

# 航空工程建设

AERO-INDUSTRY ENGINEERING CONSTRUCTION

2018年第5期 总第139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9914-L0337号

**项目名称：**青岛海克斯康智慧产业园

**建设单位：**海克斯康青岛公司

**设计单位：**航空工业规划飞机工程设计研究院

本项目位于青岛市高新区，东至宝源路、北至锦荣路、西至华冠路、南至锦汇路。根据已批复的控规，本次规划选址建设用地性质为一类工业用地，总用地面积约13万m<sup>2</sup>。

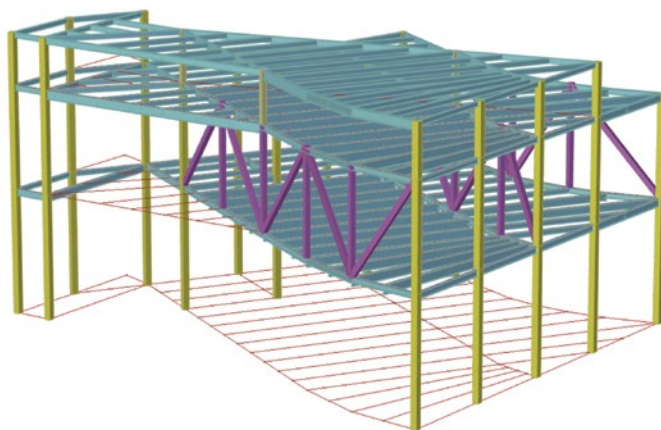
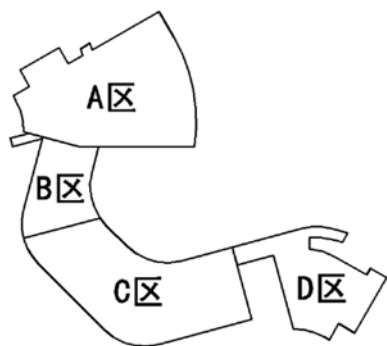
业主海克斯康青岛公司成立于1993年，位于青岛高新技术产业开发区株洲路188号，为中外合资企业，作为海克斯康的子公司（总部位于瑞典），拥有全球最大的测量产品设计、制造、服务、培训、应用与展示基地。本项目建设性质是为满足海克斯康青岛公司产品扩大生产规模需求，在新的生产基地内新建办公楼、展示中心、职工餐厅、生产厂房、能源中心、门房及道路、绿化等的室内外工程。

项目采用合理的设计方案，力求在满足使用需求的基础上，投资性价比做到最高。项目采用先进的技术，并注意节能和环境保护。园区规划和设计采用先进工业4.0的设计理念，打造出具有现代化智能工厂的典范。厂区规划上独立、有序的规划特色，延续城市格局形成严整的形象面与周边道路保持良好关系，对内又自成一体，形成宜人、内敛、私密的内部空间，工厂核心价值观、企业愿景和企业文化灵活的融入其中。

本项目办公楼按照绿色建筑三星标准进行设计，从城市设计上体现、独立、有序的规划特色，延续城市格局从建筑设计角度体现现代工厂功能与形式的完美统一，从细节设计上体现对使用者的关注。

办公楼是一个建筑群，里面包含展示中心、办公楼及餐厅三部分组合为“S”型建筑，建筑功能复杂，结构形式多样，分为A、B区（展示中心），C区（办公区）和D区（餐厅）4个部分：A区展示中心为3层钢筋混凝土框架+局部钢网架；展厅大跨屋盖处采用双向正交正放网架，呈圆弧状；B区多媒体会议室主体结构为钢结构，采用方钢管混凝土柱+空间桁架，含局部钢框架；桁架沿纵向共设3道，最大跨度约40m，桁架间用H型钢梁相连；顶层采用钢框架置于空间桁架上；C区办公区为5层钢筋混凝土框架；D区餐厅为5层钢筋混凝土框架，其中3层、4层局部缩进，5层屋面东侧设钢梁与办公区屋面相连，钢梁跨度为16m，与办公区连接支座为滑动支座。

其中，104号厂房规模巨大，造型复杂，多方向出挑大，结构设计难度很大，中间设置物理环境要求极高的精密测量间，专业设计难度大。



## 航空工业举办固定资产投资建设项目招投标管理培训



根据《关于召开固定资产投资建设项目招投标管理培训的预通知》(规划函[2018]72号)的要求,为进一步规范中国航空工业集团公司固定资产投资建设招投标工作,提高招投标管理水平,集团公司规划发展部委托中国航空工业建设协会于2018年7月和8月分别在遵义和青岛举办了二期《固定资产投资建设项目招投标管理培训》活动,各相关单位基建技改分管领导和具体工作人员参加了学习。集团规划发展部条件建设办公室主任陆国杰作培训动员讲话,要求大家提高认识,认真学习,持续提升招投标管理工作规范化和从业人员能力水平。

培训分别由航空工业规划副总经理杨俊锋和副总工程师贺宏斌主持,中航技总经理王伟、航空工业规划副总工程师米敬明分别讲解了《军工固定资产投资招标项目(设备类)审计检查重点及案例分析》、《工程建设项目招投标政策解读及问题分析》,与会人员就固定资产投资建设项目招投标管理工作进行了交流分享。按照集团公司要求,认真培训严格考试,两期共有60余家单位的272人通过现场考试并获得培训合格证书。通过培训,学员们取得了很好的学习效果,培训内容受到大家的欢迎,培训组织工作也得到了普遍好评。

## 波音737MAX飞机完工及交付中心 建设项目

建设地点：浙江省舟山市

设计单位：航空工业规划飞机工程设计研究院

建设情况： 施工中

### 设计亮点

波音737MAX飞机完工及交付中心建设项目建设地点位于浙江省舟山市，是美国波音公司第一个设于美国之外的飞机交付中心。该项目用于波音737MAX飞机的接收、内饰安装、喷漆、试飞以及飞机交付等生产活动。

该项目包括交付中心、完工中心、喷漆机库等10余个建筑单体，其中的主要建筑单体将进行美国LEED认证评估。厂区建筑设计灵感来自于飞机机翼的工业设计形象，为体现波音的品牌形象及波音与商飞之间的历史性合作，建筑设计中结合各个建筑单体不同的使用功能，通过各建筑的空间体量组织、屋面轮廓整合、表皮材料统一，并与基地现场室外景观设计相融合，形成浑然一体、气势磅礴的园林式厂区形象。





## 空客直升机定制厂房及配套配套设施建设工程项目

建设地点：山东省青岛市

设计单位：航空工业规划飞机工程设计研究院

建设情况：施工中

### 设计亮点

空客直升机定制厂房及配套配套设施建设工程项目位于山东省青岛市即墨区北部，即青岛蓝谷高新技术产业开发区内，是空客直升机在中国的首个项目。项目建设用地约

165.98亩，总投资共1.45亿元。该项目内生产流程为直升机的总装、喷漆、试飞、交付。目前，由我院承担一期咨询设计工作。一期规划平面根据功能大致分为空侧和陆侧，空侧（即西侧）为临近机场的飞行区，陆侧（即东侧）为生产区，空侧以停机坪及飞机起降区域为主，供直升机移动使用，用于飞行试验、飞机起飞降落。陆侧以生产和辅助生产用房为主，主要包含1号完工中心及飞行线机库、2号喷漆机库、3号燃油测试机棚、4号危险品库以及5号门房。

本项目设计周期紧张，各方对设计质量、设计内容都有较高的要求。团队上下秉承中航工业（AVIC）价值源于创造（ALL VALUE IN CREATION）的企业理念，以高完成度的图纸质量、及时全面的施工配合、为客户提供优质的咨询设计服务。

## 青云谱机场迁建EPC项目

建设地点：江西省南昌市

设计单位：航空工业规划飞机工程设计研究院

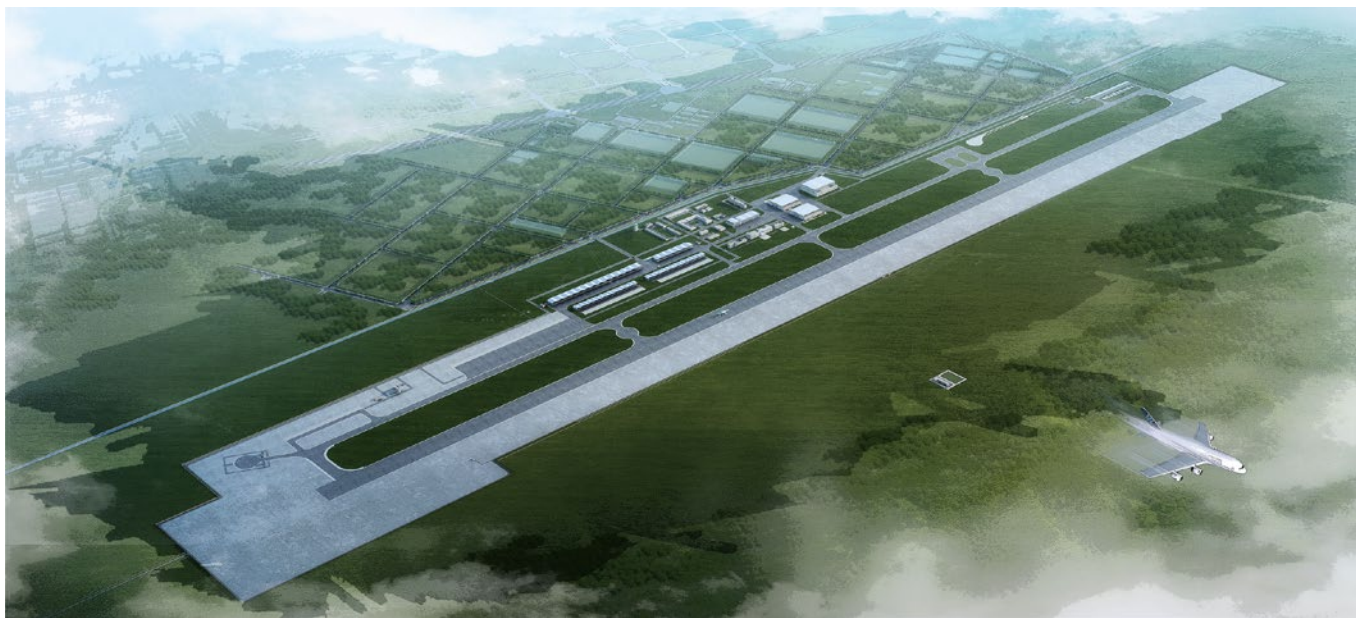
建设情况：建设中

### 项目亮点

青云谱机场迁建项目是由江西省发展和改革委员会批准、洪都航空工业集团有限责任公司筹资兴建的重点工程。该工程参照三级永备机场标准设计建设，建成后主要承担试飞任务，占地约4000亩，总投资12亿元。项目分两个标段：机场一标段和机场二标段。

机场一标段为新建1条长3600m、宽60m的跑道；1条与跑道等长、道面宽23m的平行滑行道，5条垂直联络道；100个停机坪、9个起飞线停机坪机位，包含了场道工程(含土石方、地基处理、道面、排水等工程)、附属工程(道路、现浇导流堤、校靶堤、应急出口)；机场二标段包含了配套的43

个建筑单体、通导、助航灯光、机场围界安防等建设内容。机场一标段合同工期8个月，二标段合同工期5个月，按同类型机场项目工期一般至少24个月。一标段于2016年11月19日中标，11月24日举行了开工仪式，受征地补偿、政府场地移交影响，12月5日陆续小面积动工，2017年2月15日以后正式大面积开工。机场一标段土石方工程量巨大，山皮石回填量约87万t，砂量约630万方，混凝土量约19万方。当时正值抢工阶段，受雨季高温天气影响，被要求10月31日完成建设任务，工期再次受到压缩。为保障完成建设任务，项目部协同EPC联合体单位同业主方协调各级政府部门保障土石方供应及水路、陆路运输绿色通道，针对雨季高温功效底下影响的工期，项目部同EPC联合体单位制定了相应奖励措施，保障了场道完工节点。二标段于2017年5月31日中标，6月7日陆续收地动工，同样受征地补偿、场地移交及雨季高温天气影响，有效施工工期严重受到压缩，涉及较飞的第一批21个栋号于2017年10月31日完成建设任务，并已交付使用。第二批21个单体也已完成合同约定内容，余下27号雷达站涉及方案修改，工期调整为2019年8月完工。





## 太空实验室地面实验基地及电磁弹射微重力实验装置及其配套科研实验用房项目

建设地点：北京市

设计单位：航空工业规划飞机工程设计研究院

建设情况：设计中

### 设计亮点

太空实验室地面实验基地项目建筑面积约为2.7万 $m^2$ ，建设内容包括科学项目培育中心、科学项目论证中心、科

学数据中心和国际联合研究中心四大中心。电磁弹射微重力实验装置及其配套科研实验用房建筑面积约为1.8万 $m^2$ ，建设内容包括电磁弹射竖井及相关实验辅助设施。

本项目从用地环境和实验功能出发，将使用功能和空间环境相结合。考虑两个地块有很强的联系性，即人员流线的联系、参观流线，实验工艺的流线联系需求，设计增设连廊，整体设计两个建筑子项，将本区域打造成形象统一整体的科研街区。建筑物体现简单性、多样统一性、独特性、条理分明的秩序，为使用者提供舒适、有趣的空间体验。设计团队致力于将本项目打造成具有标志性、开放性、国际化的科学实验基地。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《环境卫生技术规范》的公告

现批准《环境卫生技术规范》为国家标准，编号为GB51260-2017，自2018年5月1日起实施。本规范全部条文为强制性条文，必须严格执行。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《机械工厂年时基数设计标准》的公告

现批准《机械工厂年时基数设计标准》为国家标准，编号为GB/T51266-2017，自2018年5月1日起实施。

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准《城市基础地理信息系统技术标准》的公告

现批准《城市基础地理信息系统技术标准》为行业标准，编号为CJJ/T100-2017，自2018年6月1日起实施。原行业标准《城市基础地理信息系统技术规范》CJJ100-2004同时废止。

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准《装配式住宅建筑设计标准》的公告

现批准《装配式住宅建筑设计标准》为行业标准，编号为JGJ/T398-2017，自2018年6月1日起实施。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《建筑信息模型分类和编码标准》的公告

现批准《建筑信息模型分类和编码标准》为国家标准，编号为GB/T51269-2017，自2018年5月1日起实施。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《钢质石油储罐防腐工程技术标准》的公告

现批准《钢质石油储罐防腐工程技术标准》为国家标准，编号为GB/T50393-2017，自2018年5月1日起实施。原国家标准《钢质石油储罐防腐工程技术规范》GB50393-2008同时废止。

## 住房和城乡建设部关于发布行业产品标准《民用建筑远传抄表系统》的公告

现批准《民用建筑远传抄表系统》为建筑工业行业产品标准，编号为JG/T162-2017，自2018年5月1日起实施。原《住宅远传抄表系统》JG/T162-2009同时废止。

## 住房和城乡建设部关于发布行业产品标准《导光管采光装置》的公告

现批准《导光管采光装置》为建筑工业行业产品标准，编号为JG/T530-2017，自2018年5月1日起实施。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《物联网应用支撑平台工程技术标准》的公告

现批准《物联网应用支撑平台工程技术标准》为国家标准，编号为GB/T51243-2017，自2018年8月1日起实施。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《建筑防烟排烟系统技术标准》的公告

现批准《建筑防烟排烟系统技术标准》为国家标准，编号为GB51251-2017，自2018年8月1日起实施。其中，第3.1.2、3.1.5（2、3）、3.2.1、3.2.2、3.2.3、3.3.1、3.3.7、3.3.11、3.4.1、4.4.1、4.4.2、4.4.7、4.4.10、4.5.1、4.5.2、4.6.1、5.1.2、5.1.3、5.2.2、8.1.1条(款)为强制性条文，必须严格执行。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《木结构设计标准》的公告

现批准《木结构设计标准》为国家标准，编号为GB50005-2017，自2018年8月1日起实施。其中，第3.1.3、3.1.12、4.1.6、4.1.14、4.3.1、4.3.4、4.3.6、7.4.11、7.7.1、11.2.9条为强制性条文，必须严格执行。原国家标准《木结构设计规范》GB50005-2003同时废止。

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准《既有社区绿色化改造技术标准》的公告

现批准《既有社区绿色化改造技术标准》为行业标准，编号为JGJ/T425-2017，自2018年6月1日起实施。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《钢结构设计标准》的公告

现批准《钢结构设计标准》为国家标准，编号为GB50017-2017，自2018年7月1日起实施。其中，第4.3.2、4.4.1、4.4.3、4.4.4、4.4.5、4.4.6、18.3.3条为强制性条文，必须严格执行。原《钢结构设计规范》GB50017-2003同时废止。

(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 hkgcjs@avic-apc.com  
 印刷单位 北京奇麒麟印刷有限责任公司分公司  
 发送对象 公司内部及本系统内部  
 印刷日期 2018年10月  
 印数 1500册  
 电话 (010)62038276 62038235  
 传真 (010)62038297  
 封面 青岛海克斯康智慧产业园

# CONTENTS

## 目录 2018年第5期 总第139期

### 航空能力建设

- 02 不同电镀清洗方式节水效果分析计算 王虹 余璐 张萌
- 05 实时数据驱动的航空机加生产线资源优化配置机制研究  
侯康伟 张岩

### 研究与探讨

- 12 北京新机场某培训楼消能减震设计 杨会杰 张富华 赵伯友
- 17 深圳公务机二期机库抗震超限分析  
刘也 胡好 周青 郭鹏
- 24 打造地方特色的小型航站楼建筑方案设计 张楠 黄有曦
- 28 某螺旋桨滑流气源系统控制方法 史金春
- 32 火灾自动报警系统设计要点探讨 吴冠男
- 37 工程造价指标数据库系统研究 王旭 王玉平 陈文昭
- 47 供热管网工程施工质量控制要点分析 于颢
- 49 供热直埋管道固定支架受力计算 王双成
- 52 机场跑道消防给水设计探讨 付饶 陈洁如
- 57 上海某综合性建筑生活热水热源选择分析 赵洁
- 59 排产的概念与算法选择 张波

# 不同电镀清洗方式 节水效果分析计算

■ 王虹 余璐 张萌 [工艺]

**摘要:** 本文介绍了单槽漂洗法、多级并列漂洗法、连续逆流漂洗法、间歇逆流漂洗法、喷淋清洗法等不同清洗方式的水量计算方法,以2000mm×1000mm×1000mm镀铬槽为例,计算不同电镀清洗方式的用水量并对比分析不同电镀清洗方式的节水效果。

**关键词:** 电镀;清洗方式;用水量;节水效果

## 1 前言

电镀生产中产生的废水含有有机物、重金属、酸、碱等,从某种意义上来说重金属对环境和人类的危害最大。电镀企业在开展清洁生产审核的过程中,为应对环保要求,往往注重末端的废水回用、重金属回用等方案,而忽视了在生产源头上对用水的控制。2015年10月,国家发改委、环保部和工信部联合发布了新的《电镀行业清洁生产评价指标体系》,对电镀企业的节水设施与用水量提出了新的要求,如水耗控制指标已变为“单位产品每次清洗取水量”,且为限定性指标,这将更加科学地引导企业重视电镀清洗过程中的清洗方式和节水技术。

## 2 电镀清洗方式

电镀常用的清洗方式为单槽清洗法,节能水洗方法有多级并列漂洗法、连续逆流漂洗法、间

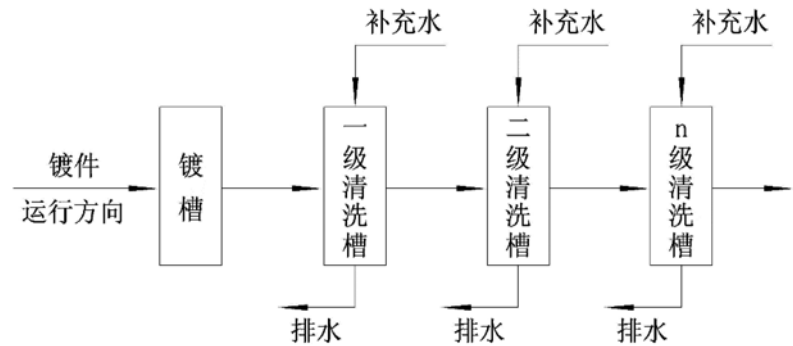


图1 多级并列漂洗法工艺流程图

歇逆流漂洗法、喷淋清洗法等。

### 2.1 多级并列漂洗

多级并列漂洗是在处理槽后并联接两个或两个以上的直流清洗水槽。每个水槽均单独进水和排水。多级并列漂洗法的基本工艺流程如图1所示。

### 2.2 逆流漂洗

当末级清洗槽废水浓度达到允许浓度时,应逆流逐级全部换水或部分换水,第一级清洗水槽排放的废水应回收利用。逆流漂洗是清洗水流动方向与镀件移动方向相反的一种清洗方式,该方式由多级清洗槽串联组成,由末级清洗槽内进水,首级清洗槽内排水。逆流清洗按清洗水补给方式可分为连续逆流清洗法和间歇逆流清洗法两类。

作者简介:王虹,女,研究员,1995年毕业于天津大学材料科学与工程系腐蚀与保护专业,现就职于航空工业规划动力工程设计研究院。

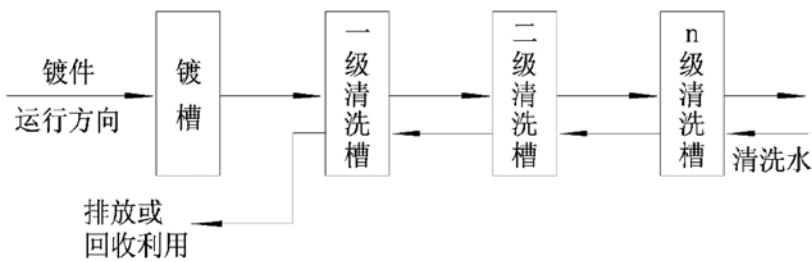


图2 连续逆流清洗法工艺流程

### 1) 连续逆流清洗法

连续逆流清洗法末级清洗槽为连续进水，各清洗槽间通过重力作用进行换水，直至第一级清洗槽后连续排放。连续逆流清洗法的基本工艺流程如图2所示。

连续逆流清洗法的清洗水流向与镀件运行方向相反，并应控制末级清洗槽废水浓度不超过允许浓度。

### 2) 间歇逆流清洗法

间歇逆流漂洗首级清洗槽周期性排水，补充水由后槽向前逐级推进，至末级清洗槽补充新鲜水，也称清洗废水全翻槽方法。间歇逆流清洗法的基本工艺流程如图3所示。

### 2.3 喷淋清洗

喷淋清洗是当前电镀企业较常用的清洗方式，一般应用于自动生产线，与逆流清洗槽联用。喷淋清洗利用水的喷射动能作用，使附着液从镀件表面加速脱落，从而有效提高清洗效率，其节水效果相当于外加0.5~1.0个逆流清洗槽。喷淋清洗法的基本工艺流程如图4所示。

## 3 水量计算

零件清洗水的水量与镀种的工艺要求、设备

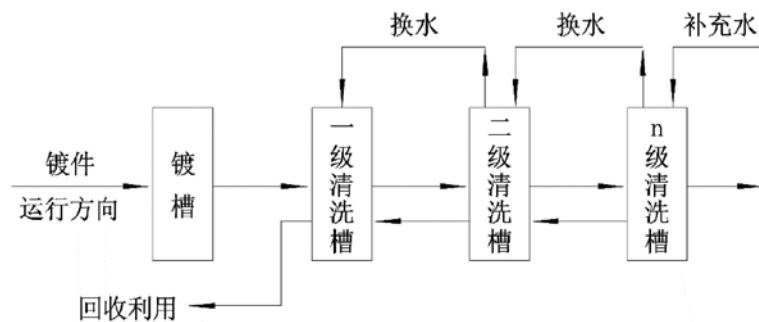


图3 间歇逆流漂洗法工艺流程图

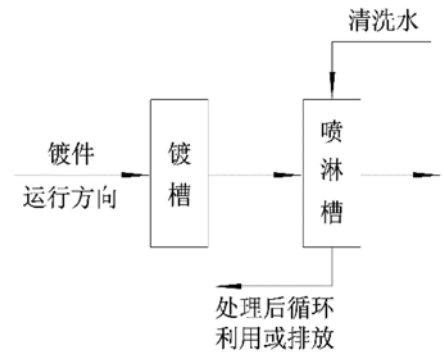


图4 喷淋清洗法工艺流程图

使用方式、清洗方法有关。耗水量分为最大耗水量和平均耗水量。最大耗水量指空槽注水时的用水量（喷淋槽除外）；平均耗水量指维持工作时的用水量，即单位生产时间的清洗水量。以下计算的水量均为平均耗水量。

### 3.1 计算原理

表面处理零件清洗水量计算遵循物料平衡方程式，具体如下：

$$qC_0 = QC_n$$

式中， $q$ ：单位时间槽液带出量，L/h； $Q$ ：单位时间清洗水量，L/h； $C_0$ ：处理槽的槽液浓度，mg/L； $C_n$ ：清洗槽的浓度，mg/L。

### 3.2 水量计算方法

#### 1) 单槽漂洗法

单槽漂洗法是镀槽后只接一个直流清洗槽。根据物料平衡计算公式，可得：

$$Q = \frac{qC_0}{C_n}$$

#### 2) 多级并列漂洗法

该清洗方式采用多级直流清洗槽并联组合而成，各清洗槽分别单独进水和排水。各级清洗槽液浓度不同，但进水量相等。多级并列漂洗法的水量计算公式为：

$$Q = n \left( \sqrt[n]{\frac{C_0}{C_n}} - 1 \right) q$$

通过公式可知，在达到同样清洗质量的前提下，增加清洗级数可以减少清洗供水量。当清洗级数在3级以上时，随着级数的增加，供水流量的下降率却很小。因此，多级并列直流清洗在实际生产操

作中, 由于漂洗浓度逐渐下降, 过多增加级数并不经济, 而且级数越多, 劳动强度越大, 一般采用3级较为合适。

### 3) 连续逆流漂洗法

该清洗方式由多级清洗槽串联组成, 在末级清洗槽内连续进水, 从第一级清洗槽内连续排水, 各级清洗槽液浓度不同。随着镀件越洗越净, 清洗槽液浓度也越来越高。根据物料平衡方程式, 经复杂的公式推导, 最终可得连续逆流漂洗法的水量计算公式为:

$$Q = q \sqrt[n]{\frac{C_0}{C_n S_1}}$$

式中 $S_1$ 为浓度修正系数, 浓度修整系数宜通过试验确定, 当无条件试验时可按表1采用。

### 4) 间歇逆流漂洗法

间歇逆流漂洗法清洗方式与连续逆流清洗不同之处在于末级槽不是连续进水, 而是间歇进水。间歇逆流清洗法的清洗水量计算公式为:

$$Q = q \sqrt[n]{\frac{C_0}{C_n n! S_2}}$$

式中 $S_2$ 为浓度修正系数, 浓度修整系数宜通过试验确定, 当无条件试验时可按表1采用。

### 5) 喷淋清洗法

喷淋清洗作为一种有效的清洗方法, 发挥了用水的最大效率。只有当镀件在喷淋位置上才进行喷淋, 使用很少量的水即可稀释镀件上的带出液。喷淋清洗尚无理论计算方法, 零件单次喷洗的水量可采用经验公式:

$$Q = (10L/m^2) \times S$$

式中 $S$ 为单槽装载量,  $m^2$ 。

## 4 节水效果对比分析

假设某条镀铬槽的工作尺寸为 $2000mm \times 1000mm \times 1000mm$  (长 $\times$ 宽 $\times$ 高), 镀铬槽中 $CrO_3$ 质量分数为 $150g/L$ , 工艺要求控制清洗槽末槽质量分数为 $0.01g/L$ 。每班工作8小时, 可以处理10槽零件。零件镀铬后需水洗, 在满足零件清洗效果的前提下, 分别计算单槽漂洗

表1 浓度修整系数 $S_1$

清洗槽级数	1	2	3	4	5
浓度修正系数 $S_1/S_2$	0.9~0.95	0.7~0.8	0.5~0.6	0.3~0.4	0.1~0.2

表2 不同清洗方式用水量对比表

序号	清洗方式	用水量 (L/h)
1	单槽漂洗法	3750
2	多级并列漂洗法	12
3	连续逆流漂洗法	6.9
4	间歇逆流漂洗法	5.07
5	喷淋清洗法	12.5

法、多级并列漂洗法、多级连续逆流漂洗法、多级间歇逆流漂洗法、喷淋清洗法的理论耗水量, 并对节水效果进行比较, 如表2所示。

## 5 节水效果对比

1) 在镀液带出量相同及最终清洗槽浓度大致相同的情况下, 单槽漂洗法耗水量远远大于其他节水清洗方法;

2) 在清洗槽级数相等的情况下, 并列漂洗耗水量 $>$ 连续逆流漂洗耗水量 $>$ 间歇逆流漂洗耗水量;

3) 逆流漂洗的清洗槽级数越多, 耗水量越少。

### 参考文献

- [1] 《中华人民共和国清洁生产促进法》。
- [2] 电镀行业清洁生产评价指标体系, 中华人民共和国国家发展和改革委员会, 中华人民共和国国家环境保护部, 中华人民共和国国家工业和信息化部, 公告 2015年第25号。

# 实时数据驱动的航空机加生产线资源优化配置机制研究

■ 侯康伟 张岩 [工艺]

**摘要:** 为提高航空制造企业生产线资源利用水平, 本文从生产线资源状态管理和资源配置两个方面对实时数据驱动的机加生产线资源优化配置机制进行了研究, 以工件、刀具、夹具以及机加设备为主要研究对象。首先, 按照不同功能属性分析确定了生产线资源状态信息的内容及采集管理方法; 其次, 以资源状态信息为实时数据驱动, 从资源需求、资源匹配以及资源预警三个方面研究并提出了资源优化配置机制; 最后, 以某航空机加生产单元为对象, 设计了资源优化配置相关模块, 并对本文研究成果进行了验证。

**关键词:** 实时数据; 资源管理; 资源优化配置

## 1 前言

随着航空业的蓬勃发展, 航空产品结构愈加复杂, 制造订单日益增加, 而随着市场竞争加剧, 交货周期不断缩短。制造要求不断提高和资源约束不断增加的矛盾是航空制造企业面临的主要问题之一。为解决该问题, 提高企业核心竞争力, 制造企业必须优化内部资源管理, 监控生产资源状态, 以资源实时状态数据为驱动, 通过科学合理的资源优化配置, 缩短生产等待时间、提高设备利用率, 降低成本, 确保交付时间。

机加生产线资源管理是通过数字化和信息化手段对生产线主要资源, 包括夹具、刀具、工件、设备等进行统一的管理, 通过物联网设备和信息系统提高资源管理的效率, 并为生产线其他管控模块提供资源状态数据。刘国斌<sup>[1]</sup>结合多Agent系统理论, 从资源管理的工作流程与资源的相关性角度出发, 研究了基于MES的离散型制造企业车间资源管理办法。谢宝山<sup>[2]</sup>研究了航空工装制造企业生产资源管理特点, 并开展了面向工装MES的制造

资源管理模与系统研究。胡永乐<sup>[3]</sup>对航空复合材料制造过程中的资源管理特点及问题进行了研究分析, 并设计了面向复合材料MES的统一物料管理模式和系统方案。陈克方<sup>[4]</sup>研究了基于CAPP、现场数据采集和质量管理等系统的刀具管理方法。吴振<sup>[5]</sup>对刀具的全寿命周期模型和刀具信息模型进行了研究, 并提出了刀具直接标刻与自动识别的解决方法。

生产资源优化配置以排产任务和工艺信息为基础, 结合生产现场各类资源的使用状态, 对线内资源进行合理的调配, 实现线内制造资源的优化配置和智能化调度, 提高资源调配效率, 解决由资源不确定性导致的生产等待和资源浪费问题。刘中等<sup>[6]</sup>利用模糊数学的方法针对性地应用于求解资源最优组合问题, 提出了一种利用模糊综合评判寻找最有竞争力资源组合的方法。董朝阳等<sup>[7]</sup>提出制造资源重构的思想, 根据生产任务的数量、交货期等具体内容动态地对现有制造资源、可用资源和可获资源进行快速地合理地组织, 从而达到效率和竞争力最大化。刘志芳<sup>[8]</sup>提出了基于精益生产的资源配置优化模型, 并通过仿真对该模型解决资源配置问题的可行性进行了验证研究。梁祖红<sup>[9]</sup>针对多产品小批量生产模式和单元式流水化车间

