工程，如：展陈工程、专业灯具照明、智能化系统

工程等专业工程，都是由专业的厂家根据业主方和展品的实际需求单独设计及报价。在编制投资估算时，编制人员应多方面多角度去权衡，特殊的工艺设备费用要与建设方、设计人员多沟通，最终选择一个合理合适的费用。

在项目结束时，应该把这些特殊设计方案或工艺设备费用与其他专业工程费用相区分，对于做过的项目，根据不同博物馆建筑的不同需求，做分门别类的收集整理，通过长期的日积月累，寻找这些费用变化的规律，为新的类似项目投资编制时，不仅能提高费用编制做到准确性，还为相关费用编制提供资料支持。

## 4 与其他民用建筑投资构成对比

博物馆建筑与一般的民用建筑既有相同的地方，也有其独特的特点。表4中某博物馆工程位于我国西南地区，建设规模总建筑面积64946m<sup>2</sup>，总投资约68899万元，建成后预计年预计客流量220万人次，预计藏品量56万件。对比表中的办公楼工程，同样位于我国西南地区，主要以商业及办公楼为主，总建筑面积16970m<sup>2</sup>，总投资89108万元。

博物馆工程与一般民用工程两者在工程投资费用组成中，都是由建筑装饰工程、设备安装工程费用组成。而不同点在于，与民用建筑相比，博物馆建筑则还需要考虑结合博物馆类项目的特点，增加隔震工程、展陈工程和博物馆专用设备工程等工艺设备费用。

### 4.1 隔震结构工程费用

根据博物馆类项目防震隔震的要求，本项目的隔震设计将隔震层设于基础标高-22m，即基础隔震。与中间隔震相比，整个结构均有良好的减震效果，虽然维修会不方便，但更换时不影响建筑使用功能。同时为降低地铁引起的震动，在地铁邻近博物馆区间设置了隔震沟，本方案的投资

表3 西部某国家级博物馆改造工程中陈列室展品照度的标准值及年曝光量

类别	参考平面及其高度	照度标准值(lx)	年曝光量(lx·h/a)
对光特别敏感的展品：纺织品、织绣品、绘画、纸质物品、彩绘、陶(石)器、染色皮革、动物标本等	展品面	≤50	≤50000
对光敏感的展品：油画、蛋清画、不染色皮革、角制品、骨制品、象牙制品、竹木制品和漆器等	展品面	≤150	≤360000
对光不敏感的展品：金属制品、石质器物、陶瓷器、宝玉石器、岩矿标本、玻璃制品、搪瓷制品、法器器等	展品面	≤300	不限制

表4 投资与一般民用建筑工程投资的对比表

序号	名称	某博物馆指标		某办公楼指标	
		投资	造价指标	投资	造价指标
	建筑面积 (m <sup>2</sup> )	64946		169706.95	
	工程费用	68899.09	10608.67	89108.01	5250.70
1	结构工程	32284.79	4971.02	33564.08	1977.77
2	装饰工程	11472.87	1766.52	21650.78	1275.77
4	给排水工程	454.47	69.98	1232.70	72.64
7	消防工程	889.49	136.96	2142.85	126.27
8	通风空调工程	4798.82	738.89	6194.09	364.99
9	变配电工程	1243.77	191.51	2220.68	130.85
10	电力照明工程	2003.03	308.41	7148.53	421.23
11	弱电工程	2669.53	411.04	9522.11	561.09
12	电梯工程	557.80	85.89	1539.95	90.74
13	多媒体放映设备工程	1810.00	278.69	0.00	0.00
14	展陈工程	7150.00	1100.91	0.00	0.00
15	智慧博物馆系统	1764.60	271.70	0.00	0.00
16	隔震工程	1540.92	237.26	0.00	0.00
17	文物库房设备	259.00	39.88	0.00	0.00

费用与中间隔震投资费用相比减少约860万。

#### 4.2 展陈工程费用

本项目主要设置了基本陈列、专题陈列、常设交流展厅和临时展厅等四类展览厅。根据建设方对每个展厅的布展需求和功能需求,每个展厅的要求不同,如:地面铺设物的颜色须一致,不能反色变花,影响展陈效果。室内设施需要做吸音和隔音处理,避免四周墙壁、地面、吊顶的声音反射,以降低展厅内的混响时间,保持展厅安静和良好的声音环境等,项目投资7150万元。

#### 4.3 多媒体专业设备

现代博物馆工程设计中会设有影视播放厅、报告厅、放映厅等多功能房间,这些房间的放映设备、扩音设备、舞台灯光设备也属于专业的专业设备,本项目除了建设各类展厅与文物库房外,还设有学术报告厅、会议室、数字化多功能厅等。因此根据功能不同,设置多媒体会议环境,利用现代网络和数字多媒体技术实现现代化的会议及展示环境。投资费用1810万元,其中放映设备710万元,专用机械灯光设备1100万元。

#### 4.4 智能化系统

智能化系统设计的目标将计算机、通信、网络和建筑设备自动化等技术集成起来。把智能化系统中的各种应用功能组织成为一个统一体,并为系统今后的功能扩展留有充分发展余地,保证博物馆建设成为一座具有文物系统博物馆业务特

色的21世纪的智能化、数字化的博物馆。本项目智能化系统主要包含:通信系统、信息网络系统、楼宇设备管理系统、综合布线系统、以及建筑智能化系统。本项目该系统的投资费用约为1764.6万元。

#### 4.5 其他设备费用

在博物馆工程中,除了前述的几个项目外,还有些特殊的设备费用,如:进入库区前的风淋室、库房中设置的密集架、库区的安防门等,这些设备属于博物馆工程中独有的设备

设施,在编制工程投资时,要根据具体的设计方案,将相关费用计算到投资中,避免遗漏。

大中型以上的博物馆有时配置有文物修复、模型标本制作、实验、材料等设备,这些设备仪器的费用也需要与建设方落实沟通,确认是否要包含在投资费用中。

#### 4.6 其他工程费用编制

在其他工程费用中,除了与一般民用建设工程造价咨询规范约定的相关费用记取外,博物馆工程还有三项特殊费用需要记取:博物馆工艺咨询费、其他专项技术咨询费及上展准备费。

### 5 结论

博物馆工程造价分析旨在帮助造价人员了解博物馆工程的特点,在编制博物馆工程投资费用时,避免出现“重基建轻展陈”的现象,或者忽略一些博物馆应有的建设内容,使得在后期建设时顾此失彼,难以发挥应有功能的现象,博物馆工程的建设过程应与展陈工程同步进行,才能避免投资浪费的现象发生。

#### 参考文献

- [1] 《博物馆建筑设计规范》(JGJ66-2015)。
- [2] 《博物馆建设标准》(2016年报批稿)。

# 工业厂房空调工程造价指标研究

■ 崔秀云 [工程造价]

**摘要:** 建筑工程造价指标是项目投资决策的重要参考指标,也是项目成本管理的基础和关键。本文通过对工业厂房空调造价指标的研究,分析工业厂房空调系统的组成内容及影响造价指标的因素,并根据目前市场现状,明确研究方向和重点,结合工程实例进行分析,探索空调工程造价指标如何在投资估算中快捷准确地运用。

**关键词:** 空调工程; 造价指标

## 0 绪论

随着社会的进步,工业厂房的空调设计不但要满足实用要求,还要满足环保、节能等领域日益增高的要求。工业厂房建筑不同于一般的民用建筑,在进行空调设计的过程中,必须满足工艺生产要求,同时还要注意与消防、防爆、除尘、节能、结构梁柱、工艺设备、工艺管道等诸多方面统筹兼顾。不同类型的工业建筑,由于其工艺要求的差异性,导致空调专业方案和造价指标的差异性。本文通过对工业厂房的空调造价研究分析,探索今后的分析方向,完善空调造价指标,为空调造价估算的准确性、设计选型及方案比选提供帮助。

## 1 研究背景及方向

### 1.1 研究背景

住房和城乡建设部标准定额司发布的《工程造价行业发展“十三五”规划》立足工程造价行业特色,明确了“十三五”期间工程造价行业信息化发展的主要目标是构建多元化信息服务体系,加强对市场价格信息、造价指标、指数、工程案

例信息等各类型、各专业造价信息的综合开发利用,丰富多元化信息服务种类,鼓励企业及社会个体按照规定的计价规则及技术标准开展细微、精准的工程造价信息服务业务,适应云计算、大数据发展的需要,建立健全合作机制,促进多元化平台良性发展,引导社会力量建立面向特定行业、特定范围的造价信息服务平台,以BIM技术为基础,以企业数据库为支撑,建立工程项目造价管理信息系统,加强“互联网+”协同发展,促进造价从业人员计价方式改革,注重造价与设计、工期、施工的结合,提供合理确定和有效控制工程造价的精准度。

针对工业厂房等特定行业、特定范围的造价信息服务平台微乎其微。国外工程造价行业一直十分重视工程造价信息的收集和积累,他们设有专门的机构收集、整理各种造价信息,分析、测算各种工程造价指数,并通过工程造价信息平台提供给业界参考使用。

### 1.2 研究方向

统计数据是利用统计方法进行分析的基础,根据计量学的一般分类方法,按照对事物计量的精确程度,可将所采用的计量尺度由低级到高级、由粗略到精确分为4个层次,即定类尺度、定序尺度、定距尺度和定比尺度。

首先运用定类尺度筛选出要研究的厂房,

作者简介: 崔秀云,女,高级工程师,2014年毕业于北京航空航天大学经济学专业,现就职于航空工业规划动力工程设计研究院。

表1 工业厂房空调造价指标汇总表

项目名称	空调总造价(万元)	建筑面积(m <sup>2</sup> )	建筑面积造价指标(元/m <sup>2</sup> )	空调面积(m <sup>2</sup> )	空调净面积造价指标(元/m <sup>2</sup> )
锻造叶片机加厂房	593.72	25251	235	21395	278
综合机加厂房	2020.49	65459	309	57935	349
叶片锻造厂房	172.33	28828	60	3907	441
发动机装配中心	1662.09	35350	470	26038	638
特设实验厂房	117	6819	172	4145	282
整机喷漆机库	117	6746	173	3565	328
航空零件服务中心	677	13880	488	8200	826
预浸料生产厂房	927.31	15299	606	11120	834

再利用定序尺度进一步将厂房进行分类。为完善工业厂房特定范围的工程造价指标,本次仅选取对安装专业造价指标影响比较大的空调工程进行研究分析。根据已完成结算的项目,按建筑物类型、空调系统的分类进行造价指标分析,最终形成按空调系统净面积分析的指标。以此空调造价指标成果文件来看,不同工业厂房空调指标存在很大差异,同一个厂房建筑面积造价指标和空调净面积指标差异也各不相同,如表1所示。

从表1数据来看,不同工业厂房空调指标差异较大。空调造价指标单纯按建筑面积或空调使用面积分析的结论各不相同,如何在投资估算及项目指标分析中应用存在一定难度。本次研究主要依据现有数据库中已有的空调指标进行细化分析。

## 2 工业厂房空调造价指标特殊性分析

### 2.1 空调造价指标的定义和作用

工程造价指标以独立的建设项目、单项工程

或单位工程为对象,综合项目全过程投资和建设中的各类成本和费用,反映出其扩大的技术经济指标。本文所指空调造价指标是以单位工程为对象,反映空调工程所占使用面积的单方造价指标,包括空调工程总造价指标、建筑安装工程费指标、设备购置费指标,如图1所示。

空调工程造价指标是估算阶段合理确定项目空调工程投资的重要基础,同时为设计人员进行空调方案比选、优化设计方案提供帮助。

### 2.2 工业厂房空调造价指标影响因素分析

与民用建筑相比,工业厂房空调设计首先要满足工艺生产要求以及满足室内人员的舒适性要求,同时也要满足运行可靠、经济适用、节能减排等方面的要求。目前,如何降低工业项目的能耗、减少资源浪费、节约生产成本、科学合理进行余热利用,是空调设计的重点问题,也是影响空调造价指标的主要因素。

运用统计数据中的询问调查法可以获得影响因素的定性指标。询问调查是调查者与被调查者直接或间接接触以获得数据的一种方法,本文采用了问卷调查、座谈会、个别深度访问的方法调研得出了以下影响工业厂房空调造价指标的影响因素,如表2所示。

本文仅从已完工程数据库中选取典型项目,对工业厂房暖通工程中的空调系统造价指标进行研究。

利用现有工程数据库的数据,选取同类工业厂房项目,分为建筑安装工程造价和设备造价指标两方面进行分析,建筑安装工程依据工程项

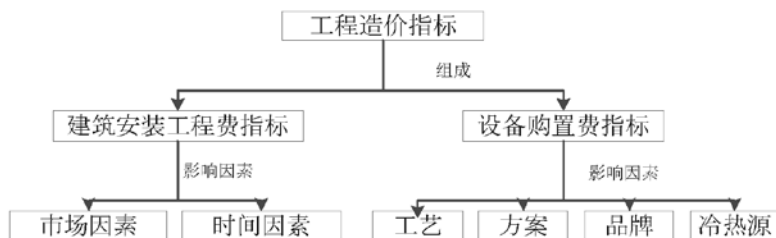


图1 工程造价指标分析图

表2 工业厂房空调指标影响因素

	影响因素	形式
工业 厂房	工艺要求	厂房分类: 机加厂房、锻造厂房、热处理厂房……
		冷热负荷
		洁净度、温湿度
		……
	空调方案 (不同功能区)	远程射流机组+组合式新风处理系统(一般适用于厂房等高大空间)
		风机盘管+新风空调系统(一般适用于厂房辅助间:如操作间)
		全空气精密空调系统(一般适用于有温湿度要求的检测间、试验间)
		变频多联式空调系统(一般适用于办公楼及厂房附楼)
		恒温恒湿空调系统(适用于机房等有特殊要求的场所)
		分体空调系统(一般适用于值班室、小弱电机房等对温湿度没有特殊要求,舒适度要求标准不高的场所)
		……
	主要设备选型	规格型号
		节能要求
		品牌档次
		……
	影响因素	形式
	冷热源形式	集中冷热源: 厂区设制冷换热站
独立冷热源: 厂房内设制冷换热站		
设备自带冷热源		
……		

目所在地建设工程定额及相应取费标准编制,人工、材料、机械价格均选用编制期当地价格水平。空调设备价格以国产价格水平为例进行研究。下面就各影响工业厂房空调造价指标的因素进行简要阐述。

#### (1) 工艺要求对空调造价指标的影响

与民用建筑空调工程相比,工业厂房的空调造价指标受工艺要求影响较大。工艺设备对温湿度及洁净度要求是空调设计的主要参数。工业厂房每个车间的工艺要求不同,生产过程需要的环境不同,冷热负荷不同,所需的空气洁净度、温湿度不同,这就决定了空调设计方案的不同。根据不同厂房的工艺要求进行空调方案比选,确定适合的空调形式。

#### (2) 空调方案的选择对造价指标的影响

空调系统一般是由空气处理设备和空气输送管道以及空气分配装置组成。根据厂房需要,可以组成许多不同形式的系统。就工业厂房而言,常用到的空调系统有分层空调方式(远程射流机组+组合式新风处理系统)、风机盘管+新风空

调系统、全空气精密空调系统、变频多联式空调系统、变风量(VAV)空调系统。不同空调方案的造价指标各不相同,方案类型、区域特点、适用区域如表3所示。

(3) 设备品牌标准对造价指标的影响

工业厂房的空调设计方案确定后,根据空调系统的空气处理方案,进行空调设备的选型。设备的选型和标准定位直接影响空调工程造价指标。空调设备的选型偏大,导致造价指标偏高。设备选型后还要初步明确能耗要求、品牌档次,这些因素直接影响空调的造价指标。

(4) 冷热源选择对造

价指标的影响

与民用建筑不同,工业厂房冷热源方案的确定是空调系统设计过程中的一个重要的决策环节,关系到项目的投资、运行费用、对环境的影响、能耗等重要问题。厂房是否自带冷热源直接影响空调的造价。

### 3 工业厂房空调造价指标研究

运用询问调查法筛选出影响空调指标的定性因素后,就需要运用定量的方法将指标进行进一步的筛选。为了分析空调造价指标,首先需要分析各变量值之间的差异状况,这就需要考察数据的分散程度,数据的离散程度越大,计划总趋势的测度值对该组数据的代表性就越差,离散程度越小,其代表性就越好。

表3 方案类型对比表

方案类型	区域特点	适用区域
远程射流机组+组合式新风处理系统	高大空间,分层空调	主厂房
风机盘管+新风空调系统	舒适要求	厂房辅助间、附楼
全空气精密空调系统	特殊要求	厂房辅助间
专用恒温恒湿空调系统	特殊要求	机房等特殊房间
变频多联式空调系统	舒适要求	附楼
……		



描述数据离散程度采用的测度值,根据所依据数据类型不同主要有异众比率、四分位差、方差和标准差。此外,还有极差、平均差以及测度相对离散程度的离散系数等。

极差、平均差、方差和标准差都是反映数据分散程度的绝对值,其数值的大小一方面取决于原变量本身水平高低的影响,也就是与变量的均值大小有关,变量值绝对水平高的、离散程度的测度值自然也就大。离散系数是一组数据的标准差与其相应的均值之比,是测度数据离散程度的相对指标,其计算公式为:

$$V_{\sigma} = \frac{\sigma}{\bar{X}} \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}} \quad (2)$$

$\sigma$ 是标准差,  $N$ 是样本数量, $\bar{X}$ 是样本平均值

### 3.1 工艺要求对造价指标的影响分析

每个厂房有不同功能区,根据工艺需求确定的空调设计方案也不尽相同,利用已完项目的结算造价资料对不同的功能区空调方案进行研究分析。例如洁净间的洁净空调指标分析、机房专用空调方案指标的分析、高大空间厂房的空调方案分析、特殊工艺要求的房间的空调方案分析等。

### 3.2 空调方案对造价指标的影响分析

#### (1) 空调方案造价指标对比

本文以机加厂房为例,从已完工程数据库中选取同类地区、类似厂房对比分析。对设备价格按同品牌、同档次进行了修正,具体分析如表4所示。

由表4可见,类似的工业厂房空调指标各不相同。厂房自设冷热源,指标偏高,在进行投资估算或初设指标分析时,要从设计方案、空调系统组成等方面综合分析。不宜按空调总造价占总建筑面积的单方平方米指标分析,这样的指标估算误差偏大。

