

航空工程建设

AERO-INDUSTRY ENGINEERING CONSTRUCTION

2015年第6期 总第122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

中关村航空科技园一期工程

建设地点：北京 海淀

设计单位：中航规划电子院

用地面积：17.249万m²

建筑面积：43万m²

总体定位

本项目定位于建造一个高效、充分满足使用要求、土地价值最大化的科研组群，营造出一片充满城市活力，人们乐于前往的高品质城市中心区，同时充分展示中航工业开放进取的国企形象。

总体目标

成为现代科技业转型升级的平台；营造高品质办公环境；构建丰富的现代城市生活。

设计理念

理念上本方案通过以下四个方面为社会打造一个高效、现代、充满魅力的建筑。

建筑经济性

本设计在满足当地规范中关于退界和日照的前提下，将建筑体量更加完整，在平面布置上设计采用了经济性的方形平面布置，规整的柱网设置，有利于建筑各类功能的使用，也增强了建筑使用的灵活性。

生态的可持续发展

建筑以节省能源，降低能耗为宗旨，采用多项先进成套技术及新材料、新产品。结构设计上，采用轻质新型墙体材料，抛弃不符合环保要求的传统粘土实心砖，减轻结构自重，节约了基本工程费，为平面灵活分隔创造了前提。

文化的可持续发展

高科技园区需要文化的支撑与充实，一个有活力富于创新性的文化发展，在设计形式上表现为开放、多元及符合国际潮流的标准。设计重视与挖掘海淀地区独特的地域历史文脉，并与航空企业文化和科技园的高科技产业文化相融合，创造出一处既高效率又高情感的创新社区。

设计实施的可持续性

既兼顾长远目标，又强化近期目标及保持园区开发的持续均衡是设计方案实施可持续性的重要标准。实施控制方面包括对近期及远期开发的控制、利用强度的控制、对道路及市政投资的控制、对园区空间形态和建筑的整体性和自由性的关系控制。



中国航空工业建设协会工程造价专业委员会暨专业标准培训研讨会胜利召开



中国航空工业建设协会工程造价专业委员会首次会暨专业标准培训研讨会于2015年11月26、27日在南京召开。本次会议由中国航空规划设计研究总院副总工程师米敬明及协会副秘书长吴慧萍主持，共有会员单位97人参加了本次会议。

中国航空工业建设协会工程造价专业委员会举办此次专业标准培训，邀请了国防科工局协调配套中心审计一处处长胡夙岚、协调配套中心赵奔南分别做了题为《固定资产投资项目财务决算审计程序重点内容及典型案例汇报》、《军工固定资产招标投标审计》的讲座。胡夙岚从业务开展情况、审计工作流程、审计重点内容、审计监督发现的典型问题四个方面强调了固定资产投资项目财务决算审计程序的重点内

容。赵奔南讲述了军工固定资产招标投标审计的简述、依据和重点等。

本次培训还邀请了中航规划工程造价专业总师王玉平、副总师房健分别做了题为《调整概算编制方法及案例》、《航空工业建设项目投资估算和设计概算编制办法》的讲座。王玉平从调整概算的目的、依据、对象范围、时间、审批程序、文件组成、编制方法、应注意的问题以及相关案例等方面详细介绍了调整概算编制方法。房健介绍了本次《航空工业建设项目投资估算和设计概算编制办法》修改的目的：为加强航空工业工程建设项目投资管理，建立和健全工程建设项目投资估算和设计概算编制规定，规范投资估算和设计概算的编制内容、要求、深度和格式，提供编制投资估算和设计概算的费用指标，提高投资估算和设计概算的准确性和规范性。他还介绍了修改的主要内容、适用范围和编制依据等。

在研讨期间，与会者就固定资产投资项目财务决算审计程序、固定资产招标投标审计、调整概算编制方法、项目投资估算和设计概算等进行了热烈的讨论，提出许多问题、意见和建议，专家老师一一进行了细致耐心的解答。

中航规划荣获国家科技进步二等奖

1月8日，“2015年度国家科学技术奖励大会”在京举行，党和国家领导人习近平、李克强、刘云山、张高丽出席大会并为获奖代表颁奖。李克强代表党中央、国务院在大会上讲话。中航规划申报的“预应力整体张拉结构关键技术创新与应用”项目，荣获国家科学技术进步奖二等奖。

中航工业规划首席专家、总结构师葛家琪带领他的团队经过十几年不断探索与实践，提出了预应力张拉与承载全过程性能化设计方法，并通过系列新体系大比例模型力学性能试验，揭示出该体系“弹性状态-径向索松弛-环索屈服-结构破坏”的多阶段受力特性及破坏机理。这是国际上首次提出正常使用荷载弹性状态、超使用荷载弹塑性状态多阶段的承载力设计指标和变形设计指标，保证了该新型结构弹塑性大变形全过程安全，取得了突破性成果，填补了国内外相关规范空白。目前，该技术成果已成功应用于河南艺术中心、贵阳奥体中心、伊金霍洛旗全民健身体育中心、芜湖体育场、长春经济开发区体育场、北京金融街F7/9项目等国内外几十项工程，彻底打破了欧美国家对预应力大跨度整体张拉



结构长期的垄断局面。

国家科学技术奖由国务院设立，属于我国最高级别的科技奖项。“预应力整体张拉结构关键技术创新与应用”项目在大会上被授予国家科技进步奖，代表了建筑科学技术领域的最高科研成果。

全国住房城乡建设工作会议在京召开

12月28日，全国住房城乡建设工作会议在京召开。住房城乡建设部部长陈政高全面总结了2015年住房城乡建设工作，对2016年工作任务作出部署。

在部署明年住房城乡建设工作时，陈政高强调了八项工作，一是贯穿一条工作主线；二是巩固房地产市场向好态势；三是切实树立城市规划的权威；四是继续大力推进城市基础设施建设；五是全面加强城市管理工作；六是加快建筑业改革发展步伐；七是推动装配式建筑取得突破性进展；八是抓实抓好改善农村人居环境工作。

住建部召开全国深入推进“工程质量治理两年行动”电视电话会议

11月25日，住房和城乡建设部召开全国深入推进“工程质量治理两年行动”电视电话会议，总结“两年行动”开展情况。截至2015年9月，全国各地共开展各类专项及综合监督检查153240次，检查各类工程455697项；共下发监督检查整改通知单233063份，下发行政处罚书11771份，处罚单位9455家，处罚人员3855人。

住建部建筑市场监管司正在推进的六项重要工作

在近日召开的中设协建设项目管理和工程总承包分会会员大会和工程项目管理大会上，住房和城乡建设部建筑市场监管司副司长熊士泊介绍了建筑市场监管司目前正在推进的六项重点工作，熊士泊介绍说，建筑市场监管司最近关于勘察设计和工程总承包的工作重点和计划，主要有以下六个方面：一是筹备中央城市规划建设管理工作会议和建筑业改革会议。二是启动《建筑法》修改。三是修订《建筑工程设计招标投标管理办法》（建设部令第82号）。四是修订《工程设计资质标准》。五是争取颁布化工、公用设备、电气3个工程师执业签字文件。六是争取颁布勘察合同示范文本。

中航工业集团公司：印发科研生产条件建设项目分级审批规则

11月25日，中航工业为规范集团公司科研生产条件建设项目决策程序，印发《关于集团公司科研生产条件建设项目分级审批规则的通知》（航空战略[2015]1415号文），制定了分级审批规则。该规则分别对由集团公司、直属单位决策的条件建设项目，按照立项来源、主业内和非主业投资，以及投资规模、占净资产比例等条件进行了划分和规定。

建设工程定额管理办法出台

住房和城乡建设部日前出台了《建设工程定额管理办法》。根据管理办法，定额的“制定与修订”包括制定、全面修订、局部修订、补充4个方面：1)对新型工程以及建筑产业现代化、绿色建筑、建筑节能等工程建设新要求，应及时制定新定额。2)对相关技术规程和技术规范已全面更新且不能满足工程计价需要的定额，发布实施已满五年的定额，应全面修订。3)对相关技术规程和技术规范发生局部调整且不能满足工程计价需要的定额，部分子目已不适应工程计价需要的定额，应及时局部修订。4)对定额发布后工程建设中出现的新技术、新工艺、新材料、新设备等情况，应根据工程建设需求及时编制补充定额。

住建部：未来将淡化企业资质，强化个人执业资格

近日，住房和城乡建设部执业资格注册中心在其最新一期《简报》中刊发题为《适应行政审批制度改革，完善个人执业资格制度》的特稿文章，探讨在行政审批制度改革的大背景下如何完善个人执业资格制度。主要要点包括：企业资质管理是特定历史产物，将逐渐淡出；加强个人执业资格管理，建立工程质量终身责任制；执业资格注册将统一管理，省级管理可能要退出；执业资格相关法律陆续出台，如《注册建筑师条例》；逐步建立以执业人员为主体的工程责任保险；加快执业人员诚信库建设；加快建立注册人员相关协会组织。

首部《工业化建筑评价标准》实施

自1月1日起,由住房城乡建设部住宅产业化促进中心、中国建筑科学研究院会同有关单位历时两年多编制的国家标准《工业化建筑评价标准》正式实施。

该标准由总则、术语、基本规定、设计阶段评价、建造过程评价、管理与效益评价6章组成,对“工业化建筑”、“预制率”、“装配率”及“预制构件”等9个专业名词进行了明确定义。该标准还明确了参评项目的预制率不应低于20%,装配率不应低于50%。标准还规定,申请评价的工程项目应符合标准化设计、工厂化制作、装配化施工、一体化装修、信息化管理的基本特征。

专家认为,该标准对建筑设计、构件制作、施工装配、室内装修的一体化施工技术与组织管理进行了清晰的描述和界定,体现了设计、生产、运输、吊装、施工、装修等环节的协同配合,这对加强工业化建筑项目的工程计划、技术措施、质量控制、材料供应、岗位责任等都具有重要的作用和意义。

广州市加快通用机场和配套设施建设

于近日召开的广州市委常委会议上,审议并原则通过《广州通用航空发展规划(2016—2030年)》。会议强调,发展通用航空是广州加快建设国际航运中心,增强城市综合枢纽功能的重要内容。全市各级各部门要高度重视,加快通用机场及配套设施建设,大力发展通用航空运营与配套服务、制造维修及金融会展等关联产业,建设亚太地区重要的商务航空营运中心、全国重要的通用航空综合服务保障基地和珠三角地区新兴通用航空产业基地。

赣州黄金机场全面开工改扩建

赣州黄金机场改扩建工程全面开工,新增1条1040×23m的平行滑行道和1条垂直联络道,新建11个机位的2号站坪;新建2.2万m²的T2航站楼、4200m²综合业务楼、3100m²职工值班用房和996平方米的公安安检用房等,建设工期3年,计划于2018年完工。

湖南加大建设力度 2020年机场将达20个以上

今年11月底,岳阳三荷机场将开工建设,力争3年内建成投入使用。该机场是按2020年旅客吞吐量60万人次、货邮吞吐量1800吨的目标设计。目前,湖南建成投入使用的民用机场有长沙机场、张家界机场、常德机场、怀化机场、永州机场和衡阳机场等。根据2014年《湖南省人民政府办公厅关于加快民航业发展的意见》,湖南将加大机场建设力度,构建干线、支线、通用机场协调发展的多层次机场网络体系,到2020年全省民航运输机场(含通用机场)达到20个以上。

北京新机场2040年建成 将成世界最大机场

北京新机场将分两个阶段建设,到2040年,旅客吞吐量将达到1亿人次,成为世界最大的机场。另外,新机场候机楼设计理念确定为凤凰造型,与首都机场的龙形相呼应。

该设计理念并非单纯刻意追求凤凰造型,而是会凭借这一造型给旅客带来很大的方便,例如行李进港时间只需13分钟,从安检处到最远的登机口仅630m,只要步行8分钟就可走到。

青岛新机场总体规划获批 2019年验收转场

日前,《青岛新机场总体规划》获批。根据规划,近期规划用地面积1563公顷,2025年旅客吞吐量3500万人次、货邮吞吐量50万吨、飞机起降29.8万架次;远期2045年旅客吞吐量5500万人次、货邮吞吐量100万吨、飞机起降45.2万架次。青岛新机场目前已全面进入建设实施阶段,将按照“2016年全面推进、2017年主体攻坚、2018年安装调试、2019年验收转场”的建设规划,打造形成集航空、铁路、公路、城市轨道交通于一体的立体综合交通中心。

住房城乡建设部办公厅关于 开展2015年度建筑节能与绿色建筑行动实施情况专项检查的通知

各省、自治区住房城乡建设厅，直辖市建委、规委，新疆生产建设兵团建设局：

为贯彻落实节约能源法、《民用建筑节能条例》有关规定，了解各地2015年度建筑节能、绿色建筑工作进展，总结推广各地好的经验和做法，查找工作中的不足并研究提出改进措施，定于2015年11-12月开展建筑节能与绿色建筑行动实施情况专项检查。现将有关事项通知如下：

一、检查内容

(一) 建筑节能。检查贯彻落实节约能源法、《民用建筑节能条例》及制定有关配套政策情况。重点检查国务院明确的“十二五”规划目标及年度任务完成情况，包括新建建筑执行建筑节能强制性标准、北方采暖地区既有居住建筑供热计量及节能改造、夏热冬冷地区既有居住建筑节能改造、公共建筑节能监管体系建设及节能改造、可再生能源建筑应用等工作落实情况；中央财政资金支持的各类示范项目实施及验收情况；2014年度专项检查中发现的问题和下发执法告知书的工程整改情况。

(二) 绿色建筑。重点检查《国务院办公厅关于转发发展改革委住房城乡建设部绿色建筑行动方案的通知》（国办发[2013]1号）明确的工作任务进展情况，包括各地绿色建筑行动实施方案落实情况，政府投资公益性建筑、直辖市、计划单列市、省会城市保障性住房及大型公共建筑全面执行绿色建筑标准的实施情况，绿色建筑与绿色建筑评价标识的质量情况，绿色建筑评价机构的工作机制及运行情况，绿色建筑标准、技术、材料及产业等相关能力建设情况。

二、检查组织安排

(一) 检查时间。检查分两个阶段。第一阶段：各地组织自查，按照本次检查的重点及要求，2015年11月中旬前完成自查。第二阶段：我部组织抽查，2015年11月中下旬抽查严寒及寒冷地区，2015年12月抽查夏热冬冷地区及夏热冬暖地区。

(二) 检查地区。各省、自治区（西藏自治区除外）、直辖市、新疆生产建设兵团、计划单列市。自查阶段：每个省级行政区域的检查范围应覆盖所有市县；抽查阶段：抽查部分省（自治区）省会城市（自治区首府）和1个地级市、1个县；直辖市、计划单列市抽查市本级、1个区（县）。具体抽查省级行政区域名单另行通知。

(三) 组织方式。自查由省级住房城乡建设主管部门组织。我部组织检查组抽查，每个检查组抽查2个省（区、市），受检地级城市及县（区）由检查组确定。

三、有关要求

(一) 检查材料要求。

1. 各省级住房城乡建设主管部门要在完成本地区自查基础上，对照本次检查内容撰写《2015年度及“十二五”期间建筑节能与绿色建筑行动实施情况总结报告》（格式见附件5），并准备相关资料供检查组查阅。

2. 各受检省（区、市）的省级住房城乡建设主管部门要认真组织填写《建筑节能基本情况统计表》（附件1）、《绿色建筑基本情况统计表》（附件2）、《建筑节能工作情况专项检查表》（附件3）、《绿色建筑工作情况专项检查表》（附件4），并加盖公章后于检查组离开前提交检查组（同时附电子版）。非受检省（区、市）的上述材料由所在省级住房城乡建设主管部门在2015年12月底前报我部建筑节能与科技司。相关统计表、检查表可在我部网站（<http://www.mohurd.gov.cn>）下载。

（二）检查项目要求。

1.在自查阶段，每个省级行政区域内新建建筑执行民用建筑节能强制性标准的检查项目不少于30个；政府投资公益性建筑，直辖市、计划单列市、省会城市保障性住房及大型公共建筑执行绿色建筑标准的检查项目不少于20个；北方地区每个地级及以上城市须各随机抽查3个既有居住建筑供热计量及节能改造项目。

2.在抽查阶段，地级及以上城市抽查新建建筑节能项目3个（居住建筑项目2个、公共建筑项目1个，施工图设计文件审查及建筑节能施工质量检查统一在项目现场进行），绿色建筑项目3个；县级城市（区）抽查新建建筑节能项目3个（居住建筑项目2个、公共建筑项目1个）；每个省级行政区域抽查中央财政资金支持的示范项目5个。

3.请省级住房城乡建设主管部门提供所有列入检查要求的项目清单。抽查阶段受检项目由检查组通过在项目清单中抽取及现场随机抽查两种方式确定。

（三）其他要求。

1.本次检查以现场检查及资料查阅为主，不采取会议形式汇报相关工作情况。检查完成后，由检查组集中向受检地区省级住房城乡建设主管部门反馈检查情况。

2.各地要严格按照中央“八项规定”要求安排检查事宜，确保检查活动全过程廉洁、节约、高效。

四、检查结果处理

（一）对检查中发现的问题，检查组提出整改措施,并跟踪督导。对违反有关法律法规及技术标准强制性规定的工程项目，我部将下发执法告知书，限期整改。

（二）新建建筑执行民用建筑节能强制性标准、绿色建筑推广情况检查结果，将作为国家节能考核、大气污染防治行动计划实施情况考核的依据。

附件：1.建筑节能基本情况统计表

2.绿色建筑基本情况统计表

3.建筑节能工作情况专项检查表

4.绿色建筑工作情况专项检查表

5.2015年度及“十二五”期间建筑节能与绿色建筑行动实施情况总结报告（编制大纲）

中华人民共和国住房和城乡建设部办公厅

2015年11月5日

工艺专业

2015年工艺专业研发课题成果显著

2015年，中航规划工艺专业完成了研发课题和业务建设的验收工作，成果显著。2015年，按照集团公司AOS生产制造模块实施细则的开发需求，针对航空工程设计领域的特点，以飞机大中型结构件机械加工、飞机脉动式总装、复合材料、发动机异型件机械加工、发动机装配维修等典型生产线为切入点，通过梳理现有设计流程和工艺设计方法，

研究形成符合AOS要求的生产设施规划的标准流程、设计方法，重点开发了生产线仿真、生产线站位平衡、设备负荷平衡等设计和分析工具，部分通过实际案例验证了有效性。2015年的研究成果对推动集团公司AOS工作落地，推动公司工艺设计手段、质量、效率提升具有重要作用和意义，也为生产企业落实AOS设计标准提供技术参考。

规划专业

中航规划荣获北京市优秀城乡规划设计奖

12月9日，2015年度北京市优秀城乡规划设计奖公布评选结果。由中航规划综规院主持设计的《大兴新城0510、0502街区控制性详细规划深化方案（暨中关村科技园区大兴生物医药产业基地整

合规划）》荣获“2015年度北京市优秀城乡规划设计三等奖”。该规划是对《大兴新城控制详细规划》的深化完善，符合大兴区实际发展需要，有利于大兴新城未来的建设发展。

中航规划获“中国临空经济最佳规划咨询机构”称号 总规划师李守旭获“中国临空经济年度人物”荣誉称号

11月19日，由《民用机场》杂志主办，北京临空经济核心区、百则咨询联合承办的第八届中国临空经济论坛在北京顺义隆重举行。中航规划获“中国临空经济最佳规划咨询机构”称号；公司首席专家、总规划师李守旭获“中国临空经济年度人物”荣誉称号。

在论坛上，综合规划研究院副院长胡赵征做了《从示范区申报看临空区规划模式的创新》为主题的演讲，通过解析国家相关指导意见、构建申报文件成果体系等方面对临空区规划模式创新进行了阐释，报告获得了业内专家的肯定和好评。

此次论坛的召开旨在更好地整合京津冀区域内的航空资源，促进京津冀地区临空经济转型升级，继而引领国内临空经济产业步入发展的快车道。中国临空经济发展联盟的成立将填补我国临空经济领域无行业领导机构的空白，形成一个具有协同创新能力的联合体，共同拓展中国临空经济产业链项目的发展。以中航规划为代表的大型航



空咨询设计企业将为我国临空经济及相关产业的发展提供高端支持，助推我国临空经济持续健康发展。

规划专业技术委员会组织航空知识专题讲座

12月7日，规划专业技术委员会特邀我国著名航空科学家张聚恩教授（中国航空学会秘书长）来公司做了一场《航空概论》的专题讲座，综规院、总图专业全体员工参加了培训会。

张聚恩教授主要从什么是航空、航空器是怎样飞起来的、航空器是

如何造出来的、航空将向何处去、我们的路在何方五大方面进行讲述。通过学习，与会者对航空知识有了更加全面的认识，更加了解世界航空发展史、飞机飞行的基本原理、飞机的基本构造、航空发动机、飞机机载设备等知识，为日后从事公司相关业务打下了坚实基础。

暖通专业

暖通专业参加第六届全国建筑环境与设备技术交流会

第六届全国建筑环境与设备技术交流会于2015年11~13日在广州召开，公司暖通专业总师肖武、傅建勋、孟凡兵、刘晓雨、赵磊等及各院暖通技术骨干专业人员参加了本次技术交流会。本次大会的主题是“传承、创新、务实、发展”，大会邀请了行业内知名专家、学者及相关企业代表，围绕绿色空调技术及能源合理利用、新技术、新产品等做了技术交流，通过交流会，了解了国内外暖通行业发展现状及技术水平，为公司暖通专业的技术发展提供了参照。

本次大会出版了国家核心期刊《暖通空调》增刊（ISSN-1002-8501）论文集，公司孟凡兵等撰写的论文《北京雁栖湖国际会展中心空调绿色节能技术应用》、《绿色节能技术在中航投资大厦中的应用》收录其中。

本次大会举办了第一届“全国建筑环境与设备工程专业青年设计师工程设计大奖赛”颁奖仪式，我公司第一设计研究院安玉双等参与设计的“中国杭州低碳科技馆项目”获得由中国勘察设计协会建筑环境与设备分会颁发的“优秀奖”。

工程管理专业

工程管理专业技术委员会举办“提升项目管理能力”项目经理培训会

2015年10月30~31日，工程管理专业技术委员会组织举办为期两天的“提升项目管理能力”项目经理培训会。项目部、各院、职能部门从事工程管理的相关人员共76人参加本次培训会。

此次培训课程是年度统筹培训计划的一部分，紧密结合公司工程项目运行管理的核心，从项目成本、进度、合同管理三个方面内容展开。米敬明副总工程师到场动员，对项目经理加强学习、提升能力，更好地为公司发展提供保证提出了要求。外部讲师通过对实战案例的剖析，把涉及项目管理的相关知识、理论、法规要求等

一一引出，上了形象生动的一课。

培训调查数据显示，培训效果良好，学员普遍认为课程内容贴近工程实际，对指导工作有实际意义，并通过培训开拓了思路、找到了管理的差距、体会到项目管理科学化、规范化的重要性。

据悉，工程管理专业技术委员会今年还拟举办由项目经理参加的优秀项目经验交流观摩会，会上将就项目的成功经验、工程技术质量细节、现场的安全文明，以及如何管控供方等内容展开。

公司在陕组织优秀项目管理经验交流

12月4、5日，中航规划全面提升项目管理能力经验交流会在西安召开。公司副总经理沈金龙，副总工程师米敬明、刘子彦，质量安全部部长刘国新，航空业务部部长贺宏斌，各直属实体院分管副院长、项目经理以及工程管理专业技术委员会、培训中心和相关职能部门的有关人员近80人参加了交流活动。

沈金龙在动员讲话中要求大家提高认识、珍惜机会，充分交流特色做法与经验，不断开拓项目管理的视野与思路，通过学习分享来切实提升增值服务、超值服务业主的能力水平，矢志打造中航规划精品项目品牌。

陕建七部总经理、全国优秀项目经理李家卫以“精细化管理和绿色文明施工”为主题，介绍了施工单位在质量控制、安全管理、信息化建设、文明工地创建等方面的实际操作，并引导大家参观体验了中航飞机研发设计中心项目，现场讲解工程建设管理亮点。

米敬明结合实际情况和管理要求，主讲了“项目管理中的重点问题剖析及实施要点”。孟祥超、谢启良、周明海、李代国、苏琪在大会上交流了项目策划、内部管理考核、质量管理、供方管控、工程月报探索、技术难点攻关等方面的实践心得。与会人员还紧密围绕主题，开展了热烈的座谈讨论。

工程造价专业

工程造价专业技术委员会举办造价负责人专业研讨会

11月3日，工程造价专业技术委员会举办了造价负责人专业研讨会，公司全体工程造价专业人员参加了本次研讨会。

来自飞机院、动力院的两位项目负责人结合自己负责的项目，对项目全过程造价管理的总体情况、实施各阶段具体的管理细节进行了交流。对于不同项目遇到的问题，主讲人讲解自己的处理方式，与会人员各抒己见，热烈讨论，最后找到处理此类问题的合理方案。生动的案例讲解加深了与会者对问题的理解，提高了处理问题的能力。



工程造价专业举办建筑工程施工措施讲座

1月7日，工程造价专业技术委员会在公司第三会议室举办了建筑工程施工措施讲座，公司全体土建专业造价人员及诸多其他专业人员参加了会议。

会议邀请北京城建集团工程总承包部项目总工程师贾成亮讲授，贾总长期从事项目一线管理工作，对项目的施工组织措施和技术措施具有丰富的经验。在约4个小时的讲座中，他讲述了包括施工

机械选择、脚手架选用、钢筋及构造措施、施工临时设施、结构后浇带、施工预留洞的处理、施工案例共七个方面内容，图文并茂，通俗易懂。

此次关于建筑工程施工措施的讲座针对性强、具有很好的理论与实践指导作用，有助于提高土建专业造价人员对实际工程的理解与认知，对于促进现场经验在造价专业内共享有重要意义。



航空机电泉厂新区建设项目

建设地点：四川成都

设计单位：中航规划电子院

建设情况：建成

用地面积：116 200m²

总建筑面积：68 700m²

本项目整个建筑群体利用自身功能形成的体块体量关系、协调的色彩搭配、简单材料的组合，创造出和谐的景观层次。

核心建筑外装采用玻璃幕墙、石材幕墙、铝合金装饰件，组合设计出体块的错落对比。主立面采用中心轴线对称设计，结合恢弘大气的主广场，在厂前区营造出完整威严的企业形象，创造出整洁、朴实、互动、和谐的工业园区的建筑特质。

主体建筑单体外装处理上设计出外墙的凹凸、体块的错落，开窗方式采用窄长的竖向窗户为主，充分化解冗长的立面弱点。深色窗框，窗间墙采用灰白间色的手法，垂直窗间墙外装色块与建筑物大面积外墙用色相互协调，表现出活跃跳动的时代元素，使厂区建筑群对外整体和谐、互动、简洁、大方，体现出时代工业建筑特有的品质，与厂区周边环境协调共融。



北京青云航电科技有限公司 航空产业园（二期工程）建设 项目

建设地点：北京顺义

设计单位：中航规划电子院

建设情况：未建

用地面积：41 600m²

建筑面积：49 560m²

建筑整体布局疏密有致、开合相间。二个厂房楼形成半围合院落，并且高层建筑与基地主入口正对，形成空间、景观轴线关系。

建筑造型设计充分考虑使用功能的需求，将各建筑整体设计，力求塑造完整而特色鲜明的建筑形态。建筑立面虚实对比，简洁大气，体现整个园区建筑的高科技性格特质。厂房采用暖灰色真石漆涂料，配合整体园区风格。

整个建筑设计既考虑自身情况又结合现有的规划状况，实现了体形、材质、色彩的变化，使得建筑活跃而生动。整体建筑利用色彩搭配、形体对比以及材料的组合创造了丰富的建筑层次。



中国航空综合技术研究所科研用房工程项目

建设地点：北京怀柔

设计单位：中航规划电子院

建设情况：在建

用地面积：176.14亩

建筑面积：128 567m²

中国航空综合技术研究所试验与检测中心科研用房工程项目总平面布置分为办公区、科研区、科教区和动力及辅助设施区四个功能分区。所区内建筑形态和外观上，均与开发区环境景观一脉相承，展现出航空系统现代高科技产业迅猛发展的态势，也形象地勾勒出与时俱进的精神步伐。主要建筑物沿开发区景观大道的外形设计，既注重与临近建筑的融洽，也兼顾了绿化景观的和谐处理，同时强化了园区干道的延伸，与园区规划机理完全融合。

建筑外观在对企业文化的建筑表达上讲求虚实对比，建筑整体以白色石材结合少量玻璃为主，建筑体量形成轻盈漂浮的感觉，寓意企业的发展不断上升的意向。局部用以黑色体量穿插，形成企业求实、进取、稳重的建筑形象。黑色和白色建筑色彩的运用也与企业的传统色彩相符。





航宇装备新区建设项目

建设地点：湖北襄樊

设计单位：中航规划电子院

建设情况：待建

用地面积：500亩

建筑面积：13万 m²



建筑所在场地呈南北走向的长矩形，一条现状河道自西向东贯穿场地。该方案围绕现有河道进行建筑、景观的整体设计，一条弧形的连廊将建筑与景观、场地联系在一起，紧扣立意“云端—彩云—云端 平安飞翔”。各建筑围绕河道景观及入口广场布置，形成整个厂区的景观节点，使该处成为厂区最具独特性、标志性的中心区域，同时也形成具有内聚性的构图形式。

中心区域的建筑与景观设计是该方案的重点，包括综合办公楼（高层及多层）、食堂、活动中心等建筑。方案中将一期建设的食堂布置于该区域西北角，且沿河道布置，二期与远期建设的活动中心、综合办公楼（多层、高层）逐渐沿东蔓延，形成自西向东发展的分期规划。综合办公楼（高层）设置于主入口处，作为园区的标志性建筑；其后为二期建设的多层办公楼，与道路方向一致，用连廊将两期建筑联系起来，形成大小不同的数个院落，院落提供了交流活动的平台，也是两期建筑之间的过渡空间；弧形连廊从主楼的雨棚延伸至活动中心，完成了建筑的统一。建筑立面以玻璃幕墙为主，加以利用现有厂房的横线条元素，形成新老建筑的融合，相互咬合的体量及出挑的走廊为设计增添了亮点。

博物馆建筑设计规范

标准编号: JGJ66-2015
发布日期: 2015-06-30
实施日期: 2016-02-01

建筑玻璃应用技术规程

标准编号: JGJ113-2015
发布日期: 2015-08-21
实施日期: 2016-04-01

图书馆建筑设计规范

标准编号: JGJ38-2015
发布日期: 2015-08-28
实施日期: 2016-05-01

膜结构技术规程

标准编号: CECS158:2015
发布日期: 2015-08-20
实施日期: 2016-01-01

工业建筑供暖通风与空气调节设计规范

标准编号: GB50019-2015
发布日期: 2015-05-11
实施日期: 2016-02-01

岩土锚杆与喷射混凝土支护工程技术规范

标准编号: GB50086-2015
发布日期: 2015-05-11
实施日期: 2016-02-01

公共建筑节能评价标准

标准编号: DB11/T1198-2015
主编部门: 中国建筑科学研究院
北京市住房和城乡建设科技促进中心
北京节能环保中心
发布单位: 北京市住房和城乡建设委员会
北京市质量技术监督局
出版社: 北京城建科技促进会
批准文号: 京建发〔2015〕187号
发布日期: 2015-04-30
实施日期: 2015-08-01