作者简介: 侯康伟, 男, 工程师, 2015年毕业于北京航空航天大学力学专业, 现就职于航空工业规划智能技术中心。

制造特点，研究建立了制造系统双重资源优化配置的数学模型，同时提出了资源配置的近似优化问题求解方法。

本文分别从资源管理和资源配置两个方面对生产线资源实时数据驱动的资源优化配置机制进行了研究。资源管理主要以生产线上的关键生产资源为对象，研究通过物联网工具实现资源状态信息的实时采集和管理方法，并提供资源状态的实时数据；资源优化配置以生产工艺、生产计划等信息为基础输入，以资源实时状态数据为驱动，研究符合生产现场实时情况的资源优化配置方法。

## 2 资源管理

生产线关键资源包括：工件、夹具、刀具以及加工设备等，通过二维码、条码、RFID、扫码枪等物联网感知工具，以及数控机床、三坐标测量、物流运输等生产线自动化设备，对资源在生产线中的全过程状态行为和数据进行自动或人工辅助记录，经过统计分析之后实现基于资源实时状态的决策支持，为资源配置以及生产管控系统其他功能

提供可靠有效的资源信息。

### 2.1 工件管理

工件管理贯穿其在生产线加工中的主要环节，包括：工件准备、录入装夹、暂存存储、进线加工、移除卸夹以及出线确认，各环节中工件管理的手段及数据信息如图 1所示。

1) 工件准备：在进入生产线之前，工件应具备数字码、条码或二维码等形式的唯一身份标识，标识编码由系统统一分配。根据工件的特点，可以选择不同类型的标识形式，例如：激光标刻、纸质标识、人工记录等。

2) 录入装夹：完成工件进线的信息录入和工装装夹，根据标识形式，通过人工辅助记录、扫码录入等形式，将工件编号、工件信息等数据输入至生产管控系统中，将加工任务与工件进行关联，完成工件进线操作。

3) 暂存存储：当加工设备处于忙碌状态时，系统为已经进线的工件分配暂存存储位，由自动化物流设备或人工搬运至存储位，并将存储位信息传至生产管控系统中，为后续的物流搬运提供信息，当生产设备空闲时由系统安排工件进线。

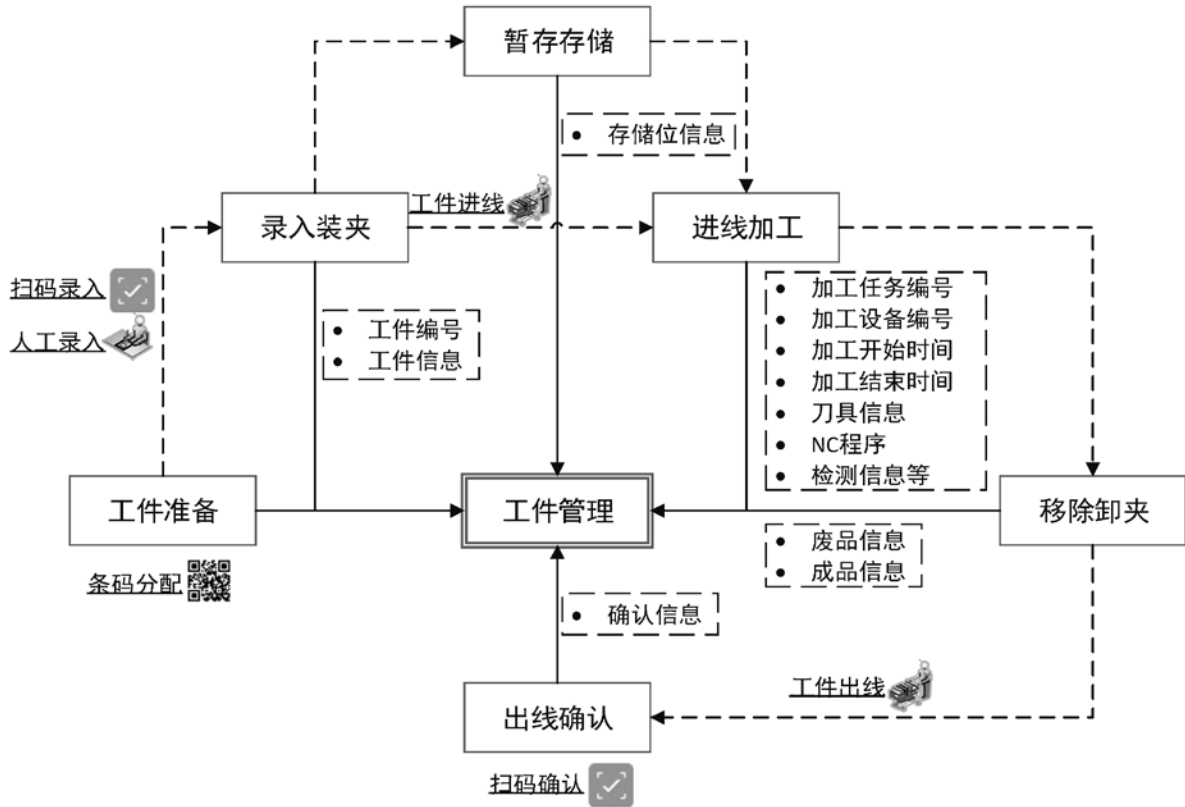


图1 工件管理

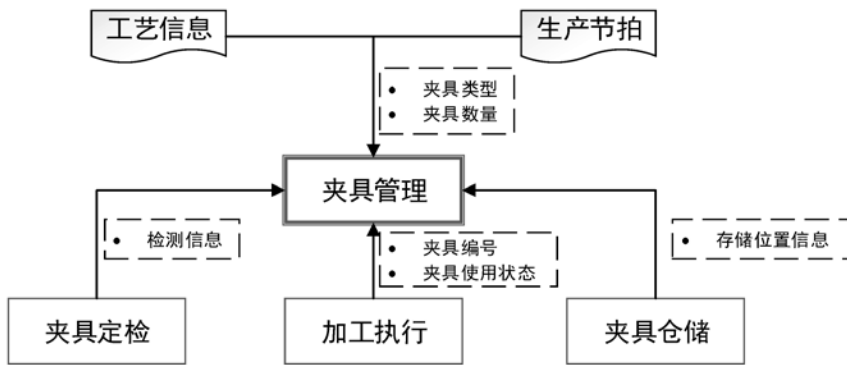


图2 夹具管理

4) 进线加工：工件加工过程中，通过线内自动化加工检测设备的信息采集，由生产管控系统自动记录工件的加工任务编号、设备编号、加工开始时间、结束时间、加工刀具信息、NC程序以及检测信息等。

5) 移除卸夹：加工完成之后，将产品从工装上卸下，根据检测信息，判断工件是否合格，自动或人工记录工件成品或废品的检验信息，由生产管控系统安排工件出线。

6) 出线确认：由人工辅助检查系统内工件加工的记录信息，若信息与实际一致则通过扫描工件标识或人工记录进行确认，工件信息数据由系统进行存档管理，工件完成出线。

## 2.2 夹具管理

夹具在生产线上用于在加工过程中固定工件，保证其加工位姿，夹具的类型和数量由工艺特点和生产节拍等因素决定。夹具管理包括定检维护、加工使用以及仓库储存三个方面，涵盖了夹具

在生产线使用过程中的主要信息，如图 2所示。

1) 夹具定检：根据夹具定检计划，由管控系统为夹具调配空闲机床以及检测NC程序，通过人工搬运或自动化物流设备将夹具按照计划时间运送至指定机床，完成夹具检测，系统将夹具检测结果进行采集，根据结果进行夹具坐标校准。

2) 加工执行：在夹具的使用过程中，通过RFID、条码等工具获取夹具编码，在工件进线过程中使用管控系统将工件与夹具进行绑定，根据工件加工任务的执行情况采集夹具的使用状态信息，提供查询追溯功能。

3) 夹具仓储：根据零件的加工工艺确定夹具的类型，并根据生产节拍确定夹具数量。整个生产线的夹具和存储位一一对应，通过接近开关、RFID阅读器、扫码枪等物联网感知设备，实时采集仓库存储位状态以及存储位夹具信息。夹具的出入库可以由人工搬运完成，也可以由管控系统集成自动化物流设备完成。

## 2.3 刀具管理

刀具管理以生产线内数控机床加工所使用的刀具为对象，通过管控系统与刀具库、数控机床以及刀具检测设备集成，实时采集刀具的使用信息、存储信息以及检测信息等，通过数据统计及分析，实现刀具精益化管理，提高刀具的使用寿命和使用效率。刀具管理信息如图 3所示。

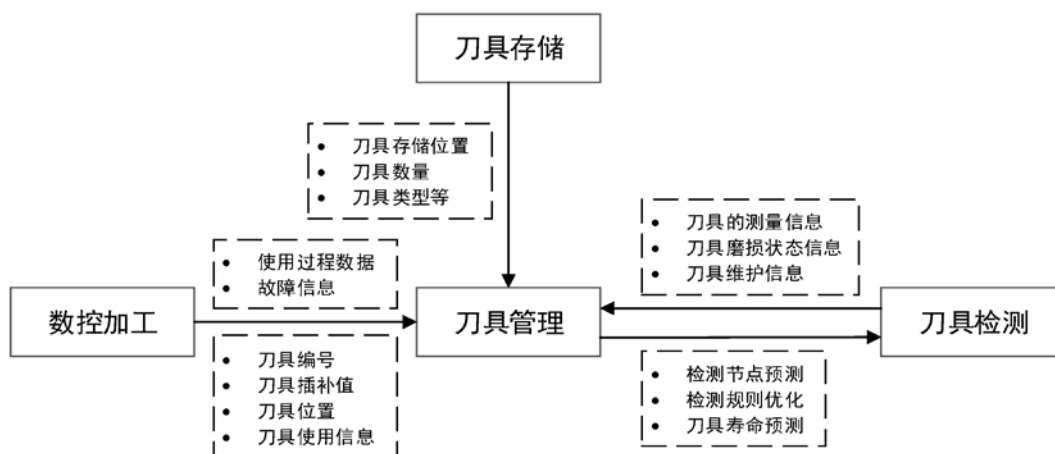


图3 刀具管理

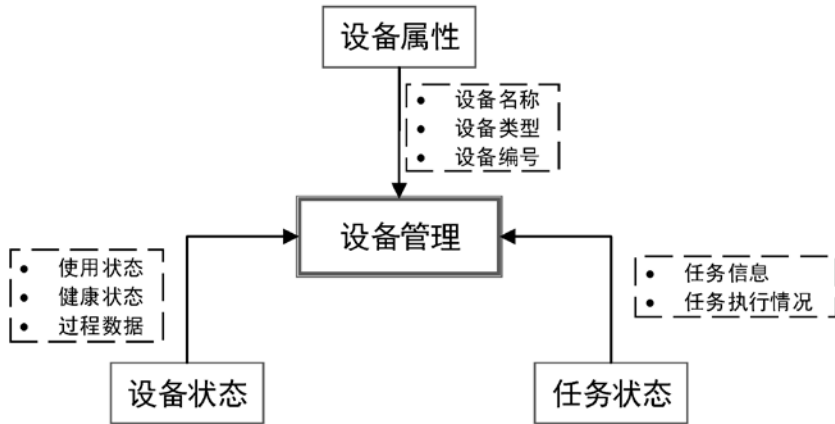


图4 设备管理

1) 刀具存储：通过在刀具上加装RFID芯片、条码或二维码等标签，为每一把刀具分配唯一编码标识，生产线上可以通过RFID阅读或者扫码等形式感知记录刀具信息。刀具管理通过与刀具存储系统集成，使用物联网感知设备实时获取刀具存储位置、刀具数量、刀具类型等信息。

2) 数控加工：将刀具管理与数控机床的集成，基于刀具唯一身份标识，通过数控系统提供的数据采集接口以及NC程序信息，获取生产线运行过程中各数控机床内的刀具信息，包括：刀具编号、刀具插补值、刀具在刀具库中的位置、刀具使用情况等；此外，刀具管理收集加工过程中的故障信息以及过程数据，与刀具的磨损信息进行综合对比统计，分析刀具磨损对加工过程的影响规律，为刀具的检测维护提供支持。

3) 刀具检测：刀具管理与刀具检测设备集成，以数控加工过程中刀具的使用信息、刀具测量结果、刀具磨损状态信息，以及刀具维护信息为数据基础进行统计分析，建立相对应的刀具检测规则，自动预测刀具的检测节点，为制定刀具定检计划提供支持；此外，结合刀具使用过程数据（包括加工工序类型、对应加工次数或时长）及对应故障信息的统计分析，对刀具检测规则进行动态修正，实现刀具检测作业的自适应调整，在保证产品质量的前提下，尽量减少刀具检测频次，增加刀具使用寿命，以此提高生产效率和刀具资源利用率。

## 2.4 设备管理

设备管理以生产线数控加工机床、自动化物流设备为主要对象，对设备的属性信息、状态信息以及任务信息进行采集管理，如图4所示。通过设备台帐对设备名称、设备类型以及设备编号等属性

信息进行管理；通过与数控系统集成，对设备的使用状态、健康状态以及过程数据等设备状态信息进行管理；通过任务管理系统集成，对设备任务信息、任务执行情况等任务状态信息进行管理。

1) 设备属性：通过设备台账管理，对生产线内设备基本属性信息进行记录管理，包括：设备名称、设备类型以及设备编号等，为设备提供唯一身份信息，为生产线的资源管

理提供基础依据。

2) 设备状态：根据设备控制系统数据的开放程度，通过软件集成（设备系统提供数据接口）或硬件改造（增加数据采集卡）等方式，对设备的工作状态（空闲、在用、停机等）、健康状态（良好、维修、报废等），过程数据（当前刀具号、主轴转速、工作时间，位置坐标等）等信息进行采集，实现生产线设备状态的实时监控。

3) 任务状态：通过集成设备控制系统与生产线任务管理系统，对设备当前任务信息（任务类型、NC程序、零件数量等）和任务执行情况（正在进行、已完成、故障报警等）等信息进行采集管理，实现生产线设备任务的实时监控。

## 3 资源优化配置

资源优化配置以生产线夹具、刀具、设备等资源状态等实时数据为驱动，以生产资源需求为配置目标，通过系统自动进行资源匹配，当现场资源满足需求时自动生成资源配置方案；当现场资源不能满足需求时，系统自动寻找是否有可替换的备用资源，若存在则生成备用资源列表，由人工手动调整资源配置并进行资源配置结果确认，若不存在则发出资源库存预警，同时将信息反馈至生产计划制定相关人员或系统，进行计划动态的调整。资源优化配置逻辑如图5所示。

### 3.1 资源需求

资源需求统计以生产线中的刀具、夹具、设备等资源为主要对象，根据生产计划和工艺信息文件要求，分析统计刀具、夹具等资源的数量、类型、使用时间等需求，如图6所示。



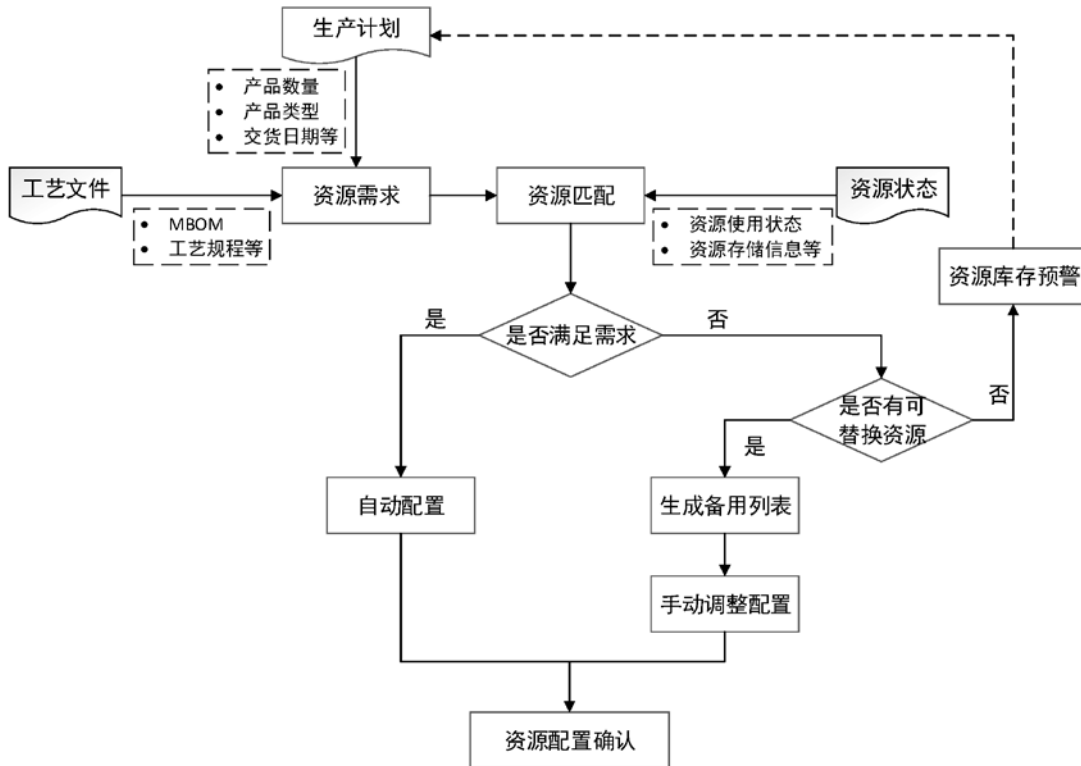


图5 资源优化配置

由生产管控系统排产调度模块制定生产线的生产计划，为系统提供生产线的产品加工任务，并根据产品BOM表，将产品任务分解至工件的加工任务，同时，通过排产结果可得到产品对应各工件的任务信息，包括工件类型、工件数量、计划加工时间等。

通过与CAPP等工艺系统集成，生产管控系统查询针对各工件的工艺文件，包括MBOM、工艺规程等，获取工件加工工序内容，并统计每道工序对刀具、夹具、设备等资源的需求；将各工序资源需求汇总之后，得到单个工件加工过程中的资源需求列表，再将各工件资源需求列表汇总之后，即可

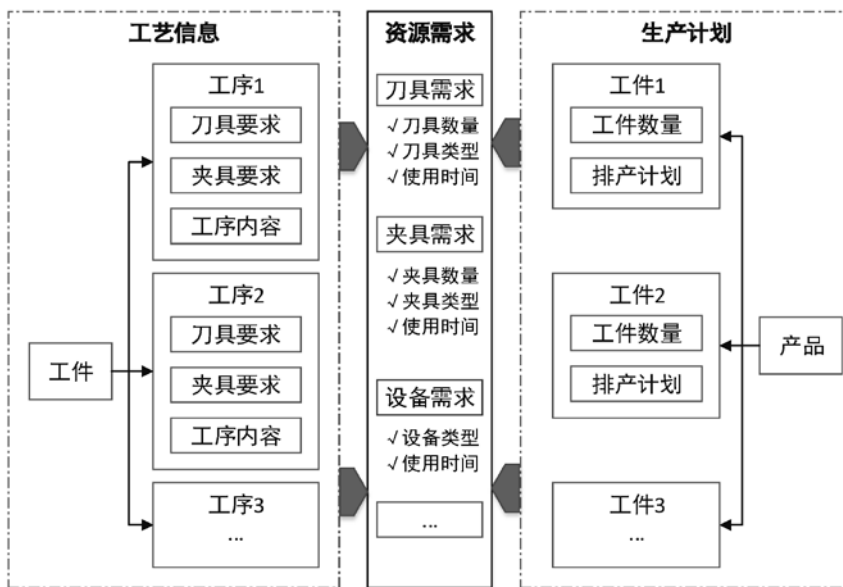


图6 资源需求

得到该产品生产任务的资源需求列表，列表内容包括刀具、夹具、设备等资源的需求数量、需求类型、预计使用时间等信息。

### 3.2 资源匹配

以满足资源需求为目标，根据资源管理得到的生产线资源实时状态，通过资源的匹配，得到生产任务的资源的自动优化配置，确保生产任务的顺利进行。资源匹配流程示意如图7所示。

通过资源管理监测生产线上夹具、刀具、设备等资源的实时状态，包括使用状态（使

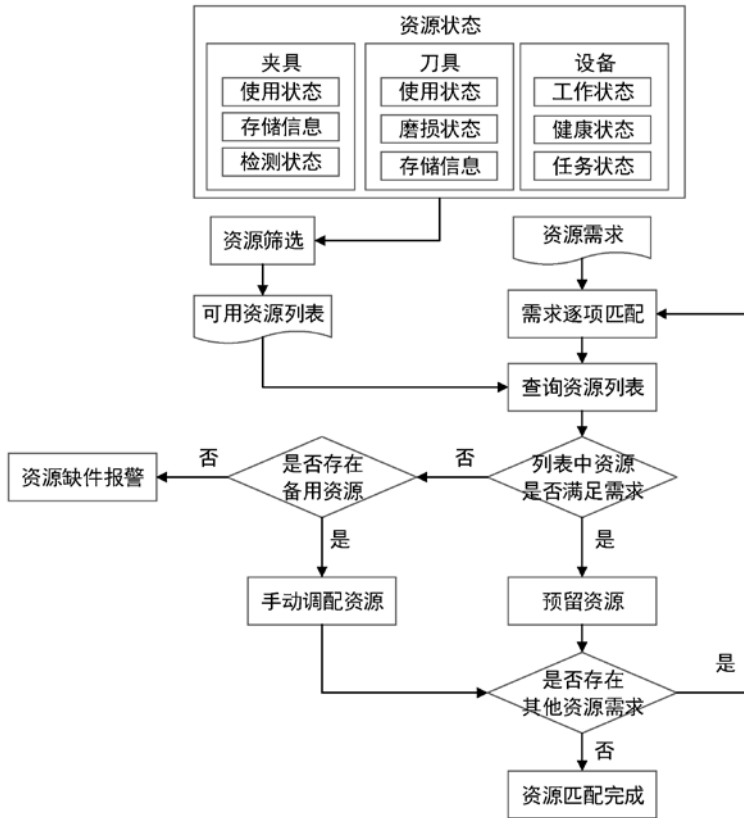


图7 资源匹配

用中、闲置、报废等)、存储信息(资源的存储位置及存储数量)、检测状态(资源健康情况)等;当产生资源匹配需求的时候,系统对生产线资源进行初步筛选,对满足加工要求,可供使用的资源进行统计,生成可用资源列表,用以资源查询匹配。

由生产任务统计分析得到生产线资源需求,生产管控系统按照需求列表逐条进行匹配,并根据资源的名称、类型、数量等信息在可用资源列表中进行查询,若查询得到当前资源可以满足需求,则对该资源进行预留,确保资源不会被用作他处;若可用列表中资源无法满足需求,则继续查询是否存在备用资源,例如:同等性能可替换的资源、生产线外资源等,若存在备用资源,则通过人工手动进行资源调配,若不存在,则通过系统发出资源缺件报警,并重新调整生产计划;每一项资源需求匹配完成之后则重复进行下一项资源的匹配,当所有资源需求都匹配完成之后,则生成资源配置列表,资源匹配工作完成。

### 3.3 资源预警

根据生产线生产任务记录,预计未来生产过

程中生产资源的需求情况,结合资源状态(资源维保、报废等),通过设置合理的资源库存阈值,当生产线可用资源数量低于该阈值时,系统发出资源库存预警,并向上层系统进行反馈,及时进行资源补充,避免资源匹配过程中出现资源缺件报警,导致资源匹配失败,影响生产任务按进度完成。

资源预警逻辑如图8所示,根据生产线任务历史信息,统计以往订单数量以及产品加工过程中对资源的需求数量,综合考虑资源目前的使用状况、维保状态等,设定合理的生产资源库存阈值。通过资源管理系统,对资源库存情况进行查询,当某项资源的库存数量低于设定的阈值,则发出资源库存预警,通过管控系统与ERP、MES等上层系统的集成,将预警信息向上进行反馈,由人工及时进行资源的采购或调配,保证资源库存不低于设定阈值,实现资源预警作用。

## 4 案例验证

基于上述生产线资源优化配置机制,本文在某航空机加生产单元管控系统的设计中对该机制进行了验证,并设计开发了资源管理和资源优化配置相关功能模块原型系统。

资源管理功能包含了刀具管理、夹具管理、设备管理和工件管理,部分界面如图9所示。资源管理对生产单元中资源实时状态进行采集,为资源优化配置及系统其他功能提供数据,并通过列表、图片等形式对资源状态进行可视化展示。

资源优化配置功能包含了资源配置和资源预警管理,部分界面如图10所示。资源优化配置根据生产单元实时状态数据,在任务管理中对生产订单的资源需求进行自动配置;对资源不满足生产需求的情况进行预警,并显示具体的预警信息,为进一步生产调度提供依据。

## 5 结论

本文分别从资源实时状态管理和资源优化配置两方面对实时数据驱动的航空产品机加生产线资

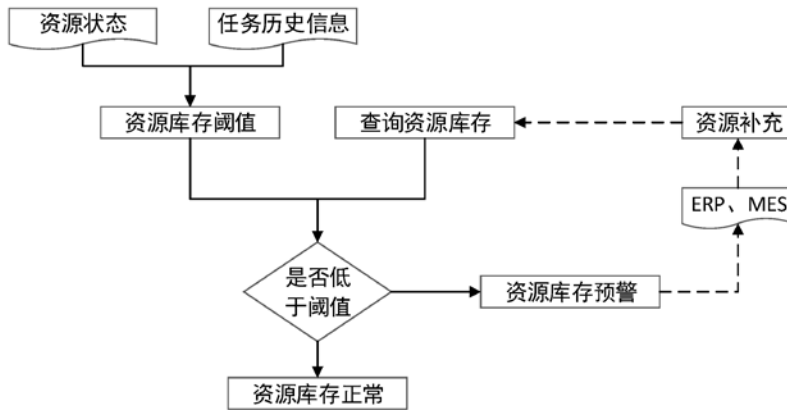


图8 资源预警



图9 资源管理

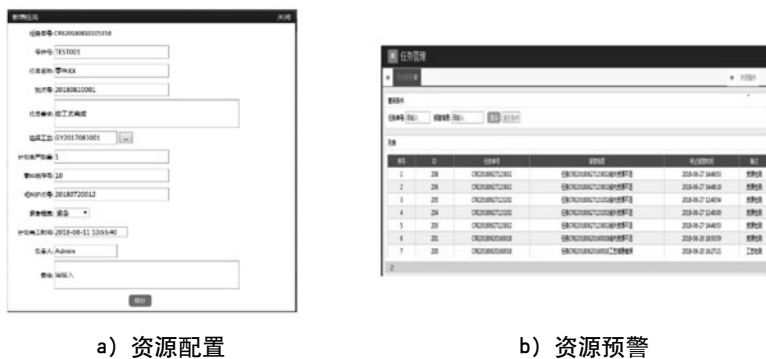


图10 资源优化配置

源优化配置机制进行了研究。首先，通过资源实时状态管理的研究，对生产线中工件、刀具、夹具以及设备的实时状态信息进行了分析研究，总结了不同功能属性下各类资源信息内容；然后，通过资源优化配置研究，对生产线中工件、刀具、夹具

以及设备的资源需求进行了分析，研究确定了基于资源实时状态的资源匹配逻辑，以及生产线资源不足时的资源预警逻辑；最后，通过某航空生产单元的管控系统的开发，设计了生产线资源优化配置相关功能模块，对本文研究成果进行了验证。

参考文献

[1] 刘国斌. 基于MES的离散型制造企业车间资源管理的研究与应用[D]. 汕头大学硕士学位论文, 2011.

[2] 谢宝山. 工装MES中制造资源管理系统的研究与开发[D], 南京航空航天大学硕士学位论文, 2008.

[3] 胡永乐. 面向复合材料MES的物料管理系统的研究与开发[D], 南京航空航天大学硕士学位论文, 2010.

[4] 陈克方. 面向MES的刀具管理系统研究[D], 东华大学硕士学位论文, 2007.

[5] 吴振. MES下的刀具管理及信息追踪技术研究[D]. 西北工业大学硕士学位论文, 2007.

[6] 刘中. 机械制造资源重构研究[D]. 机械科学研究院博士学位论文, 2003.

[7] 董朝阳、孙树栋、韩光臣、王军强. 网络化制造资源优化配置的三级优化策略[A]. 先进制造技术论坛暨第三届制造业自动化与信息化技术交流会论文集[C], 2004.

[8] 刘志芳. 基于精益生产的资源配置优化与仿真研究[D]. 天津大学硕士学位论文, 2013.

[9] 梁祖红. 考虑生产周期与产能约束的制造系统双重资源优化配置方法研究[D]. 广东工业大学博士学位论文, 2012.