#### (2) 空调方案造价指标分析

根据表4分析数据,进行进一步分析。按厂房

表4 类似厂房空调系统对比表

厂房名称	锻造叶片机加厂房	综合机加厂房	机匣加工厂房	
厂房概况	本工程由主厂房及辅楼组成,主厂房门式钢架结构,屋面梁下标高8m,建筑物高度10.55m;附楼钢筋混凝土与框架结构,共3层,局部4层。主厂房采用分层空调方式,在高度5.1m处设置远程射流机组,同时设置吊装式新风处理机组;辅助办公楼采用变频多联式空调系统,南附楼一层三坐标测量间单独设置一套变频多联空调系统,北侧投影间、南附楼弱电间与值班室设计了分体空调系统;北附楼组合夹具间、附件间、光学磨间与样板间设置风机盘管空调系统。冷媒采用7/12℃的冷水,热媒采用60/50℃的热水,空调水系统为双管制异程系统,空调水引自室外厂区管网。	本工程由主厂房及辅楼组成,主厂房单层网架结构,下弦标高8.5m,建筑高度13.15m;附楼钢筋混凝土与框架结构,共3层,局部4层。主厂房采用分层空调方式,在高度5m处设置远程射流机组,同时设置组合式新风处理机组;其他辅助间设置了风机盘管的空调系统。中小件成品检验间、盘轴检验间、工装检定间设置全空气精密空调系统。辅助办公楼采用变频多联式空调系统加新风系统。保密机房设计了机房专用精密空调系统,冷媒采用7/12℃的冷水,热媒采用60/50℃的热水,空调水系统为双管制异程系统,空调水引自室外厂区管网。	本工程由主厂房(生产区、辅助间、地下制冷站)、南附楼组成,主厂房门式钢架结构,屋面梁下标高8.5m,建筑物高度11.7m;附楼钢筋混凝土与框架结构,共2层。主厂房采用远程射流机组及新风机组;辅助间设计风机盘管集中供热制冷;附楼设计了自带冷热源的多联机空调系统;三坐标测量间设计全空气精密空调系统。冷媒采用7/12℃的冷水,热媒采用60/50℃的热水,空调水系统为双管制异程系统,空调水由本厂房动力站供给。	
建设地点	贵阳	贵阳	成都	
冷热源	厂区集中设置动力站	厂区集中设置动力站	厂房内设动力站	
建筑面积(m <sup>2</sup> )	25251	65459	15115	
空调使用面积(m <sup>2</sup> )	21395(占建筑面积84.73%)	57935(占建筑面积88.51%)	12704(占建筑面积84.05%)	
建筑面积造价指标(元/m <sup>2</sup> )	235	309	总指标	398
			不含冷热源指标	230
空调净面积造价指标(元/m <sup>2</sup> )	278	349	总指标	472
			不含冷热源指标	274

表5 机加厂房空调指标分析表

厂房名称	锻造叶片机加厂房					综合机加厂房					机匣加工厂房					
	功能分区	空调形式组成	空调面积(m <sup>2</sup> )	空调使用面积指标(元/m <sup>2</sup> )			空调形式组成	空调面积(m <sup>2</sup> )	空调使用面积指标(元/m <sup>2</sup> )			空调形式组成	空调面积(m <sup>2</sup> )	空调使用面积指标(元/m <sup>2</sup> )		
				建筑工程费指标	设备购置费指标	总指标			建筑工程费指标	设备购置费指标	总指标			建筑工程费指标	设备购置费指标	总指标
主厂房	远程射流机组+新风	16600	100	80	180	远程射流机组+新风	47160	101	105	206	远程射流机组+新风	8883	98	94	192	
辅助间	风机盘管空调系统	750	168	53	221	风机盘管空调系统	2160	167	63	230	风机盘管空调系统	1823	167	52	219	
附楼	变频多联空调+新风系统	3860	255	187	442	变频多联空调+新风系统	7720	275	304	579	变频多联空调+新风系统	1658	238	202	440	
特殊房间(中小件成品检验间、盘轴检验间、工装检定间)	无	\				全空气精密空调系统	580	750	1486	2236	全空气精密空调系统	340	735	1176	1912	

的不同空调系统拆分出各系统对应的工程造价,根据施工图计算出空调使用面积,最终计算各系统对应的分指标及空调总指标,如表5所示。

由表5中分析得出,同类厂房建筑安装工程费指标变化不大,使用时仅考虑时间因素、市场因素的影响即可。设备费的影响因素(设备选型、品牌标准等)对造价指标影响较大。由此重点分析空调设备对造价的影响。

1) 根据公式1、公式2及表4数据对空调总使用面积指标进行离散系数分析:

$$V_{\text{面积}} = \frac{\sigma}{X} = \frac{80.14}{366} = 0.219$$

2) 根据公式1、公式2及表5数据对各空调系统指标进行离散系数分析:

$$V_{\text{射流+新风}} = \frac{\sigma}{X} = \frac{10.62}{193} = 0.055$$

$$V_{\text{风机盘管}} = \frac{\sigma}{X} = \frac{4.78}{223} = 0.021$$

$$V_{\text{多联机}} = \frac{\sigma}{X} = \frac{65.06}{487} = 0.134$$

3) 结论:

$$V_{\text{面积}} > V_{\text{多联机}} > V_{\text{射流+新风}} > V_{\text{风机盘管}}$$

通过上述分析,以同类空调形式为分类的造价指标的离散系数小于单纯以空调总造价占空调使用面积为分类的造价指标。

根据表5中的数据分析出机加厂房各空调方案的平均指标,详见表6。

以上仅为示例,设备价格选用国产品牌。选取多个厂房分系统分析,得出的平均指标更为准确。对已完项目及时进行空调造价指标分析,为后续项目提供数据支持。

表6 机加厂房空调指标 (设备价格按国产品牌标准)

适用区域	方案	空调形式	空调净面积平均指标 (元/m <sup>2</sup> )		
			建筑工程费指标	设备购置费指标	总指标
主厂房	方案一	主厂房: 远程射流机组+新风	100	92	192
	方案二	风机盘管+新风	167	56	223
	方案三	全空气精密空调系统	743	1331	2074
附楼	方案一	变频多联空调系统	256	231	487
	方案二	风机盘管+新风	167	56	223

## 3.3 品牌标准对造价指标的影响分析

相同空调方案选用的设备品牌档次不同时, 造价指标不尽相同。设备选型后还要确定品牌档次。国产和进口设备价格相差悬殊, 所以在方案

估算时不能只强调平米单方造价, 一定要注意所参照的指标对应的空调设备标准。

以下对同类空调设备不同品牌标准进行价格分析, 详见表7所示。

表7 远程射流空调机组品牌对比

远程射流空调机组	单位	数量	品牌档次					
			低		中		高	
			单价 (元)	合计 (元)	单价 (元)	合计 (元)	单价 (元)	合计 (元)
以中档设备价格为基数分析品牌差异系数				0.59		1.00		1.47
远程射流空调机组TYS-2x2.5D 风量:5000m <sup>3</sup> /h 40.8冷 量:29.17KW 热量:59.6KW	台	120	5000	600000	8500	1020000	12500	1500000

表8 风机盘管品牌对比风机盘管

风机盘管	单位	数量	品牌档次					
			低		中		高	
			单价 (元)	合计 (元)	单价 (元)	合计 (元)	单价 (元)	合计 (元)
以中档设备价格为基数分析品牌差异系数				0.83		1.00		1.53
空调设备总价				49250		59000		90000
卧式暗装风机盘管42CE-008 风量: 1360m <sup>3</sup> /h 冷量:8.15KW 热量:13.57KW	台	25	1150	28750	1380	34500	1950	48750
卧式暗装风机盘管 42CE-006 风量: 1020m <sup>3</sup> /h 冷量:5.9KW 热量:9.84KW	台	25	820	20500	980	24500	1650	41250

表9 多联机品牌对比

多联机空调	单位	数量	品牌档次					
			低		中		高	
			单价 (元)	合计 (元)	单价 (元)	合计 (元)	单价 (元)	合计 (元)
以中档设备价格为基数分析品牌差异系数				0.70		1.00		1.40
设备总价				1344337		1921915		2690456
天花板内置风管式 (高静压型) 冷量:9KW 热量:10KW	台	4	3690	14760	6750	27000	9270	37080
天花板内置风管式 (高静压型) 冷量:8.4KW 热量:9.6KW	台	65	3444	223860	6300	409500	8652	562380

续表9

多联机空调	单位	数量	品牌档次					
			低		中		高	
			单价(元)	合计(元)	单价(元)	合计(元)	单价(元)	合计(元)
天花板内置风管式(高静压型)冷量:5KW 热量:5.6KW	台	11	2050	22550	3750	41250	5150	56650
天花板内置风管式(高静压型)冷量:4.5KW 热量:5KW	台	19	1845	35055	3375	64125	4635	88065
天花板内置风管式(高静压型)冷量:10KW 热量:11.2KW	台	22	4100	90200	7500	165000	10300	226600
多联分体空调室外机(冷媒R410a)冷量:96KW 热量:108KW	台	1	72000	72000	87840	87840	124800	124800
多联分体空调室外机(冷媒R410a)冷量:80KW 热量:90KW	台	2	60000	120000	73200	146400	104000	208000
多联分体空调室外机(冷媒R410a)冷量:68KW 热量:76.5KW	台	3	51000	153000	62220	186660	88400	265200
多联分体空调室外机(冷媒R410a)冷量:50.4KW 热量:56.5KW	台	3	37800	113400	46116	138348	65520	196560
多联分体空调室外机(冷媒R410a)冷量:50KW 热量:56KW	台	1	37500	37500	45750	45750	65000	65000
多联分体空调室外机(冷媒R410a)冷量:45KW 热量:50KW	台	1	33750	33750	41175	41175	58500	58500
多联分体空调室外机(冷媒R410a)冷量:40KW 热量:45KW	台	2	30000	60000	36600	73200	52000	104000
多联分体空调室外机(冷媒R410a)冷量:28KW 热量:31.5KW 电压:380V 功率6kW	台	1	21000	21000	25620	25620	36400	36400
多联分体空调室外机(冷媒R410a)冷量:130KW 热量:145KW	台	1	97500	97500	118950	118950	169000	169000
多联分体空调室外机(冷媒R410a)冷量:118.5KW 热量:132.5KW	台	1	88875	88875	108427	108427	154050	154050
多联分体空调室外机(冷媒R410a)冷量:113KW 热量:126.5KW	台	1	84750	84750	103395	103395	146900	146900

表10 恒温恒湿空调机组品牌对比

恒温恒湿空调机组	单位	数量	品牌档次					
			低		中		高	
			单价(元)	合计(元)	单价(元)	合计(元)	单价(元)	合计(元)
以中档设备价格为基数分析品牌差异系数				0.74		1.00		1.50
恒温恒湿空调机组 风量:9000m <sup>3</sup> /h 制冷量:40KW 电热量:24KW	台	2	89000	178000	120000	240000	180000	360000

表11 品牌档次系数

品牌档次系数	$\lambda$			
品牌档次	远程射流机组	风机盘管	多联机空调	恒温恒湿机组
高	1.47	1.53	1.4	1.5
中	1	1	1	1
低	0.59	0.83	0.7	0.74

表12 独立冷热源所占指标

厂房名称	锻造叶片机加厂房	综合机加厂房	机匣加工厂房	
冷热源	厂区集中设置动力站	厂区集中设置动力站	厂房内设动力站	
建筑面积(m <sup>2</sup> )	25251	65459	15115	
空调使用面积(m <sup>2</sup> )	21395 (占建筑面积84.73%)	57935 (占建筑面积88.51%)	12704 (占建筑面积84.05%)	
建筑面积造价指标(元/m <sup>2</sup> )	0	0	冷热源指标	168
空调净面积造价指标(元/m <sup>2</sup> )	0	0	冷热源指标	198

因此在空调指标应用时,根据指定的品牌档次,对空调指标进行调整。品牌档次调整系数如表11所示。

### 3.4 冷热源选择对造价指标的影响分析

由表4看出,冷热源选择对空调指标的影响很大。厂房采用集中冷热源、独立冷热源、亦或空调自带冷热源,相应的造价比重相差甚异。在进行工业厂房空调造价指标分析时,建议把冷热源及相关内容单独提取出分析,如表12所示。

空调冷热源方案设计是一个普遍性与特殊性相结合的问题,应在考虑具体设计特定条件的基础上对符合要求的各备选方案在总体上进行比较。比较本身就是一个相对的概念,为了对各备选方案进行比较,就需要有一系列性能指标、经济指标和实物指标。对方案进行比较时,首先要求这些指标是可比的,特别是代表方案价值的主要指标必须具有可比性。设计方案比选时,根据厂区所在地理位置、当地能源供应情况、厂区现状、厂房需求等因素,提出不同冷热源方案,如何快速分析出不同方案的投资,这就需要对已完项目进行数据积累、研究分析,找到一种科学、合理、简便的指标估算方法。本次研究不对冷热

源做进一步分析。

### 3.5 小结

#### (1) 模型建立

基于上述分析,综合考虑工艺要求、空调方案、冷热源选择、空调设备选型4个因素,可建立模型如下:

$$\omega = \sum_{i=1}^n (\lambda \alpha_i S_i + S_i \beta_i)$$

其中:  $\omega$ : 空调工程造价

$\alpha_i$ : i方案下空调设备费指标;

$\beta_i$ : i方案下空调建筑安装工程费指标;

$S_i$ : i方案下空调净面积;

$\lambda_i$ : 空调品牌档次系数。

在进行工业厂房空调费用估算时,首先根据工艺条件及建筑布局、空调方案匡算出不同空调系统的空调使用面积,根据工业厂房同类空调形式的空调净面积指标数据,按上述公式计算出厂房各系统空调费用即为本工业厂房的空调造价。

#### (2) 案例

##### 案例1:

某叶片加工厂房建设地点成都,建筑面积14600m<sup>2</sup>,结构形式为主厂房门式钢架结构,屋面

表13 验算结果

151B叶片加工厂房		建筑面积(m <sup>2</sup> )	空调造价(万元)
		14600	358
空调形式组成:	空调面积(m <sup>2</sup> )	建筑工程费指标	设备购置费指标
远程射流机组+新风	10177	100	92
风机盘管空调系统	703	167	56
变频多联空调+新风系统	1707	256	231
全空气精密空调系统	330	743	1331
151B叶片加工厂房与151A号厂房属同一园区,设备品牌相同,故品牌系数为1;建筑工程费指标和设备购置费指标查附表5数据。			
$\omega = \sum_{i=1}^n (\lambda \alpha_i S_i + S_i \beta_i)$		$\omega = (100 \times 10177 + 167 \times 703 + 256 \times 1707 + 743 \times 330) + (92 \times 10177 + 56 \times 703 + 231 \times 1707 + 1331 \times 330)$	
空调总造价 $\omega$ (元)		3,626,482	

表14 验算结果

215号叶片锻造厂房		建筑面积 (m <sup>2</sup> )	空调造价 (万元)
		28828	243
空调形式组成	空调面积 (m <sup>2</sup> )	建筑工程费指标	设备购置费指标
变频多联空调+新风系统	3442	256	231
215号叶片锻造厂房, 设备选用高档标准, 故品牌系数为1.4/0.7; 建筑工程费指标和设备购置费指标查附表5数据。			
$\omega = \sum_{i=1}^n (\lambda \alpha_i s_i + s_i \beta_i)$		$\omega = 256 * 3442 + (1.4 / 0.7) * 231 * 3442$	
空调总造价 $\omega$ (元)		2, 471, 356	

梁下标高8.5m, 建筑物高度11.7m; 附楼钢筋混凝土与框架结构, 共2层, 分为生产主厂房、南侧生产辅助用房、西侧生产辅助间。

空调方案: 主厂房采用分层空调方式, 在高度4.5m处设置远程射流机组, 同时设置吊顶式新风处理机; 厂房附属用房均设计风机盘管系统; 三坐标测量间设计全空气精密空调系统; 南辅楼的工艺用房、资料室、生产控制室、更衣室、门厅等房间设计了变制冷剂流量多联分体式空调系统(冷暖型), 采用环保冷媒。

工程造价原始资料数据: 空调工程施工图投标价为358万元; 根据施工图纸及表6机加厂房空调指标进行验算。

151B叶片加工厂房空调造价358万元, 公式计算结果363万元, 结果基本吻合。

#### 案例2:

某叶片锻造厂房建设地点贵阳, 建筑面积28828m<sup>2</sup>, 使用功能为大厂房(锻造部分, 热处理表面处理部分)及辅助办公楼。辅楼、最终检验室设计了变制冷剂流量多联分体式空调系统。其他区域不设置空调系统。

工程造价原始资料数据: 空调工程施工图投标价为243万元, 设备选用高档标准。根据施工图纸及表6机加厂房空调指标、表9品牌档次系数进行验算。

某叶片锻造厂房空调造价243万元, 公式计算结果247万元, 结果基本吻合。

## 4 结论

空调造价指标单纯按建筑面积或空调使用面

积分析得出的结论在应用中存在一定难度。本文对已有空调指标进行细化分析, 得出空调造价指标应综合考虑工艺要求、空调方案、品牌标准和冷热源选择4个因素的结论并建立数学模型, 以期能够在投资估算阶段更加快速的估算空调工程造价, 合理准确的为工艺、方案选择提供决策依据。

工程造价指标作为多方案比选、优化设计、合理确定投资额的重要基础, 其准确性是需要综合考虑诸多因素的, 本文仅研究了空调造价指标, 旨在提供一种分析思路, 为设备专业后续研究提供参考。

#### 参考文献

- [1] 建设工程建设工程计价. 柯洪 中国计划出版社[2017.5.7].
- [2] 中央空调节能及自动控制系统设计. 赵文成 中国建筑工业出版社[2018.8.1].
- [3] 统计学. 贾俊平, 何晓群, 金勇进 中国人民大学出版社[2018.1.1].

