

航空工程建设

AERO-INDUSTRY ENGINEERING CONSTRUCTION

2019年第1期 总第141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

天坛生物疫苗产业基地项目

项目名称：天坛生物疫苗产业基地项目

建设单位：北京天坛生物制品股份有限公司

设计单位：中国航空规划设计研究总院有限公司

项目简介：

北京天坛生物制品股份有限公司(以下简称天坛生物)是一家从事疫苗、血液制剂、诊断用品等生物制品的研究、生产和经营的骨干企业，于1998年由中国生物技术集团公司北京生物制品研究所通过重组、剥离、改制在上交所发起上市。北京生物制品研究所创建于1919年，是中国最早的生物制品和抗生素研制基地，是中国生物制品业的摇篮。

天坛生物疫苗产业基地新建总建筑面积24.8万 m^2 ，生产精制百白破疫苗、麻腮风联合减毒活疫苗、乙型脑炎灭活疫苗、水痘疫苗、重组乙型肝炎疫苗等15种生物制品。

天坛生物疫苗产业基地用地南临新风河路，西靠博兴三路，北临兴海路，整个用地呈不规则三角形，北侧东西长约663m，南侧东西长约639m，南北最宽处约481m。本规划用地由两块用地组成，按所处位置分别称西区 and 东区，总用地面积为15.8万 m^2 ，其中包括西区X66F1地块为7.5万 m^2 ，东区X67F1地块为8.3万 m^2 。

天坛生物亦庄基地项目是我院在医药工程设计中——建设标准、规模、投资最具影响力的标杆项目，建成后将成为全国乃至全球最大规模的生物疫苗研发生产基地。

国际标准——先进的工艺与设备，符合新版GMP、欧盟CGMP、世卫WHO验证标准，部分产品盖茨基金会全球采购。

投资规模——18个疫苗品种，一期建设规模23.6万 m^2 、一期投资38亿。



我国全面推行“双随机一公开”监管模式

日前，国务院办公厅发布《国务院关于在市场监管领域全面推行部门联合“双随机、一公开”监管的意见》，这是进一步深化“放管服”改革、加快政府职能转变、减轻企业负担、优化营商环境、加快信用体系建设、创新事中事后监管的直接体现。

早在2015年，国务院办公厅就发布了要求在政府管理方式和规范市场执法中全面推行“双随机、一公开”的监管模式的通知，即在政府监管和市场执法过程中随机抽取检查对象、随机派出执法检查人员，抽查的情况和查处后的结果及时向全社会透明公开。自2016年起，“双随机、一公开”更是连续3年被写入《政府工作报告》。

推行“双随机、一公开”的监管模式已有三年多了，取得了一定成效，但还面临着顶层设计有待进一步完善，统筹推进机制尚未建立等问题。国务院本次的《意见》提出了在政府监管和市场执法过程中全面推行“双随机、一公开”的具体要求，即四个坚持：坚持全面覆盖、坚持规范透明、坚持问题导向、坚持协同推进。力求通过“双随机、一公开”，增强市场主体信用意识和自我约束力、减少监管活动对市场主体正常生产经营活动的干预，以监管方式创新提升事中事后监管效能，并明确七项重点任务：一、统筹建设监管工作平台。二、实行抽查事项清单管理。三、建立健全随机抽查“两库”。四、统筹制定抽查计划。五、科学实施抽查检查。六、强化抽查检查结果公示运用。七、做好个案处理和专项检查工作，并通过加强组织领导、严格责任落实、营造良好环境等措施来确保实施。

“双随机、一公开”的监管模式有利于切实解决一些领域存在的“检查任性”“执法扰民”等问题，减轻企业负担，提升监管执法的效能和法律法规的震慑力。2015年国务院发布通知后，该监管模式被运用到建筑行业的核发企业资质、工程质量安全监督、施工现场专业人员职业培训等多个方面。如2015年12月，福建省住建厅印发《关于实施“双随机”监管机制规范工程质量安全监督工作的通知》。这一模式是深化“放管服”改革、创新事中事后监管的重要内容，有利于进一步为企业减负，将建筑企业从繁琐的准备资料、申请资质等解放出来，将重心放到工程质量上。

李克强总理曾在国务院常务会议上这样表示，现在我们推行的“双随机、一公开”就等于给检查对象和检查人员戴上了“紧箍咒”，让大多数人不放心存侥幸。这一招不仅从根本上遏制了人情监管，也提高了监管效能和公正性。

（来源：《建筑时报》）

航空工业实现PBO纤维国内工业化应用

经过航空工业制动与中科院化学所的联合攻关，国产PBO纤维目前已成功应用于航空抛放式飞行数据记录器壳体（“黑匣子”壳体）制造，首次实现了PBO纤维在国内的工业化应用，打破了国外在该产品研制方面的垄断，填补了我国在抛放式飞行数据记录器研究方面的空白。

PBO纤维全称聚对苯撑苯并双噁唑纤维，作为21世纪超级纤维，具有十分优异的物理性能和化学性能，是目前比强度、比模量最高的纤维，具有在火焰中不燃烧的特性，被广泛应用于宇宙空间器材、火箭发动机隔热、燃料油箱、防弹衣、高性能防弹装甲等领域，是国家大力发展的战略基础材料之一。PBO纤维国外长期对中国禁售，之前只有日本的东洋纺能够生产，主要是作为军需品对欧美和日本销售。

2014年，制动公司以引领国内高性能碳基复合材料研究制造和创新发展的技术优势，开始与PBO纤维研制技术处于国内领先地位的中科院化学所合作，运用PBO纤维增强复合材料研制航空抛放式飞行数据记录器壳体等项目，实现该材料在国内的工业化应用。经过4年多的研制，制动公司利用中科院化学所PBO纤维，成功研制出了国内首个纤维增强树脂基复合材料制备抛放式数据记录器壳体。用这种材料制造的“黑匣子”壳体，不仅耐强大的抗冲击力，就是用子弹也打不穿，而且轻盈、耐腐蚀、不怕火烧，漂浮在海水里3个月也不会腐烂，可以保证壳体内记录飞机各类数据的软件不会被损坏。它的研制成功，开创了国内抛放式记录仪壳体研制成功的先河，标志着我国可以自主研制、并能在军民机上安装具有完全自主知识产权的抛放式飞行数据记录器。目前已在国内军机上成功应用，实现了技术研究向产业化发展的转换，制动公司也成为国内首家将PBO纤维增强复合材料进行产业化应用的制造企业。

（来源：《中国航空报》）

华润生命科学园项目

建设地点：北京市

设计单位：航空工业规划医药工程设计研究院

建设情况：在建

设计亮点

本项目位于北京大兴生物医药产业基地三期西南部，北至仲景西路，南至魏永路，西至明川大街，东临紫竹街，京开高速路、六环路在基地交汇，总建设用地面积42万m²，总建筑面积约为102万m²，经过合理分区形成10个建设区域，主要功能包括：仓库、库房、行政办公、生产服务设施、地下车库等。

项目在规划上遵循“一谷一环、立体连通”的空间形态，打造全方位立体可持续发展的生命科学园区。“一

谷”即草木谷，位于整个园区中央，利用建筑退台、立体连廊、步行道、下沉广场、草本植物景观展示将园区地上地下空间立体连接的绿色共享空间。“一环”即享乐环，结合内部道路，构建健康慢性休闲圈，将创新型生产以及生活模式融入其中。“立体连通”通过设置平台、地下通道、骑楼体系，全方位立体连通，共同应对风、雨、雪、霾等恶劣天气，保证生物制药等洁净需求。

“绿色交通”是园区交通规划的重要特征。地面层围绕每个主要功能区设置环形道路，同时结合建筑地下停车场进行立体化交通组织。另外，厂区中心绿化带设计一条贯通南北的连廊作为园区内主要步行体系，丰富效果，增强水平交通能力。

建筑立面以陶板、玻璃、百叶为主要材料，色彩为带有华润气质的暖黄色，造型简洁、舒展、端庄，突出细节处理，使建筑物既有简洁、明快的总体形象，又经得起细细品味，体现建筑文化内涵。





上海莱士血液制品股份有限公司 新建项目

建设地点：上海市

设计单位：航空工业规划医药工程设计研究院

建设情况：建成

设计亮点

上海莱士血液制品股份有限公司是中国第一家中外合资的血液制品大型生产企业，在上海奉贤区新建建设项目，总建筑面积7.9万m²，血浆处理量将达到800t/年，以满足新版GMP认证和欧盟CGMP要求，建设成行业内最有影响力的高新生物企业。项目于2009年设计中标，2010年完成一期工程设计。

总体布局在满足工艺生产需求的前提下，通过厂前区、生产区和生产配套区三部分组合，将办公、车间、

生产配套不同性质的建筑有机组合，形成整体。办公综合楼结合厂前区广场形成对外交流的窗口，是最具企业标志性的建筑物；按照工艺流程，将血制品车间和库房布置在厂区中部，与二期车间有序地排列，形成生产区的核心；生产配套设施布置在西侧和北侧。

绿化以点、线、面布置相结合，种植无花粉及无花絮类乔木、灌木、草坪、厂前区布置水池等，以创造新时代高科技生产厂区的崭新形象。

建筑整体定位为新时代生物制品行业的洁净建筑，因此建筑形态呈现出古典、庄重、简洁、大方的造型特征。新建办公楼采用高低错落的建筑体块、透空架廊、醒目的陶土装饰板色彩等手法，以创造出企业自身的独特形象，成为厂区的亮点。生产区建筑体块方整，采用体形穿插的方式，以灰色为主调，通过材质、体块的对比，以凸显企业务实、稳重、和谐的高科技产业风格。

项目获奖情况介绍：全国优秀工业建筑设计三等奖、全国医药优秀工程设计一等奖、中国建筑学会优秀给排水设计一等奖、航空工业优秀工程设计一等奖。

中药提取、液体制剂建设项目

建设地点：唐山市

设计单位：航空工业规划医药工程设计研究院

建设情况：建成

设计亮点

北京同仁堂科技发展（唐山）有限公司中药提取、液体制剂建设项目是预防、治疗、诊断用医药制品和高科技产品生产研究的重要基地，也是华北地区医药制品生产的龙头企业所在地。基地建设秉承“关爱生命，呵护健康”的理念，以扩大现有制品的规模化生产，实现产品的更新换代，增加新产品为目标，从而实现同仁堂的可持续发展，做强做大企业规模，提升企业核心竞争力。

规划采用先进的设计理念，满足不同产品的生产需要，合理进行工艺区划，选用先进节能的工艺设备，满足工艺生产要求。在满足新版GMP认证和参照欧盟GMP的要求基础上，把本项目建设成具有生产自动化，管理网络化，资源集约化的国际一流的医药生产企业。规划设

计强调生态、技术、人文并重，规划、景观、建筑三位一体，不仅纳入整个开发区的大环境之中，使之成为有机整体，并在建筑形象上体现其自身独特的性格。

规划总用地约180亩，规划总建筑面积15.7万m²。本项目采用新技术如下：

1、立体化垂直提取生产布局，将投料、提取、浓缩、收膏各工序分别由上至下布置在不同楼层，物料利用重力和工艺管道实现转运，降低能耗；

2、采用先进的出渣挤压机，实现出渣、挤压、出料自动化，大大减轻劳动强度，保持生产环境卫生；

3、自动化存储系统，由机器人及传送装置和堆垛机完成自动化存储，实现仓库作业机械化和自动化。成品由4号液体制剂车间通过各层连廊的传送带传送至库房各层再存货。每层实现全自动运输及自动收取和存放货物的功能，从成品出车间到进出库房，全部实现自动化；

4、计算机控制及条形码技术，借助于堆垛机的行驶速度和升降速度，可以快速、准确无误地完成货物的收发工作，比一般高架库的人工利用叉车收发货物更为安全、快速和准确。





亚泰国际医药健康产业园项目

建设地点：长春市

设计单位：航空工业规划医药工程设计研究院

建设情况：在建

设计亮点

亚泰国际医药健康产业园占地68万 m^2 ，建筑面积100万 m^2 ，立足长春新区的区位优势，是东北最大的医药健康产业园区，是集生物制药、中药特色抗肿瘤药、保健食品生产、药品研发、现代医药流通的“五个基地”、和药材药品医疗器械“批零一体化”、创新创业、新药研发、新企业孵化、医药健康大数据的五个平台，形成具有产、学、研核心竞争力的“集约化、智能化、数据化的国际化创新示范园区”。

目前，园区实现项目储备119项，将于2019年分批入驻。随着更多企业逐步入园、投产、经营，园区将以“绿色、生态、健康、养生”的发展理念，按照以高科技生物、国家一类新药为核心的“园中园”、以科研院所机构为核心的“园中院”、以中英城、中韩城等为核心的“园中城”战略进行规划，协同驱动、创新发展，形成兼备“产、学、研、物、商、贸、服”于一体的大健康产业布局。

亚泰国际医药健康产业园将汇集国内外大健康行业知名企业和项目，以“大资本、大市场、大平台、大数据、大服务”的国际性合作平台，引进一批龙头企业、培养一批独角兽企业，构建国内外大健康行业共同体，使亚泰国际医药健康产业园成为亚泰集团产业融合的汇集地、拉动长春新区乃至省内经济发展的巨大引擎，引领中国大健康产业创新发展。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《城市综合交通体系规划标准》的公告

现批准《城市综合交通体系规划标准》为国家标准，编号为GB/T51328-2018，自2019年3月1日起实施。国家标准《城市道路交通规划设计规范》（GB50220-95）、行业标准《城市道路绿化规划与设计规范》（CJJ75-97）的第3.1节和第3.2节同时废止。

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

住房和城乡建设部关于发布国家标准《机械工厂年时基数设计标准》的公告

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

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

住房和城乡建设部关于发布行业产品标准《楼梯栏杆及扶手》的公告

现批准《楼梯栏杆及扶手》为建筑工业行业产品标准，编号为JG/T558-2018，自2018年12月1日起实施。原《住宅楼梯 栏杆扶手》JG3002.3-1992同时废止。

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

住房和城乡建设部关于发布国家标准《建筑中水设计标准》的公告

现批准《建筑中水设计标准》为国家标准，编号为GB50336-2018，自2018年12月1日起实施。其中，第1.0.5、1.0.8、3.1.6、5.4.1、5.4.7、6.2.17、8.1.1、8.1.2、8.1.5、8.1.7条为强制性条文，必须严格执行。原国家标准《建筑中水设计规范》GB50336-2002同时废止。

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

住房和城乡建设部关于发布国家标准《民用建筑太阳能热水系统应用技术标准》的公告

现批准《民用建筑太阳能热水系统应用技术标准》为国家标准，编号为GB50364-2018，自2018年12月1日起实施。其中，第3.0.4、3.0.5、3.0.7、3.0.8、4.2.3、4.2.7、5.3.2、5.4.12、5.7.2条为强制性条文，必须严格执行。原国家标准《民用建筑太阳能热水系统应用技术规范》GB50364-2005同时废止。

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

住房和城乡建设部关于发布国家标准《工程建设勘察企业质量管理标准》的公告

现批准《工程建设勘察企业质量管理标准》为国家标准，编号为GB/T50379-2018，自2018年12月1日起实施。原国家标准《工程建设勘察企业质量管理规范》GB/T 50379-2006同时废止。

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

住房和城乡建设部关于发布国家标准《城市居住区规划设计标准》的公告

现批准《城市居住区规划设计标准》为国家标准，编号为GB50180-2018，自2018年12月1日起实施。其中，第3.0.2、4.0.2、4.0.3、4.0.4、4.0.7、4.0.9条为强制性条文，必须严格执行。原国家标准《城市居住区规划设计规范》GB50180-93同时废止。

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

住房和城乡建设部关于发布国家标准《风景名胜区详细规划标准》的公告

现批准《风景名胜区详细规划标准》为国家标准，编号为GB/T51294-2018，自2018年12月1日起实施。

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

（来源“国家工程建设标准化信息网”）



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

顾问委员会

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

编辑委员会

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

总编 沈金龙
 主编 陈海风
 执行主编 王蕊
 责任编辑 范蕊
 出版 《航空工程建设》编辑部
 地址 北京德外大街12号
 邮编 100120
 E-mail hkgejs@avic-apc.com
 印刷单位 北京奇麒麟印刷有限责任公司分公司
 发送对象 公司内部及本系统内部
 印刷日期 2019年2月
 印数 1500册
 电话 (010)62038235
 传真 (010)62038297
 封面 天坛生物疫苗产业基地项目

CONTENTS

目录 2019年第1期 总第141期

航空能力建设

- 02 航材件需求预测模型研究 闫慧 郑应平 张立峰
- 06 航空工业热喷涂技术概况 王虹 姜煜霞 张萌
- 09 基于Plant Simulation的航空发动机叶片机加生产线仿真分析与优化
李慧 孙元亮 张超
- 14 航空货运站安防工艺设计要点 赵施展 闫慧 徐可
- 18 通用航空展会及规划设计要点 张法亮 李昊
- 21 数控机床联网控制技术 杨骥
- 24 流程驱动式生产管控系统设计及研究
张岩 王明珠 侯康伟

研究与探讨

- 28 再谈等电位联结 丁杰 陈谦 韩帅
- 31 航空货运站消防给水方案分析与实例 付饶
- 34 欧美工程咨询行业业态分布与质量管理措施分析 张波
- 42 受剪预埋件锚筋层数影响试验研究 贾洁 郭骞
- 47 预制拼装式体外预应力混凝土风电塔架试验研究
张曼生 张国军 葛家琪 王树 丛欧
- 56 基于CFD的压气机试验器进气系统设计与气动性能研究
刘其琛 王静
- 62 土方平衡的新视角一窥 杜慧英

航材件需求预测模型研究

■ 闫慧 郑应平 张立峰 [工艺]

摘要: 分析比较多种定量预测方法, 提出时间序列方法进行航材件的需求预测, 利用移动平均法和趋势外推法分别给出了航材件备份数量预测模型。本文结合项目, 对实际数据进行了算例分析, 得出趋势外推法在航材件的需求预测中精确较高。

关键词: 航材件; 需求预测; 时间序列

1 引言

无论对于军机还是民机, 航材供应保障都是一项重要而复杂的管理工作^[1]。航材件的费用在整个飞机维修周期费用中占有很大的比例, 航材管理模式直接影响航空公司的成本控制和经营效益水平。因此, 合理配置航材件一直是精确化保障研究的热点问题之一, 航材件需求量的预测则是制定保障计划的核心问题和关键所在, 直接影响后续的筹措、分配、储存等各项工作的顺利进行。

关于预测的方法很多, 按其性质可分为两大类, 即定性预测法和定量预测法。定性预测容易受主观因素的影响, 比较注重于人的经验和主观判断力, 缺乏对事物发展作数量上的精确描述。本文研究的重点着眼于航材需求在数量方面的分析, 因而集中于定量预测方法的分析。定量预测注重于事物发展在数量方面的分析, 重视对事物发展变化的程度作数量上的描述, 更多地依靠历史统计资料, 较少受主观因素的影响。目前主要的定量预测方法有一元线性回归法、计量经济法、时间序列分析法、神经网络法、灰色预测法^[2]。

综合比较各种预测方法, 由于影响航材量的因素较多, 一元线性回归模型考虑因素过于简

单, 预测精度不高。使用计量经济法时, 影响航材量发展的经济因素也不是一成不变的, 随着机库所在地的产业结构、人口等因素而不断变化, 因此影响预测结果的精确性。神经网络法对于高度非线性的问题, 常常会使搜索陷入局部极小。灰色预测法要求样本数据少, 常用于短期预测。时间序列法适用于预测短期和近期的航材量发展趋势, 所需的数据只是历年的航材量, 操作简单, 数据工作量小。

由于设备系统的复杂性、零件故障的随机性、航材件消耗的特殊性, 因此航材件的需求采用时间序列法预测。

2 时间序列方法预测

时间序列分析就是通过研究某段时间内所观察到数据的统计关系, 来揭示系统的动态结构特征及其发展变化规律, 是一种重要的现代统计分析方法^[3]。对于流动速度快, 历史数据记录齐全的航材件来说, 时间序列预测能提供较好的预测效果。航材量数据构成了一个时间序列, 对该时间序列建立动态模型, 并利用模型在时间上外推, 从而可以预测目标年份的航材量。

常用的时间序列方法有移动平均法、指数平滑法、布朗二次多项式指数平滑法、趋势外推法等。

作者简介: 闫慧, 女, 高级工程师, 2013年毕业于北京理工大学管理科学与工程专业, 现就职于中航建设民航工程设计研究院。

2.1 移动平均法

一次移动平均保持平均的期数N不变，但其平均值随时间变化而移动。

设变量x的时间序列为 X_1, X_2, \dots ，一次移动平均法可以表示为^[4]：

$$F_{t+1} = (x_t + x_{t-1} + \dots + x_{t-N+1}) / N = \frac{1}{N} \sum_{i=t-N+1}^t x_i$$

其中 X_t 为最新观察值， X_{t-N} 为最早观察值， F_{t+1} 为下一期预测值。

一次移动平均有时预测值会比实际值偏大或偏小，若 X_t 具有上升趋势，则一次移动平均值偏低，反之，一次移动平均值偏高。这时需要进行二次移动平均。二次移动平均就是将一次移动平均值再进行一次移动平均。

评价预测优劣的准则有：

平均误差： $ME = \sum (X_t - F_t) / N$ ，平均误差是所有误差的平均。如果误差有正有负，并且可能性相当，那么所有误差和L近似为0。如果误差都为正，或都为负，那么说明预测总是偏低或偏高，预测存在系统误差，说明预测是有偏的。

误差平方和： $SSE = \sum (X_t - F_t)^2$ ，

误差标准差： $RSE = (SSE / (N - 1))^{1/2}$ ，

平均绝对误差： $MAD = \sum |X_t - F_t| / N$ 。

平均绝对误差说明误差大小，如果分布是对称的，说明一半误差大于MAD，一半小于MAD。

2.2 趋势外推法

根据图形的形状，经常使用如下曲线^[4]：

(1) $y_t = c_0 + c_1 t$ 线性趋势模型，增长的数量是常数， $t+1$ 比 t 时刻增加 c_1 。

(2) 指数增长趋势模型 $y_t = Ae^{rt}$ ，两边求自然对数 $\log y_t = \log A + rt$ ，该模型表示增长率是常数， $\frac{y_t - y_{t-1}}{y_{t-1}} \approx r$ 。

(3) $y_t = c_0 + c_1 t + c_2 t^2$ 二次趋势模型，该模型适合数据折线图是二次多项式曲线的情况。

这几类模型都有一些未知参数，必须估计出这些未知参数的大小。在回归分析中，基本的估计方法是最小二乘法。最小二乘法的步骤为：

(1) 选择函数形式；考虑两个变量的关系，根据图形确定函数形式。如果变量之间为正的线

性关系，则建立模型为： $Y = a + bX + u$ 。

(2) 使用最小二乘法确定a, b的值，即选择一条直线，使得所有的点到该直线的距离之和最短。 $\hat{Y} = a + bX$

$\sum u_i^2 = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum (Y_i - a - bX_i)^2$ ，其中a为截距，b为斜率。