# 北京新机场某培训楼消能减震设计

■ 杨会杰 张富华 赵伯友 [结构]

**摘要:** 某培训楼位于北京新机场内,其中A1区主体结构高度为27.3m,主要功能为培训教学,由于建筑功能要求,各层教室开间上下均不对应。结构选型基于使用需求,分别采用混凝土框架结构和混凝土框架+消能器结构进行了对比计算分析,经过比较,框架+消能器为比较合理的结构形式。根据规范要求,对框架+消能器结构进行了罕遇地震下静力弹塑性分析,结构的最大层间位移角可满足规范要求,塑性铰出铰情况符合预期,结构整体满足“大震不倒”的性能目标。

**关键词:** 消能减震;消能器;静力弹塑性分析;最大层间位移角

## 1 工程概况

某培训楼位于北京新机场,总建筑面积29998.25m<sup>2</sup>,其中地上建筑面积25421.22m<sup>2</sup>,地下建筑面积4577.03m<sup>2</sup>。根据建筑方位划分为A、B两个区域。A区主要功能为培训教学,大空间区域为实验室,局部地下一层为设备用房;B区主要功能为值班用房和食堂。其中A区通过防震缝分为A1区、A2区、A3区三个结构单体,分区示意图见图2。本文主要对高度最高的A1区进行分析介绍。

A1区平面尺寸为67.2m×18.3m,主要柱网为8.4m×(8.4+4.5+5.4)m,地下1层,地上6层,主体结构高度为27.3m,局部出屋面楼梯间结构高度为31.8m,层高示意图见图3。A1区主要建筑功能为培训教学,南侧为培训教室,中间为走廊,北侧分布有楼梯间、电梯间、卫生间、设备用房等,典型平面布局见图4。

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

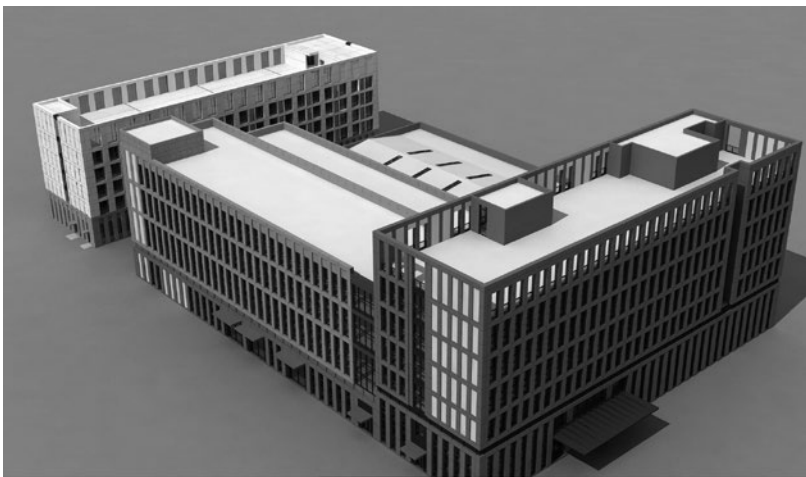


图1 建筑效果图

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0.55s,抗震设防类别为标准设防类(丙类)。基本风压( $R=50$ )为0.45kN/m<sup>2</sup>,地面粗糙度类别为B类,基本雪压( $R=50$ )为0.40 kN/m<sup>2</sup>。

## 2 结构选型

### 2.1 混凝土框架结构

A1区主体结构高度为27.3m,主要建筑功能为培训教室,且由于使用需求,各层教室开间上

作者简介:杨会杰,男,高级工程师,2007年毕业于天津大学结构工程专业,现就职于中航建投民航工程设计研究院。

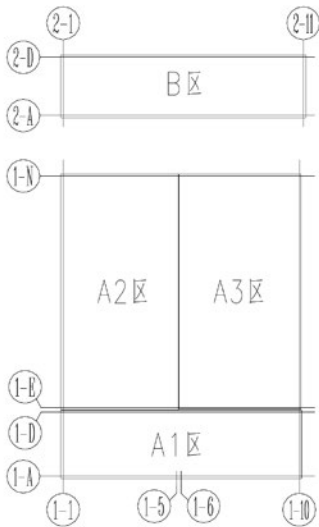


图2 分区示意图

出屋面	31.800		
屋面	27.300	4.500	C30
6	22.700	4.600	C30
5	18.200	4.500	C30
4	13.700	4.500	C40
3	9.200	4.500	C40
2	4.700	4.500	C50
1	-0.100	4.800	C50
-1	基础顶	6.000	C50
层号	标高H(m)	层高(m)	柱混凝土等级

结构层楼面标高  
 结构层高  
 上部结构嵌固部位:  
 -0.100

图3 A1区层高示意图

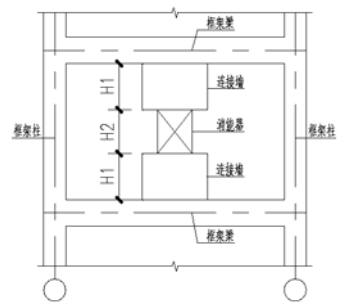


图5 消能器立面示意图

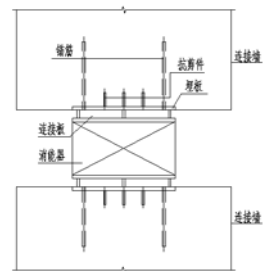


图6 消能器节点做法示意

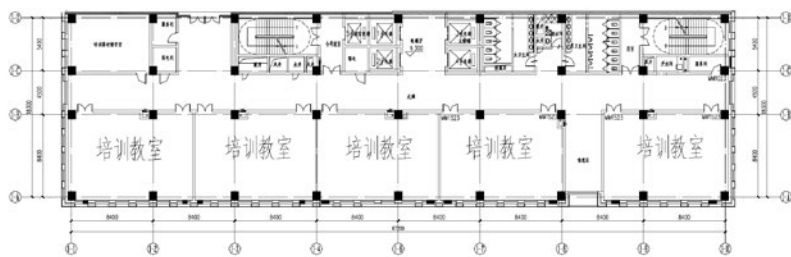


图4 A1区典型平面示意图

下均不对应。从功能使用灵活性考虑，框架结构为优先考虑方案，而框架一剪力墙结构由于墙体布置受限，不作为备选方案。

由于《建筑抗震设计规范》（2016年版）将北京的设计地震分组由第一组调整为第二组，结构地震作用明显增大，高度较高的框架结构位移角较难满足规范要求。

通过计算，在X、Y向层间位移角均调整到满足1/550的情况下，各楼层主要截面见表1。

从表1可以看出，最大中柱截面为1000×1100、最大中框梁截面为400×900，与主要柱距4.5m、5.4m、8.4m，主要层高4.5m相比，梁柱截面过大影响了建筑布局。同时边柱和边框梁截面过大，导致结构刚度较大，地震反应较大，既不利于结构抗震，也使结构整体材料用量增加，经济型较差。

### 2.2 混凝土框架+消能器结构

基于采用框架结构的计算结果及建筑功能特点，采用金属复合摩擦型消能器（CFD）进行消

能减震设计。消能器由与上下框架梁相连的短墙和中间的CFD组成，见图5、图6。

消能器不承担竖向荷载，在水平位移作用下相对滑动摩擦耗能，吸收耗散地震作用，提供较

表1 楼层主要梁柱截面（一）

楼层	柱截面 (mm)		梁截面 (mm)	
	中柱	边柱	中框梁	边框梁
7	600×600	600×600	300×600	300×600
6	600×600	600×600	400×900	400×1000
5	800×900	800×900	400×900	400×1000
4	800×900	800×900	400×900	400×1000
3	1000×1100	1000×1200	500×700 450×700	500×1500 500×1000
2	1000×1100	1000×1200	500×700 450×700	500×1500 500×1000
1	1000×1100	1000×1200	500×700 450×700	500×1500 500×1000

大的附加阻尼。消能器设置时不需要上下楼层对齐，在每层有建筑隔墙的位置设置消能器，消能器厚度与墙厚相同，不影响建筑功能布局。二层消能器布置见图7，其他楼层布置与二层类似，位置不同，全楼共计布置了38台，结构阻尼比增大4%。

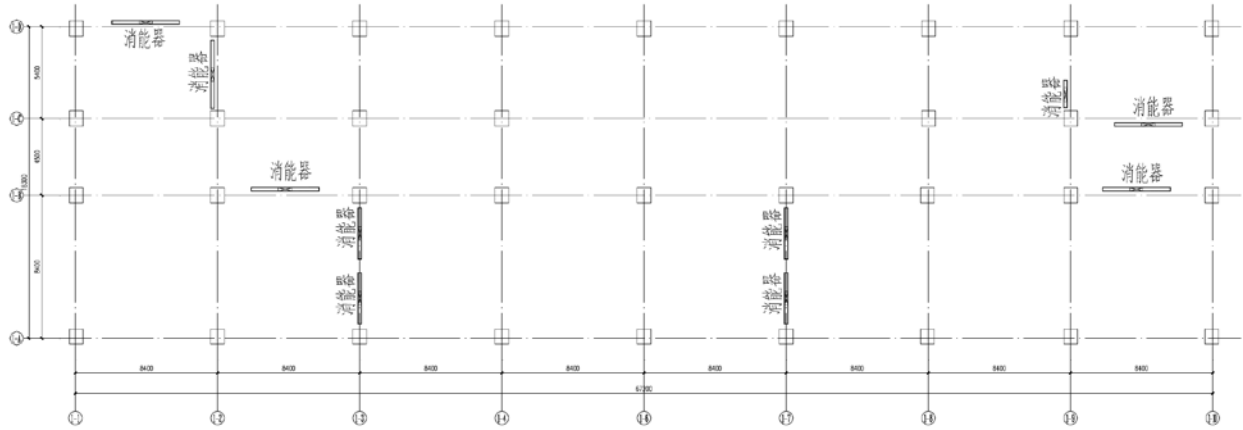


图7 消能器平面布置图

采用框架+消能器结构，控制X、Y向层间位移角满足1/600，将梁柱截面进行了优化调整，主要梁柱截面见表2。

表2 楼层主要梁柱截面 (二)

楼层	柱截面 (mm)		梁截面 (mm)		消能器台数
	中柱	边柱	中框架	边框架	
7	600×600	600×600	300×600	300×600	0
6	600×600	600×600	400×700	400×700	4
5	700×800	700×800	400×700	500×900 400×900	4
4	700×800	700×800	400×700	500×900 400×900	8
3	800×900	800×900	500×700 450×700	500×900	8
2	800×900	800×900	500×700 450×700	500×900	10
1	800×900	800×900	500×700 450×700	500×900	4

梁柱截面优化后（即结构采用表2中梁柱截面），对比了不设置消能器和设置消能器的层间位移角，见表3。

表3 层间位移角对比表

楼层	减震前		减震后	
	X	Y	X	Y
7	1/ 857	1/ 786	1/1070	1/1153
6	1/ 678	1/ 490	1/ 900	1/ 812
5	1/ 601	1/ 476	1/ 781	1/ 737
4	1/ 493	1/ 400	1/ 661	1/ 643
3	1/ 499	1/ 400	1/ 666	1/ 632
2	1/ 484	1/ 411	1/ 631	1/ 621
1	1/ 612	1/ 537	1/ 766	1/ 791

通过以上对比，X向最大层间位移角由1/484减小到1/631，Y向最大层间位移角由1/400减小到1/632，消能器可有效减小结构最大层间位移角。

### 2.3 框架结构与框架+消能器结构方案对比

#### (1) 构件截面对比

框架结构与框架+消能器结构的构件截面对比见表4，各楼层总的柱截面面积减小34.5%~22.1%，每层可增加有效建筑使用面积13m<sup>2</sup>~5m<sup>2</sup>，建筑净高可提高600mm~100mm。

表4 构件截面对比表

楼层	框架结构		框架+消能器结构		减小幅度	
	楼层柱总面积 (m <sup>2</sup> )	最大梁高 (mm)	楼层柱总面积 (m <sup>2</sup> )	楼层梁高 (mm)	柱截面面积	梁高
7	4.5	600	4.5	600	0.00%	0.00%
6	12.2	1000	12.2	700	0.00%	30.0%
5	24.5	1000	19.1	900	22.1%	10.0%
4	24.5	1000	19.1	900	22.1%	10.0%
3	37.4	1500	24.5	900	34.5%	40.0%
2	37.4	1500	24.5	900	34.5%	40.0%
1	37.4	1500	24.5	900	34.5%	40.0%

#### (2) 周期对比

表5 周期对比表

结构类型	第一平动周期	第二平动周期	扭转周期
框架结构	0.95s	0.86s	0.68s
框架+消能器结构	1.03s	1.03s	0.88s

两种结构形式的周期见表5，框架+消能器结构由于构件截面较小，并采用消能器耗散地震能

量，所以结构刚度减小，周期变长，对结构抵抗地震作用更为有利。

(3) 层剪力对比

两种结构形式的楼层剪力见表6，结构地震作用减小幅度在26%~36%之间，地震作用减小提高了结构抗震性能，减小了抗侧力构件的截面和配筋，经济性明显提高。

表6 层剪力对比表

楼层	框架结构 (kN)		框架+消能器结构 (kN)		减小幅度	
	X	Y	X	Y	X	Y
7	953.72	1047.14	683.36	671.24	28.3%	35.9%
6	5237.01	5732.26	3891.65	3938.88	25.7%	31.3%
5	8565.95	9283.37	6319.46	6322.58	26.2%	31.9%
4	11391.68	12288.70	8302.75	8269.38	27.1%	32.7%
3	13638.52	14710.76	9899.53	9823.91	27.4%	33.2%
2	15234.38	16471.52	11129.25	11005.53	26.9%	33.2%
1	16050.11	17389.95	11814.80	11671.00	26.4%	32.9%

(4) 基底压力

两种结构形式的基底压力见表7，由于基底压力减小，基础造价也相应降低。

表7 总基底压力对比表

	框架结构 (t)	框架+消能器结构 (t)	减小幅度
基底压力值	271816	257262	5.4%

通过以上对比，框架+消能器结构可以减小构件截面、减轻结构重量、减少地震作用、提高经济型，本工程比较合理的结构形式。

3 罕遇地震下弹塑性分析

3.1 静力弹塑性分析的有限元模型

根据《建筑消能减震技术规程》JGJ297-2013规定，罕遇地震作用下消能器的设计位移计算，应通过结构整体弹塑性分析确定。

本工程采用PKPM的EPDA&PUSH模块进行静力弹塑性分析计算，整体计算模型见图8。

3.2 能力-需求谱曲线及层间位移角

按8度(0.20g)进行结构设计，现按8度(0.20g)所对应的罕遇地震对结构进行抗震性能分析。

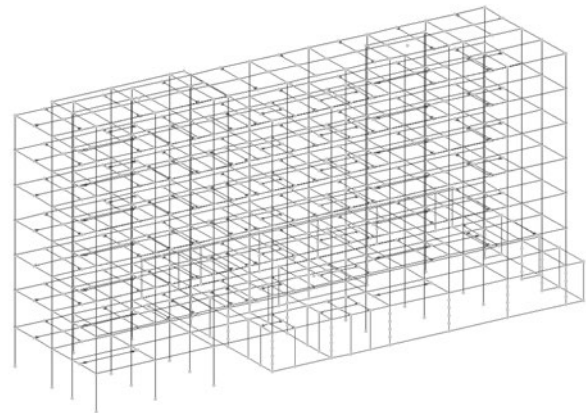


图8 PUSHOVER分析整体结构模型

X向能力-需求谱曲线及层间位移角见图9。

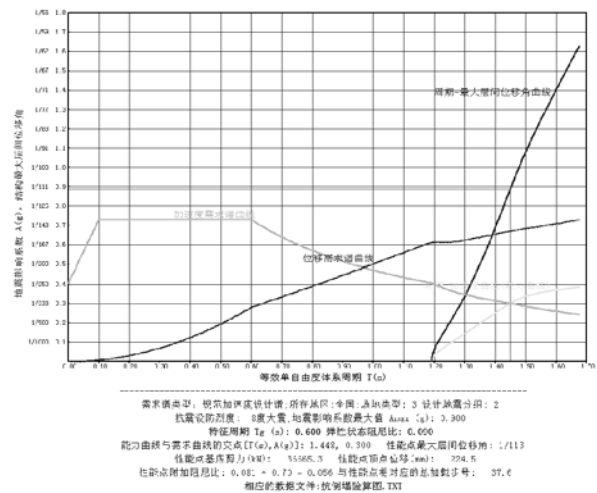


图9 结构X方向罕遇地震下能力-需求谱曲线

X方向罕遇地震性能控制点对应的结构顶点位移为224.5mm，此时结构基底剪力约为36665.3kN。结构顶点位移为224.5mm时，结构最大层间位移角出现在第4层，最大值为1/113，小于规范限值1/50，罕遇地震下层间位移角详见图10。

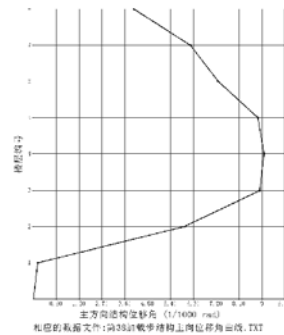


图10 结构X方向罕遇地震下层间位移角

Y向能力-需求谱曲线及层间位移角见图11。

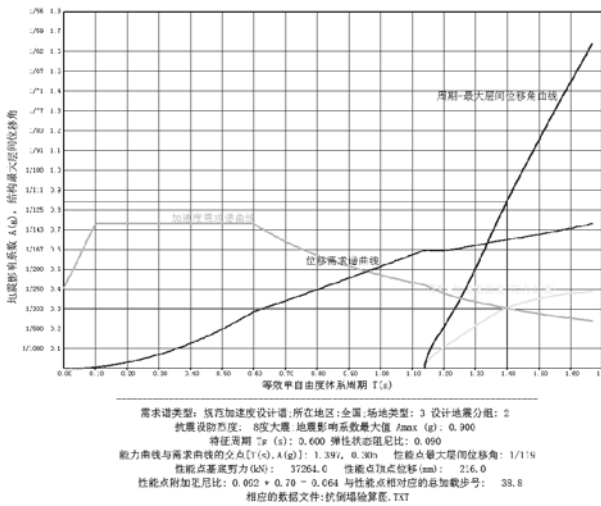


图11 结构Y方向罕遇地震下能力-需求谱曲线

Y方向罕遇地震性能控制点对应的结构顶点位移为216.0mm, 此时结构基底剪力约为37264.0kN。结构顶点位移为216.0mm时, 结构最大层间位移角出现在第4层, 最大值为1/119, 小于规范限值1/50, 罕遇地震下层间位移角详见图12。

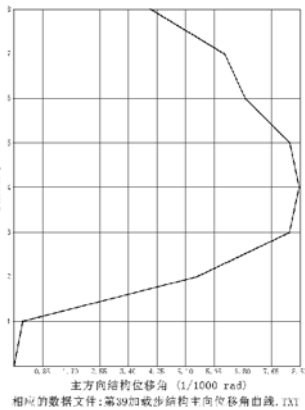


图12 结构Y方向罕遇地震下层间位移角

### 3.3 塑性铰分布

由图13、图14可知, 在性能点处, 主体结构部分梁端出现塑性铰、个别柱端出现塑性铰。继续推覆至最终点, 各构件的塑性铰屈服程度继续加深, 但大部分铰的屈服深度仍处于可以接受的范围之内。

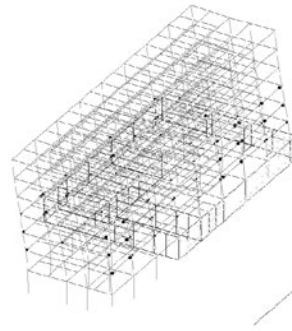


图13 X向塑性铰分布

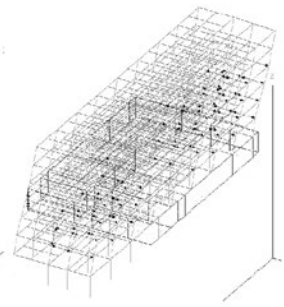


图14 Y向塑性铰分布

通过罕遇地震下的弹塑性静力分析结果表明, 在罕遇地震下, 结构能够保持较好的变形性能, 计算的最大层间位移角均小于规范规定的限值, 并有足够富余, 结构整体满足“大震不倒”的性能目标。同时, 结构在罕遇地震作用下, 结构出铰顺序合理, 符合设计的预期。

## 4 结论

(1) 分别采用混凝土框架结构和混凝土框架+消能器结构进行了设计计算, 通过方案对比, 框架+消能器结构为本工程比较合理的结构形式。

(2) 对框架+消能器结构进行了罕遇地震下静力弹塑性分析, 分析结果表明, 结构在罕遇地震下能够保持较好的变形性能, 可实现预期的设计目标。

### 参考文献

- [1] JGJ 297—2013建筑消能减震技术规程[S], 北京, 中国建筑工业出版社, 2013
- [2] 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
- [3] 季新强, 张志强, 郑雪霆. 高烈度区高层建筑结构与减震设计研究[J]. 建筑结构, 2013, 43 (S1) : 1200~1203



# 深圳公务机二期机库抗震超限分析

■ 刘也 胡妤 周青 郭鹏 [结构]

**摘要:** 深圳公务机二期机库跨度138m, 进深45m。屋盖采用斜放四角锥双层钢网架结构, 抗侧力体系采用钢筋混凝土柱加柱间支撑形式。机库为超限大跨空间结构, 需进行抗震超限分析。本文验算了机库在不同水平地震作用下的抗震性能, 并针对机库的超限采取了相关的概念设计及构造措施。计算结果表明, 深圳公务机二期机库设计达到了预定的抗震设防目标。

**关键词:** 大跨度空间结构; 抗震性能设计; 超长结构

## 1 工程概况

深圳机场公务机二期机库项目位于深圳宝安国际机场国际候机楼北侧, 由机库大厅及附楼组成。该机库主要承担湾流系列公务机机型的停放、维修和清洗的工作。机库大厅与附楼之间设置防震缝, 各自为独立的结构体系。其中机库大厅跨度138m, 进深45m, 下弦中心标高10.0m, 机库大门为电动推拉式大门, 大门净高9m, 侧墙柱距10m、11m, 后山墙柱距16m、8m。机库效果图见图1。结构设计参数见表1。



图1 机库正立面

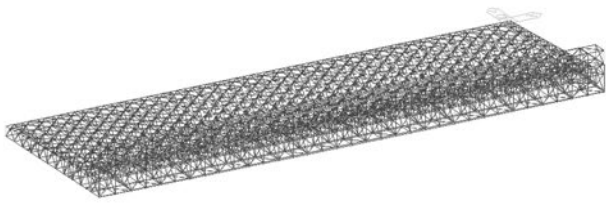
表1 结构设计参数

计使用年限	50年	屋面恒荷载	0.50kN/m <sup>2</sup>
安全等级	一级	基本雪压值	0kN/m <sup>2</sup>
抗震设防类别	乙类	基本风压值	0.75kN/m <sup>2</sup> (100年重现期)
抗震设防烈度	7度		
设计地震分组	第一组	地面粗糙度类别	B类
设计基本地震加速度	0.10g	场地土类别	Ⅱ类

机库大厅屋盖跨度138m, 超过120m, 属于跨度超限的空间结构<sup>[3]</sup>。为满足飞机进出机库的需要屋盖为三边支承, 一边开敞, 开敞边设推拉式机库门。机库大厅屋盖采用螺栓球+局部焊接空心球节点斜放四角锥双层钢网架方案, 网架高2.5m~4.55m, 下弦中心标高10m, 下弦网格主要尺寸为4m×4m。大门桁架跨度138m, 高10.5m, 桁架下弦中心标高10m。大门桁架跨高比13.14; 由于设置了大门桁架, 屋盖网架为四边支承, 网架跨度约41m, 网架跨高比9~16.4。

机库大厅抗侧力体系布置见图2(b)。机库大门处边柱是机库特有的重要构件。机库大厅屋盖支承柱采用现浇钢筋混凝土柱; 机库后山墙布置了两道柱间支撑, 与机库大门开口边柱共同形成机库跨度方向的主要的抗侧力构件; 机库两侧山墙各布置一道柱间支撑, 作为机库进深方向的主要抗侧力构

作者简介: 刘也, 女, 高级工程师, 2012年毕业于哈尔滨工业大学土木工程专业, 现就职于中航建投民航工程设计研究院。



(a) 屋盖结构三维视图



(b) 抗侧力体系三维视图

图2 结构体系三维视图

件,同时增加了结构整体的抗扭能力。

## 2 结构抗震性能化目标

为保证结构安全,同时实现经济性,机库大厅结构的抗震性能设计目标按如下控制:

对以提高结构安全性为主时,构件的承载力指标按性能2控制。对需要按地震残余变形确定使用性能时,结构的层间位移指标按性能3控制。

各结构构件的性能目标要求见表2所示,其中屋盖关键杆件为大门桁架上下弦层杆件以及支座附件杆件。除下表要求外,屋盖大门桁架边支座节点按中震弹性设计,并保证大震不屈服。

## 3 整体结构抗震性能分析

分别采用SAP2000和MIDAS软件进行整体计算分析,以下计算结果均为整体分析结果。支承柱嵌固端取基础顶面,屋盖网架与支承柱的连接为铰接连接。屋盖网架节点假定为铰接连接,网架杆件均为二力杆。阻尼比弹性分析时取0.03,弹塑性分析时取0.05。

### 3.1 结构动力特性

整体计算分析得到的结构自振周期、质量参

与系数见表3,结果表明,本工程频谱密集,振型复杂,同一振型中往往同时伴随平动、扭转和竖向振动。

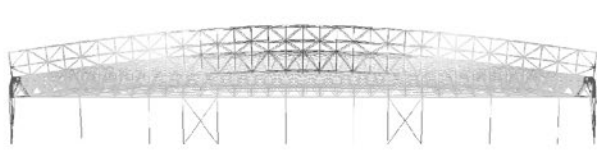
结构第一振型主要表现为屋盖竖向振动;结构的第二振型主要表现为Y方向的平动;第三振型主要表现为X方向的平动;第四振型主要表现为扭转振型;结构的周期比为0.536。结构前50阶振型质量参与比振型顺序累加均达到90%以上,满足设计要求。

表3 结构自振周期、质量参与系数

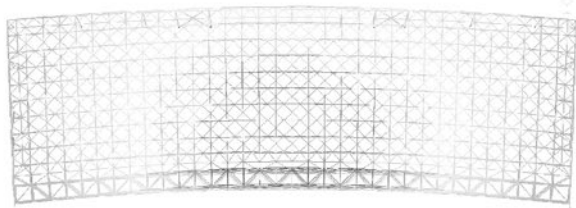
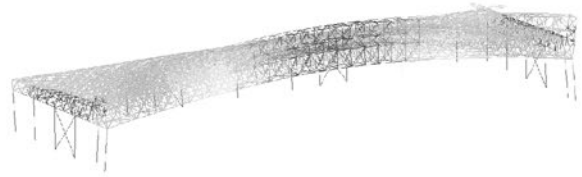
模态号	周期	质量参与系数			
	s	UX	UY	UZ	RZ
1	1.0481	0.000	0.081	0.501	0.000
2	0.9323	0.000	0.758	0.070	0.000
3	0.7681	0.931	0.000	0.000	0.068
4	0.5359	0.000	0.050	0.025	0.001
5	0.4996	0.037	0.000	0.000	0.577
6	0.4683	0.025	0.000	0.000	0.224
7	0.3762	0.000	0.000	0.000	0.053
8	0.3447	0.000	0.037	0.018	0.000
9	0.3424	0.000	0.060	0.012	0.000
10	0.2767	0.002	0.000	0.000	0.059

表2 结构抗震性能化设计目标

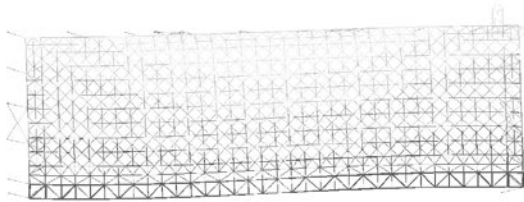
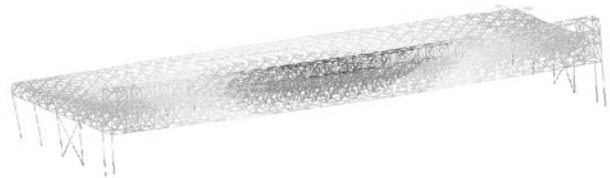
地震水准	多遇地震 (小震)	设防地震 (中震)				罕遇地震 (大震)		
		大门边柱	屋盖关键杆件	柱间支撑	其余构件	排架柱	柱间支撑	其余构件
抗震性能	完好,屋盖关键杆件应力比 $<0.8$	中震弹性	中震弹性	轻微损坏	基本完好,个别杆件轻微损坏	弹性或者轻微损坏	轻度~中度损坏	少量杆件轻微损坏
$\alpha_{max}$	0.08	0.23				0.50		
分析方法	反应谱法为主,时程法补充验算	反应谱法				弹塑性时程法		
位移角限值	1/550	1/275				1/137		



(a) 第1阶振型



(b) 第2阶振型



(c) 第3阶振型

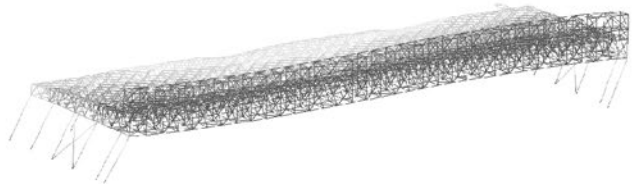


图3 结构前3阶振型

从表4中可以看出,结构在水平地震作用下的位移角满足设计要求。分析结果显示,由于深圳地区基本风压较大,地震作用下结构的水平位移小于风荷载作用的影响。

根据《建筑抗震设计规范》3.6.3条,当结构在地震作用下的重力附加弯矩大于初始弯矩的10%时,应计入重力二阶效应的影响。从表4中可以看

出结构两个方向的重力附加弯矩均小于初始弯矩的10%,在弹性分析阶段结构不需要考虑P- $\Delta$ 效应。结构两个方向的的剪重比均满足规范的要求。如表5所示。

在多遇地震反应谱设计时,屋盖有较大部分构件是按照长细比控制应力,图4、图5给出了多遇地震组合下屋盖杆件的应力情况,网架杆件最大

表4 地震作用下柱顶侧移

方向	柱头最大侧移(mm)	
	SAP2000	MIDAS
X方向地震	大门柱 6.9mm (1/1594)	大门柱 6.8mm (1/1618)
Y方向地震	后山墙柱 8.9mm (1/1236)	后山墙柱 8.8mm (1/1250)

表5 结构剪重比及刚重比计算

		总重力荷载(kN)	总地震剪力(kN)	剪重比	规范要求	初始弯矩 M1(kN.m)	重力附加弯矩 M2(kN.m)	M2/M1
SAP 2000	X	15200	616	0.041	>0.016	6776	85.7	1.27%
	Y	15200	451	0.030	>0.016	4961	73.7	1.49%
MIDAS	X	15200	610	0.040	>0.016	6710	85.7	1.28%
	Y	15200	473	0.031	>0.016	5203	73.7	1.42%

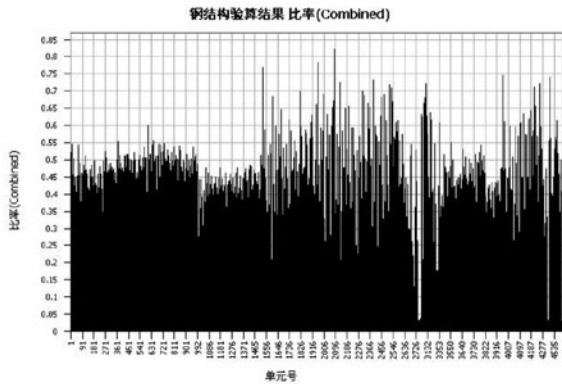


图4 网架杆件应力比

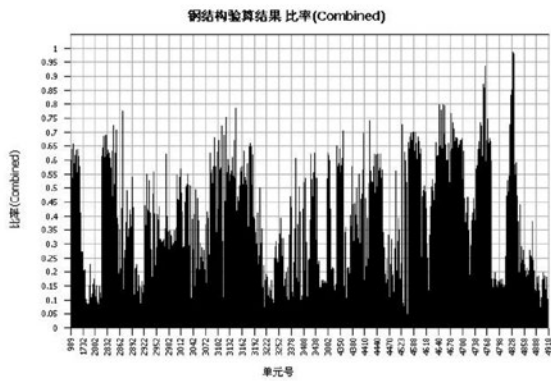


图5 大门桁架杆件应力比

应力比0.85以下,大门桁架杆件最大应力比0.80以下,满足性能目标。

### 3.2 多遇地震弹性时程分析

本工程按照《建筑抗震设计规范》要求,根据结构重要性等级、场地条件、反应谱分析结果等,选择了Imperial Valley波、Kocaeli波两条天然波和一条场地人工波共三条地震波时程曲线。由图6可见,三条地震波的反应谱曲线形状与设计反应谱比较接

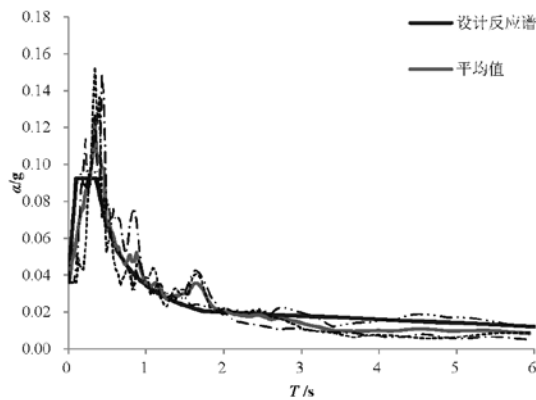


图6 地震波反应谱与设计反应谱的比较

近,满足地震波选取频谱特性的要求。三向输入以X:Y:Z=1:0.85:0.65或X:Y:Z=0.85:1:0.65,即水平主方向地震波不折减,水平次方向折减0.85,竖向折减0.65。时程分析采用SAP2000和MIDAS程序,计算时地震波持续时间不少于15s,时距0.02s。

表6 时程分析与反应谱法基底剪力比较

地震作用方向	地震波	时程分析法		反应谱法	比值	平均值及与反应谱法的比值
		基底剪力峰值/kN	包络值/kN	基底剪力/kN		
X向	Imperial Valley	625	597	616	101%	97%
	Kocaeli	560			91%	
	人工波	605			98%	
Y向	Imperial Valley	530	509	451	118%	113%
	Kocaeli	502			111%	
	人工波	495			110%	

表6为三条地震波计算得到的基底总剪力峰值与反应谱基底总剪力的比较。可以看出三条地震记录得到的基底剪力峰值均大于振型分解反应谱法结果的65%,小于振型分解反应谱法结果的135%,且三条地震波得到的基底剪力的平均值大于振型分解反应谱法结果的80%,小于振型分解反应谱法结果的120%,所选地震波符合《建筑抗震设计规范》的要求。

### 3.3 设防烈度地震抗震分析

设防烈度地震作用采用反应谱法分析,大门边柱以及大门桁架承载力设计时不考虑地震组合内

表7 中震作用下柱顶侧移

方向	最大柱顶侧移(mm)	
	SAP2000	MIDAS
X方向	大门柱 19.9(1/553)	大门柱 19.7(1/558)
Y方向	后山墙柱 26.5(1/415)	后山墙柱 25.2(1/437)

表8 中震作用下重力二阶效应计算

方向		总重力荷载 (kN)	总地震剪力 (kN)	初始弯矩 M1(kN.m)	重力附加弯矩 M2(kN.m)	M2/M1
SAP 2000	X	15200	1771	19481	246	1.27%
	Y	15200	1297	14263	212	1.49%
MIDAS	X	15200	1754	19291	246	1.28%
	Y	15200	1360	14959	212	1.42%

根据《建筑抗震设计规范》3.6.3条,当结构在地震作用下的重力附加弯矩大于初始弯矩的10%时,应计入重力二阶效应的影响。从表8中可以看出结构两个方向的重力附加弯矩均小于初始弯矩的10%,在中震弹性分析阶段结构不需要考

虑P- $\Delta$ 效应。力调整系数,但采用荷载作用分项系数、材料分项系数和抗震承载力调整系数,构件的承载力计算时采用材料强度设计值(中震弹性),采用SAP2000和MIDAS进行中震弹性反应谱的分析。