# 关于枢纽机场规划设计的思考

■ 王锋刚 (规划)

**摘要:** 随着我国民航运输业的持续发展,近10年来航空客、货业务量每年以两位数的比率增长,对民航基础设施的容量需求进一步增加,全国各主要机场均制定了新一轮的增容计划并付诸实施。在亲身经历中国民航大发展的同时,通过众多项目的积累,本文提出了一些设计经验,为国内枢纽机场的规划设计提供借鉴。

**关键词:** 机场规划设计; 民航基础设施; 航站楼设计

## 1 机场的动态特性

机场属于交通类基础设施,具有动态变化的特性,其动态性主要体现在以下两个方面:

### (1) 机场运营的动态性

对于枢纽机场,机场的运营对象涉及旅客、货物、飞机、地面车辆、轨道交通等,这些对象在不同区域均可形成流动的状态,如空侧的飞机流、航站楼内的旅客流、陆侧的车流等,这些对象流又在不同的节点实现相互之间的转换。另一方面,根据航班计划与运营组织,在不同时间点,其业务量水平也不一样,高峰期和非高峰期的运营情况体现在航站楼内的拥挤与空旷、飞行区飞机起降排队与延误、地面车辆的拥堵与通畅。由此可见,机场的运营直接体现了其动态性。

### (2) 机场发展规划的动态性

随着当地经济社会的发展,机场业务量需求呈不断增长的趋势,为适应这一动态发展规律,机场的保障能力也是动态变化的。因此,机场规划需要从动态发展的角度,着眼近、远期发展趋势,从机场发展战略的高度来做好规划布局,确保在不同阶段、不同业务量需求的情况下达到最具适应性的服务保障能力。

## 2 机场战略规划与总体格局

依据机场的功能定位,运用动态的思维制定其发展战略,从长远的角度分阶段进行规划。战略规划首先确定机场的总体格局,也就是确定机场的功

能结构,主要从以下几个方面来进行分析论证:

### (1) 机场与城市的关系

机场的发展要符合城市规划,避免相互矛盾,造成相互干扰和影响。另外,机场的主要客源方向是决定机场总体格局的重要因素,大量的地面交通流进离场方向对于航站区的位置、分布方式(尽端式或贯通式)都有重大的影响。

### (2) 核心区与其他功能区之间的关系

机场的核心区主要为飞行区、旅客航站区、货运区三大部分。这些区域直接为飞机、旅客及货物提供服务,是机场核心价值所在。三大核心区的布置存在着既相互独立、又紧密联系的关系。一方面,飞行区是飞机起降、滑行、停放的场所,是体现机场主要功能的区域;旅客航站区是为旅客服务的,旅客的进出有其特殊的工艺流程;货运区主要为货物服务,货物的到发也有相应的流程和规定。因此,三大核心区根据各自的特性需要相对独立布置。另一方面,三大区域之间又存在着紧密的联系,飞行区与航站区、货运区之间需要合理衔接,以保证空侧飞机运行区域的通达性;此外,航站区与货运区之间也存在着一一定的相关性,这是由于机场有一定的货物需要



图1 尽端式机场布局

作者简介:王锋刚,男,高级工程师,2007年毕业于中国民航大学交通运输规划与管理专业,现就职于中航建设民航工程设计研究院。

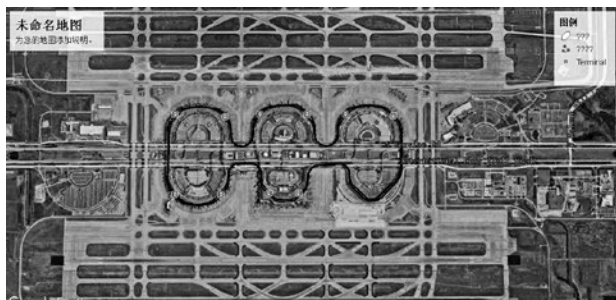


图2 贯通式机场布局

由客机腹舱载货,因而航站区与货运区之间也需要有地面交通的衔接,且为保证地面服务的时效性,航站区与货运区的规划需统筹考虑。

其他区域如航管、机务维修、航食配餐、机务场务、航空油料、消防救援、动力中心、垃圾处理等区域为生产辅助区,为核心区提供配套辅助功能,保障核心区的正常运营。根据核心区与辅助区的关系,辅助区的布置在距离、用地空间、是否临空等方面都有相应的要求。此外,驻场单位如机场公司、航空公司、海关、边防、检验检疫、公安等部门需要相应的办公区域和生活区域,这些驻场单位也需要一个相对独立的区域,为办公生活区;另外,为更好地开发机场的商业功能,需要配套建设宾馆、酒店、会议中心等商务功能区,可结合机场总体格局,合理规划布置商业区域,在不影响核心区和辅助区布置的前提下可集中规划,也可以分区规划。

### 3 数据分析的重要性

对于机场制定发展战略、规划设计、运营管理等各个方面来说,数据的统计分析及应用贯穿始终。

对于机场战略定位,如国家民航确定机场的等级、功能,以及机场确定各阶段发展目标,都需要依据航空业务量等数据来进行分析。如按“十三五国家综合机场体系”划分,机场的枢纽分类按照其“旅客吞吐量占全国比重”这一指标来规定,如表所示。

对于机场规划设计来说,各项数据的重要性不言而喻,从机场航空业务量指标、各项参数指标、各项设施指标等构成了机场规划设计的数据体系。机场各功能区内各类设施布置均依据相应的数据分析与计算。对于飞行区跑道滑行系统规划,首先需要分析预测目标年飞机起降量,结合跑道系统容量来决定各阶段跑道规划方案,在此基础上,合理规划相应的滑行道系统,做到飞行区系统规划随着业务量水平的变化灵活建设;对于航

机场分类表

枢纽类型	旅客吞吐量占全国比重	国际旅客吞吐量占全国国际旅客吞吐量比重	机场群体
大型枢纽机场 (国际性枢纽)	>1%	>5%	国际旅客吞吐量累计占全国 60%以上
中型枢纽机场 (区域性枢纽)	>1%		旅客吞吐量累计占全国 80%以上 (大型 + 中型)
小型枢纽机场 (地区性枢纽)	>0.2%		旅客吞吐量累计占全国 95%以上 (大型 + 中型 + 小型)
非枢纽机场	<0.2%		旅客吞吐量累计占全国 5%(非枢纽)

站区规划,航站楼的规模、内部流程设施的数量配置、各功能区面积的大小,以及对应的空侧机位数量、机型组合、近远机位分布,陆侧车道边长度、场内道路车道数、停车场规模等均以机场航空业务量为基础,在此基础上计算高峰期设计参数并计算相应的设施数量和功能规模。对于其他方面,如货运区内货运库规模、货机位数量、货运停车场大小、占地面积等均依据机场货运吞吐量指标,进而计算各项参数指标。

由于机场的动态运行的特点,机场规划要充分考虑规划设计方案在实施过程中的效果,需要计算机场运行中的一些关键数据,如机场整体容量水平、飞机进出港平均地面滑行时间、航班平均延误等待时间;地面交通流量、车速、车道边周转情况;旅客在航站楼中的步行时间、通关效率、排队等候时间等。这些参数是验证机场运行效率和服务水平的重要数据,其获得方式通常需要借助仿真工具验证得出。

### 4 飞行区与航站区的关系

飞行区是机场的主要区域,是飞机起降、滑行和停靠的区域,飞行区的容量和运行效率水平决定了机场的保障能力。航站区是机场的核心区域,是旅客集散和转换空陆侧交通方式的节点。对于这两大区域在机场规划中如何布局,如何处理好两大功能区的相互关系,做到空侧飞机运行高效、旅客流程顺畅无瓶颈、陆侧交通流线清晰便捷,是机场规划的核心工作。

飞行区与航站区首先应考虑飞行区运行问题,



应尽可能减少起飞飞机的滑行距离,能够使降落飞机滑行顺畅,尽快到达指定位置,并减少起飞航班流和到达航班流在地面滑行的交叉与冲突。

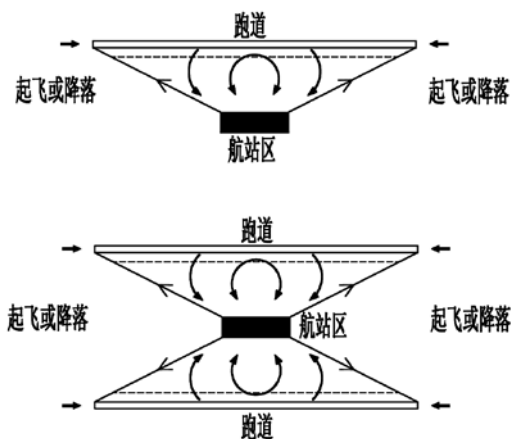


图3 飞行区与航站区关系示意图

在通常情况下,对于单跑道机场,航站区通常偏向于跑道主降端一侧;对于远距双跑道机场,主航站区居于跑道中央位置;对于近距双跑道机场,航站区可分置于飞行区两侧;对于多跑道机场,主航站区应设于跑道中央位置,辅助航站区可在外围设置。总之,航站区与飞行区需有紧密的衔接关系,航站区应能够充分利用跑道的空侧面布局滑行道路与停机坪,使两者运行重心相互融合,避免重心偏移造成运行上的缺陷,如滑行时间长、流线交叉、普遍延误等。

## 5 航站楼构型

航站楼是机场的核心设施,其规划设计的合理与否,与机场空、陆侧运行效率高低密切相关,是决定机场能否实现长远发展和战略目标的关键。因此,航站楼构型设计是机场航站区规划的核心内容。

目前,由于很多设计者缺乏对机场运行的认知,在设计航站楼构型时,往往局限于构型本身的设计,方案多样化且有很多新意,但通常不能融入机场总体规划,设计的航站楼构形置于机场总平面中不够协调,站坪运行效率不高、调度困难,与跑道滑行道路系统的结合不够顺畅,导致飞行区运行中线路复杂,等待拥堵点较多,高峰期产生严重瓶颈;而陆侧交通混乱,车道边长度不足,各航站楼衔接困难,车辆流线不清晰,陆侧空间狭小等问题。由于空、陆侧不协调,导致了机场整体设施容量不平衡,从而导致机场不能发挥其最佳的运行效率和容量水平。如某些机场建造了大体量的航站楼,但

实际运营却难以达到其设计容量。

航站楼构型设计,一定是在机场战略规划明确、功能格局清晰、各项数据指标计算合理、飞行区构型及跑道运行模式确定的基础上进行的,这样才能设计出符合机场运营与可持续发展的最佳方案。

就航站楼构型来说,随着机场的更新换代,由小型机场逐渐发展到超大规模机场,传统的工艺流程逐渐发展为智慧化流程,特别是结合我国近20年来枢纽机场建设发展,其构型模式大体经历了小型前列式(或小型指廊式)构型——大前列式(多指廊式)构型——大港湾式(卫星厅)构型这一典型的演变过程。在不同的历史时期,对应不同的航空业务量水平,随着机场航空业务量的不断增长,航站楼构型设计评价从最初的以用地经济性、近机位比例、建筑形象等为主要指标,一直演变为现阶段以机场运行效率、高靠桥率、高保障率等为主要指标,可以说机场越建越大,其功能优先、效率优先的理念贯彻在机场规划的全过程。

## 6 未来机场发展展望

目前,枢纽机场的建设发展以大规模基础设施建设为主,包括建设多跑道系统、超大型航站楼等。基础设施的建设,确实能解决机场业务量不断发展的需求,从规模上增加空、陆侧容量,也能提高机场的服务水平;但另一方面,基础设施的大规模建设,势必会带来人力、物力及土地等各种资源的大量投入,且超大规模的单体航站楼建设能否达到对应的设计容量,还存在较大的不确定性。

结合未来科技发展趋势,机场容量水平的提升可以通过改善现有运营管理模式,打造智慧化工艺流程,运用大数据技术实现运营各方的协同运作,以旅客、货物为基础,在地面交通、航站楼流程、航班计划、空侧调度、空域协调等各方面实现信息共享,使航空运输各个环节紧密衔接,高效运转,从本质上提升机场的运行效率和容量水平。

## 7 结语

机场的规划建设,应围绕“四个机场”的建设目标,努力做到平安、绿色、智慧、人文。一个好的机场规划应能够适应机场的战略发展目标,能够灵活应对机场未来发展的各种可能性,能够满足民航技术更新换代。

# 雨水控制技术在机库及机坪排水系统改造中的应用

■ 陈洁如 闫慧 [给排水]

**摘要:** 本文通过对某建成地势低洼机库及库前机坪大雨时被水淹后的成因分析,借鉴海绵城市的设计概念,应用雨水控制技术对机坪排水系统进行改造,并通过改造方案的实施进一步探讨针对大门跨度大且敞开、不透水面积大的机库及机坪场地,当地势处于低洼地区时,设计应有应对极端天气的前瞻性,预先考虑到“蓄排接合”等防止建筑水淹的有效的雨水控制排水方式,达到从源头上杜绝此类问题的发生的目的。

**关键词:** 雨水控制技术;机库及机坪;蓄排接合;流量径流系数

## 1 前言

机库类建筑通常为方便飞机进出,机库大门跨度一般较大且平时敞开,机库大厅和大门库前停机坪地势顺接,室内外无高差。飞机活动区均属于硬化地面,雨水无法考虑入渗,加之机库及库前坪汇水面积巨大,因此产生的雨水排水量可观,不利于雨水的减排和控制,雨水对机库大厅的威胁随之加剧。当机库地势还处于低洼带时,如果对排水系统的考虑不足,就会发生本文中的水淹事件,造成巨大的经济损失。

因此,作为设计者,应针对该类情况制定有效的雨水排水技术方案,接合《建筑与小区雨水控制及利用工程技术规范》GB50400-2016(以下简称《雨水规范》)和海绵城市雨水控制技术

倡导的“渗、滞、蓄、净、用、排”等措施,把雨水排放调节至可控的范围内,降低对下游排水环境的影响,杜绝雨水对此类建筑的伤害。

## 2 工程概述

深圳机场某航空公司维修机库,飞机维修大厅面积为8293m<sup>2</sup>,大门跨度100m,机库前为深圳机场现有停机坪,所有飞机活动区域包括机库大厅和库前停机坪均为硬化路面。机库于2016年建成,在即将投入使用前夕,遭遇深圳地区几次大规模降雨,由于深圳机场总排口调蓄能力有限,造成位于排水系统最上游的机库前机坪排水沟溢流严重,加之机库大门未及时关闭,机库大面积进水,发生水淹事件,包括机库大厅电气地井均被淹没。如果此时机库已经启用,后果不堪设想,可能会带来安全事故和经济损失,当时情况如图1所示。

作者简介:陈洁如,女,研究员,1995年毕业于北京建筑工程学院给排水专业,现就职于中航建设机场规划设计研究院。

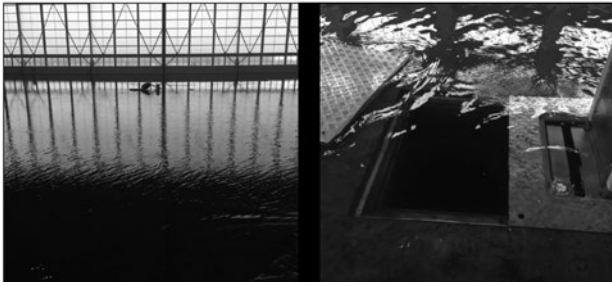


图1 现场照片

根据上述情况,设计院工作人员立刻赶赴现场,进行机库防水淹的改造方案设计。由于机库已经建成,机库前为机场现有停机坪,所有飞机活动区域包括机库大厅和库前停机坪均为不透水路面,硬化性质无法改变,加之短时间内地势改造难度较大,因此本次改造的重点是增加可行且施工周期短的雨水排放及调蓄手段,及时应对深圳地区进入雨季后类似事故的再次发生。

### 3 现状调查分析

要处理和雨水相关的问题,必须了解包括气象参数,现有排水设施,下游排水能力等诸方面因素。只有认真做好现状调查分析,才能明确切实有效的应对手段。经现场踏勘,总结出以下几点出现事故的原因:

#### 3.1 原因一:设计参数与极端天气不匹配

机库分别在2016年4月24日、5月3日、5月10日、5月20日发生了4次不同程度的进水,尤以5月3日的那次进水最严重,这4次进水的全天雨量统计如表1所示(时间均为北京时间,单位均为mm,表格中每小时降雨量为估算值,由机场气象站提供)。

根据表1可知,全天累计降雨量最大值出现在5月20日,为90.2mm/d。由于前几次进水已有防范意识,大门关闭,因此该次进水不严重;而最

大小小时降雨厚度出现在5月3日15时,为58.4mm/h,也是进水最为严重的一次。根据深圳机场气象站提供的降雨资料,深圳机场近10年最大小时降雨厚度为101.9mm(2014年3月30日18时),对比《给水排水设计手册》第1册中7.3气象资料,深圳地区1h最大降雨厚度为99.4mm,统计年限为1951~1980年30年序列,小于深圳机场近10年最大降雨量,说明随着近年来气候异常的发生,降雨强度有不断增大的趋势,因此,针对本机库、机坪处于低洼地区,设计阶段采用5年重现期计算雨量就显得估计不足。

#### 3.2 原因二:库前排水沟过水断面流量计算过于乐观

库前停机坪汇水面积约3.2万 $m^2$ ,地势均坡向机库前排水沟,排水沟为机场排水沟起点,接入机场排水箱涵。排水沟宽1.2m,深0.9m~1.3m,按有效水深0.7m计算的沟排水能力1263L/s,满足机坪5年重现期汇水流量1136L/s的要求。

但是根据现状调查,由于排水沟中途拐了4道弯,拐弯处过水断面受过梁的影响有所折减,有效水深大约在0.4m左右,雨水流量仅592L/s,因此产生雨水溢流。由于排水沟太靠近机库,机库大门敞开,溢流雨水全部排入机库。现有排水沟位置详见图2所示。