(3) 对参数进行检验，通过检验来判断模型设定是否正确，检验内容如下：

$$H_0 : a = 0$$

$$H_0 : b = 0$$

$$H_0 : a = b = 0$$

(4) 评价模型

$$\text{计算拟合优度 } R^2 = 1 - \frac{\sum e^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}, \text{ 拟合优}$$

度接近1，说明模型对数据的拟合程度高。

(5) 预测

预测包括点预测和区间预测。

2.3 指数平滑法

指数平滑法常用于非线性估计，即权重按照指数形式衰减。

$$F_{t+1} = ax_t + a(1-a)x_{t-1} + a(1-a)^2 x_{t-2} \dots + (1-a)^t F_1, \text{ 各观察值的权重为 } a, a(1-a), a(1-a)^2 \dots$$

3 航材件需求预测

某航空公司维修基地项目中，需要对航材库的面积进行预测估计，此时需要预测各航材件的存储规模。以航材轮胎库为例，根据上述方法进行预测。

3.1 移动平均法预测航材量

轮胎备份数量与航空公司维修业务量有直接关系，当维修量大时，需要备份的轮胎数量也较多；当维修量小时，需要备份的轮胎数量较少。航空公司维修业务量受很多因素影响，如季节性、维修工人水平等，随着时间的变化，呈现一定的上升或下降的趋势，采用移动平均法的预测量如表2。

从上表可以看出，一次移动平均作为预测值比实际值偏低，也就是预测值滞后于实际值。这时需要进行二次移动平均。即：

表1 轮胎备份数量历史数据

年份	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
轮胎备份数量(架份)	2	2	3	4	5	4	4	5	6

表2 2009~2017年航材量及一次平均法预测2018年航材量

年份	t	X _t	F _t (N=3)	F _t (N=5)
2009	1	2	—	—
2010	2	2	—	—
2011	3	3	—	—
2012	4	4	2.3	—
2013	5	5	3	—
2014	6	4	4	3.2
2015	7	4	4.3	3.6
2016	8	5	4.3	4
2017	9	6	4.3	4.4
2018	—	—	5.3	4.8

表3 一、二次移动平均预测值及误差

t	X _t	F _t (N=3)	e ^t	F _{t2} (N=3)	e ^{t2}
1	2	—	—	—	—
2	2	—	—	—	—
3	3	—	—	—	—
4	4	2.3	1.7	—	—
5	5	3	2	—	—
6	4	4	0	—	—
7	4	4.3	-0.3	3.1	1.2
8	5	4.3	0.7	3.8	0.5
9	6	4.3	1.7	4.2	0.1

$$F_{t2} = \frac{F_t + F_{t-1} + \dots + F_{t-N+1}}{N}$$

。如表3所示。

从表可以看出，二次移动平均对一次移动平均的滞后量约等于一次移动平均对实际值的滞后量，即 $X_t - F_t \approx F_t - F_{t2}$ ，根据这个特点，为了消除误差，将一次移动平均值加上一次与二次移动平均值之差，这样预测结果就更接近实际值。由此得出二次移动平均预测公式：

$$F_{t+m} = a_t + b_t m$$

$$a_t = 2F_t - F_{t2}$$

$$b_t = \frac{2}{N-1}(F_t - F_{t2})$$

起点取2017年，当t=9时， $F_t=4.3$ ， $F_{t2}=4.2$ ，

$a_9=4.4$ ， $b_9=0.1$ ，则 $F_{10}=4.2+0.1=4.3$ 。

即预测2018年的航材轮胎需求量为4.3架次。

3.2 趋势外推法预测航材量

(1) 数学模型和参数估计

由表4看出，一阶差分基本相等，可以判断航材量呈现线性变化模式。

拟合的直线方程为， $\hat{y}_i = a + bt_i$ ，

\hat{y}_i : 变量 y_i 的预测值；

t_i : 时期编号，这里 t_i 是指第*i*年；

a : 直线方程的截距；

b : 直线方程的斜率。

第 t_i 年的实际值 y_i 与预测值 \hat{y}_i 之间存在误差 e_i ，即 $e_i = y_i - \hat{y}_i$ ；得出的直线方程 \hat{y}_i 一定要满足使各点误差的平方和G最小。即

表4 航材量差分计算表

年份	X _t	一阶差分
2009	2	—
2010	2	0
2011	3	1
2012	4	1
2013	5	1
2014	4	-1
2015	4	0
2016	5	1
2017	6	1

$$\min G = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 = \sum (y_i - a - bt_i)^2$$

要得出预测值 y_i ，需要确定参数 a ， b 的值。参数计算表如下表5所示。

表5 参数计算表

	t_i	y_i	t_i^2	$t_i y_i$
2009	-4	2	16	-8
2010	-3	2	9	-6
2011	-2	3	4	-6
2012	-1	4	1	-4
2013	0	5	0	0
2014	1	4	1	4
2015	2	4	4	8
2016	3	5	9	15
2017	4	6	16	24
\sum	0	35	60	27

$$\bar{a} = \bar{y} = \frac{35}{9} = 3.889$$

$$b = \frac{\sum t_i y_i}{\sum t_i^2} = \frac{27}{60} = 0.45$$

拟合的直线方程为 $\hat{y} = 3.889 + 0.45t$ ，预测2009年轮胎备份数量时，按照表5， $t=5$ ，估计值为 $\hat{y} = 3.889 + 0.45 \times 5 = 6.1$ 。

(2) 统计检验

回归系数显著性检验是检验自变量对因变量是否有显著影响，也就是检验回归系数 b 在显著性水平 α 上是否为零，进而判断自变量的变化能否解释因变量的变化。若 b 有可能为零，需另选自变量。回归系数的显著性检验是用 t 检验：

$$t_b = \frac{b}{s_b}, \quad s_b = \frac{s_e}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-m}}}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2}}$$

其中 S_e 为标准误差，即估计值与因变量之间的均方根误差； t 服从自由度为 $n-m$ 分布；一元线性回归 $m=2$ ；取显著性水平 α ，若 $t_b > t_\alpha$ ，则回归系数显著。

$$\text{计算 } t_b = \frac{b}{s_b} = 0.45 / 0.077 = 5.84$$

$$\text{取 } \alpha = 0.05, n-m=5, \text{查表得 } t_{0.05(5)} = 2.57.$$

得出 $|t_b| > t_{0.05(5)}$ ，因此在 $\alpha=0.05$ 水平上，回归系数 b 显著。

建立的一元线性回归模型能否用于预

测，还需要检验回归方程的显著性，一般采用 F 检验。回归偏差的自由度等于自变量个数 m ，剩余残差的自由度等于 $(n-m-1)$ ，在一元线性回归里， $m=1$ ， n 为数据个数。统计

量 $F = \frac{U/m}{Q/(n-m-1)}$ ，一元线性回归 $m=1$ ，则

$$F = \frac{U/1}{Q/(n-2)} = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 / (n-2)}, \quad F \text{ 服从 } F$$

(1, $n-2$) 分布。

计算 $F=8.3$ ，取显著性水平 $\alpha=0.05$ ， $n-m=5$ ，查表得 $F_{0.05}(1,5) = 6.61$ ， $F=8.3 > F_{0.05}(1,5)$ 。回归方程通过了 F 检验。

实际使用中，基地在2018年的备份轮胎数量为6架次。因此航材轮胎量预测是，趋势外推法比移动平均法预测精确较高。

4 结论

由于航材件故障的随机性、消耗的特殊性，航材件需求预测没有统一的模型，需要根据预测对象的特点、客观条件及预测目的等选择合适的预测模型。一般来说，首先考虑基于时间序列的需求预测模型，本文在对项目航材件中轮胎的使用、备份现状调查、研究的基础上，对航材轮胎备份数量进行了定量的需求建模研究，提出了轮胎正常的备份数量，计算得，趋势外推法比移动平均法精确高。本文的研究对航空公司合理经济地订购、备份轮胎有一定的指导作用。

参考文献

- [1] 龙军，航材供应保障评估指标体系研究[J]，航空维修与工程，2008。
- [2] 陈冬冬，一组预测方法的比较[J]，计算机工程与应用，2009。
- [3] 王军，彭喜元，彭宇，一种新型复杂时间序列实时预测模型研究[J]，电子学报，2006，34(2)：2391—2394。
- [4] 潘红宇，时间序列分析[M]，对外经济贸易大学出版社，2006。

航空工业热喷涂技术概况

■ 王虹 姜煜霞 张萌 [工艺]

摘要: 热喷涂技术是表面工程技术的重要组成部分,其应用领域越来越广泛,在航空制造业中的地位也越来越重要。本文总结了火焰喷涂、电弧喷涂、等离子喷涂等不同热喷涂的原理、特点及应用情况。

关键词: 火焰喷涂; 电弧喷涂; 等离子喷涂; 参数特性

1 前言

热喷涂技术是表面工程技术的重要组成部分,其应用领域越来越广泛,在制造业中的地位也越来越重要。特别是在先进航空发动机的关键制造技术中,涂层技术在航空发动机关键零部件的耐磨、高温防护、隔热、封严以及钛合金零件的防微动磨损、阻燃等方面起了显著的作用,应用越来越广泛。已成为航空动力装置的核心技术之一,在提高发动机材料性能方面起到了重要作用,在很大程度上决定着发动机的性能和水平。

2 热喷涂技术概述

热喷涂是利用热源将喷涂材料(金属或非金属材料/粉末或丝状材料)加热到熔化或半熔化状

态,靠热源自身的动力或外加动力将材料熔滴雾化或推动熔粒成喷射的粒束,以一定速度喷射到经过处理的基体表面形成牢固的覆盖层,从而使工件表面获得不同硬度、耐磨、耐腐、耐热、抗氧化、隔热、绝缘、导电、密封、消毒、防微波辐射以及其他各种特殊物理化学性能的涂层的工艺方法。热喷涂的优点是方法多样、涂层广泛、工件不限、工艺简便。

3 常用喷涂方法的特点和应用范围

热喷涂工艺根据热源不同,主要分为火焰喷涂、电弧喷涂和等离子喷涂3种,新近又出现了激光喷涂,它们的工艺特性和适用范围现分述如下:

3.1 火焰喷涂

火焰喷涂是最早得到应用的一种喷涂方法,它利用气体燃烧发出的热量进行喷涂。火焰温度一般为3000℃左右,火焰喷涂只适用于低熔点的金属。火焰喷涂主要用于机械零件表面制备耐蚀

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

和耐磨涂层。火焰喷涂又分为普通火焰喷涂、爆炸喷涂和超音速火焰喷涂。

1) 普通火焰喷涂

以氧-燃料气体(乙炔)为热源,将喷涂材料加热到熔化或半熔化状态,再利用周围压缩空气使熔融材料或微粒喷射黏附于基材表面,形成具有要求性能的涂层。根据材料性状不同,一般有粉末火焰喷涂和丝(线)材火焰喷涂。由于受燃烧气体的温度限制,喷涂材料的熔点一般低于 2500°C 。火焰喷涂层组织为层状结构,含较多的氧化物和气孔,而且混有变形不充分的颗粒,使得涂层结合不够致密。

普通火焰喷涂具有设备简单,操作容易,工艺成熟,投资少等优点,因此在工业上被广泛应用。

2) 爆炸喷涂

将一定比例的氧气和乙炔气送入到喷枪内,然后再由另一入口将其余喷涂粉末混合送入,在枪内充有一定量的混合气体和粉末后,经电火花点燃,在喷枪中使氧-乙炔混合发生爆炸形成爆炸高温,产生热量和压力波,加热喷涂材料,并利用爆炸波产生的高压把喷涂材料高速(最高可达 1500m/s)喷向基体表面而形成涂层,接着向燃爆室内送入清扫气,为下次爆喷准备,如此循环反复进行。喷涂不同材料、不同粒度的粉末使用不同的爆炸频率,最快可达 10次/秒 。每次爆喷可产生一个直径约 25mm 、厚约数微米的圆形涂层斑,整个涂层即是由这样一些小圆形涂层斑有序地相互错落重叠而成。

爆炸喷涂由于其涂层结合强度高、硬度高、耐磨性好以及工件的热影响小,故一出现就广泛应用到飞行器零部件的喷涂上。

3) 超音速火焰喷涂

利用一种特殊火焰喷枪,以氧气和燃气(乙炔、丙烷、丙烯、氢气或用航空煤油)为燃料,在混合室内混合后送入燃烧室中并将其中压力调节到合适的程度,气体燃烧后的火焰可达大约 $2\sim 4$ 倍音速。此后,惰性气体将粉末送入燃烧室,熔融粉末颗粒以同样的高速喷向基体材料,其粒子撞击速度为 $610\sim 1060\text{m/s}$,使得涂层结合强度、硬度、致密性和耐磨性都得到改善。

超音速火焰喷涂涂层致密且表面光滑、孔隙率低、结合强度大、化学分解少、氧化物含量少,因而涂层具有很高的质量;另外,此种方法还有沉降效率高,涂层性能稳定等特点。

3.2 电弧喷涂

以金属丝作为喷涂材料的电弧喷涂与其他的热喷涂方法有很大的不同,它是由两根作为喷涂材料而不断被消耗的载流金属丝短路,产生连续电弧而使金属丝端部熔融,用高速冷空气射流使熔化的金属丝端部雾化溅射到基材表面。

电弧喷涂涂层也是层状组织,但由于电弧能量密度高,熔化粒子加热温度高,粒子变形量足够大,所以涂层的结合强度高于火焰粉末喷涂。喷涂效率也比线材火焰喷涂提高 $2\sim 6$ 倍。电弧喷涂成本低,约为火焰喷涂的 $1/10$,设备投资为等离子喷涂的 $1/3$,但电弧喷涂的材料必须是导电的材料,因此只适用于喷涂金属及合金。

3.3 等离子喷涂

等离子喷涂是继火焰喷涂、电弧喷涂之后发展起来的一种热喷涂技术,是热喷涂技术中最为重要的一种以等离子弧为热源的热喷涂。利用直流电弧放电,把高温加热的氩气、氮气、氦气等气体部分电离成离子束,等离子流将粉末加热和加速,在熔融或接近熔融的状态下喷向母材表面形成耐磨、耐热涂层。由于等离子喷涂射流温度高(最高可达 20000°C),气氛可控制,可以用来喷涂各类高熔点的金属、氧化物和其他各种材料。

由于射流速度大,用该法制备的涂层有较高的结合强度,气孔及夹杂少,因而涂层特性好,尺寸也易于控制,更适合于陶瓷材料的喷涂。选用惰性气体作介质,减少了粒子飞行过程中的氧化。因此,等离子喷涂广泛应用于耐蚀、耐磨、隔热、绝缘、抗高温涂层的制备。

3.4 新型热喷涂技术

随着热喷涂技术和材料的发展,新型热喷涂工艺技术在航空发动机的应用领域不断地涌现。热喷涂涂层质量很大程度上依赖于喷射熔滴的速度,提高热喷涂射流和喷涂粒子的速度已成为当前国际热喷涂技术发展的新趋势,相继出现了真空等离子喷涂(VPS)、高速活性燃气火焰喷涂(HVAF)、高速电弧喷涂、活性电弧喷涂、高速等离子喷涂、三阴极内送粉等离子喷涂、溶液等离子喷涂(SPS)、冷气动力喷涂(CGDS)、反应等离子喷涂等新技术。

4 热喷涂工艺对比

热喷涂技术的工艺手段多样,喷涂材料的

表 热喷涂工艺的比较

	火焰喷涂				电弧喷涂	等离子喷涂
	粉末火焰喷涂	线材火焰喷涂	超音速火焰喷涂	爆炸喷涂		
粒子速度 (m/s)	50~150	100~150	800~1200	800	250~700	250~500
焰流温度 (°C)	≤3300	≤3000	≤3200	≤4000	≥5000	8000~10000
基体表面温度 (°C)	260~320	260~320	260~320	150~200	—	200
涂层密度 (%)	<80	<85	98~99.8	98~99	80~90	90~98
与基体结合强度 (MPa)	10~35	15~30	70~90	70~175	20~60	45~65
喷涂效率 (kg/h)	陶瓷1.5~2.5 金属3.5~10	2.5~3	27	1~3	5~15	0.8~5
喷涂厚度 (mm)	0.1~5	0.05~5	—	0.03~0.3	—	—
结合形态	机械、物理、 化学	机械、物理、 化学	—	显微冶金结合	—	机械
同等材料涂层硬度	低	低	高	高	中	中
设备成本	低	低	中	高	低	高
喷涂成本	低	低	高	高	最低	高
喷涂材料	熔点低于 2900°C的合金 和陶瓷材料	熔点低于 2900°C的金属 和复合材料	—	金属、合金、 陶瓷等粉末	金属	—
涂层适合范围	一般零件	耐腐蚀	耐强磨损 耐中高温 耐冲刷	耐高温腐蚀	零件修复 厚涂层 大工件	耐高温 耐磨损

选择范围很广，从塑料、低熔点金属，到难熔金属、陶瓷及其混合物；热喷涂涂层材料性能各不相同。热喷涂涂层具有耐摩擦和润滑、热保护、抗氧化、抗腐蚀及部件修复等功能。

参考文献

- [1] Thermal Spraying (THSP), Welding & Fabricating Data Book, 1996, A43.
- [2] 阎洪著, 金属表面处理新技术, 冶金工业出版社, 1996, 40.
- [3] 付俊波, 周世魁. 热喷涂技术在航空发动机零部件及其维修中的应用[J]. 失效分析与预防, 2006, 5:61-64.

[5] 申振华. 热喷涂技术的发展及其在航空工业中的应用[J]. 航空发动机, 2001, 2:15.

[6] 杜宝泉, 《FT8动力涡轮热工艺特点》, 航空制造工艺, 1996.6.

基于Plant Simulation的航空发动机叶片机加生产线仿真分析与优化

■ 李慧 孙元亮 张超 [工艺]

摘要: 以规划设计阶段的某航空发动机叶片机械加工生产线为例,研究了离散事件仿真平台Plant Simulation在机械加工生产线规划设计中的应用。根据叶片机械加工工艺特点和生产线运行流程建立生产线仿真模型,从产能、设备利用率、缓存区设置等多方面进行了仿真分析与优化。结果表明,优化后的生产线能够较好的满足生产需求,主要设备利用率较为均衡。本文中仿真结果为生产线的优化设计提供了可靠依据,达到了节约投资成本和缩短设计周期的目的。

关键词: 机加生产线; Plant Simulation; 仿真与优化

生产线仿真属于典型的离散事件系统仿真,在生产线规划设计阶段其目的主要是评价和论证设计方案的可行性,通过动态模拟生产线的运行过程,预测生产线的运行状态,验证设备布局的合理性,分析生产线的产能及设备利用率,优化资源配置,为生产线的优化设计提供依据^[1-2]。

随着系统仿真技术的快速发展,生产线仿真技术在我国航空制造业中的研究与应用也越来越多^[3-4]。屈琦等^[5]以飞机中机身典型部件装配生产线为研究对象,基于Plant Simulation建立了装配生产线仿真模型,对装配生产线的产能、瓶颈、平衡率等问题进行了分析及优化。魏方剑^[6]针对飞机脉动生产线,提出了多层次建模理论,并在DELMIA V6平台上构建了飞机脉动生产线的仿真模型,对系统运行状态、产能、资源利用率等进行了分析研究。张超等^[7]以某民用航空发动机传动系统的齿轮与机匣综合加工厂房的规划设计为例,基于Plant Simulation平台,建立了该综合机加厂房的仿真模型,从产量满足率、设备利用率、在制品库存和生

产线健壮性等多个指标进行了设施布局的仿真评价。张丽^[8]应用QUEST仿真软件对某工厂钣金生产线进行了仿真建模,从产能、设备利用率、人员利用率等方面进行了仿真分析,并提出了改进方案,仿真结果表明改进后的方案生产周期大大缩短,设备闲置时间大幅减少。

本文以规划设计阶段某航空发动机高压工作叶片生产线为对象展开研究,基于Plant Simulation平台建立生产线的仿真模型,从产能、设备利用率、线边缓存等方面进行生产线性性能评估,并以此为依据对叶片生产线进行初步优化,比较结果显示生产线性性能得到了明显提高。

1 生产线仿真分析流程

生产线仿真应用的过程主要由三部分工作组成^[9-11]:

(1) 输入数据的采集与分析。根据仿真目标确定数据采集清单,通过调研获得相关数据,并对其进行分析,以满足仿真系统需求。在生产线规划设计阶段,仿真需要收集的数据通常包含生产纲领、生产线布局方案、产品工艺流程、生产设备类型、

作者简介:李慧,女,工程师,2009年毕业于北京航空航天大学宇航制造工程专业,现就职于航空工业规划智能技术中心。

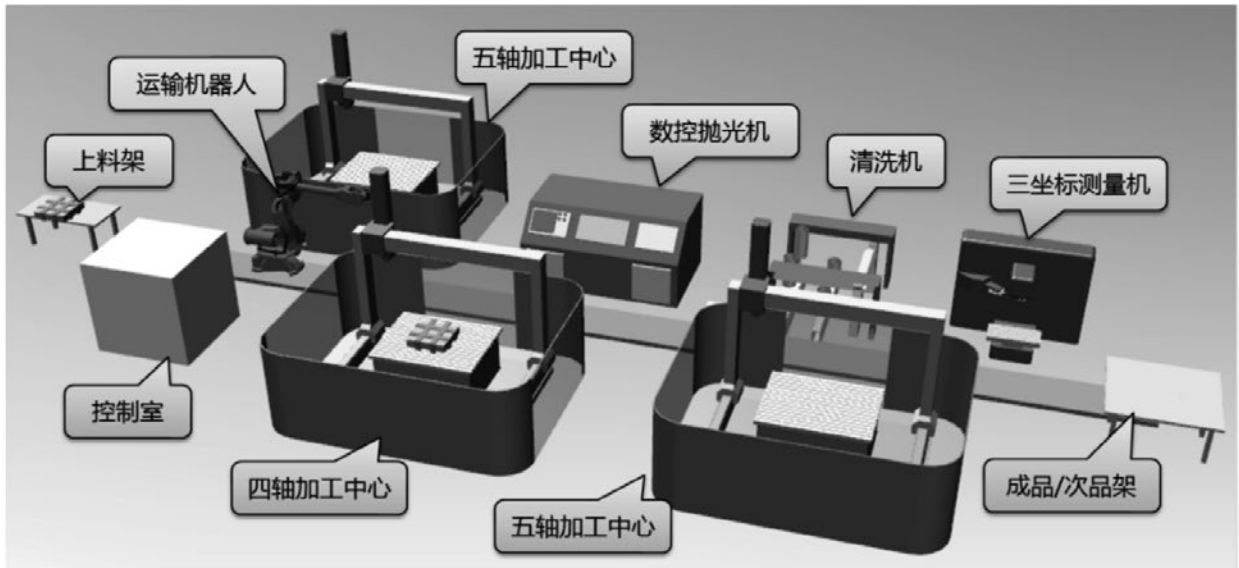


图2 生产线仿真模型

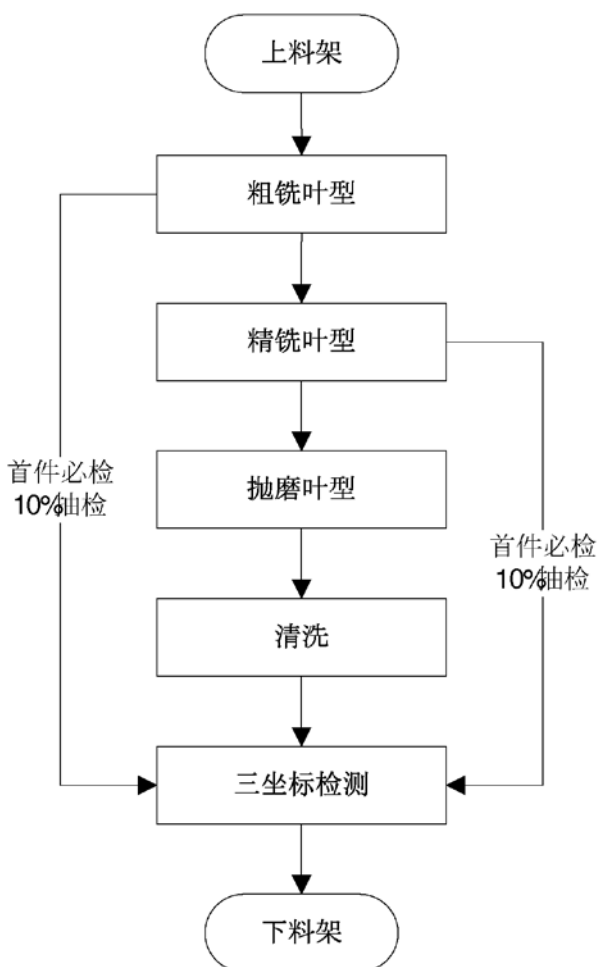


图1 加工工艺流程

物流运输方式、各种工时数据等。仿真输入数据的质量直接影响着仿真输出结果的有效性和可信度。

(2) 仿真模型的构建与验证。基于仿真平台构建生产线的仿真模型，仿真模型建立后，必须进行验证。验证仿真模型的正确性以及仿真模型与实际系统的相关性。如果仿真模型运行结果与生产线实际或预测状态存在偏差，则需要根据具体情况，对仿真模型的基本对象、逻辑控制、物流系统等进行相应修正，并重新进行验证，直到验证通过。仿真模型的构建和验证是一个相互交替的过程。