地基动力特性测试规范

标准编号: GB/T50269-2015
发布日期: 2015-08-27
实施日期: 2016-05-01

建筑产品分类和编码

标准编号: JG/T151-2015
发布日期: 2015-07-03
实施日期: 2016-01-01

党政机关办公用房建设标准

标准编号: 建标169-2014
发布日期: 2014-11-24
实施日期: 2015-11-24

建筑外窗采光性能分级及检测方法

标准编号: GB/T11976-2015
发布日期: 2015-05-15
实施日期: 2015-12-01

环境空气质量标准

标准编号: GB3095-2012
发布日期: 2012-02-29
实施日期: 2016-01-01

建筑工程清水混凝土施工技术规范

标准编号: DB11/T464-2015
发布单位: 北京市质量技术监督局
北京市住房和城乡建设委员会
批准文号: 2015年标字第16号(总第179号)
发布日期: 2015-09-23
实施日期: 2016-01-01

公共建筑节能设计标准

标准编号: DB11/687-2015
主编部门: 北京市建筑设计研究院有限公司
发布单位: 北京市质量技术监督局
北京市规划委员会
批准文号: 2015年标字第5号(总第168号)
发布日期: 2015-04-30
实施日期: 2015-11-01



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 张志良 杨锐
周训文 周凯 贺沂
张继超 常洪亮 梁相文

编辑委员会

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

总编 陆国杰
主编 陈海风
执行主编 王蕊
责任编辑 李楠
出版 《航空工程建设》编辑部
地址 北京德外大街12号
邮编 100120
E-mail hkgcjs@avic-apc.com
印刷单位 北京奇麒麟印刷有限责任公司分公司
发送对象 公司内部及本系统内部
印刷日期 2015年12月
印数 1500册
电话 (010)62038276 62038235
传真 (010)62038297
封面 中关村航空科技园一期工程

CONTENTS

目录 2015年第6期 总第122期

航空能力建设

- 02 航空热处理车间工艺设计相关分析 余璐
- 05 机载光电类产品试制中心的工艺设计分析 孙星 于颖贤
- 09 民用运输机场总体规划与航站区规划设计研究 王锋刚
- 12 泡沫格栅喷嘴自动消防系统在机库消防中的应用
陈洁如 杨开冕 闫夷
- 17 航空发动机试车台火灾自动报警系统设计探讨
杨艳男 王宏伟
- 21 编码控制方法在多机种电加载系统中的应用 丁锐 王宏伟

研究与探讨

- 24 整合规划体系下生态环境规划模式研究 刘艳菊 朱洪利
- 29 大跨度楼盖运动场内人员舒适度实测分析研究
马伯涛 宋毛毛 王明珠 葛家琪
- 36 索穹顶与外围大悬挑组合结构体系分析
张国军 管志忠 葛家琪 王明珠
- 43 国际工程风险分析与对策 李锐娟
- 48 高大喷漆厂房防爆通风系统节能解决方案 刘运良

工程设计

- 53 固体制剂车间工艺布局设计分析 李红 徐哲
- 56 浅谈脊髓灰质炎减毒活疫苗生产车间工艺布置设计 张媛媛

航空热处理车间工艺设计相关分析

■ 余璐 「工艺」

摘要: 航空黑色金属热处理生产过程中要产生大量热量及油烟等有害气体(包括粉尘等),并容易发生火灾、爆炸等事故。在满足现代化生产纲领的条件下,航空黑色金属热处理车间的设计须同时考虑消除和控制生产性有害因素,将其设计成高效并具有良好的安全防火、防爆及少(无)环境污染等功能体系的现代化航空黑色金属热处理车间。

关键词: 黑色金属;热处理;车间规划;防爆

1 前言

黑色金属热处理是重要的航空制造技术之一,它对航空产品的性能、质量和寿命起着举足轻重的作用。为了适应航空产品减轻重量、提高使用性能的要求,绝大多数航空金属零件都要进行热处理,以获得高的比强度和良好的综合性能。安全可靠是航空产品追求的另一个目标,热处理质量对航空产品的安全性将产生重大影响,因此,在航空工业生产中热处理占有极其重要的地位。

2 现代航空热处理车间的特点

2.1 老式热处理车间的不足

国内航空黑色金属热处理车间与国外存在着较大的差距,主要体现在热处理设备比较落后,设备以空气电炉为主,且设备炉温均性偏低,仅能满足一般零件的热处理。经过空气炉热处理后的零件氧化脱碳严重,而且生产效率较低、能耗偏大、运行成本较高、环境污染较重。

2.2 现代化航空热处理车间的工艺特点及需求

随着飞机设计要求的提高,高强度结构钢应用越来越多。航空各型机的大型结构件、轴、起落架零部件、长杆类零件、对接螺栓等均大量采用了30CrMnSiNi2A、40CrNiMoA、300M等高强度结构钢,为保证零件满足HB/Z191-91脱碳层深度不超过0.075mm的要求,需要对该类零件采用无氧化热处理工艺。

为了满足上述工艺要求,现代化航空黑色金属热处理车间需引入可控气氛、真空类设备。

3 航空黑色金属材料及热处理设备

3.1 主要航空黑色金属材料

航空黑色金属合金结构钢主要有30CrMnSiA,超高强度结构钢主要有16Co14Ni10Cr2Mo(AF1410)、30CrMnSiNi2A,结构钢铸件主要有ZG22CrMnMo、ZG35CrMnSi等,化学热处理用钢(渗碳钢)主要有:18Cr2Ni4WA、12CrNi3等,其热处理工艺主要有淬火、回火、正火等。

3.2 典型热处理要求及工艺

某材质为30CrMnSiNi2A螺栓, $\sigma_b = 1670 \pm 100 \text{Mpa}$,加热温度: $900 \pm 10^\circ\text{C}$;等温温

作者简介:余璐,女,工程师,2009年毕业于北京航空航天大学材料学专业,现就职于中航规划飞机工程设计研究院。

度: 180~230℃; 回火温度: 250~300℃^[1]。

某材质为0CrMnSiNi2A活塞杆, $\sigma_b = 1180 \pm 100 \text{MPa}$, 加热温度: 900±10℃; 等温温度: 180~230℃; 回火温度: 250~300℃^[1]。

某材质为18Cr2Ni4WA10活塞, $\sigma_b \geq 1030 \text{MPa}$, 渗碳深度为0.5mm~0.9mm, 渗碳层硬度HRC=56~62^[1]。

某材质为18Cr2Ni4WA10内筒, $\sigma_b \geq 1030 \text{MPa}$, 渗碳深度为0.5~0.8mm, 要求表面硬度HRC=58~65^[1]。

3.3 生产工艺流程

黑色金属零件的加工路线为: 机械加工——前清洗——淬火、渗碳——后清洗——回火——表面抛光、吹砂清理——交检——机械加工——包装出厂。

3.4 主要生产设备

应优先选用具有较高机械化与自动化、低耗、少(无)环境污染的热处理设备, 并优先采用清洁热处理生产设备。为了满足高质量零件的生产, 厂房可配置可控气氛热处理炉生产线、真空渗碳炉、真空气淬炉、真空油淬炉、真空回火炉、真空清洗机、冷冻箱、喷砂机等。

热处理车间主要炉子设备的选用, 应根据产品的特点及其对热处理工艺提出的要求, 工厂实际生产经验与习惯, 新工艺新设备的发展趋势等因素, 加以综合考虑后才能最后确定。

热处理车间主要炉子设备的数量, 计算方法有下面二种:

1) 重量法:

$$n = \frac{W}{P \cdot T}$$

$$\beta = \frac{n}{N}$$

n——炉子设备计算值(台)

W——每年需要热处理零件的总重量(kg)

P——炉子设备的生产率(kg/h)

T——炉子设备年时基数(h)

N——炉子设备的采用值(台)

β ——负荷率(%)

举例: 已知某厂铝合金全年淬火量 $W=900,000 \text{kg}$, 181-4002电熔硝烟浴炉的淬火生产率 $P=300 \text{kg/h}$, 二班工作制, 设备年时基数 $T=4500 \text{h}$, 求需要的设备数量。

$$\text{解: 按公式} \quad n = \frac{W}{P \cdot T} = \frac{900000}{300 \cdot 4500} = 0.67$$

$$\text{取} N=1, \quad \beta = \frac{n}{N} = \frac{0.67}{1} = 67\%$$

2) 零件法:

$$n = \frac{\sum \frac{t}{\delta} \cdot n_1}{T}$$

$$\beta = \frac{n}{N}$$

t_1 ——某零件热处理工序总时间(h)

n_1 ——某零件年产量(个)

δ ——某零件装炉量(或称装载量)(个)

n、N、T、 β 代表的意义同上。

举例: 已知某厂压气机盘的年产量为18000个, 需要进行调质处理, 其工艺规范见表1, 求需要的设备数量。

解: 已知 $n_1 = n_2 = 18000$ 个, $\delta_1 = \delta_2 = 8$ 个, $T=4500 \text{h}$

$$t_1 = \text{加热时间} + \text{保温时间} + \text{操作时间} \\ = 100 \text{min} + 40 \text{min} + 10 \text{min} = 2.5 \text{h}$$

$$t_2 = 90 \text{min} + 110 \text{min} + 10 \text{min} = 3.5 \text{h}$$

$$\text{按公式} \quad n = \frac{\sum \frac{t}{\delta} \cdot n_1}{T} = \frac{\frac{18000 \cdot 2.5}{8} + \frac{18000 \cdot 3.5}{8}}{4500} = 3$$

$$\text{取} N=4, \quad \beta = \frac{n}{N} = \frac{3}{4} = 75\%$$

4 车间规划设计

4.1 车间的建筑要求

黑色金属热处理车间应为丁类火灾危险性建筑, 其耐火等级为二级。热处理车间宜设置天窗、高低侧窗, 以达到散热排烟及驱除有害气体的效果。车间结构应采用钢筋混凝土或钢结构,

表1 工艺规范

序号	工艺	设备型号	装炉量	处理温度	加热时间	保温时间	操作时间	冷却方式
1	淬火	RJX-75-9	8个	880±10℃	90~100min	30~40min	10min	油冷
2	回火	RJX-75-9	8个	530±10℃	80~90min	110~120min	10min	40~60℃水冷

车间的跨度一般为15m、18m、24m，下弦标高一般在10m以下。

4.2 热处理车间的工艺布置

在进行车间工艺设备布置时，应满足操作与维修方便、工艺流程与运输合理、安全与专业设计的需要，面积的合理利用等方面要求。此外还应适当考虑今后发展与调整的可能性以及厂房整体布置的整齐等因素。根据车间生产零件的特性、批量的大小以及车间生产经验与传统等条件，可以按工作内容、按设备、按混合方法来进行车间的划分。具体如下：

1)按工作内容分：可分为高温大件区、中温调质区、化学热处理区、工具热处理区等。在热处理工作量与批量均较大的工厂热处理车间中，一般较多采用这种区域划分法。

2)按设备分：可分为立式真空热处理炉区、卧式真空热处理炉区、可控气氛炉区、渗碳炉区、联合电炉区、箱式电炉区、井式电炉区、盐浴炉区等。主机厂所及辅机厂的热处理车间一般采用这种区域划分法。

3)按混合方式分：当工具与零件同时进行热处理时，工具热处理最好是单独设区（或工段），有利于确保零件的热处理质量。

在设计车间工艺布置区划时，还需注意以下几点原则：

1)有利于车间通风、采光和改善劳动条件。如立式底装料可控气氛炉、立式真空炉、立式真空清洗机作为高大热处理设备宜靠近内墙布置，便于车间的自然通风和采光。抛光机、吹砂机作为小型设备和产生有害物质的设备宜靠墙外布置，利于通风、排烟及除尘装置的安装。

2)附属房间的设计。可控气氛炉及渗碳炉所用的氢气、甲醇、丙烷等属易燃、易爆气体，其存放间及减压间应在附楼单独设置并与相邻房间的隔墙应为防火隔墙，并采取防爆泄压措施，房间需按防爆房间要求设计并对外开门。

4.3 通风排烟、除尘系统的环保设计与安装

热处理车间设炉区内的余热和油烟及散发出的各类有害气味均应由天窗和高低侧窗予以排除。一般位置固定的产生有害物的设备及工作地采用局部排气，根据不同设备及其操作情况采用不同形式的局部排气，如伞罩排气、旁侧排气及接设备口等。

对于热处理车间排出的废气，目前较为环保

的方法是采用湿式过滤机，将渗碳炉、可控气氛炉产生的废气用管道送到湿式过滤机，废气在湿式过滤机内同循环水幕进行交换，除掉废气中的有害物质再排放到空气中。湿式过滤机有利于净化空气、保护环境，而且设备的购置成本和运行成本都不高，符合当前国家环保要求。

4.4 水、气等管道的安装

热处理车间的动力设计包括设备供电、槽类设备给排水、油槽及真空设备循环冷却水系统、加热槽蒸汽供应、压缩空气供应、可控气氛炉及渗碳炉天然气供应、氮气/甲醇/丙烷供应等。车间动力供应较复杂，供应管道一般贴墙架空布置在主车间内。这样设计的好处有：方便管道维修和更换、增加设备布置和安装的灵活性、有利于以后的技术改造和设备更新、简化地面的土建施工、减少工人操作和行走时的不安全因素。

5 小结

现代化航空飞机制造厂热处理生产应该满足高的产品质量、高的生产效率、高的环境保护、低的成本与消耗要求。因此，现代化航空飞机制造厂热处理车间的设计应体现出技术先进、经济合理、节省能源、少(无)排放、环境友好、方便操作等特点。本文可以为以后航空热处理类车间工艺的设计提供参考。

参考文献

[1] 《航空制造工程手册》总编委会 航空制造工程手册. 航空工业出版社, 2010; 12.

机载光电类产品试制中心的 工艺设计分析

■ 孙星 于颖贤 「工艺」

摘要： 机载光电类产品试制中心主要服务于该类产品研发过程中的试制环节，需要具有快速反应的能力。本文为了总结机载光电类产品试制的工艺设计需求，从产品的工艺流程、特点出发，阐述了试制中心的功能分区以及包括的主要工艺设备，分析了对各专业需求的配套条件，最终提出规划方案。本文对机载光电类产品试制厂房进行工艺分析，对类似厂房的规划可提供借鉴意义。

关键词： 机载光电类；试制中心；工艺设计

0 引言

光电类产品在机载产品中占据较为重要的地位，近年来技术水平有了较大提升。机载光电产品主要应用于机载光电瞄准、监视与侦察、预警、光电对抗等领域，可实现光电探测、侦察、监视、识别、告警、干扰、攻击、信息传输等任务，是实现观察与定位的主要手段之一。主要的机载光电产品分为三大类：

1)机载火控类：包括武器火控系统等，目前机载火控产品正向综合化、信息化、决策智能化、架构网络化、攻防一体化、火打击精敏、研发试验一体化等方向发展。

2)光电探测类：包括光电探测瞄准系统、光电侦察监视系统、光电预警探测系统、光电对抗系统等，目前光电探测类产品正向着大口径、长焦距、高分辨率、高灵敏度、高精度、多光谱、集成化、主动成像、立体成像、多波段、多目标等方向发展。

3)瞄准显示类：包括平视显示系统、头盔瞄准显示系统、任务处理系统等。机载光电类产品特点通常是体积小、灵敏度高和精度高。瞄准显示类产品正朝着体积小、高分辨率、高集成度、高精度、更好的处理性能等方向发展。

新一代机载光电产品运用了大量的新技术、新材料，对产品制造技术的要求越来越高，而光电产品的装调挂靠于现有的生产条件，装调制造能力弱，成为制约产品快速研发的瓶颈。本文面向先进的光电产品试制所需的加工、装调、测试等关键技术进行分析，根据光电产品本身的特点，结合试制流程，总结光电产品试制中心的设备选型、土建以及公用工程条件，从而快速深入解决系统从设计到实物转换过程中存在的核心加工、装调制造等技术问题，突破先进光电产品快速研发需求的瓶颈。

1 组织管理及工艺流程

传统的机载光电新产品的试制阶段主要依托于现有的批生产条件，生产条件一般按照生产工序独立分开，加工工序布置在加工厂房内，装配

作者简介：孙星，男，工程师，2013年毕业于北京理工大学通信与信息系统专业，现就职于中航规划电子工程设计研究院。

调试工序布置在装调中心，电装工序布置在电装中心，试验检测工序布置在试验中心。这种独立对于技术均已成型的大批量生产较为适合，但对于新产品的试制，有以下几点不利因素：试制阶段很多技术指标未成型，产品周转往复于各厂房之间，人流物流辗转较多，试制产品本身的工时较长，依靠于批生产，会影响到生产的节拍；部分待加工产品要求高精度等特点，现有的通用批生产条件难以满足。

新一代机载火控、光电、瞄准显示系统运用了大量的新技术、新构型、新材料，对产品制造技术的要求越来越高。目前面向先进的光电产品研制所需的加工、装调、测试等关键技术研究，需要快速深入解决系统从设计到实物转换过程中存在的核心加工、装调制造技术问题，从而实现系统的技术指标。为突破批生产和新机研制混线的局面，结合新机试制的关键技术提高，本文提出一种新的生产组织思路，即建立一个专门以产品关键部件制造和装调为主的试制中心。

2 试制中心组成及布局原则

机载光电产品的试制中心主要组成区域应包括电装、加工（含光学加工和机械加工）、装配调试（简称装调）、试验检测等，这些组成区域能够满足试制时的关键零部件的加工和装调，基本覆盖制约产品性能的关键技术，打破产品进一步提高的瓶颈。对于关键部件试制的主要工艺流

程如图1所示。

各组成区域的规划分布需满足以下几个原则：

- 1)合理规划人流物流，提高效率，节约资源。
- 2)充分了解设备所需配备专业条件，权衡利弊，统筹规划。
- 3)把握共性，满足通性和每个区域的特殊性。

3 功能分区及主要设备

3.1 加工区

光电产品加工分为机械加工及光学加工。

1)机械加工：新一代光电产品主要特点包括轻量化、高精度、尺寸两极化、结构整体化等。产品零件主要为壳体类、盘类、支架类零件，零件加工以加工中心和数控铣、车削中心为主，立卧多轴加工、车铣复合加工、电加工等设备可满足结构复杂、精度要求高、一次装夹即可完成的零部件。在机加过程，零件精度比较高、结构复杂、薄壁化特点突出，零件易变形，且材料多样，难加工材料的零件多。

2)光学加工：在光学产品研发过程中，需对光学关键部件进行反复测算加工，以验证其光学性能，例如对非球面零件加工、红外透镜磨边、非球面镜加工、红外晶体零件镀膜等。光加条件主要包括磨边机、金刚石车床、铣磨机、抛光机、镀膜设备等。在光加过程中，零件要求加工精度和检测精度高，镀膜难度大。目前柱面镜加工及检测、光学元件精密成型及检测、复杂非球

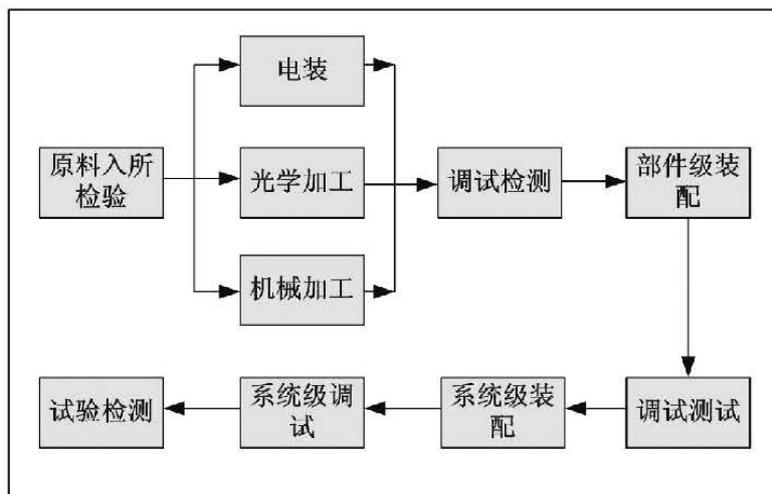


图1 机载光电产品试制主要工艺流程图

面元件和自由曲面制造及检测、精密胶合、红外分光膜镀制、全息波导等关键技术是光学制造的未来发展趋势。

3.2 电装区

电装主要用于电子类产品的调试、测试和交付。电装区主要组成包括组件焊接、电缆焊接、整机焊接、波峰焊、回流焊、自动贴片、线缆检测工位和化学试剂间,由于试制的产品种类较多,且量较小,多以手工焊作为焊接方式,而对于某些焊接精度要求高,可采用波峰焊、回流焊等半自动方式精密焊接。设备主要包括波峰焊机、回流焊机、自动贴片机、打标机、刻字机、恒温箱等。

3.3 装调区

装调区包括部件级装调和系统级装调。装调区是针对产品试制阶段进行建设,采取高度集成,相互搭借,相互共用的方式。主要包括装调台,调试测试台等设备。在试制阶段会经常对工装及被测试设备安装拆除,这是为满足产品研发阶段品种多,数量少的特点。

目前光电产品的高精度、结构复杂等特点对装调过程提出了更高的要求,产品装调区主要满足产品的装配、调试和测试等;平视显示类产品装调包括光学装调及定心、产品调试等。为避免工序之间相互交叉,应合理规划和调整物流,使运输线路快捷有效,提高效率。在光机装调过程中,环境要求特殊,粘接过程复杂,装调精度高。针对目前的发展方向,需开展高精密轴承装配、高精密透镜定心、非球面和异型光学件定心、红外和激光等光学系统装配技术。系统级装调区由于部分产品尺寸和重量较大,需配备吊车。

3.4 试验与检测区

机载光电类产品根据环境试验内容,可分为气候环境试验设备、力学环境试验设备和综合环境试验设备。气候性环境试验设备所模拟的环境因素主要是大自然所固有的环境因素,主要包括温度、低气压、湿热、盐雾、霉菌等试验箱。力学环境试验设备所模拟的环境因素基本上属于诱发环境因素,主要包括振动、冲击、加速度试验台等。综合环境试验设备,习惯上将气候环境与力学环境因素等综合在一起,主要包括温度-湿度-高度、温度-湿度-振动综合环境试验箱等设备。检测区负责对机载光电产品的尺寸、定心、

轮廓、光学元件等进行检测,从而保证产品的性能质量,主要配置三坐标机、干涉仪、轮廓仪等检测设备。

4 配套条件及规划方案

各功能分区由于产品特点不同,设备安装条件不同,工作环境要求不同,因此具有不同的配套条件。

机加设备容易产生噪音,需注意降噪,在加工过程中需要设置悬挂吊车用于工装夹具和产品的装卸,层高要求高。机加区气动设备较多,需配备压缩空气接口。加工及快速成型区需配置循环冷却水,满足加工过程中的散热要求,光学加工区通常要求温湿度在一定范围内。电装过程为保证产品质量首先要求防静电,其次对温湿度也有严格的限制要求。电装区的三防工段如清洗间、化学试剂间需设置为防爆房间,主要化学成分为乙醇、丙酮、甲苯等易燃易爆物。部件级装调区需设置大量的装调测试工位,其中光学产品装调需安装大理石台面来满足光学定心、镀膜等稳定性较高的要求。系统级装调区需配置悬挂吊车,工装夹具和产品较重,一般考虑放置在一层。环境试验区要设置循环冷却水。振动、三综合试验间注意隔音降噪处理,水冷设备配置循环冷却水,风冷设备室外风机间的设置需保证厂房整体效果美观,部分振动台使用大量压缩空气。检测区的三坐标房间温湿度要求较高,一般温度设置 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $25 \sim 75\%$ 。设备用电较多的区域包括环境应力筛选与检测区、加工及快速成型区,安装功率要预留充分。

试制中心各组成区域对专业条件的主要要求及人流物流如图2所示。

根据厂房面积,本文提出2种规划方案:

方案1:若厂房单层面积较大,各功能区可按单层平铺规划,主要人流物流:光加、电装、机加区、部件装调区、系统级装调区、试验检测区。试验区、系统级装调区、机加区的可设置层高较高。

方案2:若厂房单层面积较小,可考虑多层布置,其中机械加工、系统级装调、试验检测区根据需要应设置在底层,层高较高,其余各区可设置在二层或以上。

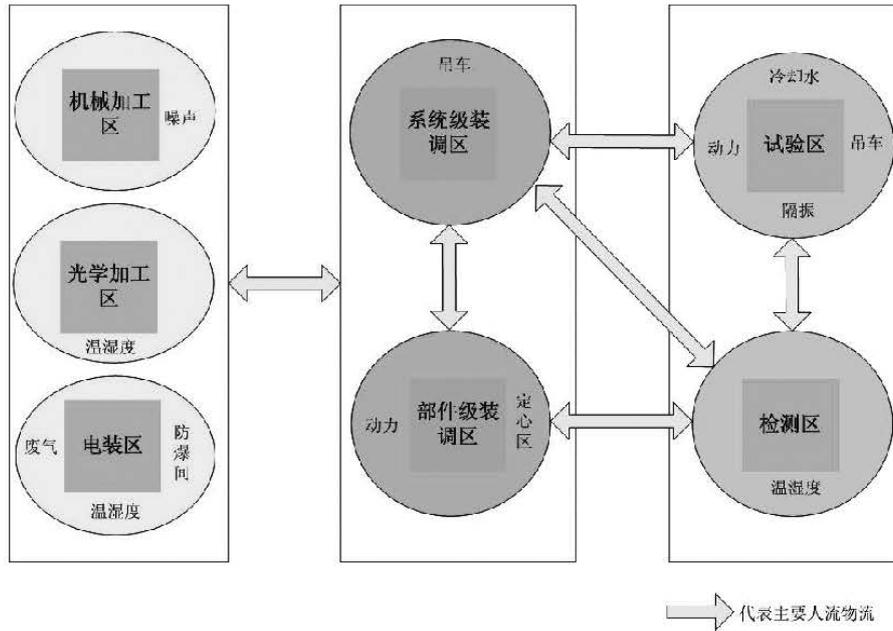


图2 各区域主要要求及人流物流图

5 结论

在机载光电类产品试制中心的工艺设计中，需要充分考虑产品本身的特点，结合试制的工艺流程，在功能分区、设备选型和设施条件等方面都要兼顾。

光电产品试制中心与批生产的需求及特点有一定差别。在工艺设计时，首先应清楚各个功能区划的特点和限制因素，对设施条件提出的明确需求，其次各功能区之间的人流物流必须考虑，尽量节省时间和距离，提高试制效率，合理规划，最后在设备选型时，通常各类试制设备选用高精尖的较先进设备，为新型号新产品的性能提高提供保障。

参考文献

- [1] 张跃进. 基于成组的试制方法研究 机械制造2005,(9).
- [2] 刘胤 刘军. 预研产品试制的工艺设计研究 航天制造技术 2010,(4).