从表7中可以看出,结构在中震作用下的层间位移角小于2倍弹性位移角限值(1/275)。

虑P- $\Delta$ 效应。

相对于多遇地震反应谱设计,设防烈度地震反应谱设计时,屋盖杆件应力比有所增大,大门桁架上下弦杆件应力比均小于1.0,满足中震弹性的性能目标,网架有极少量杆件应力比超过1.0,介于1.0~1.15之间。

### 3.4 罕遇烈度动力弹塑性分析

弹塑性分析采用通用有限元分析软件MIDAS V836分析,地震波采用Imperial Valley波、Kocaeli波和人工波,所有三维地震波输入工况为X:Y:Z=1:0.85:0.65和X:Y:Z=0.85:1:0.65。根据建筑抗震设计规范,罕遇地震下的7度大震地震波最大加速度峰值调整至220cm/s<sup>2</sup>。

MIDAS的杆件单元为集中塑性铰模型,塑性铰的广义力-变形关系如图9所示。图中,A为起始原点,B为杆件屈服点,C为杆件极限强度点,D为杆件残余强度点,E为杆件完全破坏、退出工作;IO(Immediate Occupancy)表示杆件有轻微损伤,不需修复就可继续使用;LS(Life Safety)

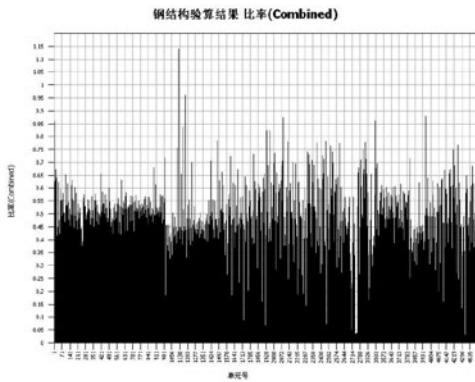


图7 网架杆件应力比

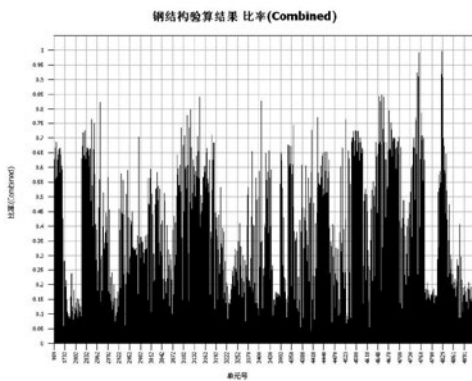


图8 大门桁架杆件应力比

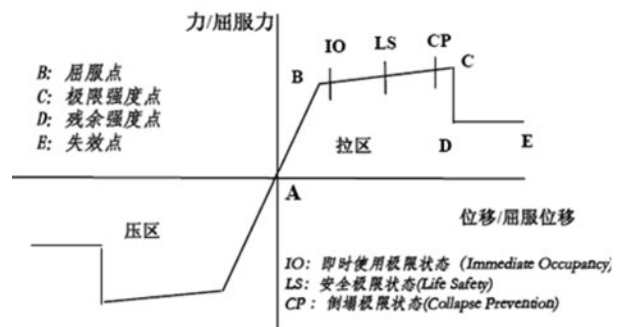


图9 塑性铰的广义力-变形关系

表示杆件较严重的破坏但尚不危及生命安全，修复后可继续使用，但不一定经济；CP(Collapse Prevention)表示接近倒塌阶段，杆件严重破坏，即将出现或已经出现强度退化，已不可修复使用，但尚能承受重力荷载而避免倒塌。IO、LS、CP三者数值信息用于基于性能的抗震设计，对结构的计算结果没有影响。

根据机库结构不同部位构件的受力特点，定义如下三种塑性铰：

a) P铰，以承受轴力为主的杆件为P铰，如：屋盖杆件；

b) PMM铰，同时承受轴力和弯矩的构件，如：钢筋混凝土柱。

P铰采用MIDAS程序默认的钢构件铰属性，设置在杆件中部；PMM铰采用自定义的铰属性，设置在构件两端。对于PMM铰，除上述铰参数外，还要在三维P-M2-M3空间设定一个屈服面，代表对轴力P、次弯矩M2和主弯矩M3的不同组合最先发生屈服的位置。此屈服面为一组P-M2-M3曲线，P是轴力（拉为正），M2和M3是弯矩。根据钢筋混凝土柱的截面参数（包括截面尺寸，混凝土强度，配筋，钢材品种等），计算确定相应的PMM关系曲线。在完成塑性铰参数定义并指定给相应的杆件后，即可进行弹塑性分析。

动力弹塑性分析采用非线性直接积分方法，考虑了几何非线性（P-效应）影响，阻尼计算方法采用Rayleigh阻尼。

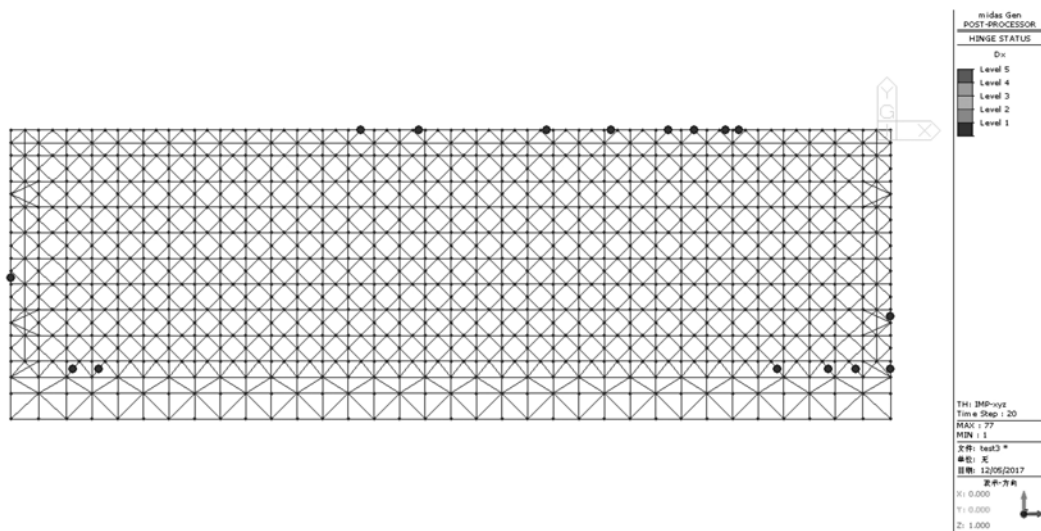
表9 弹塑性时程分析基底剪力及层间位移角

地震作用方向	地震波	时程分析基底剪力峰值/kN	钢筋混凝土柱最大层间位移角
XYZ向	Imperial Valley	2929	83.3(1/132)
	Kocaeli	2508	75.9(1/145)
	人工波	2836	81.8(1/134)
YXZ向	Imperial Valley	2814	71.3(1/154)
	Kocaeli	2748	75.2(1/146)
	人工波	2319	60.6(1/182)

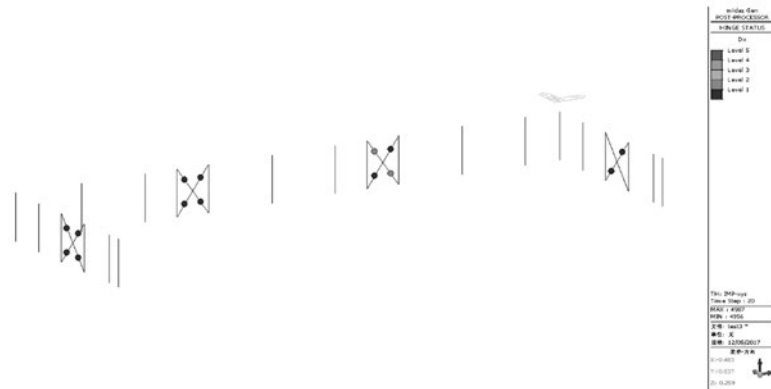
罕遇地震下基底剪力及其对应的层间位移角见表9。

三条地震波在罕遇地震作用下最大位移角为1/132，Imperial Valley波X:Y:Z=1:0.85:0.65输入情况下，大门柱处出现。三条地震波作用下的最大位移角X向为1/132，Y向为1/146，基本满足不超过4倍弹性层间位移角限值（1/138）的要求，达到预期抗震性能目标要求。

Imperial Valley波、Kocaeli波以及人工波三



(a) 屋盖杆件塑性铰分布图



(b) 柱塑性铰分布图



(c) 柱间支撑塑性铰分布图

图10 大震下结构杆件塑性铰分布图(Imperial Valley波)

条波计算结果基本一致。在罕遇地震作用下，大门柱处于BtoIO阶段，其余支承屋盖的钢筋混凝土柱均处于弹性状态，可保证大震不倒塌；柱间支撑塑性铰基本处于BtoIO阶段，个别处于IOtoLS阶段，一般修理后即可继续使用；屋盖杆件少量屈服绝大部分杆件基本处于弹性状态。

#### 4 结论

(1) 在静力荷载和多遇地震作用下，本工程计算得到的各项指标均满足或严于现行规范要求。

(2) 根据确定的抗震性能化目标，本工程在中震作用下，柱间支撑中震不屈服，钢屋盖应力比不超过1.0，支承屋盖的钢筋混凝土柱处于弹性状态，可保证结构在设防烈度下基本完好，维持正常使用。

(3) 罕遇地震作用下弹塑性时程分析表明，

屋盖杆件绝大多数保持弹性，个别杆件轻微损伤，大门柱轻微损伤，其余支撑屋盖的混凝土柱均处于弹性状态，柱间支撑轻微~中毒损伤，大门柱顶位移约4倍弹性位移角限值，满足性能目标。

(4) 调整柱间支撑和机库大门边柱的抗侧刚度，尽量让结构的刚度中心与质量中心接近，避免结构在水平作用下产生扭转变形，并且使结构两个方向的动力特性接近。

#### 参考文献

- [1] 建筑结构荷载规范 (GB50009-2012). 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [2] 建筑抗震设计规范(2016年版) (GB50011-2010). 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [3] 超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点 建设部 建质[2015]67号.

# 打造地方特色的小型航站楼建筑方案设计

■ 张楠 黄有曦 [建筑]

**摘要:** 航站楼常被视为一个国家、地区的对外门户,是认识一个国家、地区的地理性起点,因而被赋予了特定的社会和文化内涵。一个地区社会经济的发展、文化的展示,都会在机场建设留下深深的印记。因此,航站楼设计应打造地方特色,作为地方展示的名片。本文通过实际案例,从建筑功能、流线,造型,空间等方面进行小型航站楼设计介绍。

**关键词:** 地方特色;文化表达;空间特色;建筑色彩



图1 设计方案效果图

## 1 项目背景及概况

为某旅游城市所建的小型航站楼,因所在位置的特殊性,定义为国际口岸型航站楼。机场飞行区技术等级指标为4C,使用机型主要有B737, A320, MA60、ATR72等,平均每天航班量约为4架次,高峰日起降量按6架次计算,高峰小时起降

量为4架次,年旅客吞吐量为9.5万人,高峰日旅客吞吐量为390人次,高峰小时旅客吞吐量260人。

作为国际型为旅游服务的航站楼,将当地建筑特色与文化特色融入到现代航站楼的建筑设计中,更是设计关注的最重要的一方面。结合当地的气候特点,设计中大量采用当地本土建筑材料及色彩,设计出适合于当地环境,并能充分展现国家及地方特色与魅力的现代地域化交通建筑。

作者简介:张楠,女,工程师,2011年毕业于西安建筑科技大学建筑设计及其理论专业,现就职于中航建投民航工程设计研究院。



## 2 设计理念

### 2.1 功能流线

(1) 功能完善，平面布局紧凑完整

航站楼建筑面积约4500m<sup>2</sup>，满足一期年旅客吞吐量95000人次，高峰小时260人次的要求。航站楼为单层钢结构建筑，平面布局紧凑合理，到离港分离。

航站楼主要功能包括：国内、国际两个区域。国内区域功能包括：国内出发厅、值机区、安检区、国内行李分拣厅、国内候机厅、国内到达厅、行李提取厅、迎客厅等，以及相应的办公、业务和辅助用房。国内区域按照旅客流程要求设置相应的值机、安检、候机等设施，并配备商业、通讯、卫生间、头等舱等旅客服务设施，为国内旅客出行提供舒适环境。国际区域功能包括：国际出发/到达厅、旅客出发流程区域、国际候机厅、国际行李分拣厅、国际到达厅、到达流程区域、行李提取厅等，以及相应的办公、业务和辅助用房。考虑国际到离港旅客流程，设置相应的海关、值机、卫检、边检、安检等设施，同时为创造良好的到离港环境，设置一定的商业、卫生间、通讯等服务设施。

在航站楼设计中，结合平面布置综合考虑商



图3 当地建筑文化典型代表

业空间，景观绿化，旅客服务设施，同时还考虑无障碍、建筑节能、消防、空调采暖系统、智能化系统等专项设计，为旅客出行提供便捷、舒适、宜人的候机环境，同时也为航站楼使用提供技术保障。

(2) 流线简洁，清晰明确

旅客在航站楼内的流程路线清晰明确、简单直接。航站楼主要流线包括：国内出发流线、国际出发流线、国内到达流线和国际到达流线。设计中将各类流线高效、便捷、独立，在满足现状、适度预留的基础上，将建筑空间组织整合到最佳状态。

### 2.2 建筑形体的文化表达

航站楼作为当地旅游特色展示的名片，它的

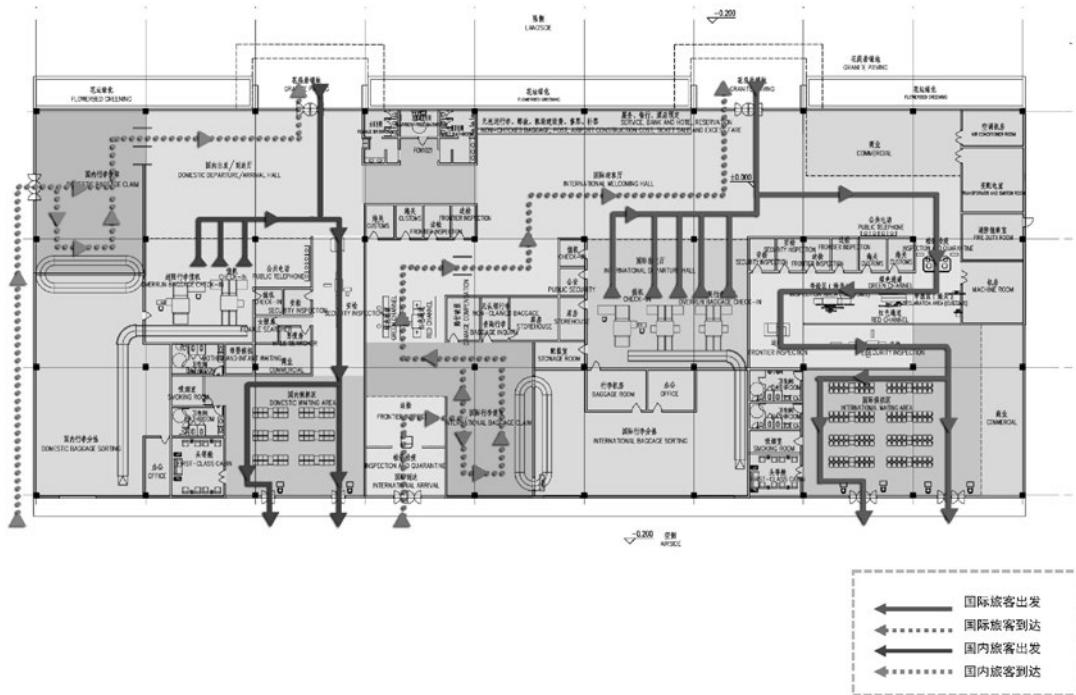


图2 平面流线分析图



图4 方案设计鸟瞰图

设计应体现出当地建筑特色及文化的内涵。在小型航站楼的设计过程中,充分挖掘当地的文化和建筑特色,用当地的材料和装饰,表现出建筑特色和魅力。

经实地考察,当地气候环境宜人,山峦起伏,佛教气息浓重,充满了宗教色彩,随处都能看到镀金的奢华寺庙。因气候特点,大多数建筑均采用通透的前廊。因当地雨水较多,屋顶均做成斜

坡状,同时为了使雨水迅速下流和远离建筑物下落,屋顶的斜坡往往追求一种曲线而形成独立的建筑特色。

新建小型航站楼汲取了当地建筑的精髓,借鉴了现代航站楼的布局,规划完整、成熟,布局采用轴线对称的空间构成手法,强调建筑庄重大气风格。

新建航站楼现代洗练,舒展飞扬,空侧向陆



图5 迎客大厅室内效果



图6 当地建筑色彩展示

侧呈现浑然天成的腾飞动态，像一只鹰展翅高飞，掠过天际。

整体鸟瞰中，金属屋顶形成双坡式，并将四条屋脊形成汇聚的形态，有聚合之意，离港正立面用当地的图腾纹饰，展示出当地特色文化。陆侧正立面连续的飘板和竹节格栅构架，远远望去，与屋顶连接为一体，形成连续而轻盈的“屏风”，屏风之上提取当地装饰纹样为构成元素，展示文化特色。立面通透纯净，设置百叶，与室外自然通风，室内空间高大，通透明亮，飞腾上升，屋顶天窗光线普照大厅，天窗将旅客的心理引向对蓝天飞翔的期待，引向对悠久文化的无限遐想。整个建筑通过全方位的建筑造型语言，方案力图很鲜明的表达出当地“山海水城、宗教圣地”的特点。

航站楼外广场采用硬质铺地与灯带结合，车道边木构架装饰下设置绿化庭院和商业和休息座椅；旅客可在此处进行休息、交流、购物等活动。这也符合当地人的生活、购物习惯。

### 2.3 空间特色

#### (1) 空间尺度

根据航站楼所在地区终年常热，季节性温度变化不大。当地建筑空间高大，且设置自然通风。对于本次航站楼内空间设计，因考虑不同空间的舒适使用，在设计时，结合屋顶折线的高低变化，内部空间随之形成充满动态的韵律，如在大厅，人员集中的部位，采用大空间，空间高度较高，使大厅、人员安检通道显得更加宽敞、舒适。在旅客候机厅内，采用金属吊顶调整空间高度，保证休息厅内，旅客有一合适的休憩空间尺度。

#### (2) 空间导向型

交通类建筑最重要的是良好的导向性，帮助旅客在空间中定位定向，以便最快捷的找到要去的地方，缓解紧张的心理情绪。小型航站楼内功能分区明确，空间规则有序，通过明确的标识系统指引，能便捷的到达目标空间。

### 2.4 建筑色彩

色彩是建筑最主要的形象元素。当地建筑的装饰色彩，喜用黄色，给人金碧辉煌的感觉，并着重细节设计，门窗柱子和栏杆等细微部分都做的非常精致，常饰以丹迪传统艺术花纹和佛教故事的雕刻图案。

本项目航站楼屋面采用金色金属板，立面采用金色格栅构架，配以当地的“占芭花”为母题纹饰，通过细节处理展示当地特色。

## 3 结语

机场，是天空与大地的纽带，优秀的空港建筑是城市精神的传承与升华。本方案伴随着建筑师的本土情感，尊重文脉和地域特征，饱含人文关怀，推崇绿色机场理念，创造出现代化的空港精神。

### 参考文献

- [1] 中小型航站楼的地域性设计研究.文琳琪.2013-05-01.
- [2] 中国当代城市航站楼设计研究.张锋.2016-06-01.
- [3] 航站楼室内公共空间发展现状暨咸阳机场T3A航站楼室内设计研究.李俊.2015-05-01
- [4] 基于行为心理学的航站楼空间体验设计研究周懿.2016-05-28.
- [5] 中小型航站楼建筑设计研究.徐平利.《建筑技艺》2017-10-20.

# 某螺旋桨滑流气源系统 控制方法

■ 史金春 [电气]

**摘要:** 对于螺旋桨滑流气源控制系统而言,国内尚无成熟应用,传统的滑流气源系统通过自力式减压装置手动实现气体和流量的稳定控制,此方式仅可在小压力低流量情况下进行,无法满足高压、大流量的现实需要,同时无法监视和自动控制压缩气体及加热设备的能源消耗情况,产生了极大的能源浪费。本文结合实际工程情况,根据滑流气源系统特点、用户需求、工作流程,详细叙述了一种螺旋桨滑流气源系统新的控制方法,解决了全过程自动控制,实现气流压力、温度快速稳定技术关键点。

**关键词:** 滑流气源; 压力温度; 控制方法

## 0 引言

螺旋桨飞机是靠螺旋桨旋转将发动机的功率转变成拉力使飞机向前运动的,螺旋桨对飞机的影响主要包括直接影响和间接影响。直接影响主要是它产生的拉力、扭矩和法向力,拉力和扭矩可以用理论计算方法得到,但在多数情况下,要想获得螺旋桨的法向力随气流偏角的变化数据却是很困难的。虽说也有经验公式可提供估算其产生的影响,但光凭估算是远远不够的。而目前解决这一问题的有效途径仍然是地面试验,滑流试验系统的开发为螺旋桨滑流试验提供了实验设备和技术保障。

作者简介:史金春,男,高级工程师,2012年毕业于中国矿业大学(北京)电力系统及其自动化专业,现就职于航空工业规划飞机工程设计研究院。

## 1 滑流气源系统工作原理

地面螺旋桨滑流气源试验系统用于为地面螺旋桨提供一个稳定的温度、压力、流量气源,通过改变螺旋桨进口进气量而使螺旋桨有不同转速,经过数据采集系统采集螺旋桨转速、受力等参数进行分析的一种地面模拟试验。本文仅对滑流气源系统进行阐述,不涉及螺旋桨数据采集和分析系统。

### 1.1 螺旋桨滑流气源系统组成

螺旋桨滑流气源系统原理如图1所示。

滑流气源系统主要有室外储气罐、保温高压管路、气动截止阀、一级/二级大小流量气动调压阀、初级/次级电加热、温度、压力传感器及控制系统等组成。控制系统主要由上位机、PLC控制器、UPS、交换机等设备组成,用于滑流气源系统

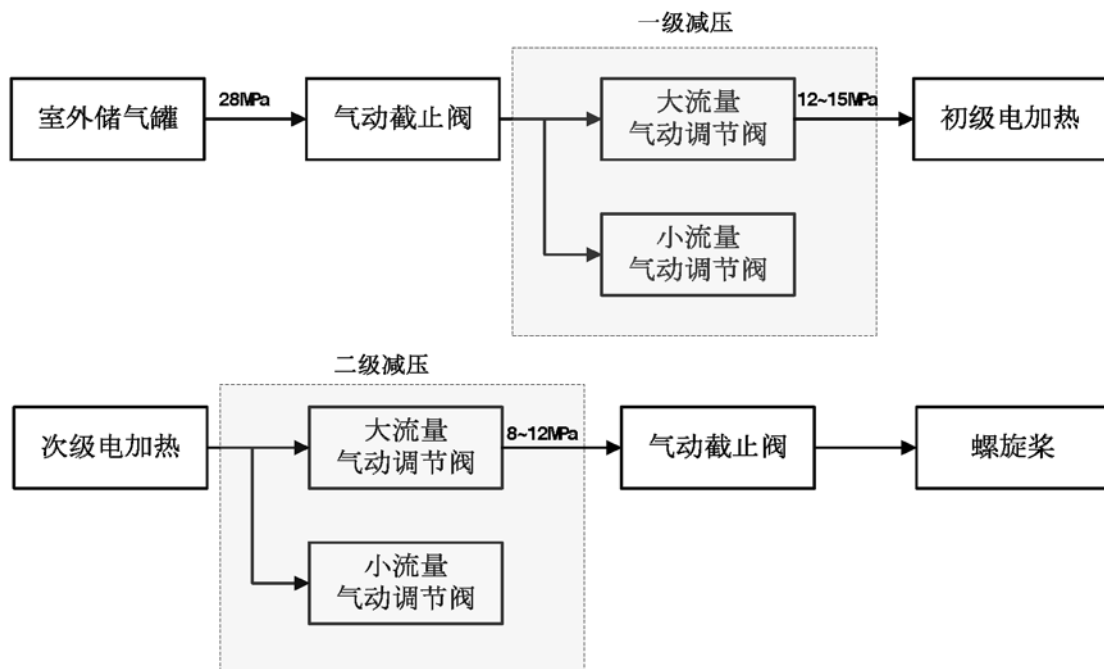


图1 螺旋桨滑流气源系统原理示意图

远程监视和自动控制。

### 1.2 螺旋桨滑流气源系统工作原理

室外气罐存储最高28MPa高压气体，高压气体经过一级大小流量减压阀后压力降到12~15MPa，经过二级大小流量减压阀后压力降到8~12MPa，然后高压气流吹动螺旋桨转动，进行数据采集和分析。

如图1所示，螺旋桨滑流气源系统一级、二级减压各有两个气动调压阀并联组成，两个调压阀协调工作保证出口处压力和流量满足要求，气体流量在小流量范围时小减压阀参与控制，气体流量在大流量范围时大、小减压阀联合工作。在一级减压后主管路设压力传感器，作为一级减压系统控制目标，二级减压后设压力传感器，作为末端螺旋桨压力控制目标。

### 1.3 滑流气源系统特性及控制关键点

螺旋桨滑流气源系统控制对象为温度、压力、流量三个参数，控制变量有一级大小减压阀、二级大小减压阀四个变量，系统有着控制变量多，控制对象存在耦合的特性。同时在螺旋桨大流量实验模式下，实验持续时间仅为几分钟，气罐每次充气时间却耗几个小时，若不能快速建立末端稳定气流，将直接影响正常试验同时会造成人力和经济成本浪费。

## 2 滑流气源系统控制方法

螺旋桨滑流气源系统控制参数为压力、流量和温度。经过调试发现压力和流量存在一定关系，根据调试生成曲线可推导出压力-流量对应函数关系式。同时，高压空气通过水-气换热器进行热量交换，由于循环水量较大，降压过程空气温度降低较难对循环水系统温度产生影响，试验前通过电加热器将水罐内水加热到预热温度，试验中通过调节冷热水三通比例阀较容易实现温度控制，系统运行发现温度与压力耦合性不明显，因此系统关键在于高压气流压力控制，本文主要阐述滑流气源压力控制方法。

### 2.1 滑流气流压力控制

根据系统特点，采用将一级和二级减压分别控制思路，一级减压分保压和稳压两种模式，二级减压分大流量、小流量两种模式，先控制一级减压后压力达到保压设定值后一级二级减压联合控制，最终达到螺旋桨前端压力设定值，气流压力控制流程如图2所示。

首先，设定一级减压后保压压力值，由于此过程对时间和过程要求不高，用一级小流量减压阀即可满足要求。具体采用梯度压力控制法，即比较设定值和反馈值之差，差值较大时直接向小减压阀

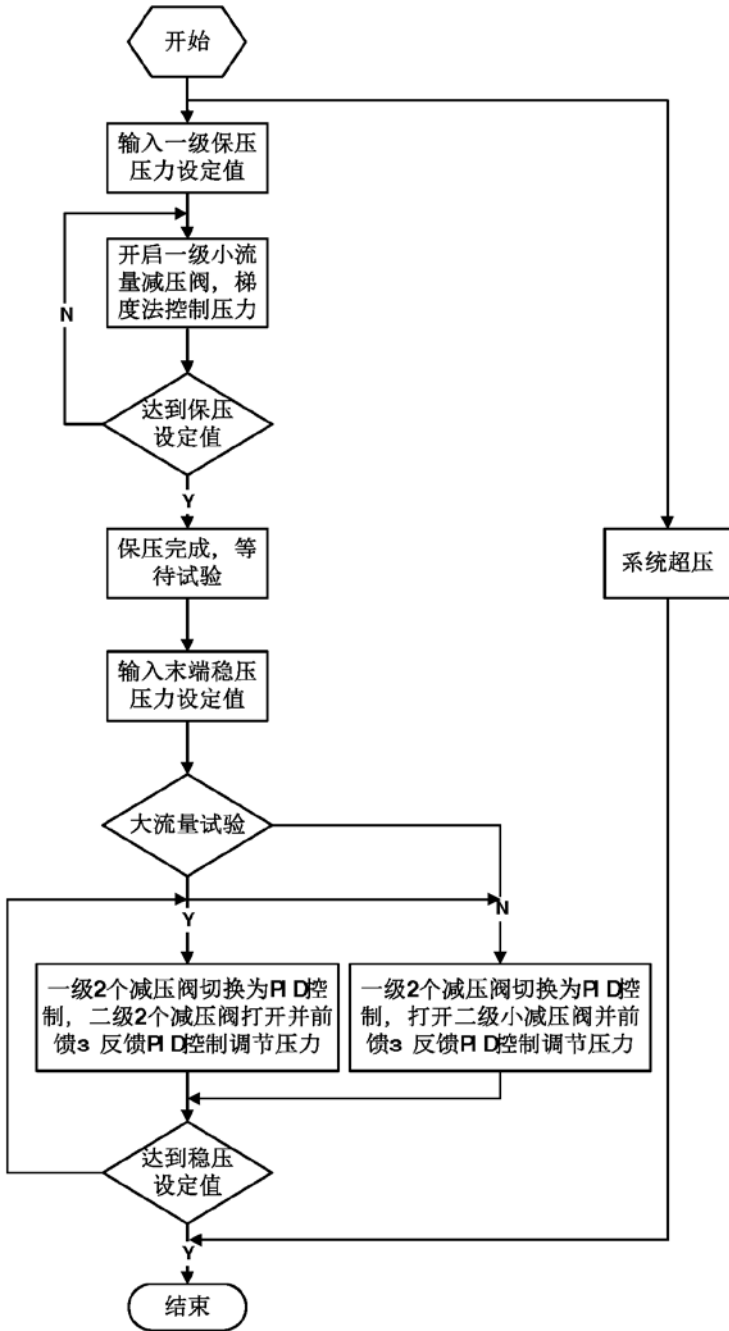


图2 滑流气源压力控制流程图

发送开度命令，再实时比较差值，不断减小小减压阀开度直至压力稳定。如监测到设定值比反馈值大2MPa，直接将一级小减压阀开度至50%，设定值比反馈值大1Mpa时，将一级小减压阀开度置20%。随着室外高压气罐气体不断进入管道，设定值与反馈值之差不断减小，一级小减压阀开度也不断减小，直至设定值与反馈值之差为0。

其次，保压完成后根据螺旋桨试验需求选择大流量或者小流量模式并输入二级末端稳压压力设定值。选择大流量模式时一级两个小减压阀控制模式切换为PID控制模式，控制对象为二级减压前压力。二级两个减压阀切换为前馈-反馈PID控制模式。小流量模式时，同样一级两个减压阀切换为PID模式，二级大减压阀关闭，小减压阀为前馈-反馈PID控制。

### 2.2 压力前馈-反馈PID控制

二级减压阀门开度值为前馈和反馈输出叠加值，前馈起到快速预置作用，反馈起到精调作用，由于不存在前馈反馈控制切换，可以防止切换带来的压力波动，由于前馈算法存在，系统的抗干扰性也大大提高。

前馈-反馈PID控制原理如图3所示。

(1) 阀门开度 $C_v$ 值计算公式如下所示：

$$C_v = k1.167 \cdot Q_v \sqrt{\frac{\rho \cdot \Delta P_0}{\rho_0 \cdot \Delta P}} \quad (1)$$