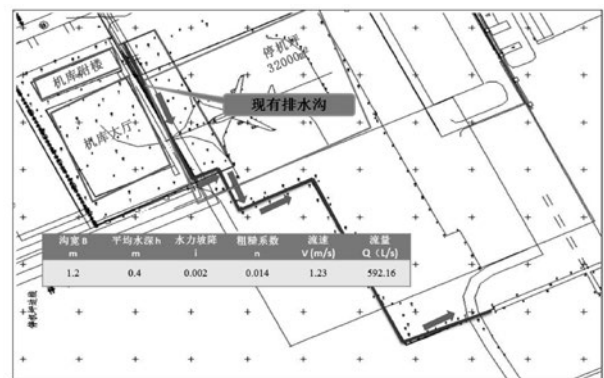


图2 现有排水沟位置图

表1 4次进水全天雨量统计表

日期/时间	0时	1时	2时	3时	4时	5时	6时	7时	8时	9时	10时	11时
4月24日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5月3日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5月10日	0	0	0	0	0	24.4	40.6	0	0	0.1	2	1.2
5月20日	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
日期/时间	12时	13时	14时	15时	16时	17时	18时	19时	20时	21时	22时	23时
4月24日	0	0	25.4	27.5	0.5	0.6	0.6	0.5	0.7	0.3	0	0
5月3日	0	0	0.2	58.4	0	0.5	2.8	4	2.2	1.5	0.6	0
5月10日	0.5	0	0	0	0.7	0	0	0	0	0	0	0
5月20日	1.4	9.1	2.7	11.4	53.3	0.1	0.4	2.6	3.3	2.7	1.9	1.3

### 3.3 原因三：下游不畅造成上游涌水

经现状调查，深圳机场地处沿海，雨水最终外排入海中。排出口设置调蓄水体，采用自排和强排结合的方式，在排水口设置雨水泵站。为防止海水倒灌，暴雨时闸门关闭。暴雨后开启闸门和提升水泵外排入海。现场发现，在机库被淹的同时，深圳机场其他地块都出现不同程度的积涝现象，而且暴雨之后，当机场总排口开启时地面积水迅速排走，说明机场排涝设计前瞻性考虑不足，排水系统和末端调蓄规模不能满足极端天气的雨水调蓄量，造成上游雨水无法排放，形成内涝。因此，本场排水系统的设计需考虑暴雨时下游市政排水不能满足本场排水的情况。一般情况下，设计师往往只关注红线范围内的管线设计，但对于雨水系统必须了解其总排口的情况方能作出准确判断。

## 4 工程改进方案

针对上述现状分析原因，参照《雨水规范》的雨水控制技术措施，并接合本工程现状和机库机坪的特殊性，设计者最后把雨水控制技术手段中的“蓄、排”作为改造方案的重点手段，改造措施具体分以下几步：

### 4.1 调整设计参数

为保证此次改造能保障机库抵御更强的降雨，需对极端降雨情况设有余量，考虑本机库及机坪地势标高均处于低洼带，可参照下沉式广场设计，故本次采用50年设计重现期，采用深圳地区暴雨强度公式 $q=975 \times (1+0.745LgP) / t^{0.442}$ 。

式中： $q$ ——设计暴雨强度，L/s.ha；

$t$ ——降雨历时，min；

$P$ ——设计重现期，取值50a。

根据上述公式，计算出机坪汇水流量为2555L/s。

### 4.2 新建排水沟

现有库前机坪排水沟距离机库太近，溢流雨

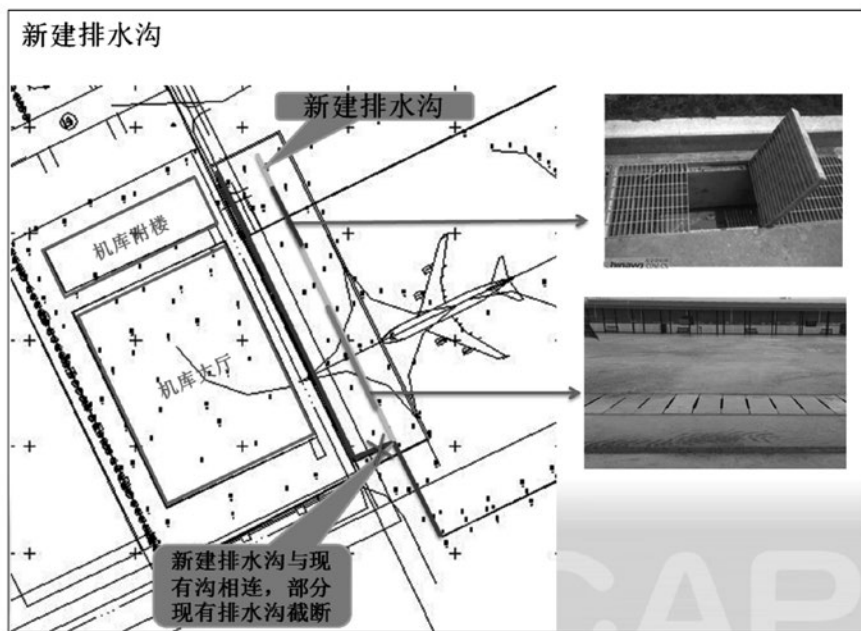


图3 改造示意图

水很容易排入机库，且进入下游排水沟拐弯太多，加之排水沟建成时间较长，沟底淤积严重，过水断面减少。基于上述因素，本次为机坪新建一条截水沟，距离机库大门30m，新建沟净宽1.2m，非飞机活动区采用钢篦子盖板，平均净沟深0.7m，沟排水流量1263L/S。改造示意如图3所示。

新建排水沟直接与下游排水沟顺接，减少两个拐弯。机库与排水沟之间30m地坪做坡坡向新建排水沟，为增加雨水集水面积，非飞机活动区域设置钢篦子盖板。新建沟及采用的钢篦子盖板需满足F900荷载等级。经计算，排水沟排水能力1263L/s，本文定义为Q1。

### 4.3 新建雨水溢流调蓄水池（内设雨水提升装置）

新建排水沟的排水能力按保守估计只能解决机坪一半的排水，剩下排不及的雨水根据雨水控制技术的设计概念进行调蓄消峰储存。本次在现有库前排水沟的末端新建一座调蓄水池。针对本工程的实际情况，为杜绝机库进水，需尽快排出雨水，要考虑降雨时除了调蓄也要强排，因此采用“蓄排结合”的方式设置调蓄水池。

#### 4.3.1 调蓄水池设置雨水提升装置

经方案比较，最终确定水池内设有潜水提升泵3台，每台泵流量 $Q=400\text{m}^3/\text{h}$ ， $H=30\text{m}$ ， $N=45\text{KW}$ ，泵采用液位控制启、停，3台泵根据不同水位启动，雨量最大时3台泵同时启动。压力排水管接至下游货运站开敞式排水沟内，汇流入

表2 进出水平衡计算表

降水历时 (min)	暴雨强度 (l/s.ha)	汇水面积内流量 l/s	10min降水总量 (m <sup>3</sup> )	排出总量Q3 (m <sup>3</sup> )	调节容积	水池调节容积
0~10	798.39	2554.8	1532.9	937.8	595.1	
10~20	587.7	1880.7	1128.39	937.8	190.59	
20~30	491.28	1572.1	943.25	937.8	5.45	
30~40	432.62	1384.4	830.62	937.8	-107.18	791.14
40~50	391.98	1254.3	752.61	937.8	-185.19	
50~60	361.63	1157.2	694.34	937.8	-243.46	
小时合计		9803.5	5882.11			

表3 各降雨历时雨水量估算表

历时 min	各时段降雨厚度 mm	累计降雨厚度 mm	场地径流流量 L/s	累计径流量 m <sup>3</sup>	排水沟外排水流量 L/s
5	17.315	17.315	1663	499	0
10	15.43	32.745	1480	943	0
15	13.91	46.655	1337	1344	980
20	12.365	59.02	1187	1700	887
25	10.765	69.785	1033	2010	733
30	10.265	80.05	983	2305	683
35	9.1	89.15	877	2568	577
45	8.83	106.81	847	3076	547
60	7.76	130.09	747	3747	447
90	6.385	168.4	613	4850	313
120	5.75	202.9	553	5844	253
合计	202.9				

新建雨水溢流调蓄池（内设雨水提升装置）

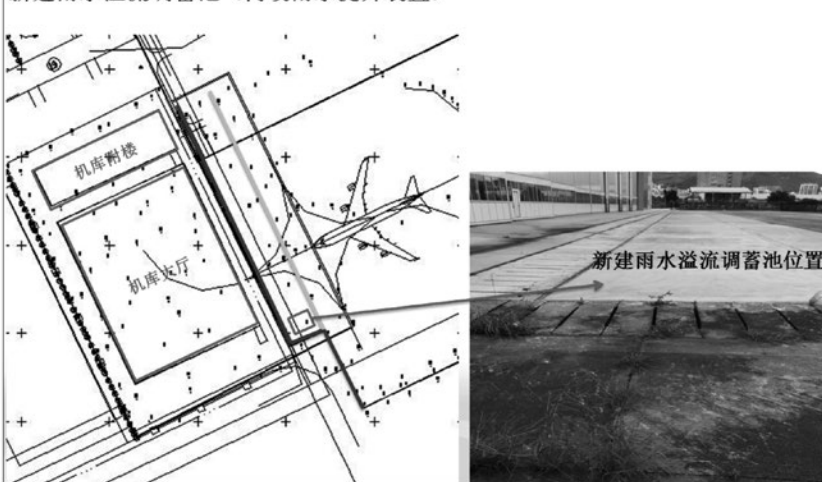


图4 改造示意图

附近跑道排水明沟，大大缩短了排入下游的距离。按强排水量300L/s考虑，本文定义为Q2。因此，通过“排”的手段可排除的水量： $Q_3=Q_1+Q_2=1263\text{L/s}+300\text{L/s}=1563\text{L/s}$ ，每10min排除水量为：

$$W_{\text{排}}=1563\text{L/s} \times 10\text{min} \times 60\text{s}/1000=937.8\text{m}^3。$$

#### 4.3.2 调蓄水池容积计算

调节容积按每10min一个时间段计算，随着雨量的不断衰减，当降水总量 $\leq$ 排出总量时，所有雨水可直接排出，不需设置调蓄

水量, 进出水平衡计算详见如表2所示。

根据表2所示, 30~40min内, 平均流量1384.4L/s, 累计雨量为830.6m<sup>3</sup>, 该时段雨水量小于排水能力, 可以及时排除。之后雨量会继续衰减, 都可及时排除。结合以上计算结果分析, 调节水池只需满足前30min总调节水量791m<sup>3</sup>和最大泵20min的滞留雨量120m<sup>3</sup>就可满足要求, 故调节容积=791+120=911m<sup>3</sup>。

本次采用钢筋混凝土地下水池1座, 长24m, 宽20m, 深4.4m, 有效容积960m<sup>3</sup>。水池位于新旧沟之间, 机库门库前, 与大门前现有雨水沟相连, 现有雨水沟的排水全部汇入水池。改造示意详见图4所示。

## 5 应用雨水控制技术对新建排水系统进行校核

为验证上述蓄排结合的手段对场地雨水的控制有效, 笔者采用了另一组数据对本次排水系统进行校核, 数据取自《深圳市暴雨强度公式及查算图表(2015年版)》中附表1: 深圳市7个重现期下77种特定的t,P组合暴雨强度查算表, 利用表中50年重现期暴雨强度对本工程进行了验算。

### 5.1 雨水径流总量估算

#### 5.1.1 各降雨历时雨水量估算

#### 5.1.2 外排雨水径流总量

$W=10\phi zchyF$ —调蓄设施总容积, 其中:

W——径流总量, m<sup>3</sup>;

$\phi zc$ ——雨量综合径流系数;

$hy$ ——2h设计降雨量, mm; (根据上表, 为203mm)

F——汇水面积, ha。

因此, 累计外排水量 $W=10\times 0.9\times 203\times 32000\div 10000=960=4886.4\text{m}^3$ , 降落到3.2万m<sup>2</sup>的机坪上, 理论上相当于排放了平均降雨厚度152.7mm的雨水, 大于4次进水的最大日降雨厚度, 因此证明选用暴雨重现期50年设计排水系统是富有余量的。

### 5.2 消峰率估算

由表3可知, 场地外排雨水峰值流量出现在15min, 为980L/s (强排流量300L/s为本次蓄排控制手段, 不包括在内); 降雨峰值流量出现在第5min, 为1663L/s。

削峰率=外排雨水峰值流量/场地径流峰值流量=980/1663=59%。

### 5.3 重力外排雨水流量径流系数

$$\begin{aligned} \text{降雨峰值流量} &= 10 \times h_{5\text{min}} \times F \times 1000 / 5 / 60 \\ &= 10 \times 17.32 \times 3.2 \times 1000 / 5 / 60 = 1847.5 \text{ L/s} \end{aligned}$$

$$\Psi_{zm} = \frac{\text{重力外排雨水峰值流量}}{\text{降雨峰值流量}} = \frac{980}{1847.5} = 0.53$$

因此, 通过调蓄和强排方式结合, 可以把流量径流系数从0.90降至0.53。

## 6 结论及展望

通过上述调蓄、消峰措施的实施, 很大程度上解决了本工程的雨季排水不畅及机库进水隐患问题。笔者也通过改造措施的实施和校核, 体会到对于类似硬化面积大, 地势低洼, 下游排水不畅的机库、机坪项目, 排水系统的设计要有前瞻性, 选用暴雨重现期较大的参数设计排水系统, 同时利用雨水控制技术对类似工程预先设计调蓄、消峰设施。

尽管该类项目受飞机活动区影响, 雨水回用及入渗的可能性不大, 但机坪下设置的调蓄水池还可兼做消防废水池, 一池两用, 尽量减少工程对环境的影响, 这也是海绵城市雨水控制技术的核心理念所在。

### 参考文献

- [1] 深圳市暴雨强度公式及查算图表(2015年版) 编制单位: 深圳市气象局.
- [2] 《室外排水设计规范》 GB50014-2006 (2016年版).
- [3] 《建筑与小区雨水控制及利用工程技术规范》 GB50400-2016.

# BIM技术在飞机库给排水设计中的应用与发展

■ 李珺娇 王锋 刘莹颖 刘程远 [给排水]

**摘要:** 随着全球化进程和全球贸易的不断加快,人们对于远途飞行交通的需求越来越多,机场机库的修建数量也随之迅速上升,BIM技术的出现为高质量、高效率的飞机库设计提供了新的手段,尤其为给排水设计及其与其他专业间的协调建立了数据和协同基础。本文着重探讨BIM技术在飞机库给排水设计中的应用情况,并对该技术在未来飞机库给排水设计中的发展趋势进行展望。

**关键词:** 飞机库给排水设计; BIM技术; 数据; 协同

## 1 引言

相较于传统二维CAD平面设计,BIM技术作为一种新兴的数字化设计方式,具有可视化程度高、模拟性、协调性和优化性等特点,可更直观地体现设计过程的相关信息和设计成果<sup>[1]</sup>,因此,近几年被广泛应用于各领域的建筑工程中<sup>[2,3]</sup>。顾海玲等<sup>[4]</sup>将BIM技术应用于上海中心大厦建筑给排水设计中,通过BIM技术的管线综合和碰撞检测功能,极大地降低了这座空间庞大的超高层建筑的设计变更和设计成本。

飞机库是一种特殊的工业建筑,具有高度大、跨度大、对防火要求高等特点,本文将BIM技术引入飞机库的给排水设计中,并探究了BIM技术在这一设计领域的应用与发展。

## 2 BIM技术概述

BIM技术即建筑信息模型(Building

Information Model),被国际标准定义为可以共享关于某一设施的知识资源,集成该设施从概念到全生命周期中的所有工程信息,是一个设施的物理和功能特性的数字化表达。BIM作为一种补充文字符号信息之外的数字建筑模型,基本上可以全面地表示全生命周期的建筑信息<sup>[5,6]</sup>。BIM通过对象化的软件和参数化的实体来实现建筑构件的表达。这些实体可能包含关于属性、语义和拓扑的几何信息和非几何信息。例如,功能信息包括安装时间、价格等,语义信息包括连通性、聚合性、包含和交叉信息等,拓扑信息提供物体位置、毗邻物体、是否共面/是否垂直等信息。

BIM有狭义和广义之分<sup>[7]</sup>。狭义BIM只包括作为信息集成存储管理的数字模型本身。BIM平台软件商提供综合数据管理、构件库和一般通用功能。广义BIM与狭义BIM的区别在于广义BIM包括3D(空间模型)、4D(空间模型+施工进度)和5D(空间模型+施工进度+造价计算),如图1<sup>[8]</sup>所示。在设计阶段,BIM技术的3D协调功能尤为重要,3D协调包括协同设计、管线综合和碰撞检测等,能提供可视化、信息化的交流平台,方便各

作者简介:李珺娇,女,助理工程师,2018年毕业于北京建筑大学环境工程专业,现就职于航空工业规划技术发展中心。

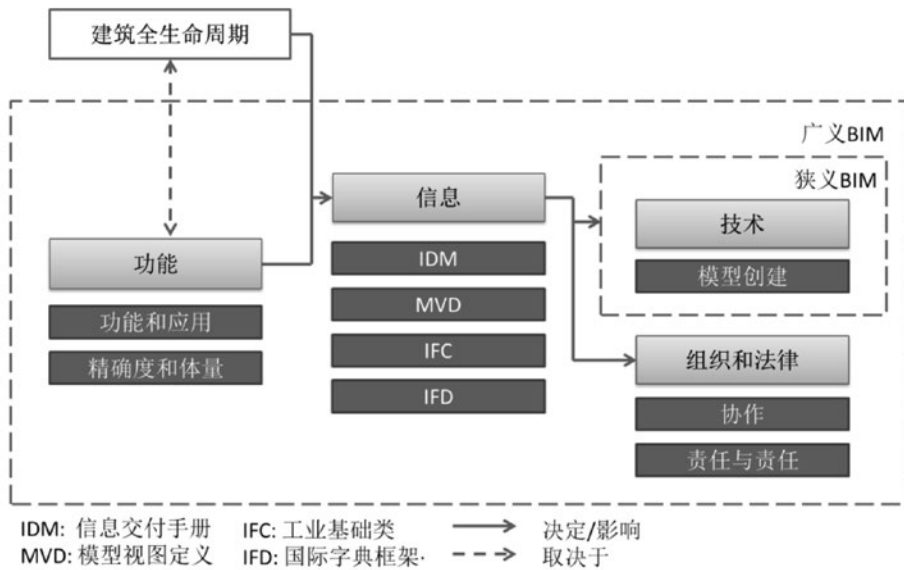


图1 全生命周期与广义BIM、狭义BIM之间的关系<sup>[8]</sup>

专业在平台上进行修改和调整。在机库项目中，管线密集的管廊、工艺繁杂的设备机房是整个建筑中比较关键和复杂的部分，机电设计包括暖通、给排水、动力、电气和弱电这几个专业，机电管线的碰撞不可避免。BIM技术通过改变以往传统的二维设计模式，在可视化的三维模型中，更加直观、便捷地发现设计中的碰撞冲突，快速解决二维设计中耗时较长且效果较差的管线综合工作，在大幅提高工作效率的同时，为工程师节省时间和精力，便于后期的优化设计过程。