民用运输机场总体规划与航站区规划设计研究

■ 王锋刚 「总图」

摘要: 本文基于作者实际工作经验,分别对民用运输机场总体规划与航站区规划进行较为系统的总结研究,提出了在规划设计过程中需重点关注和解决的问题,为机场的规划建设提出科学合理的解决方案,以资借鉴和参考。

关键词: 民用运输机场;总体规划;航站区规划

1 引言

随着新理念、新技术、新设备不断地运用到机场,现代化的民用运输机场不再是仅供飞机起降的场所,机场正逐渐成为城市功能的重要组成部分、成为国家综合交通系统的重要环节、对外开放的重要窗口。机场发展的新趋势要求我们从设计角度转变传统观念,不断地挑战自我,设计出符合可持续发展战略的新一代民用机场。

本文基于众多国内外各类型运输机场的设计经历和体会,对机场总体规划和航站区规划进行简要的论述,并说明在设计过程中需关注的一些问题,以资参考。

2 机场总体规划

根据民用机场建设管理规定,机场总体规划应当遵循“统一规划、分期建设”的原则。因此,机场总体规划对机场今后相当长时间内的发展具有很强的指导意义。一个合理的总体规划需要综合考虑多方面的影响因素,具体分析如下:

2.1 明确机场定位和发展愿景

明确机场定位和发展愿景是进行总体规划的前提条件。依据客货吞吐量规模、机场所在城市经济社会发展状况和机场在航空运输网络中的地位,民航运输机场可划分为枢纽、大型、中型、小型支线机场4类。而机场的发展愿景则是机场近、远期规划发展将要达到的目标。

2.2 对外地面交通衔接

机场作为城市和地区综合交通的重要组成部分,必须将机场纳入周边高速公路、城市轨道交通及国家高速铁路等系统中,以实现机场与其他交通方式的无缝隙衔接。

2.3 机场各功能区容量平衡,相互协调

机场是典型的交通基础设施,主要包括飞行区、航站区、货运区、生产辅助区等主要功能区域。影响机场容量的主要设施有跑道、滑行道、停机坪、航站楼、陆侧道路系统、停车场等,如何保持机场空陆侧容量均衡,使机场的运行效率最高、经济效益最好,则是总体规划需要解决的关键问题。

此外,机场各区域应分工明确,相互协调。做到空区和陆区相隔离、航站区与货运区相独立、客运与货运相分离,以满足机场高效运行和良性发展的要求。

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,现就职于中航规划民航工程设计研究院。

2.4 规划发展弹性

借鉴世界上大型机场可持续发展的成功经验,如阿姆斯特丹史基浦机场、新加坡樟宜机场等,为使机场能够根据航空运输的发展情况进行灵活建设,在总体规划过程中需要考虑机场未来发展的多种可能性,并预留充足的发展空间。同时,保证机场近、远期设施能够合理的衔接,避免重复建设或进行大的改造。

以上各项内容是机场总体规划中需要关注的主要问题,针对不同机场的特点具体问题进行分析,在总体规划指导下使机场能够在未来10年、30年甚至更长时间内都能进行合理的发展建设,真正达到可持续发展的目标。

3 航站区规划

旅客航站区是整个机场的重要组成部分,包括旅客航站楼、站坪、登机桥、陆侧道路系统、停车场及高架桥等。根据机场规划的原则,航站区规划不能突破机场总体规划,必须与总体规划相一致。对于航站区,其规划的主要内容是:航站楼构形的确定、站坪机位的合理布置、陆侧交通的综合规划等。以下就机场航站区规划的主要内容进行分析探讨。

3.1 航站楼构形的确定

航站楼是航站区的核心建筑,也是机场主要的功能性建筑。纵观国内外机场的构形,主要有三种形式:前列式构形、指廊式构形和卫星厅式构形。

航站楼构形的选择是由机场特定的条件和发展趋势决定的,在规划设计时主要考虑以下因素:

(1) 规划设计指标。主要包括目标年旅客吞吐量、典型高峰小时旅客吞吐量、陆侧交通流量、飞机运行架次及机型组合等。

(2) 旅客构成。主要包括:国内、国际、中转、过站、国际航班国内段等旅客。

(3) 运营方式,集中式运营或分散式运营。

(4) 航站楼服务水平。包括旅客服务效率,空间指标及商业规划等。

(5) 空侧飞行区的运行。航站区空侧应能满足机位预测指标,包括机位数量、机型组合及近机位比率等。同时,保证飞机运行顺畅,减少因排队等待而造成航班延误。

(6) 旅客步行距离。为体现人性化设计,旅

客的步行距离是衡量航站楼设计水平的重要评价指标。在航站楼构形比选中,不宜采用步行距离过长的方案。

(7) 分期建设要求。航站区规划设计应当满足相互平衡并独立的分期开发建设。在分期建设过程中,空侧站坪、航站楼、陆侧停车场等功能设施必须保证容量的平衡,并与现有设施具有良好的衔接关系。

(8) 投资及经济效益等。最终得出的航站楼方案应达到投资合理,运行高效,经济效益好的要求。

(9) 节能环保措施。规划阶段主要针对节约机场用地和减少机场污染物的排放量。

(10) 远期灵活性。航站区规划应具有远期发展和运行变化调整的灵活性。机场不断发展的特性,要求航站区规划能够应对机场未来发展的不确定性,在前期规划的基础上必须预留远期建设用地,并提出远期多种发展方向,实现机场的可持续发展。

航站楼构形的确定,需对上述各因素进行综合分析论证,提出多个可行的方案,并进行优缺点分析,从而得出满足机场发展要求的最佳方案。

3.2 空侧系统规划

航站区空侧规划主要包括滑行道系统规划、机位布局、地面服务车道设置等内容。

滑行道系统的规划,需要满足目标年最大机型的使用要求,根据民航行业规范,合理规划平行滑行道、站坪调度道、联络道、站坪出入口等,保证空侧飞机滑行距离短、流线顺畅。

机位的布置需要满足目标年机位数量、机型组合、近机位比率等指标要求,也可从运营管理的角度考虑组合机位的设置。此外,机位的布置应兼顾远期发展的要求,能够使国内、国际机位划分灵活,近、远机位联系方便。

空侧地面服务车道的设置,应保证地面车辆在不影响飞机运行的前提下,使地面服务车辆行驶路线短,导向清晰,能够快捷的运送旅客及行李,能够及时为进出港飞机提供地面保障服务。地面车辆调度区,应靠近站坪机位布置,区域相对集中。

航站区空侧是机场运行的基础,在满足安全要求的前提下,空区的规划设计必须保证飞机、地面车辆的高效运行,从而体现民航运输安全、

舒适、快捷的特点。

3.3 陆侧交通系统规划

陆侧交通系统是机场航站区的重要组成部分，也是现代化机场实现高效运行的重要环节。陆侧交通系统主要包括：进出场道路系统和停车场系统。

1) 陆侧交通系统的规划原则

- (1) 满足交通预测指标；
- (2) 道路系统简洁，导向明确，交通流线顺畅；
- (3) 对于改扩建机场来说，道路系统的设计应保证各航站楼之间的合理衔接；
- (4) 停车场布局有利于车辆的调度管理；
- (5) 建设投资最经济；
- (6) 与航站楼建设相适应，分期建设及调整的灵活性大，满足不停航施工的要求；
- (7) 实现客货分流，避免客货运交通流相互干扰，影响机场的正常运营。

2) 车辆流线设计

进入机场的车辆主要有社会车辆、出租车、机场巴士、贵宾车辆、员工车辆、城市公交及长途巴士等。各类车辆的迎送客流相对独立，并尽可能实现单向循环的运行方式，避免采用信号管制，提高陆侧交通的运行效率。因此，在设计车辆流线时，必须符合各类车辆的特性并满足机场管理要求，使车辆流线清晰顺畅，运营高效。

送客车辆均可上至出发层高架桥车道边，下客后车辆随即离开车道边，从离场道路离开机场或进入相应的停车场排队等候。对于多航站楼机场，机场巴士需要将旅客送到各航站楼，因此，巴士行驶路线需要串联各航站楼车道边，其流线设计应尽可能简洁，减少转弯和绕行。

迎客车辆相对送客车辆要复杂一些。由于出租车及机场巴士由机场当局统一调度，因此需要设计专门的行车通道进入到达层车道边迎接旅客。出租车由统一的蓄车场进入车道边排队，旅客上车后随即离开；机场巴士从巴士停车场出发，沿最简洁的路线串联各航站楼，上客后离开机场。此外，乘坐社会车辆的旅客需要步行至社会停车场，从停车场直接进入离场道路离开机场。

3) 停车场规划布局

按照车辆类型，停车场分为社会停车场、出租车停车场、巴士停车场、贵宾停车场、员工停车场等。各类停车场的规模需满足机场目标年预

测要求，在规划时留有远期停车场发展用地。停车场的布局，应符合车辆运行路线清晰、顺畅的特点，并符合机场相关的管理模式。出租车及巴士停车场应集中设置，便于统一调度；社会停车场应尽量靠近航站楼，以减少旅客的步行距离。

4 结语

本文结合实际设计经历和体会，对机场总体规划及航站区规划进行了简要的总结论述，希望对今后的设计工作有所帮助。

科学合理的机场规划，需要我们不断开拓创新，应将新思想、新技术、新工艺融入到现代化的机场中去，使机场运营效率最高，服务水平先进，并能实现机场主营业务和非主营业务收入最大化。就国内机场而言，不同类型的机场都有各自独特的发展模式和规划要求，我们在进行规划设计时应具体问题具体分析。同时，不断总结、吸收国内外机场建设领域的先进经验，逐步提高设计水平。

泡沫格栅喷嘴自动消防系统 在机库消防中的应用

■ 陈洁如 杨开霖 闫爽 「给排水」

摘要: 本文通过对某机库采用新型自动消防系统——泡沫格栅喷嘴自动消防系统的设计过程回顾,详细介绍了该系统的各项性能参数,对比了传统低倍泡沫消防系统有哪些优缺点,使此新型泡沫灭火系统得到消防界的认可和应用。

关键词: 消防安全; 机库火灾特点; 泡沫格栅喷嘴自动灭火系统; Grade nozzle; 低倍泡沫灭火系统

1 引言

2014年,国家陆续颁布和实施更为严谨和适用的一系列消防规范,体现了我国对消防安全的重视。对于机库这类大空间且投资巨大的工业建筑,消防系统的合理设置显得尤为重要。本文介绍一种首次在大中型机库中应用的低位低倍数泡沫-水灭火系统,以开拓广大工业建筑设计者和飞机维修公司相关人员的思路,使得对这类高投资的工业建筑有更加丰富和高效的保护手段可供选择。

2 机库火灾特点和相关规定

随着我国民用航空运输业的发展,航线维修和大修机库的建设需求在不断地扩大。作为大型工业建筑,机库的面积约3000~50000m²。机库消防系统设计依据《飞机库设计防火规范》GB50284-2008的条文进行。根据《飞机库设计防火规范》,机库火灾大致分类见表1。

喷漆机库喷漆时挥发出可燃气体,与空气混合形成一定浓度后,遇火会发生爆燃,但本文

重点论述的是维修机库,因此,挥发气体火灾的危险性相对较低;飞机维修技师现均需按照指定的严格操作规程进行,有维修证书的人员才能上岗,因此由操作不当引起的机舱火灾、氧气系统泄露火灾、电气火灾等可完全人为避免。

根据表1可以看出,由于飞机进库维修时,飞机油箱和系统内带有大量航空煤油,因此机库燃油火灾的危害性最大,以易燃液体流散火灾的形式迅速在地面蔓延。根据相关试验,当地面流散火的面积为85~120m²时,位于建筑物18.5m高处的屋顶温度在3min内将达到425~650℃以上。因此,需采用自动灭火系统,针对燃油的特点,选用泡沫-水混合液作为灭火介质。

3 泡沫格栅喷嘴自动灭火系统介绍

3.1 泡沫格栅喷嘴自动灭火系统简介

泡沫格栅喷嘴系统(GRATE NAZZLE SYSTEM)是威景(Viking)公司设计的灭火系统,该系统是固定在机库及其它场所地沟内的泡沫喷射装置,无需占用任何地上空间。该系统已广泛应用于庞巴迪公司飞机库、美国国防部项目及其他私人企业项目中,分布在全球10多个国家的飞机制造、测试和仓储等场所。并且得到了UL、FM、

作者简介:陈洁如,女,高级工程师,1995年毕业于北京建筑工程学院城建系给排水专业,现就职于中新规划院工程设计研究院。

表1 机库火灾分类

火灾类型	燃油流淌火	挥发气体火灾	机舱火灾	电气火灾
危险程度	高	低*	低*	低
发生部位	地面流淌火	空间爆燃	机舱	工作区
最佳灭火介质	泡沫混合液	水	水	水、二氧化碳
有效灭火手段 (任选其一)	泡沫雨淋自动系统	屋架自喷系统	屋架自喷系统	屋架自喷系统
	泡沫炮自动系统	消火栓系统	消火栓系统	消火栓系统
	泡沫格栅喷嘴自动系统	手提式灭火器	手提式灭火器	手提式灭火器

*喷漆机库喷漆时挥发出可燃气体，与空气混合形成一定浓度后，遇火会发生爆燃，但本文重点论述的是维修机库，因此挥发气体火灾危险性相对较低；飞机维修技师现均需按照指定的严格操作规程进行，有维修证书的人员才能上岗，因此由操作不当引起的机舱火灾、氧气系统泄露火灾、电气火灾等可完全人为避免。

US DOD等多方的认证。目前，泡沫格栅喷嘴系统尚无在中国使用的先例，其在中国的3C认证工作正在推进中。泡沫格栅喷嘴消防系统组图见图1。

3.2 泡沫格栅喷嘴自动灭火系统在某机库中的应用

以我院2014年设计的某机库工程举例，该工程为新建维修机库，由维修大厅及附楼组成，其中机库大厅4846m²，机库大厅跨度88.4m，进深54m，网架下弦高16m，机库最大高度24m。以本机库规模具体阐述泡沫格栅喷嘴系统在机库中的设计及安装。

① 设计依据

本工程为合资项目，需同时满足中国规范

《飞机库设计防火规范》GB50284-2008及美国规范NFPA409 (Standard on Aircraft Hangars) 机库标准。

在美国规范NFPA409中有如下相关规定：

6.1.1(2)：应设置自动喷淋灭火设备(屋架)与自动低位低倍泡沫系统联合作用的灭火系统(即本机库推荐采用的低位低倍泡沫格栅喷嘴系统为其中之一)。

在中国规范《飞机库设计防火规范》中的规定：

9.2.2(2)：应设置屋架内自动喷水灭火系统，远控消防泡沫炮灭火系统或其他低倍数泡沫自动灭火系统，泡沫枪。

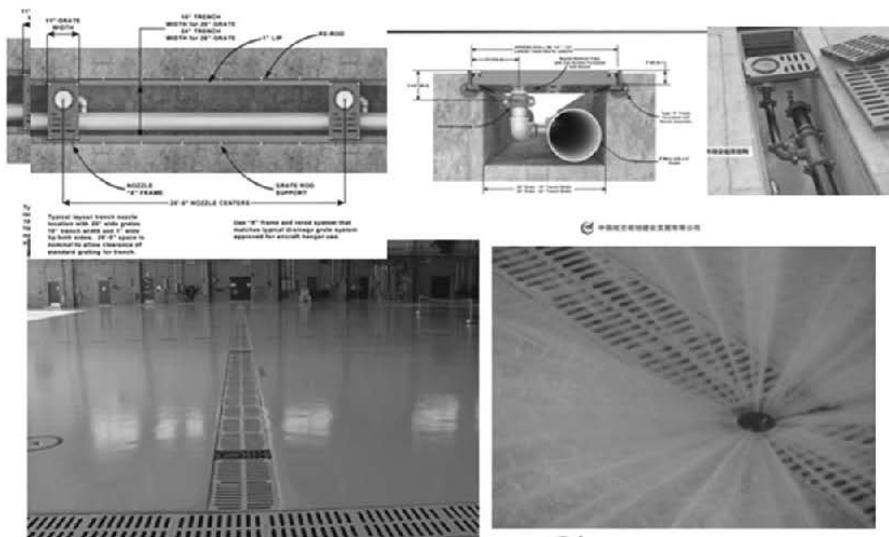


图1 泡沫格栅喷嘴消防系统组图

根据以上两个规范,结合外方保险公司要求所属机库采用相同消防配置的意见,我们确定了机库的消防方案:泡沫格栅喷嘴系统结合屋架自动喷水系统联合作用,作为主消防系统,它们均为自动启动的消防系统;此外设置泡沫枪、消火栓等手动消防设施为辅助消防系统。

②设计参数

格栅喷嘴技术参数如下(泡沫格栅喷嘴见图2):

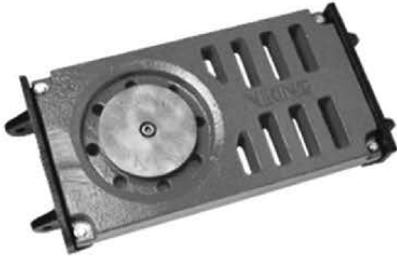


图2 泡沫格栅喷嘴

喷射角度: $90^{\circ}/180^{\circ}/360^{\circ}$

流量系数(K值): 100/173/336

工作压力: 40~60PSI (0.28~0.41MPa)

格栅宽度: 508/660mm

喷嘴最大喷射高度: 300~450mm

喷嘴最大保护半径: 7.6m

喷嘴认证: FM, UL

③在机库中的布置(见图3)

根据格栅喷嘴最大保护半径7.6m布置喷嘴及沟渠。同一沟渠内喷嘴间距不大于7.6m,沟渠间距不大于15.2m,沟距墙距离不大于7.6m。因此,本工程在机库大厅地面进深方向共设置6条沟渠,沟渠间距15.2m,每条沟内设置有 360° 地面泡沫格栅喷嘴装置6套,间距7.6m,整个机库共设有36套地面泡沫格栅喷嘴装置,火灾时同时作用,可达到机库的任何部位。格栅喷嘴安装于地面沟渠中,表面与地面齐平。该装置已被实验证明:

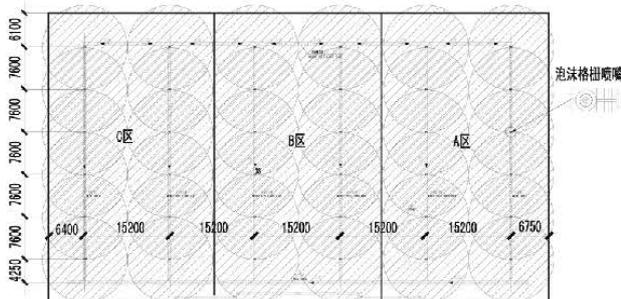


图3 泡沫格栅喷嘴在机库中的布置

即使有部分障碍物的阻挡,如飞机轮胎、55加仑桶、 $3/4$ "橡胶软管及其他建筑材料,也不会对泡沫喷放及覆盖造成影响。

④系统设计

泡沫格栅喷嘴系统采用低倍泡沫系统,泡沫液为AFFF型水成膜泡沫液,混合比为3%;泡沫混合液设计供给强度为 $4.1\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}^2$;连续供泡沫液时间10min;连续供水时间为45min(参见NFPA409中6.2.10.4,当闭式喷水系统与低位泡沫灭火系统结合使用时,其持续时间不低于45min)。地面泡沫格栅喷嘴工作压力0.28MPa(40PSI),流量大于等于 $9.4\text{L}/\text{s}$ 每个。系统设计流量 $352\text{L}/\text{s}$ (详见表2)。

系统要求进口供水压力不小于0.60Mpa,用水与屋架自喷系统共用,由新建消防泵房的消防泵供给(3台,2用1备,每台泵工况 $Q=290\text{L}/\text{s}$, $H=80\text{m}$),管网平时压力由消防泵房内泡沫格栅系统稳压泵(2台,1用1备,每台泵工况: $Q=7\text{L}/\text{s}$, $H=75\text{m}$)和气压罐(直径1.6m,调节容积 3.2m^3)维持。

本系统泡沫液用量为 12.24m^3 (含备用量)。选用2个 7m^3 泡沫液贮罐,采用在线平衡压力比例混合形式,由泡沫液贮罐、平衡调节阀、雨淋阀组、安全泄压阀、混合器管路、回流管路等组成。低位低倍泡沫格栅喷嘴系统共有3个分区,每个分区设置一套DN200雨淋阀组,其原理详见图4。

⑤水力计算

水力计算与自喷的计算相同。采用的基本计算公式包括:

本工程将泡沫格栅喷嘴系统分为A、B、C三个区,水力计算见表3。

……(B区、C区计算过程同上,本文略)

B区计算结果:设计流量 $Q=119.74\text{L}/\text{s}$,进口压力 50.27m

C区计算结果:设计流量 $Q=114.88\text{L}/\text{s}$,进口压力 50.27m

综上,A、B、C三个分区总流量为:

$117.24\text{L}/\text{s}+119.74\text{L}/\text{s}+114.88\text{L}/\text{s}=351.86\text{L}/\text{s}$,入口压力为: 50.27m

飞机停放和维修区面积约: 4846m^2

平均喷水强度: $(351.86\times 60)/4846=4.36\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}^2>4.1\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}^2$

泡沫液量:

$(351.86\times 3\%\times 10\times 60)/1000=6.33\text{m}^3$,考虑一倍备用,故选用两个 7m^3 的泡沫液罐。

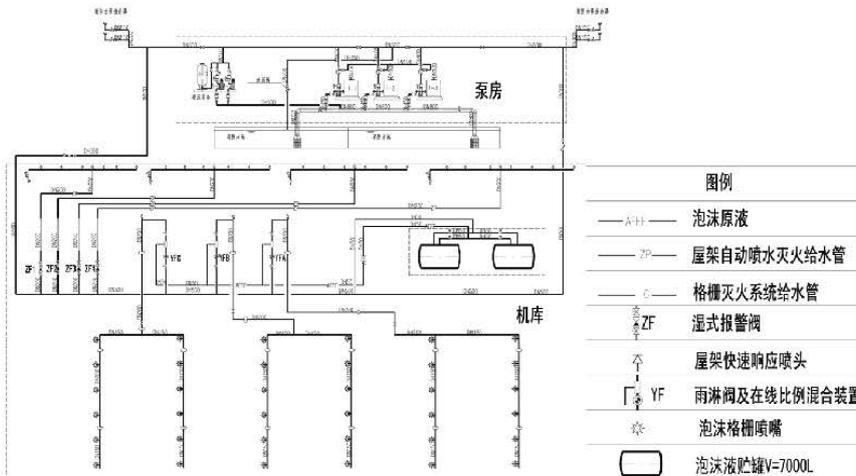


图4 格栅喷嘴系统与屋架自喷系统共同作用原理图

表2 水力计算基本公式

计算项目	公式	符号	参数
喷头流量	$q = K\sqrt{10P}$	q	格栅喷头处节点流量, L/min
		P	喷头处水压(喷头工作压力) MPa, 格栅喷嘴为0.28Mpa
		K	喷头流量系数, 格栅喷嘴为336
流速	$v = \frac{4q_{zh}}{\pi D_j^2}$	q	管段流量L/s
		D_j	管道的计算内径(m)
水力坡降	$i = 0.00107 \frac{v^2}{d_j^{1.3}}$	i	每米管道的水头损失(mH20/m)
		V	管道内水的平均流速(m/s)
		d_j	管道的计算内径(m), 取值应按管道的内径减1mm确定
沿程水头损失	$h_{沿程} = i \times L$	L	管段长度m
局部损失	$h_{局部} = i \times L(\text{当量})$	L(当量)	管段当量长度, 单位m(《自动喷水灭火系统设计规范》附录C)

4 与其它低倍泡沫灭火系统比较

在机库消防设计中, 经常采用的低倍泡沫灭火系统还有泡沫雨淋灭火系统, 远控泡沫炮灭火系统。仍以本工程规模大小为模板, 通过三种低倍泡沫灭火系统的性能参数比较, 总结其优缺点见表4。

5 总结

通过以上比较, 新型消防系统——泡沫格栅喷嘴灭火系统凸显许多优点。经实际操作检验, 低

倍泡沫格栅喷嘴系统能够保证在50s内将泡沫覆盖全部机库地面; 设于地面的排水沟起到了排放易燃液体的作用, 有效降低了火灾风险。并且由于该系统安装在地面, 比雨淋等系统更接近地面流散火, 在覆盖泡沫液及灭火方面比雨淋系统更快, 且不会因为泡沫喷到飞机机载设备而增加火灾损失, 故在飞机维修公司有避免机舱及油箱起火的场所, 能够达到既扑灭火灾又将损失降到最低的目的。特别是针对面积在3000~5000m²的机库, 其流量压力比传统低倍泡沫系统更经济。在获得3C认证后, 是值得推荐的机库自动消防系统。

表3 A区水利计算结果

A区水力计算结果											
管段名称	起点压力 mH ₂ O	喷头流量 L/s	累积流量 L/s	管长 m	当量 长度	管径 mm	K	水力坡降 mH ₂ O/m	流速 m/s	损失 mH ₂ O	终点压力 mH ₂ O
1~2	28.17	9.43	9.43	7.6	4.3	150	337	0.0036	0.534	0.04	28.21
2~3	28.21	9.43	18.86	7.6	9.2	150	337	0.0145	1.067	0.24	28.45
3~4	28.45	9.47	28.33	7.6	9.2	150	337	0.0327	1.603	0.55	29
4~5	29	9.56	37.89	7.6	9.2	150	337	0.0584	2.144	0.98	29.98
5~6	29.98	9.73	47.62	7.6	9.2	150	337	0.0923	2.695	1.55	31.53
6~7	31.53	9.97	57.59	0.52	9.2	150	337	0.135	3.259	1.31	32.84
7~8	32.84	0	57.59	15.2	4.3	150	337	0.135	3.259	2.63	35.47
16~17	30.22	9.76	9.76	7.6	4.3	150	337	0.0039	0.552	0.05	30.27
17~18	30.27	9.77	19.53	7.6	9.2	150	337	0.0155	1.105	0.26	30.53
18~19	30.53	9.81	29.34	7.6	9.2	150	337	0.035	1.66	0.59	31.12
19~20	31.12	9.91	39.25	7.6	9.2	150	337	0.0627	2.221	1.05	32.17
20~21	32.17	10.07	49.32	7.6	9.2	150	337	0.099	2.791	1.66	33.83
21~8	33.83	10.33	59.65	0.52	10.8	150	337	0.1448	3.375	1.64	35.47
8~9	35.47	0	117.24	3.04	11.6	200	337	0.1216	3.732	1.78	37.25
9~10	37.25	0	117.24	5.24	10	200	337	0.1216	3.732	1.85	39.1
10~11	39.1	0	117.24	4.75	10	200	337	0.1216	3.732	1.79	40.89
11~12	40.89	0	117.24	21.35	10	200	337	0.1216	3.732	3.81	44.7
12~13	44.7	0	117.24	1.65	10	200	337	0.1216	3.732	1.42	46.12
13~14	46.12	0	117.24	12.67	10	200	337	0.1216	3.732	2.76	48.88
14~15	48.88	0	117.24	1.3	10	200	337	0.1216	3.732	1.37	50.25

表4 三种低倍泡沫灭火系统性能参数比较表

低倍泡沫灭火系统	作用面积	泡沫混合液设计供给强度L/min·m ²	设计流量L/s	设计压力Mpa	安装位置	优点	缺点
泡沫-水雨淋系统	4846m ²	6.5	600	0.60	屋架	系统压力低	设计流量大
						可手动分区启动, 启动半径可控	强度受机库高度影响衰减
远控泡沫炮系统	4846m ²	4.1	360	1.0	4门90L炮高低配合	设计流量小	系统压力高
						高低配合, 空间火灾控制好	不美观
格栅-喷嘴系统	4846m ²	4.1	352	0.55	地面	系统压力低	喷嘴最大喷射高300~450mm, 空间火灾的控制能力弱
						设计流量小	
						美观, 及时将可燃液体排走	

航空发动机试车台火灾自动报警系统设计探讨

■ 杨艳男 王宏伟 「电气」

摘要: 在新的火灾自动报警系统设计规范(GB50116-2013)出台不久的背景下,本文依托国内某航空发动机试车台火灾自动报警系统设计案例,对航空发动机试车台的特殊部位做了详细的分析,结合航空发动机试车工艺和国家标准对火警系统设计进行了全面的探讨和研究。

关键词: 航空发动机试车台;火警;消防联动控制

1 引言

航空发动机为飞机提供动力,与地面或者水面交通工具的动力装置不同,航空发动机的“工作岗位”是在数千上万米的高空,发动机一旦出现问题,将会造成机毁人亡的重大事故。并且航空发动机的研制和发展是一项复杂的综合性系统工程,到目前为止仍然不能够从理论上给予详尽的描述,只有通过实验不断的摸索和完善^[1]。而航空发动机试车台正是在地面给航空发动机做实验的“设备”,因此,航空发动机试车台对于航空发动机的研制起着举足轻重的作用。其中,火灾自动报警系统负责保障试车台的安全,因此它的设计工作也显得尤为重要。

某航空发动机试车台照片如图1所示。



图1 航空发动机试车台

2 建筑概况及系统组成

2.1 建筑概况

该试车台由试车间、操纵间、电加热间、变电所、电气间、值班室、准备间、工艺设备间、燃油设备间、消防间、引射筒间、进排气塔等组成。

2.2 航空发动机试车台特殊区域分析

基于燃油设备间和试车间均有航空煤油,且航空煤油的闪点为38℃,根据建筑设计防火规范分类为乙类。

在正常情况下,燃油设备间和试车间均有可能出现爆炸性气体混合物,但航空发动机试车台设计规范只将燃油设备间定为防爆房间。试车间为非防爆房间的原因是由于正常情况时燃油设备

作者简介:杨艳男,男,助理工程师,2014年毕业于北京交通大学电气工程专业,现就职于中航规划设备工程设计研究院。

间是一个封闭的房间且可能出现爆炸性气体混合物,所以燃油设备间为防爆房间,爆炸危险区为2区^[4]。而试车间和引射筒间、排气塔相连,与外界是联通的,虽然在试车时可能出现爆炸性气体混合物,但可认为通风良好,故为非防爆房间,该房间所选设备按非防爆设备设计^[4]。

基于燃油设备间和试车间的特点,燃油设备间采用全淹没式自动灭火系统。而根据试车条件和工艺,在试车间的试车部位采用局部灭火系统。

正常情况下,在发动机正常试车时,试车间也会出现火焰、烟雾等,因此在试车间不放置探测器。

2.3 系统组成

由于本车台为厂区单体建筑,内部火灾报警系统需要联动控制且只有一台火灾报警控制器^[2],本车台采用集中报警系统。消防控制室采用厂区自带的消防控制室,本地火灾自动报警设备放置在本试车台的值班室。系统选用智能型总线制火灾自动报警设备对车台进行全面的保护,并且与厂区火警系统进行联网。系统总线型式为环型接线方式,大大增加了火灾报警探测回路的安全系数。

系统包括火警控制器、消防联动控制器、消防控制室图形显示装置、消防专用电话总机、稳压电源、可燃气体报警控制器、气体灭火控制

器。系统供电根据国标火灾自动报警系统设计规范(GB50116-2013) 10.1.1条要求,设置交流电源和蓄电池备用电源。交流电源取自消防电源。该系统的组成和布线形式见图2,图例见图3。

3 探测器等设备的选择及设置

3.1 探测器等设备的选择

在建筑内各办公室、走廊、操纵间、变电所、工艺用房以及其他设备用房处选择智能型点型感烟探测器,由于准备间高度为16m,电加热间高度为9m且属于无遮挡的大空间,根据国标火灾自动报警系统设计规范(GB50116-2013) 5.2节、5.3节的要求,在这两个房间内选择智能型线型感烟探测器。由于燃油间为防爆房间且一旦发生火灾会产生大量烟雾和强烈的火焰辐射,故该房间选择本安型感烟探测器和本安型火焰探测器两种探测器。

3.2 设备的设置

正常情况下,试车台有的房间会有航空煤油的挥发,为了检测可燃气体的浓度,需设置可燃气体探测系统。可燃气体探测系统独立组成,可燃气体探测器不接入火警控制器的探测回路,联动控制信号由可燃气体报警控制器接入联动控制器^[2]。

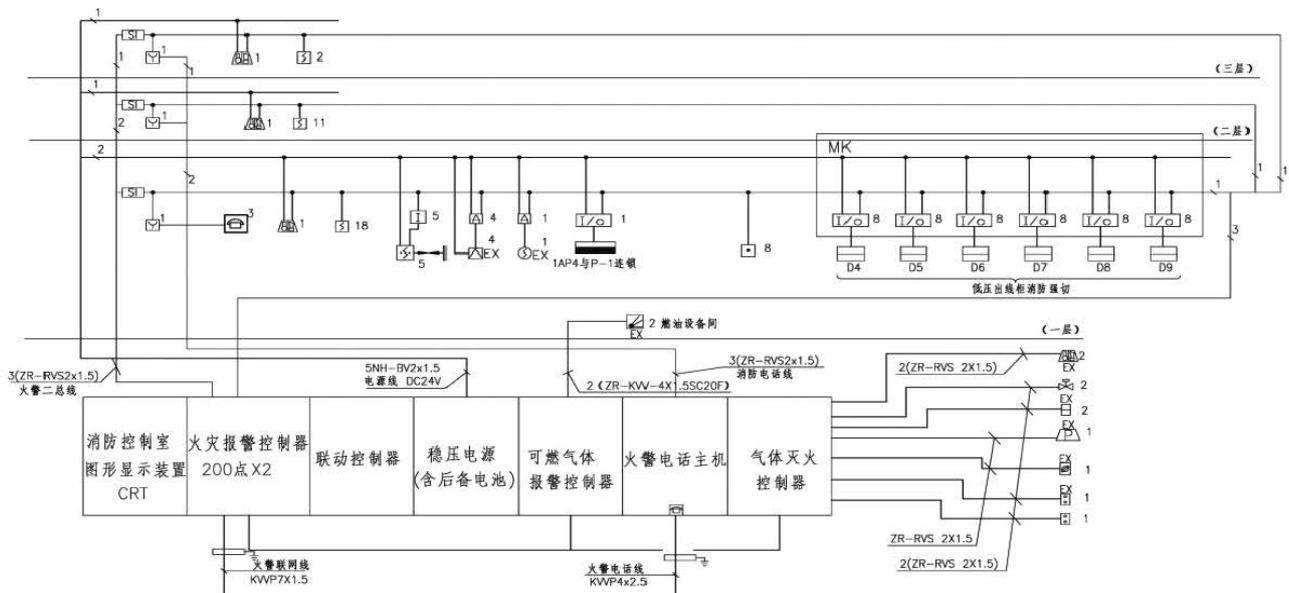


图2 火灾自动报警系统图

图形符号	说明
1	智能型感烟探测器
2	声光报警器(编码型)
3	隔爆型声光报警器(编码型)
4	手动报警按钮(带火警电话接口)
5	消防对讲电话
6	输入模块
7	输入/输出模块
8	本安型感温探测器
9	本安型感烟探测器
10	隔爆型可燃气体探测器
11	红外光束感烟探测器
12	安全栅
13	电磁阀
14	短路隔离器
15	配电箱
16	电涌保护器
17	模块箱
18	隔爆型气体灭火手自动状态显示灯
19	隔爆型手自动转换开关
20	隔爆型放气指示灯
21	隔爆型紧急启停按钮
22	紧急启停按钮
23	消火栓按钮

图3 图例

根据国标航空发动机试车台设计规范(GB50454-2008) 6.5.2条及试车工艺要求,在燃油间设置隔爆型可燃气体探测器,并且由于航空煤油蒸汽比空气重得多,根据工艺要求将燃油间可燃气体探测器放置在房间的下面距地0.3m处。

考虑到准备间和电加热间的设备布置以及国标火灾自动报警系统设计规范(GB50116-2013) 6.2.15条,在这两个房间设置的线型感烟探测器安装高度为梁下0.3m。

根据国标火灾自动报警系统设计规范(GB50116-2013) 4.3.1条的要求,在消火栓内设置消火栓按钮,此按钮信号仅作为报警信号及启动消火栓泵的联动触发信号。

在楼梯口等主要通道设置手动报警按钮、火灾声光报警器、消防电话插孔。在变电所、消防间设置消防电话分机。根据要求^[2]在变电所设置模块箱。

在燃油设备间的门外设置隔爆型放气指示

灯、隔爆型气体灭火紧急启停按钮、隔爆型手自动转换开关、隔爆型手自动状态指示灯并且在房间内外各设置一个隔爆型声光报警器,且屋内屋外声光报警器的声信号有明显的区别。

在试车间外设置气体灭火紧急启停按钮。发动机试车时,为了便于操作人员发现火灾并进行灭火处理,该紧急启停按钮设置在操纵间内。

根据国标火灾自动报警系统设计规范(GB50116-2013) 3.1.6条的要求,在火警总线上设置总线短路隔离器,每个总线短路隔离器保护的模块数不多于32个。

4 分系统控制

4.1 气体灭火系统

燃油间气体灭火控制具有手动和自动两种控制,联动控制信号由同一防护区域两只独立的火灾探测器的报警信号、一只火灾探测器与一只手动火灾报警按钮的报警信号或防护区外的紧急启动信号,作为系统的联动触发信号。气体灭火控制器在接收到首个联动触发信号后,启动设置在该防护区内的火灾声光报警器,在接收到第二个联动触发信号后,发出联动控制信号。气体灭火防护区出口外上方设置的声光报警器指示气体释放的声信号与保护区内设置的火灾声光报警器的声信号有明显区别。设置的手自动转换装置的工作状态在防护区内、外的自动状态显示装置上显示,该信号反馈至消防联动控制器。

操纵间气体灭火采用手动控制,通过监控或者观察窗来检测发动机试车是否正常,一旦试车过程发生火灾,通过设置在操纵间的紧急启动按钮来启动气体灭火系统。

4.2 消火栓灭火系统

消火栓系统出水管上设置的低压压力开关信号作为触发信号,直接控制启动消防泵。压力开关布置在厂区管网上,联动控制为厂区负责。本系统仅设置消火栓按钮,信号作为火灾报警系统的报警信号。

4.3 非消防电源、应急照明

火灾确认后,由发生火灾的报警区域开始,顺序启动全车台疏散通道的应急照明和疏散指示系统,系统全部投入应急状态的启动时间不大于5s,消防联动控制器具有切断火灾区域及相关区域的非消防电源的功能。其中,普通动力负荷火

灾确认后立即切除,正常普通照明、安防系统设施配电子消火栓系统动作前切断。

4.4 辅楼出入口控制系统

当确认火灾发生时,控制打开疏散通道出入口控制系统控制的门。

4.5 声光报警和消防应急广播

火灾确认后,开启建筑内所有的火灾声光报警器。火灾自动报警系统应能够同时启动和停止所有声光报警器工作,火灾声光报警器单次发出火灾报警时间宜在8~20s之间。消防应急广播的单词语音播放时间为10~30s,声光报警和消防应急广播分时交替工作。值班室能够显示消防应急广播的广播分区的工作状态,手动或按预设控制逻辑联动控制选择广播分区和启动或者停止应急广播,并能监听并且录音。

4.6 风机

在防爆房间燃油间内的可燃气体探测器探测到可燃气体浓度达到爆炸下限的25%时^[4],启动该房间的排风机,当浓度超标时开启风机,当浓度降低到安全值以下时,关闭风机,并且对燃油设备间的风机转速进行检测,当浓度超标且风机始终未启动时,进行报警,人为手动进行强制启

动。其他房间应由所在防区的两只独立的火灾探测器或一只火灾探测器与一只手动火灾报警按钮的报警信号作为关闭风机的联动信号。

5 结束语

本文针对航空发动机试车台这一特殊应用领域,结合航空发动机试车工艺和国家标准对火警系统设计进行了全面的探讨和研究。

参考文献

- [1] 陈益林.航空发动机试车工艺[M].北京:北京航空航天大学出版社,2010.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部.火灾自动报警系统设计规范(GB50116-2013)[S].北京:中国计划出版社,2013.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部.航空发动机试车台设计规范(GB50454-2008)[S].北京:中国计划出版社,2009.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部.爆炸危险环境电力装置设计规范(GB50454-2008)[S].北京:中国计划出版社,2004.