(3) 仿真结果的分析与优化。观察仿真运行情况，根据仿真输出结果量化分析生产线的产能、生产效率、瓶颈、健壮性等相关指标；然后基于分析结果对生产线进行优化并再次构建仿真模型，验证优化方案的可行性，和预期目标进行对比验证，直至结果满足需求。仿真结果的分析与优化和仿真模型的构建与验证是一个相互迭代的过程。

本文以某航空发动机叶片机加生产线为研究对象，基于Plant Simulation平台进行生产线的仿真分析和优化。

2 叶片机加生产线建模

2.1 叶片机加生产线描述

某工厂规划一条叶片数字化机加生产线，主要承担某型号发动机的10个型号叶片的机械加工任务，该生产线拟实行全天24小时无人干预运行，采

用机器人进行工序间周转及上下料, 年产合格叶片(产品合格率按95%计算)数量达到25200件。

该生产线主要承担叶片的粗铣、精铣、抛磨以及三坐标检测等工序, 加工工艺流程如图1所示。该生产线仿真主要关注三个方面:

- ①产能是否满足需求;
- ②主要设备平均利用率能否达目标值80%;
- ③零线边缓存是否可行。

2.2 仿真模型的建立

Plant Simulation是面向工厂、生产线及生产物流过程的仿真与优化的工具软件, 在建模、仿真和数据分析等方面都具有明显优势, 因此本文采用该软件进行仿真建模。根据规划的生产线方案, 建立仿真模型, 如图2所示。

仿真模型中, 根据各产品各工序采用的设备设置加工时间, 运输机器人行走速度与加减速速度分别设定为 1m/s 和 0.3m/s^2 , 装夹与卸载时间设定为20s。仿真模型严格按照各产品加工工艺流程运行, 由于生产线中不包含缓存区, 因此在设备加工完成后增加判断, 以防卡死, 如当抛磨和清洗设备都被占用时, 五坐标加工完成的产品不能去三坐标检测, 需等待清洗设备或抛磨设备空闲时再执行配送。仿真过程中具体设置如下: ①生产线三班运行, 仿真按照5350小时进行; ②粗铣抽检及精铣抽检按每班的首件必检及过程中10%检测, 抛磨检测要求所有产品100%检测; ③产品合格率按95%设置随机数; ④保证上料充足; ⑤加工时间在采集的加工时间基础上考虑上下5%的波动。

3 叶片机加生产线仿真分析及优化

由于离散事件的随机性, 不能仅由1次仿真结果而得出评价结论。本文利用Plant Simulation提供的Experiment Manager元件进行仿真试验, 设定每次试验观察次数为10次, 置信率为95%。本生产线仿真旨在研究该生产线连续长期运行时系统的各项性能指标, 即当系统达到稳态后系统的绩效指标。具体措施为: 先运行10小时后认为模型运行基本稳定, 记录下小该时段末的各产品的产量; 再继续运行5350小时后停止运行, 记录下各产品产量, 最终两者求差值得到仿真模型平稳运行5350小时后的产量。

3.1 叶片机加生产线仿真结果输出与分析

在假设零缓存, 机器无故障运行的条件下,

表 年产量仿真结果

产品编号	合格产品置信区间	计划值	满足率 (%)
XX1	1054 ± 6	1344	78.4
XX2	1449 ± 11	1876	77.2
XX3	1573 ± 16	2044	77.0
XX4	1852 ± 13	2492	74.3
XX5	1308 ± 11	1764	74.1
XX6	1580 ± 5	2128	74.2
XX7	3526 ± 15	4760	74.1
XX8	1797 ± 5	2408	74.6
XX9	2743 ± 8	3696	74.2
XX10	2004 ± 7	2688	74.5
合计	18886	25200	75.5

得出生产线运行结果如下。

以上仿真结果表明, 在零缓存、机器无故障运行条件下, 各产品产量满足率约为75%, 关键设备平均利用率约为64%, 该生产线规划方案无法满足生产纲领要求。原因主要有两个: 一是生产线不平衡, 四轴加工中心作为首道工序加工设备是整个生产线的瓶颈; 二是加工设备阻塞和等待占时较长, 这主要是由等待运输机器人的装卸和等待下一道设备加工完成两方面原因造成的。其中等待运输机器人的装卸时间长度主要由运输机器人的运行速度及装卸时间决定, 受到机器人本身性能的影响, 通过仿真试验发现当机器人装卸产品时间减少至10s, 其他条件不变的情况下, 设备平均利用率可提高约5%。

综上, 由于等待运输机器人的装卸时间长度受机器人本身性能的影响, 因此这里主要采用优化加工工艺和增加缓存区的方式, 对生产线设计方案进行优化:

- ①优化加工工艺, 通过与工艺人员沟通与试

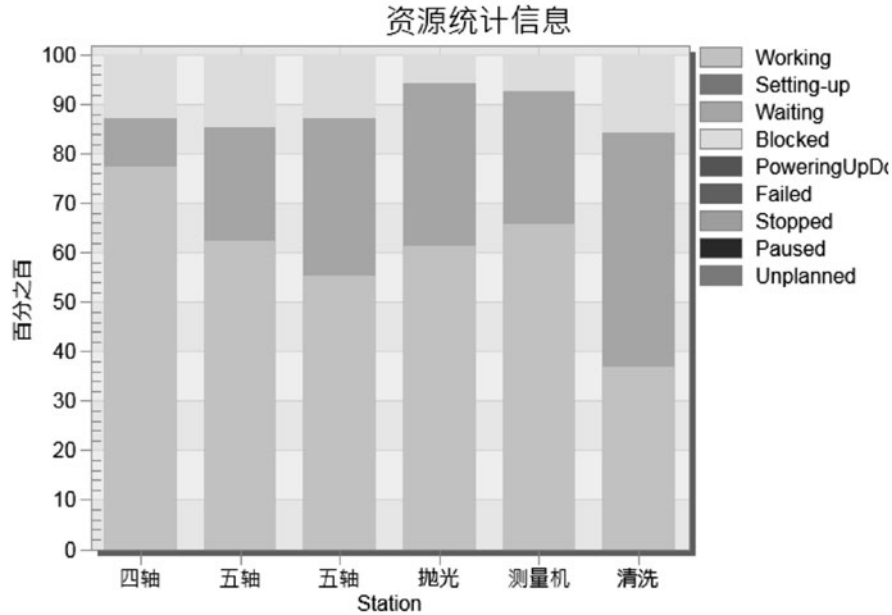


图3 设备利用率

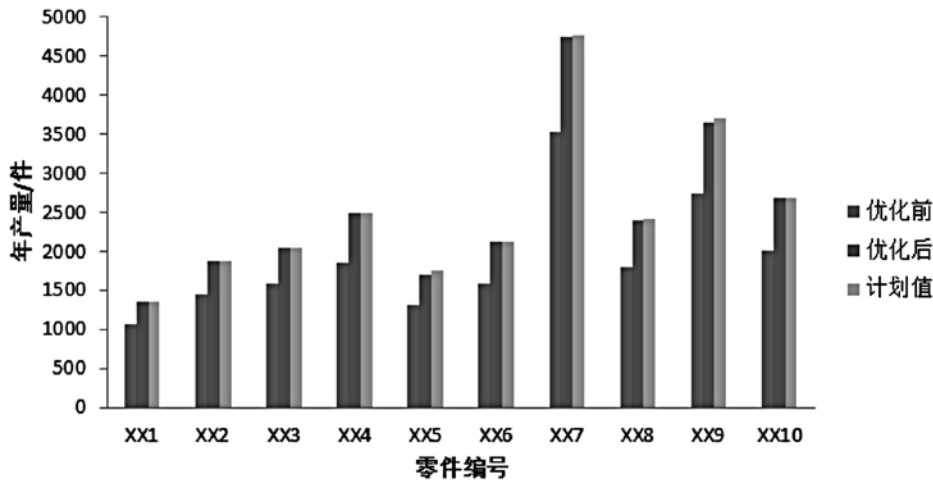


图4 优化前后产量比较

验加工，可以将四轴加工中心承担的部分加工任务调整到五轴加工中心进行，提高生产线平衡率；

② 增加缓存区，减少产品占机等待，缓存区容量大小通过仿真确定。

3.2 叶片机加生产线初步优化

经过多轮分析和比较，在五坐标加工中心和数控抛光机中间增加了线边缓存区。改进后，假设线边缓存区容量为无限大，仿真模型运行一年，总产量为25015件，产品满足率约为99.3%，线边缓存区最大占用数量为8。

图4和图5分别是生产线优化前后的产量、设

备利用率情况的对比，从中可以看出，在无故障运行条件下，各产品年产量较改进前增长约24%，平均设备利用率为81.5%，较优化前提高17.3%。同时从图5中可以看出，四轴加工中心和五坐标加工中心的设备阻塞占比分别降低约3%和10%，数控抛光机的阻塞占比略有增长，这主要是有两方面原因造成的，一是增加线边缓存区后有效降低了已加工完成的产品占用设备的时间，二是产能提升后，设备等待运输机器人装卸的次数增多。

从仿真分析与优化结果可以看出，优化后的生产线产能基本能够满足生产纲领要求；主要设备

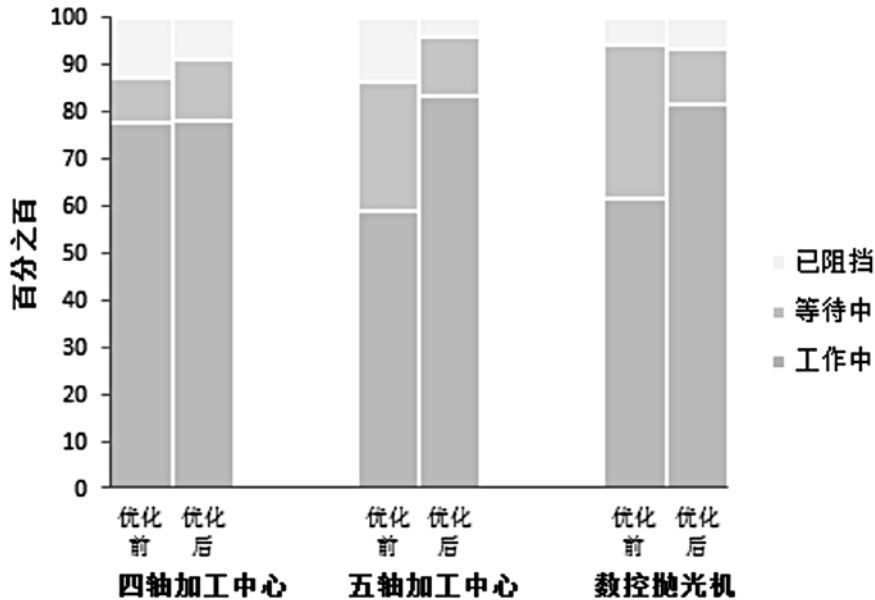


图5 优化前后设备利用率比较

平均利用率为81.5%，基本达到了目标值；零线边缓存不可取，应配置容量最少为8的线边缓存区。

4 结论

本文利用Plant Simulation构建了仿真模型，通过分析对生产线进行了初步优化，提高了生产线性能。从改善后的结果可以看出，产能增加了24%，设备平均利用率增加了17.3%，生产线性能得到了较程度的提高。研究结果表明，在生产线规划设计过程中，通过生产线仿真能够有效地分析出设计方案可能存在的问题，对提高生产线设计质量和设计效率有重要意义。

参考文献

- [1] 刘春, 魏亚飞, 张洪瑞. 生产线仿真技术发展及在航空制造中的应用[J]. 航空制造技术. 2016(16): 57-62.
- [2] 陈书宏, 肖超. Em-plant在生产线前期规划中的应用[J]. 控制工程. 2011, 18(5): 748-750.
- [3] 王巍, 愈鸿均, 安宏喜等. 飞机数字化装配生产线布局仿真技术研究[J]. 制造业自动化. 2015, 37(5): 64-66.
- [4] 段胜文. 飞机脉动总装线生产物流布局方法研究[D]. 南京航空航天大学. 2016.
- [5] 屈琦, 贾晓亮, 郑植元等. 飞机部件装配生产线仿真研究[J]. 航空制造技术. 2017(4): 54-59.
- [6] 魏方剑. 飞机脉动生产线的建模仿真与优化方法研究[D]. 南京航空航天大学. 2016.3.
- [7] 张超, 李慧, 田恺. 基于Plant Simulation的航空综合机加厂房布局仿真研究[J]. 工程设计学报. 2013, 20(3): 199-207.
- [8] 张丽. 基于QUEST的某工厂钣金生产线的仿真与二次开发[D]. 沈阳航空航天大学. 2011.
- [9] 韩晓东, 刘冬, 丛明等. 基于Plant Simulation的发动机检测生产线仿真分析[J]. 组合机床与自动化加工技术. 2015(11): 58-60, 64.
- [10] 王辉. 基于Flexsim的生产线仿真及精益优化[D]. 北京建筑大学. 2016.
- [11] 王谦, 李波. 离散系统仿真与优化——面向工业工程的应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2016: 8-11

航空货运站安防工艺设计要点

■ 赵施展 闫慧 徐可 [工艺]

摘要: 航空货运站是民用运输机场运营的关键功能之一,其空防安全是机场飞行区空防安全的重要组成部分。本文从航空货运站的概念和功能入手,结合工艺生产流程和安防设计剖析了航空货运站的工艺总平面和工艺区划,详细的阐述了航空货运站的货物安检、可疑物品查验、货物进港、人员安检等安防工艺设计要点,为今后的航空货运站安防设计提供了参考。

关键词: 航空货运站; 安防设计; 机场空侧; 安检

0 引言

民用运输机场的航空货运站是民用运输机场的主要功能之一。进入21世纪以来,随着国际上恐怖活动的日益猖獗,民用运输机场的安全保卫要求提高,其安防设计已体现出技术性强、复杂度高、行业限制大的特点。

在航空货运站的工程设计中,需充分考虑安防工艺设计,进而在项目投入运营后能够预防、阻止或延缓针对机场空侧的非法干扰,提高对异常事件、突发事件的识别和处理能力,保护机场内人员及财产安全。

1 航空货运站的概念界定

1.1 航空货运站的定义

航空货运站是一类以飞机为运输工具进行货物运输服务的集散站,它提供了货物登记、转换货物形式、储存、运输等服务。货运站货物流程主要可分为国内货物处理流程和国际货物处理流程,国

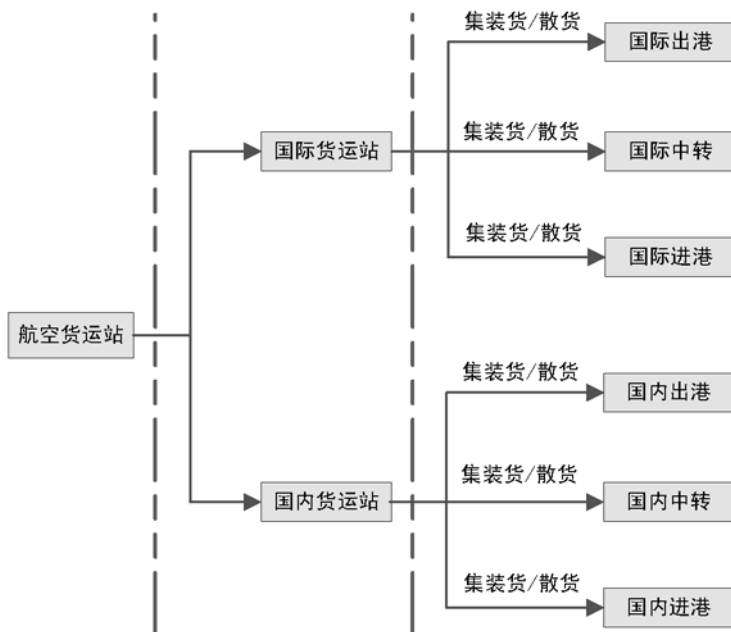


图1 航空货运站的定义

内货物处理流程和国际货物处理流程又可以分为进港、出港和中转三类,这三类都是由散货和集装箱组成,如图1所示。

1.2 国内航空货运站功能

由于国际货运站相对于国内货运站仅增加了海关监管场所,故本章仅介绍国内货运站的功能,

作者简介: 赵施展,男,助理工程师,2016年毕业于北京航空航天大学航空宇航制造工程专业,现就职于中航建投民航工程设计研究院。

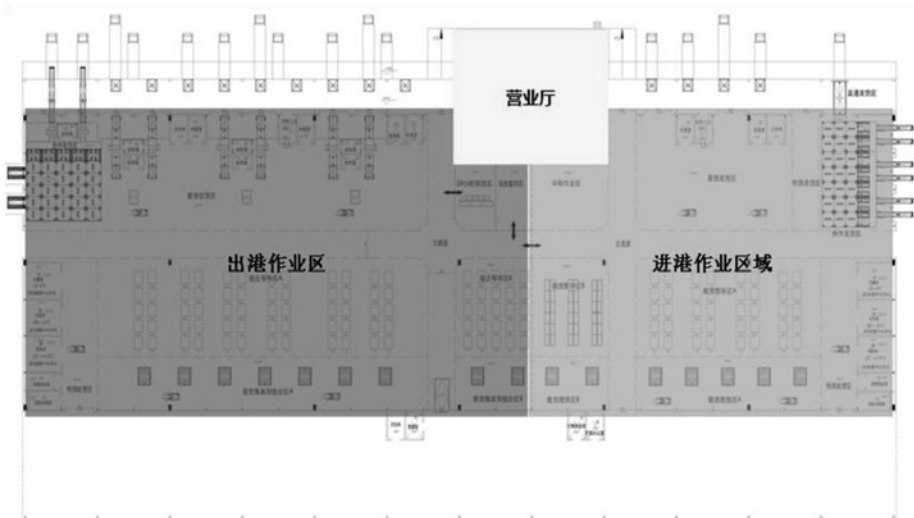


图2 航空货运站功能组成

国际货运站可在国内货运站的基础上设置相应的海关监管场所。国内航空货运站的功能划分如图2所示，主要包括出港作业区、进港作业区和营业厅。

出港作业区：完成出港货物的收货、组合与交接、集装货存储及中转、整板箱货物处理等作业，对鲜活、贵重、活体动物等特殊货物行特殊保管和作业。

进港作业区：完成进港货物的入库、缓存、分解、理货、散货暂存分拣、发货以及中转货物处理等作业，对鲜活、贵重、活体动物等特殊货物进行特殊保管和作业。

营业厅：承担的功能包括出港货物单据处理、单据审核和配载处理，同时套建对外营业、业务用房、员工休息等设施。

2 航空货运站工艺分析

2.1 工艺总平面分析

航空货运站包括货运站主体建筑、陆侧停车场和空侧货坪，如图3所示。根据航空货运站的生产工艺流程和安防设计要求，航空货运站的工艺总平面的要求如下。

货运站主体建筑进深一般在80~120m，位于机场陆侧和机场空侧的交界面上，其中陆侧设置在社会道路面，空侧设

置在机坪面。通常货运站主体建筑需设置环形消防车道，环形消防车道上开设应急道口，以保证机场空侧与陆侧的物理隔离。

停车场布置在陆侧，靠近装卸货站台和社会道路，停车位则包括大型货车位、中型货车位、小型货车位及小车位。

货坪布置在空侧靠近机坪的位置，这种布局有利于货物在货运站与机坪间的编组等待和周转。

2.2 工艺区划

航空货运站主体建筑内部整体应封闭管理，结合工艺生产流程和安防设计要求，航空货运站内部可以划分为货运公共区、货物安检区、出港货物存放区和进港货物存放区，如图4所示。各个区域之间采用物理隔离，以保证进港货物和出港货物的隔离，安检合格货物与尚未进行安检货物的隔离。