式中： $C_v$ —阀门开度

$k$ —流量系数

$Q_v$ —气体体积流量， $m^3/h$ ；

$\rho$ —高压空气气体密度， $kg/m^3$ ；

$\rho_0$ —水的密度， $1000kg/m^3$ ；

$\Delta P$ —阀门前后压差， $Mpa$ ；

$\Delta P_0$ — $0.1Mpa$ ；

(2) 压缩空气体积流量计算公式：

$$Q_v = \frac{3600 \cdot Q_m}{\rho} \quad (2)$$

式中： $Q_v$ —气体体积流量， $m^3/h$ ；

$Q_m$ —气体质量流量， $kg/s$ ；

$\rho$ —高压空气气体密度， $kg/m^3$ ；

(3) 压缩空气密度计算公式：

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T} \quad (3)$$

式中： $\rho$ —高压空气气体密度， $kg/m^3$ ；

$P$ —阀前气体压力， $Pa$ ；

$T$ —阀前气体温度， $K$ ；

$R$ —气体常数， $287 J/(kg \cdot K)$ ；

阀门开度前馈值计算如下：

1、先通过式(3)计算得到所处阀门处的气

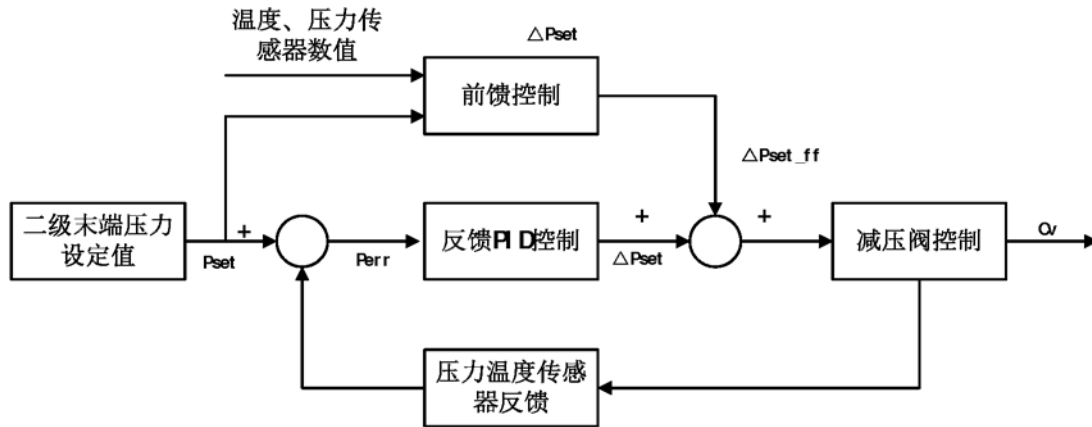


图3 滑流气源二级压力前馈—反馈PID控制原理图

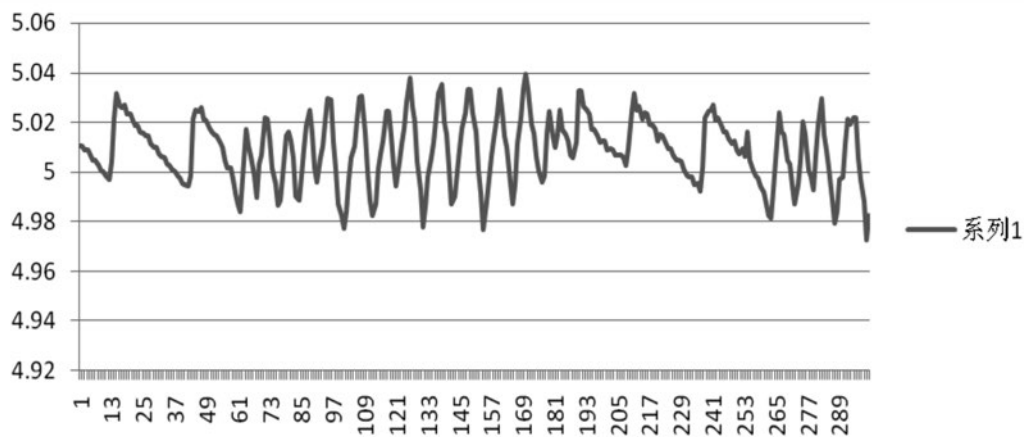


图4 滑流气源二级减压压力曲线

体密度；

2、通过式(2)计算得到体积流量 $Q_v$ ；

3、通过公式(1)计算得到阀门开度 $C_v$ 。

压力数值为传感器测得和上位机输入设定值，温度数值为传感器测得数值，计算得到的阀门开度与PID输出代数叠加后通过PLC模拟量输出模块发送二级减压阀定位器，可直接将阀门开至预定开度然后精确调节，实现快速稳压控制，该系统经过反复调试得到 $C_v$ 值系数 $k$ 为1.05。

试验记录的二级减压压力曲线如图4所示。

上图为地面螺旋桨一组实验的压力曲线，横坐标为采集时间，纵坐标为螺旋桨末端压力，采样速率1次/S，螺旋桨入口压力设定值5Mpa。通过上图可知末端压力稳定在4.98~5.04Mpa之间，即 $\pm 0.03$ Mpa，满足技术指标，同样其他不同压力设定值也满足技术参数要求。

### 3 结语

按本文设计的控制系统和控制方法可对地面螺旋桨滑流气源的气体压力、温度、流量的控制及状态实时监控，快速实现螺旋桨所需高压气体压力、温度稳定，属于一种应用于地面的对螺旋桨进行测试的自动化控制技术。

根据试验过程和系统特点，通过对一级、二级减压采用梯度压力控制——经典PID控制——前馈—反馈PID控制相结合的方式，实现了对螺旋桨滑流气源的压力和流量的快速稳定控制，满足试验要求。

该系统投入一年半来运行良好，相较传统气源控制灵活性、稳定性大大提高，为螺旋桨地面试验提供了多种组合模式，无缝衔接螺旋桨数据采集系统，填补了国内地面螺旋桨自动控制领域空白。

# 火灾自动报警系统设计要点探讨

■ 吴冠男 [电气]

**摘要:** 火灾自动报警系统能否正常有效的运行,直接关系到建筑物的消防安全。本文从工业厂房的火灾自动报警系统设计角度出发,总结了影响设计质量的有关因素,并具体分析了火灾自动报警系统设计中设备、线缆选型及系统布线等要点。

**关键词:** 火灾自动报警; 火灾探测器; 系统布线

## 1 引言

随着经济发展的突飞猛进,民用、商用和工业生产领域的工程建设也随之增多,为了防止造成重大人员伤亡和财产损失的恶性火灾事故的发生,设计人员需要根据建筑特点及其生产工艺情况设计一个合理稳定的火灾自动报警及消防联动系统。火灾自动报警作为其核心以及消防联动的前提,不仅仅在民用、商用建筑中占有极其重要的地位,在环境相对更复杂的工业厂房中更显得尤为重要。工业厂房因其产业类型不同及工艺流程不同,易导致火灾发生的危险点和防火防爆的控制点也各不相同。发生火灾事故时不仅损失大、伤亡严重,而且存在火灾引发爆炸的可能性,这就需要设计人员在设计工业厂房时更加精心考虑各种影响火灾自动报警系统的因素以保证系统的稳定运行。

## 2 火灾自动报警与消防联动系统的原理

当建筑物内某一区域有着火危险或发生火灾时,对环境变化(如烟雾、光线、温度、红外线等)反应灵敏的各类火灾探测器就会将检测到的信息以电信号或开关信号的形式立即送到控制室。控制器把收到的信息和正常状态进行对比,一旦确定发生火灾时,就立即发送两路信号:一路指令声光显示动作,发出报警信号,并显示烟雾浓度、火灾现场地址、记录时间等;另外一路会指令火情现场

执行器,联动消防设备进行灭火。同时,对与火情现场相邻的其他区域发出报警信号,并显示火情区域。点亮所有应急灯,指示疏散线路,基本原理图如图1所示。

由图1可以看出,系统由火灾自动报警系统和消防联动系统两大部分组成。火灾自动报警系统主要由火灾探测器、信号传输线路以及自动报警装置组成。其中,火灾探测器作为整个火灾自动报警系统的检测元件;探测系统布线则成为整个火灾自动报警系统的神经传输中枢;火灾报警控制器是接受信号和发出命令的核心部件,由此可以看出任何一部分功能出现问题整个系统的都将不能正常运行。

## 3 火灾自动报警系统的设计要点

理想的火灾自动报警系统是在人们可预测或者不可预测的事故发生时都能准确及时地探测出真实的火灾,完成其既定的功能,并能长期稳定的运行。但是在实际应用中,由于设计人员在设计过程中对于环境因素、设备因素、线路因素及其他因素的考虑疏忽,使得火灾信号的漏报、误报或错报的情况也时有发生。下图总结了在火灾自动报警系统设计中影响设计质量的几大因素,如图2所示。

环境条件的干扰对火灾自动报警系统的稳定运行有重要的影响,如高温、高热及高湿等自然环境的干扰;易腐蚀、结冰、污染的建筑环境的干扰;电磁、高频、静电等外部强电场的干扰,这些都是需要在设计中需要加以考虑的环境因素。同时,探测器选型、联动方式及某些系统缺陷也会成

作者简介: 吴冠男, 男, 高级工程师, 2012年毕业于北京建筑大学控制理论与控制工程专业, 现就职于航空工业规划飞机工程设计研究院。



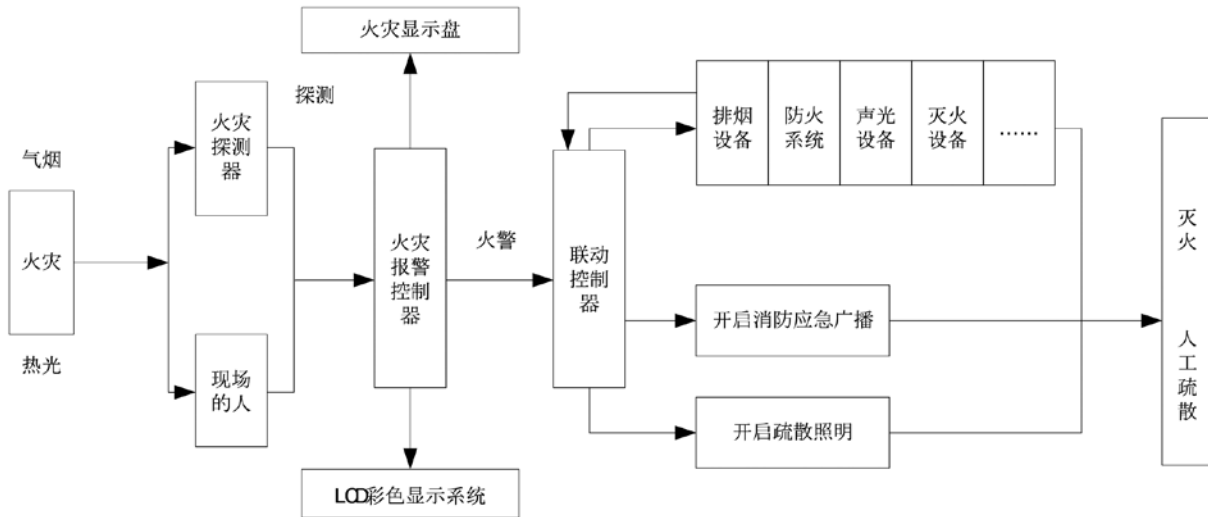


图1 火灾自动报警与消防联动系统的原理

为影响设计质量的设备因素。而在综合考虑环境与设备因素的基础上，线路因素也是一个重要影响环节。导线的选型、截面选择以及敷设方式，设备的电源供电以及是否存在短路、过负荷等问题，都影响着整体的设计质量并进一步影响整个火灾自动报警系统是否能达到应有的效果。

下文从不同环境下的火灾自动报警系统中探测器选择和系统布线两个主要方面详细分析了影响火灾自动报警系统设计的具体因素。

### 3.1 火灾自动报警探测器选择

在设计过程中，首先需要考虑的问题就是如何选择合适的火灾探测器和如何设计火灾自动报警系统的布线系统，下面将从这两方面进行详细

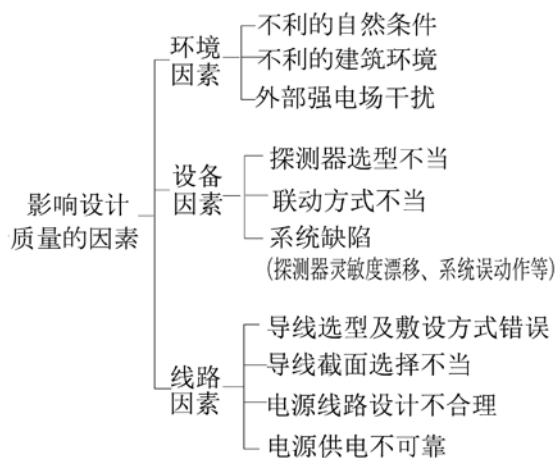


图2 影响火灾自动报警设计质量的因素

的分析。

在系统的初期设计阶段，首先需要设计人员分析建筑环境，根据不同的环境选择不同的设备，设备的选型是否合理将直接影响火灾自动报警系统的整体性能。其中，最直接影响系统性能的应该是对各种信号具有探测功能的火灾探测器。目前火警系统中应用的火灾探测器种类非常多，常用火灾探测器大致有以下几种<sup>[1]</sup>，如表1所示：

表1 常用火灾探测器分类表

类型	说明
感烟式火灾探测器	感烟式火灾探测器对警戒范围内火灾烟雾浓度的变化作出响应，是实现早期报警的主要手段，主要用于探测火灾初期和阴燃阶段的烟雾
感温式火灾探测器	感温式火灾探测器对警戒范围内的异常高温或（和）升温速率作出响应，报警灵敏度低，报警时间迟，可在风速大、多灰尘、潮湿等恶劣环境中使用
感光式火灾探测器	感光式火灾探测器对警戒范围内火灾火焰光谱中的紫外线或红外线作出响应，又称为火焰探测器，适用于各类生产和储存易燃材料或其他需要快速响应的环境内
可燃气体探测器	可燃气体探测器对火灾早期阶段的可燃气体作出响应，当其保护范围内的空气中可燃气体含量、浓度超过一定值时，发出报警信号
复合式火灾探测器	同时具有两种或两种以上探测器传感功能的火灾探测器，能使用于多种火灾发生的情况，更能有效地探测火情

针对火灾现场情况，尤其是千差万别的工业厂房的火灾现场，可把感烟、感温、感光探测器以

及可燃气体探测器和复合式火灾探测器进行细化,主要是根据探测器的结构、防护范围、火灾参数和使用环境的不同来分类。

(1)感烟式火灾探测器

感烟型探测器能及时探测火灾初期燃烧时产生的烟粒子浓度或气溶胶,应用也最为广泛,使用率约占所有火灾探测器中的95%以上,其具体分类如图3所示。按照火灾探测器的结构和防护范围分为点型、线型和吸气型三大类。

烟粒子或气溶胶可改变光线强度,减小探测器电离室的离子电流,使空气电容器的介电常数发生变化,或使半导体的某些性质产生改变。因此点型感烟探测器又可分为离子型、光电型、电容型和半导体等类型。其中光电型探测器还可根据烟雾遮挡减小光通量和烟雾对光的散射分为减光型和散光型。

线型火灾探测器能够响应某一连续线路周围的火灾参数,可分为红外光束型和激光型。其中,红外光束线型探测器由红外光束发射器和接收器组成,二者间的红外光束构成连续线路;激光型感烟探测器是由激光发射机和激光接收器组成,其方向性和亮度特征等都非常好。

吸气型火灾探测器等同于空气采样式感烟探测器,是采用分布在现场的采样管网主动对保护区域的空气进行采样分析来进行火灾判断的。吸气型感烟火灾探测器具有超高灵敏度的特性,适合应用在洁净环境中。例如空调回风口适于使用吸气式感烟火灾探测器,而不适用点型探测器。但是非洁净环境下不应使用吸气式感烟火灾探测器,否则探测器的高灵敏度会引发误报,甚至堵塞吸气孔和过滤网,造成探测器失效。

在以上感烟式火灾探测器中较常用的是离子型、散光型光电式和红外光束型感烟探测器。离子式探测器能及时探测火灾初期火灾烟雾,当烟雾达到一定浓度时,探测器立即响应,输出电信号,报警功能较好。发生火灾时产生的烟雾颗粒,将光反射到探测器部件中,光信号转换为电信号,散光型光电式探测器具有较好的探测作用。对于无遮挡大空间的厂房、库房、飞机库等要用红外光束线型感烟火灾探测器、光截面感烟火灾探测器,而不能用点型的感烟火灾探测器,但是,在使用红外反射感烟探测器等线型火灾探测器时,需要注意吊车等机械日常操作遮挡红外光束而引起的误报,以及结构变形引起的光线偏移。对于有遮挡大空间环境内,

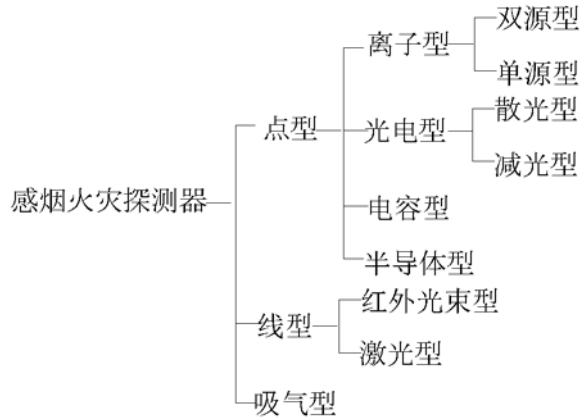


图3 感烟式火灾探测器分类

则可考虑采用吸气型火灾探测器对其进行保护。

(2)感温式火灾探测器

部分设计人员在进行火灾探测器选型时,往往会习惯性选择感烟型火灾探测器,但是感烟探测器只适合于火灾初期产生大量烟雾、少量热量和没有火焰辐射的场合。如果在灰尘大、水蒸气多及烟雾经常出现的地方就不适合使用此种类型的火灾探测器,如开水间有大量的水蒸气,厨房中有大量的油烟,相对湿度也比较大,针对这些场所往往选择感温探测器。

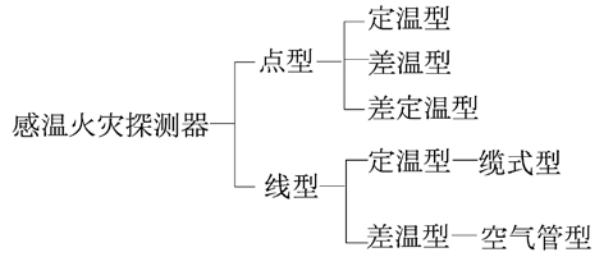


图4 感温式火灾探测器分类

温度异常、升温速率和温差变化,是感温火灾探测器的主要响应因素。如图4所示,感温火灾探测器可分为定温型—温度达到或超过预定值时响应;差温型—升温速率超过预定值时响应;差定温—兼有定温、差温两种功能。由于采用不同的敏感元件,点型感温火灾探测器又可分为热敏电阻型、热电偶型、双金属片型、易熔金属型,膜盒型和半导体等多种类型。

当某些区域环境温度达到或超过规定值时,线型感温火灾探测器的可熔绝缘物熔化短路并进行报警。缆式线型感温探测器是由一条电缆(二芯电缆或四芯电缆)构成的连续线路;可广泛应用于电

厂、变电所、油库、石化工厂、飞机库、仓库等场所。空气管型差温火灾探测器，其线路由一条连续的不锈钢管或铜管构成，常应用于电缆桥架、电缆夹层、电缆地道等处。

在有较强电磁场影响的场所，宜采用吸气式感烟探测器或线型光纤感温探测器，而不宜采用点型光电感烟火灾探测器。对于温度变化较大，常处于高温或低温环境下的场所则不适合用感温火灾探测器，这需要设计人员根据具体情况具体分析。

### (3) 感光式火灾探测器

感光式火灾探测器，也被称为火焰探测器。当发生火灾时，探测器对火焰辐射出的红外、紫外光线能产生响应，主要分为红外火焰型和紫外火焰型两类。其中，红外火焰探测器能对任何一种含碳物质燃烧时产生的火焰做出反应，对一般光源或红外辐射没有反应。紫外火焰探测器使用于对微小火焰进行探测的场合。

此类探测器适用于火情发展猛烈并伴有火焰辐射和少量烟、热的场所，如：含有易燃易爆材料的房间、炼油裂化厂、油料间、油封间、油化间、漆料间等，具有可燃液体的场所使用于隔爆型三波段火焰探测器。但在有直接或间接阳光、其他光源照射的场所，使用火焰探测器会致其失效。

### (4) 可燃气体探测器

这类探测器主要用于易燃易爆场合中探测可燃气体的浓度，一般调整在爆炸下限浓度的25%时动作报警<sup>[1]</sup>。根据传感元件的不同分为：铂丝型、光电型、气敏半导体型和固体介质型等几种。

可燃气体探测器目前主要用于溶剂暂存间、过滤车间、压气机间、燃料气存储间和燃油电厂等存在可燃气体的场所，在建筑防爆房间内采用隔爆型可燃气体探测器。

### (5) 复合式火灾探测器

复合式火灾探测器能同时响应两种以上的火灾参数，主要类型有感温感烟型、感温感光型、感烟感光型等。复合式火灾探测器能使用于多种火灾发生的情况，能更有效地探测火情。

设计人员应根据火灾特点、安装环境、生产工艺流程、建筑结构等选择适当的火灾探测器，以应对各种不利的环境变化。

## 3.2 火灾自动报警系统布线

火灾报警探测器探测到的信号是否准确及时地传输到控制器，联动设备能否接受到控制器发出的命令这都需要一个良好的布线系统，因此在设计

时，系统导线线缆的选择也是至关重要的。

### 3.2.1 火灾自动报警系统传输线路选择

根据现行设计规范，火灾自动报警系统的传输线路和50V以下供电的控制线路应采用绝缘耐压等级不低于交流250V的铜芯绝缘导线或铜芯电缆；采用交流220/380V的供电和控制线路应采用绝缘耐压等级不低于交流500V的铜芯绝缘导线或铜芯电缆<sup>[2]</sup>。

火灾自动报警系统选择的导线（线缆）必须具备耐火（NH）或阻燃（ZR）功能，耐火电缆与阻燃电缆的主要区别是：耐火电缆在火灾发生时，火焰燃烧的情况下可以保持一定时间的正常供电，阻燃电缆就不具备耐火电缆这样的特性，阻燃电缆在火灾发生的情况下，虽被烧断不能运行但可以阻止火势蔓延，从而保护其他设备。但是当发生火灾时，具有控制、监视、导引及报警功能的系统供电回路必须维持正常工作，因此耐火电缆在现代建筑中起着重要的作用。通常耐火电缆主要使用在手动控制消防设备，联动控制消防设备及供电回路。

目前火灾自动报警系统常用的导线有ZR/NH-BV聚氯乙烯绝缘铜芯导线，ZR/NH-RVS铜芯导体聚氯乙烯绝缘绞合软线，ZR/NH-KVV聚氯乙烯绝缘聚氯乙烯护套铜芯控制电缆。以上几种导线护套均采用聚氯乙烯，其造价相对低廉，但在高温下的燃烧过程中会释放出氯化氢、氯气和其他有毒气体。在建设投资相对充足的情况下，可用交联聚乙烯进行替代，这样一旦发生线缆燃烧散发出来的是二氧化碳和水，能进一步的保证人员安全。

下面我们以1.0mm<sup>2</sup>的阻燃防火类RVS多股线缆和BV单股线缆为例进行分析。BV1.0线在常温下阻值为18.1Ω/km，RVS1.0线在常温下阻值为19.5Ω/km。BV线阻值明显较小，更便于信号传输。但综合考虑BV线硬度较大，在管内敷设时不易穿线和弯折，且压接于火灾报警设备的接线端子时易产生松动，导致接触不良，从而影响系统稳定。另外设计时存在以越粗越好的想法进行线缆选型的情况，未考虑火灾报警设备接线端子通常只可容纳1.5mm<sup>2</sup>的最大线径截面，过粗的线缆也易造成接线时松动接触不良，所以在设计火灾报警信号线时，因信号线路传输电流相对较小，可在机械强度满足的情况下从小选择，一般选用1.0mm<sup>2</sup>RVS阻燃双绞线，例如火警信号线，火警电话线。控制电缆则采用KVV型电缆，例如在火灾自动报警系统中的自动喷水系统控制线，消火

栓启泵线, 排烟风机控制线, 可燃气体报警线通常采用NH-KVV。依据现行《火灾自动报警设计规范》, 火灾自动报警系统中各类传输线路的线芯截面选择, 在满足自动报警装置技术条件的要求前提下, 还应满足机械强度方面的要求<sup>[2]</sup>。火警系统中铜芯绝缘导线、铜芯电缆线芯的最小截面面积不应小于表2的规定。

表2 铜芯绝缘导线和铜芯电缆的线芯最小截面面积

类别	线芯的最小截面面积 (mm <sup>2</sup> )	备注
穿管敷设的绝缘导线	1.00	
线槽内敷设的绝缘导线	0.75	
多芯电缆	0.50	
由探测器到区域报警器	0.75	多股铜芯耐火线
由区域报警器到区集中报警器	1.00	单股铜芯线
水流指示器控制线	1.00	
湿式报警阀及信号阀	1.00	
排烟防火电源线	1.50	控制线>1.00mm <sup>2</sup>
电动卷帘门电源线	2.50	控制线>1.50mm <sup>2</sup>
消火栓箱控制按钮线	1.50	

火灾自动报警系统必须长期通电, 用电设备必须采用单独回路, 为保证系统正常稳定的运行, 需要给各模块提供一定的电压。现今火灾自动报警系统的传输线路随建筑物不断扩大而不断增加, 由控制中心引出的直流24V报警系统电源线路衰减较大。当系统联动正压送风口、排烟口等瞬间动作电流大的受控设备时, 电压降瞬间增大, 负载一侧的电压降低, 可能发生系统失控的情况。负载一侧电压计算见如下公式:

$$U_1 = IZ_1 = \frac{U}{Z_1 + Z_2} Z_1$$

上式中 $Z_1$ 表示负载阻抗,  $Z_2$ 表示线路阻抗,  $I$ 表示线路电流,  $U$ 表示变压器输出电压,  $U_1$ 表示负载一侧电压。

在负载阻抗 $Z_1$ 不变的前提下, 提高变压器输出电压 $U$ 及减少线路阻抗 $Z_2$ 是提高负载一侧电压 $U_1$ 的有效方式; 但若仅考虑减少线路阻抗 $Z_2$ , 在正压送风口、排烟口等受控设备负载瞬间吸合时, 由于负载阻抗 $Z_1$ 较小,  $U_1$ 负载一侧电压仍然较小。此时以采用6mm<sup>2</sup>铜芯导线在150m距离下

传输的情况为例, 三个排烟口同时吸合经计算会导致负载一侧直流电压仅为18V, 直接造成火灾自动报警系统出现故障。从另一方面来说, 单独增大电源导线截面对于建设成本控制也并不经济, 可以考虑的解决办法之一是在各防火分区内的接线箱处增设应急直流电源箱, 经消防控制中心引出符合防火措施要求的交流220V电源至各接线箱处。这样既增加了系统的可靠性, 也使得负载一侧电压得到稳定保证。

### 3.2.2 火灾自动报警系统线路敷设

在火灾自动报警系统布线选择合理的基础上, 其敷设方式也将影响整个系统的性能。在敷设线路时应注意: 最好穿管埋墙暗敷; 墙体敷线时, 与可燃物保持有足够安全距离处穿管敷设; 导线成束安装时, 应该使用耐高温导线, 且固定在密封线槽内<sup>[3]</sup>。另外, 火警系统电缆应避免敷设于长期高温的环境中, 防止破坏电缆的绝缘层, 使电缆短路而导致火灾。

## 4 结束语

为保证整个建筑的工程质量, 首先应该保证设计质量。消防安全问题更是建筑设计中的重中之重, 火灾自动报警系统作为早期发现火情, 并是火灾初期联动其他消防控制系统的先决条件, 其完善稳定与否与消防安全问题息息相关。

本文主要从设备、线缆选型及系统布线等方面具体分析了火灾自动报警系统的设计要点, 综合考虑了各种影响因素, 为工业厂房的火警消防系统设计提供参考。

### 参考文献

- [1] 郭圣红. 论火灾探测器的分类. [J]. 智能建筑.
- [2] 中华人民共和国公安部. GB 50116-2013火灾自动报警系统设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社.
- [3] 李惠友, 吉有, 崔东泽. 火灾自动报警系统导线敷设施工. [J]. 科技信息.

# 工程造价指标数据库系统研究

■ 王旭 王玉平 陈文昭 (工程造价)

**摘要:** 本文以建立工程造价指标数据库系统为研究目的,首先对影响单项工程造价指标因素进行研究,获取影响单项工程造价指标的关键参数;在此基础上,对单项工程造价指标分解的细度进行分析,建立单项工程、单位工程、调整分部工程的三级指标分解架构,并对其进行编码;结合单位工程造价指标,确定单位工程特征的描述内容,对影响其造价的主要内容进行描述,以便与造价指标的对应。本文基于造价数据库的使用及管理,提出软件的功能设置框架。

**关键词:** 工程造价; 指标; 数据库系统; 模块设置

## 1 绪论

数据是人类活动所产生的基本资料,是按照不同需求系统加工而成的数字产品和相关信息,有明显的潜在价值和可开发价值,是信息时代最基本、最活跃、影响面最宽的资源<sup>[1]</sup>。管理信息系统就是通过应用现代信息技术,整合离散的数据资源,构建网络化、智能化的管理与共享服务体系,从而实现对数据资源的规范化管理及其高效利用,是企业实现现代化管理非常关键的组成部分。

建设项目造价数据是建设项目的核心指标之一,准确的建设项目造价数据可以为建设前期咨询及项目批复发挥重要的作用。但纵观国内建设项目信息化管理实践,目前尚未形成成熟的造价指标管理平台,大量工程概算、预算、结算数据仍然处于初级的存储状态,数据的使用价值尚未充分体现。造价数据多以Excel或Word文件的形式保存,或是印刷成手册为最终形式,成果分散,查询不便,影响使用效率,用法单一,难以形成系统,也

不便于对数据进行基于大数据的分析研究。但对于建设项目来说,其成本控制是核心环节,如果没有数据库的支持,对于项目投资不能形成一个有效平台,也就无法做到精准控制投资。在设计工作全面步入信息化的今天,造价数据指标管理信息系统平台的搭建已经成为必然趋势和当务之急,基于此,本文对工程造价指标数据库系统进行研究。

## 2 建立工程造价指标数据库系统的目的和意义

自项目建议书开始至项目建成竣工交付使用的项目实施全过程中,不同的阶段会产生相应的造价数据。相同或类似的建设项目,其造价存在着相似的特性,不同的建设项目也会在单位工程或系统上存在着相似的特性。因此,数据库的建立可以发挥其信息化大数据的作用。

### 2.1 为项目前期决策阶段提供支持

对拟建项目的项目建议书阶段或可行性研究阶段投资估算的编制,可以通过对数据库中相同或类似项目的关键参数的筛选,选择出与拟建项目类

作者简介:王旭,男,高级工程师,1997年7月毕业于天津大学投资经济专业,现就职于航空工业规划动力工程设计研究院。

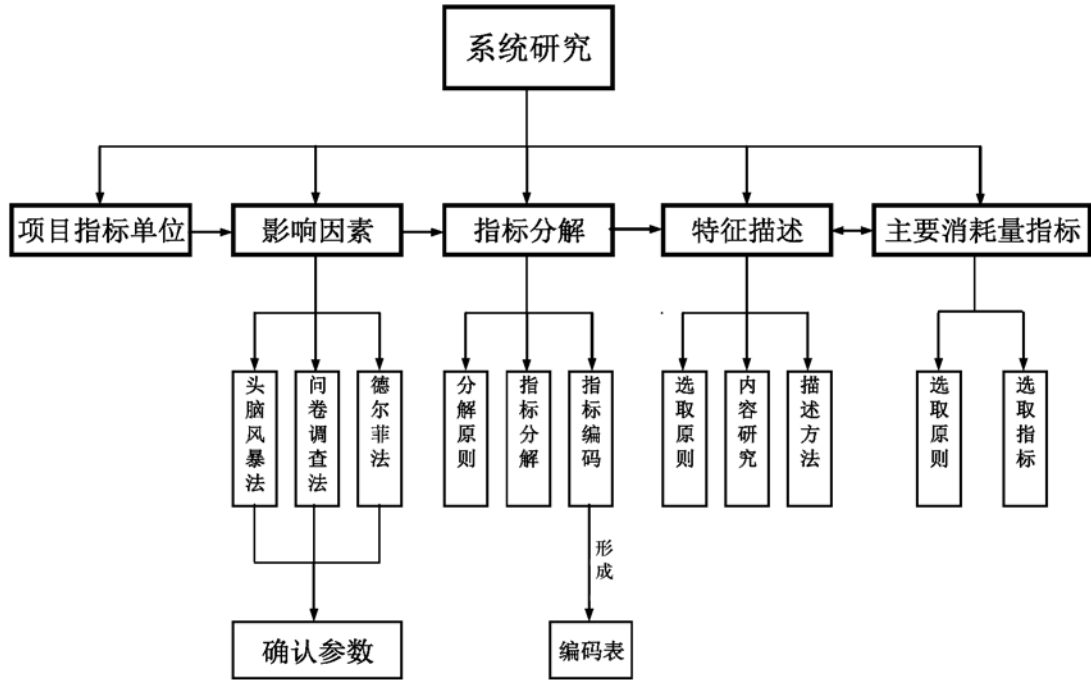


图1 系统研究的思路框图

似的已完工程造价数据，作为拟建项目估算的基础数据，同时，对其差异部分进行调整。通过数据库类似项目造价指标数据的使用，可以不必根据设计方案一步步计算投资，提高了计算项目造价的效率。当然，数据库的使用，可更大程度上确保投资估算的准确性。