编码控制方法在多机种电加载系统中的应用

■ 丁锐 王宏伟 「电气」

摘要: 发动机试车台在多机种系统中由于试验机种的不同,通常含有不同的交/直发控制和电负载系统,本文通过采用编码式控制方法结合PLC分布子站控制及Labview编程,实现负载电阻连续可调功能,提高电负载通用性,节约设备成本,降低检修维护费用。

关键词: 组合编码; Labview; PLC; 电加载

0 引言

交/直流发电系统是飞机上重要的组成部分,飞机上所有设备电能的来源于此,发电机是飞机的关键动力设备,是飞机上精密电子装置的主要供电系统。检查它的工作状态和能力有着十分重要的意义。

在发动机地面试车台中,交/直发负载系统主要考量飞机上交/直流发电机发电能力,其主要做法为,将发电机发出的电能转化为其他能量来检验交/直发电量。功能实现上,选用电阻来充当假负载,模拟飞机上的用电设备,从而考量发电机的发电能力。

1 概况

目前试车台电气负载部分,由于同类发动机所装备飞机的不同,发电机的型号和功率会有不同,按照发动机试车规程一般按照额定加载电流

的50%,100%,150%,200%进行加载试验。当进行单一机种电加载试验时可以设计50%,100%,150%,200%对应电流档位的加载负载。但是在一个多机种的试验台中,通常交/直流发电机功率会有所不同,若不能提供一种通用性负载控制系统及加载设备,将造成较高的设备制造成本,且不利于整个系统的维护。

为提高设备通用性,降低设备总成本,采用了组合编码的控制方式,通过上位机与下位机PLC(可编程控制器)进行组合控制,来实现通用性更强的加载电流连续可调的需求。

2 控制系统构建及组合编码控制(见图1)

控制系统选用西门子S7 300型PLC,交直发加载系统由一个ET200M子站实现就地控制,配300型I/O模块,ET200M子站通过Profibus总线与PLC总站通讯。PLC通过以太网与上位机进行通讯。由于整个试车系统是由Labview架构,上位计算机采用Labview编程,通过模块化设计理念,对于交/直发控制系统作为其中的一个模块由Labview编写。上位机通过使用OPC server,将触屏按钮地址与PLC地址关联实现远程控制。

作者简介:丁锐,男,助理工程师,2010年毕业于北京石油化工学院测控技术与仪器专业,现就职于中航规划设备工程设计研究院。

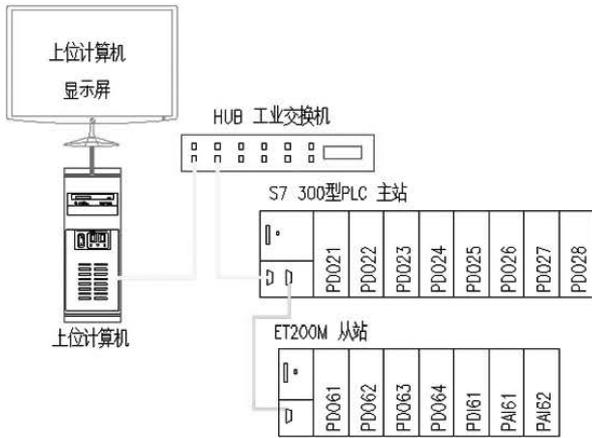


图1 控制系统图

组合编码式的加载方式需要根据该试车台可试验机种最大负载安装容量或用户要求，设计交/直流发电假负载，将负载电阻设计成1A，2A，4A，8A，16A，32A，64A……规格。负载相加之和满足容量要求即可。通过不同编码电阻的组合，可组合成一个任意需要的电流值，例如： $16A+4A+2A+1A=23A$ 。并为各个档位的负载匹配对应的接触器。这里我们选用了16点的数字量输出模块6ES7322-1BH10-0AA0来实现加载控制。根据要加载的电流值，闭合相关的回路即可实现对应电流的加载。组合编码见图2。

组合编码的控制方式满足了负载电流的连续可调要求。保证了通过一套负载即可满足多机种要求。多机种交直流保护控制器的控制电路也可由PLC或继电器来实现电路上的切换。组合编码虽然可以满足任意电流值加载，但是加载时需要人为判断加载档位值，操作繁琐。

6ES7 322-1BH10-0AA0

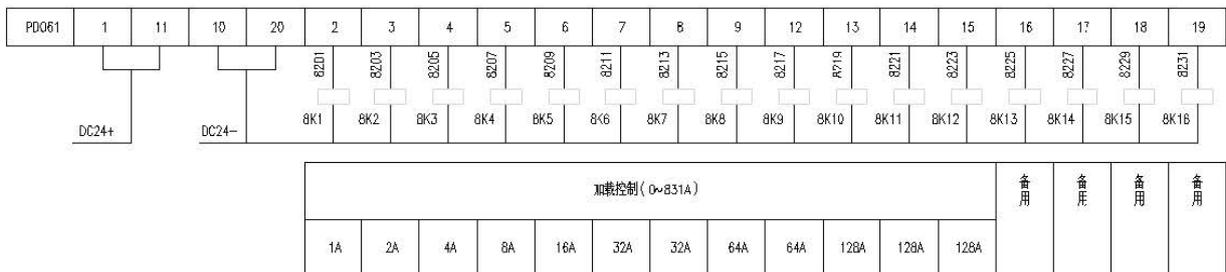


图2 组合编码

3 Labview编程及编码式加载

为便于操作，通过Labview编程，使用者只需要输入设定电流值，计算机会自动匹配对应的档位值进行加载。Labview程序段见图3。

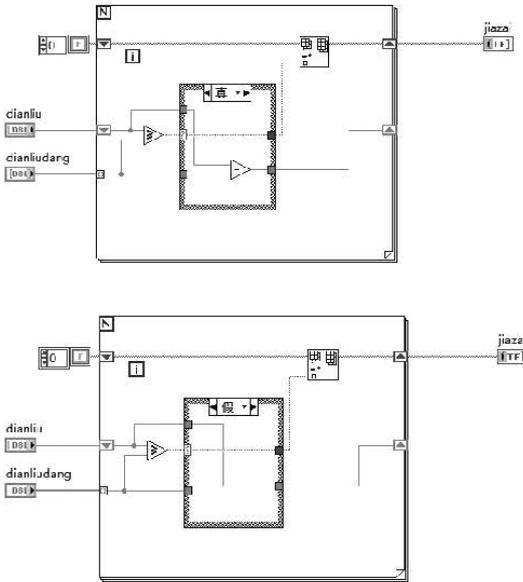


图3 Labview程序段

这里我们使用了Labview的For循环，程序段含义大致为：将设定好的电流档位值由大到小排列设置为数组“dianliudang”，将设计好的负载电阻与电流档位值按照对应关系同样由大到小排列设置为数组“jiazai”，当在“dianliu”位置输入一个设定电流时，该电流值会与数组“dianliudang”按顺序进行比较大小。当设定电流值大于等于档位值时，会将“jiazai”的对

应位置置1，同时与数组“dianliudang”该值做差，余数再与该数组下一个数进行比较；若当设定电流值小于档位值时，会将“jiazai”的对应位置置0。如此循环。最终数组“jiazai”将会变为只有0和1的数组，其中0对应的档位电流就是不加载，1对应的档位电流就是加载。程序流程图见图4。

程序运行结果如下：设定加载电流55A，运行执行 $32\text{A}+16\text{A}+4\text{A}+2\text{A}+1\text{A}=55$ 。满足使用要求。运行结果见图5。

4 结束语

组合编码的控制方式为多机种交直发负载系统提供了解决方案，节约了设备成本，通过使用

Labview的灵活编程和PLC的远程分布式子站控制，即节约了布线成本，由于系统结构简单，方便了检修维护。由于系统涵盖内容较多，受篇幅制约，本文仅控制方式上进行阐述，对于电量参数测量及联锁控制并没有提及。

参考文献

- [1] LabVIEW 2012中文版虚拟仪器从入门到精通 刘晋霞.
- [2] S7-300/400 PLC应用技术 第3版.廖常初.
- [3] 西门子S7-300/400 PLC工程应用技术 .姜建芳.

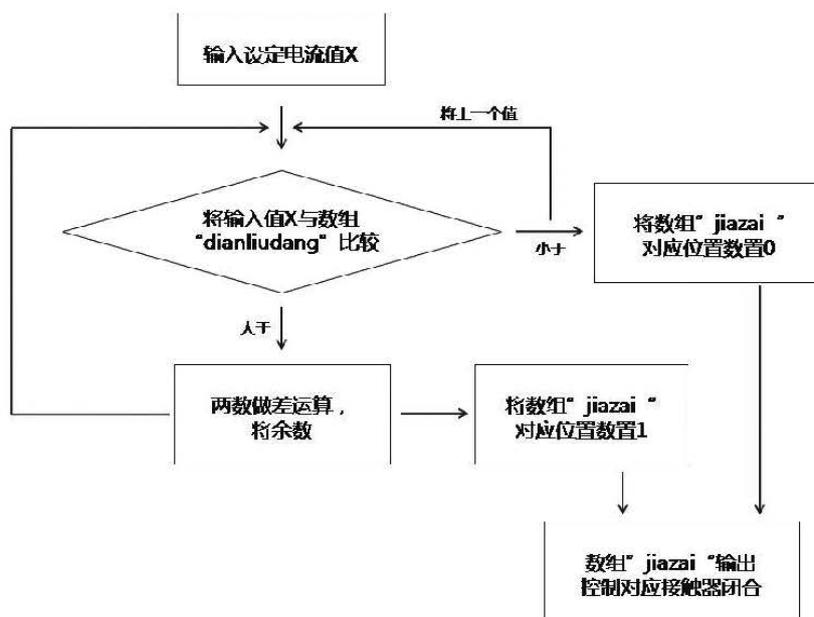


图4 程序流程图

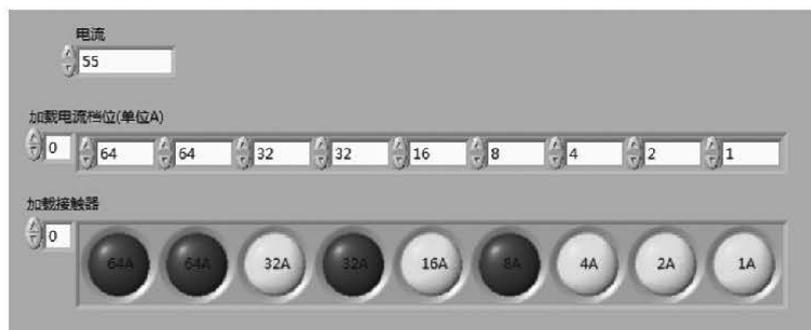


图5 运行结果

整合规划体系下生态环境 规划模式研究

■ 刘艳菊 朱洪利 「规划」

摘要: 整合规划可以实现对各类规划的整合和统筹管理,如何将各个类型的规划融合在一起是需要重点关注的问题。本研究在分析目前城市规划与生态环境规划关系的基础上,借鉴生态学、环境学的理论,针对规模、布局、发展方向及发展模式等问题进行了重点分析,提出了整合规划体系下“问题导向型”的生态环境规划工作模式。研究结果可以将生态环境规划更好的融入到城市规划的编制过程中,为城市规划的编制提供指导和决策依据,从而促进城市可持续发展和环境友好型、资源节约型城市建设。

关键词: 整合规划;生态环境规划;规划模式

1 引言

在我国目前快速城市化、工业化的进程中,城市的快速发展必然带来环境问题,而另一方面,环境问题又成为制约城市发展的主要因素。在这样的背景下,作为指导城市建设和发展的总体规划,需要在考虑城市经济发展的同时,更多地城市的生态环境保护摆在重要位置,从而优化城市发展布局、降低人类活动对生态环境的影响,提高生态环境效益。

在现行规划体系下,环境保护规划与其他部门规划之间缺少实质性的衔接与协调,环境规划得不到其他部门规划的有效支撑,有时甚至让位于经济类规划,导致环境规划整体偏虚、可操作性偏弱、实施效果偏差及有效性偏低。

整合规划可以实现对各类规划的整合和统筹管理,打破规划管理上的行业分割、部门分割、

地域分割,使得区域内的各级政府和同级政府的不同部门统一在区域规划指导下谋划自身发展。生态环境规划就是希望改变我们传统的以城市建设开发为主导的思维方式,把城市发展放到区域整体生态资源循环系统中,以维护生态良性循环为城市建设的基本规律。

2 城市规划与生态环境规划的协调途径

2.1 构建完善的规划体系

完善我国规划体系是从长远考虑解决城市规划与生态环境规划协调发展的根本。我国的规划体系基本上是在国土资源部、水利部、建设部等几个部门规划体系的基础上,通过相互适应和融合而形成的,带有很强的自发特点,目前在区域层面还缺乏有效统领各类主要专项规划的综合性规划。

构建科学合理的规划体系,实现各规划之间互促共进,更大程度地发挥各自优势和作用,这是摆在我国政府部门和学术研究机构面前的现实课题,也是引导和规范我国区域可持续发展建设的迫切需要。

作者简介:刘艳菊,女,高级工程师,2010年毕业于北京师范大学人口、资源与环境经济专业,现就职于中航规划综合规划研究院。

2.2 完善整合规划技术方法体系

在目前的体制下，由于环境规划体系的不完善，很难能确保环境规划的实施。相比之下，城市规划在立法、运作、实施、监管等方面都非常完善，因此，在现行规划体制下，应进一步强化和改善环境规划在城市规划体系中的作用和地位，通过整合规划体系来实现环境规划与城市规划的协调，并最终通过城市规划这一法定规划和强制性规划的实施来同步落实环境保护目标。

(1) 在城市规划层面，将生态环境规划的指标体系和评价方法运用到城市规划之中。

(2) 在城市规划布局上充分考虑环境问题，合理布局城市。

(3) 加强城市基础设施建设。

3 “问题导向型”工作模式

传统的城市规划把重点放在空间形态规划上，以配合经济增长建设要求为主要考虑，把空间布局看成城市规划的目的。事实上，城市规划决策作为分配资源和平衡各方利益的过程，空间规划是手段而非目的。

我们的规划手段是“整合的规划体系”。生态城市规划强调以良性生态平衡和资源投入产出的角度去看城市及区域发展，要求城市在经济、社会、环境等方面都达到可持续发展的模式。这为城市规划提供了一个机遇，推进以城市规划的管理手段和以空间为载体，把生态、环保、循环经济、低碳等理念纳入规划编制和实践过程中。

那么，如何在规划过程中，将生态环境规划与城市规划更好的融合是整合规划需要面临的问题。这就需要解决三个方面的问题：(1) 解决什么问题？(2) 以何种方式介入？(3) 何时介入？

为此，本研究提出“问题导向型”的工作模式。问题导向型是指，在了解区域发展需求的基础上，针对城市规划需要重点解决的问题，借鉴生态学、环境学的理论，促进区域社会、经济、环境协调，从而为区域发展提供指导和决策依据。问题导向型工作模式示意图见图1。

首先，来看城市规划的基本内容和需要关注的重点问题。

3.1 城市规划的基本内容及重点关注问题

城市规划是为了实现一定时期内城市的社会和经济发展目标，确定城市性质、规模和发展方

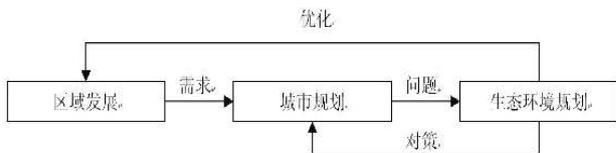


图1 问题导向型工作模式示意

向，合理利用城市土地，协调城市空间布局和进行各项建设的综合部署和全面安排。

城市规划的基本内容是依据城市的经济社会发展目标和环境保护的要求，根据区域规划等上层次的空间规划的要求，充分研究城市的自然、经济、社会和区域发展的条件，确定城市发展战略，预测城市发展的规模，选择城市用地的布局和发展方向，按照工程技术和环境的要求，综合安排城市各项工程设施，并提出近期控制引导措施。

根据城市规划的基本内容，城市规划需要重点关注和解决的问题集中体现在三个方面，即：(1) 城市规模；(2) 发展布局；(3) 发展方向。

(1) 城市规模

我国土地资源稀缺，城市发展的政策要求促进城市发展由粗放型向集约型转变，城市规模的控制十分必要。城市的发展与土地利用密切相关，用地规模受区域内资源禀赋、土地适宜性条件等约束，并与当地经济社会发展规划、产业规划、城乡规划、环境保护规划等相协调。

(2) 发展布局

在中国快速和大面积的城市化进程中，不明智的土地利用和工程建设使大地生命集体的结构和功能受到严重摧残，城市规划的巨大挑战是，设计城市的合理布局，以便在有限的土地上，建立一个战略性的自然系统的结构，以最大限度地、高效地保障自然和生物过程的完整性和连续性，同时也给城市扩展留出足够空间。

(3) 发展方向

规划需要对中长期城市扩展空间、产业发展模式、生态基础设施的建设布局提出设想，这就需要在对区域自然条件、资源条件和发展态势充分了解的基础上，对此提出区域的发展思路。

综上，城市规划重点关注的问题涵盖城市规模、发展布局、发展方向（见图2）。然后，针对上述城市规划需要重点关注的问题，从生态环境的角度，可以提供什么支撑，是接下来要重点分析的问题。

城市规模	发展布局	发展方向
人口规模	用地布局	产业选择方向
用地规模	产业布局	区域扩展方向
产业规模	生态设施布局	发展模式

图2 城市规划重点关注问题

3.2 生态环境规划可解决问题

生态环境规划的研究对象是“社会—经济—自然”的复合生态系统，它包括以下主要任务：

(1) 根据生态调查与资料分析，分析区域生态环境本底，识别制约区域发展的潜在生态环境因素，分析发展过程中已经存在的生态环境问题和成因，并提出缓解方案。

(2) 根据生态适宜度，制定区域经济战略方针，确定相宜的产业结构，进行合理布局，以避免因土地利用不适宜和布局不合理而造成的生态环境问题。

(3) 根据土地承载力、资源承载力或环境容量的评价结果，搞好区域生态区划、人口适宜容量、环境污染防治规划和资源利用规划等；提出不同功能区的产业布局以及人口密度、基础设施密度等限值。

(4) 根据区域气候特点和人类生存对环境质量的要求，搞好水域保护等规划设计，提出各类生态功能区的保护方案。

结合城市规划需要重点解决的规模、布局以及发展方向等问题，本研究有针对性筛选出了生态环境规划中操作性强的工作方法，见表1。

4 整合规划体系下生态环境规划介入方式

根据上述分析可以看到，在生态环境规划过程中，通过生态现状调查、归一化植被指数 (NDVI) 分析、遥感数据解译、生态适宜度分析、景观破碎度分析、热岛效应分析、噪声影响分析以及资源环境承载力分析等方法，可以有针对性的为城市规划中重点关注的城市规模、发展布局和发展方向等重点问题提供依据和指导。

遥感和GIS技术的不断发展，尤其是卫星遥感技术的不断完善，为城市规划提供了更加精确、高效的研究途径，从原来的定性描述发展到定量分析的模型预测，通过运用各种定量指标，动态、周期性的监测城市生态环境的变化趋势。

5 生态环境规划介入时机

在整合规划体系下，生态环境规划应是全过程介入的，从规划项目确定之初，现状调研、资料收集、编制规划纲要到问题分析、方案讨论、编制规划草案，直至规划成果报审以及规划实施。

5.1 城市体系规划阶段

在城镇规划体系规划阶段，区域生态环境规划应该作为并行的而非子课题或专项的一个独立规划，对城镇体系规划提出意见和指导。

以省域城镇体系规划为例，其核心内容包括了确定区域开发管制区划，即从引导和控制区域开发建设活动的目的出发，依据区域城镇发展战略，综合考虑空间资源保护、生态环境保护和

表1 生态环境规划工作方法可解决问题分析

工作方法	可解决问题
生态现状调查 归一化植被指数 (NDVI) 分析 遥感数据解译	分析区域资源环境禀赋； 分析区域现状生态环境概况； 分析区域现状存在的问题；
生态适宜度分析	确定区域可利用土地规模； 指导区域用地布局； 指导城市远期扩展方向；
景观破碎度分析 热岛效应分析	分析区域景观变化趋势； 指导区域景观设计；
噪声影响分析	指导区域用地布局；
土地资源承载力分析 水资源承载力分析 水环境承载力分析	确定区域资源可承载的人口规模； 确定区域资源可承载的产业规模；

可持续发展的要求，确定规划中应优先发展和鼓励发展的地区，需要严格保护和控制开发的地区，以及有条件许可开发的地区，并分别提出开发的标准和控制的措施，作为政府进行开发管理的依据。

5.2 城市总体规划阶段

在整合规划体系下，生态环境规划应是全过程介入的，从规划项目确定之初，现状调研、资料收集、编制规划纲要到问题分析、方案讨论、编制规划草案，直至规划成果报审以及规划实施。介入时机见图3。城市总体规划和生态环境规划的各阶段工作应同步实施，协调进行。其中二

者的融合有以下几个重要的接口：

(1) 调研阶段。两个工作团队组成联合调研组，对区域现状进行系统梳理，总结划定重要生态功能区等。

(2) 针对重大问题的专家工作会。在规划纲要及草案的编制阶段，遇到生态环境相关重大问题，如水资源保护、禁止（限制）开发区划定等问题时，两个工作团队联合召开专家会，会同相关领域专家对这些问题进行协商论证。

(3) 规划报批。在城市总体规划的报批过程中，规划审查人员可以参考同期进行的生态环境规划对总规进行技术审查和审批。

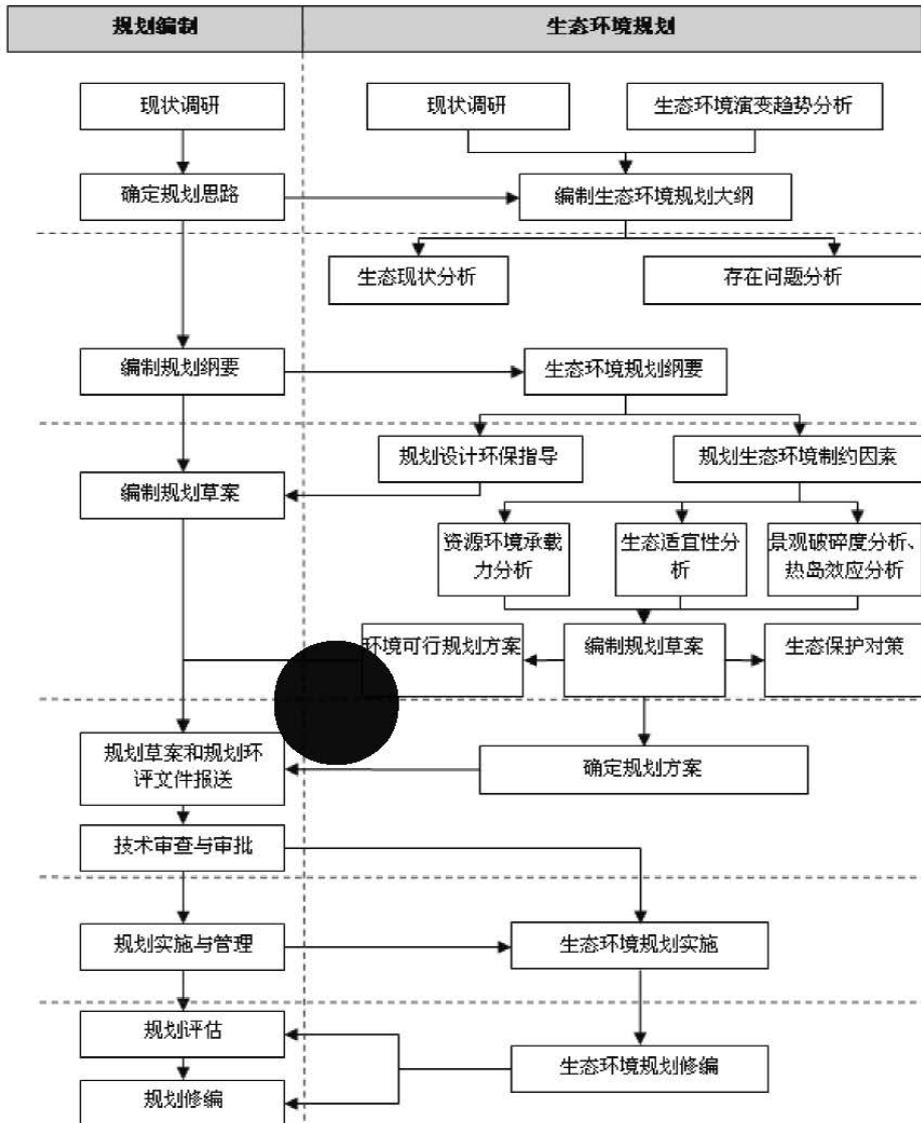


图3 城市总体规划与生态环境规划的衔接示意

5.3 城市详细规划阶段

控制性详规可以更有力地将总规和生态环境规划的要求落实在具体建设过程中,是生态环境规划实施的有力保障。此阶段二者的融合主要体现在以下两个方面:

(1) 对地块、街区的详细规划需要体现生态环境规划对本地区功能的要求,例如生态敏感区不得作为二类工业用地等,以及保证适宜的绿化用地等总量性约束。

(2) 对某地区的详规要结合环境保护基础设施建设规模的需要。例如对某区进行详细规划时,需要根据地区产业结构、规模,人口规模约定用水和污水产生量,结合生态环境规划中要求的地区污水集中处理率的要求规划,明确污水处理设施的规模及位置。

6 结论

本研究在研究过程中,筛选出来的均是得到较多应用的方法,通过这些分析,可以将生态环境规划更好地融入到城市规划的编制过程中。在实际工作中,应结合研究对象的范围以及城市规划编制的需求,选择适合的工作方法,在规划编制之初充分考虑区域生态环境本底、生态环境制约因素和资源环境禀赋,分析区域所能承载的人口、经济规模,研究区域最适宜的发展方向,突出城市特色,提升城市发展的竞争力,保护区域的生态环境,促进区域社会、经济和环境的协调发展。

参考文献

- [1] 高娟,吕斌.“生态规划”理论在城市总体规划中的实践应用——以唐山市新城城市总体规划为例[J].城市发展研究,2009,16(2):1-5.
- [2] 郭怀成,尚金城,张天柱.环境规划学[M].北京:高等教育出版社,2001.41-45.
- [3] 彭奕华.复合型生态社区城市设计探讨——以上海市崇明岛国际实验生态社区为例.规划师,上海现代规划院专刊,2012,28:15-19.
- [4] 沈清基.城市生态规划若干重要议题思考[J].城市规划学刊,2009,(2):23-30.
- [5] 王骏骏,江滢,赵国庆,等.基于GIS的用地适宜性评价方法及应用——以新加坡怀化生态工业园概念规划为例[J].规划师,2011,27(4):52-56.