货物公共区是指实施安全检查前的区域，包括货物收运区、货物交付区、货物待检区、车辆停放区和与之相关的道路等公共区域，应设置在陆侧。

货物安检区是指航空货物实施安全检查的区域，通常设置在空陆侧交界上，即货运公共区和货物存放区之间。

出港货物存放区是指航空货物经过安全检查后

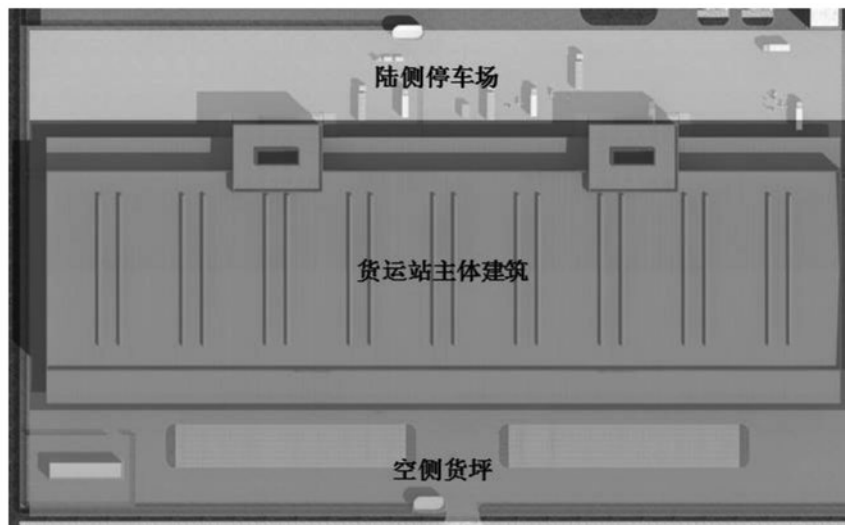


图3 工艺总平面分析

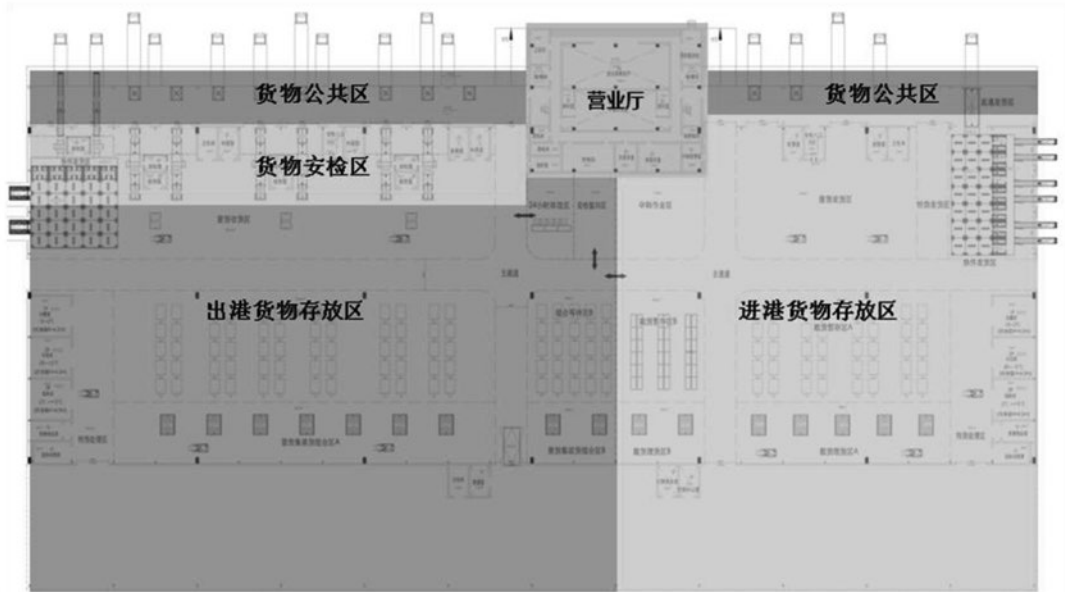


图4 航空货运站工艺区划

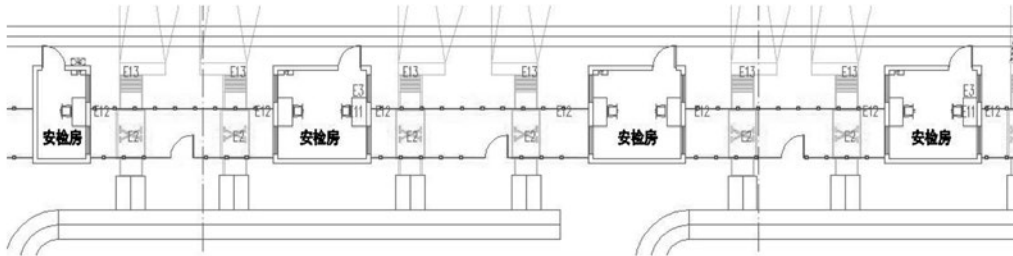


图5 货物安检区局部图

的隔离停放区域，包括安检合格货物存放区、可疑货物临时存放区、危险品存放区等区域，应设置在空侧；通常出港货物存放区内部还可细分为组合打板、理货、暂存等区域。

进港货物存放区是指进港货物的缓存、分解、理货、散货暂存分拣、发货的区域，一般设置在空侧。

3 安防工艺设计要点

3.1 出港货物安检

根据安防设计要求，货物安检区与货运公共区、货物存放区应采用物理隔离，确保未通过安检货物和安检合格货物之间的物理隔离。物理隔离方式有两种，第一种为全高度物理隔离，第二种为不低于2.5m高的物理隔离，同时加装防攀爬、防抛掷设施和视频监控系统。为节约造价成本同时满足安防要求，通常在货物安检区前后，即安检机前部和后部各设置1道不低于2.5m金属围网，同时安检机上部也设置一道金属围网与安检机前

后的围网联接，以满足防攀爬和防抛掷设施的要求，如图5所示。

常规出港货物需通过安检机进行安检，安检合格后方可进入航空货运站空侧。为满足现场安检人员的安检机操作、阅图的作业需求，通常在2套安检收货设备之间临近设置一间安检室，安检室朝向空侧开门，用于安检收货人员的设备操作与现场备勤。

超大件出港货物无法通过安检机进行安检，一般通过航空货运站内的消防通道直接送入厂房内部的超限货物存放区。超限货物存放区采用金属围网与其他区域进行物理隔离，并设置视频监控系统，以防止货物混流。超大件货物在超限货物存放区隔离24小时且无异样方可运出。

3.2 可疑物品查验

根据安防设计要求，航空货运站内每个独立的货物安检区均应设置可疑物品检查区，以满足安检部门要求的“先收运后安检”的作业模式。为满足工艺生产的便捷性及安防设计要求，通常将安检机前端的站台区域设置为可疑物品检查区。出港货物

在进行收货安检前，需由货站作业人员在站台的可疑物品检查区进行预安检，预安检合格后方可送入安检机进行收货安检。

在安检机收货安检过程中如果探测到可疑物品，安检机需进行皮带倒转操作，将出港货物退回收货口，可疑物品检查区进行现场开包检查。

同时为配合工作人员在站台出港货物预安检、可疑物品现场开包和站台秩序管理等工作，通常在收货站台上设置收货引导室，朝向陆侧站台开门，以满足工作人员现场备勤需求。

3.3 货物进港

货物达到后，根据货物代理人的提货指令，将进港货物从航空货运站内部送至此区域，与站台上的货物代理进行交接。由于进港发货区为空侧与陆侧的过渡地带，货物代理人有可能从陆侧站台进入空侧造成空防安全隐患，因此需采取安防措施。

通常在进港发货口位置设置双道伸缩AB门，以实现进港发货区与站台的物理隔离。进行发货作业时，先打开第一条伸缩AB门，由航空货运站空侧的叉车将货物送至进港发货区，叉车开回航空货运站空侧并关闭第一条伸缩AB门。然后打开第二条伸缩AB门，由站台陆侧叉车将货物从进港发货区运送至站台，关闭第二条伸缩AB门并且与货物代理交接。这种作业模式能够保证在进行进港货物交接时，至少有一条伸缩AB门隔离了空侧与陆侧，进而保证空防安全。

3.4 人员安检

进入航空货运站空侧的作业人员需通过人员安检通道进行安检，安检合格后方可进入空侧。航空货运站的人员安检通道设计标准应参照所在机场航站楼旅客设计要求。根据货运站所在机场的年旅客吞吐量，人员安检通道的设计标准不同，机场安全保卫等级分类表如表所示。

通常人员安检通道设置在货站营业厅内部或者在货站空陆侧交界面上，采用实墙与其他区域进行物理隔离，通道的数量取决于工艺布局和空侧作业人员数量。

工作人员从空侧进入到陆侧需单独设置反向通

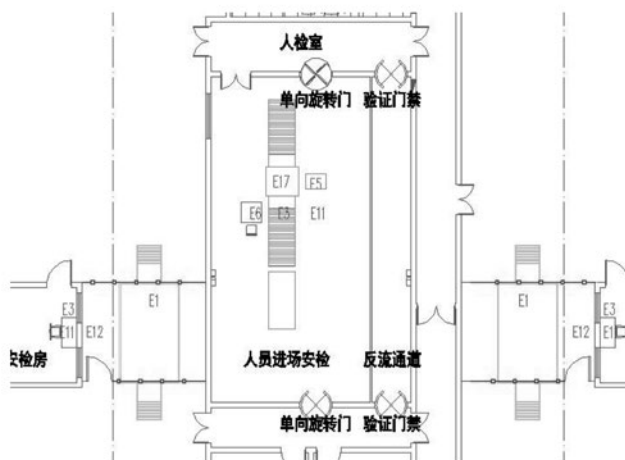


图6 人员安检通道

道，以避免工作人员进出空陆侧时发生混流。人员安检通道及反向通道布局如图6所示。

在人员安检通道旁设置特别检查室和安检备勤室，特别检查室用于可疑人员搜身检查，安检备勤室用于安检人员备勤和现场办公。

4 结论

本文结合民用运输机场的安防设计规范和以往航空货运站的项目经验，收集和整理了航空货运站的安防工艺设计要点。结合安防设计中的物防、技防和人防等综合技术，归纳总结出航空货运站的安防设计方法，为今后深入进入航空货运设计领域奠定基础，也为国内外民航机场相关安防设计提供了支持和参考。

由于航空货运站的安防设计涵盖的内容较多，作者的设计经验和参考资料有限，本文不可能解决所有的设计问题，今后的工作中还要继续搜集、整理和总结，以其他形式继续补充完善。

参考文献

- [1] 《民用航空运输机场安全保卫设施》MH/T 7003—2017.
- [2] 《物流建筑设计规范》GB 51157—2016.

表 机场安全保卫等级分类表

类别	一类	二类	三类	四类
年旅客吞吐量	≥1000万人次	≥200万人次 <1000万人次	≥50万人次 <200万人次	<50万人次
安检通道尺寸	长度不小于13m，宽度不小于4m	尺寸不限		

通用航空展会及 规划设计要点

■ 张法亮 李昊 [规划]

摘要: 随着多项促进通用航空产业发展新政策的部署,我国通用航空产业迎来了重要的战略机遇期,通用航空产业成为各个地方竞相发展的热门产业,各类航展如雨后春笋般开始涌现,本文结合当下通用航空展会发展的热潮对通用航空展会兴起的原因、我国通用航空展会的发展趋势及通用航空展会的规划设计要点进行了全面解析。

关键词: 通用航空展会;规划设计;空间组织;盈利模式

0 引言

近年来,随着低空空域管理改革不断推进,从国务院办公厅到民航局均出台了一系列政策,我国通用航空产业迎来高速发展期。在通航产业发展的“春天”,与通航有关的各类航展如雨后春笋般“你方唱罢我登场”。这些航展在侧重领域、影响范围和展览形式上各有差异,正从各个方面助力我国通航产业快速发展^[1]。

1 通用航空展会兴起的原因

1.1 普及通用航空文化

如果把通用航空比作一块正被开垦的田地,那么大众的热情便是营养最丰富的肥料。然而,在许多人看来,通用航空仍是模糊而遥远的领域。充分

认知是有效接触的前提,而在有效接触的基础上,才能产生消费欲望。通用航空展会能吸引更多普通大众参与其中,拉近通航与他们的距离,成为普通大众认知与接触通用航空的绝佳平台,让民众们了解“通航+”的概念与相关活动,从而为通航产业的发展奠定更为广泛的群众基础^[2]。

1.2 带动地方通航产业发展

国务院办公厅出台《关于促进通用航空业发展的指导意见》将通用航空业定位为我国的战略性新兴产业体系之后,各地规划建设通用航空产业园或者通航小镇的热情高涨。无论是通航产业园还是通航小镇,长期发展都需要吸引厂商、运营商的入驻和消费者的光顾,而一场通航展正是吸引人氣的绝佳契机。通过举办各类通用航空展会有助于吸引人氣,形成产业名片,提升业界影响力。

1.3 满足通航企业的业务推广

在通用航空产业快速发展的当下,国内的各种类型通航企业获得难得的历史发展机遇,通过参加通航展会通航企业可以获得品牌宣传和业务推广。

作者简介:张法亮,男,工程师,2012年毕业于北京林业大学景观专业,现就职于中航建设综合规划研究院。

通航企业参加通航展会可以获得3个层次的基本需求：直接获取客户实现成交；获得潜在客户或合作伙伴；获取品牌宣传和业务推广。

2 国内通用航空展会发展趋势

伴随通用航空产业发展的热潮，经过近几年的发展，中国通用航空展会由几年前的每年1~2场，快速发展到现在的每年十几场至几十场，国内主要通用航空展会情况见表。全国各省市、地区结合自身航空产业布局及产品推介举办航展总体上呈现如下趋势。首先，越来越多的通用航空展会都紧抓本地产业基础和优势资源，特色和主题鲜明，逐渐形成差异化发展的路径，大而全、无特点的展会活动效果不甚理想；其次，有越来越多的通用航空展会都积极与国际领先机构、企业合作，借助他们引入国际通用航空资源，提升展会活动品质和影响力；第三，目前有很大一部分展会活动都出现社会效益

好但近期经济效益差的问题，因此探索航展的商业盈利模式和可持续发展越来越受到重视。

3 通用航空展会规划设计要点

3.1 功能分区

航展占地面积比较大，承载的功能比较多，合理的功能分区对于航展的空间组织至关重要。从大的功能分区来看大部分航展可以归纳为：动态飞行表演区，静态飞机展示区，观众观演区，休闲娱乐区，后勤保障服务区，展馆展示区等六大主要的功能区。动态飞行表演区为动态飞行表演飞机及特技飞行人员提供充分的后场准备及服务保障空间，动态飞行表演区由于安全管理的要求需要同其他功能区进行隔离，避免在飞行表演时出现其他干扰因素。静态飞机展示区将多种多样的航空飞行器展示给观众，观众可以和飞机来一次亲密的接触，更加近距离的了解飞机的性能和特点，静态展区的面积

表 国内主要通用航空展会一览表

航展名称	举办时间	举办周期	举办地点	特色
四川航展	2017年	两年一届	广汉飞行学院	国内具有影响力的综合类航空航天专业化特色展览会，国内外通用航空制造商、供应商、运营商以及投融资机构、航空航天及军民融合领域专家学者、广大航空航天爱好者共同参与的平台。
珠海通用航展	2015年	一年一届	珠海	亚洲通用航空展
北京航展	2005年	不定期	北京	中国有影响力的、历史最悠久的航空展览会，为国际航空设备供应商和生产商与中国航空企业的合作交流提供平台
陕西航展	2009年	两年一届	蒲城航空基地	目前国内最大、规格最高的通用航空品牌展会
沈阳航展	2012年	一年一届	沈阳法库财湖机场	丰富多彩的航空主题活动、飞行特技表演
武汉航展	2017年	两年一届	武汉通用航空卫星园	借力世界飞来者大会，打造武汉航展
荆门航展	2015年	一年一届	荆门漳河机场	依托爱飞客小镇、特飞所通用航空产品，结合爱飞客飞行大会，具有荆门特色的航展
石家庄航展	2016年	一年一届	栾城机场	结合爱飞客飞行大会，参展飞机涵盖高性能飞机、中短途通勤飞机、特种飞机、水上飞机、教练机、直升机、新燃料飞机和世界顶级私人飞机等通用航空主力机型
郑州航展	2014年	一年一届	上街机场	我国中原地区首届专业通用航空展会，是参展飞机数量和质量等综合指标最高的通用航空专业展会；独创夜间表演
上海公务机展	2014年	一年一届	上海虹桥国际机场	亚太地区和大中华地区公务航空市场展会，亚洲最大的公务机展，适合专业人士和公务机潜在客户人群参加
天津直升机展	2011年	两年一届	空港经济区中航直升机产业基地	专业直升机博览会
安阳航展	2008年	一年一届	安阳航校	爱飞客飞行大会暨第九届安阳航空运动文化旅游节同时举办，以航空运动为特色，大会辐射涵盖通用航空、航空运动、文化旅游、经贸招商等多个领域

要根据静展飞机的数量进行测算并充分预留出观众参观空间。观众观演区的划分要与机场跑道进行充分结合,特技飞行表演是航展最吸引人气的项目,因此应当将最好的观展界面留给观众观演区,观演区可以充分利用机场中现有的草坪,有地形的地方可以充分借助场地的地形形成更好的观展层次。休闲娱乐区为观展的观众提供更丰富的体验项目,航展是一次专业人士,航空爱好者,普通大众的集体聚会,丰富的休闲娱乐项目更能提升人们的观展体验。丰富的地方美食,精彩的航空体验项目,多样的航空创意产品为观众带来更多元的航展体验。后勤保障服务区需要为航展提供多方面的配套服务,需要为新闻转播、医疗救护、应急救援等提供实施设备及场地。展馆展示区为参展的通用航空企业提供一个室内展示平台,展馆展示区的展位布置要大小结合、流线合理。航展的规划设计要根据航展的展示内容划定不同的功能分区,不同功能分区之间要进行有机的结合,为观众带来更好的观展体验。

3.2 交通组织

通用航空展会这种大型展会会瞬间聚集大量的参展观众,因此航展的交通组织需要进行精心的筹划和安排。航展的交通组织分为内部交通组织和外部交通组织两大部分。航展内部交通组织对空间结构起到划分的作用,它需要将航展的观赏性、体验性结合考虑。航展内部交通组织要充分考虑航展动线的安排,航展的出入口尽量单独分开布置与安排的参观路线相结合,使参观人流呈单方向前进式,避免人流的交错和拥挤。航展的外部交通组织需要统筹考虑,在航展举办地周边城市的机场、火车站、汽车站等主要交通枢纽设置航展专用巴士,可以直达航展举办地。在航展举办城市的主要交通枢纽、商务酒店集中区、主要生活片区、商业片区等人流密集区设置航展专用公交线路,航展专用公交线可以畅通无阻的直达航展入口区。航展期间为避免大量观展车辆集中抵达展区造成交通拥堵,宜在航展外围不同方向设置停车场,私家小轿车禁止驶入航展区,需在停车场处换乘摆渡车前往航展区。

3.3 安全保障

航展的特点就是在短时间内集聚大量的人流、设备、飞机并受到高度关注,因此航展的安全保障就非常重要,是保证航展平稳有序运行的重要基础。航展的筹办需要政府、民航局、策展公司等各部门共同加强安全管理,落实安全责任,对突发情况提前制订处理预案,通过行政、经济、技术等手

段全力降低航展安全风险,保障航展安全运行。在航展举办前要成立应急救援指挥中心并制订详细的应急救援预案,确保在航展中如果突发紧急事件,各部门在指挥中心的统一指挥下,迅速行动,协同配合,积极实施应急救援,降低财产损失,减少人员伤亡^[3]。

3.4 航展的盈利模式

任何事情要想取得长久的发展之道必须找到可行的商业模式,通用航空展会也不例外。目前我国大部分航展都需要依靠政府的财政补贴,通用航空展区要想获得可持续的发展必须找到自己的盈利模式。航展的商业化运营收入主要来自四个方面:展位销售收入,航展门票收入,航展广告收入,其他更多收入。航展的主要收入来源之一就是展位销售,要通过提升航展的举办质量,用良好的服务提升展位价值,吸引更多的展商参展。门票收入是航展的重要组成部分,航展的策划需要融入更多元化的内容,集聚更多的人气,吸引更多的观众参加展会。同时要充分发掘航展的广告收入和其他收入,比如出租广告位,引入赞助商和冠名商,拍卖餐饮和商业特许经营权等等。要充分挖掘一切可以挖掘的商业机会,让航展能够找到自己的盈利模式,保证航展长久可持续性的发展。

4 结语

随着通用航空产业的兴起,“航展热”成为当下的一股潮流,对于航展需要从空间层面进行尽心的筹划与组织,本文从航展的空间布局、交通组织、安全保障及航展的盈利模式等几个方面对航展的规划设计要点进行了介绍,对通用航空展会的规划设计具有一定的现实指导意义。

参考文献

- [1] 通用航空产业迎风而起. 赵新江. 理财. 2017(05)
- [2] 一场通用航空展能带来什么?. 刘韶滨. 中国民航报2017(11)
- [3] 第十一届中国航展(珠海)应急准备和应急管理工作的实践探索. 卢文刚,李军辉. 中国应急管理. 2016(11)

数控机床联网控制技术

■ 杨骥 [工艺]

摘要: 数控机床,是智能化生产技术的代表,它具有系统性、基础性、兼容性等特征,在提升产业生产效率中发挥着重要作用。基于此,本文结合数控设备的设计原理,着重对数控机床联网控制技术的实际应用要点,及未来开发趋向进行探究,以达到充分发挥技术优势,促进产业高质量、高效率生产的目的。

关键词: 数控机床; 联网控制技术; 智能制造

0 引言

数字控制技术融合于当代工业加工与生产,是我国工业领域由劳动密集型向技术密集型转型的基础,也是产品生产质量优化的保障。研究发现,合理把握数字控制技术应用要点,可减少技术实际操作中的错误率,提升生产效率。由此,从理论到实践的,探究数控机床联网控制技术过程,将为产业高质量生产提供更可靠的保障。

1 数控机床联网控制技术设计原理及特征

1.1 数控机床联网控制技术设计原理

数控机床,是以自动化生产程序为基础的机

械零件生产体系。同时,数控机床可利用数据信号,开展联网数据互动,实现生产流程化、多元化开展。当前,数控机床设备,主要包括加工程序载体、数控装置、伺服驱动装置、以及外部操纵装置等部分^[1]。

数控机床联网控制的核心部分,是依靠数据采集程序,完成数据的交换、传输。按照当代数控机床联网控制中的主要技术方式,按采集技术的程序结构,可大致分为:集成化采集、分层式采集、以及嵌入式采集三类^[2]。

1.2 数控机床联网控制技术设计特征

数控机床联网控制技术,实现了传统数控生产设备,生产条件的系统化梳理,且充分利用数据采集与监控系统,加强对数控生产环节的科学调控,因而,该技术实际中应用,具有高效率生产、实时性反馈的生产优势,满足了现代产品加

作者简介:杨骥,男,工程师,2015年毕业于清华大学材料科学与工程,现就职于航空工业规划智能技术中心。

工高精度、高效率的要求。同时,数控机床联网控制技术的开发,依旧处于初级阶段,该技术实际应用中,仍然存在着局域技术调控不当,程序故障,以及联网信息识别局限等问题,为进一步发挥智能化生产方式的优势,还需更深入的进行技术探究。

2 数控机床联网控制技术实际应用要点及发展趋向

2.1 把握数控机床联网控制技术整体框架

发挥数控机床联网控制技术的生产优势,首要条件是立足于技术运用的整体,协调技术综合运用的条件。

2.1.1 SCADA体系

建立连贯的SCADA体系^[3]。以航空生产领域来说,数控机床联网控制技术进行初步调控时,可按照航空零件加工标准,在数据控制程序整体上,建立零件生产监控数据库,然后设定零件绘图、零件材料筛选、远程单元操作、以及可编程逻辑控制命令。完成这一系列的生产调控体系设置后,航空零件生产人员,就可以在人机智能对话窗口下,进行数控机床联网控制生产了。也就是说,SCADA体系在数控机床联网控制中,发挥着数据信息命令综合传输,数据信息资源综合调配的沟通作用,由此,把握好数控程序中的SCADA体系,也是产品流畅生产的开端。