## 2.2 为EPC总承包项目投标报价提供参考数据

目前国家大力推广工程总承包模式，由于工程总承包往往在项目的可行性研究、方案设计或初步设计完成后即开始招标，此阶段招标不提供完整详细的工程量和设备材料参数支持，设计人员在投标期内也不可能完成这些详细设计及资料，但总承包报价往往采用固定总价合同模式，在此情况下，报价人员如果没有数据库的支持，仅凭个人的经验和能力进行报价，可能存在较大的风险。造价指标数据库的建立，使报价有了科学的参考依据，可以通过对数据库中相同或类似项目的造价数据的分析调整，编制项目的投标报价，提高了投标报价的准确性和编制效率。

## 2.3 对同一项目的造价数据作纵向对比分析

数据库的建立可以实现一个项目从前期的设计概算、到建设期的预算、建成后结算之间的对比分析；通过分析，发现各阶段存在的问题，也为项目成本管理和控制发挥作用。

## 2.4 对同类型单项工程造价数据的作横向对比分析

通过数据库系统的指标对比功能，对存储在数据库系统中的单项工程提取相关数据，发现在相同或不同地区同类单项工程，由于特征不同、单位工程或系统不同所带来的工程造价指标上的差异，从而进行数据的横向对比分析，为项目成本管理控制提供依据。

## 2.5 分析造价指标随时间变化的曲线

当系统中数据积累到足够多的情况下，我们可以在单项工程造价指标基础上，研发其他造价数据分析程序，进行数学模型分析，去除差异性因素，分析造价指标随时间变化的一般规律和指数曲线，配合主要消耗量指标，实行动态调整。

## 3 造价指标系统研究

造价指标系统研究的目的是，为了建立起能反映整个单项工程造价指标特定因素的特征、经过分解后的造价指标以及特征描述的方法。研究的过程如下：首先，确定单项工程作为项目的汇总指标单位；其次，通过影响因素的分析获取影响单项工程的关键参数；再次，对组成单项工程的造价指标进行分解，确定统一的分解结构；最后，针对分解指标进行特征描述，以便确定与指标对应的特征，

同时确定影响造价指标的主要消耗量指标。系统研究的思路见图1。

### 3.1 项目指标单位的确定

建设项目按照范围划分可分为建设项目、单项工程、单位工程、分部工程等不同的类别。需要结合数据库的目的选择适当的项目指标单位。不同的建设项目，一般是基于投资的限制或立项要求不同，其包含的单项工程差异巨大，因此采用建设项目作为指标单位编制的造价指标具有较大的不确定性，其数据的使用受到很大的限制。单项工程一般具有独立的设计文件，建成后能够独立发挥生产能力或使用功能。相同或相似类型的单项工程，其方案或设计参数具有相对类似的性质，因此，可以选择单项工程作为项目的汇总指标单位。

### 3.2 影响因素的研究

#### (1) 影响因素的概念

影响意为起作用，因素是能使事物变化的抽象值。在造价领域的影响因素，是指对造价指标产生较大的变动的特征值。建立造价指标数据库首先需要确定哪些因素对单项工程的造价指标构成影响，以便通过这些影响因素或特征值与单项工程类型进行关联。与造价指标最相关的因素，要按照重要性和相关性列出来，后期可以通过换算进行指标调整的因素也要通过研究找到。

#### (2) 影响因素的内容

本文需要研究的影响因素为单项工程的特征因素。单项工程作为建设项目组成部分，每个单项工程具有相对独立的围护结构、结构形式、建筑外形等工程特征。全面且相互独立的工程特征组合起来，可以从多角度对特定单项工程起到描述作用，使单项工程之间相互区分又相互联系。

#### (3) 研究方法

为了全面准确地确定单项工程影响因素，采用头脑风暴法、问卷调查法和德尔菲法进行工程关键参数识别。

1)头脑风暴法，是指由美国BBDO广告公司的奥斯本首创，该方法主要由价值工程工作小组人员在正常融洽和不受任何限制的气氛中以会议形式进行讨论、座谈，打破常规，积极思考，畅所欲言，充分发表看法的一种方法。

2)问卷调查法，是调查者运用统一设计的问卷以书面形式向被选取的调查对象了解情况或征询意见的调查方法。研究者将所要研究的问题编制成问题表格，发放给被调查者，从而了解被访者对某一

现象或问题的看法和意见。该方法的运用，关键在于编制问卷，选择被访者和结果分析。

3)德尔菲法，是按照一定程序征询专家意见的定性预测方法，是20世纪40年代美国的兰德公司研究员赫尔默和达尔奇设计出的一种预测方法。方法要领是：预测组织者以书面调查问卷形式，征询若干名专家对预测对象的意见，背靠背地征询、汇总和反馈专家意见。

#### (4) 影响因素研究过程及结果

1)首先，根据以往的经验 and 认识，采用头脑风暴法先列出单项工程关键参数，共计11项（见表1），然后通过问卷调查法，调研影响单项工程造价指标关键参数，对头脑风暴法产生的关键参数进行修改、补充，调研文件见图2。本次调研对象为公司技经专业有经验的专家，共发放问卷20份，回收有效问卷共14份。问卷补充参数10个，共计21个工程关键参数，通过分析整理问卷，合并类似参数，初步确认单项工程关键参数共16项。

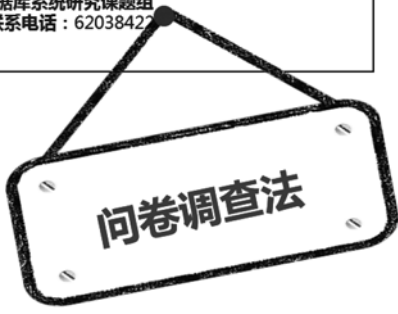
表1 单项工程关键参数表(头脑风暴法)

序号	单项工程关键参数
1	编制日期
2	建设地点
3	建筑面积(分主厂房和辅楼)
4	建筑类型
5	结构类型
6	层数
7	层高
8	檐高
9	有无人防
10	耐火等级
11	抗震设防烈度

2)识别出对单项工程造价产生影响的工程关键参数后，采用德尔菲法对识别的工程关键参数进行重要性排序。除建设项目名称、设计阶段、采用定额、编制日期、建设地点造价指标必备属性外，针对11项关键参数设计调研问卷。打分选用4分制，即关键参数矩阵中，两两对比，相对来说非常重要的指标得4分，另一方得0分；比较重要的指标得3分，另一方得1分；两者相同重要，各得2分；自身对比不得分，调研文件见图3。本次调研对象为公

### 影响单项工程造价指标关键参数的调研

您好！占用您的宝贵时间深感歉意。非常感谢您参与我们的问卷调查，此次调查是为我们今年立项的研发课题做准备，研究影响单项工程造价指标的关键参数，不存在任何其他用途。您的答案对于我们研究工作非常重要，请根据您的实际情况填写。感谢您的合作！  
**工程造价指标数据库系统课题组**  
 联系人：王旭 联系电话：62038422



- I. 个人信息情况  
 1、您的姓名是( )  
 2、您的职称是( ) A助理工程师 B工程师 C高级工程师 D研究员级高级工程师  
 3、您的专业是( ) A土建 B电气 C设备

- II. 以下是有关影响单项工程造价指标关键参数的调查  
 4、您认为影响单项工程造价指标的关键参数有哪些( ) (请按重要程度填写，请多填)  
 A 编制日期 B 建设地点 C 建筑面积(分主厂房和辅楼) D 建筑类型 E 结构类型 F 层数 G 层高 H 檐高 I 有无人防  
 J 耐火等级 K 抗震设防烈度  
 5、除第4题中给出的参数，您认为影响单项工程造价指标的关键参数还有哪些？( ) (可多填)

问卷到此结束，再次感谢您的合作！祝您顺利！

发放调研问卷20份回收14份。

图2 影响单项工程造价指标关键参数的调研

### 影响单项工程造价指标关键参数确定打分表

参数	建筑面积	建筑类型	结构类型	层数	层高	檐高	人防等级	耐火等级	抗震设防烈度	建设标准	建筑造型	得分	参数指数
建筑面积	×											0	0.00
建筑类型	1	×											0.02
结构类型	1	1	×									8	0.04
层数	1	1	1	×									
层高	1	1	1	1	×								
檐高	1	1	1	1	1	×							
人防等级	1	1	1	1	1	1	×						
耐火等级	1	1	1	1	1	1	1	×				28	0.13
抗震设防烈度	1	1	1	1	1	1	1	1	×			32	0.15
建设标准	1	1	1	1	1	1	1	1	1	×		36	0.16
建筑造型	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	×	40	0.18
Σ												220	1.00



发放打分表20份回收14份。

图3 影响单项工程造价指标关键参数确定打分表

司技经专业有经验的专家，共发放问卷20份，回收有效问卷共14份。汇总调研打分结果，对各参数得分进行归一化处理，并对专家打分结果进行加权平均，得到单项工程关键参数重要性权重表见表2。

3)由上述结果可知，单项工程关键参数中，

对造价指标影响最高的为建设标准，其次为建筑类型和结构类型，所有选取参数均对造价指标有不小于6%的重要性影响，因此在数据库基础数据选用中，可参考上述重要性排序选取类似项目指标。加上前边没参加排序的参数，最终确认单项工程关键



表2 单项工程影响因素重要性权重表(德尔菲法)

序号	单项工程关键参数	重要性权重
1	建设标准	17%
2	建筑类型	11%
3	结构类型	11%
4	层高	9%
5	建筑造型	9%
6	建筑面积	8%
7	抗震设防烈度	8%
8	人防等级	7%
9	耐火等级	7%
10	层数	7%
11	檐高	6%

参数共16项见表3。

表3 单项工程关键参数确认表

序号	单项工程关键参数
1	建设项目
2	设计阶段
3	采用定额
4	编制日期
5	建设地点
6	建设标准
7	建筑类型
8	结构类型
9	层高
10	建筑造型
11	建筑面积
12	抗震设防烈度
13	人防等级
14	耐火等级
15	层数
16	檐高

### 3.3 指标分解的研究

#### (1) 指标分解的必要性及原则

建立造价指标数据库系统就是要准确地使用数据,数据的归集必须和使用相对应,科学地分解指标数据,设置指标的层级和统一的编码,才能保持所有

数据范围和内容统一,保证数据库数据的一致性,便于同口径分析对比。结合建立造价指标数据库的目的,指标分解需要综合考虑准确性、工作量、同口径分析、使用频率、指标可调整性5个维度。

#### (2) 造价指标分解

通常情况下,工程造价通过分项工程、分部工程、单位工程、单项工程逐级汇总,形成单项工程造价。对应指标分解的原则,对造价明细项目进行分析,分析结果见表4。

表4 指标分解程度对比表

序号	分解程度	准确性	工作量	同口径分析	使用频率	可调整性
1	分项工程	高	大	较难	少	好
2	分部工程	较高	较大	满足	较少	较好
3	单位工程	较低	较小	满足	多	稍差
4	单项工程	较差	小	满足	较少	差

从表4分析可以看出,指标分解至单项工程准确性较差,满足使用要求较差,应舍弃;指标分解至分项工程、分部工程尽管准确性相对高,但工作量相对较大,结合指标使用目的看,平时使用较少,也予以舍弃。因此,指标分解以使用频率较高的单位工程为基础,对其准确性和可调整性因素予以改善。

土建工程除了分解为建筑和装饰外,进一步把建筑再分解为地基处理、边坡支护工程、施工降水、桩基工程、主体结构及其他,指标分解后,可消除地域性地质差异因素,便于指标的使用,同时满足同口径对比的需要。设备工程和电气工程除弱电外按专业划分指标,按建筑工程费、设备费、设备安装费进行细分,可突出设备费在安装专业指标中的重要性。对于技术发展较快的弱电工程,按照相对独立的使用功能并按系统划分。分解后的指标框架见图4。

#### (3) 指标编码

对指标进行编码,使所有数据范围和内容统一,便于同口径分析对比。根据指标分解结果,对指标进行编码。指标编码主要为三级编码,即单项工程、单位工程、调整分部工程。土建工程的除建筑、装饰、电梯、吊车二级编码外,增加了5个三级编码;设备工程包括给排水、消防等10个二级编码;电气工程包括变配电工程、柴油发电机系统、

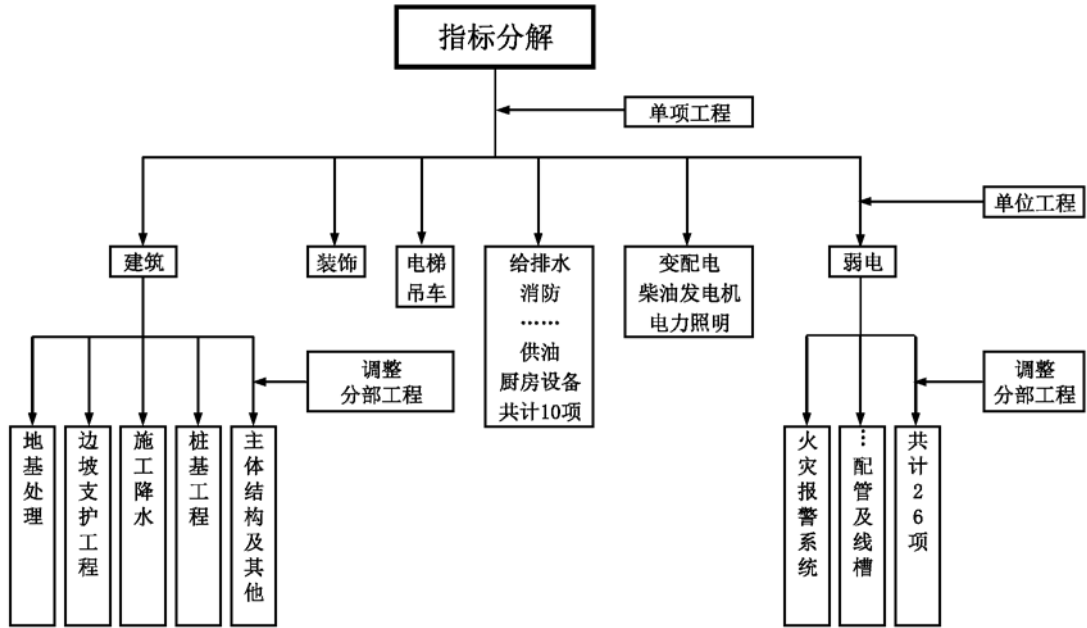


图4 指标分解结果

电力照明、弱电工程4个二级编码，弱电工程再根据系统划分了26个三级编码。三级科目编码表见表5。

表5 三级科目编码表

序号	科目编码	父级科目编码	科目名称
1	PM01	1	单项工程
2	PM0101	2	建筑工程
3	PM010101	3	地基处理
4	PM010102	3	边坡支护工程
5	PM010103	3	施工降水
6	PM010104	3	桩基工程
7	PM010105	3	主体结构及其他
8	PM0102	2	装饰工程
9	PM0103	2	电梯
10	PM0104	2	吊车
11	PM0111	2	给排水工程
12	PM0112	2	消防工程
	.....		.....
19	PM0119	2	供油工程
20	PM0120	2	厨房设备
21	PM0131	2	变配电工程
22	PM0132	2	柴油发电机系统
23	PM0133	2	电力照明
24	PM0134	2	弱电工程
25	PM013401	3	火灾报警系统
26	PM013402	3	广播系统
	.....		.....
49	PM013425	3	体育场馆专用系统
50	PM013426	3	配管及线槽

### 3.4 特征描述的研究

#### (1) 特征描述的选取原则

特征描述应反映上述编码系统的指标参数。特征描述应选择以单位工程为单元，再根据专业和系统特点划分分别进行描述，上述编码系统的参数均可以在特征描述中对应获取。

#### (2) 特征描述内容研究

特征描述选取，首先根据以往工作的经验，再通过查询专业资料来确认如何分专业，分系统进行描述，同时与相关专家探讨会谈沟通，拟定一个初步方案。

其次按照土建工程、设备工程和电气工程的不同要求，针对这3个专业分别设计了特征描述调研问卷见图5、6、7。调研对象为造价专业有经验的项目负责人及编制人员，共发放问卷28份，回收有效问卷共20份。通过对问卷结果分析整理，合并同类项目，并对调研结果进行修正，最终确定了土建工程、设备工程和电气工程单位工程及分部分系统特征描述。

#### (3) 特征描述方法

特征描述的描述方法，首先是分专业然后是分系统或分部描述。土建专业要描述的地基处理、基础类型、降水、边坡支护情况；然后是跨度、柱网、柱、梁、板、墙、屋面情况和屋面防水；楼地面、天棚、内墙面、门窗、外装修及装修标准等；电梯的品牌、数量、基本参数。

设备专业要描述各专业，各系统所采用的管

### 土建工程特征描述的调研

内容					
土建工程	地基处理	地基处理			
		基础类型			
		边坡支护			
	建筑	柱网			
		柱			
		梁			
		板			
		墙			
		屋面			
	装饰	楼地面			
		天棚			
		内墙面			
		门窗			
外装修					

**问卷调查法**

发放调研问卷12份回收8份。

图5 土建工程特征描述的调研

### 设备工程特征描述的调研

内容					
给排水	给排水	生产、生活给水系统			
		生产、生活排水系统			
		循环冷却水系统			
		生产、生活废水处理			
		生活热水系统			
	消防	消防栓系统			
		自动喷水灭火系统			
		气体灭火系统			
		建筑灭火器			
		消防水炮灭火系统			
暖通	采暖				
	防排烟				
	通风	进风系统			
		排风系统			
		局部通风			
		全室换气			
		防爆系统			
		除尘系统			

内容				
空调	空调	水-空气空调系统		
		全空气空调系统		
		直接蒸发式空调系统		
		多联机 (VRV)		
		分体空调		
		全新风空调系统		
暖通/动力	制冷			
	供热			
动力	供气	压缩空气		
		真空		
		特种气体		
	燃气			
	供油			
	厨房设备			
	运输			
筑炉				
液压油				

**问卷调查法**

发放调研问卷9份回收7份。

图6 设备工程特征描述的调研

材、阀门和设备型号及数量。对制冷供热系统和供气系统，设置了“是否有源”的选项，用于反映动力设备是否包括在本单项工程中。单独建设动力

站，还是在厂房内部建设安装动力设备，对设备造价指标影响很大。

电气专业变配电要描述的是设备规格型号及

电气工程特征描述的调研

内容			内容		
强电	变配电	变配电设备	弱电	弱电	火灾报警系统
		变配电综合保护系统			广播系统
		电气火灾监控系统			综合布线系统
		密集型母线			电话系统
		柴油发电机组			计算机网络系统
	电力照明	密集型母线			机房工程
		电力电缆			有线电视系统
		配管配线			入侵报警系统
		主要灯具			视频监控
		智能照明系统			出入口控制系统
		应急照明系统			门禁系统
		防雷接地			停车场管理
		视频会议系统			
		多媒体教学系统			
	一卡通系统				
	室内移动通信系统				
	信息发布				
	无线对讲				
	楼宇控制				
	门禁系统				
	内部通信				
	报警管理子系统				
	弱电系统其他				
	弱电系统其他				



发放调研问卷7份回收5份。

图7 电气工程特征描述的调研

台数、密集型母线规格型号及长度；电力照明要描述的是电缆规格型号、主要材料及灯具规格型号；弱电除配管及线槽要描述主要材料规格型号外，其他各系统主要是描述点数，这样配合造价指标才有使用效果。

3.5 主要消耗量指标研究

(1) 选取原则

主要消耗量指标选取的原则是，其费用占整个工程造价的比重较大，且变化的可能性较大，通常采用造价指标进行调整时可能使用的主要人工材料。

(2) 选取指标

根据选取原则，钢筋、混凝土、钢结构是结构专业的常用材料，其造价占单项工程造价指标的比重较大，且伴随着经济形势的变化，其波动幅度较大。人工费约占到整个工程造价15%以上，随着时间的推移，基本是单边上涨的趋势。幕墙在现代设计中非常常用，它在建筑物外墙形式、色彩、效果等方面起着重要作用，其档次不同差别较大，另外选择了砌体、防水卷材和模板。最终主要消耗量指标共选取了8项，见表6。

经过影响因素的分析、指标分解的研究、特征描述的研究、主要消耗量指标研究，构建了工程

表6 主要消耗量指标表

建设项目			设计阶段	备注
	建筑面积	m <sup>2</sup>	编制日期	
序号	名称	单位	每m <sup>2</sup> 消耗量指标	
1	人工	工日		
2	钢筋	kg		
3	混凝土	m <sup>3</sup>		
4	钢结构	kg		
5	幕墙	m <sup>2</sup>		
6	砌体	m <sup>3</sup>		
7	防水卷材	m <sup>2</sup>		
8	模板	m <sup>2</sup>		

造价指标数据库系统框架的全部参数和编码见图8，为软件开发提供了依据。

4 软件的功能设置

根据造价指标数据库架构，结合单位的管理需求，设置工程造价指标数据库系统功能需求见图9。

功能模块共设置5个，分别是系统管理模块、用户管理模块、参数数据管理模块、项目数据管理模块、数据查询对比模块。

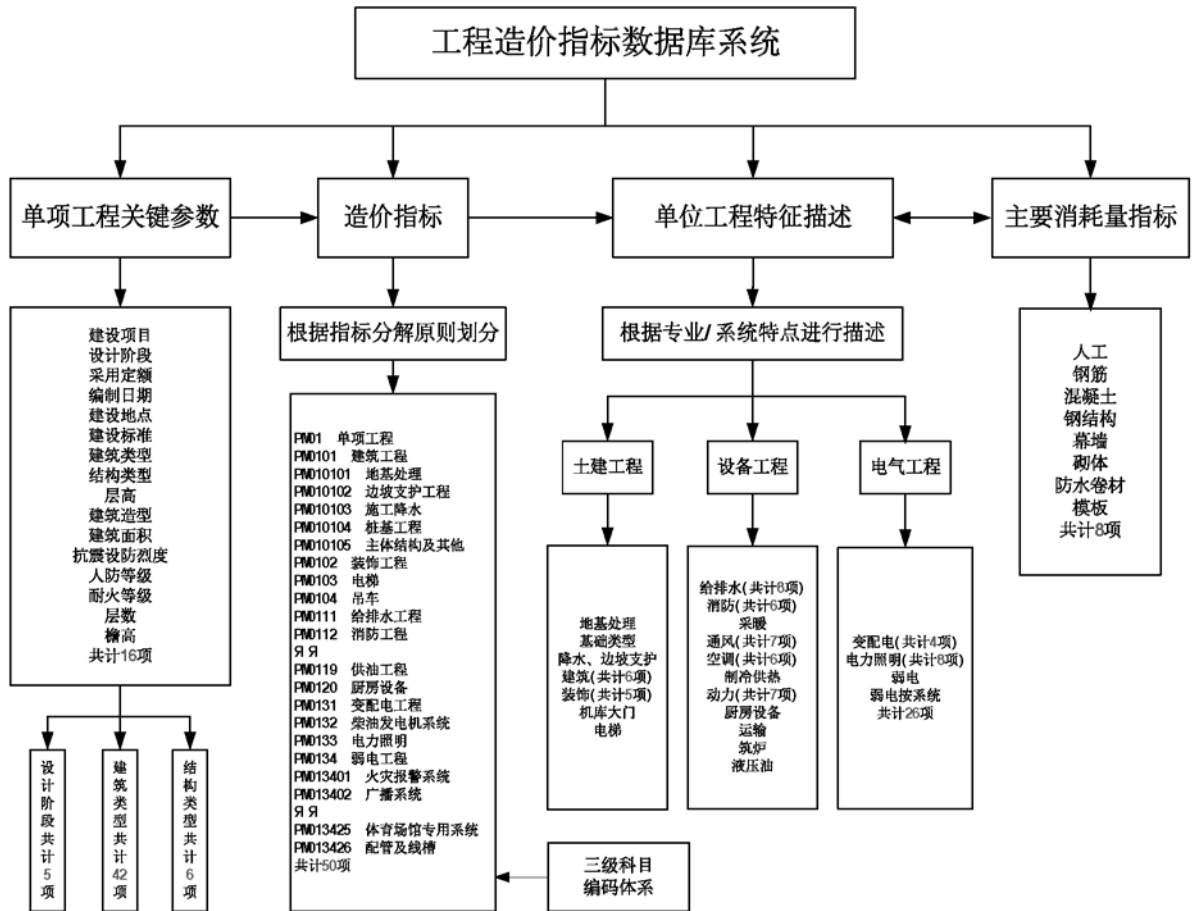


图8 工程造价指标数据库系统框架

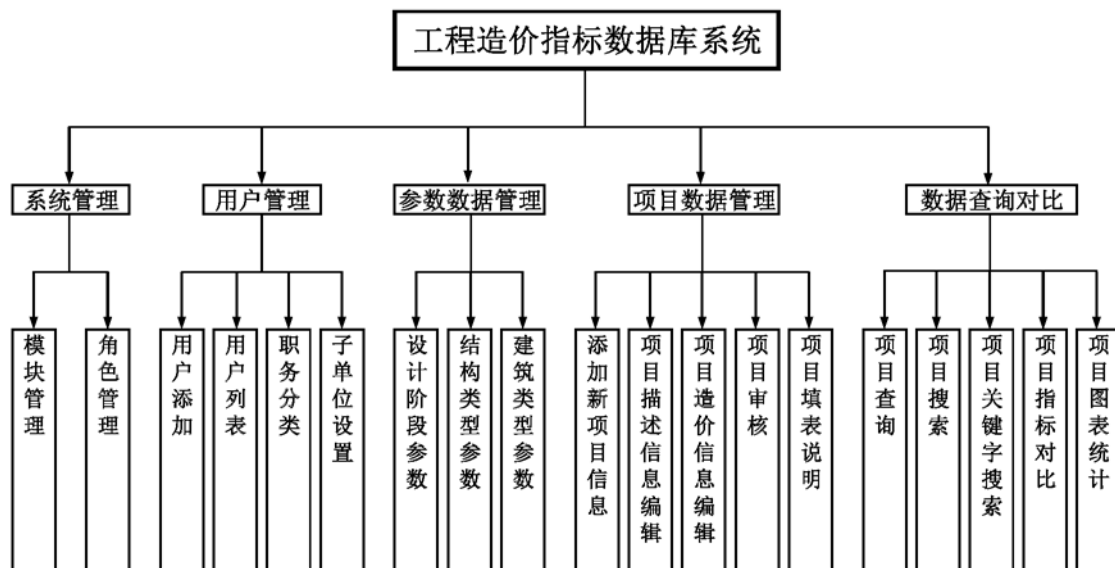


图9 软件功能设置图

#### 4.1 系统管理模块

系统管理模块包括子模块两个，分别对应模块管理和角色管理。模块管理部分实现对系统模块的管理，可以管理该模块及其子模块的相关信息，包括可以对模块名称进行修改，更改模块的界面地址，更改子模块的排列顺序。角色管理主要实现对系统用户的角色管理和分类，以及管理各用户角色可以使用的系统模块，即进行用户角色的权限管理。

#### 4.2 用户管理模块

用户管理模块包括子模块4个，分别对应用户添加、用户列表、职务分类、子单位设置。用户添加用于添加用户；用户列表用于查询和修改用户信息；职务分类用于填写职务及职称名称；子单位设置用于填写子单位名称。

#### 4.3 参数数据管理模块

参数数据管理模块包括子模块三个，分别用于对设计阶段参数、结构类型参数、建筑类型参数进行设置。设计阶段参数用于对造价指标对应的设计阶段进行设置，结构类型参数用于对造价指标对应的结构类型进行设置，建筑类型参数用于对造价指标对应的建筑类型进行设置。

#### 4.4 项目数据管理模块

项目数据管理模块包括子模块5个，分别是添加新项目信息、项目描述信息编辑、项目造价信息编辑、项目审核、项目填表说明。添加新项目信息实现对项目信息的新建功能；项目描述信息编辑实现对项目描述信息的添加修改；项目造价信息编辑实现对项目造价指标的添加修改；项目审核实现对项目信息和造价指标的审核，只有审核通过，其他用户才能看到项目名称；项目填表说明设置可下载一个填写说明附件的功能。

#### 4.5 数据查询对比模块

数据查询对比模块包括子模块五个，分别是项目查询、项目搜索、项目关键字搜索、项目图表统计、项目指标对比。项目查询可显示项目列表，不包括建设单位在内的敏感项目信息；项目搜索可显示项目列表，全部项目基本信息；项目关键字搜索可以通过搜索关键字显示项目列表，全部项目基本信息；项目图表统计显示系统内项目总数，以及按归口统计包括设计阶段、结构类型、建筑类型、建设地点的项目总数，以图的直观形式表现出来；项目指标对比实现对筛选项目的造价指标对比。

## 5 结论

本文以建立公司级的工程造价指标数据库系统为目的，通过对影响造价指标关键参数、造价指标数据、单位工程特征描述内容的研究，确定了工程造价指标数据库架构和软件功能架构，为进一步完成数据库软件，实现系统开发，完成了理论研究。

随着造价指标数据库的建设和指标的录入，可以为建设项目成本控制提供有效的管理平台，实现项目造价指标数据的资源共享和知识利用，为编制新项目估算提供数据支持。随着时间的推移和数据的不断积累，为今后大数据集成应用提供支撑；配合消耗量指标，争取实现动态调整造价指标的目的。

#### 参考文献

- [1] 韩家炜, Kamber M, 裴健. 数据挖掘:概念与技术[M]. 第3版. 机械工业出版社, 2012年.