- [6] 王如松,刘晶茹.城市生态与生态人居建设[J].现代城市研究,2010,(3):28-31.
- [7] 徐东.关于中国现行规划体系的思考[J].经济问题探索,2008,10(10):181-185
- [8] 叶祖达.低碳生态空间:跨维度规划的再思考[M].大连:大连理工大学出版社,2011.
- [9] 俞孔坚,李迪华,刘海龙.“反规划”途径[M].北京:中国建筑工业出版社,2005.
- [10] 张泉,叶兴平.城市生态规划研究动态与展望[J].城市规划,2009,33(7):51-58.

大跨度楼盖运动场内人员舒适度实测分析研究

■ 马伯涛 宋毛毛 王明珠 葛家琪 「结构」

摘要: 本文提出采用现场振动实测与调查问卷相结合的方法研究人员舒适度问题。以伊金霍洛旗全民健身活动中心大跨度楼盖运动场为工程背景,在建筑装修前和装修后对该楼盖进行详细的现场振动实测,明确其动力特性参数;在建筑装修后的运营阶段,进行正常使用状态(篮球训练)下的现场振动测试,同时对运动员、教练员、观众发放调查问卷记录其舒适度。以北京交通大学体育馆篮球比赛作为相似案例,进行现场振动测试和调查问卷。研究得出:木地板装修层对振动量值有很大影响,但不会对人员舒适度有较大影响;大跨度楼盖虽然卓越频率在2~3Hz,但是经合理设计也能满足人员舒适度控制要求。本文以实测数据为体育馆内运动员及观众舒适度评价提供了参考。

关键词: 舒适度;大跨度楼盖运动场;现场实测;调查问卷

0 引言

近年来,多层大跨(悬挑)空间结构越来越多被城市所应用,如CCTV新塔楼、深圳证交所塔楼等以办公为主的高层异形建筑和不胜枚举的会展类建筑,跨度(悬挑)动辄超30m;更有甚者,如伊金霍洛旗全民健身中心、北京大学附属小学等多层体育建筑,出现了在40m跨度楼层上设置运动场的情况^[1]。楼层(楼盖)结构跨度增大必然会使结构竖向自振频率降低,进而易与人步行或其他运动(跑步、跳跃、比赛运动等)频率发生共振,致使楼层结构振动超出人能够接受的程度。

关于人员舒适度的评价,我国《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ3-2010,简称《规程》)参考美国应用技术委员会1999年颁布的设计指南1(ATC Design Guide 1)“减小楼盖振动”(Minimizing Floor Vibration)及ISO2631-2

(1989),提出了楼盖竖向振动所致人员舒适度的控制指标,具有重大意义。《规程》提出,对于竖向舒适度,钢筋混凝土楼盖结构竖向频率不宜小于3Hz;对于结构形式复杂的楼盖结构,宜采用振动峰值加速度对舒适度进行控制及评价,竖向振动最大加速度 a_{max} 不应超过表1限值。

表1 楼盖竖向振动加速度限值(JGJ3-2010)

人员活动环境	峰值加速度限值(mm/s ²)	
	f不大于2Hz	f不小于4Hz
住宅、办公	70	50
商场及室内连廊	220	150

注:f为楼盖竖向自振频率;当f处于2~4Hz之间时,按表中数值线性插值。

但是,首先,人员舒适度与人的坐立姿态(坐、立、躺等)、工作状态(休息、办公、闲逛、运动等)、人种与身体状态等诸多因素相关,人员舒适度控制指标显然简单不能通过理论与试验获得,应该针对不同运动状态的人群进行

作者简介:马伯涛,男,高级工程师,2009年毕业于哈尔滨工业大学结构工程专业,现就职于中航规划设计技术研究院。

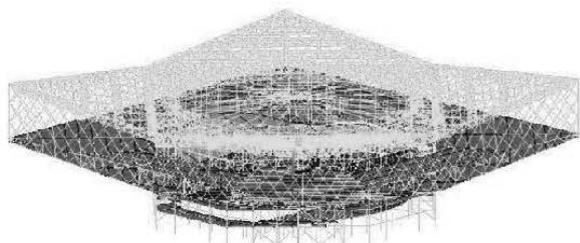
大量现场调研来确定；比如运动场中，运动员和场边观众的舒适度就应采取不同的评价指标，目前国内外这方面的研究还不够完善^[2,3]。其次，由于人员荷载的多样性，《规程》尚没有明确给出有限元时程分析所应采取的各类人员荷载模型，也未给出建筑装修对人员荷载的衰减作用。因此，大跨度楼盖结构，尤其是多层运动场建筑，如何预测与评价运动员和现场观众的舒适度尚需以大量的工程现场实测及舒适度调研为依据。

本文以伊金霍洛旗全民健身体育活动中心工程为背景，对首层球场自振特性、模拟激励荷载下振动和比赛现场进行振动实测，采用现场振动实测与涉及人员的舒适度调查问卷相结合的方法，对运动员和观众的舒适度进行评价研究，为后续相似工程和规范编制提供参考。

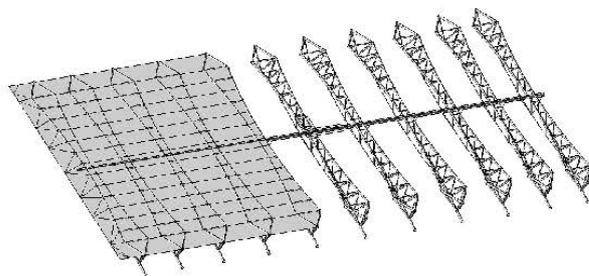
伊金霍洛旗全民健身体育活动中心工程总高度约30m，结构外形总体呈下部楼层收进、上部大悬挑形状，地下设置游泳池，形成大空间结构。游泳池正上方为首层运动场，用于篮球比赛和羽毛球比赛等；该层采用大跨度张弦梁楼盖体系，短向跨度约40m。楼盖梁板结构尺寸见文献^[4]。建成后建筑如图1所示，结构整体模型和首层球场结构如图2所示。如此大跨度的楼盖结构上设置运动场，运动人员及场边观众舒适性需进行详细研究。



图1 建筑建成后照片



(a) 整体结构模型



(b) 楼盖结构模型

图2 工程结构模型

1 大跨度楼盖动力参数实测分析研究

为充分了解大跨度楼盖在人员运动激励下的动力响应，为新建场馆大跨度楼盖振动舒适度预测提供技术参考，本章以具体工程为案例，对各种假设工况下大跨度张弦梁楼盖（运动场）进行振动加速度实测。

针对工程装修竣工前（即结构专业完成、但建筑装饰尚未开始的时刻，简称：竣工前）和装修竣工后（简称：竣工后）分别进行现场实测，测点布置于张弦梁楼盖篮球场及周边区域，如图3中纵横轴线交点所示。其中，南北方向5行，分别位于场地中心和南北两侧各5m、10m处，东西方向9列，分别位于5轴至13轴。

1.1 场地脉动测试

在无显著外界激励的条件下，测量体育馆大跨度楼盖的振动状态，分析其在地脉动下的振动响应和频谱成份。测试分别在工程竣工前和竣工后

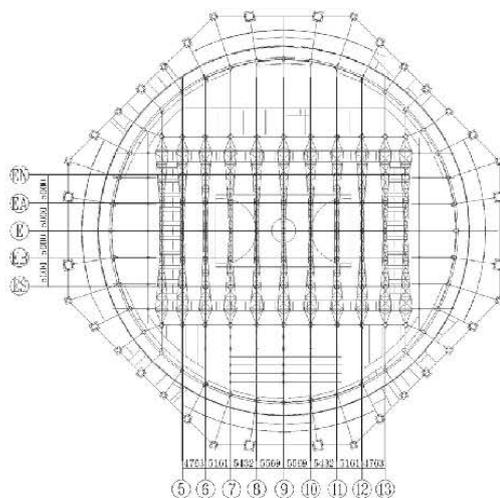


图3 测点图示

行,以对比场内装修对振动响应的影响。由于测试中不可避免掺杂偶然因素影响,分析时选取了其中60s影响相对较小的时段,由于各加速度峰值存在无代表性的孤立峰值,为减小孤立峰值对结果的影响,以有效值作为振动状态的评价指标。多次测量结果显示,竣工前楼盖测点东西向、南北向及竖向加速度平均有效值分别为 0.21mm/s^2 、 0.24mm/s^2 和 0.12mm/s^2 ;竣工后楼盖测点三向加速度平均有效值分别为 0.97mm/s^2 、 0.65mm/s^2 和 0.72mm/s^2 ,较竣工前有所增加。竣工前主场地可测到2~3Hz的结构自振频率,竣工后由于场地装修,频谱成份更为复杂,多为测点局部地板的振动频率。

竣工前看台测点东西向、南北向及竖向加速度平均有效值分别为 0.26mm/s^2 、 0.15mm/s^2 和 0.13mm/s^2 ;竣工后看台测点三向加速度平均有效值分别为 0.34mm/s^2 、 0.42mm/s^2 和 0.38mm/s^2 ,较竣工前增加。竣工前后测试中看台测点均包含3Hz、10Hz及18Hz卓越频率,比竣工前复杂。

由楼盖上运动场地的脉动测试可见,建筑装修后地板对楼盖振动特性有影响;尤其是在架空木地板的大跨度楼盖运动场上,分析预测人员舒适度时宜考虑建筑装修层的影响。

1.2 张弦梁振动传递测试

张弦梁是本文选定大跨度楼盖工程案例的主受力构件。敲击张弦梁对应位置的楼板顶面上的点,测量张弦梁其他位置点振动幅值与敲击点振动幅值的比值及频域传递关系。为降低楼面装修层对主受力结构构件振动实测结果的影响,该实测在工程竣工前进行。

试验中,敲击E9点(即:图3中E轴与9轴的交点),测量点为EA9及EN9。三次敲击中,振动加速度峰值对比见表2,可知敲击所致振动从距敲击点5m处沿张弦梁传递至距敲击点10m处,振动加速度峰值衰减至92.3%。从频谱成份看,EA9及EN9点均包含3Hz、10Hz、18Hz左右的卓越频率,为张弦梁的自振频率。

表2 测量点竖向加速度对比

	第1次敲	第2次敲	第3次敲	平均
EN9/(mm/s^2)	176.78	171.95	183.75	—
EA9/(mm/s^2)	188.02	193.89	192.36	—
EN9/EA9比值	0.94	0.89	0.96	0.93

1.3 场地内人行激励测试

在建筑装修前的裸露楼板上进行人员激励荷载振动测试。测试人员在体育馆地面上走、跑激励,测量附近测点的振动加速度幅值及频谱成份。试验中,测点位于E5点,采取三种激励方式:(1)三人同步在E6-E8间依次跑步行进;(2)三人同步在E8-E6间正步行进;(3)三人同步在EA6-EB6间正步行进。三人体重分别为63kg、66kg、119kg。

各测次三方向加速度幅值对比见表3。由测试结果可知,三种激励方式下,跑步激励产生的竖向加速度响应最大,而正步激励产生的横向加速度响应较大。测点处三方向最大加速度响应依次为 21.09mm/s^2 、 22.67mm/s^2 及 134.14mm/s^2 ,三种激励下均不大于 150.00mm/s^2 。由频域分析可知,各频谱图中均包含2~3Hz、10Hz的卓越频率,为测点E5处张弦梁的自振频率。

表3 测量点振动加速度对比(单位: mm/s^2)

激励方式	径向	切向	竖向
E8-E6间跑步	14.57	8.51	134.14
E8-E6间正步走	17.36	12.91	59.89
EA8-EA6间正步走	21.09	22.67	86.79

1.4 看台振动测试

多人在体育馆运动场中央跳跃,测量体育馆看台的加速度幅值及频谱成份。为对比体育馆装修、尤其是看台座椅安装对看台振动的影响,看台冲击测试分别在体育馆竣工前和竣工后进行。竣工前,参与跳跃激励的共计4人,总体重为289kg;竣工后,参与跳跃激励的共计10人,总体重为663kg。各次试验激励点均在E9附近。每次测试中人员跳跃三次,在四侧看台测点上测量振动加速度,并将三次测试结果取平均。各次跳跃产生的看台振动加速度最大值见表4。

由测量结果知,竣工前四侧看台上东西向、南北向及竖向振动加速度分别为 50.53mm/s^2 、 22.33mm/s^2 和 19.04mm/s^2 ;竣工后四侧看台上东西向、南北向及竖向振动加速度分别为 8.35mm/s^2 、 8.21mm/s^2 和 12.32mm/s^2 ;若将竣工后激励荷载(人员总重)按线性等效成与竣工前一致,四侧看台上东西向、南北向及竖向振动加速度分别为 3.64mm/s^2 、 3.58mm/s^2 、 5.37mm/s^2 。由于主

表4 看台测量点振动加速度 (单位: mm/s²)

施工状态	测点位置	振动方向		
		东西	南北	竖向
竣工前	北看台	14.30	12.45	9.98
	东看台	13.49	18.12	19.04
	南看台	50.53	22.33	10.23
	西看台	8.25	17.96	14.07
竣工后	北看台	4.22	8.17	7.84
	东看台	8.35	2.53	12.32
	南看台	2.52	8.21	6.73
	西看台	6.24	2.99	12.07

场地地面装修,竣工后从主场地传递至看台的水平振动减少到竣工前的1/6~1/14,竖向振动减少到竣工前的1/3。在频域方面,竣工前、后均包含3Hz、18Hz卓越频率成份;此外,竣工后的测试信号中,还包含10Hz左右的卓越频率成份,这些频率为看台支撑结构的自振频率。

2 振动实测分析研究

建筑内人员舒适度与建筑的振动量值和建筑结构动力特性相关。本章通过调查问卷与振动实测相结合的方式,研究建筑振动与人员舒适度的对应关系,为人员舒适度评价提供参考。

2.1 竣工后现场振动实测

针对建筑装修竣工后运营阶段场地进行测试。多名测试者在体育馆场地内进行篮球训练,测量场地及看台的振动状态,以分析体育馆正常使用时,上述位置的振动性能。测试时20~30名运动员在场地进行篮球训练,测点位置包括场地测点ES9、ES5、E5、EN5、EN9、EN13、E13、ES13,及东、南、西、北四侧看台的测点。

由实测结果知,篮球训练中场地周边(场地周边约4m范围左右,见图3)实测振动三方向(东西向、南北向和竖向)加速度最大值分别达到3200mm/s²、3100mm/s²和7400mm/s²。由于试验中测点布置在了木地板上,测得振动包括激励引起的地板局部振动,振型参与质量很小,此数值并不能直接反映体育馆场地整体的振动状态,且由于人员运动中会进入某传感器临近区域,各加速度峰值存在较多偶然因素,故不能以上述加

速度峰值评价人员舒适度,宜以有效值作为振动状态的评价指标。由以上测量结果可见,各场地测点东西、南北及竖向加速度平均有效值分别为59mm/s²、59mm/s²和61mm/s²,均不大于150mm/s²。

四侧看台各测点三向(东西向、南北向及竖向)加速度峰值分别为15mm/s²、32mm/s²和21mm/s²,平均有效值依次为1.6mm/s²、1.6mm/s²和1.9mm/s²。参考美国ATC发布的“减小楼盖振动”设计指南中的建议:为满足舒适度要求,医院手术室、住宅及办公室、商场、室外人行天桥等不同环境下楼板的振动加速度峰值限值分别为:25mm/s²、50mm/s²、150mm/s²和500mm/s²。因此,体育馆正常使用状态下,由场地内运动引起的看台振动介于医院手术室和住宅的振动标准之间。

场地各测点所测得的振动包括频率较高的测点临近局部振动及频率较低的体育馆结构整体振动。为进一步研究体育馆使用状态下的整体振动,将以上各测点分别以80Hz和20Hz低通滤波,通过滤波后场地各测点三方向加速度峰值及有效值,见表5、表6。看台测点的振动量值低于50mm/s²,振动较小。

由上述滤波后的振动加速度峰值及有效值可见,体育馆使用状态下测点以20Hz以上的局部振动为主。经20Hz低通滤波之后,三方向加速度最大值分别为200mm/s²、60mm/s²、550mm/s²,超出“减小楼盖振动”设计指南中关于室外人行天桥振动加速度峰值(500mm/s²)的建议。但是,20Hz低通滤波情况下,仅仅在E13点竖向振动达到550mm/s²的振动量值,其他点均低于100mm/s²;E13点的振动量值呈现较大奇异性,不排除测试出现错误,或因测点周边低频走动所致。

通过对振动频域分析,张弦梁自振频率在2Hz左右,看台支撑结构自振频率约为3Hz,主场地还存在40Hz、80Hz为主的卓越频段,看台亦存在80Hz为主的卓越频段,这些高频成份为测点处的局部振动频率。

2.2 对比工程振动实测

伊金霍洛旗全民健身体育活动中心工程竣工后的结构振动实测显示,在场地内进行篮球训练时,场地地板个别竖向加速度峰值超过7000mm/s²。为进一步评估上述数值是否由于大跨度楼盖引起,是否已显著影响体育馆的使用功能,课题组在北京交

表5 篮球训练时场地测点振动加速度 (80Hz低通滤波)

测点	峰值/(mm/s ²)			有效值/(mm/s ²)		
	东西向	南北向	竖向	东西向	南北向	竖向
ES9	699.803	1687.99	3295.76	57.12	95.38	119.93
ES5	110.35	382.65	273.79	18.96	52.82	33.03
E5	257.01	290.45	838.81	19.92	38.37	51.94
EN5	139.84	342.22	289.70	14.03	35.82	26.94
EN9	490.54	1678.16	1357.19	20.14	66.54	64.13
EN13	174.54	120.15	263.79	21.57	19.88	22.18
E13	1900.09	2596.98	7209.41	25.78	54.57	84.03
ES13	869.66	1155.97	2143.47	24.52	42.41	45.08

表6 篮球训练时场地测点振动加速度 (20Hz低通滤波)

测点	峰值/(mm/s ²)			有效值/(mm/s ²)		
	东西向	南北向	竖向	东西向	南北向	竖向
ES9	24.70	21.56	71.36	1.24	1.92	17.54
ES5	6.11	12.08	55.42	1.30	0.85	13.87
E5	9.95	4.73	99.83	1.87	0.65	24.71
EN5	8.08	5.21	60.03	0.99	1.23	15.75
EN9	3.89	8.78	86.61	0.71	1.00	15.79
EN13	7.71	7.04	50.16	0.56	0.99	12.15
E13	197.22	55.99	553.33	5.55	1.62	22.53
ES13	40.57	45.24	40.78	0.85	1.83	8.67

通大学体育馆(篮球场位于首层,无地下室,与本工程采用相似的架空木地板装修,符合篮球场木地板相关要求)进行了补充振动测试,测试内容主要包括:人员带球跑振动效应测试,场地正常使用状态振动测试及远场振动效应对比测试。

体育馆测试在以下各点进行:场地周边点,场地中点;西半场三分线顶点;测点示意图4。

带球跑所致振动效应测试中,受试者以相同

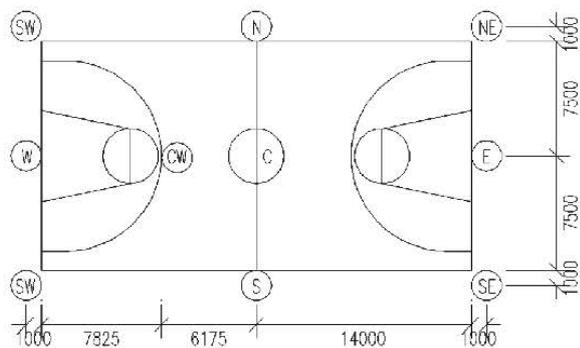


图4 北交大篮球场测点图示(单位mm)

速度跑步时,带球跑动所致N点三方向振动加速度幅值为不带球跑步的3.5~4.5倍,引起该现象的原因在于带球跑时球与木地板的短接触引起的振动比跑步引起的振动更容易通过地板传播至观测点,因此,拍球动作造成了一系列地板振动的较大峰值,不应认为带球跑对体育馆结构的输入振动能量是不带球跑的数倍。

场地正常使用状态振动测试中,在场地东西半场分别进行3V3制篮球比赛,共12人参加。依次测试了N、NE、E、SE、S、SW、W、NW点的三方向加速度,每点测量150s。通过对测试结果进行分析,测试结果与伊旗体育中心测试相似,经20Hz低通滤波后,测点各方向的加速度幅值均大幅度减小。可认为进行20Hz低通滤波后的加速度为体育馆结构的振动,三方向振动加速度全时段最大值依次为76mm/s²、86mm/s²、129mm/s²。

人对体育馆场地减振效应测试中,在东半场进行3V3制篮球比赛,记录测点C处的三方向振动加速度。为研究人对体育馆场地的减振效应,试验

分两次进行,第一次测量时,传感器周围无人,第二次测量时,传感器周围站立11人,两次测量中的加速度全时段峰值及5s平均最大值见表7。

表7 人对体育馆场地减振效应测试结果(单位: mm/s²)

工况	全时段峰值			5s平均最大值		
	东西	南北	竖向	东西	南北	竖向
无人	1147	923	1849	75.5	76.2	105.7
有人	725	665	1512	57.3	74.9	85.0

由上表可见,有人站立在传感器周围时,三方向振动加速度较无人站立时减小2%至37%,能够在一定程度上降低地板面层局部振动。在频域上,多数测量结果中含有70~90Hz卓越成份,此为体育馆装修木地板的局部振动频率。

3 场地振动舒适度问卷调研

人的年龄、性别在建筑中的运动状态形式以及结构自身的动力特性以及不同年龄、不同状况的人对振动的不同反应等都会影响到人对振动的主观接受程度。因此,在完成伊金霍洛旗全民健身体育活动中心工程及北京交通大学体育馆动力测试的同时,本文进行了运动场地内及场地周边人员振动舒适度调查分析。为保证本次调查的可信度和准确度,调查采用现场随机选择调查对象,非导向性提问并现场记录。调查对象涵盖了运动员、运动员教练、体育馆工作人员及现场观众,基本包括了参与人员的各种类别,因此,他们的意见在总体上可以代表体育馆内群体。调查时同时记录调查对象的年龄、性别、身高、体重、测点位置及基本状态(包括是否闭眼、捂耳及坐立姿势)。

3.1 伊旗体育中心舒适度调研

本次调查共计15人,分布在6个测点位置,分别为S7、S9、S13、N9、N13和A5,所有被调查对象中站立姿势的有9人,占60%,其他40%就地坐下,所有人员中80%没有闭眼和捂耳。调查问卷结果见表8。

调查结果显示,33.33%的被调查对象认为振动不可接受,这些(振动不可接受)对象的年龄分别为14岁、15岁、24岁、28岁和36岁,其中运动员

表8 伊旗场地振动舒适度问卷调查统计表

序号	年龄	性别	身高	体重	闭眼捂耳	姿态	测点	接受
1	36	男	176	90	否	立	S9	否
2	34	男	180	52	否	立	S9	是
3	18	女	180	69	否	坐	S13	是
4	15	女	175	44	否	坐	S13	是
5	18	女	180	60	是	坐	S13	是
6	15	女	177	75	是	坐	S13	否
7	50	男	162	55	否	立	S7	是
8	26	男	173	60	否	立	S7	是
9	24	男	184	69	是	坐	A5	否
10	18	女	175	60	否	立	N9	是
11	39	女	169	69	否	立	N9	是
12	15	女	170	60	否	立	N13	是
13	14	女	170	50	否	立	N13	否
14	14	女	172	50	否	立	C13	是
15	28	男	169	60	否	坐	S13	否

2名,场地保洁人员1名,场边观众2名。其他人员均认为场地振动可以接受。从认为不可接受的人员分析来看,2名运动员(序号6、13)年龄较小,对振动感受较为敏感;场地保洁人员(序号1)因刚从安静的区域进入运动场地工作,与之前的工作环境形成反差,感觉较为强烈;而另外2名观众(序号9、15)均处于场地内而非看台座位,可能从真实观众角度来讲,感受到的振动相对较大。5名感到振动不可接受人员有3位为坐姿(体育馆运营过程中此情况不会出现),对振动的感受相对更加强烈;两名运动员感觉不舒适的时刻恰好出现在带球至球场中央处,初步判断可能由于当时建筑索穹顶声学处理欠妥,出现了较大混响回声所致。在所有认为振动可以接受的人员中,运动员表示与其他场地振动感觉较为相似,无特殊强烈振感。从调查结果整体来看,该体育中心主场地在正常使用时,运动员及场地周边人员基本没有产生强烈的不适,也没有影响其各自正常的行为。

3.2 北京交通大学体育馆舒适度调研

本次调查共计17人,调查结果见表9。从调查结果来看,全部被调查对象认为振动可接受。因此,体育场在正常使用时,运动员及场地周边人员没有产生强烈的不适,也没有影响其各自正常的行为。

表9 北交大场地振动舒适度问卷调查统计表

序号	年龄	性别	身高	体重	闭眼捂耳	姿态	测点	接受
1	25	男	176	71	否	立	西半场	是
2	24	男	172	80	否	立		是
3	24	男	175	72	否	立		是
4	25	男	175	66	否	立		是
5	24	男	170	60	否	立		是
6	24	男	185	75	否	立		是
7	24	男	184	75	否	立	S点	是
8	24	男	178	75	否	立	东半场	是
9	24	男	183	85	否	立		是
10	24	男	178	70	否	立		是
11	24	男	172	65	否	立		是
12	24	男	173	65	否	立		是
13	23	男	175	72	否	立		是
14	24	男	175	75	否	立	西半场	是
15	24	男	170	70	否	立		是
16	24	男	175	72	否	立		是
17	23	男	169	65	否	立		是

注：“测点”位置见图4，其中B、S、W、N分别表示东、南、西、北。

4 结论

本文对伊金霍洛旗全民健身中心装修前后现场测试及北京交通大学体育馆对比工程进行了现场振动实测，尽可能详细地公开了振动实测结果和对应振动量值下各类人员的舒适度调查问卷结果，针对案例工程分析研究提出如下结论与建议：

(1) 通过对装修前后大跨度楼盖进行现场实测分析研究，得到了该大跨度楼盖详细的动力参数，便于指导后续相似工程进行振动预测；

(2) 根据装修前后大跨度楼盖现场实测以及装修后使用状态振动测试可知，木地板对振动量值有很大影响，但由于其振型参与质量很小，不会对人员舒适度有较大影响；

(3) 两场地对比实测和现场舒适度调查问卷结果显示，实际比赛中运动场地振动不会对运动员的发挥产生不利影响，且运动场的正常使用（比赛等活动）不会使运动场边人员及看台观众感觉不舒服。

本文仅对个别工程案例进行了实测和调查问卷研究，并不能涵盖所有工程情况，后续有待进一步丰富工程数据；如何精确考虑装修木地板与裸露楼板之间的共同作用及相干性，以及装修地板对结构振动的影响等问题，有待进一步深入研究。

参考文献

- [1] 王树, 王明珠, 张国军, 等. 多层大悬挑钢结构体系静力与抗震性能设计[J]. 建筑结构学报. 2012, 33(4): 77-86. (WANG Shu, WANG Mingzhu, ZHANG Guojun, et al. Study on static and seismic performance of multi-floor steel cantilevered structure[J]. Journal of Building Structures. 2012, 33(4): 77-86. (in Chinese))
- [2] B. Elks, T. Ji. Human-structure interaction in vertical vibrations. Structures and Buildings, 1997, 122(1): 1-9
- [3] 李泉, 樊健生, 聂建国. 人群节律性运动下大跨楼盖的随机振动问题研究[J]. 振动与冲击, 2012, 31(24): 9-15(LI Quan, FAN Jiansheng, NIE Jianguo. Stochastic vibration of a long-span floor under crowd-induced rhythmic excitation[J]. Journal of Vibration and Shock, 2012, 31(24): 9-15. (in Chinese))
- [4] 马伯涛, 杨国莉, 庞玉涛, 等. 大跨度及长悬挑楼层钢结构运动场人员舒适度分析研究[J]. 建筑结构学报. 2012, 33(4): 95-103. (MA Botao, YANG Guoli, PANG Yutao, et al. Study on comfort analysis of sport field structure with large-span and cantilevered steel floor[J]. Journal of Building Structures. 2012, 33(4): 95-103. (in Chinese))
- [5] 申选召, 滕军. 基于随机步行荷载和烦恼率的楼板振动舒适度评价方法研究[J]. 振动与冲击. 2012, 31(22): 71-75. (SHEN Xuanzhao, TENG Jun. Vibration serviceability assessment method for floor structures based on random walking force and annoyance rate[J]. Journal of Vibration and Shock, 2012, 31(22): 71-75. (in Chinese))
- [6] 谢伟平, 洪文林, 李霆. 某体育馆楼板振动舒适度研究[J]. 噪声与振动控制. 2010, 30(2): 80-84. (XIE Weiping, HONG Wenlin, LI Qing. Study on Comfortableness of a Gymnasium under the Condition of Floor Vibration[J]. NOISE AND VIBRATION CONTROL. 2010, 30(2): 80-84. (in Chinese))
- [7] 吕西林, 丁鲲, 施卫星, 翁大根. 上海世博文化中心TMD减轻人致振动分析与实测研究[J]. 振动与冲击. 2012, 31(2): 32-37. (L(U) Xilin, DING Kun, SHI Weixing, WENG Dagen. Analysis and field test for human-induced vibration reduction with TMD in Shanghai EXPO culture center[J]. Journal of Vibration and Shock, 2012, 31(2): 32-37. (in Chinese))

索穹顶与外围大悬挑组合结构体系分析

■ 张国军 管志忠 葛家琪 王明珠 「结构」

摘要: 索穹顶与外围大悬挑组合结构体系是一种受力合理、结构体系自身平衡的新型大跨空间结构体系。本文为研究这种新型空间结构体系在位移控制, 内力分布, 用钢量等合理性、经济性指标方面的特点, 在Midas中分别建立索穹顶与外围大悬挑组合结构体系、单层球面网壳与外围大悬挑组合结构体系、弦支穹顶与外围大悬挑组合结构体系有限元模型, 对上述指标进行对比分析。分析结果表明索穹顶与外围大悬挑组合结构体系由于结构内部自平衡, 在位移、内力、用钢量指标上相对于传统刚性结构具有明显优势。

关键词: 索穹顶; 大悬挑; 单层球面网壳; 弦支穹顶; 静力; 用钢量

0 引言

大跨度钢结构以其丰富的建筑表现力、宽敞的使用空间、较短的施工周期等优势, 得到了广泛的研究与应用, 但建筑形式为上部大悬挑、下部收进的结构体系却始终是大跨度钢结构领域中的难点。由于外围大悬挑结构会在屋盖顶部产生巨大的拉力, 若采用传统的钢结构形式, 建筑内部的使用空间必然会被复杂结构杆件过多占用, 从而失去大跨度钢结构的建筑内部大空间优势。

为保证建筑内部空间的需求和结构受力的合理性, 对称的外围大悬挑结构通常会在结构内部设置受拉环梁或环桁架(图1), 通过环梁或环桁架来平衡悬挑部分在结构屋盖顶部产生巨大的拉力, 从而实现建筑内部无柱大空间。