2.1.2 智能生产控制体系

智能生产控制体系,是数控机床联网控制整体程序把握的第二要点。智能生产控制体系,充分利用数据操作数据链,建立相互连接的信息处理体系。

以航空零件生产为例,某次航空生产零件的规格为 $15.55\text{mm} \times 17.29\text{mm}$,若直接按照数控模型进行生产,程序会将本次生产零件标准,按照四舍五入法,归结到 $15.60\text{mm} \times 17.30\text{mm}$ 的生产范围内,即将零件加工生产过程,只是模式化的进行零件加工数据采集,缺乏生产操作的灵活性。运用数控机床联网控制程序生产时,系统会依据零件生产输入标准,第一时间建立标准的产品生产模型,数据精确度与零件生产的实际要求完全吻合,几乎不存在零件生产误差,最后程序按照生产规格,进行零件加工即可。即数控机床联网控制技术中,智能生产控制体系,可依

旧零件生产的标准规格,进行生产条件、标准调控,将零件生产误差控制在最小。

2.2 调控数控机床联网控制关键技术

2.2.1 合理运用多样性数据采集法方法

结合以上关于数控机床联网控制技术核心分析可知,当前所应用的数据采集方式,主要分为三种,实际应用时,要求生产人员应按照不同类型的数据采集法特征,合理进行数据采集方法的运用。

更具体的介绍为:(1)集成化数据采集法,是直接按照核心数据库命令,统一进行生产信息传输。如,航空零件加工中,那些大规模的零件结构部分,均可以直接输入“if……end”选择语句,在零件生产采集数据标准中运用,按标准生产即可。相对来说,该种数据采集方法较原始,且操作过程较简单,较适合航空零件中精密度不高的部分。

(2)分层数据采集法,是指生产程序按各个部分按生产规格、标准,局部进行程序数据信息收集,最后汇总。该类数据采集与整合过程,相对与第一种而言,灵活度相应提高,它可以按照零件生产的具体情况,智能化进行生产信息分配。如,某次航空零件加工产品,是一个半圆底座,圆柱型支撑体,以及六边形螺帽。控制系统接收到生产命令后,会先将其拆分为“半圆、圆柱、螺帽”三部分,然后发出“底座生产”、“支撑柱生产”、“螺帽生产”三次命令,分别对应进行产品加工数据采集,最后再将各个部分程序生产的命令,反馈到数据核心控制部分。值的注意的是,该部分程序的命令,无法在数据收集中途进行命令更改,若前期输入命令错误,后期将无法中途更改。

(3)嵌入式数据采集法,是嵌入式程序在其他生产命令基础上,进行生产信息收集、传输。以航空领域零件加工为例,该程序可与航空零件整体设计模型分析系统相互融合,在零件设计阶段,就确定了后续零件加工的切分点。零件定形后,系统直接执行自动化生产命令即可,嵌入式数据采集法,可随时依据零件生产中的具体情况,随时进行产品生产信息的收集,其数据信息实施反馈性较高。

2.2.2 便捷式操作技术的运用

数控机床联网控制技术实际中应用时,以数字化程序采集为基础的,利用程序内数据代码

信息进行交流,减少不必要的外部生产操纵控环节,数控生产时,生产人员的操作过程更便捷、生产流程速率明显提升。

以航空零件生产为例,当前的数控机床联网控制技术应用时,数字代码的识别度相对较高,生产人员可通过人机对话窗口,直接对航空零件生产的长、宽、高、厚度信息,进行数据输入;而数据处理环节,主要将数字代码(零件加工标准)转化对象操控命令(生产操控语句)。但便捷式操作技术,对于对象操控命令(生产操控语句)模糊不清的,识别能力还相对较弱,由此,进行航空零件生产时,应尽量以规整的对象操控命令(生产操控语句)为主。智能化技术操控时,需考虑到三维坐标的准确性,系统一般一次可识别300~500个三维坐标信息(横坐标为零件加工标准,纵坐标为生产命令,空间坐标为数据传输命令)。以上以航空零件生产为例,关于数控机床联网控制智能技术的分析,正是现代数控机床技术中,便捷式操作技术运用所需把握的要点。

2.2.3 数控机床联网控制技术实践中深度优化

随着现代数控设备的逐步发展,数控机床联网控制程序中,SCADA体系的应用开发程度逐步加深,未来数控产业技术开发过程中,一方面,要充分继承当前SCADA体系联网操作的优势,激发数据采集核心技术的潜力;另一方面,还需加强对数据集成处理程序的可逆性研究,增加SCADA体系实际生产操控的灵活性。同时,SCADA体系在数控生产设备中融合,也需进行联动式技术操控程序的研发,将当前智能联网状态下,辅助性生产操控程序,都连接到主程序上,从而克服局域技术调控不当,程序故障,以及联网信息识别局限等问题,促进数控技术更好的发展。

3 结论

综上所述,数控机床联网控制技术,是智能化技术实践中运用的体现。在此基础上,本文通过把握数控机床联网控制技术整体框架、调控数控机床联网控制关键技术、数控机床联网控制技术实践中深度优化,解析数控机床联网控制技术应用要点。因此,文章分析可以为当代数控技术开发提供趋向引导。

参考文献

- [1]吴厚文.数控机床联网与程序管理[J].中国新技术新产品,2015(19):26.
- [2]余运昌,杨词慧.面向智能制造的数控机床联网技术研究[J].南昌航空大学学报(自然科学版),2018,32(03):106-110.
- [3]胡伟心,何群英.基于数控机床联网后教学特点的研究实践[J].中国教育技术装备,2015(10):42-44.

流程驱动式生产管控系统设计及研究

■ 张岩 王明珠 侯康伟 [工艺]

摘要: 为了实现航空产品生产线的精细化、智能化管控,首先需要打通制造过程各个环节,实现业务的深度集成与信息的互通共享。本文在分析航空产品生产管控基础上,通过引入流程驱动搭建了生产管控系统架构,解决了生产智能调度的应用难题。最后,本文以某航天研究所的实际生产为背景,开发了系统原型并进行了实际应用。

关键词: 流程驱动;生产管控;生产智能调度

1 引言

伴随着协同设计制造、协同办公、数字化集成制造等多项关键技术的突破,我国的航空制造业在信息化和工业化方面都取得了长足进步。张森堂指出:生产管控系统需要能够将计划流、控制流、质量流和工艺信息流全面集成,在企业的集成中起到承上启下的桥梁作用^[1]。李新伟等实现了对生产全过程的管控,协调了各类资源、物流运输及各单元的生产组织、物料平衡^[2]。流程驱动作为生产管控系统中的核心要素,也得到了学者关注。乐承毅等通过对流程特征、员工特征、知识领域属性等进行分析,实现了领域知识的主动推送^[3];冯毅雄等设计了基于流程驱动的数控机床设计知识推送方案,提高了设计知识推送的准确度^[4]。

本文以中航工业某制造厂(以下简称XX航空制造厂)的生产为背景,提出了基于流程驱动的生产管控模式,并对其中生产调度、资源管理、仓储物流等关键技术进行了研究。

2 基于流程驱动的生产管控系统功能设计

2.1 生产管控过程特点分析

在XX航空研究所的日常生产中,航空产品主要具备以下特征:

(1) 产品结构复杂、数量庞大,且生产加工过程需要大量工装、样板等辅助设备,因此具有典型的小批量、多品种、生产周期长等特点。

(2) 生产过程主要分为生产工艺准备、生产作业、零件加工和生产管控4个阶段,随着生产任务要求,这些阶段可以顺次完成,也可并行开展。

(3) 生产线管控过程涉及到制造过程各环节,如工装夹具设计、物流运输、工艺设计、检测、数控加工等,实际生产过程中需要满足过程、质量、设备、物料以及现场等各单元间的精细化集成管控。

(4) 生产管控过程具有明显流程驱动特点,可以借助流程驱动来实现流程优化、相关业务整合,综合管控产线运行过程中的物料、工装、设备等信息,并基于实时数据实现生产调度、资源管理、物流调度等子业务模块的分析决策功能,进而将决策数据转为可识别的控制指令,保证生产线的

作者简介:张岩,男,高级工程师,2014年毕业于西北工业大学航空宇航制造工程专业,现就职于航空工业规划智能技术中心。

精准执行，高效运行。

2.2 基于流程驱动生产管控系统设计

在XX制造厂中，生产管控系统是各类数据汇聚、管理、处理、运算、分发的核心枢纽，在实际应用中起到承上（顶层信息系统）启下（生产线各执行机构调度管控）的自主智能决策作用，其主要功能包括智能调度、物流管理、资源管理、机内制造、数据管理、任务管理等功能模块。核心模块是生产智能调度，其主要功能是生产任务的接收、输入与排序。系统需要接收上游系统输入的工作任务，并根据现场实际的反馈数据对生产任务在各台设备上的加工顺序进行快速的调整，实现加工周期近似最短、各项零件按时交付等目标。生产任务排产完成后，将输出数据分别以结构化、图形化的结果展示给调度人员确认和必要的调整；最后将资源需求数据分发到各个相关的部门（刀具、夹具、物流等），以便于提前做好相关的准备。

3 基于流程驱动的生产调度管理

3.1 流程驱动模型

基于对XX研究所航空制造过程的理解，借鉴面向对象和组件的设计概念，将生产调度中涉及到的各环节视为某种具体对象。通过构建工艺、零件、设备、刀具、原料等模型，构建驱动激励等内容，实现流程驱动模型（如图1所示）。

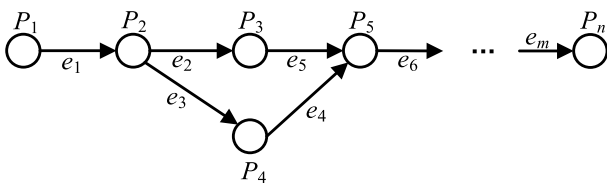


图1 流程驱动模型

其中， $p_i (1 \leq i \leq n)$ 表示某种对象模型（如工艺、零件、设备、刀具、原料等）； $e_j (1 \leq j \leq m)$ 表示激励，是对象模型开始工作（或状态改变）的前提条件。

流程驱动模型可以描述如下：首先构建对象模型，以及使不同问题执行的激励；然后为每个对象选择其下游对象模型（ Spc ），以及激励（ Ic ），该过程 PsD 表示为：

$$\begin{cases} PsD = \{Spc, Ic\} \\ Spc = \{p_{i+1}, p_{i+2}, \dots\} \\ Ic = \{e_{j+1}, e_{j+2}, \dots\} \end{cases}$$

过程驱动是推动问题解决的基本驱动力，解决了相关子过程的关联和管理问题。

3.2 生产智能调度问题描述

结合上小节中流程驱动模型，生产调度问题可简单描述如下：

(1) 问题输入

工艺方面：零件加工的工序名称、先后顺序、各工序的时间长度、工序之间的最小/最大时间间隔；

设备方面：可用设备数量、各设备的可用起止时间；

刀具方面：各种刀具的数量、各刀具适用工序的名称、各刀具的可用起止时间、刀具剩余寿命；

原料方面：各相关原料或毛坯最早抵达时间；

订单数据：零件的数量、各零件的最迟完工时间；

(2) 问题输出

各设备的零件任务清单，以及各零件加工的起止时间或先后顺序；

各设备的资源需求（原材料、半成品、刀具……），以及这些需求的起止时间或先后顺序。

3.3 问题解决思路

(1) 模型封装

为了利用流程驱动的方式解决生产调度问题，需要首先该问题中所涉及的各种对象进行封装。为了描述简单，下表仅抽取了几个关键要素对6种对象进行封装。

表 流程驱动模型封装

序号	对象名称	数量	开始使用时间	使用结束时间	备注
1	零件对象	1	… …	… …	
2	工艺对象	1	… …	… …	
3	设备对象	5	… …	… …	
4	刀具对象	31	… …	… …	
5	订单对象	1	… …	… …	
… …	… …	… …	… …	… …	… …

(2) 生产调度管理算法

流程驱动的调度模型强调每个步骤都需要根据实际情况选择下游的对象和激励，因此整个调度管理算法可以用图2描述：

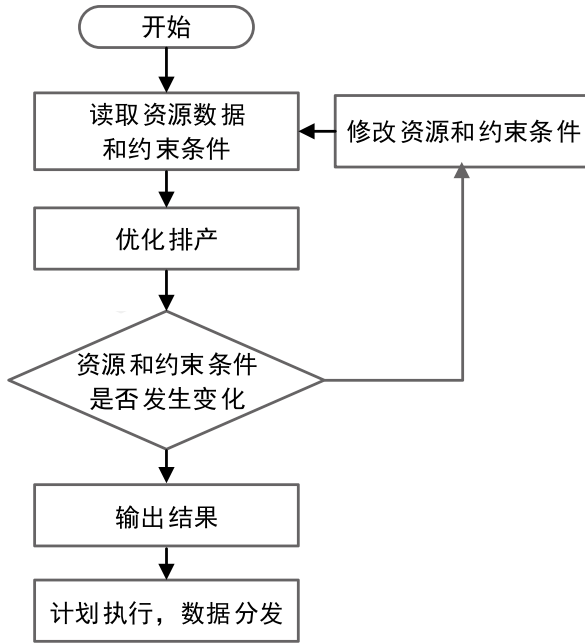


图2 生产调度管理算法

算法说明:

Step1、读取各种输入数据

零件类: 待加工零件列表 P_l 、各零件工艺路线列表 P_r 、各零件的资源需求列表 P_s 、各零件各工序的工时列表 P_t 、各零件相邻工序之间的最小时间间隔列表 P_f ;

设备类: 各设备的数量 M_n 、各设备的工作状态列表(正在加工什么零件) M_s 、各设备可用于下一个零件加工的就绪时间列表 M_t ;

刀具类: 各种刀具的数量 T_n 、各刀具的适用工序列表 T_p 、各刀具的当前使用状态列表 T_s 、各刀具可用于下一个零件加工的就绪时间列表 T_t 、各刀具的剩余使用寿命时间 T_l 。

订单类: 各零件的最晚交付时间列表 O_t 。

Step2、将各零件按照最晚交付时间的先后顺序排序, 划分为若干组 (G_1 、 G_2 、 \dots 、 G_m)。

Step3、依次对各组 (G_1 、 G_2 、 \dots 、 G_m) 零件按照设备最大负荷的要求进行排产, 即选择最早具备加工条件的零件作为下一个待加工的零件。另外, 需要假设具备加工条件的零件满足以下几个方面的要求:

存在空闲的设备;
该零件的前续工序已经全部完成;
该零件将要使用的刀具空闲, 而且剩余使用寿命满足加工需求;

Step4、G组零件排产完成后, 找出各设备在工作过程中的空闲时间段 M_g , 并更新零件、设备、刀具和订单数据;

Step5、按照分组的顺序, 尽可能将后续组内的零件插入到这些空闲时间段内加工, 直到所有的这些空闲时间段都无法被填充为止;

Step6、更新零件、设备、刀具和订单数据, 并返回第3步, 直到所有的零件都被安排生产;

Step7、输出排产结果, 分发资源需求数据到相关部门或系统;

Step8、查询零件、设备、刀具和订单数据是否发生变化, 如果有, 重新排产。

4 原型系统验证

4.1 系统架构

以XX航空制造企业实际生产过程为背景, 进行了系统原型设计。该系统分为数据层、组件服务层、逻辑层、应用层、表现层, 系统架构如图3所示。

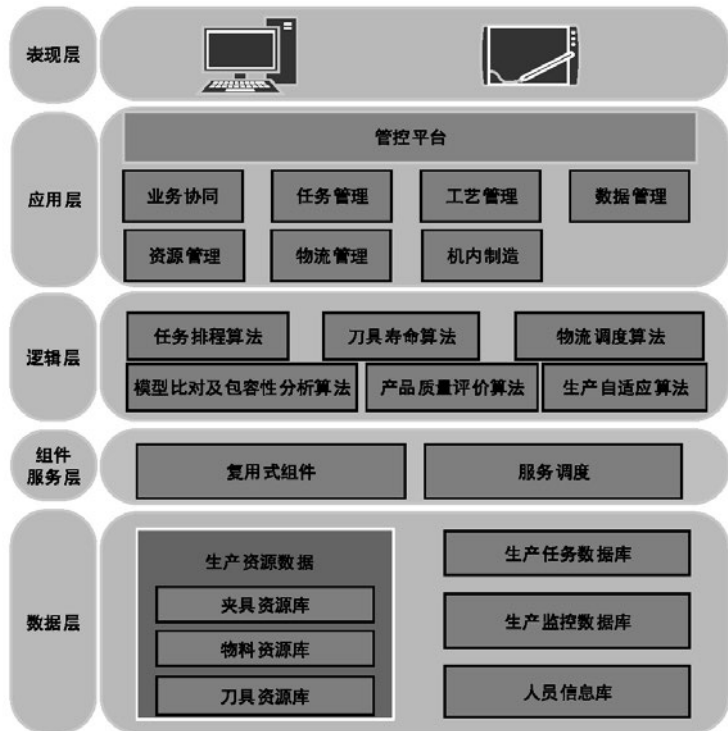


图3 于流程驱动的生产管控系统架构

(1) 数据层：实现实时数据的快速采集和存储，以及各类生产数据、日志消息等信息。该层将系统所需数据按照生产资源、任务数据、生产监控数据（设备数据）、人员信息等进行分类，以此分类进行数据获取路径、方式等的规划。

(2) 应用层：应用层基于应用支撑层提供的框架、组件服务和工具，访问信据层的数据库，构建面向信息交换的业务应用，以实现系统各功能模块对数据的深入应用。应用层主要包括应用门户系统和应用服务接口等。

(3) 应用支撑层：应用支撑层是一个应用支撑基础软件平台层，为管控平台提供所需的公共性、基础性组件和服务，并提供组件的运行、开发和管理环境，支持信息交换应用的快速开发，以满足平台的扩展和变化，同时降低工程实施、维护的成本和风险。

(4) 展示层：车间的大屏幕，现场的触摸屏、工控机的人机界面等方式进行任务排程的实时监视、各生产单元的实时监视。

4.2 生产智能调度界面设计

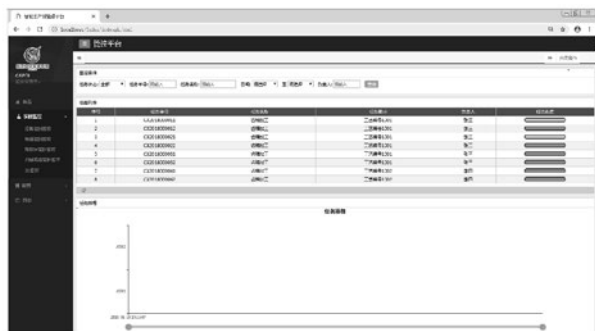


图4 生产智能调度

图4是生产智能调度界面设计，系统可以根据任务数据源、资源数据源采用流程驱动算法进行生产任务自动排序，生成待加工任务队列，并将任务队列传输给管控平台供其他模块实时调用，以此保证生产效率的最大化，同时用户可以对录入的生产任务进行手段调整；当物料、设备、工装、刀具等资源状态发生变化时，算法将被重新调用，并基于现有资源条件进行任务执行过程的动态调整。

5 小结

本文以中航工业XX制造厂为研究背景，阐述

了其生产管控过程特点，在此基础上引入流程驱动模型设计了生产管控系统。对流程驱动模型进行设计，然后将其应用在了生产智能调度管理的研究中，得到了良好的应用效果。由于本系统正在建设实施中，故此下一阶段的主要工作为在后续工作中收集详细资料，进一步验证该系统的使用效果。

参考文献

- [1] 张森堂, 付龙, 马明阳等. 航空产品自动化机加线的探索与研究[J]. 航空制造技术, 2016, (16): 36-40.
- [2] 聂磊. 基于业务和管理架构的生产管控信息系统设计与实现[D]. 北京: 中国科学院大学, 2014.
- [3] 乐承毅, 代风, 吉祥等. 基于流程驱动的知识主动推送研究[J]. 计算机集成制造系统—CIMS, 2010, 16(12): 2720-2727.
- [4] 冯毅雄, 张舜禹, 高一聪等. 基于特征语义分析的数控机床设计知识精确智能推送方法[J]. 计算机集成制造系统—CIMS, 2010, 22(1): 189-201.