### 3 传统二维CAD设计在飞机库给排水设计应用中存在的问题分析

飞机库——用于停放和维修飞机的建筑物，一般由机库大厅（主要功能为停放和维修飞机）和附楼（包括各维修车间、附属用房和办公室等）组成。在飞机库的给排水设计中，包括室内生产生活给水系统、排水系统、雨水系统和消防系统<sup>[9]</sup>，必要时还需设计污水处理站、中水站、纯水站等。本章节将会讨论传统二维CAD设计在飞机库给排水应用中存在的一些问题。

#### 3.1 专业内和专业间协同设计复杂

飞机库作为停放和维修飞机的建筑物，由于其特殊的功能性，包含众多专业（给排水、暖通、电力、动力），各专业管线、设备较多，综合管线排布复杂<sup>[9]</sup>。给排水专业内系统繁多，常用

平面图+系统图的模式表示，经常出现不对应的情况，而且传统二维CAD设计采取各专业分开设计—集中配合模式，难免在管线密集的管廊或角落发生专业内或专业间的碰撞，甚至出现空间不足，管道无法合理进行管线综合等情况。如图2所示，在某飞机库项目中，由三维模型可以直观地看到给排水管道与暖通风管和建筑结构均发生了一定的碰撞。

#### 3.2 水处理站设计表现难度大

由于机库厂房的特殊性质，可能会在厂房中设置水处理站以满足生产或环保等方面的需求。以污水处理站为例，机库厂房的排水主要包括生活污水和生产废水，生活污水可直接排入室外污水管网，生产废水（主要为飞机清洗用水）含有清洗剂和油污等污染物，不能直接排放，需收集后作进一步污水处理，这就需要设置污水处理站。由于飞机清洗用水污染物种类繁多，处理工艺也较为复杂，要在较小的污水处理空间内设置多道处理工艺（包括格栅、调节池、隔油器、pH调整槽、混合反应器、气浮分离器、水解酸化槽、CASS反应槽、污泥脱水机等），多个系统（污水系统、污泥系统、排泥系统、排渣系统、酸/碱/助凝剂/混凝剂投配系统、除臭系统、供气系统和给水管线系统等），管线连接复杂，如图3所

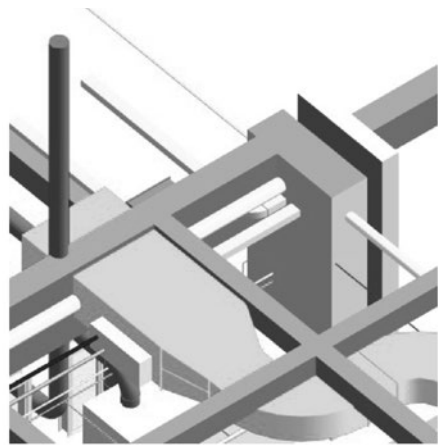


图2 某飞机库项目专业间的管道碰撞问题



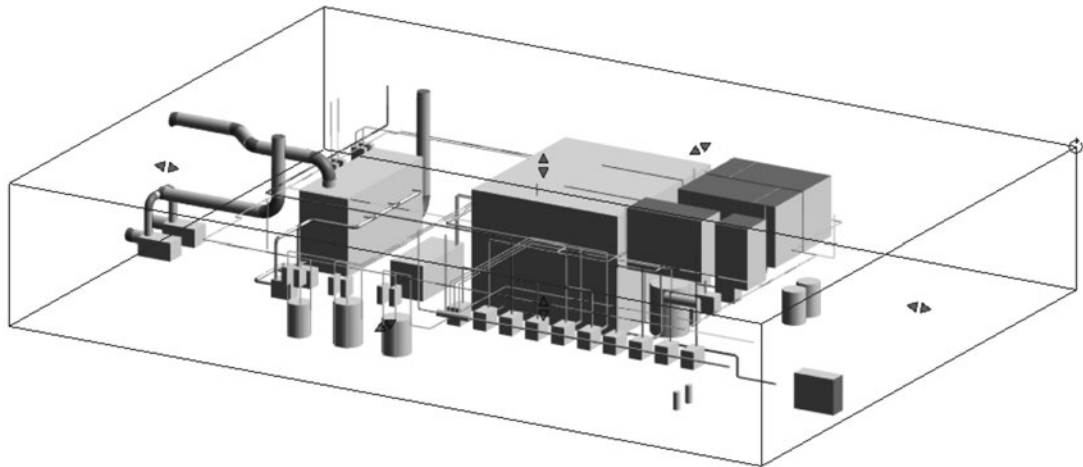


图3 某飞机库项目污水处理站模型图

示。传统二维CAD设计从二维平立剖三维视图中很难将设计人员的设计思路和成果充分体现，容易引起三维失真问题，为后期施工带来一定障碍。

### 3.3 设计修改信息无法及时传递

一个机库的设计涉及多专业协同配合，建筑或结构的图纸调整都会影响给排水的设计。建筑和结构的图纸不可能一蹴而就，需要多次修改，随着其设计的深入和优化，还要进一步随之修改给排水的设计图纸。目前往往都是改完一版再进行信息的传递，无法实现实时数据同步，严重影响给排水专业修改设计图纸的进程和效率。

## 4 飞机库给排水设计中BIM技术的应用策略探究

根据上一章节中提到传统二维CAD设计在飞机库给排水设计应用中存在的问题，本章节将会结合BIM技术提供相应的三维给排水设计应用策略。

### 4.1 协同设计

BIM协同设计有两种模式，分别是工作集模式和链接模式。工作集模式即建立中心文件，中心文件中存储所有的工作集和相关的图元信息，不同专业的设计人员将各自的中心文件保存到本地，在修改本地文件之后同步到中心文件。此种模式便于各专业之间的信息传递，实现协同设计。但前期中心文件的准备操作较为繁琐，人员授权需要占用一定比例准备时间，同时本地修改好的文件需进行后期同步。若建筑体量较大时，中心文件的存储将消耗巨大内存，且对硬件要求

也会很高。链接模式即各专业各自建立本专业模型，通过链接将所有专业的模型合并在一起。显然各专业模型相对于工作集模式对硬件的要求大大降低，但无法实现实时同步。后期调整管线综合时，由于无法对项目中的链接文件进行编辑，需要逐一对每一个专业的模型进行调整，较为烦琐。综合以上几点，建议具体问题具体分析，体量较小的飞机库项目可采用工作集模式，体量较大的飞机库项目，可采用链接模式。这样一来，很好地解决了3.1中专业内和专业间的协同设计问题和3.3中信息无法及时传递的问题。

### 4.2 可视化设计

三维模式的可视化是BIM技术跟传统二维CAD设计的最主要区别。传统的二维CAD设计一般按照楼层为基础，按层设计，一旦修改图纸，很难做到系统内完全被修改，而且逐层修改图纸的工作量也会占用大量时间。而三维模式以系统为基础，可针对系统开展全面的设计与修改，并可实现相连管道的同步自动修改。同时，基于BIM模型的多角度模式，可更直观地看到构件的空间位置，精确地定位构件的平面位置、高程以及与其他构件的相对位置，对于3.2中提到的飞机库水处理站这类复杂的设计方案，有更加直观的设计体现。另一方面，在传统的二维CAD设计模式中，以线表示管道，无法直观地了解管道的管径，只能从标注得知，这便导致二维图纸中的线条虽能满足设计要求，却忽略了管径以及保温层厚度等问题，使得该管线设计在实际中可能无法实现，而BIM模型可以很好地解决这一问题，在绘

制管道时按管径大小显示,并可添加保温层等属性,方便设计师快速判断管道设计的合理性。

#### 4.3 参数化设计

在三维模式中,每一个构件都具有自己的属性,包括几何和非几何属性,几何属性即管道的尺寸、大小、高程等,非几何属性即管道所属专业、系统、功能、用途等。设计人员通过BIM技术,可以更加直观地获取构件的数据信息,并且BIM技术还可以实现相关构件的自动化、参数化同步修改,为设计人员提供更多的便利,大大提升工作效率。同时方便数据的传递,保证3.3中提到的设计修改信息在各专业之间的实时共享。

#### 4.4 管线综合

传统二维CAD设计模式经常会出现管线碰撞,空间预留不足等情况,为后续施工带来很多问题,严重时还会造成返工和工期拖延,带来巨大的时间和资金浪费。而在设计中引入BIM技术,在各专业建立三维模型的过程中,能够直观地展现管道的空间位置,便于发现专业内的管线碰撞问题,进行及时调整。在各专业协同设计配合中,通过数据的实时协同,还可以发现专业间的管线碰撞,并进行及时修改,解决了3.1中的专业内和专业间的管线碰撞问题。

#### 4.5 漫游展示与分析

基于BIM的三维可视化漫游,能够更好地展示设计效果,并对整个项目的布局、安全性、视野照明、设计方案等进行评估;通过分析,减少施工变更,在提高质量的同时避免工期拖延和资金浪费,提高建设效率。BIM的漫游展示功能也能很好地解决3.2中水处理站设计表现难度大的问题。

## 5 结语与展望

综上所述,BIM技术凭借其协同设计、可视化设计、参数设计、管线综合设计和漫游展示与分析五大优势给飞机库给排水设计带来了良好的设计体验,不仅提高了设计师的设计效率,也为投资者控制和降低了成本。当然,BIM技术也存在一定的上升空间。一方面,在飞机库的给排水设计中,水系统繁杂,内容较多,数据量庞大,在数据修正方面造成了一定困难,还需要通过建立合理的数据管理模式来解决这一问题。另一方面,BIM技术的两种协同设计模式,各有所长,也各有缺点,存在一定的制约,这就需要对两种协

同模式进行进一步改进和完善。相信以上两个问题解决后,BIM技术在飞机库给排水设计方面还会有更好的应用和发展。

#### 参考文献

- [1] 边延凯,高伟,林沂,段茜茜,张治刚. BIM在国内建筑项目全生命周期中的应用研究与进展[J]. 天津城建大学学报, 2017, 23(5): 356-362.
- [2] 张盼盼. 浅析基于BIM技术的预制装配式混凝土结构设计[J]. 中国新技术新产品, 2019, 1: 125-126.
- [3] 蔚统原. BIM技术在建筑结构设计中的应用探讨[J]. 工程建设与设计, 2019, 10: 15-16.
- [4] 顾海玲. BIM技术在上海中心大厦建筑给排水设计中的应用[J]. 给水排水, 2012, 38(11): 92-97.
- [5] Watson A. Digital buildings Challenges and opportunities[J]. Advanced Engineering Informatics, 2011, 25(4): 573-581.
- [6] Tang P, Huber D, Akinci B, et al. Automatic reconstruction of as-built building information models from laser-scanned point clouds: A review of related techniques[J]. Automation in Construction, 2010, 19(7): 829-843.
- [7] Redmond A, Hore A, Alshawi M, et al. Exploring how information exchanges can be enhanced through Cloud BIM[J]. Automation in Construction, 2012, 24(4): 175-183.
- [8] Volk R, Stengel J, Schultmann F. Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs[J]. Automation in Construction, 2014, 38: 109-127.
- [9] 潘鑫池. 浅谈飞机库给排水及消防设计——以某飞机维修机库为例[J]. 中国新技术新产品, 2016, 324(14): 179-180.

# 某酒店空调制冷一次泵 变流量系统设计

■ 胡长才 [动力]

**摘要:** 本文通过介绍某五星级酒店空调制冷一次泵变流量制冷设备配置、水流量系统设计及控制,总结一次泵变流量系统特点及优点,使一次泵变流量系统在设计中得到更广泛的应用。

**关键词:** 一次泵冷水变流量系统;控制优点

## 1 引言

随着经济的发展和人们生活水平的提高,空调能耗在生产和生活总能耗的比重越来越大。空调系统年能耗中冷水机组的能耗约占33%,水泵能耗约占22%,冷却塔能耗约占2%。可见,如果水系统采用节能技术,将具有很大的节能空间。空调水系统的发展经历了定流量,一次泵定流量/二次变流量,一次泵变流量系统的演变过程。尤其近年来,随着制冷机组控制技术的发展和,在一定范围内改变蒸发器水流量不会对冷水机组的效率及稳定性产生影响,这为一次泵变流量系统的工程应用提供的技术保障。

## 2 工程概况

本项目为五星级酒店,位于北京市宣武门外大街以东,永光街东以西,前青厂胡同以北。总

建筑面积约7.8万 $m^2$ ,总高度约70m,其中地下室3层,包括车库、设备用房及酒店管理用房等,地上19层,1层为大堂、大堂吧、意大利餐厅,2层为商场,3层为商场,4层为全日餐厅/中餐厅及包房,5层为宴会厅及会议中心,6层为结构转换及设备层,7至18层为客房层,15层为行政酒廊,19层为水疗中心及室内泳池,屋面为设备层。酒店总客房数约400间。

## 3 空调系统冷源设计

### 3.1 冷源设备配置

建筑高度约70m,根据对酒店的空调负荷,配置如下组合之冷水机组:600TR离心式水冷机组 $\times$ 3台+200TR螺杆式水冷机组 $\times$ 1台。大小冷水机组搭配使得当系统处于较小负荷时,降低运行成本;当任一台制冷机发生故障时,系统剩余之制冷机组总冷量不小于酒店80%的冷负荷需求。所有冷水机组使用R134a或R123,以保护大气臭氧层及减轻温室效应。冷冻水供水温度为7 $^{\circ}C$ ,

作者简介:胡长才,男,高级工程师,1996年毕业于上海交通大学制冷与低温技术专业,现就职于航空工业规划动力工程设计研究院。

回水温度为12℃；冷却水出水温度为37℃，回水温度为32℃。在过渡季节及冬季采用冷却塔免费供冷设计，在制冷机房内，于空调冷冻水侧及冷却水侧之间设置一组板式热交换器（换热量为700kW），使之进行热交换，并在两侧设置阀门使之与冷冻机组隔离，以实现在过渡季节或冬季时，通过冷却塔免费供冷。

### 3.2 水流量系统设计

本设计所选冷水机组的最小流量为额定设计流量的30%，最大流量变化速率为30%。冷水机组蒸发器额定水压降大致接近均为70~80KPa。冷冻水循环系统采用一次泵变流量系统，由4台变频水泵（3用1备）组成，每台冷水机组进水管上均设置流量计传感器，供、回水主管之间旁通上设置电动调节阀，以保证单台大制冷机组蒸发器最小流量需求；冷却水循环系统采用定流量系统，由6台变频水泵（4用2备）组成。空调水系统膨胀水箱设置于塔楼顶层设备房内，系统最大承压为1.12MPa。系统设计采用“集合母管并联”方式进行配管。在一次泵与冷水机组蒸发器之间设置旁通管，一般设置在冷冻机房内在分、集水器

中间，保证冷水机组蒸发器的水流量不低于其最小水流量。旁通管的管径按照系统中最大冷水机组蒸发器的最小流量来选择，控制阀按照阀位行程—流量的调节性能曲线选用，如图1所示。

从图1不难看出，一次泵变流量系统是“真正的变流量系统”，即冷水机组蒸发器变流量系统，变流量一次泵水系统都要比定流量一次泵/变流量二次泵水系统简单得多。

### 3.3 优点分析

与传统的定流量一次泵/变流量二次泵系统相比较，其优点有：

- 1) 降低了空调供冷水系统的初投资费用，降低运行费用；
- 2) 降低了系统对冷冻机房的空間要求，取消了二次水泵组而节省了机房的建筑面积；
- 3) 取消了二次水泵消耗在附加零配件与装置(截止阀，除污器，吸口扩散器，止回阀，集水缸等)上的阻力损失，降低了系统中水泵组电机的电力需求；
- 4) 降低了系统中水泵组的全年能耗费用，由于变流量一次泵水系统中水泵组采用变频，制冷

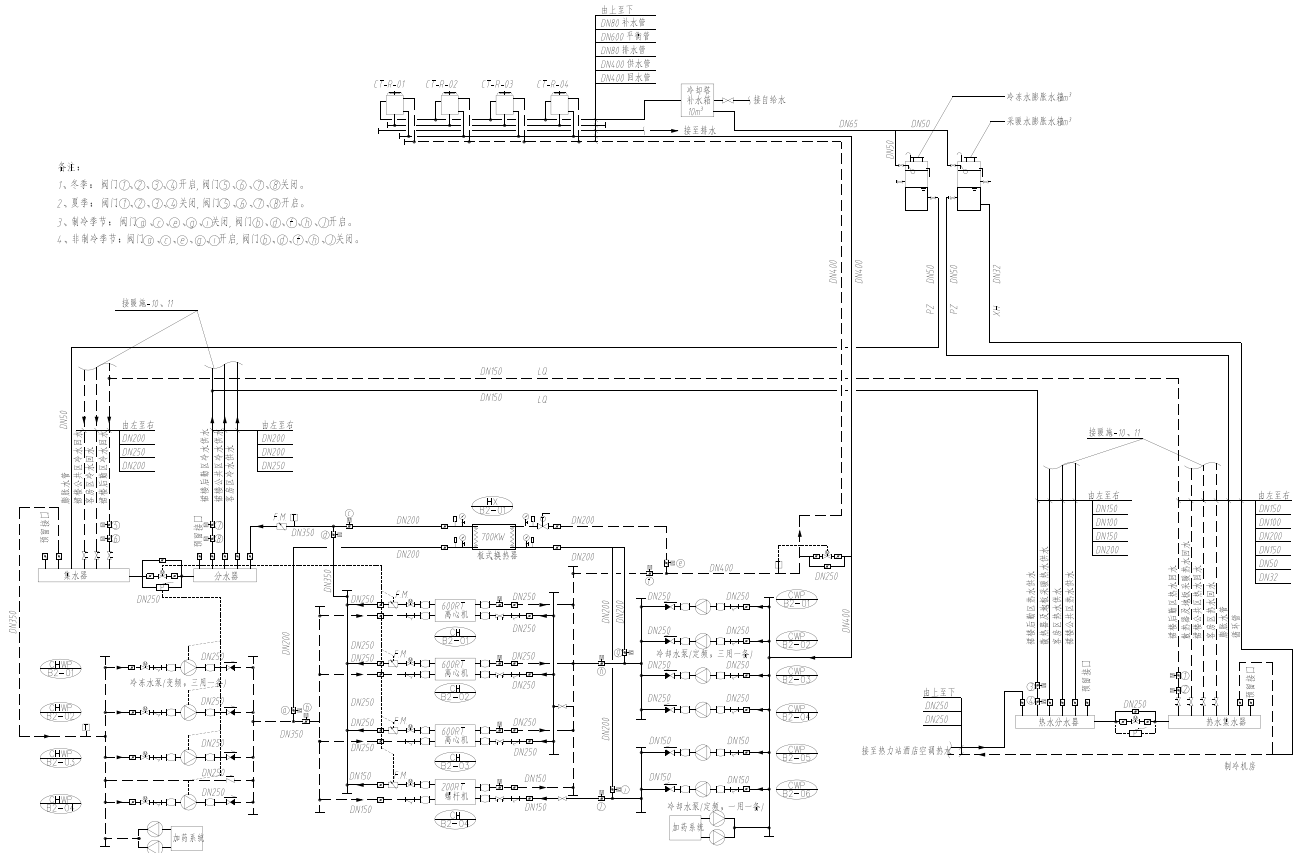


图1 原理图

机组也采用变频变流量系统，低于定流量一次泵/变流量二次泵系统的电力需求；

5) 解决了部分负荷时“小温差，大流量”问题、水流量与供冷量之间不匹配问题，有利于系统的水力平衡。

#### 4 控制设计

变流量一次泵水系统的复杂性在于其控制环节，在选用冷水机组时，详细了解其机组控制器及其群控装置的详细控制功能，要求冷水机组生产厂商对该种型号冷水机组蒸发器的额定流量(设计的水流速)、最大流量(最高水流速)、最小流量(最低水流速)，系统周转时间极限值，及允许的最大流量变化速率提供准确可靠的书面资料。本项目控制设计主要有以下几点：