# 供热管网工程 施工质量控制要点分析

■ 于颖 [动力]

**摘要:** 随着我国现代社会供热管网工程施工质量控制的不断提升,在现有技术基础的支持下,我国采用供热管网工程施工质量控制的方法对各个地区和城镇进行提供高温的热水供热取暖方法,且在供热管网工程施工中能够有效实现节约能源成本。本文主要论述了对供热管网工程施工质量控制的概况与重要意义,分析供热管网工程施工质量控制常见问题,供热管网工程施工的质量管理规则以及供热管网工程施工质量控制的要点分析方法。

**关键词:** 供热管网;工程施工;质量控制

## 1 对供热管网工程施工质量控制的概况及重要意义

供热管网工程施工具体是指输送供热管网中的高温热水,其原理是用高温热水或者是水蒸气通过供热管道工程的运输进入到居民家中进行取暖作用效果。

在现代生活中,供热管网工程施工质量控制的重要意义在于能够节约能源,而且相对可以减少对大气的污染,不仅可以改善居民们的环境卫生,还可以实现低质的燃料和垃圾得到更好的利用。供热管网工程施工质量控制更是实现科学管理基础,实现集中供热管网是各个地区和城市的能源建设,也是国家能源合理分配和充分利用的一项重要措施。

## 2 分析供热管网工程施工质量控制常见问题

(1) 供热管网管道支架的安放问题。工程施工管理人员要对管道支架的安放要进行严格的质量控制,从而保证管网工程施工顺利的完成。工程管理人员常常忽略掉供热管网管道支架和这个滑动支架的重要性,从来没有按照要求进行施工导致供热管网管道的承受能力呈现负荷。

(2) 供热管道中继泵站和热力站的安放问题。在供热管网工作中存在着继泵站和热力站的质量问题,也存在着安放一系列的问题。设施设备一旦出现问题,工程施工管理人员就得不到很好的控制,导致供热管网的流通受到不利的影。因此,需要时常要对继泵站和热力站进行杂物的清理和清洗。

作者简介:于颖,男,工程师,2012年毕业于华侨大学机械制造及自动化专业,现就职于航空工业规划市政工程设计研究院。

### 3 供热管网工程施工的质量管理规则

(1) 供热管网焊接施工质量的管理。供热管网工程施工过程时的焊接容易受到外界因素的影响,主要包括管网内固定焊口间等原因,工程施工管理人员要强化对供热管网施工质量的控制,就必须从这些非常细致的问题着手。

(2) 供热管网内要做好保温质量的管理。在整个供热管网工作系统中,工程管理施工人员要确保热能不丧失,才能达到供热取暖的理想状态。

### 4 供热管网工程施工质量控制要点分析方法

#### 4.1 供热管网工程施工中原材料对质量的控制

供热管网工程施工中原材料对质量控制是基础。首先在工作管网工程施工中要确定原材料的供应单位,再对其生产的材料进行分析。

#### 4.2 供热管网中的继泵站和发热站质量控制指标

供热管网中的继泵站和发热站质量控制指标主要作用体现在噪音系数得到质量的控制,预防出现一些影响对外界环境造成的干扰。在我国的噪音系数的范围有一定的质量控制指标,供热管网中的继泵站和发热站在工作中不能超出其范围。

#### 4.3 供热管网测量中放线的质量控制

供热管网测量中的管理员在测定出管网道路中心线和固定支墩以及补偿器位置放后,同时要反复测量,避免造成误差不能够进行供热管道工序施工。供热管道工程施工中如果遇到建筑物必须避开时,应该要求监管单位和工程施工单位共同解决问题,在适当的情况应该位置调一下,再认为必要时来预防在低点加装放气阀。工程施工人员要严格按照设计图纸控制供热管网,在供热管网工程施工过程中的填基础砂垫层和安装供热管网等都必须进行大面积的质量控制测量,这样才能确保供热管网工程施工安全的进行。

#### 4.4 供热管网管道支架的安放

在供热管网管道安放前,工程施工人员应该把支架位置放置合理,必须平整牢固,符合安放的规定要点。

#### 参考文献

[1] 郑光明.供热管网工程中直埋与地沟敷设的应用研究[J]延安大学学报(自然科学版).2004(01): 18-06

[2] 王龙威.张玉良.浅谈住宅小区供热管网设计的方法和措施[J]黑龙江科技信息.2011(03):19-02

[3] 高磊.吕维玲.曹江利.热力管网工程蒸汽管道盐碱土腐蚀的现场室[J]腐蚀与防护.2012(08): 16-09



# 供热直埋管道固定支架受力计算

■ 王双成 (动力)

**摘要:** 直埋供热管道固定支架的受力是管网设计工作中特别需要注意的地方, 本文通过公式手算和利用 CAESAR II 软件计算的方法, 对直埋供热管道分支线固定支架受力进行对比分析, 为供热管网的安全稳定可靠运行提供参考。

**关键词:** 直埋管道; 固定支架; 内压力; 弹性力; 摩擦力

## 1 前言

供热管网是城市供热设施的重要组成部分, 是连接热媒与热用户的输送纽带。供热管网的投资在城市供热工程中占有相当大的比重, 其设计的合理程度直接影响供热质量及经济性。供热管网的布置方式是多种多样的, 但不论采用何种布置方式, 固定支架的设置都是管网设计中至关重要的环节, 固定支架承受着各向作用力, 如何合理设置固定支架, 在保证管网安全性的前提下, 提高整个工程的经济性是需要重点考虑的因素。因此, 在管网设计中必须对固定支架受力进行较准确的计算。

## 2 管段类型

根据管道热胀冷缩变形的释放程度, 管段可分为有补偿段和无补偿段, 如图1所示:

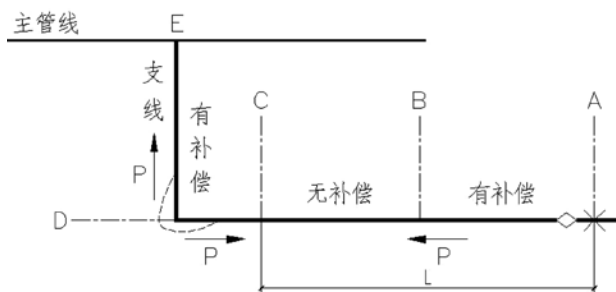


图1 管段类型图

作者简介: 王双成, 男, 工程师, 2010年毕业于重庆大学动力工程及工程物理专业, 现就职于航空工业规划市政工程设计研究院。

### 2.1 有补偿段 (也称过渡段或摩擦段)

如图1中AB段的长度等于最大摩擦长度。当介质温度发生变化时, 设置补偿器A点处的管道处于自由伸缩状态, 由于管道与周围土壤摩擦力 $f$ 的作用, 使管道热伸长受阻, 当B点处的摩擦力增加到与温度胀力相等时, 管道就不能再向有补偿器的A点处伸长, 从而进入了自然锚固状态。在这类管段中, 管道的热伸长由A点的自由伸缩逐渐过渡到B点的锚固状态, 管道的轴向温度应力亦从A点处为零逐渐增加到B点处最大值, 各处管道都有不同程度的热伸长, 从而使温度应力得到部分的释放。因此从强度分析来看, 不属于整个管道的最薄弱环节。这种管道的设计计算的主要任务是计算管段的热伸长, 以便合理地确定补偿器的补偿量。

L形管段: 如图1中C-D-E段。该管段与地沟或架空敷设的L形自然补偿相似, 区别在于受周围土壤的约束作用, 使直管臂只能在弯头附近较短的长度内产生侧向补偿变形 (如图1中D点虚线所示), 直管臂的变形及应力状态与之相类似, 因此也可看作为有补偿段。L形管段的计算, 重点是弯头元件的强度验算。

### 2.2 无补偿段 (也称锚固段或嵌固段)

如图1中BC段。这类管段由于土壤摩擦力 $f$ 的作用, 使管段进入自然锚固状态, 管道的热伸长完全受阻而变为热应力留存在管壁中。由此可见, 锚固段是全线应力最大的直线管段, 也是直管段强度验算的重点。同时, 在工作状态下的热胀应力对管段形成的轴向压缩应力, 可能使管道纵向失稳而隆

出地面，因此在核算管道机械强度的同时，还应进行稳定性验算。

### 3 固定支墩常见布置形式及其受力计算

常见的固定支架布置形式如图2所示，固定支架左右两侧均有补偿器且主管上有分支引出管。管路上轴线受力主要包括内压力和膨胀节的弹性反力，侧向受管道摩擦力、膨胀节的弹性反力及内压力。

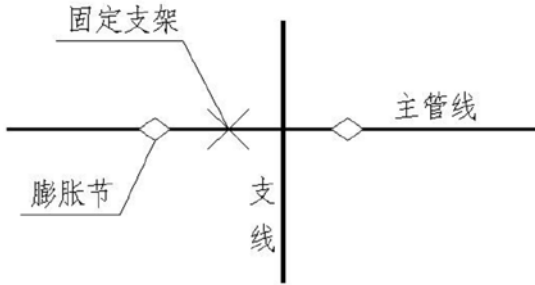


图2 固定支架布置

支架所受单向推力：

$$F_{左} = F_P + F_X = P \times A_{左} + K_{左} \times \Delta X_{左}$$

$$F_{右} = F_P + F_X = P \times A_{右} + K_{右} \times \Delta X_{右} \quad (1)$$

其中， $F_P$  — 压力推力；

$F_X$  — 轴向弹性反力；

$F_f$  — 摩擦力；

$P$  — 管道介质压力；

$A_1$  — 波纹管有效面积；

$K$  — 膨胀节轴向刚度；

$\Delta X$  — 膨胀节轴向位移；

固定支架轴向推力合力取  $F_{左} - 0.8 \times F_{右}$  和  $F_{右} - 0.8 \times F_{左}$  两者中较大值，其中  $F_{左}$  和  $F_{右}$  分别表示固定支架左侧和右侧的受力。

$$F_{支} = F_{P支} + F_{X支} + F_{f支} = P \times A_{支} + K \times \Delta X_{支} + q_{支} L_{支}$$

$q$  — 土壤对单位管道长度的摩擦力；

$L_1$  — 管道长度。

### 4 固定支架的受力计算

某段热水管网，供回水压力为1.0/0.6MPa，温度为150/90℃。选取的固定支架具有以下特征：

(1) 支架两侧为变径管，支架布置在大管径管上；

(2) 大管径管上接有分支管。

若仅考虑支管在出红线5m内作出补偿，则按式(1)计算出的下支管对固定支架向上的侧向

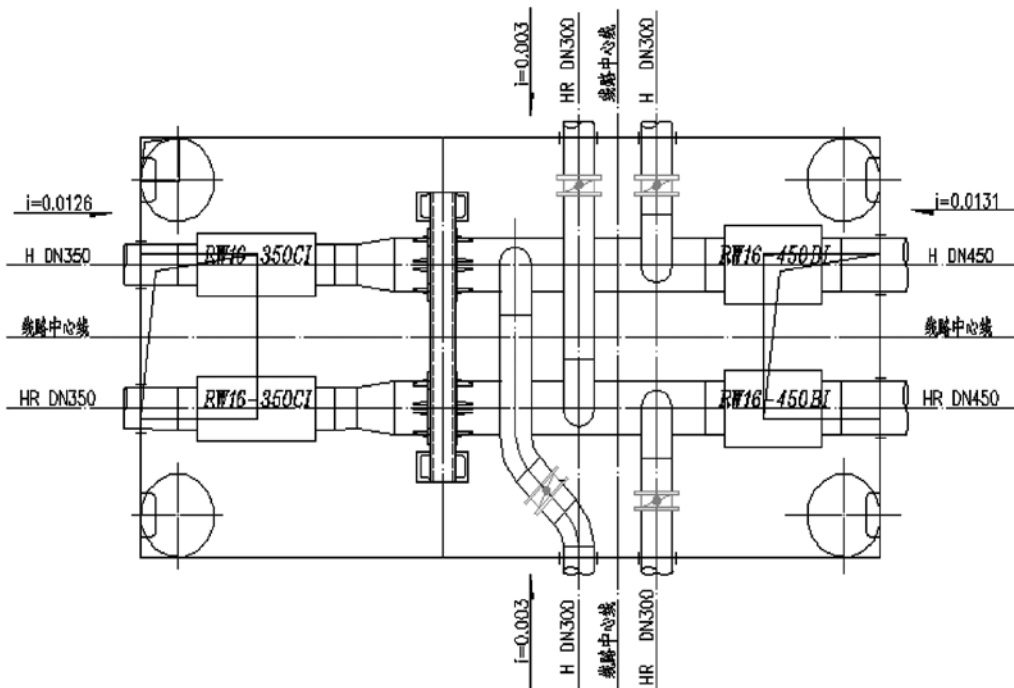


图3 实际井中布置形式

力为:

$$\begin{aligned}
 F_{支} &= F_{P支} + F_{X支} + F_{f支} = P \times A_{支} \\
 &\quad + K \times \Delta X_{支} + q_{支} L_{支} \\
 &= [1370 \times 10 \times 9.8 + 659 \times 31.9 \\
 &\quad + 22155.84 \times 19 \times (1.5 + 0.45/2) \\
 &\quad \times 0.45] \div (9.8 \times 1000) t \\
 &= 49.2 t
 \end{aligned}$$

对结构来说, 受力比较大, 不仅会增加工程投资而且会造成固定支架的不安全, 如图4所示。

由于不考虑其他措施会导致固定支架侧向力过大, 故考虑将下支管做一段小型的自然补偿, 如图5所示。

在增加了U形补偿后, 一是可以不用考虑弹性力; 二是由于有多个弯头的存在, 可以不用考虑内压力, 这样就可以显著减小固定支架的侧向力, 提给结构的受力仅为13t。

下面采用CAESAR II 软件进行受力计算, 对人工计算的结果进行验证。建模如图6示。

人工计算与CAESAR II 软件计算的固定支架受力如下表1所示, 其中下标R表示人工计算结果, 下标C表示CAESAR II 软件计算结果。

由计算结果比较可知, 下支管对固定支架向上的侧向力与人工计算结果较接近; 而上支管对固定支架向下的侧向力较人工计算结果偏小。

分析原因, 由于下支管采用了U形自然补偿,

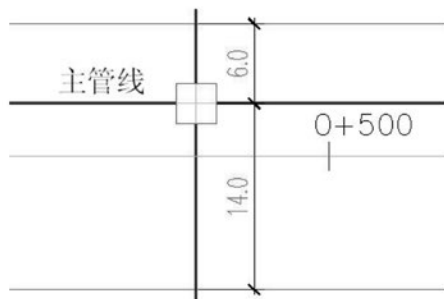


图4 井中支管布置示意图一

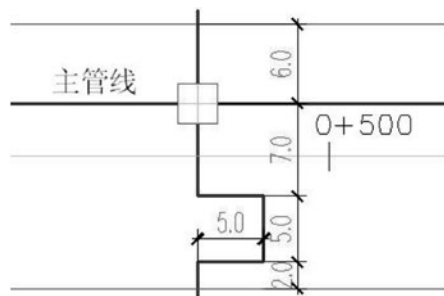


图5 井中支管布置示意图二

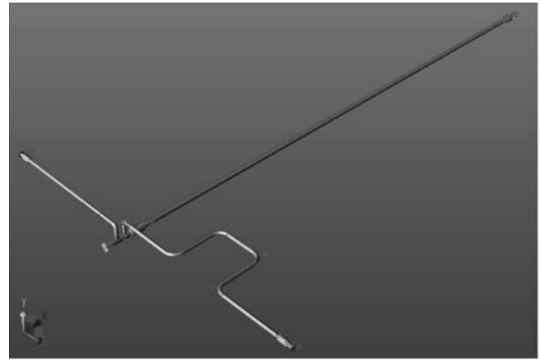


图6 CAESAR II 模型图

表1 两种计算结果的比较

名称	类型	温度 / °C	管径 / mm	受力 / t
支架侧向力 (向上) $F_{1R}$	H	150	DN300	13
支架侧向力 (向上) $F_{1C}$	H	150	DN300	12
支架侧向力 (向下) $F_{2R}$	H	150	DN300	29
支架侧向力 (向下) $F_{2C}$	H	150	DN300	13

在计算时没有考虑管道的弹性力且由于弯头的存在没有考虑内压力的影响, 从而仅考虑了土壤对管道的摩擦力, 所以大大减小了对固定支架的侧向力, 但计算结果仍比CAESAR II 软件计算结果要大, 可见计算结果是安全可靠的; 而上支管采用的是在固定支架处安装补偿器, 在计算支管对母管的受力时, 弹性力、内压力和摩擦力均考虑了, 与CAESAR II 的计算结果相比较, 安全系数还是很高的。

## 5 总结

在实际的设计工作中, 往往采用人工计算与CAESAR II 建模计算相结合的方式, 只要最后的计算结果高于CAESAR II 软件计算的结果, 就可以保证我们的设计更加的安全和可靠, 若结构受力较大, 在综合比较各方面因素后可以适当的降低安全系数以满足结构设计。

## 参考文献

- [1] 施振球, 赵廷元等。动力管道设计手册。机械工业出版社, 2009。
- [2] 汤惠芬, 范季贤等。城市供热手册。天津科学技术出版社, 1992。
- [3] 城镇直埋供热管道工程技术规程。中国建筑工业出版社, CJJ/T 81-98, 1999。

# 机场跑道消防给水设计探讨

■ 付饶 陈洁如 [给排水]

**摘要:** 以机场跑道消防系统的相关规范为依据,通过对跑道消防设计实例进行分析,对规范中不明确的内容进行探讨,对不同方案进行对比,提出在一定前提下消防取水点布置的合理解决方案,并将方法应用于各级机场跑道,为今后同类设计提供参考。

**关键词:** 机场;飞行区;跑道消防设计

## 1 引言

我国民航运输业发展势头迅猛,随着各地机场的兴建、扩建,对跑道的消防救援提出了更高的要求。跑道作为机场飞行区的主要构成,肩负着飞机的起降任务,合理设置消防给水系统,可以尽可能快地扑灭事故火情,保障生命财产安全。相关行业规范对跑道消防的规定较为宽泛,无法对设计过程提供具体指导。本文从某机场跑道消防方案出发,通过对不同方式的对比分析,尝试解决设计过程中的盲点,提出针对各保障等级机场跑道消防给水系统的设计方法,并对该方法的可行性进行探讨。

## 2 跑道消防主要参照的规范

《民用机场总体规划规范》(MH5002-1999)

《民用航空支线机场建设标准》(MH5023-2006)

《民用航空运输机场飞行区消防设施》(MH/T7015-2007)

《民用航空运输机场消防站消防装备配备》(MH/T7002-2006)

依据以上规范对跑道消防的规定:“应在跑道一侧或两端适当位置设有消防车辆取水点”。由于该条文对取水点的做法和敷设位置并没有做出具体规定,而取水点的不同做法和位置又对消防系统的形式和工程投资影响较大,所以有必要对跑道消防取水点的做法和敷设位置作出简单的消防性能化分析,具体来说,在进行跑道消防给水设计时,需要解决以下问题:

(1) 一辆消防车取水量为3000L/min,每处取水点通常需要满足2~4辆消防车同时取水,而一般控制每个室外消火栓的出流流量按15L/s计算,很难满足跑道消防要求。

(2) 跑道长度可达数千米,以上规范未明确消防取水点的布置间距,按照通常一般120m的间距进行布置,消火栓布置过于密集,而且不经济合理。

下面以某机场跑道消防设计为例,对上述问题进行探讨。

作者简介:付饶,男,高级工程师,2012年毕业于北京建筑大学控制理论与控制工程专业,现就职于中航建设民航工程设计研究院。

### 3 消防保障等级

某机场方案参数如下：飞行区等级为4C，跑道长度为2600m，升降带端头为60m，两侧为150m，跑道端安全区为240m。该机场具备与使用的飞机参数如表1：

表1 固定翼飞机运行飞机参数

阶段	机型	全长 (m)	机身宽度 (m)	翼展 (m)
固定翼飞机	湾流G550	29.4	2.39	28.5
	B737-700	33.63	<5	34.3

该机场西侧设置跑道，五条联络道连接滑行道和停机坪，航站区在跑道东侧偏北方向，航站区的东北侧设置消防泵房。平面布置图见图1：

在确定机场跑道消防系统的形式之前，首先要明确该机场的消防保障等级。根据规范规定，结合该机场参数，可以确定该机场的消防保障等级为6级，按规范要求消防供水量不小于200m<sup>3</sup>，供水时间为1h。需配备一辆主力泡沫车和两辆重型泡沫车，即三辆火灾主力消防车，单车取水能力为3000L/min（50L/s）。

### 4 跑道消防取水性能化分析

根据消防救援的原则，跑道消防取水点的设置需要满足三个要素：快速、有效、充足。一旦飞机在跑道上发生火灾事故，消防救援的速度在很大程度上取决于跑道消防取水点与事故发生地点的距离。根据国外有关飞机失事案例的研究，不同阶段

在飞机失事中所占的比如表2所示：

表2 飞机失事阶段比例统计表

序号	飞行阶段	飞机失事比例 (%)
1	飞机起飞前的地面滑行阶段	1.8
2	飞机抬头起飞阶段	14.2
3	飞机初始升空阶段	9.5
4	飞机完全升空阶段	6.8
5	飞机空中航行阶段	4.3
6	飞机降低高度阶段	6.7
7	飞机开始接近地面阶段	11.7
8	飞机接近地面阶段	23.6
9	飞机着陆及地面滑行阶段	21.3

注：1.该表译自美国有关飞机失事的研究报道；  
2.这种危险性并不包括蓄意破坏、武器攻击和空气湍流等意外事件的影响。

从图2可以更直观地看出，飞机在跑道上的整个起飞过程与降落过程中，从跑道两端1~3和7~9之间的失事之和约占失事总数的82.1%，而跑道中间段失事比例很小。如果采用只在跑道两端设置消防水池的方式，能够有效保护高风险区域，且满足规范要求，同时节省了工程投资。但是，随着现状民用航空的发展，航班起落架次的增多，跑道规模的不断扩大以及运力接近饱和，跑道中间段区域也应得到足够的重视。当事故发生在跑道中间段时（根据图2约占跑道失事总数的17.9%），依靠有限的消防车辆来回于跑道端取水，即便按一辆车满

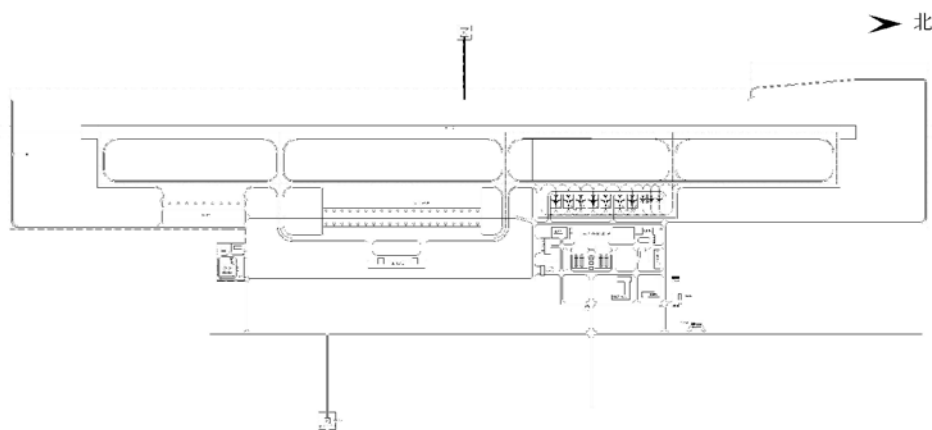


图1 机场平面图

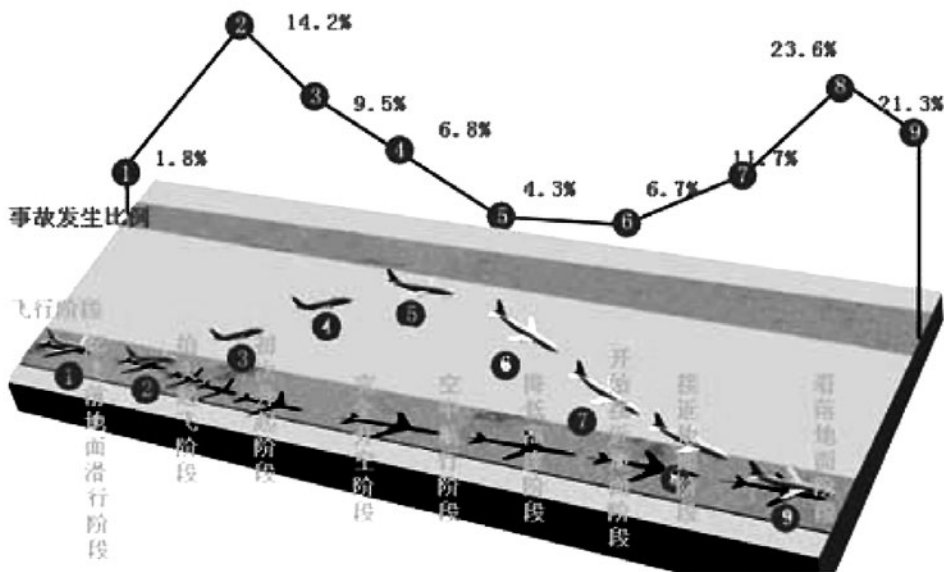


图2 飞机失事比例图

载水 $10\text{m}^3$ 计算,该机场配备的三辆消防车,在最不利情况下需要来回 $1300\text{m}$ 路程取水接近7次,才能满足规范最低 $200\text{m}^3$ 消防用水量的要求,这样就会浪费非常宝贵的消防救援时间,而且我国华东地区各机场主力消防车配备自吸功能的数量还是不多的。所以,采用跑道两端设置消防水池的方案,一旦发生飞机消防事故,将对消防救援能力构成挑战,违反消防救援原则。

综上所述,本机场决定采用在跑道一侧设置消防供水管道的方式。此方案使消防取水点更可能靠近事故地点,从而有效为事故地提供消防用水支持。可是,在没有规范明确要求的前提下,跑道的消防取水点应该如何布置呢?

## 5 取水点消防供水量

根据规范规定,每个取水点能保证总数的50%以上消防车取水。对于本机场而言,即保证两辆消防车取水,所以每个取水点的供水量应不小于 $100\text{L/s}$ 。

如果按照通常每个消火栓 $15\text{L/s}$ 进行设计,每个取水点至少需要设置七个室外消火栓,才能满足取水量的要求,显然很不合理,也不方便消防车使用。如何解决这个问题呢?最直接的方法就是提高供水压力。每个取水点为保证两辆消防车取水,设

置两个室外消火栓,每个消火栓达到 $50\text{L/s}$ 的设计出水量,满足消防车取水要求。

国内地下式消火栓的最大出水口径为 $\text{DN}100$ ,根据简单估算,一个 $\text{DN}100$ 消火栓口在 $50\text{L/s}$ 出水量时的局部阻力损失约 $0.1\text{MPa}$ ,所以最不利消火栓供水压力从地面算起不应小于 $0.20\text{MPa}$ 。由于消防泵房设于跑道一侧的端头,最不利消火栓的供水距离接近 $3000\text{m}$ 。为使该消防泵房可兼顾航站区消防用水使用,采用大一级管道,即 $\text{DN}300$ 的供水管道。经计算沿程损失约 $0.3\text{MPa}$ 。最终,在保证跑道消防取水能力时,消防泵房供水流量不小于 $100\text{L/s}$ ,供水压力不小于 $0.5\text{MPa}$ 。该消防泵房供水能力可以满足飞行区与航站区同时使用。

通过直接增加供水压力的方式,可以满足规范对每个取水点供水量的要求。那么如何确定取水点的布置间距呢?

## 6 取水点布置间距

取水点布置间距的确定,核心就是明确每个取水点的保护距离。规范中没有对跑道每个取水点的保护距离提出具体要求。在思考这个问题时,需假定一个前提要求:火灾发生后,在供水时间内,能够对着火点进行连续不间断的喷水灭火。为了满

足这个要求, 尝试从两个方面进行解决。

第一个方法, 采用消防车直接通过水带连接室外消火栓取水, 满足跑道任意一点灭火的要求。该跑道消防保障等级6级, 根据规范机场消防车共配备1000m水带, 若平均分配三辆消防车使用, 每辆车可分配水带330m。所以, 每辆消防车可连接330m范围内消火栓, 试想, 是不是可以近似认为该机场跑道消防取水点的保护距离为330m呢? 通过计算, 50L/s的消防水量通过DN100衬胶水带输送300m时的沿程损失巨大, 无法通过设计满足。这种设想不可行。

另一个方法, 该机场要求配备三辆火灾主力消防车, 是不是可以采取三辆消防车轮流取水, 不间断喷水灭火的方式, 从而计算出每个取水点的保护距离呢? 按照规范的规定:

(1) 单车取水能力为3000L/min (50L/s)。

(2) 该6级保障等级机场的火灾主力车共三辆, 包括一辆主力泡沫车和两辆重型泡沫车。

(3) 消防车最低的性能要求为: 一次储存量不小于8000L, 满载状态由静止到80km/h以上不

超过40s, 喷射能力不小于4500L/min。

通过这些条件可以计算得出:

消防车喷水持续时间:

$$t_1 = \frac{\text{储水量}(L)}{\text{喷射能力}(L/\text{min})} \times 60(\text{s}) \quad (1)$$

$$t_1 = \frac{8000}{4500} \times 60 \approx 106.6(\text{s})$$

消防车吸水时间为:

$$t_1 = \frac{\text{储水量}(L)}{\text{取水能力}(L/\text{min})} \times 60(\text{s}) \quad (2)$$

$$t_1 = \frac{8000}{3000} \times 60 \approx 160(\text{s})$$

若采取三辆消防车轮流喷水, 轮流取水的接力方式, 保证不间断的对火灾灭火。其中任一辆消防车需在另外两辆消防车喷射持续时间内离开取水并返回, 即 $106.6 \times 2 = 213\text{s}$ 内回到原火灾处。消防车可用于行驶的时间为:  $213 - 160 = 53\text{s}$ , 经计算, 在53s内可往返距离约为200m, 所以可近似认为该

表3 按照规范要求配备消防车时取水点保护距离

保障等级	消防车数量	性能水平B的喷射强度(L/min)	满足强度时同时工作消防车数量	取水点最大保护距离(m)	每个取水点消火栓数量
4	2	1800	1	/	1
5	2	3000	1	/	1
6	3	4000	1	200	2
7	5	5300	2	200	3
8	6	7200	2	200	3
9	6	9000	2	200	3
10	7	11200	3	/	4

表4 增加一辆消防车时取水点保护距离

保障等级	消防车数量	性能水平B的喷射强度(L/min)	满足强度时同时工作消防车数量	取水点最大保护距离(m)	每个取水点消火栓数量
4	3	1800	1	200	2
5	3	3000	1	200	2
6	4	4000	1	1330	2
7	6	5300	2	1550	3
8	7	7200	2	3030	4
9	7	9000	2	3030	4
10	8	11200	3	1550	4

机场跑道取水点的保护距离为200m。

根据以上结论,该机场跑道的消防给水方案,最终确定为在跑道一侧设置环状消防供水管网,在跑道中间的1/3段的取水点按照保护半径200m进行布置,在跑道两端的区域加强保护按照保护半径150m进行布置。

通过以上思考进行进一步分析,是否可以通过配置该机场火灾主力消防车数量,调节跑道取水点的保护半径呢?如果比规范要求增加一辆火灾主力车,即四辆消防车时,采用上述方法进行计算,取水点的保护距离将增加到约1330m。

## 7 结论

把前文的方法应用到不同保障等级的机场,可以分别得出跑道取水点的保护距离。如果按照规范要求配备火灾主力消防车时,计算结果见表3。其中,保障等级为4级、5级、10级时,由于取水车辆无法满足在其他消防车喷水灭火持续时间内返回,所以没有计算得出取水点保护距离。

如果比规范要求增加配置一辆火灾主力消防车或重型水罐车时,计算结果见表4,可见,取水点保护距离极大提高。

通过表4的计算结果可以看出,不仅是保障等级4级、5级、10级时,应增加配置一辆火灾主力消防车或重型水罐车。在其他保障等级时,也应增加配置消防车辆提高消防可靠性,尤其在采用附近天然水源作为取水点时,由于间距较大,更应该额外增加消防车辆,满足取水点保护距离的要求,保证消防系统的安全可靠。

需要特别注意的是,消防车在供水时间内对着火点进行连续不间断的喷水灭火,是本文取水点布置间距确定方法的前提,且消防队在灭火时采用的方案、战术,以及现场情况多样,本文所述消防车分组轮流喷水灭火是一种理想工况,需要各方配合才能实现。另外,本文提供的计算过程,近似认为消防车均为标准统一性能,且没有考虑消防队员操作时间。所以,本文是对机场跑道消防系统进行理论上技术探讨,所得结论没有试验数据作为佐证,也没有在实际项目实施经验。在实际应用时,如采用大保护距离取水点时,应进行专家论证作为依据,保证确实安全可行。

机场跑道的消防给水系统的选取和布置方式,是以该机场的消防保障等级为依据,通过对机

场的自然环境、保护范围、消防车配备数量、消防车性能等多方面因素的综合考虑来决定,并通过计算选择出的最合理方案。在设计时,应根据实际情况进行优化,最大限度的保证机场跑道的生命财产安全。

## 参考文献

- [1] 陈俊.民用运输机场飞行区消防给水系统设计.[J]中国给水排水,2016.5(10)
- [2] 刘肖岩.民航机场最新消防装备.[J]消防技术与产品信息,2012(10)
- [3] 《国际民航组织公约附件十四》



# 上海某综合性建筑 生活热水热源选择分析

■ 赵洁 [给排水]

**摘要:** 本文针对上海某综合性建筑生活热水系统,通过计算电、天然气、空气源热泵以及太阳能四种热源的综合能源价格和总能耗、总污染物排放量,对其进行经济效益和环境效益比较,最终结合实际情况,选择最佳的热源。

**关键词:** 燃气;气源热泵;太阳能;热水

## 1 前言

生活热水系统的热源是多种多样的,由于经济因素、环境因素或者是供给连续性的原因,生活热水系统的热源中,电热水器机组、燃气热水器机组、空气源热泵热水机组以及太阳能热水机组这四种热水器在生活热水系统中占有较大比例。

根据上海的气象条件,其年辐照总量不足 $4500\text{MJ}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$ ,属于太阳能资源一般地区,太阳能保证率 $40\%\sim 50\%$ ,可采用太阳能作为热源;其年平均气温 $15.7^\circ\text{C}$ ,最冷月平均气温 $0.3^\circ\text{C}$ ,属于夏热冬暖地区,也可采用空气源热泵作为热源。燃气和电能作为常规热源也在设计考虑之内。

## 2 项目概况

本项目位于上海浦东张江科技园,由单身公寓、酒店及公共配套等三部分构成。其中,单身公

寓包括84间居住用房,均为4人间。酒店包括74间标准间和2套豪华套房。公共配套部分包括大堂、餐饮、会议、娱乐、健身中心、管理用房。该建筑地上4层,地下1层。

该建筑内设计有生活热水系统,24h供应生活热水( $55^\circ\text{C}$ ),最高日热水量为 $70\text{m}^3/\text{d}$ ,高日高时热水量为 $7.19\text{m}^3/\text{h}$ ,设计小时耗热量(不计管网损失)为 $1336\text{MJ}/\text{h}$ ,即 $371\text{kW}$ 。该热水系统热源为集中热源。