再谈等电位联结

■ 丁杰 陈谦 韩帅 [电气]

摘要: 通过对TN高、低压接地故障危害的分析,强调保护等电位联结的必要性;在区域配电箱处设置局部等电位联结能起到有效的防护功能。随着标准的发展,IEC中局部等电位联结和辅助等电位联结实现了融合,我国标准应做好相关标准之间的协调统一。

关键词: 接地故障;重复接地;附加防护;辅助等电位联结;局部等电位联结;自动切断电源;装置外可导电部分

0 引言

“等电位联结”、“总等电位联结”、“功能接地”、“保护接地”、“重复接地”等等名词定义广大电气专业设计人员都很清楚,在这里就不再叙述了。建筑电气工程设计中这些“联结”系统的作用就是起到均衡电位保护人身财产安全和配电系统的正常运行。但是如何才能做好设计,真正起作用还真是有必要认真讨论、深入研究。

1 TN接地系统用电设备存在危险电位的情况

如图1、图2所示,用电设备的金属外壳是通过PE(或PEN)导体连接在一起的,当某一台低压用电设备或配电设备发生外壳与相线发生接触

发生了接地故障会造成PE导体带电位(此接触若不是金属性的连接将会形成间断性的接地故障电压),若电位超过50V将会对人员造成危害,在变电所若与高压配电设备共用接地装置则高压系统的单相接地故障电压会通过PE导体传导到低压用电设备金属外壳上,而这时若不进行设备外壳就地接地形成等电位联结可能会产生设备外壳对地的危险电位,因此须要做等电位联结。在国家标准图《等电位联结设计与安装》中提出了在相关就地配电箱处进行PE导体的重复接地的要求,通过PE导体重复与配电箱附近的预留钢板与建筑钢筋或预埋的等电位用钢筋形成等电位联结钢筋网,以期减少用电设备外壳与地之间的电位差来保证人员的安全。

2 PE导体重复接地的作用及重要性

目前采用TN-S接地型式的设计中很少再提出PE导体进行重复接地的要求和施工做法了,而

作者简介:丁杰,男,研究员,1983年毕业于清华大学电气系统及其自动化专业,现就职于航空工业规划技术发展中心。

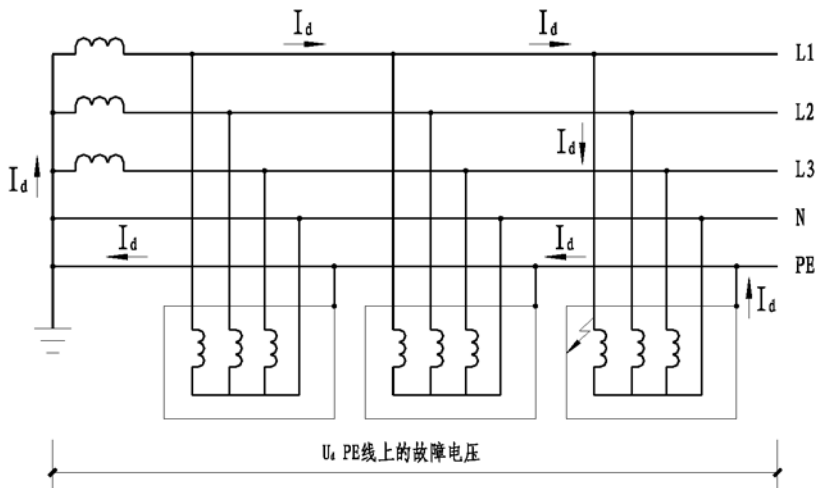


图1 TN系统低压用电设备一处接地故障电压传导示意图

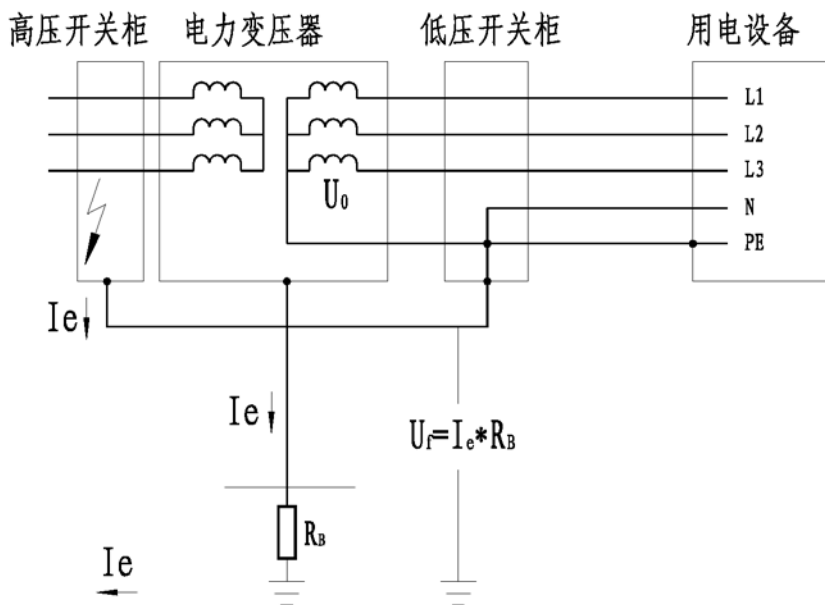


图2 高压侧接地故障电压传导到低压侧示意图

对于PE导体是可以随时接地的，在接地处与就地的钢筋或等电位金属网格连接就可达到了与地同电位，这就是重复接地，其作用就是使PE导体保持地电位。如图3所示。

为了保证发生用电设备“碰壳”的单相接地故障时的回路阻抗相对小、增大故障电流，通常采用的PE导体随相导体与中性靠近的方法，一般是同一根电缆，三相回路是5芯电缆，单相回路是3芯电缆，PE导体是电缆中的一根芯其对相导体、中性导体是绝缘的只有在变电所内可靠接地，接

至配电箱处只是和其外壳联结，而没有与配电箱处就地接地这可能形成外壳与地不是等电位，如果电位差超过50V有可能造成人身安全的危险。笔者认为做好等电位联结是非常必要的。

3 辅助等电位联结与局部等电位联结的关系

由于IEC标准在最近的修改文件中取消了“局部等电位联结”的名词保留了“辅助等电位联结”，是否就认为“局部等电位联结”就是不能设计了？辅助等电位联结与局部等电位联结均为故障防护的附加防护措施，做为故障防护的附加防护措施，局部等电位联结和辅助等电位联结都是有效的，其有效性可通过相关公式验证，两者在工程中使用都没有问题。局部等电位联结存在的前提是，配电箱引出的多个回路有不同的切断电源时间，例如，对TN系统的手持式或便携式设备是0.4s，固定设备来说是5s。在发生接地故障时，为了使预期接触电压不大于50V，就要求该配电箱的PE线到MET之间的电压不大于50V或该PE线所连接的配电及用电设备外壳对所在区域的“地”之间的电位不大于50V，于是对保护导体的阻抗提出限值的要求（限制保护导体阻

抗的方法相对比较复杂和难以控制，工程实践困难）；或者设置局部等电位联结，将局部区域内的限制电压降低到不大于50V（比较容易实现）。然而，情况发生了变化，IEC标准对32A及以下的终端回路不分固定式和手持式、便携式，都按0.4s的故障切断时间；对于大于32A的终端回路，只要采用断路器作为保护电器，保护电器固有的动作切断时间也能得到保证。于是，局部等电位联结显得不是太有必要。在这个基础上，IEC进行了术语重建，以自动切断电源的防护和附加防护

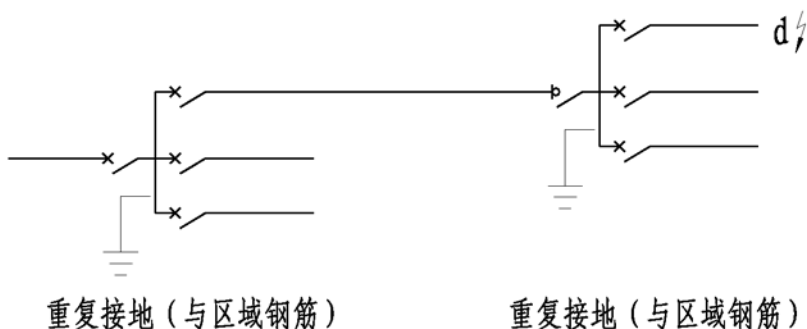


图3 TN接地系统重复接地限制故障电压和等电位示意图

建立了两个层次，辅助等电位联结和局部等电位联结实现了融合。辅助等电位联结涵盖电气装置的全部或一部分，或涵盖一台电气设备或一个场所，是一个广义的范畴，实际上包括了局部区域等电位联结的应用（即电气装置的一部分）。对于配电箱供电的回路中不能满足切断时间要求的情况，采用局部区域的辅助等电位联结是有效的措施；对于特殊场所的特殊要求（即一个场所），采取特殊场所的辅助等电位联结有更好的安全性。例如，我国浴室的局部等电位联结和IEC的辅助等电位联结做法完全一致，但是IEC却取消了局部等电位联结的术语。

IEC是否只考虑了自动切断电源实现不能满足时采用辅助等电位联结保证人员能够同时触及金属外壳通过保护导体联结达到同等电位，而忽略了前述高压系统单相接地故障通过PE导体的传导电位与区域场所的地之间的电位差超过50V，所以设置局部等电位联结是必须有的，是保证安全的附加措施，局部等电位联结要连接就地钢筋，辅助等电位联结不连接钢筋只连接外露金属导体，如果与PE导体连接的用电设备外露金属导体的电位安装场所的地不一致且超过50V，一样可能导致危险的存在，因此局部等电位联结不应该取消。

为了促进国际间的统一和交流，IEC允许各国的标准与之有分歧，但应清晰标明。我国目前采用“总体—区域—附加”的区域化等电位联结设置原则，面对IEC标准的相应变化，需要做好相关标准之间，标准内各技术要素之间的协调，还应统一标准设计，严格施工工艺和工程检验，以期达到最终的安全防护目的。

4 总结

接地系统、等电位联结说起来比较简单做好比较复杂，用电设备的技术条件、使用环境因素、接入电力系统的参数等都需要考虑。

只有I类用电设备设有接地端子有接地的必要条件和接地要求，需要设计人员根据仔细研究正确做出设计图纸。

等电位联结是在采用TN供电系统中是重要的防电击辅助

措施，做好等电位联结是预防和减少人身伤害的相对简单廉价的办法。但如何进行设计和施工、运维中还需要做大量的探讨和研究工作。例如等电位联结的金属网格多大才有作用？埋在土壤中多深作用最佳？混凝土的垫层多厚就失去了作用等等？

不用纠结“局部等电位联结”、“辅助等电位联结”术语的存在与消失，只要能够起到人身安全就好。

电动机或用电设备可外露金属外壳除了连接与供电线路PE导体，是否还要再做一个接地，这个接地导体接到什么地方？

“接地”是一个古老又现代，简单又复杂的话题，应该引起大家的重视，该接地用电设备的一定要做好接地措施，不能接地的用电设备绝不能随便乱接地。

航空货运站消防给水方案 分析与实例

■ 付饶 [给排水]

摘要: 结合航空货运站的行业特点,对该类建筑的火灾危险性进行分析,通过对相关设计规范具体要求的理解,对该类建筑的消防特点、以及设计中存在的疑问进行论述,并总结出该类建筑消防给水设计方法。最后结合某大型航空货运站消防给水设计实例,对不同消防给水方案的合理性、可靠性进行对比分析,解决存在的设计难点,从而保证生命财产安全。

关键词: 航空货运站;消防给水;自动喷水

1 引言

随着我国航空运输业的不断发展,作为航空运输业重要组成部分的航空货运站,必然在各地机场逐步兴建、扩建。由于功能特殊,设计合理的消防给水设计方案,有效保证建筑和生产安全,已成为该类建筑设计重点和难点。本文结合实例,就该问题进行探讨和分析。

2 火灾危险性分析

在《物流建筑设计规范》实施前,货运站的建设还处于起步阶段,该类建筑缺乏明确的适用条款,连最基本的消防定性为厂房还是仓库都不是十分明确。随着货运站的广泛建设,建筑功能定性、火灾危险性划分、以及消防方案选择逐步形成了一套行业通用原则,并得到各地消防部门和专家的认可,且部分内容已经纳入了GB 51157-2016《物流建筑设计规范》(以下简称“物规”)的消防章节,成为了以后货运站消防设计的基本原则。

然而,航空货运站由于其行业特点,又不同于一般的货运站,存在一定的特殊性。

首先,航空运输货物本身就有一定的安全性要求。运输物品主要为电子产品、服装、食品、药品等,不含易燃易爆、有毒、放射性等危险品,货物的火灾危险性类别通常为丙2类。

其次,快速和高效是航空运输不断追求的目标。作为重要组成的航空货运站也具备了,货物过站快、滞留时间短的作业特点,其流通为主、存储为辅的功能,决定了建筑内主要为作业区,货物存储区很少,且需要存储的货物一般为中转需要,停留时间也很短。

再次,航空货运站由于处于机场空侧、路侧的交接处,所以管理控制严格,工作区实时监控,工作人员进入需通过安检,禁止携带个人物品入内,所以一般不存在引火火源,可以认为该类建筑引发火灾的概率非常小。

根据“物规”规定,航空货运站从使用功能上划分,属于作业型物流建筑,按厂房类建筑设计。综合来说,航空货运站从火灾危险性上来说,可以按照丙类厂房建筑进行设计。

3 消防给水系统要求

根据GB 50016-2014《建筑设计防火规范》规定,丙类厂房必须设置室外消火栓和室内消火栓

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

给水系统。然而,需达到高层丙类厂房,或者建筑面积大于 500m^2 的地下或半地下丙类厂房的建筑,才必须设置自动喷水系统。而通常的货运站没有建成高层或地下建筑的必要,由此可见,航空货运站作为普通丙类厂房,不设置自动喷水系统,也可以满足规范要求。

然而近些年,我国航空运输业务呈爆发性发展,航空货运站的建筑规模也越来越大,大型货运站、甚至超大型货运站开始出现。对于建筑面积几万 m^2 的大型建筑、大跨度、大空间,货物密集作业,如果不设置自动消防给水系统,仅依靠消火栓保护,显然没有提供可靠、足够的消防保障。而且也不满足建筑分隔、消防通道等相关要求。可是,如何设置自动消防给水系统,又成为新的难点。下面通过某大型航空货运站设计实例,讨论消防给水方案的选取问题。

4 工程概述

某项目为航空综合货运站工程,本次为二期进港货运站,包括主站房部分及配套辅助业务用房。建筑物占地面积 45108m^2 ,总建筑面积 40500m^2 。其中主站房建筑面积 28799m^2 ,其中作业区 26374m^2 ,作业区屋内顶高度约 $10\sim 13.0\text{m}$,耐火等级为一级。贴建的辅助业务用房建筑面积 2794m^2 ,共3层,耐火等级为二级。

5 室外消防给水系统

本建筑体积 $V>50000\text{m}^3$ 。根据规范按丙类厂房设计,室外消火栓用水量 40L/s ,供水时间为 3h ,室外消火栓给水管网由市政供水。引入两根 $\text{DN}200$ 给水管,围绕建筑形成环状供水管网,并在管网

上共设有14套地上式室外消火栓,布置间距不大于 80m ,距道路边不大于 2m ,距建筑物外墙不小于 5m ,满足本建筑需要,同时满足现行规范要求。

6 室内消火栓给水系统

6.1 货运区室内消火栓

货运区按丙类厂房室内消火栓系统消防水量为 20L/S ,供水时间 3h 。由一期消防泵房供水,从室外消防给水干管引入2根 $\text{DN}150$ 消火栓给水管,在室内形成环状供水管网。消火栓的充实水柱为 13m ,4支枪同时作用,消火栓采用普通型栓口,消火栓栓口出水动压不小于 0.35MPa 。

6.2 业务用房室内消火栓

业务用房室内消火栓系统消防水量 15L/s ,供水时间 3h 。由货运区消火栓给水干管引入2根 $\text{DN}100$ 消火栓给水管,在业务用房内形成环状供水管网。消火栓的充实水柱 10m ,同时使用3支枪,消火栓栓口出水动压不小于 0.25MPa 。屋面楼梯间设试验检查消火栓。部分消火栓根据建筑装修要求,采用暗装方式。

6.3 控制要求

火灾时,由消火栓系统低压压力开关作为触发信号,启动消防泵;消防值班室设置报警控制系统,在消火栓处设置报警按钮,触发报警信号,消防值班室内的控制柜、控制盘设有专用线路手动启动消防泵。消防控制室显示消防泵运行状态信号。不设置自动停泵。

7 自动消防给水方案对比

主站房作业区的室内高度为 $10\sim 13\text{m}$,局部超过了 $\text{GB} 50084-2017$ 《自动喷水灭火系统设计规



图 航空货运站正面效果图

范》中对厂房建筑最大净空高度12m的要求,规范规定了对于超过净空高度的可以采用雨淋系统。而雨淋系统的单个雨淋阀控制的最大作用面积为 260m^2 ,本建筑主站房作业区面积大于 26000m^2 ,则需要安装100多个雨淋阀来满足规范要求,显然很不合理,设计、使用也很复杂,无法实现。

另外,高大净空的建筑也可以采用大空间智能型自动喷水灭火系统。该系统将红外传感技术、计算机信号处理和通信技术有机结合起来,对于发现火灾、扑灭早期火灾,比普通的湿式自动喷水灭火系统具有不可比拟的优越性。多用于人员密集,容易发生重大人身安全的场所,如航站楼内多采用这种系统。而对于火灾性质为丙类厂房的航空货运站,使用该系统投资造价较高,不太经济。通过对比,认为设置自动喷水灭火系统最为合理可行,同时可以兼顾贴建的业务用房。但是如何突破最大净空高度的限制,成为设计的重点。

通过参考已建成的一期货运站,并结合同行业相似设计案例和论证报告,且从上面提到的3个方面对该项目火灾危险性进行分析:首先,货物属于丙2类,且90%以上为集装、包装货物,其燃烧蔓延速度慢。其次,货物停留时间一般不超过24h,停留时间非常短,火灾危险性相对较低。再次,安全管理制度严格,全覆盖监控,24h值班,采用带有安全保护的设施,所以引发火灾因素少。

最终决定通过扩大作用面积的方式设置自动喷水灭火系统。该消防给水设计最终得到当地消防部门认可,通过了消防审查。

8 自动喷水系统

8.1 货运区自动喷水系统

货运作业区屋内顶板下设置自动喷水系统,设计喷水强度 $12\text{L}/(\text{min}\cdot\text{m}^2)$,作用面积扩大至 400m^2 ,设计流量为 $113.6\text{L}/\text{s}$,持续喷水时间1h。由一期消防泵房供水。^①

根据工艺要求和业主需求,为减少误报喷水对货物造成经济损失,货运区采用预作用自动喷水灭火系统。喷头采用快速响应闭式玻璃球喷头,流量系数 $K=115$,动作温度 68°C 。货运站喷头布置避开采光带和屋顶排烟窗。

8.2 业务用房自动喷水系统

业务用房根据规范按照民用办公设湿式自动喷水灭火系统。系统按中危险级 I 级设计,喷水

强度为 $6\text{L}/(\text{min}\cdot\text{m}^2)$,作用面积 160m^2 ,喷头工作压力 0.1MPa ,设计流量按 $30\text{L}/\text{s}$,持续喷水时间1h。采用闭式玻璃球喷头,流量系数 $K=80$,动作温度 68°C 。

8.3 控制要求

预作用自动喷水灭火系统:报警阀后管网平时充满 0.12MPa 的压缩空气;当发生火灾时,火警信号报警,系统末端排气阀前的电磁阀打开排气,报警阀压力开关动作,空压机停止工作,开启自喷消防泵向供水;在闭式喷头尚未打开前使系统转变为湿式系统,同时水力警铃报警。

湿式自动喷水灭火系统:发生火灾时,喷头打开喷水,失火区设置的水流指示器动作,向消防控制中心报警并显示着火区域;报警阀组的压力开关动作开启自喷消防泵,同时水力警铃动作报警。

9 总结

航空货运站作为一种特殊的物流建筑,其货物性质、作业模式、管理方式等方面具有一定的特殊性,同时又具备高净空、大空间的建筑特点。其消防给水方案的选择,应综合建筑规模、净空高度、储物形式、作业特点、技术经济性等多方面因素确定,选择切实可行、安全可靠的消防给水设计方案。同时,也期待具有针对性的相关规范标准尽快出台,为今后同类设计提供可靠依据和指导。

注①:该项目设计时,GB 50084-2017《自动喷水灭火系统设计规范》未施行,所以该项目设计参数均按照GB 50084-2001《自动喷水灭火系统设计规范(2005年版)》选取。

参考文献

- [1] 徐波.张晓军.国内航空货运站消防设计问题初探.[J]上海空港(第9辑),2009.2.
- [2] 董文平.杨永红.王玉玲.某国际机场航空货运站消防设计简介.[J]工程建设与设计,2010.06.
- [3] 孙德胜.大空间高层丙类厂房的消防设计.[J]石油化工设计,2011.03期.

欧美工程咨询行业业态分布与 质量管理措施分析

■ 张波 [工艺]

摘要: 本文对欧美国家工程咨询业的构成和分工进行了概述,并以美国《工程新闻纪录》(ENR) 2017年数据为基础分析了美国工程咨询行业的业态分布,梳理出3种基本的业务模式和多种组合形式,统计了各种组合形式的业态数据。从政府和企业两个方面研究了欧美国家工程建设项目的质量管理措施。

关键词: 工程咨询; 业态分布; 质量管理

1 欧美工程咨询行业的构成和分工

在工业发达国家,工程咨询是指咨询工程师在工程项目建设及使用过程中,就工程建设的组织、管理、技术和经济等方面的专业问题独立地为委托方提供的咨询。咨询工程师是指从事工程咨询工作的专业工程师。专业工程师一般包括:建筑师、结构工程师、水、暖、电、声、光、热等专业的工程师、造价工程师(英国称测量师)、建造师(或营造师)等。国际上一般把具有执业资格的专业工程师称为“专业人士”。专业人士可以从事工程咨询工作,也可以受雇于政府机构、科研和教学机构、学会和协会、业主、承包商及供应商等。

工程咨询的工作范围涉及工程建设和使用的全过程,即项目全寿命,包括可行性研究阶段、设计准备阶段、设计阶段、施工及安装阶段、动用准备阶段、保修阶段及使用阶段等。工程咨询

的工作内容涉及项目全寿命的组织、管理、技术、经济等方面的专业问题,一般包括:项目开发策划、可行性研究、规划、勘察、工程设计、专业技术咨询、工程项目管理咨询、物业管理咨询等。

工程咨询的传统做法是建筑师不但负责工程设计、编制招标文件,而且要完成对施工的监督管理任务。现代咨询工程师队伍的分工是:一部分咨询工程师成立专门的工程咨询公司,提供可行性研究、工程技术咨询等服务;另一部分咨询工程师成立工程设计公司、建筑师事务所、专业工程师事务所等,在某一专业工程师的领导下(在民用建筑工程设计中一般采用建筑师负责制)从事工程设计、技术咨询、小型项目的施工监督管理等咨询服务;另外,从建筑师和结构工程师队伍中分划出一部分咨询工程师,成立专门的项目管理咨询公司或事务所,针对大中型工程项目建设组织管理复杂的特点,为项目的业主、设计单位或建筑施工单位提供专业化的项目管理咨询服务。另外,欧美一些国家的项目管理咨询公司还为业主提供项目开发策划及物业管理方面的咨询服务。