1) 通过采用自动化元件量度冷冻水之供水温度、回水温度及回水流量，送至控制系统的计算器，再根据实际之冷负荷变化，进行负荷分析决定冷水机组开启台数，并通过供、回水主管压差恒定调节变流量一次冷水泵的转数或台数控制，以达最佳节能状态。

2) 机组设置自动启、停程序控制及连锁控制。由BMS控制水冷机组启停顺序，同时记录各台机组的运行时间，以达到合理分配水冷机组运行时间的均衡性，避免单台机组超长时间运行。

3) 设置流量传感器测定冷水机组的冷冻水量，通过调节设在供、回水总管之间旁通管上的电动调节阀开度，以保证冷水机组蒸发器最小的冷冻水流量。

4) 冷冻水泵设置变频控制器，当负荷需求变化时，通过供、回水主管压差调节变流量一次冷水泵的转数，当水泵达到最大转数，还未达到负荷需求时，则需加入一台泵一同运行，且水泵运行转数相同。当其中一台冷冻水泵/冷却水泵出现故障时，由BMS自动启动备用水泵投入工作。

#### 5 结束语

一次泵变流量具有投资小，节省制冷机房占地面积和降低运行费用的优点，同时在部分负荷时有助于解决“小温差，大流量”问题、水流量与供冷量之间不匹配问题，但也有机组启停控制复杂、对系统设计及控制要求高的缺点。随着对

一次泵变流量认识的深入，以及控制技术的发展和国家对节能的重视，一次泵变流量系统将会在设计中得到更广泛的应用。

#### 参考文献

- [1] 陈劲晖，一次泵变流量系统的应用探讨.《流体机械》，2005，33(6)：35-38.
- [2] 梁春生、智勇等编著，《中央空调变流量控制节能技术》，电子工业出版社，2005.
- [3] 汪训昌，空调冷冻水系统的沿革与变流量一次泵水系统的实践，《暖通空调》第36卷，第7期，2006年7月.

# 上海某项目 海水源热泵系统设计

■ 胡长才 [动力]

**摘要:** 本文通过初步研究上海某项目的海水源热泵系统方案设计,取回水口与取回水管线敷设、海水源水处理措施、海水源管材选择,总结海水源热泵系统特点及优点,使海水源热泵系统能够得到广泛的应用。

**关键词:** 海水源热泵;取回水;海水水处理

## 1 引言

能源资源问题关系我国经济社会发展全局,现阶段,我国正处于城市化的快速进程中,随着城市人口的增长及人们生活的提升,以环保和节能为主要特征的绿色建筑及相应的空调系统应运而生,从各种循环利用的水源中提取能量、以解决建筑物供冷供热的水源热泵技术,将成为城市供冷供暖的理想选择。

海洋是一个巨大的可再生能源库,进入海洋中的太阳辐射能一部分转变为海流的动能,更多的是以热能的形式储存在海水中,而且海水的热容量又比较大,为 $3996\text{kJ}/(\text{m}^3\text{C})$ ,空气只有 $1.28\text{kJ}/(\text{m}^3\text{C})$ 。随着热泵技术的发展,在有条件的地方,海水源热泵技术代替传统的锅炉房和冷冻机进行区域供热和供冷技术上已经成为可能,是可再生能源利用达到实用的技术之一。

作者简介:胡长才,男,高级工程师,1996年毕业于上海交通大学制冷与低温技术专业,现就职于航空工业规划动力工程设计研究院。

## 2 工程概况

本项目坐落于上海市东南角,地处长江入海口与杭州湾交汇处,距上海市区约65km。项目所在区域地处北亚热带区域,具有明显的海洋性季风特征,气候温和、四季分明。常年平均气温 $15.6\text{C}$ ,全年平均日照时数平均为1986小时,全年降水量为1200mm。夏季主导风向为东南风,冬季主导风向为西北风。全年无霜期为230天左右,积雪天数不多,一般只有2~3天。多年表层平均水温为 $17.1\text{C}$ ,一年中8月水温最高,极端最高气温高达 $30.6\text{C}$ ,1月水温最低,极端最低气温 $3.2\text{C}$ ,如图1所示。

工程海域位于南汇嘴口的南侧附近,位于杭州湾含沙量较高的高值区,因此含沙量都整体偏高。根据实测资料,含沙量的平均分布较为均匀,大潮垂线含沙量在 $1.784\sim 1.826\text{kg}/\text{m}^3$ 。小潮垂线含沙量品均在 $1.431\sim 1.937\text{kg}/\text{m}^3$ 。附近海域的盐度在 $8.89\sim 9.76$ 之间;海水成弱碱性,PH值

约7.9, 海水混合度很好, PH值呈稳定状态, COD、BOD5值均较小, 水质较好。

### 3 海水源热泵系统方案设计

(1) 海水源热泵方案的确定和选择

本项目该项目一期冷负荷约为16MW, 热负荷为8MW, 二期冷负荷约为16MW, 热负荷为8MW。冷水供回水5℃/13℃, 热水供回水45℃/40℃。

根据甲方提供的资料, 夏季需要空制冷时间为8:00~17:00, 共10个小时, 其中5个小时处于峰电时间段内, 5个小时处于平电时间段内。为充分利用上海地区低谷电, 降低运行成本, 故设置蓄能系统。本项目空调运行的情况和用户所在地区的分时电价及场地限制, 本项目采用部分负荷蓄冷方式。部分负荷蓄冷的日运行如图2所示。

从图2中可以看出, 夜间用电低谷时段储存冷量, 补充高峰时段空调所需要的冷量。这种水蓄冷形式可根据空制冷系统制冷能力与可能建设蓄冷水池的大小, 在运行过程中可执行完全削峰加填平、完全削峰与局部削峰等运行模式。

(2) 设备选型表

### 4 取回水口与取回水管线设计

项目所在地属于长江出海口, 属于泥沙冲击区, 海岸线高差呈现逐年变化趋势, 且附近水域最高潮差在6m以上, 最高潮在5.68m, 最低潮在-1.25m处, 对于海水源热泵的取水头部的布置具有一定的影响。

本项目采用顶管方式, 穿过防波大堤, 采用管桩式支撑管网沿岸边向海水稳定深度区架设取水管线, 海水深度稳定区取海水深度在5m左右。此区域水位相对涨落潮的影响相对较低, 且据资料显示, 5m等高线深处海底泥沙状态近年来相对

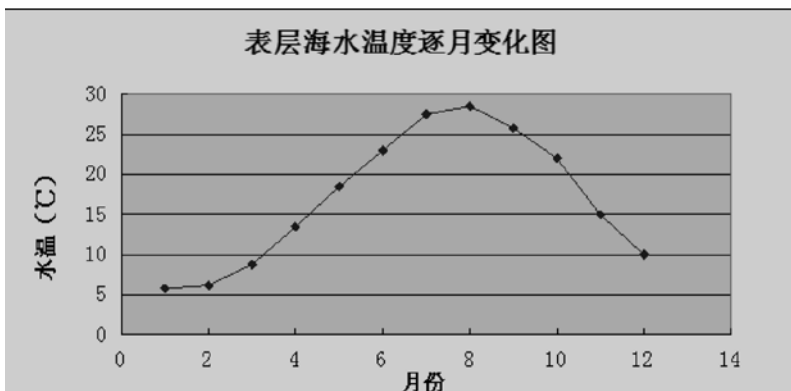


图1 海水温度逐月变化图

设备选型表

序号	名称	单位	数量
1	离心式水源热泵机组 (上游机) 夏季工况制冷量为7494kW, 输入功率为1405.2kW; 冬季工况制热量为8366.9kW, 输入功率为1110.6kW	台	1
2	离心式水源热泵机组 (下游机) 夏季工况制冷量为7494kW, 输入功率为1405.2kW; 冬季工况制热量为8475.8kW, 输入功率为1260.1kW	台	1
3	海水水源水管壳式换热器 (钛合金材质) 夏季工况换热量为8000kW; 冬季工况换热量为4000kW	台	2
4	机械过滤器处理水量1050m <sup>3</sup> /h, 过滤精度≥60目/英寸, 水压降≤50kPa	台	2
5	旋流除砂器处理水量1050m <sup>3</sup> /h	台	2
6	在线自清洗装置	台	2
7	真空整流罩	台	1
8	负压引流装置	台	1
9	闸板阀	台	2
10	泥浆泵	台	8

较稳定, 没有太大的移动变化。参考等深线距海岸距离表数据显示, 5m深处海域至海岸线的距离约为1600m。考虑厂区的位置, 取水管线总长度在1800m左右, 回水采用就近排水, 管网相对较短, 按200m考虑, 此处取回水总管长为2000m。

本工程采用顶管和埋管两种施工工艺, 管径为DN900, 几种管材均符合使用条件, 预应力钢筒混凝土管 (PCCP) 虽然管材价格较便宜, 但是单管长度较短, 接头多, 所需的桩基础较密; 球墨铸铁管 (DIP) 价格最高, PE管、钢管 (SP) 和玻璃钢夹砂管 (RPMP) 费用相当, 根据施工条件, 本工程采用PE管。

(1) 夏季热泵主机水源水小时流量的计算

夏季装机冷负荷为40MW, 热泵机组cop为5.0, 加上机组的输入功率, 则取冷凝器总的换热

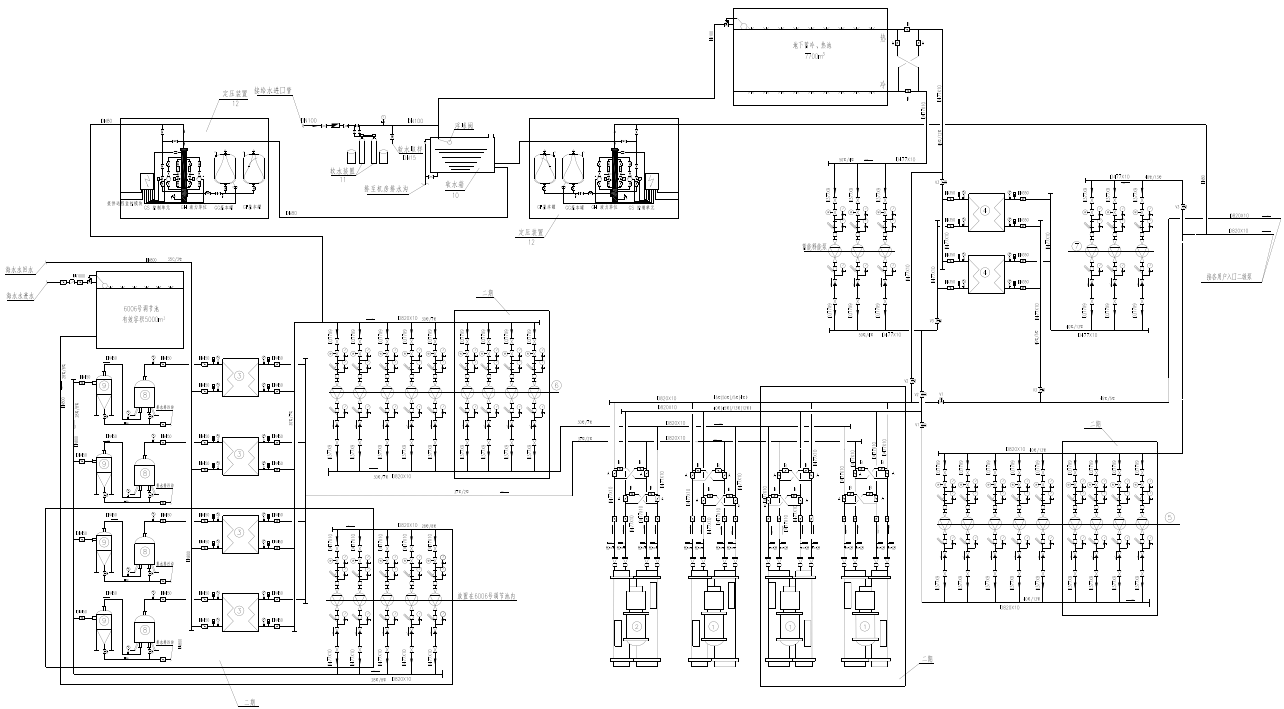


图2 海水源热泵系统原理图

量约为 $40000 \times (1+1/5.0) \text{ kw}=48000\text{kw}$ ，水源水进出水温度为 $28/35^\circ\text{C}$ ，温差为 $7^\circ\text{C}$ ，则夏季小时最大需水源水量为：

$$q = \frac{Q \times 0.859}{\Delta t} = \frac{48000 \times 0.859}{7} = 5890 \text{ m}^3 / \text{h}$$

式中： $q$ ——水源水小时流量， $\text{m}^3/\text{h}$ ；  
 $Q$ ——冷凝器总的换热量， $\text{kw}$ ；  
 $\Delta t$ ——冷凝器换热温差， $^\circ\text{C}$ 。

(2) 冬季热泵主机水源水小时流量计算

冬季最大的供热负荷为 $20\text{MW}$ ，热泵机组 $\text{cop}$ 为 $4.5$ ，主机输入功率可转化为热量送到室内，则蒸发器的换热量约为 $20000 \times (1-1/4.5) = 15555\text{kw}$ ，水源水进出水温度为 $7/2^\circ\text{C}$ ，温差为 $5^\circ\text{C}$ ，则冬季小时最大需水源水量为：

$$q = \frac{Q \times 0.859}{\Delta t} = \frac{15555 \times 0.859}{5} = 2672 \text{ m}^3 / \text{h}$$

式中： $q$ ——水源水小时流量， $\text{m}^3/\text{h}$ ；  
 $Q$ ——冷凝器总的换热量， $\text{kw}$ ；  
 $\Delta t$ ——蒸发器换热温差， $^\circ\text{C}$ 。

取水管径为 $\text{DN}900$ 。

根据管径及海床条件适宜布置单点式取水口，取水口进水窗下沿标高 $-5.5\text{m}$ ，上沿标高 $-2.5\text{m}$ 。根据常规工程经验，取水头流速暂定 $0.3\text{m}$ ，堵塞系数采用 $0.75$ ，则过栅面积分别为

$3.33\text{m}^2$ 和 $6.67\text{m}^2$ ，故拟定 $\text{DN}900$ 取水头直径为 $6\text{m}$ ，取水头下设钢制框架承台，取水头承台顶高程为 $-11\text{m}$ ，承台为正方形，高 $2\text{m}$ ， $\text{DN}900$ 取水头承台直径 $8\text{m}$ ，承台下设钢管桩基础，根据取水口布置，取水管中心线与取水头相交高程为 $-10\text{m}$ 。根据循环泵站要求，取水管中心线与进水前池相交高程为 $-5\text{m}$ 。经平面布置，取水管水平长度约 $1000\text{m}$ （大堤防浪墙内长度约 $100\text{m}$ ，防浪墙外长度约 $900\text{m}$ ）。本工程顶管最大一次顶进长度按 $500\text{m}$ 设计，剩余 $500\text{m}$ 管道按埋管设计。埋管单节管道长 $40\text{m}$ ，管道间采用哈夫接头，管道两侧分别设计桩基承台，并用抱箍将管道与承台紧密连接，桩基承台宽 $2\text{m}$ ，长 $5\text{m}$ ，厚 $0.8\text{m}$ ，为钢框架结构，内部填筑水下砼。

为了减少管道淤积，本工程排水管参照取水管设计，采用一根内径 $\text{DN}900$ 的排水管。经平面布置，排水管水平长度约 $300\text{m}$ （大堤防浪墙内长度约 $100\text{m}$ ，防浪墙外长度约 $200\text{m}$ ）。排水口进水窗下沿标高 $0\text{m}$ ，上沿标高 $2\text{m}$ ， $\text{DN}900$ 排水头直径 $6\text{m}$ ，排水头下设钢制框架承台，排水头承台顶高程为 $-16\text{m}$ ，承台为正方形，高 $2\text{m}$ ， $\text{DN}900$ 排水头承台直径 $8\text{m}$ ，承台下桩基同取水头。根据排水口布置，排水管中心线与排水头相交高程为 $-5\text{m}$ 。根据循环泵站要求，取水管中心线与进水前池相交高程为 $-2\text{m}$ 。



## 5 海水源水处理措施

根据本项目海水的水质特点,水处理为妥善解决堵塞和海水腐蚀问题,采用水源水三级水源处理系统,为有效解决海水对换热器的腐蚀采用钛管换热器换热。

(1) 一级过滤处理:在海水取水管上设置过滤器(处理精度一般小于40目)作为一级处理,有效去除海水体中大型颗粒、悬浮物等物体,防止海水中的大块杂物进入水泵,阻塞通道或损坏叶轮以及换热管。