而环桁架上部的屋盖形式可采用传统钢结构, 比如网壳、弦支穹顶等刚性屋盖, 也可采用

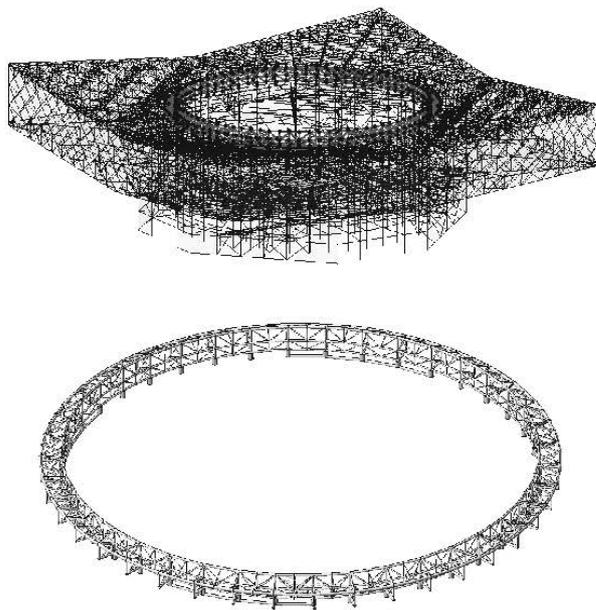


图1 大悬挑加环桁架示意图

索穹顶结构, 形成新型空间结构体系——索穹顶与外围大悬挑组合结构体系, 如图2所示。

作者简介: 张国军, 男, 高级工程师, 2006年毕业于北京工业大学结构工程专业, 现就职于中航规划工程技术研究院。

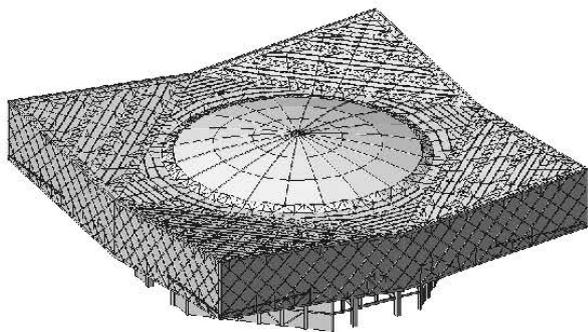


图2 索穹顶与外围大悬挑组合结构体系

索穹顶结构自身是一种高效的整体张拉结构，外围的脊索和斜索外端固定于外围环桁架，索体施加预应力后，环桁架内部产生压力，从而实现索穹顶自身的结构平衡^[1]。分析索穹顶结构和外围大悬挑结构各自受力特点，发现二者各自的受力特点恰好存在互补的可能，结合上述两种结构形式，形成索穹顶与外围大悬挑组合结构体系，结构剖面如图3所示。外围大悬挑结构部分在环桁架中产生环向拉力效应；索穹顶结构预应力张拉后，在环桁架中产生环向压力效应，拉力效应和压力效应相互抵消，实现了由索穹顶承受外围大悬挑拉力的受力状态，从而实现结构体系内部受力自身平衡。

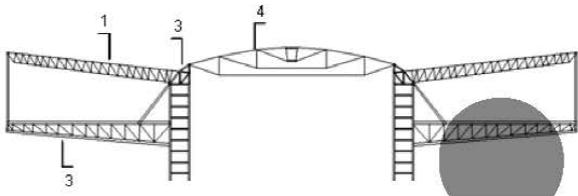


图3 索穹顶与外围大悬挑组合结构体系剖面图

注：1-悬挑结构上部结构，2-环桁架（或环梁），3-悬挑下部结构，4-索穹顶结构。

由于此新型空间结构形式复杂，目前国内外对此结构形式的研究较少，本文结合内蒙古伊旗全民健身体育中心工程，通过索穹顶与外围大悬挑组合结构体系和其他采用刚性屋面组合结构体系在位移、内力、用钢量等指标的对比，对该新型结构体系的特点进行研究，为工程结构选型提供理论依据。

1 工程概况

内蒙古伊旗全民健身体育中心工程采用索穹顶与外围大悬挑组合结构体系，结构外形总体呈下部楼层收进、上部楼层大悬挑形状(图4)。建筑总高度30m，建筑总面积为51200m²。地上一层平面呈八边形，最大尺寸为89m×89m；地上二层及以上楼层向外悬挑平面呈正方形，最大平面尺寸为120m×120m^[2-3]。

外围大悬挑结构体系由楼层悬挑结构及屋面悬挑结构两部分组成(图5)。大悬挑结构采用放射状分布大跨度钢管相贯桁架结构，承受地上二、三层荷载，悬挑桁架最大悬挑长度43m。屋盖中心为跨度为71.2m肋环形索穹顶结构，矢高5.5m。拉索系统由2圈环索、20道放射状脊索、60根径斜索、40根受压撑杆及中心拉力环组成。屋面大悬挑钢管桁架结构与索穹顶结构连接为整体结构，索穹顶结构有效平衡了屋面悬挑桁架产生的水平拉力，实现了结构自平衡的理想状态。



图4 内蒙古伊旗全民健身体育中心

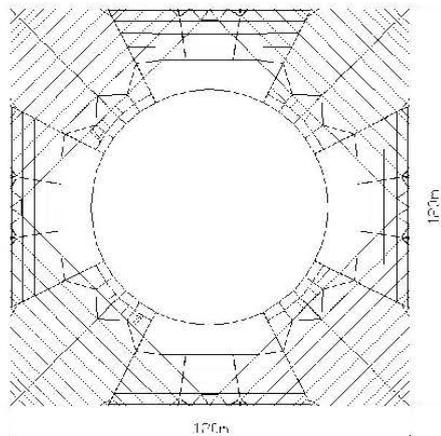


图5 2、3层楼面结构平面图

2 新型组合结构体系与传统结构体系对比

针对外围大悬挑和内部无柱大空间的建筑要求,选取索穹顶与外围大悬挑组合结构体系、单层球面网壳与外围大悬挑组合结构体系和弦支穹顶与外围大悬挑组合结构体系分别进行对比分析。

对比模型均以内蒙古伊旗全民健身体育中心工程为背景,其中模型1——索穹顶与外围大悬挑组合结构模型,为工程实际采用的计算模型;模型2——单层球面网壳与外围大悬挑组合结构,是在模型1的基础上用单层球面网壳对索穹顶部分进行替换,调整模型相关杆件所得;模型3——弦支穹顶与外围大悬挑结构,是在模型1的基础上用弦支穹顶对索穹顶部分进行替换,调整模型相关杆件所得。

由于组合结构体系中外围大悬挑结构部分整体性好、刚度大,而穹顶结构部分在整个组合结构体系中所占质量比和刚度贡献都较小,3个模型外围大悬挑部分保持统一,模型的整体结构动力特性相差较小。由于模型1为工程实际采用计算模型,故地震工况本文不予赘述,以下分析结果均基于静力计算所得。

2.1 计算模型

模型1为索穹顶与外围大悬挑组合结构体系模型,如图6所示。内部索穹顶结构部分计算跨度71.2m,矢高5.5m,矢跨比1/13,环向20等分,共设2道环索,中心设置拉力环,由内到外三圈撑杆的高度分别为5.3m, 5.8m, 6.8m,撑杆与索的连接点为铰接,索穹顶外层脊索和斜索铰支于外围刚性环桁架上。

模型2为单层球面网壳与外围大悬挑组合结构模型,如图7所示。单层球面网壳结构部分采用凯威特形单层球壳,计算跨度为71.2m,矢高15m,矢跨比1/4.75,球壳结构通过外围环向40个节点与边缘刚性环桁架固结。

模型3为弦支穹顶与外围大悬挑组合结构模型,如图8所示。弦支穹顶结构部分计算跨度71.2m,矢高6.3m,矢跨比1/11.3,共设3道环索,由内到外三层撑杆的高度分别为5m, 4.8m, 4.8m,撑杆与索之间铰接,穹顶结构固结于边缘刚性环桁架上。

2.2 荷载选取及组合

各个模型都基于实际工程,为保证结构对比分析的合理性,各个模型选取的荷载和荷载组合相同。

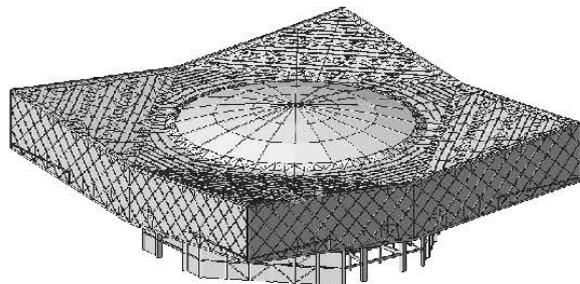


图6 索穹顶整体结构模型

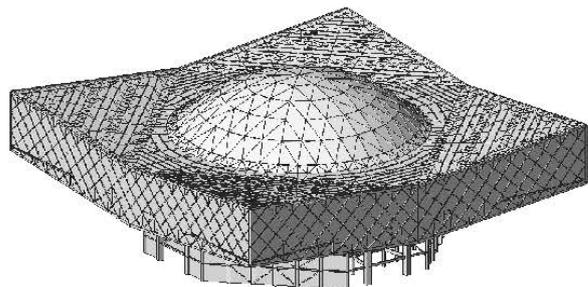


图7 单层球面网壳整体结构模型

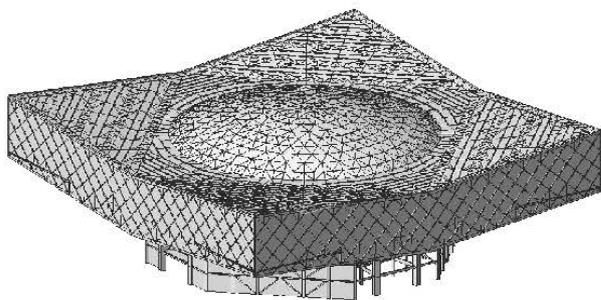


图8 弦支穹顶整体结构模型

实际工程位于内蒙古鄂尔多斯,考虑风荷载和雪荷载。为研究结构的静力性能,雪荷载在各个模型上均采用满布雪荷载;不同的穹顶结构矢跨比相差较大,风荷载相差较大,分别建立东南西北四个风荷载工况,在各个工况下根据穹顶的体型系数、高度系数施加风荷载。

2.3 三种穹顶结构受力分析

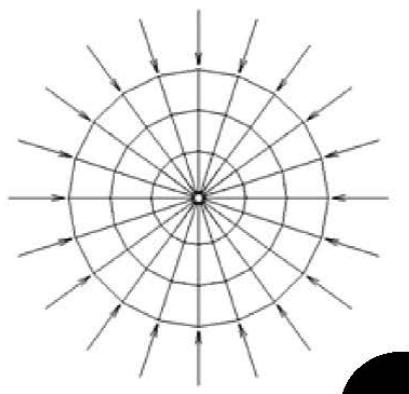
为明确三种不同的穹顶结构部分自身受力特点,以及外围大悬挑结构对环桁架部分作用,将模型1、2、3中穹顶结构部分及环桁架加外围大悬挑结构部分分别提取出来,单独建立模型,约束

模型边界节点三个平动自由度,施加与整体模型相同的荷载进行对比分析。为便于对比分析,荷载组合均采用D+L标准组合。索穹顶结构模型和弦支穹顶结构模型边界约束20个节点,而单层球面网壳结构模型和环桁架加外围大悬挑模型环桁架环向边界约束40个节点,对比边界节点受力应该在单层球面网壳和环桁架加外围大悬挑模型边界节点受力2倍的基础上进行。各结构部分边界节点受力见表1,水平方向受力示意图见图9。

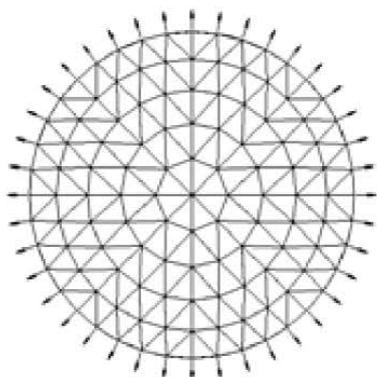
表1 各结构部分边界节点受力

穹顶类型	索穹顶	单层球面网壳	弦支穹顶	外围悬挑
水平径向节点力/ KN	1514.11	-230.00	731.81	5428.10
竖向节点力/ KN	149.87	321.82	373.82	/

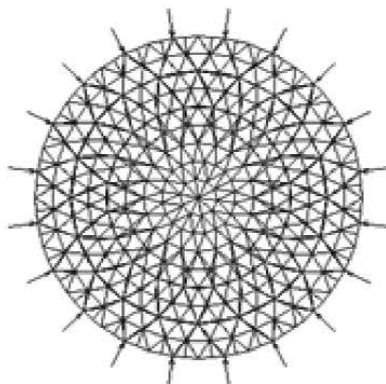
注:平均水平力径向向里为正,向外为负;平均竖向力向下为正,向上为负。



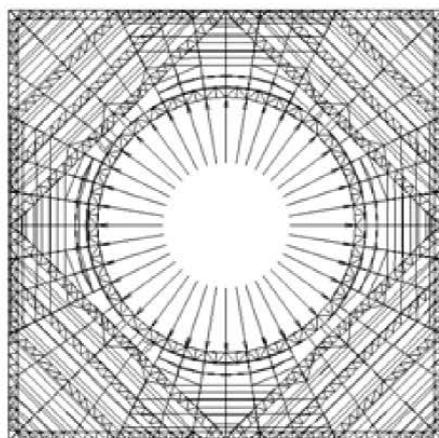
(a) 索穹顶结构边界节点受力



(b) 单层球面网壳结构边界节点受力



(c) 弦支穹顶结构边界节点受力



(d) 环桁架加外围大悬挑边界节点受力

图9 各结构部分边界节点水平方向受力示意图

分析表1可知:

(1) 索穹顶结构和弦支穹顶结构分别产生1514.11KN和731.81KN水平径向拉力,方向沿径向向里,说明索穹顶结构部分和弦支穹顶结构部分在组合结构体系中都会使环桁架产生环向压力;单层球面网壳结构产生-230.00KN水平径向推力,方向沿径向向外,说明单层球面网壳结构部分在组合结构体系中会使环桁架产生环向拉力;外围大悬挑在环桁架边界点上产生沿径向向外的5428.10KN,说明在组合结构体系中,外围大悬挑结构部分会使环桁架产生巨大的环向拉力。

(2) 在D+L标准组合下,索穹顶结构部分产生的水平径向拉力是弦支穹顶结构部分产生的水平径向拉力的2.07倍。弦支穹顶结构由上部刚性穹顶和下部预应力索结构组成,由于刚性穹顶的影响,索体预应力产生的水平径向拉力较小,而索穹顶结

构是高效的整体张拉结构,所以会产生远大于弦支穹顶的水平拉力,单层球面网壳由于自身刚性结构的属性,在荷载组合下产生径向向外的水平推力。就整体结构而言,索穹顶和外围大悬挑分别在环桁架上产生巨大的环向压力和环向拉力,形成了良好的自平衡结构体系;而弦支穹顶径向拉力较小,整体组合结构体系平衡效果不明显;单层球面网壳和外围大悬挑在环桁架中都会产生环向拉力,只能通过加强环桁架自身刚度来形成整体结构的平衡状态,受力相对不合理。

(3) 索穹顶结构、单层球面网壳结构、弦支穹顶结构的竖向边界节点力分别为149.87kN、321.82kN、373.82kN,均竖向向下。在跨度相同,荷载及组合相同情况下,索穹顶结构竖向边界节点力分别是单层球面网壳结构、弦支穹顶结构竖向反力的46.57%和40.01%,说明索穹顶在自重方面会远小于单层球面网壳结构和弦支穹顶结构。单层球面网壳和弦支穹顶矢跨比分别为1/4.75、1/11.3,单层球面网壳对应雪荷载分布系数相对较小,所以在标准组合下,单层球面网壳结构竖向边界节点力较小。

2.4 组合结构体系静力性能

为分析新型索穹顶组合结构体系相对于其他两种组合结构体系的特点,将实际工程荷载分别布置于模型1、2、3。分别在结构位移、结构内力分布、用钢量三个方面进行分析对比:

1) 结构位移

在对比的组合结构体系中,环桁架是平衡外围大悬挑屋盖顶部拉力和穹顶部分边界节点力的重要结构构件,环桁架的受力状态也是评价组合结构整体受力合理性的重要指标(组合结构体系构件示意图见图10)。对于组合结构体系模型1、2、3,环桁架变形越大,环桁架受拉力越大,结构受力越不合理。为比较各个模型环桁架的变形和大悬挑屋盖位移,在D+L标准组合下比较环桁架顶、中、底部三层环梁节点和外围大悬挑的水平方向位移和竖向位移。对比模型环桁架及大悬挑角点处平均位移见表2。

2) 结构构件承载性能及用钢量

对比的三个模型荷载及组合相同,但由于采用结构形式的差异,相同的荷载会在结构上产生不同的内力分布。分别提取结构中环桁架、大悬挑屋盖中杆件的构件荷载组合效应设计值与承载力设计值之比以及用钢量,进行比较分析(见表3、4、5)。

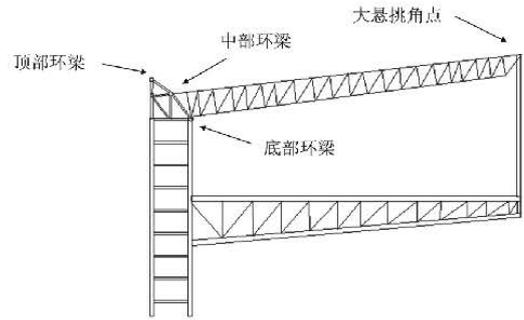


图10 组合结构体系构件示意图

表2 对比模型环桁架及大悬挑角点处平均位移

位移位置	模型	XY	Z
顶部环梁	模型1/mm	5.54	-6.05
	模型2/mm	14.95	-2.26
	模型3/mm	11.86	-3.64
中部环梁	模型1/mm	7.51	-2.27
	模型2/mm	14.34	-3.30
	模型3/mm	13.21	-1.87
底部环梁	模型1/mm	6.43	-4.83
	模型2/mm	10.46	-1.90
	模型3/mm	10.22	-2.57
大悬挑角点处	模型1/mm	45.82	-204.55
	模型2/mm	49.91	-214.08
	模型3/mm	49.23	-213.32

注:水平位移取径向向外为正,竖向位移取向上为正。

表3 各模型环桁架杆件应力比及用钢量对比

模型编号	1	2	3
用钢量/t	268.16	445.82	313.88
Case1 构件数量/ 所占比例	0/0.00%	0/0.00%	0/0.00%
Case2 构件数量/ 所占比例	6/0.57%	40/3.79%	0/0.00%
Case3 构件数量/ 所占比例	288/27.27%	309/29.26%	324/30.68%
Case4 构件数量/ 所占比例	762/72.16%	707/66.95%	732/69.32%

注:Case1、Case2、Case3、Case4的构件荷载组合效应设计值与承载力设计值之比分别为超过1.0, 0.85~1.0, 0.5~0.85和小于0.50。

表4 三种穹顶用钢量对比

穹顶类型		索穹顶	单层球面网壳	弦支穹顶
钢结构	总用量/ton	37.21	217.8	153.14
	单位用量/Kg/	9.31	42.08	38.46
索	总用量/ton	32.72	/	18.7
	单位用量/Kg/	8.19	/	4.70

表5 各模型大悬挑屋盖杆件应力比

模型编号	1	2	3
Case1 构件数量/ 所占比例	153/18.00%	166/19.69%	117/13.58%
Case2 构件数量/ 所占比例	275/32.35%	246/29.18%	287/33.29%
Case3 构件数量/ 所占比例	422/49.65%	431/51.13%	458/53.13%

注: Case1、Case2、Case3的构件荷载组合效应设计值与承载力设计值之比分别为0.6-0.85, 0.4-0.6和小于0.40。验算大悬挑屋盖为对称结构, 取1/8屋盖结果为对比对象。

模型1、2、3采用相同的外围大悬挑屋盖及下部结构, 但由于上部穹顶结构形式不同, 大悬挑屋盖及下部结构中内力分布不同。提取大悬挑屋盖的杆件, 进行构件荷载组合效应设计值与承载力设计值之比的对比。

分析表2-5可知:

(1) 模型1、2、3中环桁架各层环梁在D+L标准组合下均会沿径向向外扩大, 说明环桁架也沿径向向外扩大。环桁架顶部环梁是直接连接穹

顶结构部分和环桁架的结构构件, 在环桁架顶部环梁的位置上, 模型1中的环梁上节点水平面内平均位移5.54mm, 分别是模型2、3中的环梁上节点水平面内平均位移的37.06%和46.71%; 在环桁架中部环梁的位置, 模型1中的环梁上节点水平面内平均位移7.51mm, 分别是模型2、3中的环梁上节点水平面内平均位移的52.37%和56.85%; 在环桁架底部环梁的位置, 模型1中的环梁上节点水平面内平均位移6.43mm, 分别是模型2、3中的环梁上节点水平面内平均位移的61.47%和62.91%。说明模型1索穹顶与外围大悬挑组合结构体系中环桁架变形最小、受力最小, 索穹顶产生的预拉力和外围大悬挑产生的拉力相互抵消, 组合结构体系形成了自平衡状态, 结构受力相比于模型2、3更加合理。模型1中环桁架竖向变形相对较大, 主要是由于模型1环桁架顶部环梁造型与其他两模型造型不同所造成的, 对结构整体受力影响较小, 不予赘述。

(2) 在外围大悬挑角点位置上, 模型1中的大悬挑角点水平面内平均位移45.82mm, 相对于模型2、3分别减少8.93%和7.44%; 模型1中的大悬挑角点竖向平均位移204.55mm, 相对于模型2、3分别减少4.66%和4.29%。说明索穹顶对于外围大悬挑的变形控制也好于其他两种结构, 但由于外围大悬挑整体刚度大, 整体性好, 受内部环桁架变形影响较小, 所以模型1、2、3在大悬挑角点处位移差别较小。

(3) 模型1、2、3环桁架杆件的应力比在0.85-1.0、0.5-0.85、小于0.5各级应力比水平下分布基本一致, 并且没有应力比超过0.85的杆件, 说明三个模型中, 环桁架中的杆件应力比水平基本一致, 但模型2、3在用钢量指标上相对于模型1分别增加了66.25%和17.71%, 进一步说明索穹顶与外围大悬挑组合结构体系更加合理, 所以用钢量相对于其他两种组合结构形式有明显优势。

(4) 索穹顶由于大量采用索结构这种高效、合理的构件形式, 从而相比于单层球面网壳和弦支穹顶大大节省了用钢量。若不区分索和普通钢结构构件, 单位面积单层球面网壳和弦支穹顶用钢量分别是索穹顶的用钢量的311.45%和245.73%。

(5) 分别观察0.6-0.85, 0.4-0.6和小于0.4不同应力比水平的分布比例, 发现模型1、2、3中大悬挑屋盖的杆件的应力水平基本一致, 说明外围大悬挑结构部分自身整体性好, 刚度大, 因此

内部的环桁架的受力对外围大悬挑结构部分的影响有限。

综上所述,索穹顶与大悬挑屋盖结构相比于单层球面网壳与大悬挑屋盖结构和弦支穹顶与大悬挑屋盖结构,在环桁架上形成了内压外拉的受力状态,索穹顶和外围大悬挑部分相互平衡,整体结构形成内部自平衡,从而在结构的位移控制和用钢量上都有明显的优势。

3 结论

通过对索穹顶与外围大悬挑组合结构体系与单层球面网壳和弦支穹顶加外围大悬挑组合结构体系的对比分析,得到如下结论:

(1) 索穹顶结构和弦支穹顶结构,都会在外围环桁架中产生压力,但由于弦支穹顶受到了刚性壳结构的影响,压力效应远小于索穹顶;而单层球面网壳对外围环桁架产生水平拉力。外围大悬挑对环桁架中产生巨大的拉力。索穹顶与外围大悬挑组合结构体系中索穹顶和外围大悬挑在环桁架上产生的内力效应可以相互抵消,从而形成了结构内部自平衡,整体结构受力合理;在弦支穹顶模型中,弦支穹顶同样可以和外围大悬挑在环桁架中抵消部分内力,弦支穹顶预应力效应较弱,结构自平衡效果不明显;单层球面网壳模型中,单层球面网壳和外围大悬挑在环桁架中都产生拉力,进一步加大了环桁架的受力,整体结构受力不合理。

(2) 索穹顶与外围大悬挑组合结构体系相比于其他两种组合结构体系,受力更加合理,环桁架内力较小,从而索穹顶模型中环桁架用钢量相比于其他两个模型较小。索穹顶自身是连续张拉的受力状态,不涉及杆件的稳定问题,材料利用率远高于弦支穹顶和单层球面网壳,所以以健身体育中心工程为背景的情况下,索穹顶自身的用钢量也远小于单层球面网壳和弦支穹顶。

(3) 三种模型中外围大悬挑结构部分相同,内部穹顶部分和环桁架部分受力差别较大,但对外围大悬挑结构部分在位移、杆件应力比水平影响较小,说明外围大悬挑结构整体性好、刚度大,结构受力相对合理。

参考文献

[1] 张国军,葛家琪,王树,等.内蒙古全民健

身体育中心索 顶结构体系设计研究【J】.建筑结构学报,2012,33(4):12-22.

[2] 王树,王明珠,张国军,等.多层大悬挑钢结构体系静力与抗震性能设计【J】.建筑结构学报,2012,33(4):77-86.

[3] 杨维国,洪国松,王明珠,等.多层大悬挑钢结构施工全过程仿真分析研究【J】.建筑结构学报,2012,33(4):87-94.

国际工程风险分析与对策

■ 李锐娟 「工程造价」

摘要: 本文研究了国际工程在合同签订前和施工过程中总承包企业面临的风险,针对中国建筑企业无法在前期投入大量资源进行投标准备工作的现实,提出了应对风险的策略,即中标后签订合同前进行造价重测、工期重测、与当地公司组建联合体投标、签约时细化合同,以保障自己的权利。

关键词: 国际工程; 风险; 工程报价; 合同

1 引言

中国建筑企业在国际工程建设领域蓬勃发展。2014年度《工程新闻记录》(ENR)全球最大国际承包商前100名中有中国企业26家。中国交建、中国建筑、中国铁建等前10名中国的国际承包商2013年海外营业收入总额约4378.9亿美元^[1]。在繁荣的背后,中国企业承担着巨大的风险,2011年中海外4.72亿美元中标的波兰A2高速公路项目被业主追索2.71亿美元赔偿^[2],2010年中国铁建121.1亿元中标的沙特轻轨项目亏损41.5亿元人民币^[3]。中国建筑企业承揽国际工程后失败的原因有很多,许多学者已经进行了研究并提出了应对措施,其中的共同点是建议中国建筑企业在投标前进行深入的前期准备工作,然而由于国际工程中标率较低,对每个投标的国际工程均投入巨大资源进行前期准备工作是中国建筑企业无法承担的成本,因此本文将在分析风险的基础上针对这种情况提出应对策略。

2 国际工程风险分析

目前,国际工程风险的研究主要集中在6个方面:一是专项风险研究,如劳务风险、合同风险等;二是行业风险研究,如水工、电力等国际工程风险;三是风险工具的应用,如专家调查法、层次分析法、模糊综合评判法、故障树法等;四是风险量化研究,将风险因素进行量化和排序;五是对某些具体的国际工程失败的原因进行分析,如波兰、沙特、越南、印度等国家的某些工程;六是从不同角度来分析国际工程的风险并提出应对措施,如有的从政治、资金、技术、人力资源角度;有的从财务、市场、运营、法律、管理技能角度;有的从项目经营方式、国家风险、项目实施风险、项目管理风险角度;有的从企业外不可控风险和企业内可控风险角度;有的从外部环境、项目外部相关方、项目内部管理与运营角度进行分析。本文从签订合同前的风险和施工过程中的风险两个角度来分析国际工程风险。

2.1 合同签订前风险分析

2.1.1 报价过低

我国目前还没有一套科学的国际工程投标报价方法。国内大多数建筑企业在投国际标时常常采用“套用国内定额,采用国外询价”的方法,

作者简介:李锐娟,女,高级工程师,2006年毕业于华中科技大学管理科学与工程专业,现就职于中航规划民航工程设计研究院。

即套用国内定额，再根据经验做一些调整。中国企业国际工程报价普遍偏低，有的仅是正常报价或标底的60%，甚至有的低于50%。

中海外承建的波兰A2公路报价4.72亿美元的标价——这一价格仅是波兰政府预算的46%。国内某集团公司以标价2.76亿元人民币标印度约60公里的公路升级改造工程，工期为3年。比印度当地公司的标价低大约28%。合同生效后第一次工程测算的结果是亏损5000万到1亿元人民币。2年时间仅完成了合同总额的8.1%，重新测算的结论是会发生1.7亿人民币的亏损^[4]。某国的电站项目，最低的中国公司报价为7300万美元，最低的发展中国家的公司报价为1.46亿美元。一个标底为620万美元的非洲项目，中国公司报价仅为280万美元，是标底的46%^[5]。

国际工程招标时，往往没有地质资料，方案设计很浅，工程量清单不准确，此时签订总价固定的EPC总承包合同风险很大，国外承包商一般会报出高价以覆盖各种不可控风险，我国企业在报出低价的同时，很多项目就已经注定了亏损的结局。

2.1.2 准备工作粗浅

国际工程招标时通常提供的是项目的方案设计，其设计深度较浅，编制报价时如果仅限于这些资料，往往会造成重大遗漏，因此有必要对项目进行深入调研。

中国建筑企业为了减少费用开支，在投标报价前的准备工作通常做得很粗略。主要表现在：研究招标文件（特别是非英语的招标文件）不够认真，没有完全掌握招标资料；对当地社会环境不甚了解；施工方案不够详细；对各种风险考虑不足。中国企业尚未形成科学的投标体系，目前是依照经验进行报价，而经验尚不足以支撑报价。

波兰A2公路项目竞标前的准备工作很浅，中海外凭经验觉得投标总价可以做得下来。投标时各公司均不会有意去报一个会亏损的报价，事实证明经验是不足以支撑报价的，投标报价需要深入的准备工作。

2.1.3 忽视合同

国际工程投标、管理、建设的任何内容都要靠合同来界定与保障。许多中国企业因为急于承揽工程，只重视工期和价格，对合同缺乏识别力，合同审查马马虎虎。这使得中国企业在观念上处于被动，谈判中自然难以坚持立场，争取有

利于自身的合同条款。因此不能通过合同来规避风险、保护自己的权利。

合同管理要特别重视关于责任划分、价格和支付条件、保函、罚款、税收、争端解决方式等风险。合同确定的工程范围、罚款的基数、比例及是否有限额，可能会有巨大的风险。

南非Majuba水电站项目的招标文件规定：工期延误按照85万元/天进行罚款（不设上限）。此罚款规定未区分延误是由承包方还是由业主的原因造成，通通对承包商进行罚款，更是巨大的风险^[6]。

2.1.4 国家风险

国际工程首要考虑的是政治风险，因为种族冲突、罢工、政权更替，都会使项目面临中止甚至终止的局面，甚至会威胁中方人员的安全。例如2011年利比亚战乱对中国在当地承包项目的公司所造成的损失近200亿美元。印度人抵制中国公司导致某印度项目招不到合适的分包商。巴基斯坦的多次爆炸使得该国的安全评级越来越低。阿尔及利亚恐怖活动频繁危及中方员工的安全。沙特作为伊斯兰国家，在项目实施中，宗教会引起许多纠纷。

2.2 施工过程的风险分析

2.2.1 设计失控风险

对于总价固定的国际工程，总承包商应确保拥有设计权，因为设计影响了75%左右的工程造价。投标报价时，承包商因语言障碍对招标文件要求的技术标准通常做不到全盘掌握，因此只好参考中国的材料和设备标准进行报价。因此，投标报价的计算误差比较大，实施时成本增加的可能性较大。