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

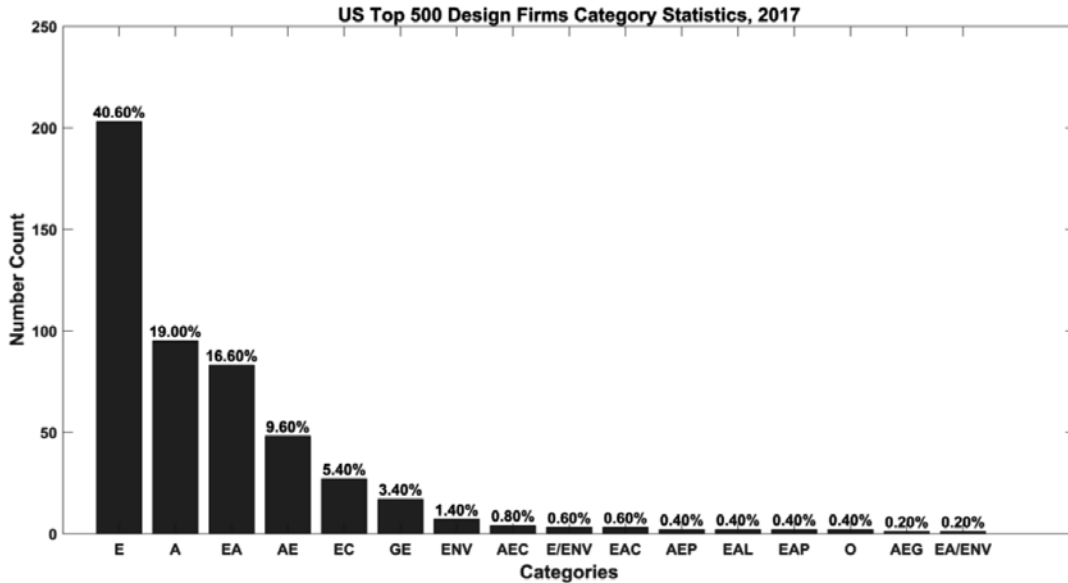


图1 美国工程设计公司500强的业务—数量分布

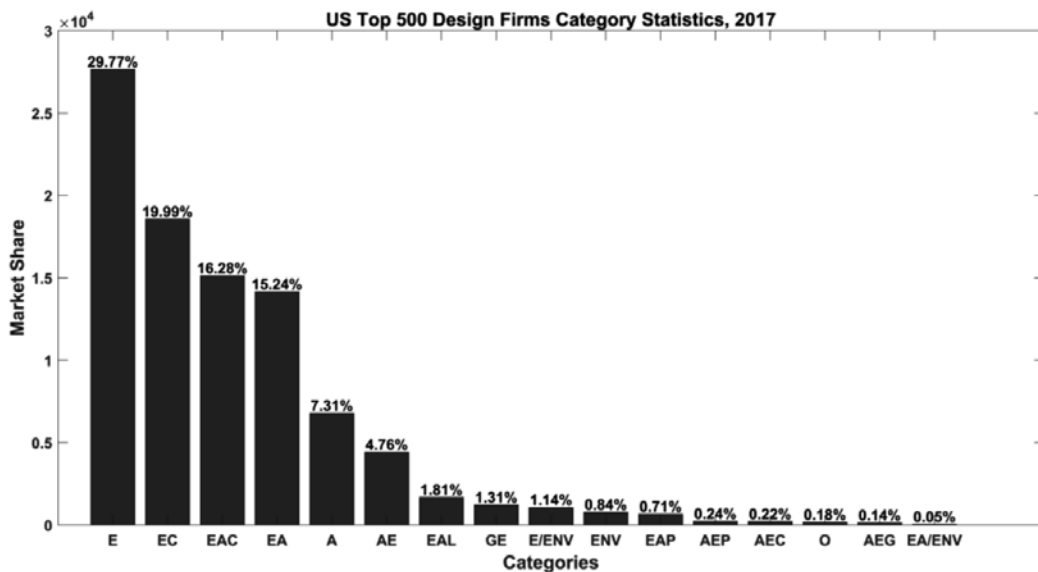


图2 美国工程设计公司500强的业务—市场分布

在工业发达国家，政府对工程咨询单位一般没有资质管理。常见的工程咨询单位主要有：工程咨询公司(或事务所)、工程设计公司(或事务所)、建筑师事务所、结构工程师事务所、各种专业工程师事务所、项目管理咨询公司(或事务所)等。工程咨询单位的组织规模一般较小，专业化程度较高，许多是以咨询工程师个人的名义注册开业的，少数规模较大的工程咨询公司主要面向大中型工业及交通基础设施项目，面向国际建筑

市场提供工程咨询服务。如德国的工程咨询单位一般只有几个咨询工程师，中型的20~30人，较大的则有70~80人；美国工程咨询单位的人数，1~25人的占77.6%，26~100人的占16.6%，百人以上的只占5.8%，平均每个公司约有30人^[1]。

2 美国工程咨询行业的业态分析

美国的工程设计企业的运行模式主要有3种基

表 美国工程咨询行业主要业务组合及其统计

序号	业务组合	英文缩写	企业数量	企业收入\$M	企业占比%	收入占比%
1	建筑设计	A	95	6789.7	19.00	7.31
2	建筑设计+工程咨询	AE	48	4421.7	9.60	4.76
3	建筑设计+工程管理	AEC	4	206.6	0.80	0.22
4	建筑设计+工程咨询+勘察工程	AEG	1	134.0	0.20	0.14
5	建筑设计+工程咨询+规划设计	AEP	2	220.6	0.40	0.24
6	工程咨询	E	203	27653.4	40.60	29.77
7	工程咨询+环境工程	E/ENV	3	1061.3	0.60	1.14
8	工程咨询+建筑设计	EA	83	14157.8	16.60	15.24
9	工程咨询+建筑设计+环境工程	EA/ENV	1	43.9	0.20	0.05
10	工程咨询+建筑设计+工程管理	EAC	3	15123.3	0.60	16.28
11	工程咨询+建筑设计+景观建筑	EAL	2	1682.1	0.40	1.81
12	工程咨询+建筑设计+规划设计	EAP	2	661.2	0.40	0.71
13	工程咨询+工程管理	EC	27	18563.7	5.40	19.99
14	环境工程	ENV	7	778.8	1.40	0.84
15	勘察工程	GE	17	1212.7	3.40	1.31
16	其他	O	2	165.8	0.40	0.18
总计			500	92876.6	100.00	100.00

本模式：其一是提供可行性研究、规划咨询、评估咨询等工程咨询服务的工程咨询公司；其二是提供工程项目EPC管理的工程管理公司；其三是提供建筑工程设计或某一专业设计业务的设计事务所。据对2017年版美国《工程新闻纪录（ENR）》工程设计公司500强榜单的分析，可以发现当前美国工程设计公司的业务组合主要包括16种形式，各种业务组合的企业数量和收入分布如表所示。

结合图表可以看出，就企业数量而言，美国最多的工程设计企业依次属于工程咨询、建筑设计，以及此二类的混合型公司，它们的数量百分比之和大约为85.5%；就市场的收入而言，美国最多的企业依次属于工程咨询、工程咨询+工程管理、工程咨询+建筑设计+工程管理、工程咨询+建筑设计，它们的收入百分比之和大约为81.28%。综合来看，企业做大主要依靠发展工程咨询能力和工程管理能力，除此以外，单纯的建筑设计能力很难扩大企业的规模。

行业规模方面，据ENR 2017年的对美国本土的工程设计公司营业收入的统计，位列榜首的AECOM公司营业收入为74.3亿美元，位列榜尾的Hill West Architects公司的营业收入为2250万美元。从整体来看，如图3所示，美国的工程设计公司收入分布呈现几乎标准的“二八”规律，即500

强中的前20%的收入总和约占500强企业的80%。

美国的工程设计企业的业务主要来自于以下11大市场，一般建筑（General Building）、交通设施（Transportation）、石油设施（Petroleum）、电力设施（Power）、危险废物处理设施（Hazardous Waste）、供水设施（Water）、废水/废物处理设施（Sewer and Waste）、工业设施（Industrial）、制造设施（Manufacturing）、通信设施（Telecom），及其他（Other）。各市场的占比和价值（单位，百万美元）如图4所示。

ENR工程设计公司500强榜单中列出了各个上榜企业在九大主要市场（除去“其他”，并将“工业设施”和“石油设施”合并到一起）的收入比例，利用统计分析方法中的标准差可以计算各个企业的市场分散度，即多元化程度。假设收入平均来自九大市场的市场分散度为1，只来源于其中一个市场的市场分散度为0，即：

$$SI = 100 \times \left(1 - 3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^9 (x_i - \frac{1}{9})^2}{8}} \right)$$

其中 x_i 为某企业在第 i 个市场上的营收占比。

那么可以看出，如图5所示，美国的工程咨询企业规模与其市场分散度并没有明显的关联，涉足多个市场的企业与只专注于某个特定市场的企业具有

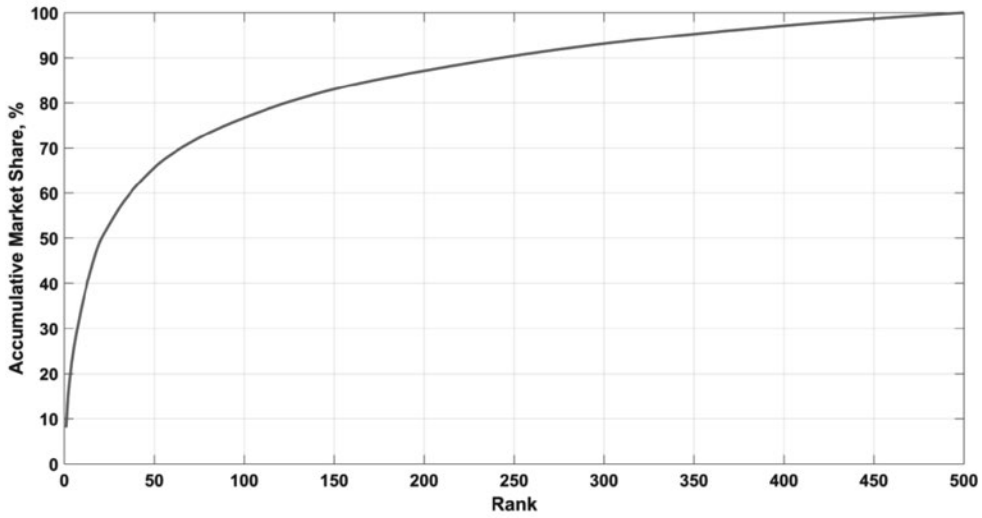


图3 美国工程设计公司500强的收入累计百分比

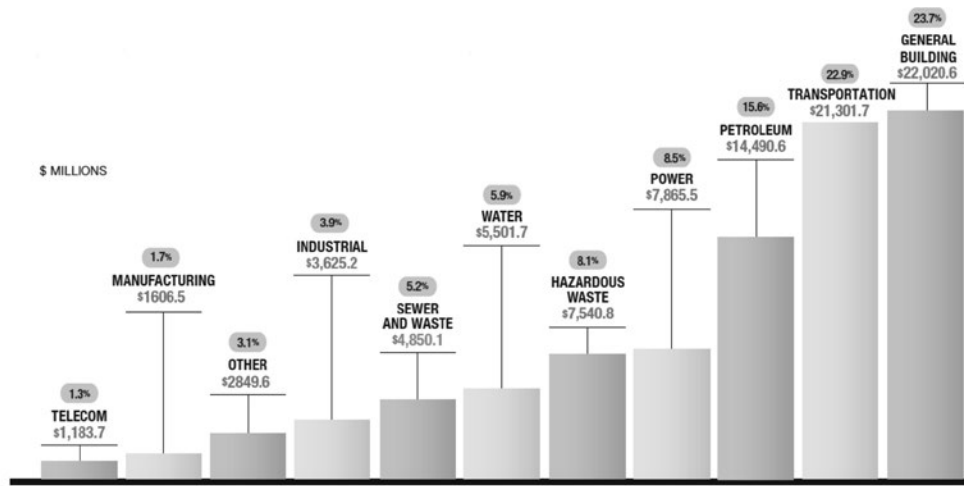


图4 美国工程咨询的主要市场

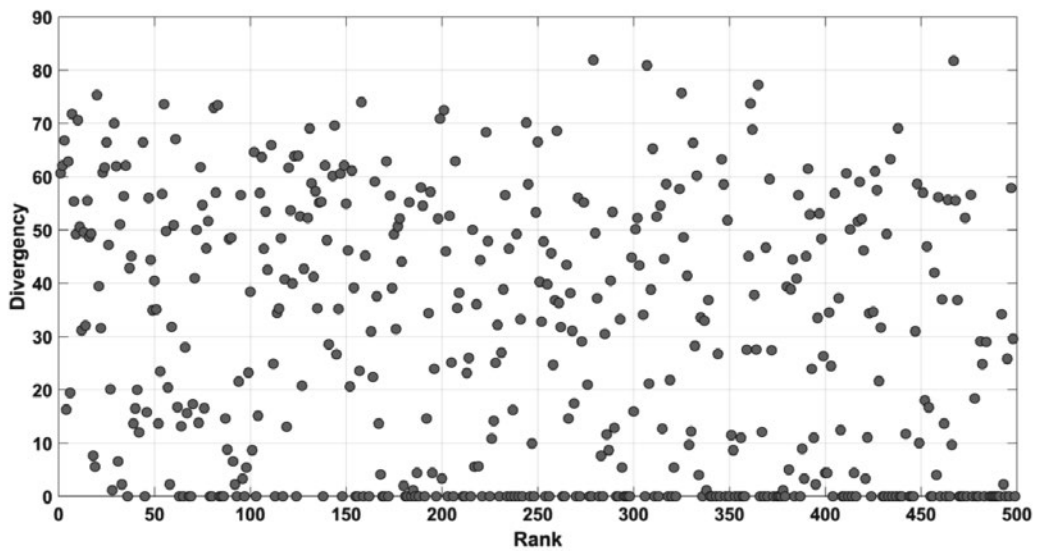


图5 美国工程设计公司500强的市场分散度

几乎同样的可能性成为“大公司”或“小公司”。换言之，对于美国的工程设计企业而言，市场多元化对于扩大企业规模并没有直接的作用。

3 欧美政府对工程建设项目的质量管理

在分析国外工程设计公司的质量管理措施之前，有必要先对其所处的外部环境，尤其是政府在工程建设项目的质量管理中发挥的作用进行梳理和总结。工程设计企业的质量管理既是对政府管理要求的回应，也因为政府对质量的管理而大大受益。总体来说，发达国家政府对于工程建设项目的质量管理体现在以下几个方面^[2]。

首先，积极有效的强制性工程担保与保险制度。凡涉及工程建设活动的所有单位，包括业主、建筑师、总承包商、设计或施工等专业承包商、建筑产品制造商、质量检查公司等，均须向担保与保险公司进行强制性投保。担保与保险的内容包括新建、改建或维护工程的结构失效，以及建筑所在场地的破坏。从项目立项开始缺陷保证期止，按合同分别由责任负责方承担担保与保险责任。全方位、全过程的工程担保与保险，为保证建设工程全寿命期质量的实现提供了经济上的保证。

实行浮动担保与保险费率制，承包商担保与保险费率根据建筑物的风险程度、承包商的声誉、质量检查的深度等综合加以考虑，在法国一般要负担相当于工程总造价1.5%~4%的保险费，由于担保与保险费率的确定考虑了承包商的声誉和业绩，为了得到优惠的担保与保险费率，承包商必须通过加强质量管理提高声誉、积累良好的业绩，从而促进了质量监督管理保证的良性发展。

强制性担保与保险制度加强了各方主体参与工程质量监督控制的能动性。通过实行强制性工程担保与保险制度，担保与保险公司将在施工阶段积极协助监督承包商进行全质量控制，以期保证工程质量不出问题，担保与保险公司就可以不承担或少承担维修费用等。承包商为了提高企业信誉，争取担保与保险费率的优惠，必须加强质量管理，想方设法提高工程建设的质量水平，这是承包商赢得良好的社会形象，在激烈的市场竞争中维持生存、寻求发展的战略选择。

成熟完善的工程担保与保险市场为建设工程质量目标的顺利实现提供了有效的社会保障。美国等有层次分明、专业分工细致的工程担保与保险组织

体系：活跃在担保市场的担保与保险公司是市场的主体，各自承担着相互有机的不同的市场角色；各类发达的担保与保险协会服务于担保与保险公司，加强行业自律，沟通担保与保险公司和政府监管机构之间的联系；与担保和保险业相关的立法、司法、行政机构作为其外部组织，以及社会舆论监督机构。工程担保与保险市场的健全与发育完善，为工程担保与保险提供良好的法律支持和社会环境。

公正严格的政府监管是工程担保与保险市场培育和发展的保证。发达国家政府一般设有专门机构对工程担保与保险公司和从业人员进行严格的审查和注册认可，并对已注册的公司和个人进行年度评审，向全社会公示评审情况，促使从业公司与个人不断提高自身素质，增强承保能力。高水平的工程担保与保险行业，增强了建设工程质量的社会监督保证能力。

其次，充分发挥专业机构的质量监督和检查作用。综观目前世界发达国家和地区的建设工程质量管理，与其建设体制相适应，大多数政府的建设主管部门都把制定住宅、城市、交通、环境建设和建筑业质量管理的法规和监督执行作为主要任务，并把大型项目和政府投资项目作为质量管理监督的重点对象。他们都非常重视发挥社会上各种专业人士、组织（学会）和行业协会在建设市场中的专业管理作用，政府主管部门通过审核和认可，授权或委托这些组织和机构，将相应的政府职能向民间和半官方机构转移，实行对专业人士教育培训，考核注册制度，充分发挥建筑师、结构工程师、建造师等各类专业人士的作用，对建设工程项目的组织实施阶段的质量进行直接的监督管理。

他们的普遍做法是依据法规，建立项目许可制度，承包商、供应商的市场准入制度，生产过程检测、认证制度、竣工后经审核颁发使用许可证制度等，对建设工程项目的质量形成全过程进行管理。

在对具体建设工程项目质量监督的模式上，这些国家和地区的承包商都按照“谁设计谁负责，谁施工谁负责”的原则实行质量自控，业主普遍采用委托工程咨询（监理）公司对工程质量进行监督控制的做法。

为了提高监理工作的有效性，不少国家的业主往往委托在工程竞标中的失败方作为该工程的监理单位。而政府是否介入政府投资的公共工程以及民间投资的工程质量的具体监督检查，即政府主管部门是否直接参与微观层次的工程质量监督检查控

制,各个国家和地区的情况不尽相同,归纳来讲,大致有3种模式^[3]:

第一种是“法国模式”,主要表现在政府主管部门不直接参与工程项目的质量监督检查,而是主要运用法律和经济手段,促使建筑企业提高工程质量。例如法国实行强制性的工程保险制度。按照法国的建筑法规《建筑职责与保险》的规定:凡涉及工程建设活动的各单位,包括业主、总承包商、设计、施工、质检等单位,均须向保险公司投保,而保险公司则要求每项工程在建设过程中,必须委托一个质量检查公司进行质量检查,并给予投保单位可少付保险费的优惠。法国的质量检查公司在营业前,必须取得由政府有关部门组成的委员会审批颁发的证书,并每2~3年须经发证机构复审一次。为了保证质量,检查公司能保持其第三方客观公正地位,质量检查公司不得在国内参与质检以外的任何商业活动。质量检查公司在接受工程项目的质量检查任务后,从工程的设计、施工招标阶段开始,直到工程竣工,最后提交工程质量评价报告送与工程建设的有关各方。法国的质检公司均配备完善的检测设备,以保证质量检验的准确性和及时性。

第二种是“美国模式”,主要表现在政府主管部门直接参与工程项目质量的监督和检查。在美国,政府参加工程项目质量监督检查的人员分为两类:一类是政府自己的检查人员;另一类是政府临时聘请或要求业主聘请的,属于政府认可的外部的专业人员。这类监督检查人员都直接参与每道工序和每个分部分项工程的检查验收,由他们认定合格后,方可进行下一道工序。对工程材料、制品质量的检验都由相对独立的法定检测机构检测,在所有监督检查中,又以地基基础和主体结构的隐蔽工程作为重点。

第三种是“德国模式”,主要表现在政府部门对工程项目的质量监督实行间接管理。德国政府对工程质量的监督管理,主要采取由州政府建设主管部门委托或授权,由国家认可的质监工程师组建的质量监督审查公司,代表政府对所有新建工程和涉及结构安全的改建工程的质量实行强制性监督审查。在工程质量检查中,对工程材料的检测,一般由承包商负责送到国家认可的工程质量检测机构检测。当发生工程质量或业主与承包商对工程材料、施工质量发生争议时,由质监工程师委托国家认可的工程质量检测机构进行检测,检测费用由承包商、业主或质监公司中的责任方负担。

上述国家和地区政府主管部门在参与工程质量监督检查的环节中,美、德等国都通过法律的形式明确了工程设计审核制度。工程设计审核由政府主管部门负责,作为核发施工许可的重要内容之一,政府主管部门通常都委托国家认可的专业工程师或技术审核工程师,对由业主负责提交的设计图纸和设计计算书等设计文件及资料进行审核。另外,政府主管部门负责对工程质量实施的具体监督检查中,主要依靠的是政府主管机构组织以外的各种专业人士,这样的做法一方面可使政府机构比较精简,另一方面,由专业人员参与监督检查可以保证监督检查工作的高效和准确;同时,为了确保被授权或委托的专业人士能真正代表政府实施对工程监督检查的公正性和权威性,政府有关部门对这些人士资质的认可和管理都有十分严格的要求。一旦这些专业人士在工作中发生徇私舞弊、滥用职权、收受贿赂或严重失误,都将终身取消执业资格,因此,这些专业人士亦十分珍惜自己的执业岗位,在工作中能尽职尽责、忠于职守。

第三,提供高效的政府服务。政府服务成为建设工程质量监督管理的核心职能,为建设工程质量监督营造良好的市场环境。一是为建筑业发展而服务是政府工作的指导思想,促进建筑行业的整体发展是政府主管部门的首要任务。政府不是站在企业的对立面,不是领导机构,而是服务机构,无论是建筑法规的制定和实施,国内建筑市场的管理,还是国外建筑市场的开拓,无不体现出政府的服务职能。二是政府的作用为建立有效、公平的建筑市场,提高行业服务质量,促进建筑生产活动的安全和健康。对建筑业参与者的管理是通过政策引导、法律规范、市场调节、行业自律、专业组织辅助管理来实现的,运用经济手段和法律手段约束企业和各方主体的行为,为建设工程质量监督营造了良好的市场环境。

政府依法实施工程质量监督管理是有效发挥服务职能的关键。发达国家重视建筑立法,建筑业的法规建设和完善工作是政府建设主管部门职能机构的核心工作,各个环节、各个层次都有相应的法律法规可遵循,涵盖了包括政府监督管理行为在内的所有参与建设者,责任明确,条款具体,为严格执法提供了准确可靠的依据,是政府高效地实施建设工程质量监督的基础。

开拓国际市场是政府建筑业管理服务的重要职责,把提高本国的建筑业竞争能力、开拓国际市

场作为政府的一项重要任务,在国际合作方面主要作法:一是统一规范。规范统一是建筑市场统一的基础,各国积极参与统一标准建设,努力推进ISO组织,尽力消除进入国际市场。二是建立区域性共同市场,促进教育体制的融合和专业人士资格的互认,为开拓国际市场提供法律支持。共同体范围内享受国民待遇,开展公开招标,优化区域资源配置,建立共同市场,为本国企业扫清了政治、经济障碍。三是宣传和学习别国和地区的法规。政府组织专业人士组织和专业人士研究国外法规,组织各种形式的学习与培训,为本国企业提供咨询,为本国企业走向国际市场服务。

信息化为提高政府管理效率和透明度、更好地服务于建筑业提供了重要手段。全球化交通的形成、全球性市场的开拓和全球信息的沟通,加速了建筑市场的国际化,发达国家积极促进建筑行业信息化的进程,尽最大可能为本国建筑行业各个层次提供国际、国内必要的信息网络服务,努力通过政府管理信息化来提高政府管理的效率和透明度,进而带动和促进全行业的信息化的进程,以知识和信息资源优势增强国际市场竞争优势。

第四,系统强化行业教育培训。教育和科研是提高行业水平、促进行业可持续发展的关键。发达国家建设主管部门都设有专门机构管理建筑业的教育和科研工作,其主要任务是从事教育和培训计划、方针的制定,专业资格审定,建筑业人力资源开发等。欧美注重高等院校在建筑业基础研究中的重要作用,日本把企业自身的科研力量看作是行业技术进步的主力军。同时,政府致力于科研成果转化为现实生产力,不遗余力地为科研成果转换努力服务。科技进步已成为发达国家建筑业的主要经济增长点。

注重专业人士培训,对专业人士的技能坚持高标准、严要求。既是懂技术、管理、经济、法律的复合型人才,又有较丰富的实践经验和独立依法处理工程技术管理问题的能力。健全高等学校专业教育、职业教育、继续教育相结合的教育体系。