(2) 二级过滤处理:为了保障系统的安全运行,加装二级机械旋流除砂器,可以有效去除水中的砂子等颗粒,可有效保护主机等设备的安全稳定运行。

(3) 三级过滤处理:为了保障系统安全运行,在二级过滤器后,加装三级机械过滤器,过滤等级为80目,采用自动反冲洗功能的机械过滤器,可以有效彻底去除水中的杂物,从而改善运行条件,保证系统的连续性,延长机组寿命。

(4) 积沙处理措施:采用旋流除砂器等装置处理水源水沙粒,即水源水除沙进机组,水源水出机组反冲洗机械过滤装置,带走系统沉沙。

## 6 海水源热泵的特点

(1) 海水源热泵属可再生能源利用技术,海水中蕴含的热量是典型的可再生能源,高效节能,运行费用低。冬季海水比环境空气温度高,因此热泵系统的蒸发温度高。夏季海水比环境温度低,因此热泵系统的冷凝温度低,热泵效率大大提高。

(2) 运行稳定,可靠性高。海水的温度比较稳定,温度的波动范围远小于空气,海水温度比空气恒定,海水源热泵机组运行更稳定。

(3) 一机多用,应用范围广。使用海水源热泵空调系统既可以供热、制冷,还可以提供生活热水,而经过利用后排出的海水也可以用于中水工程,从而实现一机多用。

(4) 海水腐蚀问题。海水是自然界中腐蚀性较强的一种天然电解质溶液,大多数常用的金属和合金在海水中会遭到不同程度的腐蚀。靠海岸的海水中,既有悬浮物、胶体和溶解物质,还含有大量有机物、微生物、细菌、藻类等,这些物

质对设备有腐蚀作用,因此海水的腐蚀性比单纯盐溶液要复杂得多。

(5) 海洋生物的附着生长,海洋附着生物又称污损性海洋生物,主要是软体动物类,其次是甲壳类和苔虫类。由于海洋生物附着不完整、不均匀,易造成金属管道的局部腐蚀或缝隙腐蚀;藻类植物光合作用可使海水中含氧量增加,并且释放CO<sub>2</sub>使周围海水酸性增加,海洋生物死亡、腐烂产生酸性生物,加速金属管道腐蚀;藻类、甲壳类海洋生物附着在管道内,减少管道流通面积、增加管道阻力,降低换热器传热系数。

## 7 结束语

本文介绍海水源热泵系统的设计,取回水口与取回水管线敷设确定、海水源水处理措施、海水源管材选择等,总结海水源热泵系统的特点。随着对海水源热泵更加深入的了解,海水源热泵系统在我国会得到更为广泛的应用。

### 参考文献

- [1] 李震,端木琳,舒海文等,海水空调的发展及在中国应用前景分析[J],《暖通空调》2005,35(11):20-26.
- [2] 胡松涛,张莉,王刚,海水源热泵空调系统的工程应用[J],《资源与发展》2005(3):26-30.
- [3] 刘涛,利用海水作为城市空调冷热源技术及其应用[J],《制冷与空调》2007(1):37-39.
- [4] 任玉迎,南远新,杭庆荣等,海水源热泵的发展和应[J]《制冷与空调》2007(2):8-9.

# 空调绿色节能技术在门头沟区体育文化中心项目中的应用

■ 高阳洋 孟凡兵 [暖通]

**摘要:** 本文以北京门头沟区体育文化中心项目为研究对象,以绿色设计二星为目标,充分利用各种空调整能措施以实现空调绿色设计。本文综合分析了该工程复合能源系统中冷热源的配置及节能运行方案,同时也对项目所涉及的人工冰场和游泳馆的冷源系统以及末端空调系统的节能运行策略进行了综合论述和分析,旨在为今后此类项目的暖通设计提供参考和借鉴。

**关键词:** 绿色节能;地源热泵;复合能源;冷热源

## 0 引言

体育和文化建筑作为城市的标志性建筑,具有重要的影响力,同时,其能耗和环境问题也备受瞩目。建筑的生态性和其生存发展休戚相关,“生态、节能、环保和可持续发展”成为优秀建筑的重要指标。因此,将绿色化、节能化理念融入设计,已然成为建筑设计能可持续发展的必要条件。

## 1 工程概况

门头沟区体育文化中心(见图1)集体育文化功能为一体,项目位于门头沟区永定镇,用地规模约6.95万 $m^2$ ,总建筑面积13.29万 $m^2$ ,地上59618 $m^2$ ,地下73315 $m^2$ ,建筑高度35m。建筑分南北两个区,北区主要功能为体育板块,地上4层,包括游泳馆、冰球馆、体育馆、训练馆、健身中心、训练中心;南区主要功能为文化板块,地上5层,包括剧场、图书馆、文化馆、教学中



图1 门头沟区体育文化中心效果图

心、非物质文化遗产博物馆;地下3层,主要功能为汽车库、自行车库、设备用房及附属库房。

## 2 设计目标理念

该项目定位为北京绿色设计二星级建筑,在项目整体过程中,坚持以绿色建筑和节能减排为主导思想,从节地、节能、节水、节材、室内环境和运营管理6个方面充分采用相关绿色生态技术,实现降低建筑能耗、节省运营费用的现实目标。

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,现就职于中航建设建筑设计研究院。

### 3 暖通专业采用的节能措施

针对绿色设计二星级目标,结合该工程的实际情况和绿色建筑条款,暖通专业所能采取的技术措施有:

(1) 建筑遮阳设计:侧窗设置外遮阳,有效减少热辐射,减少空调能耗。

(2) 空气质量检测:人员密集区域设置二氧化碳检测,并与新风阀连锁,采用高压静电中效过滤有效去除PM2.5颗粒物,提高空气品质。

(3) 围护结构节能:通过详细计算围护结构传热系数,增强保温性能,减少能耗,满足并优于节能标准要求,优化输配系统,减少输配系统的运行能耗。

(4) 合理利用可再生能源:采用地源热泵机组提供基础的冷热负荷。

(5) 合理利用余热解决建筑的供暖或生活热水需求:采用热回收型地源热泵机组,回收冷凝热用于泳池热水预热。

(6) 合理利用制冰过程中产生的冷凝热:利用机组的排气热量提供浇冰用的热水(软化水),利用冷却水回水对融冰池加热和地坪加热,达到节能环保的目的。

(7) 采用排风热回收系统:新风系统设置热回收装置,室内冬季运动场采用热回收冷源。

(8) 设备维护及监控:空调通风系统纳入楼宇自动控制系统。

## 4 空调主冷热源系统

### 4.1 主冷热源的选择

分析该地区的气候特点、建筑物的冷热负荷特点、地理环境以及周围的市政情况,经过综合比较后,采用以地源热泵为主,辅助燃气热水锅炉供暖、常规电制冷的复合式能源系统。地源热泵系统形式为垂直埋管土壤源换热系统。地源热泵系统满足基础负荷及调节负荷,发挥地源热泵系统运行费用低、节能环保的优势,采用燃气热水锅炉供暖和常规电制冷补充的方式满足调峰负荷的需求,即兼顾控制系统初始投资的要求,又能够降低系统运行期间的运行费用。系统原理如图2、图3所示。

地源热泵系统属可再生能源系统,运用得当,不仅能够节能和节省运行费用,而且还能使

环保效益显著。因此地方政府对采用地源热泵系统的建筑通常具有进行一定鼓励政策,给予一定的经济补贴。经多次论证,确定该项目采用地源热泵系统。

### 4.2 主冷热源系统配置

冬季空调热源采用地源热泵系统+燃气锅炉。根据地勘单位提供的《门头沟体育文化中心地源热泵系统浅层地热地质条件评估报告》,本项目冬季每延米取热量为43W/m,室外可供埋管区域内可埋设De32双U型埋管数量约为499个,深度130m,间距为5m,总占地面积约14750m<sup>2</sup>,考虑将埋管设置于建筑北侧、西侧和东侧的绿地内。埋管可承担冬季热负荷约为3600kW,按照冬季供暖期间总负荷的约48%配置地源热泵系统,满足其基础负荷需求。

本项目总热负荷为7600kW,其中地源热泵系统负担平时运营时的冬季基础热负荷,共3600kW,设置3台高温型地源热泵机组,单台制热量为1200kW。地源热泵系统提供50℃/45℃的热水供冬季空调供热及地板辐射供暖系统使用。夏季利用地源热泵机组进行热回收,回收冷凝热用于泳池热水预热。

锅炉房提供供暖热负荷4000kW,同时为泳池加热和生活热水系统提供一次辅助热源,该部分总热负荷1400kW(其中生活热水热负荷约722kW,泳池补水加热负荷约678kW)。设置1台供热量为1510kW的超低氮真空锅炉,提供80/60℃热水供泳池加热和生活热水系统作为热媒使用,另设置2台供热量为2300kW的超低氮真空锅炉提供50/45℃热水供冬季空调供热及地板辐射供暖系统使用(其中一台锅炉为双换热器,作为泳池加热和生活热水系统的备用)。

燃气锅炉在调节峰值热负荷期间与地源热泵机组并联运行。燃气锅炉在选型时充分考虑了建筑物的重要性、系统的安全可靠性等因素,并适当考虑了余量。锅炉房位于建筑主体以外区域,避免了对建筑物美观和噪声的影响,同时也解决了锅炉房泄爆问题。

夏季空调冷源采用地源热泵系统+水冷冷水机组。本项目总冷负荷为8000kW,其中地源热泵系统负担平时运营时的夏季基础冷负荷,共3150kW。设置3台高温型地源热泵机组,单台制热量为1050kW。冷水机组在调节峰值冷负荷时启用。冷水机组与地源热泵机组同设在一个制冷站房

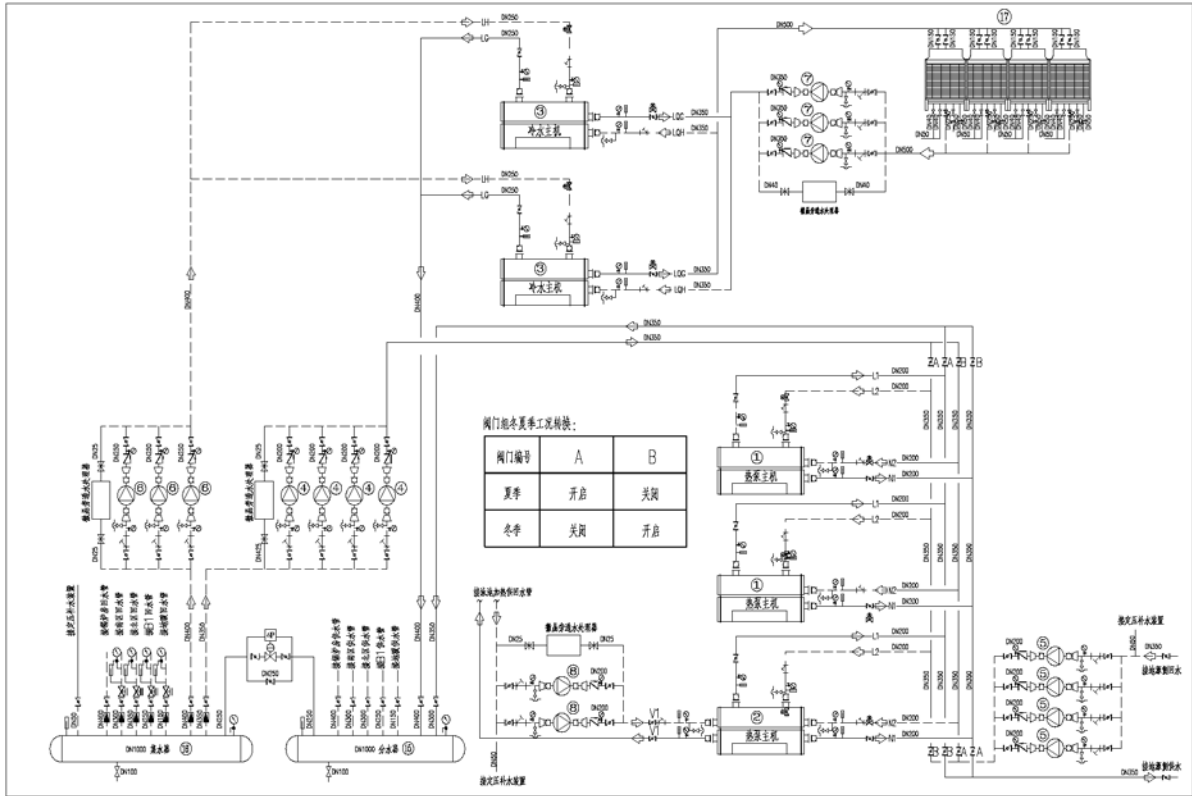


图2 地源热泵站系统原理图

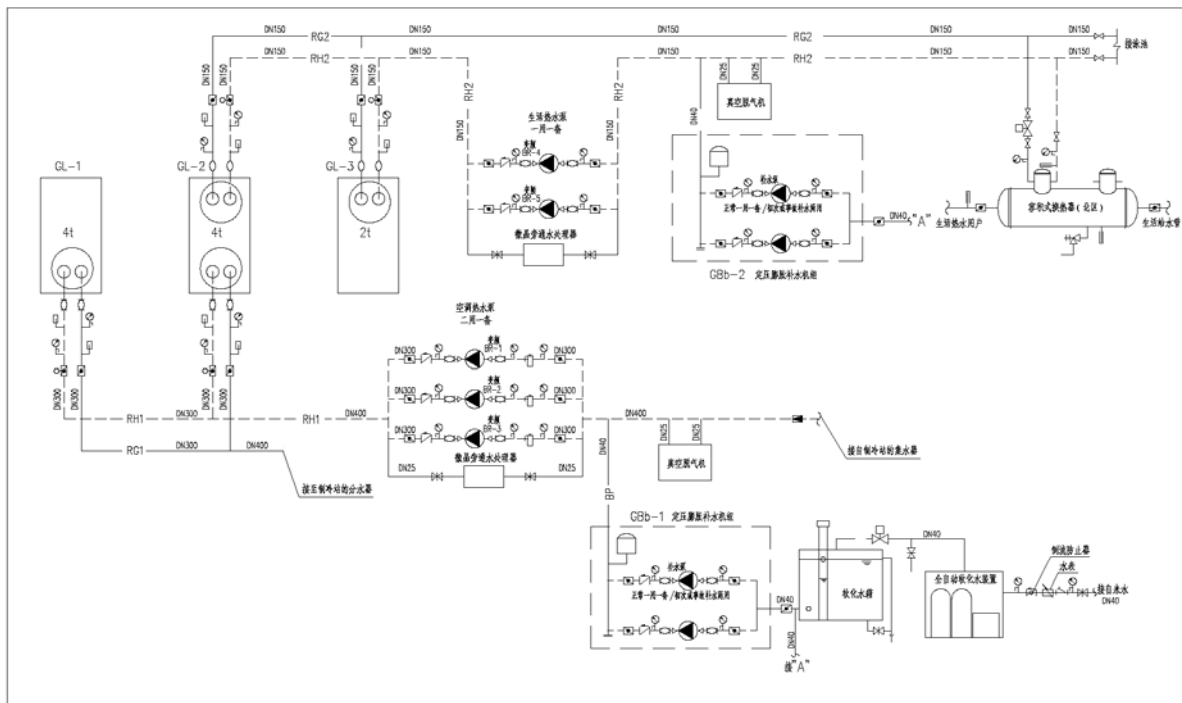


图3 锅炉房系统原理图

内，制冷工况下冷水进出口温度为 $12^{\circ}\text{C}/7^{\circ}\text{C}$ ，单台制冷量 $2531\text{kW}$ ，共2台。

#### 4.3 地源热泵系统的土壤热平衡分析

地源热泵系统承担冬季供暖热负荷总量为

$3600\text{kW}$ ，热泵机组COP为3.8；夏季制冷负荷总量为 $3150\text{kW}$ （其中一台地源热泵机组采用全热回收，剩余 $2100\text{kW}$ 冷负荷由地理孔承担散热），热泵机组EER为5.6。结合项目实际情况，拟每年制

方案综合比选表

方案选项	方案一 地源热泵+冷水机组+燃气锅炉	方案二 冷水机组+市政热力
初投资	需要初投资约3264万元	需要初投资约2740万元
运行费用	冬季 32元/m <sup>2</sup> 总计：443万元	冬季 60元/m <sup>2</sup> 总计：822万元
	夏季 26元/m <sup>2</sup> 总计：356万元	夏季 28元/m <sup>2</sup> 总计：384万元
	合计 799万元	合计 1206万元
投资回收期(年)	1.5	—
地埋孔及烟囱布置	地埋孔占地面积小，可以完全布置在绿化带里面；烟囱布置会影响建筑外立面	无室外地埋孔；无烟囱
运行维护费用	运行费用低，操作维护较简单	运行费用最高，操作维护最简单
国家政策	十三五能源规划中，大力提倡使用地源热泵系统供暖制冷，各地政府应起到引领示范作用	市政热力大量消耗一次能源，有污染物排放，不在国家倡导的政策范围内
设备使用效率	冬季供暖、夏季制冷，一机多用，供暖制冷可以随意切换，不受外界制约	冷水机组或二次换热站有半年闲置，设备利用不充分，供热时间受制于市政热力
环保效益	地能热泵系统对地下水无污染，使用过程中污染物排放小，环保效益高	冷却塔水份蒸发多，天然气在燃烧过程中排放CO <sub>2</sub> 等温室气体，对环境影响最多
方案总结	初投资稍高，运行费用适中，系统运行稳定可靠，室外地埋孔场地能满足要求，建议为首选方案	初投资较低，系统最简单，运行稳定可靠，但是后期供暖运行费用太高，且受市政供暖期限的限制，不建议选用此方案

冷120天，每天制冷12h，冬季供暖120天，每天供暖24h，正常供暖10h，夜间防冻维护运行14h，防冻维护平均负荷按满负荷20%计算。根据以上数据计算可得：

夏季制冷季向土壤释放的热量为：

$$Q_{\text{排热}} = 2100 \times 12 \times 120 \times 3600 \times \left(1 + \frac{1}{5.6}\right) = 1.28 \times 10^{10} \text{kJ}$$