中铁建沙特轻轨项目是“交钥匙”合同，即从设计到运营与维护，由总承包商全权负责。但在实施中，中铁建并未掌握设计权。沙特轻轨的土建设计采用美国标准，系统采用欧洲标准，业主指定了设计分包商。中铁建失去设计权，使自身从项目开始就处于被动。

2.2.2 人力资源风险

因国际工程人才储备有限，中国企业很难派出有实力的项目团队。有工程经验、外语好、熟悉国际工程管理模式的人少之又少。而业主工程师通常是国际工程经验丰富的设计与咨询机构，他们如果认为某些人员不能胜任工作，会要求更换。在中东，有中国企业被要求更换过7个项目经

理,同时其他人员被要求更换的也不少^[7]。

英语在国际工程中并不普及,精通中文且具备法律和工程专业背景的翻译很少。由于合同涉及大量法律和工程术语,聘请的翻译很难胜任。而中国建筑企业非常重视响应速度,往往急于推进工程进展,所以经常在不甚了解的基础上做出决策。

通过对中建公司海外事业部120余个项目的调查,总承包商面临的劳务管理风险主要是劳务人员聚众闹事或罢工,原因包括:不按时结算或发放工资、伙食住宿条件较差、窝工、收费标准不一致、收入未达到国内宣传的标准、粗暴管理、对管理人员不满等。沙特轻轨有一段在麦加城内,麦加城是伊斯兰教圣地,对非穆斯林人关闭。中铁建只好在中国招募穆斯林农民工去麦加施工,因为缺少穆斯林工程师,在麦加城内管理这些穆斯林工人更为棘手。

2.2.3 项目管理风险

项目管理风险体现在管理风险、材料与机械组织、工程量增加、工程变更等方面。

1) 管理风险

中国企业传统管理方式的工作细节和工作界面描述不够清晰,操作性差,各项规定主要用来应付业主要求,实际上内部管理混乱。

印度约60km的公路升级改造项目平均不到2人拥有一辆小汽车(买9辆租14辆)。项目经理无施工管理经验且不懂英文。机械工程师出身于汽车修理工。在工程初期材料员就买进了所有沥青。文件资料与财务管理混乱。

2) 材料、机械组织风险

水泥、砂石、砌块等材料价格较低,一般应在当地采购。国外地广人稀,运输距离较远,运输价格常常高于原材料的采购价,因此应比较选择几家供应商,保证工程在保证材料供应的条件下,付出较低的成本。以埃塞俄比亚某工程为例,石子不少但不符合要求,黄沙要到20km外的地点去拉,水泥是按计划拨给,沥青靠进口,这些会大大影响工程进度,特别是水源问题,当地一年只有旱季和雨季,一到旱季一片枯黄,需要到25km外的河边去拉水,成本较大^[8]。在埃塞俄比亚,材料购买非常困难,需要上门求供货商,并且只能限量卖。

国际工程机械设备需要考虑两个问题:人与机械的替代、国产与进口设备的选择。目前我国

企业承包的国际工程大多以中国工人为主,而中国工人的工资水平逐年提高,出国以后更高,因此需要测算是采用自动化机械还是采用手工操作为主的施工工艺更合理。以白俄罗斯明斯克机场道面摊铺为例,如采用德国Wirtgen水泥混凝土摊铺机,需数百万元的采购费用,但是道面砼保留1个施工班组进行人工配合即可。与人工铺筑方法相比,综合成本更低。国内不少企业到了非洲,用的依然是国产设备,这些设备和国际品牌比,确实价格较低,但是运至现场,有可能变成废铁或经常出故障,当地既无配件,也没有修理厂。而采用日本、德国等国际品牌的话,其产品在各地都有4S店,配件也比较全。

3) 工程变更管理

因地质条件不详工程实施中发现工程量大幅增加的情况普遍存在。波兰A2公路项目招标文件规定桥梁打入8000m桩,实际达到6万m;招标文件无桥涵钢板桩,施工中所有桥都要打;软弱地基的处理量也大大超出了预期。越南某火电项目,因前期地质条件不详,施工中增加了大量基础处理费用,使得中国承包商亏损严重。

工程变更会导致工期拖延和成本增加。国际工程招标时,业主通常只提出项目的功能要求,而功能要求比较宽泛,项目设备档次或者安全等级的提高虽然会大幅增加成本,却很难界定为实质性变更。然而只有实质性变更业主才会承担变更责任,承包商才有权索赔。

以空调变更为例,因为沙特地区中午温度高达50~70℃,要求空调增加功率并不能说是业主进行了实质性变更,因此中铁建应承担空调成本的增加。投标前,承包商应充分评估实施中业主可能提出的要求,考虑各种风险。

4) 分包商风险

找不到合格分包商和分包商管理的风险,找不到分包商的原因可能是所在国不具备合格的分包商,也可能是分包商报价过高,甚至是因为各种原因当地分包商抵制中国企业。

分包商管理的风险包括其在沟通、质量、工期、费用方面的风险。

2.2.4 生产生活习惯风险

青蛙在中海外波兰公路项目中成为影响工期和成本的大挑战,中海外为此停工两周,在蛙类冬眠前员工们用手把珍稀蛙类搬到安全地带,还被要求在高速公路为动物建设专门通

道,以避免动物被行驶的车辆碾死。波兰公路工程中环保成本一般占总投资的10%左右,有的甚至占到近25%。

穆斯林历的第9个月是斋月,穆斯林教徒将戒斋30天,每天日出至日落期间,正常成年的穆斯林必须不吃不喝,直到太阳西沉,人们才进餐。这期间工作效率十分低下。

任何工程采用美标(ASTM)、英标(BS)、欧标(ES)或中国标准均可满足使用功能,但是每个国家的习惯做法是不同的。以跑道结构来看,中国和白俄罗斯分别设计的同一机场的道面结构见图1。

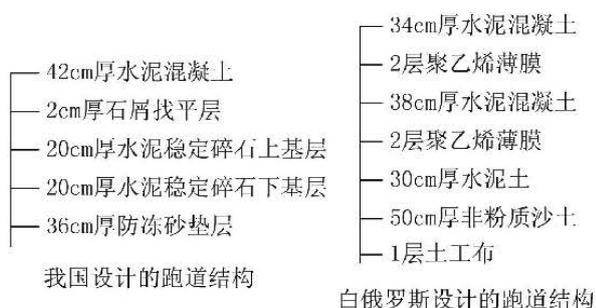


图1 中俄设计同一机场路面结构

由上图可以看出,两种标准的区别是很明显的,白俄罗斯的标准相对偏保守,与中国的习惯做法也不一样,造价也更高。

3 应对风险的策略

国际工程中标率较低,因此中国企业很难在报价前对所有投标的国际工程进行深入的准备工作,而基础工作的薄弱必然导致其中标后面临着巨大的风险。针对这种现实情况本文有以下建议。

3.1 中标后的造价重测

国内不少建筑企业在项目陷入困境以后,才派出工程、财务、概算、合同及法律、综合等数十人组成的调查组赶到现场重新测算报价,然后得出亏损巨大的结论。甚至有的开标即发现必然亏损。鉴于中国企业无法在前期投入更多成本的现实,建议总承包商可在中标后签订合同之前进行工程造价的重测与确认,此时如果发现项目亏损巨大,仅损失投标保函,其通常只占投标金额的2%。对于开标结果标价明显过低的项目,更应

重视报价重测工作。

造价重测应投入较多资源,深入了解项目所在国的法律法规、环保、劳务、材料和设备的供应,应与当地供应商、分包商、可能的合作者进行密切的沟通。对项目的地理位置、地质、交通、供水、供电、通讯、气候、临建、预制厂、生活营地的选取通盘考虑,特别是要收集到当地同类建筑的习惯做法与造价水平。

3.2 工期重测

政策风险是国际工程承包的一大风险,业主均希望建设项目能够以最快的速度投入使用,但是总承包商应该做到心中有数,不可按照国内经验估计。对于工期固定,工期拖延按天处罚的项目要充分考虑审批程序对造价造成的影响。以东南亚某水电工程为例,工地的炸药库,需要通过二十多个政府相关部门的审批,在手续完备且按照政府相关部门要求修建的情况下,需要至少6个月才能获批,慢的话可能需要两年。若此项目签订不区分延误责任方,均对承包商进行工期罚款的合同,承包商承担的风险明显过大^[3]。

3.3 与当地公司组建联合体投标

组成联合体投标可以分散参与各方的风险,可以减轻联合体各方的资金压力,可以弥补中国企业投标前期投入不足的短板,可以减少对工程所在地经济、政治、文化、环保、地质条件、金融等判断不准确带来的风险,可以降低技术标准掌握不足的风险,提高国际工程成功的概率。联合体企业应优先选择掌握工程技术标准的设计单位和当地的设计、咨询或施工企业。联合体投标可以弥补中国企业准备工作粗浅、对工程所在国和项目情况了解不足以致判断失误的风险。

3.4 逐步细化合同

在国外,合同没有沟通、协调的余地,因此总承包商应重视合同的细节。

合同应重视工程范围和建设标准的确认。工程招标时业主一般是提出功能要求,在合同谈判阶段应约定详细的工程量清单,以避免开工后工程量增加。沙特轻轨的业主在开工后不断地要求增加工程量,甚至提出新的功能要求,然而因为业主和承包商之前并没有列出工程量清单。所以业主的要求均不能认定为实质性变更,中铁建承担了所有的变更费用,以巨亏收场。

4 结论

近年来, 中国企业在国际工程市场蓬勃发展, 已成为国际工程市场的重要组成部分, 取得了许多成绩, 然而亏损的企业也不在少数。本文分析了中国企业承担国际工程中所面临的主要风险, 针对中国企业在投标前期投入资源有限的现状提出了应对风险的策略, 即: 中标后进行造价重测、工期重测、与当地公司组建联合体投标、细化合同。该措施既减少了对所有投标的国际工程进行充分准备后中标率较低给企业带来的成本压力, 又避免了因准备不足实施后可能带来的巨额亏损。

未来我国建筑企业应研究建立科学的国际工程投标报价方法, 并培养出更多的国际化人才, 才能从根本上降低国际工程的风险。

参考文献

[1] The Top 250 International Contractors[EB/OL].

[2014-08-22].

<http://enr.construction.com/toplists/Top-International-Contractors/001-100.asp>.

[2] 倪伟峰, 谷永强, 姚伟涛. 怎样搞砸海外项目[J]. 新世纪, 2011(29).

[3] 齐荣光, 梁权. 从中铁建沙特巨亏看海外工程项目风险管理[J]. 会计之友, 2011(7上): 20-21.

[4] 徐树人. 某国际承包工程风险管理分析[J]. 中国招标, 2012, 21:37-39.

[5] 黎晓婷. 浅谈国际工程投标报价的方法和技巧[J]. 中国水运, 2013(13): 227-229.

[6] 曹静. 如何做好国际工程投标报价[J]. 内蒙古石油化工, 2009.1: 63-64.

[7] 屈锦红. 国际建筑工程风险源与防范策略[J]. 建筑, 2012.11: 80-81.

[8] 薛玉华. 关于如何规避国外工程风险的若干思考[J]. 现代经济信息, 2013.6: 184, 191.

[9] 李清桥, 陈林. 国际工程项目策划阶段风险管理[J]. 四川水利, 2013.1: 59-62.

高大喷漆厂房防爆通风系统 节能解决方案

■ 刘运良 「暖通」

摘要: 本文提出了当前高大喷漆厂房通风设计中存在的问题,并根据工程实例的具体情况进行了分析,详细阐述了喷漆厂房的有害物散发量及稀释通风的计算方法,并简要介绍了通风系统的实施方案,进行了方案的节能性分析。

关键词: 喷漆厂房; 防爆; 通风计算; 通风系统; 节能

1 引言

在工业厂房设计中,喷漆厂房也是比较常见的类型之一。在喷漆操作的过程中,喷漆室会散发出二甲苯、汽油及丙酮等可燃性气体,根据其生产场所及使用的物质,喷漆厂房火灾危险性定性为甲类。喷漆厂房内适宜的空气环境是保证正常生产的前提,因此厂房内的通风显得尤为重要。由于厂房内有害物散发量的不确定因素,目前大部分设计者计算喷漆厂房通风量时根据经验采用换气次数法,且事故时换气次数不小于12次/h。

换气次数法在设计体量较小的喷漆厂房时并无不妥,但对于体量较大的高大喷漆厂房,根据经验按换气次数法保守计算,排风量会比较大,导致排风系统相对庞大。由于排风量较大,依靠自然进风很难满足风量平衡的需要,且会在室内形成很大的负压,对门窗材料及使用都会造成很大影响,因此还需要设计机械进风系统。位于寒冷及严寒地区的喷漆厂房,因考虑到冬季热平

衡,还需对机械进风进行加热。由于排风中含有可燃性气体,无法进行热回收,因此进风加热耗热量要全部依靠外部热源实现。同时考虑到设备占用机房面积等因素,结果就是工程初投资大,总运行能耗高。

那么,对于此类高大喷漆厂房,有没有一种更合适的方式,既能保证厂房的通风需求,保证厂房劳动环境卫生和安全,又能减少工程初投资和降低运行能耗。下面就某工程实例的具体情况进行分析。

2 工程实例

该喷漆厂房位于天津市,为单层建筑,屋顶为钢网架结构,下弦高度为12m,室内平均高度约14.9m,南北长144m,东西宽48.8m,建筑面积约7030m²。厂房平面布置图见图1。

喷漆厂房内共设5个整体式喷漆室和1个水幕喷漆室,另有部段周转区、辅助工作区、工装区等功能分区。厂房采用封闭式喷漆工艺,喷漆操作全部在封闭的喷漆室内进行,喷漆室进、排风及废气处理设备与喷漆室自成系统。调漆过程中使用的稀料除丁醇火灾危险性为乙类外,其余二

作者简介: 刘运良,男,高级工程师,2005年毕业于中南大学建筑环境与设备工程专业,现就职于中衡规划动力工程设计研究院。

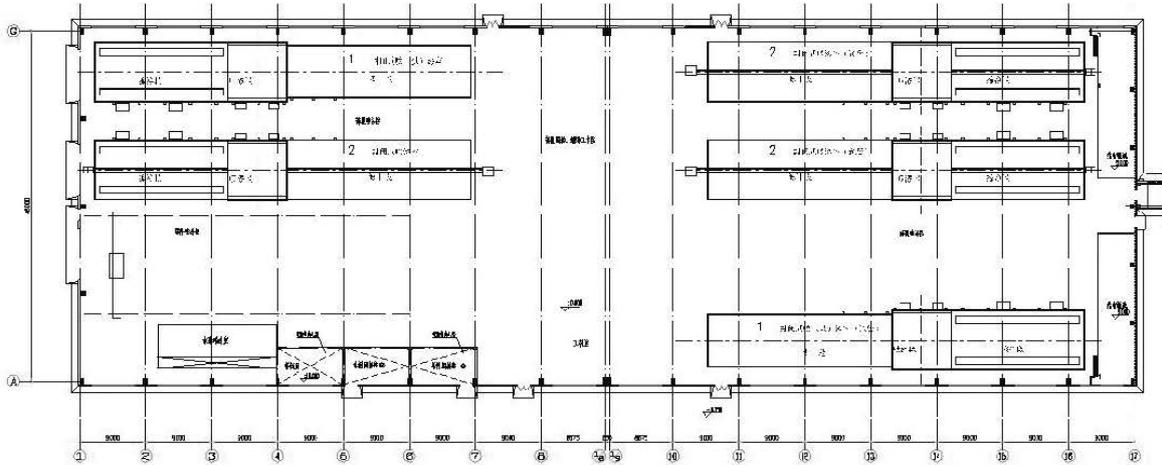


图1 厂房平面布置图

甲苯、汽油及丙酮的火灾危险性均为甲类。本文所述内容均为喷漆厂房通风系统，喷漆室内部通风系统不在讨论范围内。

3 有害气体浓度及火灾危险性分析

该喷漆厂房火灾危险性定性为甲类，但鉴于具体的生产过程可作为个案进行特殊评价。根据涂装作业安全规程的国家系列标准及《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》（GB50058-92），本厂房中喷漆室内及与之连接的送、排风管、沟等空间内爆炸性气体环境为1区危险区域；其开门处以外水平距离3m、垂直距离1m以内的空间区域为2区危险区域，但排风设备与喷漆设备连锁时，则2区危险区域可定为水平距离1.5m、垂直距离1m以内的空间。

根据现行国家标准《建筑设计防火规范》（GB50016-2006）条文说明第3.1.2条规定，对

于任何一种甲、乙类火灾危险性液体，其单位体积（L）全部挥发后的气体体积可按式进行计算：

$$V=829.52 B/M$$

式中：

V为气体体积（L）；

B为液体比重，以水的比重为1；

M为挥发气气体密度（kg/L），以空气的密度为1。

由此可以计算出喷漆厂房中使用到的二甲苯、丁醇、汽油、丙酮等在室温下全部挥发后每升的气体体积，见表1。

喷漆厂房中使用的稀料和清洗剂等甲、乙类液体所产生的蒸气与空气的相对密度均大于0.75，即这些可燃液体的挥发性气体属于比空气重的气体，易于在地面局部沉积。

根据喷漆厂房空间计算，则厂房地面以上1m的空间体积 V_{1m} ：

$$V_{1m}=144 \times 48.8 \times 1=7027 \text{ (m}^3\text{)}$$

表1 有害气体浓度分析表

名称	爆炸下限 (V%)	闪点 (℃)	蒸气密度 (空气=1)	液体密度 (水=1)	每升挥发气体体积 (L)
二甲苯	1.0	17	3.66	0.88	199.4
丁醇	1.4	28.9	2.55	0.8098	263.4
汽油	1.1	<-20	3.20	0.70~0.73	189.2
丙酮	2.6	-17.8	2.00	0.7899	327.6

厂房空间体积 $V_{总}$:

$$V_{总} = 144 \times 48.8 \times 14.9 = 104705 \text{ (m}^3\text{)}$$

根据工艺设计,清洗剂每天平均用量为7.5kg,生产高峰期间按3倍考虑为22.5kg。假设在最不利的情况下,即在生产高峰期间,一次性将全天清洗用量全部送入喷漆厂房,在运送途中突然全部倾倒,造成所有清洗剂在瞬间蒸发为可燃性气体,由于丙酮的爆炸下限高于汽油,为便于计算,清洗剂按全部为汽油考虑,则汽油蒸气体积 $V_{汽油}$ 为:

$$V_{汽油} = 22.5 \div 0.7 \times 189.2 \div 1000 = 6.08 \text{ (m}^3\text{)}$$

汽油蒸气的爆炸下限为1.1%,可以计算出最不利情况下汽油蒸气体积与厂房空间体积比值为:

$$V_{汽油} / V_{总} = 6.08 \div 104705 = 5.81 \times 10^{-5}$$

$$V_{汽油} / V_{1m} = 6.08 \div 7027 = 8.65 \times 10^{-4}$$

该体积比与汽油蒸气的爆炸下限1.1%的百分比为:

$$5.81 \times 10^{-5} \div 1.1\% = 0.53\% < 5\%$$

$$8.65 \times 10^{-4} \div 1.1\% = 7.9\% > 5\%$$

即汽油在全部倾倒并瞬间蒸发且没有通风的条件下,其蒸气与空气的混合气体在地面以上1m范围内的局部区域存在可能达到爆炸下限的情况。

根据工艺设计,生产高峰期稀料每天用量为90kg,稀料的配比(质量比)为二甲苯:丁醇=7:3,可以计算出生产高峰期稀料的实际用量为:

$$\text{二甲苯} 90 \times 0.7 = 63 \text{ (kg)}$$

$$\text{丁醇} 90 \times 0.3 = 27 \text{ (kg)}$$

假设在最不利的情况下,即在生产高峰期间,一次性将全天稀料用量全部送入喷漆厂房,在运送途中突然全部倾倒,造成所有稀料在瞬间蒸发为可燃性气体,则二甲苯、丁醇蒸气体积分别为:

$$V_{二甲苯} = 63 \div 0.88 \times 199.4 \div 1000 = 14.3 \text{ (m}^3\text{)}$$

$$V_{丁醇} = 27 \div 0.8098 \times 263.4 \div 1000 = 8.8 \text{ (m}^3\text{)}$$

由此可以计算出,在最不利情况下稀料挥发出的爆炸性气体蒸气体积与厂房空间体积比值为:

$$V_{二甲苯} / V_{总} = (14.3 + 8.8) \div 104705 = 2.21 \times 10^{-4}$$

$$V_{丁醇} / V_{1m} = (14.3 + 8.8) \div 7027 = 3.29 \times 10^{-3}$$

二甲苯、丁醇的爆炸下限分别为1.0%和1.4%,一般情况下混合气体的爆炸下限高于二甲苯的爆炸下限,本设计采用二甲苯的爆炸下限作为混合气体的爆炸下限,则该体积比与混合蒸气的爆炸下限1.0%的百分比为:

$$2.21 \times 10^{-4} \div 1.0\% = 2.21\% < 5\%$$

$$3.29 \times 10^{-3} \div 1.0\% = 32.9\% > 5\%$$

即稀料在全部倾倒并瞬间蒸发且没有通风的条件下,其蒸气与空气的混合气体在地面以上1m范围内的局部区域存在可能达到爆炸下限的情况。

注:根据《建筑设计防火规范》(GB50016-2006)条文说明第3.1.2条,一般可燃气体检测报警装置的报警控制值是该可燃气体爆炸下限的25%,本文采用5%这个数值是考虑到本厂房面积较大,可能存在可燃气体扩散不均匀的现象,会形成局部高浓度而引发爆炸的危险。

上述计算是基于喷漆过程中发生的最危险的情况,即在生产高峰期间,一次性将全天稀料、漆料和清洗剂用量全部送入喷漆厂房内,在运送途中突然全部倾倒,造成所有可燃液体在瞬间蒸发为可燃性气体,且未考虑通风的情况下。在实际生产过程中稀料和汽油用量为高峰期间的1/3,且生产过程中采用多次调漆工艺,清洗与喷漆工艺不同时进行。清洗剂也不是一次性取用,由于用量限制,每次取量不超过2.5kg。考虑到喷漆厂房内可燃液体的实际用量和挥发情况,在通风系统正常工作的情况下,可燃液体蒸气与空气的混合物达不到其爆炸下限。

4 通风量计算

根据喷漆工艺,清洗剂和稀料不存在同时使用的情况,清洗剂在生产高峰期间用量为22.5kg,生产高峰期间实际稀料的用量为90kg,其中二甲苯的用量为63kg,丁醇的用量为27kg。考虑到最不利情况下,在生产高峰时,一次性将全天的喷漆用料送入喷漆厂房内,在运送途中突然全部倾倒,造成所有可燃气体全部泄露并瞬间挥发,聚集在地面以上1m的范围内,根据前面分析,此时稀料的总质量为90kg,其蒸气的浓度达到爆炸下限的32.9%。

现行国家标准《爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范》(GB50058-92)第2.2.4条规定,爆炸危险区域内的通风,其空气流量能使易燃易爆物质很快稀释到爆炸下限的25%以下时,可定为通风良好。根据厂房安全需求及技术经济比较确定,本厂房通风能在10分钟内使易燃易爆物质稀释到爆炸下限的25%以下即可满足要求。

根据通风稀释方程,得到公式:

$$y = y_0 e^{-qt/v}$$

式中:

y 为车间排除气体的浓度 (g/m^3) ;

y_0 为车间初始浓度 (g/m^3) ;

q 为车间设计风量(m^3/s);

V 为车间通风体积(m^3);

t 为将气体浓度稀释到爆炸下限25%所需要的通风时间(s)。

根据前面计算,可得到所需要的通风量为:

$$q = -(V/t) \ln(y/y_0) = -(7027/600) \ln(25\%/32.9\%) = 3.22 \text{m}^3/\text{s} = 11592 \text{m}^3/\text{h}$$

本厂房地面以上1m范围内的换气次数为:

$$n = 11592 / (144 \times 48.8 \times 1) = 1.65 \text{次}/\text{h}$$

根据上述计算,喷漆厂房内开敞区域地面以上1m范围内在换气次数1.65次/h的情况下经过600s,可燃液体蒸气的浓度降到爆炸下限的25%以下。表明喷漆厂房在换气次数1.65次/h的情况下可以在较短时间内降低爆炸性混合气体的浓度,能够达到通风良好的要求。考虑到安全裕量,把厂房地面以上1m范围内换气次数定为2次/h。本厂房可燃液体的挥发性气体属于比空气重的气体,排风系统需按上部排出总风量的1/3,下部排出总风量的2/3设计,所以整个厂房通风换气次数为3次/h。

5 通风系统设计方案

根据上述情况,对喷漆厂房设计防爆性全室机械通风系统,厂房整体换气次数按3次/h设计。考虑到在生产过程中,喷漆室开门处有害物散发量较大,在喷漆室开门处设置排风地沟并加大局部通风量,喷漆室门以外水平距离1.5m、垂直距离1m以内的空间排风量按换气次数12次/h设计,但厂房整体换气次数不变。

根据厂房特点,上部排风设计防爆型屋顶式排风机,下部排风系统设计防爆型离心风机,除喷漆室门口处设置排风地沟外,其余区域靠厂房地面以上1m范围内设置下部排风口。同时设计机械进风系统,为避免厂房内有害气体外溢,使厂房内保持负压状态,设计进风量定为设计排风量的70%,进风机组采用组合式空气处理机组,置于独立机房内,冬季利用热水盘管进行加热。

由于厂房在生产过程中散发具有爆炸性的气体,在通风系统设计时还应注意以下几个问题:在喷漆室门口等有害物散发源处和排风地沟等气体容易聚积的位置设置浓度报警装置

与排风机连锁,进风机组需置于独立的通风机房内,进风系统风管穿越机房隔墙或楼板处设置防火阀,并与风机连锁,送风管总管上应设置止回阀或电动阀,防止停机时可燃气体进入机组;在防爆通风系统中,所有金属活动部件如可调节风口、多叶调节阀等均须采用不起火花的铝材制作,通风机外壳及风管,均采用防静电接地措施,通风机进、出口柔性连接短管两端采用导线跨接。

6 节能效果分析

根据工艺设计,本厂房生产状况为两班制。厂房冬季室内设计温度为 18°C ,采暖室外设计温度为 -8°C ,设计计算采暖期为119天,采暖期平均温度为 -1.2°C 。

根据该厂房通风系统设计方案,厂房换气次数为3次/h,则厂房所需排风量为:

$$L_p = 104705 \times 3 = 314115 (\text{m}^3/\text{h}) = 87.254 (\text{m}^3/\text{s})$$

$$G_p = L_{p1} \times \rho_n = 87.254 \times 1.213 = 105.4 \text{kg}/\text{s}$$

所需进风量为:

$$L_j = 314115 \times 70\% = 219880 (\text{m}^3/\text{h})$$

排风年耗热量为:

$$Q_p = G_p \times c \times (t_n - t_w) \times 3600 \times 16 \times 119 / 1000 \\ = 105.4 \times 1.01 \times [18 - (-1.2)] \times 3600 \times 16 \times 119 / 1000 \\ = 14009823 \text{Mj}$$

按本文通风设计计算方法的通风系统能耗与按换气次数法计算的通风系统能耗对比如下表2、表3。

其中电力、热力的折算标准煤系数分别为 $0.3 \text{kg}/\text{kWh}$ 、 $0.03412 \text{kg}/\text{Mj}$ 。上表数据显示,该厂房按本文通风设计计算方法比按换气次数法计算通风量可节约能耗2388t/年(标准煤),经济效益明显。

7 节能分析的局限性

上述节能分析中冬季全面通风排风量按3次/h及12次/h计算,均是基于最不利情况下进行的,冬季厂房全面通风的排风量是根据实际生产过程中有害物的散发量及室内卫生条件确定的,在正常的生产过程中,厂房的全面通风排风量达不到该数值。上表的能耗节约量仅表示极限情况下的数值,厂房有害物的实时散发量与实时排风量有待进一步分析。

表2 通风系统配电功率对比表

换气次数	排风量	排风机台数	排风机功率	排风功率合计	进风量	进风机组台数	进风机组功率	进风功率合计
次/h	m ³ /h	台	kW /台	kW	m ³ /h	台	kW /台	kW
3	314115	17	5.5	93.5	219880	4	22	88
12	1256460	68	5.5	374	879520	16	22	352

表3 通风系统能耗对比表

换气次数	厂房排风耗电量	厂房进风耗电量	厂房进风耗热量	合计折算标准煤
次/h	KWh/年	KWh/年	Mj/年	t/年
3	546040	513920	14009823	796
12	2184160	2055680	56039292	3184

8 结束语

对于大体量的高大喷漆厂房,采用换气次数法计算厂房的通风量还有不周之处,笔者认为本文的计算方法可作为一种参考。本文通过详细的有害物散发量及稀释通风计算,给出了喷漆厂房在满足安全要求前提下的经济通风量,并据此进行合理的通风方案选择。通过对比可以看出,文中计算得出的最大通风量仅为按12次/h计算通风量的1/4,并使与此相关的设备材料投资、运行能耗大幅减少,既保证了厂房通风效果,消除了火灾危险性,又具有良好的经济性。

本通风设计方案经过国家消防工程技术研究中心(简称“天消所”)审核,认为采取的通风措施可以在较短时间内降低爆炸性混合气体的浓度,并在喷漆房开门处采取了加强通风的措施,对可能散逸的可燃气体进行排除,降低了喷漆厂房内开敞区域的火灾爆炸危险性,能够保证喷漆厂房通风良好,正式批复方案可行。目前该工程已经竣工并通过通风系统消防验收,厂房环境指标能够满足国家相关规范及设计参数要求,较好的满足了生产工作的需要,甲方给予了较高的评价。我们将继续关注该喷漆厂房的使用情况,为以后类似厂房的设计提供一定的参考价值。

参考资料

- [1] 孙一坚 工业通风(第三版).北京:中国建筑工业出版社,1994.
- [2] 建筑设计防火规范(GB50016-2006).北京:中国计划出版社,2006.
- [3] 爆炸和火灾危险环境电力装置设计规范(GB50058-92).北京:中国计划出版社,1999.
- [4] 石油化工企业可燃气体和有毒气体检测报警设计规范(SH3063-1999).北京:国家石油和化学工业局,1999.
- [5] 陆耀庆 实用供热空调设计手册(第二版).北京:中国建筑工业出版社,2008.