## 3 经济效益分析

本文针对四种热源的经济效益分析,综合比较各热源的初投资与运行费用,计算使用周期内总费用进行比较。总费用由初投资和机组运行费用组成。

初投资为供热机组、储热水箱、循环水泵等主要设备费用。供水管网费用与热源选择无关,不参与费用比较。各热源在平时工作时,为保证供水管网末端热水温度,需对管网内热水不断循环,由于此部分运行费用一致,故不参与比较。另外,各

作者简介:赵洁,男,高级工程师,2006年毕业于天津大学给排水设计专业,现就职于航空工业规划飞机工程设计研究院。

表1 各热源使用周期内总费用

热源	电热水器	燃气热水器	空气源热泵	太阳能
使用周期内总费用 (万元)	1165.3	410.5	597.0	416.9

表2 各热源使用周期内耗能和污染物排放总量

能源	单位	电热水器	燃气热水器	空气源热泵	太阳能
耗能	t	596	170	215	111
污染物排放总量	t	1658.63	275.55	540.41	212.00

注：污染物排放总量为各污染物排放量之和。

热源系统中的集热循环泵、热水循环泵及热水供水泵均设计为一用一备的形式。

运行费用是指机组在10年内每年运行费用的综合。本文通过现值处理，得到将不同时期投入的资金统一折现为初投资年的现值，再进行累加，得到使用周期内总费用。经计算，不同热源使用周期内总费用见表1，可以看出，燃气热水器总费用最低。

#### 4 环境效益分析

本文从能耗和污染物排放两个方面对四种热源进行比较。

四种热源在使用过程中每年消耗的能量包括电和天然气。为了便于比较，将耗电量和天然气均转化为一次能源（标准煤）。我国70%以上的电力为燃煤发电，这里按照电能均由火力发电产生，转换率为30%。污染物排放主要是在各热水器在使用过程中消耗电或天然气排放的污染物。天然气考虑实际燃烧过程中产生CO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>。电能考虑燃煤发电过程产生烟尘、SO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>等。

从热水器使用过程中消耗的能量方面进行比较，太阳能热水机组的能耗最小，其次是燃气热水器，能耗最大的是电热水器。在热水器使用过程中，按照污染物的排放量排序，太阳能热水机组的均最小，其次是燃气热水器，电热水器的最大。

#### 5 总结

综上所述，在选择生活热水系统的热源时，

在四种热源均可采用的情况下，如果单纯从经济角度考虑，应首选燃气热水器；如果单纯从环境角度考虑，应首选太阳能热水器。

在设计时，由于项目的复杂性，应对各热水器进行详细分析，列出所有可行的热源方案，按照本文所述的方法进行经济和环境效益分析，结合实际情况，选择最佳的热源。本项目屋顶设备较多，无法设置大面积太阳能集热板，故本项目采用燃气热水器作为集中热源。

# 排产的概念与算法选择

■ 张波 [工艺]

**摘要:** 本文辨析了排产的概念及其在企业经营管理信息系统中的地位和作用,尤其是排产与企业资源计划、生产执行系统的差别,以及排产与调度的关系。在分析组合优化问题难点的基础之上,结合企业排产的现实需求,提出了排产算法选择的三大关键因素:优化质量、求解速度和实现难度,提出了排产算法的选择方法。

**关键词:** 排产; 调度; 企业资源计划; 生产执行系统; 算法

生产排产,也叫生产计划排程,是在有限产能的约束之下,综合来自市场、物料、工序流程等多方因素对生产的影响,安排生产任务的执行顺序。由于它在安排生产任务的同时确定了对相关生产资源的使用顺序和时间,因此它对整个生产系统都具有指挥的作用,在智能制造中占据着重要的地位<sup>[1-2]</sup>。很多企业在部署了ERP和MES之后都号称具备了计划排产的能力,然而在实际生产过程中却无法真正发挥信息系统在计划排产方面的能力。实际上,这主要是因为很多企业没有分清ERP、MES和排产(即APS)三者的定位,或者没有选择恰当的排产算法。本文首先将对三者进行细致地区分,在此基础之上再讨论如何选择排产算法。

## 1 ERP、MES和排产的区别

ERP (Enterprise Resources Planning) 是企业资源计划,它是在物料需求计划MRP (Material Requirement Planning) 和制造资源计划MRP II (Manufacturing Resources Planning) 的基础上

发展起来的更高层次的管理理念和软件工具。

MES (Manufacturing Execution System) 是制造执行系统的缩写。MES是美国管理界1990年代提出的概念,MESA (MES国际联合会)对MES的定义是:MES能通过信息传递对从订单下达到产品完成的整个生产过程进行优化管理。当车间发生实时事件时,MES能对此及时做出反应、报告,并用当前的准确数据对它们进行指导和处理。

看得出,MES是对ERP计划的一种监控和反馈,MES其实是ERP业务管理在生产现场的细化,ERP是业务管理级的系统,而MES是现场作业级的系统。所以,很多MES管理软件都会与工业设备通过工控技术进行实时数据采集,再上传给ERP系统进行业务状态改变和业务指令处理。

ERP是一个对企业资源进行有效共享与利用的系统。通过信息系统对信息进行充分整理、有效传递,使企业的资源在购、存、产、销、人、财、物等各个方面能够得到合理的配置与利用,从而实现企业经营效率的提高。广义上讲,MES管理都是在ERP的框架下运行的,都是ERP的子集或交集。MES是对ERP计划的一种监控和反馈,MES其实是ERP业务管理在生产现场的细化,ERP是业务管

作者简介:张波,男,高级工程师,2006年毕业于北京航空航天大学机械制造工程专业,现就职于航空工业规划智能技术中心。

理级的系统，而MES是现场作业级的系统。所以，很多MES管理软件都会与工业设备通过工控技术进行实时数据采集，再上传给ERP系统进行业务状态改变和业务指令处理。

从以上各系统的分工定位可以看出，传统的生产计划和排产系统，例如企业资源计划分别考虑生产所需的原料和生产能力，未能充分考虑它们各自的约束，以及这些约束之间的相互影响，因此得到的结果往往无法执行。高级计划和排产（Advanced Planning and Scheduling, APS）将传统的生产计划（Planning）和排产（Scheduling）统一到一个优化过程中，不仅实现生产资源的优化分配（Planning），同时还实现了对生产任务时序的优化安排（Scheduling）。

## 2 排产与调度的区别

生产管理中与排产容易混淆的一个概念是调度。从传统的意义上来讲，排产与调度本质上的含义是相同的，都是对生产任务的时序进行安排。例如，以往（甚至现在很多）车间里的调度员所做的很多工作就是排产，但随着排产软件的引入，调度员的排产任务被计算机取代，排产与调度的功能必须有所区分，建议进行如下区分：

(1) 调度是对排产的延续和完善。因为种种原因，排产系统通常不会把生产过程中涉及的所有环节和细节都纳入考虑，许多生产辅助工作都会被忽略。例如，在排产算法中，通常不会考虑物流是如何实现的，最多会给物流保留一些响应时间。此外，排产算法中有时也不会考虑线边库存是否会对生产带来制约。这些被忽略的工作应由调度来完成。例如，物流调度系统应当根据排产系统得到的结果解算出物流任务（即分别在什么时刻之前，将什么物品，从何地运送到何地），在最大限度地追求排产结果得以顺利执行的前提下，实现物流过程的优化实现（例如路径最短、迟滞时间最短等）。再如，刀具管理系统应当根据排产系统得到结果解算出刀具使用需求（即在各个时间段分别使用什么刀具），结合刀具剩余寿命数据，为生产任务分配相应的刀具，最大限度地提高刀具的利用率，降低生产成本。

(2) 调度是对生产过程中各种意外的直接响应和处理。这一点实际上是对车间中调度员排产以外其他工作的延续，其中包括：第一，监督、评估

生产计划的执行情况，据此对约束条件进行适当的修改（例如：增加工作班次、调整任务优先级、调整交货期等），并再次触发排产系统，得到更新的排产计划。第二，检查现场情况，确定排产指令能否执行。如果可以执行，就向执行机构发出实际的启动指令，否则，向有关系统反馈相应的信息（例如，设备发生故障需要维修）。

总的来说，在智能制造系统中，排产偏向于任务时序的优化安排，调度偏向于配套资源的优化配备和使用。实际上，在很多企业的生产管控系统中，对于排产和调度已经有所区分。排产软件中通常不会把生产资源的物流调度纳入考虑，这部分工作往往交与专门的物流管控模块负责。

## 3 排产算法的难点

高效排产算法的构建开发智能排产软件的核心，其难度主要在于组合优化问题自身由于组合情况增加而可能带来的巨大运算量，这可能导致计算机存储空间不足，或者计算时间超出实际应用所能忍耐的最大限度。

在存储需求方面：如果在TSP问题中简单地探求50个城市的排列顺序，需要考察的情况为 $49!/2 = 3.04 \times 10^{62}$ 种<sup>[3]</sup>，假设存储一种排列需要50个字节（顺序排列），那么总的存储需求为 $1.52 \times 10^{64}$ 字节！据称人类自文明诞生到2003年以来产生的信

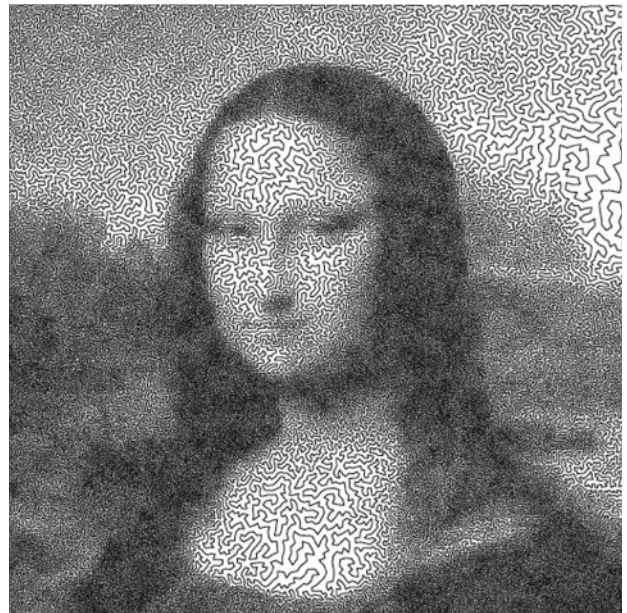


图1 Yuichi Nagata利用遗传算法求解了蒙娜丽莎版的TSP100000问题

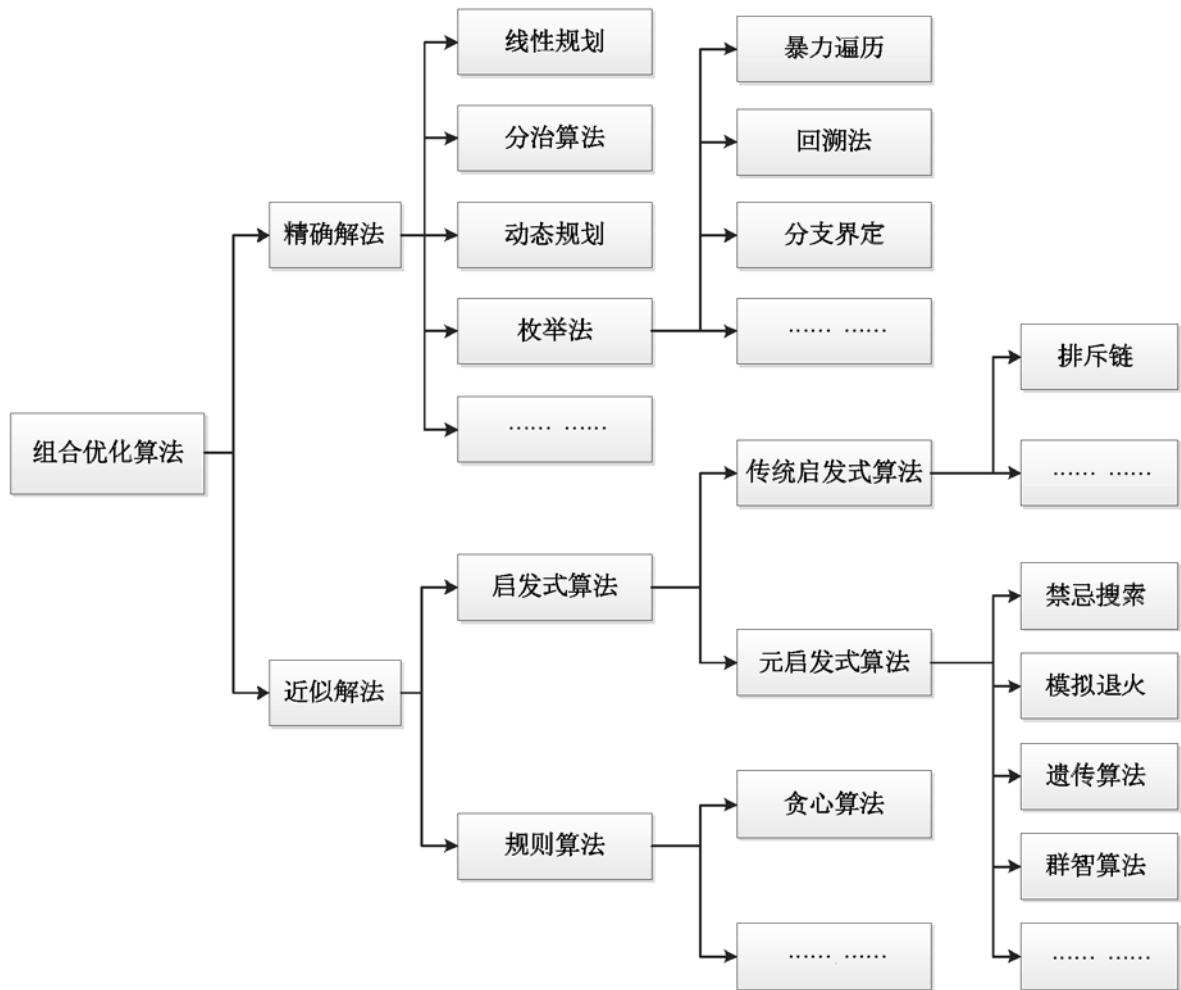


图2 组合优化算法分类

息大概也只有5EB ( $5 \times 10^{18}$ 字节)<sup>[4]</sup>。显然, 这样的存储需求已经远远超出了目前人类所有IT设备的存储能力的总和。

计算时间方面: 以TSP问题为例, 尽管该问题已经提出了几十年, 当城市节点的数量较多时, 求解的时间依然是一个天文数字。Cook等人2005年、2006年的研究表明<sup>[5]</sup>, 如果采用十分先进的Concorde TSP Solver来求解33810个城市节点的TSP问题, 需要15.7个CPU·年; 如果求解85900个城市节点的TSP问题, 需要136个CPU·年。即便采取多CPU并行处理技术, 10000个CPU同时处理也分别需要13.75个小时和119个小时, 对于任何一家企业而言, 这样的计算时间根本是无法想象的。

面对庞大的组合情况, 必须摒弃通过遍历所有组合情况来寻找最优解的常规思路。为此, 必须放弃对精确解的苛求, 现实地寻找近似解。近似算法摒弃了逐个搜索最优解的努力, 转而采取“撒大

网, 顺藤摸瓜”的策略。具体地说, 此类算法通常先在解空间中随机地产生一些可行解, 然后再从这些可行解中筛选出比较优良的解, 通过对可行解试探性地修改并进行多次反复地迭代, 来逐步逼近最优解。目前学术界已经开发出了许多种近似解法, 其中包括但不限于<sup>[6]</sup>: 模拟退火、禁忌搜索、排斥链、遗传算法、神经网络、混合蛙跳算法、群体智能算法等。上述算法已经被成功地应用于许多实际问题, 取得了良好的效果。如图1所示, 日本学者Yuichi Nagata利用遗传算法很好地解决了包含10万个“城市”的蒙娜丽莎版TSP问题(TSP100000)。他的结果只比理论最短路径超出了不到0.003%。

#### 4 组合优化算法的分类

经过几十年的研究, 学术界推出了许多求解

组合优化问题的算法，并且新算法层出不穷。但总体而言，如图2所示，主要包括精确解法和近似解法。精确算法通常可以获得优化程度很高的结果，但是常常需要为此付出极大的计算成本，极其复杂的优化算法也很难嵌入到生产管控系统之中。近似解法虽然不能保证获得最优解，但是其计算成本低、嵌入复杂度低，非常适合强调快速响应的实际应用。

实际上，对于绝大多数组合优化问题而言，虽然最优解（即精确解）只有一个或为数不多的几个，其近最优解（即近似解）通常会有很多，而后者往往较容易获得，并且与最优解的差距并不明显。对于工程实际应用而言，在绝大多数的情况下，这种差距完全可以接受。有时只要一定范围内引入初始解的随机化，还有较大的概率获得非常接近最优解的近似解。

例如，对于一个包含100个城市的TSP问题（TSP100），如果采用目前世界上最先进的Concord算法，可以得到其最优解为744.4414，如图3所示。采用（1阶）排斥链方法尽管很难得到该最优解，但是也有可能得到与之非常接近的结果，如图4所示，该解的总长度为745.2576，二者相差0.11%。如果对大量初始随机解的优化结果进行统计分析，可以发现，如图5所示，这些优化结果基本符合正态分布，12.64%的解与最优解的差距不超过5%。如图6所示，随机初始解的数量大于20时，便可有超过90%的概率获得不劣于最优解5%的近似解（即“优质近似解”）；当随机初始解的数量大于50时，获得优质近似解的概率就已经非常接近100%了。

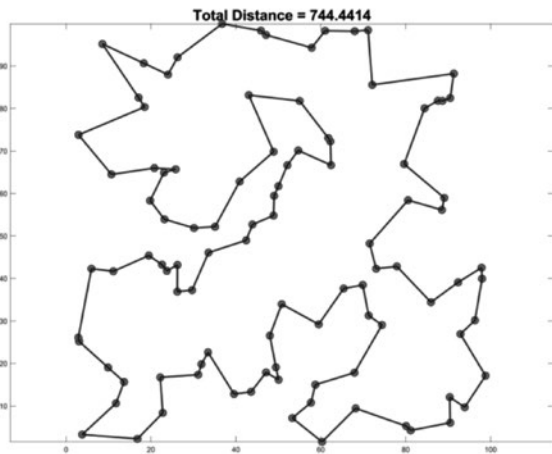


图3 利用线性规划（Concord）得到的TSP100优化结果

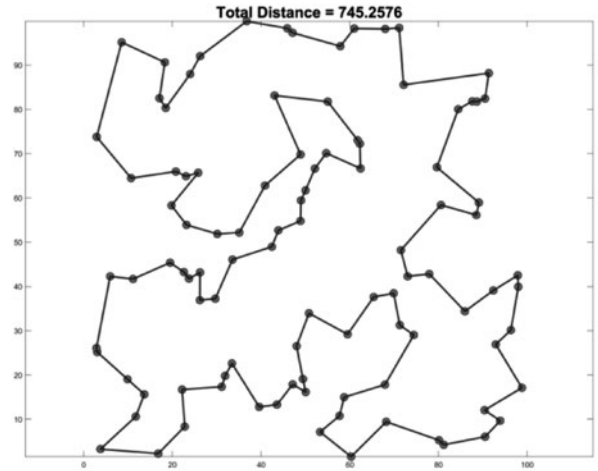


图4 利用传统启发式算法（排斥链）得到的TSP100优化结果

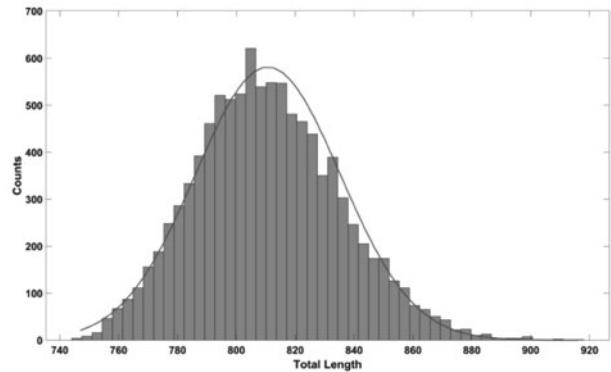


图5 随机初始解优化后的结果呈现正态分布

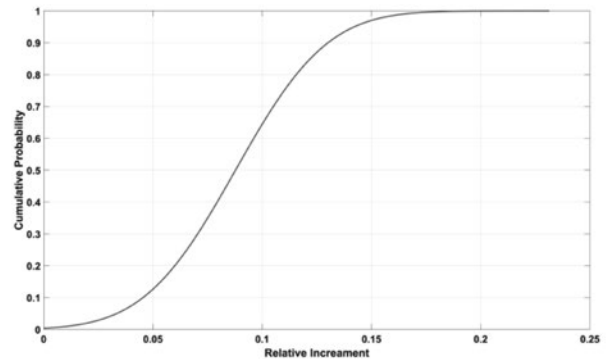


图6 近似解相对最优解的累积概率分布

## 5 排产算法选择关键因素与方法

排产问题虽然从本质上来讲是一个组合优化问题，但是它作为指导实际生产的一种工具，除了需要考虑优化质量，还要考虑其他一些因素。选择

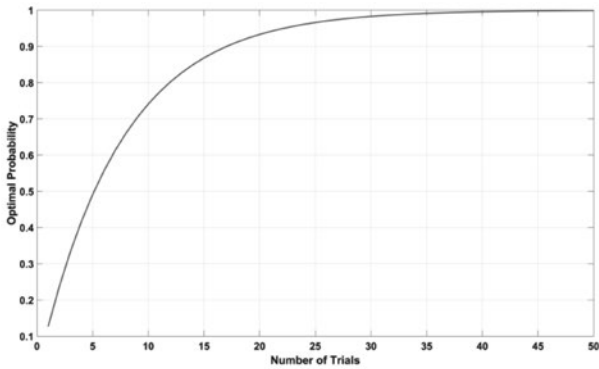


图7 初始解个数与获取优质近似解的概率关系

排产算法时，通常需要平衡三个方面的矛盾，分别是：优化质量、求解速度和实现难度。为便于叙述和参考，将常用算法上述各方面的特点组列于表1。

表1 常用算法特点比较

算法种类	优化质量	求解速度	实现难度
枚举法	最高	极慢	低
线性规划	高	较快	较高
传统启发式算法	较高	较快	高
元启发式算法	一般	较快	较高
规则算法	较低	很快	低

具体采用何种排产算法应当结合排产的实际要求（优化质量、响应速度、实现难度）等多方面的因素，进行合理的选择。一般而言，可以按照如下算法选择路线图来选择恰当的排产算法。

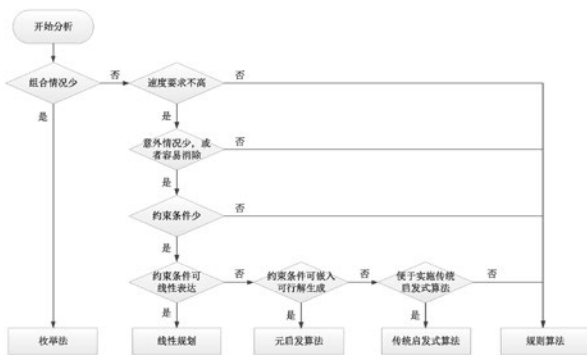


图8 主要排产算法的选择路线

当排产问题面临的组合变化情况较少时，后者可以将其分解为若干个规模较小的子问题时，可以优先考虑采用枚举法，这样能够较为简便地获得

很高的优化质量。在众多的枚举算法中，优先考虑分支界定和回溯法等不需要完全遍历所有组合情况的优化算法。通过设定合理的优化目标值，使得达到目标后可以终止搜索，将会进一步提高排产的速度。

当组合变化的情况较多时，需要针对以下情况具体分析。

如果满足以下几个条件任何一个都不能满足时，建议考虑规则算法：

- (1) 对排产的速度要求不是很高；
- (2) 意外情况较少或者其不利影响可以较快消除，使得实际生产几乎可以完全按照既定的排产计划执行；
- (3) 约束条件较少。

如果上述条件都得到了满足，可以在线性规划、元启发式算法和传统启发式算法之间做出选择。其中，如果约束条件可以线性的表达，则考虑选择使用线性规划法，这样通常可以得到比较高的优化质量；如果约束条件不能线性的表达，但是可以“嵌入”可行解的自动生成过程中，则可以考虑采用元启发式算法；如果问题能够将简便地引入传统启发式算法，则可以考虑传统启发式算法，否则，通常只能采用规则算法。

尽管从组合优化的角度来看，规则算法的优化质量似乎是最差的，然而对于面向工程实际的许多排产问题而言，在约束理论的捍卫下，规则算法也有其发挥作用的广阔空间。

约束理论（Theory of Constraints, TOC）起源于以色列，根植于离散型生产方式。约束理论是从OPT（原指最优生产时刻表：Optimized Production Timetables，后指最优生产技术：Optimized Production Technology）发展而来。最早在理论上进行研究的是以色列物理学家Goldratt博士。一般认为OPT综合了MRP和JIT系统的优点，是一种比较有效的生产控制方式<sup>[7]</sup>。

TOC的基本思想源于“局部系统的最优不是全局最优”和“优化是一个持续改善的过程”。TOC认为企业的目标只有一个，那就是赚钱。每一个管理决策和投资决策都应以有助于企业实现最终目标为基础。

TOC把企业看作一个系统，强调对系统的瓶颈资源充分挖掘和利用，因为“瓶颈上一小时的损失就是整个系统一个小时的损失”，而“非瓶颈资源节省的一个小时无益于增加系统的效能”。

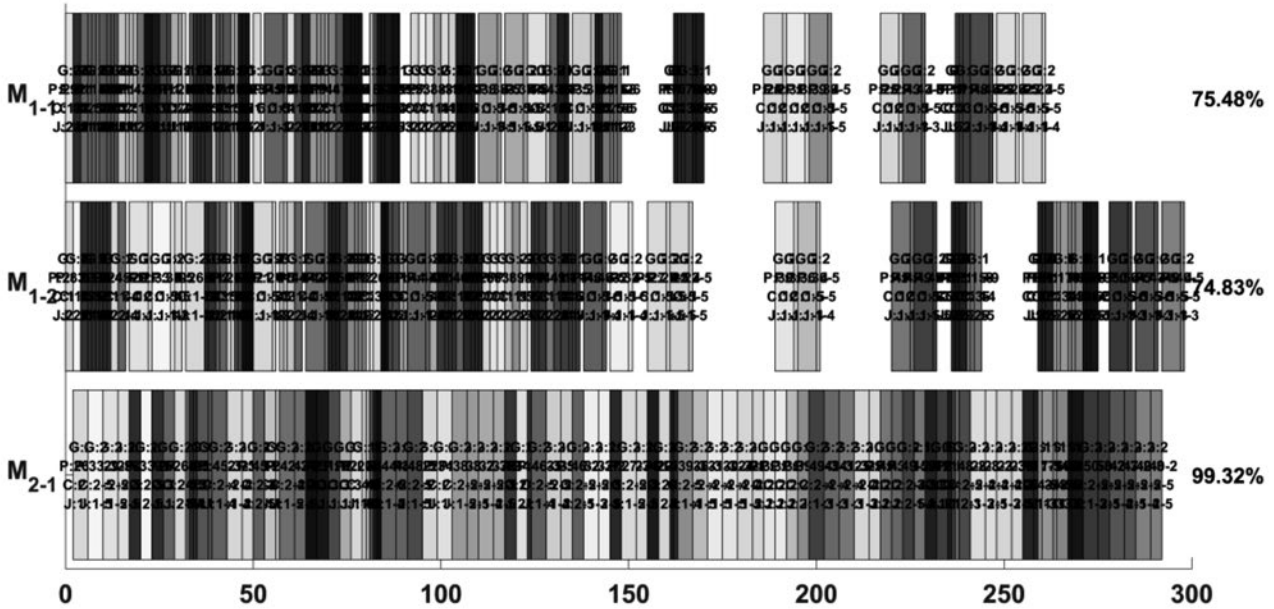


图9 利用规则算法得到排产结果

它以瓶颈资源为依据制定主生产计划 (Master production scheduling, MPS)，用瓶颈资源的生产节奏来推动整个生产系统的运行，实现高产出、低在制品以及准时交货等目标。瓶颈前通过设置大小合适的缓冲以应对生产中的不确定因素。而“绳子”控制着系统物料的进入，使得非瓶颈设备均衡生产，加工批量和运输批量减少，可以减少提前期以及在制品库存，而同时又不使瓶颈停工待料。

看得出，TOC不仅是一种被动接受生产现场各种约束来进行优化的算法思想，而是一种面对约束积极提出改进以充分释放生产线效能的革命思想。实际上，目前许多流行的排产软件，包括Asprova和Preactor等，都宣称是以TOC为其理论基础<sup>[8-9]</sup>。

实践证明，利用基于TOC理论的规则算法往往也可以获得十分理想的排产结果。如图9所示，瓶颈设备 (M2-1) 的利用率为99.32%。这表明，从理论上讲，此时的优化空间已经不足1%了。对于实际的生产管理而言，这样的结果是完全可以接受的。

参考文献

[1] 黄培. 对智能制造内涵与十大关键技术的系统思考[J]. 中兴通讯技术, 2016年10月, 第5期, pp7-11.  
 [2] William J. Cook. In Pursuit of the Traveling

Salesman: Mathematics at the Limits of Computation [M]. Princeton University Press, 2012.  
 [3] Frank J. Ohlhorst. Big Data Analytics [M]. John Wiley & Sons, Ltd, 2012.  
 [4] David L. Applegate, Rober E. Bixby, VasekChvatal, et al. The Traveling Salesman Problem: A Computational Study [M]. Princeton University Press, 2006.  
 [5] Jacek Blazewicz, Klaus H. Ecker, et al. Scheduling Computer and Manufacturing Processes [M]. Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 2001.  
 [6] 侯伟. 基于约束理论的订单排产研究[D]. 武汉: 武汉科技大学, 2009.  
 [7] Asprova产品宣传资料.  
 [8] Preactor产品宣传资料.



## 航空工业规划飞机工程设计研究院

航空工业规划飞机工程设计研究院（以下简称飞机院）是一个多专业综合设计研究院，现有各类工程技术人员313人，其中各类注册人员97人，涵盖总体规划、航空工艺、建筑、结构、供配电、照明、弱电、暖通、空调、制冷、供热、给排水、水处理、景观、室内设计、工程管理等多个专业。院下设综合管理部、经营计划部、市场开发部、项目管理部、技术质量管理部、财务管理部和9个专业室以及上海分公司。

多年来，飞机院设计完成了航空、航天、民用建筑、涉外、民用工业等重要工程数千项，其中综合咨询能力、大跨度钢结构、网架工程、通讯导航工程、工业废水处理、高大空间空调工程的设计力量尤为雄厚，多次获得国家级、省部级优秀工程设计奖和科技进步奖。

飞机院设计项目遍布全国各地，近年来出色完成了国家重点型号工程以及中国航空工业集团公司下属各单位的园区和各类厂房、试验室、科研办公楼设计等一系列项目，得到了客户和业内人士的一致认可，为我国国防力量的壮大做出了重要贡献。

飞机院在完成型号工程项目设计的同时，还完成了其他一些有重大影响的项目，如天津空客 A320、A330总装线项目、舟山航投波音737MAX飞机完工及交付中心项目、中航工业通飞珠海生产基地、中航工业直升机天津生产基地、中国商飞浦东生产基地、中国商飞北京民用飞机技术研究中心（一、二期）、中国航空服务保障天津基地项目、南昌洪都航空城南北区项目、成飞民机成都基地、沈飞民机沈阳基地、菲舍尔航空部件（镇江）有限公司复合材料部件生产基地项目；加纳医院、厄立特里亚医院、哈尔滨医科大学大庆校区、四川乐山嘉州医院、中航国际工贸园（一、二期）、中航工业成都所科研大楼、中航飞机公司西安研发大楼、航空研究院科研楼等，在民用建筑和民用工业项目方面也取得了很好的成绩。

面对不同的设计项目，不同的业主，不同的场所环境，飞机院都会去寻求并提出最具挑战性的设计方案，全力为业主服务，恪守“以顾客为中心，以奋斗者为本”的价值信条，通过为顾客提供全过程的个性化服务，在帮助客户成功的过程中，创造企业的最大效益，与顾客共同营造互利双赢的和谐关系。



2018年第5期（总第139期）  
2018年10月出版



青岛海克斯康智慧产业园