冬季供暖季从土壤提取的热量为：

$$Q_{\text{取热}} = 3600 \times 10 \times 120 \times 3600 \times \left(1 - \frac{1}{3.8}\right) + 300 \times 14 \times 0.2 \times 120 \times 3600 \times \left(1 - \frac{1}{3.8}\right) = 1.46 \times 10^{10} \text{kJ}$$

根据上述计算数据，夏季制冷季向土壤释放的热量为1.28 × 10<sup>10</sup>kJ，冬季供暖季从土壤提取的热量为1.46 × 10<sup>10</sup>kJ，ΔQ=1.8 × 10<sup>9</sup>kJ；根据本项目地热评估报告，本项目工程场区浅层（130m深度范围内）地热静态储量为4.61 × 10<sup>9</sup>kJ（岩土体每变化1℃，释放或吸收的热量），经过一个制冷、采暖季后，岩土体温变化为0.39℃（下降）。同时考虑到土壤温度场本身具有自我恢复功能，所以热泵运行后影响范围内地层温度变化不大。

#### 4.4 主冷热源节能运行方案

该工程采用集散式控制管理方式，对现场设备进行分散控制、和集中管理，各现场控制器可实现点对点的双向通讯。通过优化机电设备控制工艺流程，制定符合项目特点和特色的节能控制策略，节约长期运营成本、延长设备寿命周期、减少运营管理人员，真正实现“水、电、气、暖、机”的统筹管理、可控运营、节能降耗的目标。

(1) 冬季供暖、泳池加热及生活热水系统运行方案

热源系统包括3台地源热泵、2台真空燃气锅炉。冬季优先运行地源热泵满足热负荷需求，检测并记录供暖季从土壤中提取的能量值，同时记录不同深度地下温度值及变化曲线，用作夏季年热平衡运行的参考值。同时当出现系统热负荷过高，则自动开启燃气热水锅炉进行调峰；或者当地温场监测系统检测到地下温度过低时，则自动开启燃气热水锅炉系统进行调峰。冬季泳池加热和生活热水全部由燃气热水锅炉供应。

设备开启顺序（此时相对应的泵、阀将同时动作）：3号地源热泵机组（热回收）→2号地源热泵机组→1号地源热泵机组→锅炉GL-1→锅炉

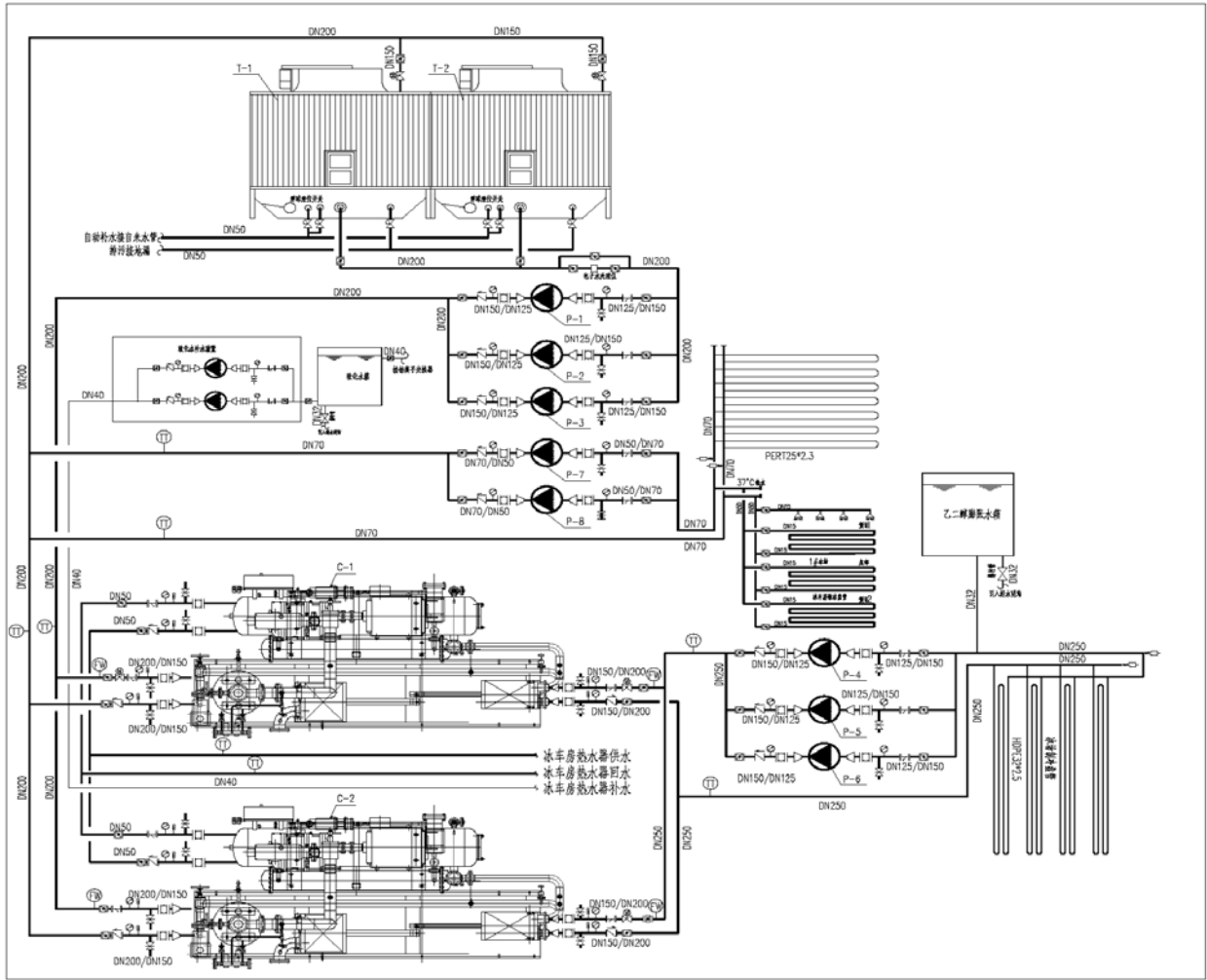


图4 制冰站房系统原理图

GL-3→锅炉GL-2(双换热器, 泳池加热和生活热水系统的备用锅炉)。

设备停止顺序(此时相对应的泵、阀将同时动作)与开启顺序相反。

(2) 夏季制冷、泳池加热及生活热水系统运行方案

冷源系统包括3台地源热泵、2台冷水机组、2台冷却塔。夏季优先运行地源热泵满足冷负荷需求, 检测并记录制冷季向土壤中释放的能量值, 同时记录不同深度地下温度值及变化曲线, 用作冬季年热平衡运行的参考值。同时当出现系统冷负荷过高, 则自动开启冷水机组系统进行调峰; 或者当地温场监测系统检测到地下温度过高时, 则自动开启冷水机组系统进行调峰。夏季泳池加热和生活热水系统按如下原则供应: 根据地下土壤温度场监测数据判断是否开启阀门组V1(地温

上升时开启, 地温下降时关闭), 运行3号地源热泵机组的全热回收系统, 加热泳池, 生活热水的热负荷由锅炉补充; 当地下温度场显示尚未达到热平衡, 则泳池加热及生活热水全部由燃气锅炉供应。

设备开启顺序(此时相对应的泵、阀将同时动作): 3号地源热泵机组(热回收)→2号地源热泵机组→1号地源热泵机组→1号冷水机组(冷却塔同时开启)→2号冷水机组(冷却塔同时开启)。

设备停止顺序(此时相对应的泵、阀将同时动作)与开启顺序相反。

(3) 热回收应用于泳池加热系统

根据地下土壤温度场监测数据, 当地温上升时开启阀门组V1, 运行3号地源热泵机组的全热回收系统, 优先使用热泵热回收能量加泳池。当此部分热量不能满足要求时, 再由锅炉热源补充。

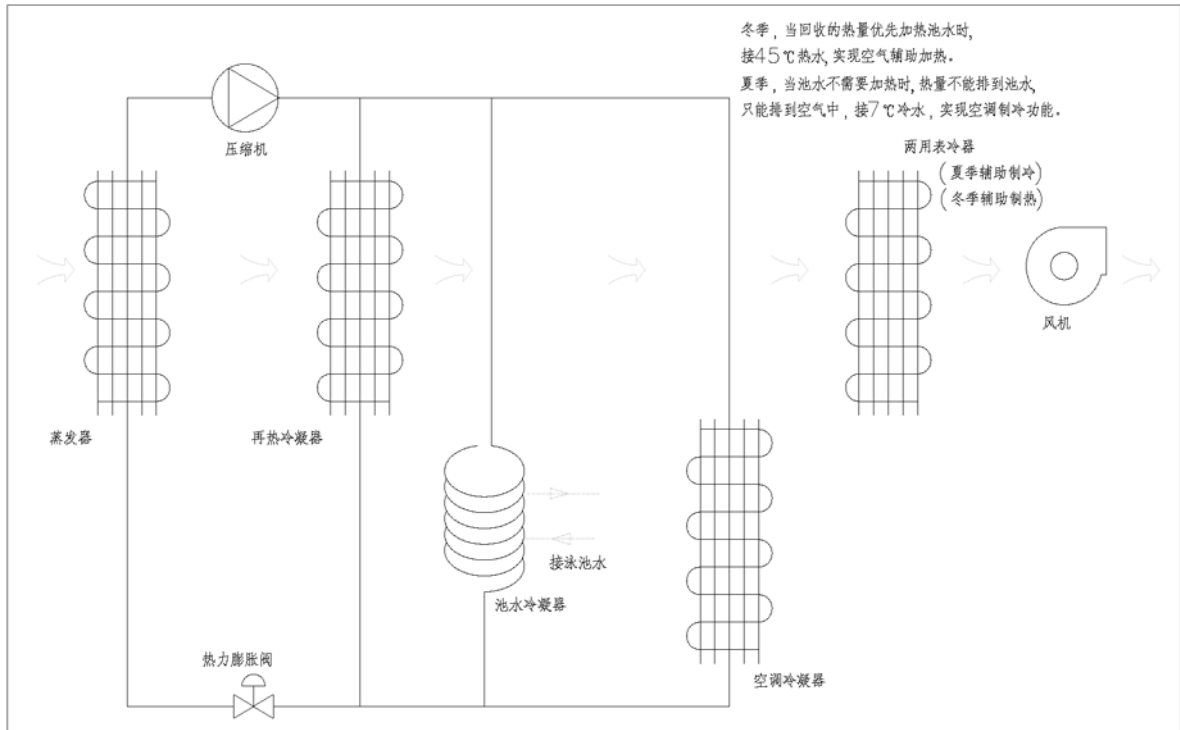


图5 恒温除湿系统工作原理图

#### 4.5 冷热源系统方案综合对比分析

### 5 人工冰场冷源系统

#### 5.1 冰场冷源系统配置

根据使用功能和使用时段特点,冰场冷源独立设置。冰场满足冰球以及冰球培训功能需求,冰面面积1830m<sup>2</sup> (61m×30m)。冰场供冷系统采用乙二醇间接供冷制冰系统,选用2台半封闭式螺杆低温乙二醇制冰机组,在-14℃出口温度工况下单台制冷量398kW。在初始运行时,2台制冷主机同时开启,达到72小时h的初次制冰要求。非高峰运行时,开启1台制冰主机及其制冷系统,另外一台主机及其制冷系统作为备用。

冰场的制冰系统采用间接制冷的方式,载冷剂为浓度40%的乙二醇溶液。乙二醇冷冻水设计温度为:进出水温度-11℃/-14℃,冷却水进出水温度32℃/37℃。系统原理如图4所示。

#### 5.2 冰场冷源系统节能方案

冰场内最主要的能耗在于制冰系统,制冰主机在制冰过程中产生大量的冷凝热,每套制冰机组配套热回收换热器,利用机组的排气热量提供浇冰用的热水(软化水);利用37℃的冷却水回水对融冰池加热和地坪加热,达到节能环保的目的。

### 6 游泳馆冷源系统

根据游泳馆区高温、高湿的特点,设置泳池恒温除湿热泵系统,可将池水表面蒸发的热损失回收利用,转移到池水和空气中,以满足池水和空气保温所需的热量。首先暖湿气流经蒸发器,温度下降,暖水汽凝结成冷水从空气中分离出来,使空气干爽,实现空气的除湿功能;空气冷却、水汽凝结及冷却过程中释放出的热能被冷媒吸收。第二步高温冷媒吸收热能,经热交换器加热池水,实现池水加热功能;另外一部分热量经过再热器,加热冷却的室内空气,实现空气的加热功能。此系统方案可达到恒温、恒湿、节能、节水、环保的效果,同时大大延长泳池区域内设备、材料的使用寿命。原理示意如图5所示。

### 7 末端空调系统节能

高大空间区域采用合理的气流组织和空调形式。北区北侧共享大厅吊顶高约27m,设计分层空调系统,减少风机输送能耗和无效供冷,采用鼓形喷口侧送风,在侧墙处集中回风。在过渡季节,大厅的冷负荷以通过幕墙的太阳辐射热为主,空调停运时,通过顶部设置排风机排除余

热,可有效节约能源。冬季设置地面辐射供暖系统,减少温度梯度,达到节能运行目的。

北区比赛大厅采用双风机低速风道全空气系统,屋面设置与之配套的排风机。气流组织为一排鼓形喷口加一排双层百叶风口侧送风,鼓形喷口送风至比赛区域,双层百叶风口送风至观众区域,集中侧下回风。屋面设置集中排风系统,与送风系统连锁控制,过渡季可实现全新风运行,减少冷机运行时间。

北区训练大厅采用单风机低速风道全空气系统,屋面设置与之配套的排风机。气流组织为旋流风口上送风,集中侧下回风。屋面设置集中排风系统,与送风系统连锁控制,过渡季可实现全新风运行,减少冷机运行时间。

南区剧院的观众厅采用低速风道全空气系统,座椅下送风,顶部回风。每个座椅的送风量为 $40\sim 50\text{m}^3/\text{h}$ 的观,送风温差 $3\sim 4^\circ\text{C}$ ,即夏季送风温度不低于 $20^\circ\text{C}$ ,送风器出风速度不高于 $0.4\text{m/s}$ ,至人体脚踝处风速不高于 $0.25\text{m/s}$ ,送风来自座椅下的建筑静压箱。该气流组织形式既可以满足人体舒适度要求,也较节能。由于该系统送风温差较小,从节能角度出发,空调机组采用二次回风的形式。送、回风机均自带变频控制器。

南区主舞台和侧舞台区域均采用低速风道全空气系统。送、回风机均自带变频控制器,可根据需要间歇供冷或供热,在演出时可减少送风量或关闭送风机,以降低出风口风速,避免出现幕布被吹晃动的现象。

办公室、会议室、培训教室等小空间采用风机盘管加独立新风的系统,使用灵活方便,满足不同末端用户对冷热的独立调节要求。采用热回收新风机组,热回收效率不小于 $60\%$ ,有效降低了新风能耗。新风系统设置初效、高压静电中效过滤器,大大提高了空气品质。

整个末端系统采用楼宇自动控制,降低运行能耗。

## 8 结语

(1) 空调节能应注重其节能技术应用的合理性,需因地制宜分析空调系统应用的合理性。

(2) 地源热泵系统是节能环保的有效技术措施,但不能盲目采用,应结合地域特征、地质条件、当地气候特点、建筑物冷热负荷特点以及周

围市政情况等因素进行充分的论证分析,尤其是特殊地形地貌,要充分考虑安全性、节能性与创新性的相互关系。

(3) 对于采用复合能源的系统,应合理匹配冷热源以及基础负荷和调节负荷的比例关系。

(4) 优化运行方案,采取节能评价措施。节能运行策略是绿色建筑的重要环节,节能设计和节能设备的累加并不等于真正节能。绿色建筑仅仅是绿色设计是不够的,还应注重运行和调试,实现真正意义上的绿色节能。

## 参考文献

- [1] 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范 GB50736—2012.
- [2] 孟凡兵.北京雁栖湖国际会展中心空调绿色节能技术应用[J].暖通空调,2015.



## 中航建投建筑设计研究院

中航建投建筑设计研究院隶属于中国航空规划设计研究总院有限公司（简称“中航规划”），是公司在民用建筑领域的专业团队，一直以来秉承公司的“创新成就梦想 实干铸就辉煌”核心价值观，通过精细化设计和专业化管理，为社会和客户奉献了众多的建筑精品。

中航规划拥有国家最高等级、最广领域的行业资质，1986年首批成为国家甲级设计院，2007年首家获得建设部颁发的工程设计综合甲级资质，1996年通过ISO9001质量体系认证，2006年通过建设工程总承包的质量、环境和职业健康安全管理体系认证，拥有城乡规划甲级资质、工程咨询甲级资质、工程造价咨询甲级资质、施工总承包资质、对外承包工程资格等，拥有硕士学位授予权、博士后科研工作站。

中航建投建筑设计研究院多年来培养了大批优秀咨询设计和项目管理人员，技术力量雄厚、人才梯队完善，现有技术人员200余人，涵盖11个专业，即总图、建筑、景观、室内、结构、给排水、暖通、强电、弱电、技术经济及项目管理专业，其中：国家一级注册建筑师25名，一级注册结构师10名，注册公共设备工程师6名，注册电气工程师2名，注册造价工程师6名，一级注册建造师11名，注册监理工程师6名，中级职称以上人员比例达到了80%。

中航建投建筑设计研究院承接的民用建筑项目主要涵盖六大业务领域，包括：科技博览、文化健身、文化教育、科研办公、商业文旅、地产人居等，已建成的如：河南艺术中心、中国杭州低碳科技馆、中国国家话剧院、内蒙古科技馆新馆及演艺中心、贵阳奥林匹克体育中心、绍兴奥林匹克体育中心、中关村国家自主创新示范区展示中心等，这些建筑精品作为标志性建筑已经成为凝固的艺术在当地熠熠生辉。随着一个个民用建筑项目的设计完成到建成使用，中航建投建筑设计研究院已经从单纯的工程咨询设计单位转变成成为工程建设领域的价值集成商，工程总承包业务持续稳定发展。

中航建投建筑设计研究院将持续以“提供客户满意的产品和服务”为己任，用实力和智慧为客户创造更高的价值，为社会奉献更多的建筑精品。



2019年第5期（总第145期）  
2019年10月出版



兰州市奥体中心项目