固体制剂车间工艺布局设计分析

■ 李红 徐哲 「工艺」

摘要: 本文从固体制剂市场的现状和发展趋势出发,针对固体制剂工艺生产流程,总结归纳固体制剂生产厂房不同工艺布局设计的流程特点分类、应用基础条件、设备选择方法,对上述指标进行对比分析,分析各种典型产能固体制剂生产厂房工艺布局设计的标准化、模块化,将实际的产能向模块化的典型产能区间靠拢,在模块化的基础上做出适当的调整、优化,即可实现个性化的设计理念,提升公司在固体制剂生产厂房工程设计中的整体水平、效率和质量。

关键词: 固体制剂; 工艺布局; 特点

0 引言

固体制剂是药物的常规剂型,具有产量高、成本低、计量准确、使用和携带方便、理化性质较稳定、贮存期长等特点,是日常生活用药中最普遍的剂型之一。固体制剂的生产在制剂总产量中占主导地位。固体制剂生产时,涉及的物料种类多、产尘工序多、产品产量批量大、产品多品种同时生产等特点。

1 固体制剂分类及要求

1.1 固体制剂分类

固体制剂是我们日常生活中接触最多的一种口服制剂产品。常见的固体剂型有散剂、颗粒剂、片剂、胶囊剂、滴丸剂、膜剂等。

1.2 GMP对于固体制剂工艺设计要求

近年来,国家不断加强药品质量管理与质量标准提升。2012年1月,药监局发布关于加强《药品生产质量管理规范(2010年修订)》实施工作的通知;2012年2月,药监局发布关于开展药品生产

企业实施新修订药品GMP情况摸底调查做好分类指导工作的通知。新版药品GMP对企业生产药品全过程所需要的人员、厂房、设备、卫生等均提出了明确的要求,将“安全、有效、质量可控”的原则系统地融入到GMP中。依据新版GMP,固体制剂生产厂房生产区应参照D级洁净区的要求设置,工艺设计要考虑以下因素:合理的厂房布局,生产工艺和设备的自动化,密闭的生产系统,设备容器的清洗和干燥,正确的气压气流分布等。对于特殊产品,依据新版GMP,设计时应满足:生产 β -内酰胺结构类药品、性激素类避孕药品必须使用专用设施(如独立的空气净化系统)和设备,并与其他药品生产区严格分开。

2 固体制剂工艺流程

不同固体制剂产品的生产工艺具有一定的想进行,例如粉碎过筛称量、制粒、总混等工序,是在各种固体制剂生产过程中均必不可缺的工序。剂型的不同,仅在压片、胶囊填充等工序进行区分。

2.1 粉碎过筛称量工序

粉碎的主要目的在于减少粒径,增加比表面积,有利于提高难溶性药物的溶出和生物利用度,有利于制剂中各成分的混合均匀。过筛的目

作者简介:李红,女,工程师,2008年毕业于圣彼得堡化学药物大学药理学系,现就职于中研规划医药工程院。

的是为了获得较均匀的物料,对混合均匀度、颗粒的流动性、填充性、重量差异、片剂的硬度、裂片等有明显效果。粉碎过筛好的物料经过称配后,转运至下一工序。

2.2 制粒工序

粉碎过筛后一般进行制粒工序(部分产品因生产工艺需求,无制粒工序)。制粒工序包括通常湿法制粒、整理、沸腾干燥、干法制粒等过程。湿法制粒时,使主药与辅料混合均匀,达到工艺生产要求。干混一定时间后,加入粘合剂制成软材状,之后切割成均匀颗粒。制备好的可以利用沸腾干燥机内的负压状态以及重力作用,通过管道连接转运至沸腾干燥机内。随后利用沸腾干燥机对物料进行干燥。干燥好的颗粒,采用提升翻转整粒机将原辅料制备成均匀颗粒。

目前,制粒工序在生产过程中,制粒设备均可实现密闭运行。部分高端设备可实现全过程密闭转运,充分降低了粉尘的暴露风险。

2.3 总混工序

制粒工序后,在总混机中,将制备好的原辅料在混合机中混合均匀。总混机分为三维混合机、提升柱式混合机等多种形式。根据原辅料混合要求以及特性,选择不同型号的混合机。在固体制剂的生产中,通常以混合均匀的物料为一个批次的产品,即一个批号的产品。

2.4 颗粒分装、压片、胶囊填充工序

总混后,根据不同需求,分为以下三种剂型生产流程,如将混合均匀的物料(颗粒)直接分装,即可得到颗粒剂;将混合后的颗粒,利用压片机压成不同规格的片,即得到片剂;由于在体内缓释的需要,部分颗粒利用胶囊填充剂制备成胶囊剂。由于囊壳的特性,部分胶囊剂的制备过程以及囊壳的存放区域需要考虑低湿等条件。

2.5 包装工序

制备好的片剂、胶囊剂,最后转运至包装区进行包装。直接与药品接触的包装为内包装,内包装形式包括铝塑包装、双铝包装、瓶装等。内包装好的物料,通过联动线或者人工转运至外包装区。

2.6 生产辅助区

固体制剂生产车间,在布局时,除了生产工序模块外,还需要中间站、清洗站、更衣区等辅助工序。中间站用于中间产品的存储,包括:制粒工序制备好的颗粒、总混后的待验颗粒、制

备成型的片剂胶囊剂等。清洗区用于固体制剂设备、转运桶等的清洗。现阶段,IBC越来越多的应用于固体制剂生产用。因此,清洗模块需要考虑IBC清洗系统的设置以及清洗前、后IBC暂存区的隔离设置。

根据固体制剂的工艺流程可以看出,其生产的基本特点是不同品种固体制剂生产前工序基本相同。不同剂型的固体制剂区别在于成型工艺以及包装工艺的不同。

3 固体制剂车间工艺布局设计

3.1 工艺布局设计原则

合理的工艺布局设计是达到GMP验收与认证的前提。固体制剂的制备过程应按照药品生产质量管理规范并满足药品生产工艺要求,应避免人物物流交叉,从而做到布局合理。固体制剂车间的显著特点是产生尘的工序多,车间生产人员班次不一。固体制剂车间的工艺设计首先要把握好整体的布局模式,人、物流的关系,再考虑从具体功能房间的布置上充分满足不同设备的特殊需求,以满足GMP法规。

为了缩短运输路线,可将固体制剂车间与仓库组合成一幢厂房设计,按不同防火分区考虑,并应根据全厂区人物流的方向,将车间与仓库南北方向或东西方向布置,车间通过货运走廊与仓库加以联系。如果考虑多厂房设计时,则应将仓库设置在多个厂房中心位置,便于物流运输。

根据《药品生产质量管理规范》(GMP)有关要求,厂房内区域划分清楚,便于管理。生产、行政、生活和辅助区的总体布局应当合理,不得互相妨碍,厂区和厂房内的人、物流应当合理。

固体制剂等非无菌制剂生产的暴露工序区域及其直接接触药品的包装材料最终处理的暴露工序区域,应当参照D级洁净区的要求设置。

考虑到固体制剂车间的物料运输量较大,车间内物流宜按工艺流程顺序进行布置,以缩短运输路线,避免物料在车间内部折返,避免前后工序物料的交叉污染。

3.2 工艺布局方案

根据固体制剂各流程的相互关系和各自特点,为了更好地控制生产区的洁净环境,我们将产生尘量大的称量、粉碎等功能房间集中设置为单独区域,并且为了缩短原辅料进入厂房后的运输距离,

一般将此区域布置在紧接本厂房的物流入口处；考虑到工艺流程顺畅性，将制粒、微丸、总混、压片、包衣等主要功能间依次布置，是物料呈U字型或L型等方式流动，如有防爆需求，则需沿厂房的外墙布置；内包装区域则近产品出口处，便于产品运出，工作人员的更衣室则布置在紧接本厂房的人流入口；清洗中心则靠近物流入口，方便外部物品进入厂房后进行清洗，中间站布置在车间的中央位置，保证物品运输距离最短。出口通常与物料入口相邻或设置为同一个货厅。

3.3 人、物流的基本流向

对于GMP车间来说，应重点注意避免人、物流的交叉，以控制交叉污染的可能性。一般情况下，人流入口与物流入口分别设置在车间两侧，必须单独设置。人流从厂房门厅进入，经集中换鞋、总更后，外包装区工作人员进入相应区域，生产区、内包装区工作人员经缓冲、二更、气闸进入洁净生产区各功能间。

物流从货厅进入，外包材进入外包装区域暂存，原辅料、内包材等经过物料缓冲间后进入洁净区，暂存在相应区域，使用时，按照工艺流程在车间内流动。最终成品或半成品运至物料出口运出，进入仓库。生产中的废弃物可以从物料出口运出，如果是极易造成污染的废弃物，则需要设置单独的出口。

4 工艺设计特点

4.1 车间物流实现单向流

本次设计中，物品经过净化处理后进入车间的洁净区，首先进入粉碎称量区，然后将制粒、微丸、总混、压片、包衣等功能间按照工艺流程依次布置，一直至内包装区，然后通过自动包装线直接到外包装区，完成产品的整个生产流程，中间品不返流，避免了与其他工序的混淆风险，有效地保证了产品质量。

4.2 设置粉碎称量中心

由于产尘以及生产相关性等原因，固体制剂车间应将粉碎过筛以及称量过程设置成一个原辅料称量单元。单元内包括物料的粉碎、过筛以及称配过程。由于该区域在粉碎过筛以及称量时，具有物料暴露，易产尘，因此，设置整体称量罩，将粉尘有效的控制在称量罩内，降低污染以及交叉污染的风险，并且将粉碎、过筛、称量放

在一个集中的区域，设置前室，与其他洁净区功能间相对独立。

4.3 设置清洗中心

本次设计在车间内设置清洗中心，各工序使用后的器具和洁净服集中在清洗中心进行清洗，减少了各工序独立清洗的设施设计和人员管理。这样设计不仅可以节省面积，降低设备成本，而且将车间生产人员与清洗人员合理分开，便于器具管理和人员管理，降低污染风险。

4.4 注意防爆设计

某些品种的固体制剂在制粒工序，需要用到乙醇等有机溶剂作为辅料。因此，如有需要，在制粒工序，则需充分考虑防爆等条件。沸腾干燥机等设备的防爆型号，通常设置有泄压口，在避免粉尘暴露的同时，充分降低有机溶剂对于操作间的影响。在发生爆炸事故的时候，可以有效的将爆炸控制在设备内部，降低爆炸的危险性。

5 结论

固体制剂生产车间各工艺流程之间联系紧密，相互关系具有多样性，在进行工艺设计前，必须充分了解所需要的产量、剂型、工艺流程等要求。在设计过程中，应始终贯彻GMP的理念，科学、合理地进行平面布局和设备布置，设计好人流和物流路线，设计出既满足甲方需求，又要满足GMP要求，同时尽量节能、实用、高效的车间。

参考文献

- [1] 《中华人民共和国药典》，2010年版，三部。
- [2] 《药品生产质量管理规范》，2010修订。
- [3] 《药品GMP指南》，2011年版。

浅谈脊髓灰质炎减毒活疫苗 生产车间工艺布置设计

■ 张媛媛 「工艺」

摘要: 2010版GMP(以下简称GMP)的实施对脊灰车间工艺布置设计提出了更高要求。本文通过对脊灰疫苗生产工艺及主要设备的分析,从工艺区划、物流及核心区的控制等方面,对车间的工艺平面设计进行分析,结果表明,合理的工艺平面布局应保证物流走向清晰顺畅,有毒、无毒区域划分合理,将外界对核心区的污染风险降至最低。

关键词: 脊灰疫苗; GMP; 工艺布局

0 引言

随着医药领域的发展,疫苗市场不断受到关注,国家一系列政策的放开和落实,为疫苗市场带来了良好的发展机遇,众多企业纷纷投入其中。与此同时,2010版GMP的发布和实施、国内市场与国际市场的逐步接轨,对疫苗类产品生产车间的设计水平提出了更高要求。

本文以某脊灰减毒活疫苗生产车间为例,在2010版GMP基础上,主要分析此类车间的设计理念和工艺布局。脊髓灰质炎(简称脊灰)系由脊灰病毒所致的急性传染病,好发于婴幼儿,又称小儿麻痹症。目前对这种疾病还没有有效的治疗方法,但可以通过使用疫苗进行预防。1953年成功研制出第一个成功的脊灰疫苗,这种疫苗是一种灭活疫苗(IPV),20世纪50年代,成功研制出口服(减毒)脊灰疫苗(OPV),效果很好。我国仍在继续加强对脊灰疫苗生产的投入,并逐步扩向国际市场,迫切需要建造出能够满足市场需求与标准的生产设施,以确保产品的安全、有效。

作者简介:张媛媛,女,高级工程师,2009年毕业于北京航空航天大学材料物理化学专业,现就职于中航规划医药工程设计研究院。

1 生产工艺及主要设备

1.1 脊灰减毒活疫苗生产工艺流程

首先在细胞区将生产用的细胞在一定温度下进行培养,然后将毒种按比例接种于细胞,接种毒种后将细胞置特定温度下培养,一定天数后开始收获病毒液,然后至冷库冻存。同一细胞批生产的病毒收获液合并为一批原液,根据病毒滴度对原液进行稀释,加入稳定剂,即为半成品,半成品再经分装、包装后得成品。

1.2 脊灰减毒活疫苗生产车间主要工艺设备

脊灰疫苗生产过程涉及到的主要设备包括转瓶机、细胞工厂操作系统、生物反应器系统、配制系统以及分装设备等。

1) 转瓶机

转瓶培养是一种传统的培养技术,具有结构简单、投资少、技术成熟等优点,主要适合于悬浮细胞和贴壁细胞的培养,但由于其单位体积提供的细胞生长表面积小,细胞生长密度相对低,适于中试车间或小规模生产使用。

2) 细胞工厂全自动操作系统

细胞工厂培养技术在国外已有30多年的应用历史,近10来年在中国开始逐渐普及。细胞工厂

在有限的空间内利用了最大限度的培养表面,实现细胞扩增,具有污染风险较低、节省空间、提高生产效率、自动化等优点,已逐渐在疫苗行业里广泛应用。

3) 微载体技术与生物反应器系统

微载体是一种新兴的大规模细胞培养技术,高密度的微载体大大增加了细胞培养的表面积,从而实现产能的扩大。其兼具悬浮培养和贴壁培养的优点,虽然在使用过程受一些因素限制,但使用生物反应器系统进行微载体细胞大规模扩增已具有明显优势,诸如培养过程系统化、自动化、不易被污染等。

4) 配制系统——配制罐及CIP/SIP系统

配制罐多采用磁力搅拌式的全自动罐,外源蒸汽实罐消毒,可对配液罐灭菌过程数据在线显示和记录。每个罐独立配置温度、转速、液位、PH测量和自动控制CIP/SIP系统,并采用高可靠性的总线自动控制系统。设计时根据项目年生产能力,选择合理数量和规格的配制罐与之匹配,满足生产要求。

5) 分装设备——洗、烘、灌联动线

洗、烘、灌联动线由立式洗瓶机、隧道式热风循环灭菌干燥机、拉丝灌封机(安瓿瓶)或压塞轧盖机(西林瓶)组成。在产品生产过程中,为了更好做到降低污染风险,减少人为直接参与生产过程是关键,因此在设计时主要考虑具有规模化、现代化、自动化的设备,尽量减少人员操作。洗、烘、灌联动线可提高整个生产过程的自动化程度,让整个生产过程始终处于可控状态,做到保证药物生产过程中的安全性、可追溯性和可重复性。

2 车间工艺平面设计

对于一个车间或厂房的设计,首先应整体考虑建筑物的位置,人、物流入口,工艺流程的合理性,空间平面的利用率,生产节能等问题,同时应协调好工艺与建筑、消防、空调、动力等之间的关系,在满足生产要求的前提下,尽量减少洁净区,特别是无菌区的面积以降低能耗,同时考虑生产的机械化、自动化,尽量减少人员操作,把对产品的污染风险降至最低。下面以某脊灰减毒活疫苗生产车间为例,分别从以下几方面对其工艺平面设计进行分析。

2.1 工艺区划方案

根据脊灰疫苗工艺各工序的特殊要求及相互关系,利用纵横走廊将生产车间分设七个功能区:其中生产区分为细胞区(无毒区)(C级、局部A级区)、病毒区(有毒区)(C级、局部A级区)、配苗区(有毒区)(B级、局部A级区)、分装区(有毒区)(B级、局部A级区)、外包装区(无毒区)(K级区)。由于生产过程中细胞培养、细胞种毒后培养过程中需要大量的细胞培养液,因此在车间内设置一个单独的配液区(无毒区)(D级区),进行培养基的配制;每个生产区使用大量的器具需要进行回洗、灭菌后重复使用,因此车间还需设置统一的清洗区(无毒区)(D级区)。每一工作区设置独立的人流、物流出入口,并同其他区域严格分开。

2.2 人、物流设计

GMP多次强调避免混淆及交叉污染的问题,因此在进行生物制品类厂房设计时应考虑将人、洁物、污物分开。因此车间分别设计人流入口、物流入口以及污物出口,人流从厂房东北侧门厅进入,经换鞋、更衣进入K级走廊,再分别经过缓冲、一更、二更、气闸后进入各洁净生产区。物流从西北侧门厅进入,通过物流净化通道后进入生产区,分别经过细胞培养、种毒、收获、配制、分装、包装等工序。各生产区的污物统一退到南侧污物走廊,其中有毒区的污物需经本区的高压灭菌处理,通过南侧走廊运出,送至厂区污物暂存点集中处理。

2.3 核心区的控制

GMP对操作人员进出洁净区域,有许多具体要求,其中第三十条规定:应当按照气锁方式设计更衣室,使更衣的不同阶段分开,尽可能避免工作服被微生物和微粒污染。更衣室应当有足够的换气次数,更衣室后段的静态级别应当与其相应洁净区级别相同。必要时,可将进入和离开洁净区的更衣间分开设置。操作人员进出无菌生产核心区,必须遵循严格的更衣程序。脊灰车间分装区人、物流图见图1。

对于脊灰车间,分装区作为整个车间的核心区域,应单独设置人、物流入口,必要时应设计人员退出通道。如图1所示,物料通过北侧气闸进入分装区,工作人员通过缓冲、穿无菌服、气闸进入,退出人员则经过气闸、脱无菌服、缓冲退出分装区,这样可以有效避免人、物交叉以及进

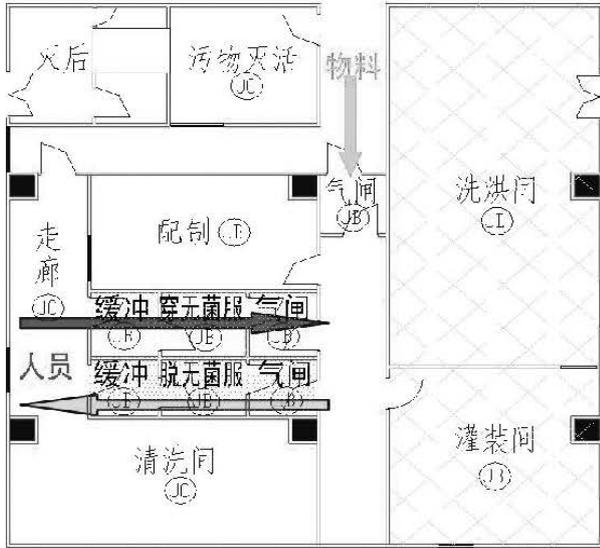


图1 脊灰车间分装区人、物流图

人和离开分装区人员的相互交叉。

根据GMP对风险控制的要求，考虑到轧盖过程中可能有铝屑产生，从而增加对制品产生污染风险，因此设计时将轧盖操作区与灌装区严格分开，分装区和轧盖区均采用B+A空调系统，轧盖区相对灌装区负压，轧盖人员设置单独更衣，小瓶由灌装至轧盖过程中全程A级送风环境保护。

2.4 有毒区、无毒区的控制

由于脊灰车间的病毒区、配苗区及分装区均为有毒区，因此设计时应考虑有毒区的控制问题。

有毒区人员进入需要经过前缓、更衣、后缓进入，并将后缓设为气闸。洁净更衣的核心是“污”和“净”的分离，以避免干净的工作服在更衣过程中被微生物和微粒污染。当操作人员退出时，衣服上所带微粒和微生物污染更衣区或者生产操作时产生的有害物质通过更衣区外溢时，有必要设置回更。但是并不是所有的无菌生产区都必须设置退出通道，应根据风险分析结果判断是否需要设置退出通道。对于本车间有毒区人员退出，由于条件限制，没有单独设置人员退出通道，设计时将后缓设为气闸，相对负压，以隔开有毒区和无毒区。

有毒区物流进入需要经过外清、缓冲进入，缓冲间设为气闸；若生产车间内有有毒区与无毒区之间需要传递，要在有毒区与无毒区之间设置物流气闸进行控制。

3 小结

医药洁净厂房工艺设计从宏观上考虑既要满足工艺需求、生产能力需求，同时也要考虑投资成本与运行费用等问题，尽可能为甲方节省投资，节省运行成本。具体设计时应严格按照GMP要求进行洁净分区，使人流走向清晰合理，避免对核心区的干扰；按照工艺流程顺序布置，尽量使物料路径短、避免物料往返及交叉污染；同时应根据生物疫苗的自身特性，即活毒、死毒以及的毒性强弱确定车间生物安全等级，合理进行有毒、无毒区域划分以及对有毒区的控制，尽可能地降低生产过程的污染风险以及生产车间对外界环境的污染。

参考文献

- [1] 医药工业洁净厂房设计规范 (2010年修订) .
- [2] 制药工程学. 王志祥 编著. 化学工业出版社, 2003年.
- [3] 疫苗学. 张廷龄、张晖 主编. 科学出版社, 2004年.
- [4] 生物生化药品工艺与技术汇编, 2003年.

《航空工程建设》2015年第1~6期文章索引

2015年第1期 总第117期 目录

- | | | | |
|----|---------------------------------|---------------|-----|
| 02 | 时间序列方法在民航市场预测中的应用 | | 郑应平 |
| 05 | 从S-37到T-50看俄罗斯空军主战装备发展思路变迁 | | 佟京昊 |
| 07 | 飞机制造类企业核心能力识别研究 | 崔晶 | 王明珠 |
| 12 | 美国通用航空产业成功经验对我国的启示 | 马杰 | 陈阳 |
| 16 | 索钢节点疲劳性能试验研究 | 张国军 刘轶群 葛家琪 | 杨维国 |
| 22 | 大型飞机总装厂房结构分析 | | |
| | | 周青 裴永忠 赵伯友 郭鹏 | 朱丹 |
| 27 | 矿区开发规划环评中生态适宜性分析研究 | | |
| | | 朱洪利 刘艳菊 | 李廷锋 |
| 31 | BIM在医药工程给水排水设计中的应用 | 王若宇 | 王艳 |
| 34 | EPC总承包模式下承包商的工程变更造价控制研究 | | |
| | | 王晓旭 | 房健 |
| 38 | 基于自适应遗传算法的车间调度问题研究 | 唐文婷 | 徐学民 |
| 42 | 蒸汽疏水阀正确选型方法 | 高江玲 | 李昕旸 |
| 46 | 浅谈锅炉房工程总承包项目设计岗位成本控制方法 | | |
| | | 张声远 | 安玉生 |
| 49 | 广联达民用机场工程计价软件GCA2013常见问题及处理方法探究 | | |
| | | 郭钺玮 | 田京精 |
| 51 | 浅谈唐山金融大厦供配电系统设计 | 赵雨播 | 陈泽毅 |
| 58 | 多电源10/0.4kV变电所系统接地的实施 | | 王颖 |
| 61 | 某兽药厂洁净空调风系统设计 | 丁小辰 | 董秀芳 |

2015年第2期 总第118期 目录

- | | | |
|----|---------------------------|---------|
| 02 | 美军第二代“空战装备体系”研究及思考 | 佟京昊 |
| 06 | 我国民航飞机维修产业研究 | 郑应平 |
| 09 | 中川航站楼结构抗震性能分析 | |
| | 周青 郭鹏 赵伯友 朱丹 裴永忠 | 张俊杰 |
| 16 | 博物馆文物微振疲劳试验与分析研究 | 葛家琪 马伯涛 |
| 23 | 智能化系统设计中常见的UPS配置问题探讨 | |
| | 白雪婧 | 刘静 |
| 28 | 大型计算机中心余热回收供热方案探讨 | 赵晨 李超 |
| 32 | 工程总承包项目(EPC模式)提高结算控制效果的方法 | |
| | 庞允盼 | 李利 |
| 36 | 基于产业价值链视角的创新商业模式研究 | |
| | ——以我国工程咨询和建筑行业为例 | 贾道清 |
| 43 | BIM技术为设备行业带来的变革 | 陈洁 李力军 |
| 46 | 基于海绵城市(LID)理念的雨水控制模拟效果分析 | |
| | 乔梦曦 | 刘芳 |
| 49 | 基于某工程实例的膜制氮与液氮汽化方案技术经济分析 | |
| | 王晓东 | 杨丽莉 |
| 54 | 高温烟道支架改造 | 李博聪 孙雨生 |
| 58 | 环保型风车循环喷丸设备 | 车青 刘劲松 |

2015年第3期 总第119期 目录

- | | | | |
|----|-------------------------|---------|-----|
| 02 | 精益航城——中国航空城规划理论与实践 | | 李守旭 |
| 05 | 光整加工技术在航空发动机整体叶盘制造中的应用 | | |
| | | 杨 阔 | 王少龙 |
| 10 | 登机桥及桥载设备工艺设计研究 | 孙 博 | 梅宝兴 |
| 13 | 高架机库楼面等效均布活荷载取值设计 | 韩 川 | 张俊杰 |
| 17 | 某超限高层建筑大震弹塑性分析及抗震性能化设计 | | |
| | | 宋毛毛 | 马伯涛 |
| 24 | 复杂支承条件下屋盖网架支座刚度取值探讨 | 田 苑 | 周 青 |
| 29 | 建设项目变更费用控制研究 | 王 媛 | 李梅英 |
| 33 | 立式真空联合电阻炉的组成及主要存在问题 | 高如超 | 殷志军 |
| 37 | 风洞中试验段升降系统的设计研究 | 刘晓娜 郗 方 | 邢少波 |
| 41 | 基于实例的蒸汽管道设计问题探讨 | 张 勇 | 邢志涛 |
| 44 | 工业4.0及其对我国国防装备制造两化融合的启示 | | 晋 煜 |
| 48 | 绿色节能技术在中航投资大厦超高层中的应用 | | 孟凡兵 |
| 52 | 高烈度区某高层框架-剪力墙结构设计 | 李世成 | 王 倩 |
| 56 | 空压站余热回收系统设计 | 张晓楠 | 赵 磊 |
| 59 | 医药厂区总图布置 | 景飞云 | 肖 炯 |
| 62 | 变频干扰的解决办法 | 孙庆峰 | 王 威 |

2015年第4期 总第120期 目录

- 02 不同类型机场周边空港经济区规划战略选择与定位 佟京昊
- 07 光导航新技术PBN在机场建设中的应用 张帆
- 12 航站楼类高大空间分层空调设计冷负荷减小率的数值分析
刘晓雨 梁超 梁乃正 邵晓亮 李先庭 姚春
- 18 声学软件在航空发动机试车台设计上的应用
陈珏 王娜 万能
- 21 钢支撑-混凝土框架结构在多层厂房中的应用
闫军 张晓光 余长霞
- 25 金属接地极的电化学腐蚀及防护 苏碧萍
- 29 仿古商业建筑暖通若干控制要点探讨 高阳洋 孟凡兵
- 33 建设工程进度控制 袁凤翔
- 35 建设项目全过程造价控制要点分析 庞亚玲
- 39 LED蓝光能量分析 陈寅生
- 44 国内外汽车风洞技术与发展现状 马玉清
- 49 生鲜食品加工配送中心工艺设计研究 李箐
- 54 中航规划科研综合楼结构设计
崔巨宏 贾洁 金来建 吕敬辉 刘茵
- 61 某过河热力管道支架基础选型分析与设计 顾强强

2015年第5期 总第121期 目录

- 02 汽车所致虎门遗址振动全过程性能化研究 葛家琪 马伯涛
- 11 高烈度地震区三种超高层结构体系性能比较 谢 军 金来建
- 19 高建钢对多层大悬挑结构体系与节点性能影响分析研究
王明珠 葛家琪
- 29 组合楼盖在超高层建筑中的应用 金来建 谢 军
- 34 临空经济区空间发展模式及趋势展望 胡赵征 李守旭
- 41 燃气冷热电三联供系统在航空工业园区的应用
刘晓雨 肖 武
- 49 网架内管道膨胀与固定的分析 申 剑 傅建勋
- 55 与施工方案相关的措施费计算方法研究 李 玲
- 60 垃圾焚烧发电项目概算编制体系及实践
——以北京首钢生物质能源项目为例 苗 宇
- 63 管桩造价指标影响因素分析
孟 繁 张俊杰 郗利平 钱海静
- 69 民航维修基地布局研究
闫 慧 吴祈宗 王仲奇

2015年第6期 总第122期 目录

- | | | | |
|----|------------------------|-------------|-----|
| 02 | 航空热处理车间工艺设计相关分析 | | 余 璐 |
| 05 | 机载光电类产品试制中心的工艺设计分析 | 孙 星 | 于颖贤 |
| 09 | 民用运输机场总体规划与航站区规划设计研究 | | 王锋刚 |
| 12 | 泡沫格栅喷嘴自动消防系统在机库消防中的应用 | | |
| | | 陈洁如 杨开冕 | 闫 夷 |
| 17 | 航空发动机试车台火灾自动报警系统设计探讨 | | |
| | | 杨艳男 | 王宏伟 |
| 21 | 编码控制方法在多机种电加载系统中的应用 | 丁 锐 | 王宏伟 |
| 24 | 整合规划体系下生态环境规划模式研究 | 刘艳菊 | 朱洪利 |
| 29 | 大跨度楼盖运动场内人员舒适度实测分析研究 | | |
| | | 马伯涛 宋毛毛 王明珠 | 葛家琪 |
| 36 | 索穹顶与外围大悬挑组合结构体系分析 | | |
| | | 张国军 管志忠 葛家琪 | 王明珠 |
| 43 | 国际工程风险分析与对策 | | 李锐娟 |
| 48 | 高大喷漆厂房防爆通风系统节能解决方案 | | 刘运良 |
| 53 | 固体制剂车间工艺布局设计分析 | 李 红 | 徐 哲 |
| 56 | 浅谈脊髓灰质炎减毒活疫苗生产车间工艺布置设计 | | 张媛媛 |

中关村航空科技园一期工程

建设地点：北京 海淀

设计单位：中航规划电子院

用地面积：17.249万m²

建筑面积：43万m²

总体定位

本项目定位于建造一个高效、充分满足使用要求、土地价值最大化的科研组群，营造出一片充满城市活力，人们乐于前往的高品质城市中心区，同时充分展示中航工业开放进取的国企形象。

总体目标

成为现代科技业转型升级的平台；营造高品质办公环境；构建丰富的现代城市生活。

设计理念

理念上本方案通过以下四个方面为社会打造一个高效、现代、充满魅力的建筑。

建筑经济性

本设计在满足当地规范中关于退界和日照的前提下，将建筑体量更加完整，在平面布置上设计采用了经济性的方形平面布置，规整的柱网设置，有利于建筑各类功能的使用，也增强了建筑使用的灵活性。

生态的可持续发展

建筑以节省能源，降低能耗为宗旨，采用多项先进成套技术及新材料、新产品。结构设计上，采用轻质新型墙体材料，抛弃不符合环保要求的传统粘土实心砖，减轻结构自重，节约了基本工程费，为平面灵活分隔创造了前提。

文化的可持续发展

高科技园区需要文化的支撑与充实，一个有活力富于创新性的文化发展，在设计形式上表现为开放、多元及符合国际潮流的标准。设计重视与挖掘海淀地区独特的地域历史文脉，并与航空企业文化和科技园的高科技产业文化相融合，创造出一处既高效率又高情感的创新社区。

设计实施的可持续性

既兼顾长远目标，又强化近期目标及保持园区开发的持续均衡是设计方案实施可持续性的重要标准。实施控制方面包括对近期及远期开发的控制、利用强度的控制、对道路及市政投资的控制、对园区空间形态和建筑的整体性和自由性的关系控制。



2015年第6期（总第122期）
2015年12月出版



中关村航空科技园一期工程