注重基础教育培训和岗位培训,不断提高从业人员的素质。设有专门机构负责对建筑业人员培训和技术水平测试,培训课程包括了建筑业的各个工种,培训与就业相结合,持证上岗,以人员的素质保证工程质量。

注重学习型企业的塑造,加大继续教育培训的力度,以知识更新促进科技进步,推动行业发展。

发达国家把对人员的再培训作为建筑业发展的一项重要战略,对在职人员制定有多种再培训和继续教育的总体规划,通过岗位再培训,不断更新和提高从业人员的知识结构、技术水平、工作能力和整体素质,使企业以人才资源优势提高市场竞争能力。

高等教育对于建筑业发展实践的响应性是教育与实际相结合的重要体现。高等教育随着建筑业的发展及时进行改革,调整课程设置,改变学习计划,以社会需求确定培养目标,积极参与建筑业的理论研究和科研工作,注重专业理论学习和工程实践相结合,提高学生的素质,为学生从事高层次技术管理工作提供有效的专业教育保证,形成建设工程质量监督人才需求的不竭源泉。

4 工程咨询企业的质量管理

政府对工程建设项目的质量管理为工程设计企业提供了质量提升的方向和基础。不同业态的企业在提高自身质量水平的具体做法上侧重有所不同。

4.1 全能型大公司的做法。

此类公司提供从规划设计、工程咨询、勘察工程、建筑设计,到工程管理等多种服务模式,涉足一般建筑、交通设施、制造设施、电力设施等多个市场,企业规模庞大。美国的AECOM公司可以称得上是此类企业的代表。

AECOM公司不仅通过了ISO 9001认证以及各个工程设计行业的质量认证,作为一家全能型的工程设计企业,在质量管理方面它的特色经验主要表现在以下几个方面^[4-5]:

第一,凭借强大的经济实力不断丰富自身的专业技术能力。AECOM公司通过合并5家企业,正式成立于1990年4月6日。随着业务的拓展,AECOM公司不断将外部的优秀企业纳入到旗下。截止到2007年,先后有50多家公司被并入AECOM。2015年与URS公司合并后,AECOM公司在人员规模和收入规模上翻倍,进一步巩固了其在美国工程设计领域内的龙头地位。截止到2016财年,AECOM公司的员工规模已经达到了87000人,年产值约为174亿美元。技术是拓展市场的利器,也是保证质量的基础。完备的专业体系使得AECOM公司在大多数情况下都可成为统一的质量责任主体,降低了专业协调的难度,促进了知识产权在公司内部的分享。值得一提的是,AECOM公司还拥有一支专业的施工队伍,它不仅可承揽

AECOM公司业务范围内的大多数建筑类型的建设,还为AECOM公司培养工程监理专业技术人才提供了良好的平台。

第二,借助强大的项目管理能力,调动各类专业人才以确保项目质量。AECOM公司自称是一个“全球的专家网络”,虽然它的组织机构一般是按照地理区域的划分来运行的,但是如果项目中遇到难题,项目经理便可以召集相关领域的内部和外部专家提供必要的技术支持。而项目经理本人通常都是精通技术、专业经验丰富的专家,他们对问题种类、性质和难度的判断,在很大程度上决定了问题能否得到应有的关注和恰当的解决。

第三,多重完善的质量检查体系。AECOM的质量管理遵循着四大循环,即:工程规范检查、专业间的协调性检查、施工前的可建造性检查,以及全过程的质量管理/质量控制检查。在此循环过程中,AECOM不仅将技术、知识、经验和专业判断融合到质量管理中,还将客户也纳入到过程中的每个环节,以确保“做正确的事,正确地做事”。

除此以外,AECOM的项目经理(Project Manager)是整个项目质量的最终负责人。然而,他并非唯一的负责人,参与项目的每个人都负有质量责任。首先,每个项目成员都必须对自己的工作进行检查,而在其他企业,这种做法对于提升质量的作用常常被忽视或低估。随后,项目负责人将会对该项目成员的工作进行再次检查,以确定其所采用的工作过程和计算方法的确是适用的。工作自查与复查的结合,为AECOM的每项工作提供了双重的质量保证。

第四,对分包商实行强力的质量管控。AECOM的质量管理系统中不仅包含了一份“优选供应商名录”,还提供了大量的指导,以协助项目管理人员评价、选择并管理分包商,以及编写合同条款。此外,被选择的分包商还必须购买相应的责任保险,以保护包括投资方、最终用户和AECOM等各方的利益。此外,AECOM公司每年还会对分包商的资质、业绩、培训、安全记录等方面进行审查,以确保其有能力高质量地完成所分配的任务。

4.2 专业型小公司的做法。

全能型大公司瓜分了大型工程项目,这在一定程度上限制了专业型小公司的发展,但是它们在专注服务于大客户的同时,客观上也把很多中小型客户推向了专业型的小公司。对于这些中小型的客户而言,正如Short Elliott Hendrickson公司的

CEO Sam L. Claassen先生所言,与其和500英里以外的大公司打交道,或许还不如把任务交给就在附近的小公司。Lanier & Associates公司就是这样的一个专业型小公司。

Lanier & Associates成立于1974年,当时公司只有一个人,即创始人索伦·雷纳(Sorrell Lanier)先生本人。雷纳先生将“为每一位客户提供最优质的服务”作为公司发展的基本目标,力求在技术和两个服务两个方面都做到最好。为实现上述目标,Lanier公司把员工素质摆在了首位。公司的人才理念是:“要想为客户提供最好的服务,必须把那些最有才干的人才招收到公司里来,并且尽最大的努力,让他们的整个职业生涯都留在我们公司”^[6]。

公司的人才理念为公司吸引和挽留了许多技术精英,随着他们经验的积累和丰富,他们能够更加深刻地了解技术难点和客户需求,从而为持续提高服务质量奠定了坚实的基础。与那些频繁招聘和解雇设计师的企业相比,Lanier & Associates公司的技术和服务质量水平更高,责任追溯的难度更小,因而竞争优势尤为明显。40多年以来,Lanier & Associates公司恪守了这一理念,成就了公司的辉煌成长。尽管公司员工还不到100人,它已经从单纯的海洋民用设施(主要是港口)结构设计企业,成长为兼具机械工程、电气工程、施工监理、水土勘测能力的综合性海洋设施设计企业。2016年,Lanier & Associates的营业收入达到了2250万美元,名列美国本土ENR设计公司第499名。

参考文献

- [1] 徐友全. 发达国家的工程咨询[J]. 建筑经济. 1990年第10期, pp22-25.
- [2] 郭汉丁. 国外建设工程质量监督管理的特征与启示[J]. 建筑管理现代化, 2005年第5期, pp5-8.
- [3] 龚健冲, 杨雪玲. 借鉴国外管理经验推动工程质量管理体制改革[J]. 建筑, 2001年第9期, pp14-16.
- [4] AECOM 公司. <https://www.aecom.com/about-aecom/history/>. 访问时间: 2017年9月15日.
- [5] AECOM. Request for Qualifications 2014 Statewide On-Call Rosters, prepared for Washington State Department of Transportation. 2014, March 11.
- [6] Lanier & Associates 公司. <http://www.lanier-engineers.com/our-story.html>. 访问时间: 2017年9月15日.

受剪预埋件锚筋层数影响试验研究

■ 贾洁 郭馨 [结构]

摘要: 钢筋混凝土构件中受剪力作用的预埋件应用广泛, 考虑到沿剪力作用方向锚筋及混凝土局部应力分布的不均匀性, 规范规定了层数不多于4层时预埋件抗剪承载力的折减系数, 而实际工程中经常用到锚筋层数多于4层的情况。本文通过对4组21对42个预埋件的极限受剪承载力试验, 研究了多层锚筋抗剪预埋件的破坏形态以及影响其承载力的相关因素。试验表明, 受剪预埋件的破坏形态与锚筋直径相关, 直径较小的预埋件多是锚筋下缘混凝土局部压坏后锚筋被剪断, 而大直径锚筋的预埋件则呈现出试件下部混凝土的整体破坏; 通过改变预埋件的锚筋层数, 验证了采用足够刚度的加载板施加剪力的预埋件抗剪承载力基本不会因锚筋层数的增加而折减。通过有限元分析, 进一步证明影响多层锚筋预埋件抗剪承载力的主要因素是加载板的刚度而非锚筋层数。

关键词: 预埋件; 锚筋层数; 影响系数, 试验研究; 极限承载力

1 研究背景

现行《混凝土结构设计规范》^[1]GB50010规定均匀配置多层锚筋的受剪预埋件, 其抗剪承载力应乘以折减系数 α_r : 当锚筋层数为两层时 α_r 取1.0, 3层取0.9, 4层取0.85。该系数来源于上世纪80年代有关预埋件的专项试验研究, 认为由于下排锚筋的弯曲变形, 使上排锚筋周围的混凝土产生附加拉应力, 削弱了锚筋的抗剪能力, 上排锚筋断裂而下排锚筋未断, 加上多排锚筋的受力不均匀性而造成抗剪强度的折减^[2]。文献同时显示, 不同单位的试验结论差距较大。

实际工程中, 经常遇到因被连接件的剪力较大需受剪预埋件的锚筋层数超过四层的情况。在此背景下, 对多层锚筋预埋件抗剪承载力的相关影响因素进行了试验研究, 并结合有限元分析探讨了相关因素对预埋件抗剪承载力的影响。

2 试验方案

2.1 试件设计

与受剪预埋件承载力相关的因素包括: 混凝土强度等级、锚筋抗拉强度、锚筋直径、锚筋横向边距 c 、锚筋纵向边距 c_1 、锚筋锚固长度 l_a 、沿剪力方向锚筋层数、构件配筋率以及荷载情况(单向静力荷载、周期反复荷载、多次重复荷载或长期荷载)等^[2]。将一些影响不明显的因素设置为定值, 包括锚筋间距 $b=b_1=7d$ 、锚固长度 $l_a=15d$, 其余尺寸均不小于规范规定的最小值; 加载方式为单向静载; 试件混凝土强度等级为C30、预埋件采用HRB400的直锚筋与Q235B的锚板焊接而成。为提高试验效率, 也考虑降低试验偏差, 提高试验结果的可靠性, 将两个相同的预埋件分别埋设在混凝土构件对称边(图1)依次加载。为避免锚板下缘混凝土的局部承压作用产生干扰, 所有埋件采用外贴式^[3]。

将锚筋层数、锚筋直径和锚板厚度作为变量, 试验分4组进行, 试件共21种、预埋件42个: 第一

作者简介: 贾洁, 女, 研究员, 1992年毕业于同济大学土木结构工程专业, 现就职于航空工业规划动力工程设计研究院。

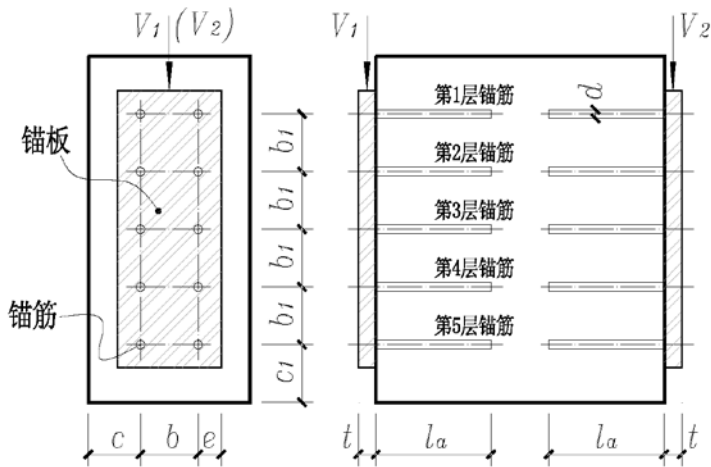


图1 试件简图

组和第二组考察锚筋层数的影响，两组锚筋直径分别为10mm、12mm，锚筋层数从2层依次增加至7层；第三组考察层数较多时不同直径锚筋预埋件的表现，锚筋层数为5层，锚筋直径分别为14mm、16mm、18mm、20mm；第四组考察锚板厚度对预埋件抗剪承载力的影响，锚筋直径为25、层数为3层，锚板厚度分别为6mm、10mm、16mm、20mm、25mm。

2.2 试验装置

采用200t反力架和千斤顶对试件进行加载，在试件顶面布置压梁，压梁采用双重螺帽与地面连接，可以限制试件的竖向位移。加载示意图如图2所示。在千斤顶端头布置有压力传感器，实时采集施加的荷载数值，位移计测量点与锚板顶面保持齐平（图3）。



图2 加载装置



图3 位移计布置

2.3 加载制度

荷载采用分级加载制度：在预计极限承载力的30%范围内，每级荷载为预计极限荷载的1/10，每加载完一级荷载后，采集一次数据，并对试件进行观察；当超过预计极限承载力的30%时，每级荷载

为预计极限荷载的1/20，并进行数据的连续采集。当锚筋被剪断、试件混凝土严重破坏、加载装置焊缝开裂破坏或其他导致试验无法继续的情况时终止加载。

3 试验过程及结果

荷载-位移曲线显示，试件加载初期表现为弹性变形；随着荷载的增加，出现弹塑性变形的趋势，最大变形达数毫米（图4），最终所有试件由于混凝土破坏、锚筋剪断或拔出、焊缝破坏等原因导致锚板脱落而终止加载（图5a~5c）。

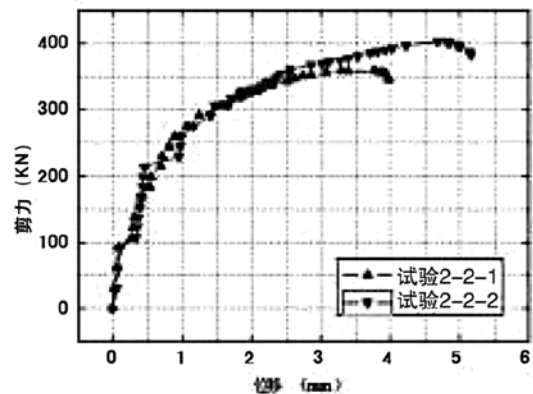


图4 典型的荷载-位移曲线



图5-a 锚筋下缘混凝土局部压碎



图5-b 锚筋剪断及焊缝破坏



图5-c 混凝土开裂及整体破坏



图5-d 锚板拉脱

试验过程中,在加载至60~200kN之间出现锚板与混凝土表面的轻微错动,表明此时锚板与混凝土之间的摩擦力退出工作。这部分荷载约占极限承载力的12~40%,锚筋直径较小时占比较大,除此之外没有明显规律,分析与混凝土浇筑质量有关。

锚筋为10mm、12mm时,其下缘混凝土局部压碎很轻微(图5-a);锚筋层数较多且 $d \leq 16\text{mm}$ 时,上层锚筋下缘的混凝土局部压碎程度要比下层严重。当所有锚筋下缘混凝土局部承压破坏后,锚筋失去支撑而被剪断。随着锚筋直径的加大,锚筋下缘混凝土局部压碎范围逐渐扩大并出现了锚筋之间混凝土开裂的现象,开裂及压碎进一步发展形成混凝土的整片破坏(图5-c)。由于大直径锚筋传递给混凝土的局部压力更大、预埋件下部混凝土的抗剪切破坏面更小,以及地面反力的挤压作用,形成整片破坏程度下部比上部严重的情况。

当锚板厚度过小不足以承受锚筋根部的拉力时,锚筋与锚板的焊缝处出现撕裂导致被拉脱(图5-d),又因剪力无法有效传递,上层锚筋受力大于下层锚筋,第1层层锚筋下混凝土压碎引起锚筋剪断后,再由第2层锚筋承受更大剪力,以此类推,最终所有锚筋下缘的混凝土压碎程度都很严重直至形成整片破坏。随着锚板厚度的增加,其强度足矣抵抗锚筋根部的拉力、其刚度也足矣将剪力由最上层传递至最下层,每根锚筋分配到的剪力相对较小,其下缘混凝土的局压破坏面积也较小。

4 承载力相关因素分析

分析工作将预埋件的承载力折算为单根锚筋进行:将试验而得的预埋件抗剪承载力极限值(同一试件取较小值)除以锚筋根数得出“试验值”,将按式(1)^[2]计算而得的单根锚筋预埋件抗剪承载力的极限值 V_u 成为“计算值”,对比工作在试验值与计算值之间展开。

$$V_u = 3.869(1.20 - 0.024d) \sqrt{\frac{f_{cu}}{f_u}} f_u A_s \quad (1)$$

式中: f_{cu} ——混凝土的立方体强度,取实测值 $f_{cu}=37.8\text{ N/mm}^2$;

F_u ——锚筋的抗拉强度,取实测值 $f_u=610\text{ N/mm}^2$;

d ——锚筋直径(mm);

A_s ——锚筋的截面面积(mm²)。

4.1 锚筋层数的影响

第一、二组试件的试验值、计算值与锚筋层数的关系如图6所示。图形显示多层锚筋预埋件的抗剪承载力并不随锚筋层数的增加而明显降低。

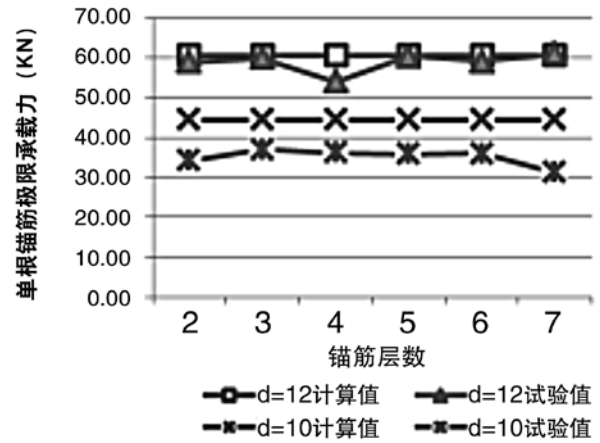


图6 锚筋层数与抗剪承载力的关系

同时可以看出,12锚筋预埋件试验值与计算值符合性良好(4层锚筋试验值偏低应为个案);但是10锚筋预埋件试验值普遍比计算值偏低15~30%。分析其原因有两点:一是在式(1)推导过程中,小直径锚筋预埋件的承载力拟合得偏高,二是小直径锚筋在试件制作过程中更易受扰动,降低了承载力。

4.2 锚筋直径的影响

将第三组试件(锚筋层数均为5层)及第一、二组中锚筋层数为5层的试件合并起来,分析锚筋层数相同而直径不同的锚筋预埋件的表现(图7)。

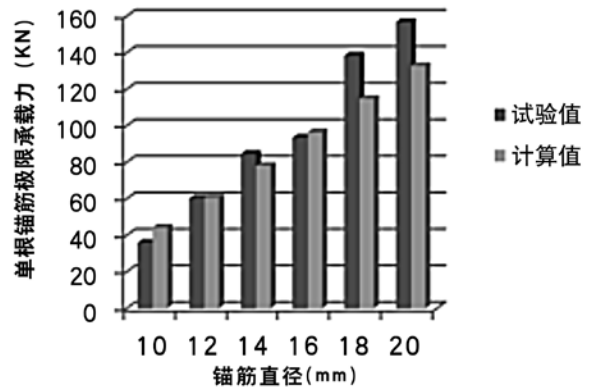


图7 锚筋直径与预埋件抗剪承载力的的关系

图中显示,除11外各种直径锚筋的预埋件,其承载力均未因层数多达5层而出现明显降低,相反,

当直径较大时, 试验值还比计算值有一些增加。

4.3 锚板厚度的影响

对于设有锚板的受剪预埋件, 锚板可以起到传递剪力并分配剪力的作用。锚板厚度越厚, 每根锚筋承受的剪力越接近平均分配, 锚筋下缘混凝土的局部压力也越接近(图8-a), 当达到局压承载力产生局部破坏后, 锚筋被剪断。锚板厚度越小, 由于锚板变形, 各个锚筋分配到的剪力随机性越大。如果上层锚筋受力大, 则上层锚筋下缘的混凝土破坏比较严重而下层相对轻微, 此时由于混凝土整体抗剪切破坏面积大, 钢筋被剪断时混凝土表面呈现出的破坏程度不太严重(图8-b); 而如果下层锚筋受力大, 下部混凝土抗剪切破坏面积小很多, 即使构件有很多箍筋, 预埋件下缘混凝土压碎程度依旧较严重, 随着底部混凝土丧失抵抗能力, 剪力移到上层锚筋处, 抗剪切破坏面也逐渐上移, 最终当混凝土的抗剪能力大于锚筋承载力时, 锚筋破坏导致加载结束。由于混凝土的破坏面逐渐上移, 混凝土整体压碎非常严重(图8-c)。



8-a $b_1/t=7$ 8-b $b_1/t=29.2$ 8-c $b_1/t=17.5$

图8 锚板厚度对试件破坏形态的影响

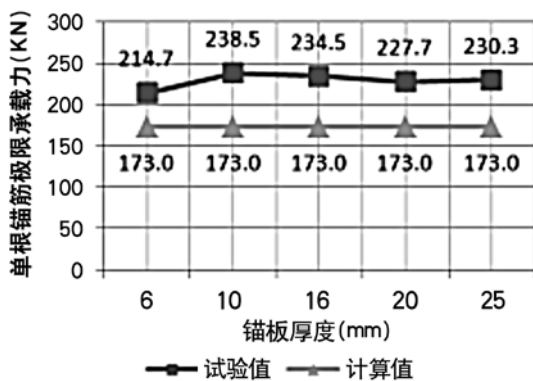


图9 锚板厚度与多层锚筋受剪预埋件承载力的关系

试验采用大直径锚筋考察锚板厚度的影响, 试件破坏时极限承载力由最上层锚筋带动的混凝土抗剪锥体的抗剪能力控制, 虽然试件的破坏程度差异

较大, 但极限承载力并无明显区别(图9)。

5 有限元分析

利用有限元程序ABAQUS进行深入分析。为确保分析结论的可靠性, 从第一、二、三组试件中各选择两个建立完全一致的模型。材料强度采用实测值, 模型假定包括: 混凝土本构采用塑性损伤模型, 钢材采用理想两折线的弹塑性模型, 混凝土、锚板采用实体单元C3D8R, 锚筋及构件的纵筋、箍筋均采用梁单元B31, 锚筋根部与锚板的连接采用Tie约束(图10)。锚板和混凝土的受力行为采用接触单元模拟——即两个表面之间的间隙变为零时, 在接触面之间能够传递接触压力, 其量值未作任何限制; 当接触面之间的接触压力变为零或负值时, 约束被移开; 接触单元的径向行为考虑摩擦系数取0.3。计算结果表明二者一致性良好(图11), 验证了计算假定的正确性, 奠定了后续分析的基础。

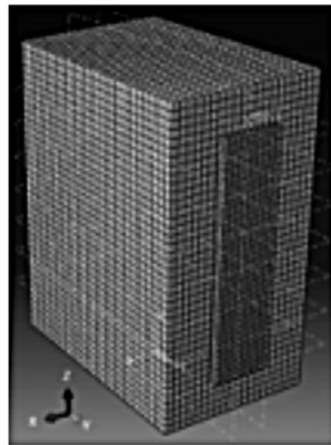


图10 有限元模型

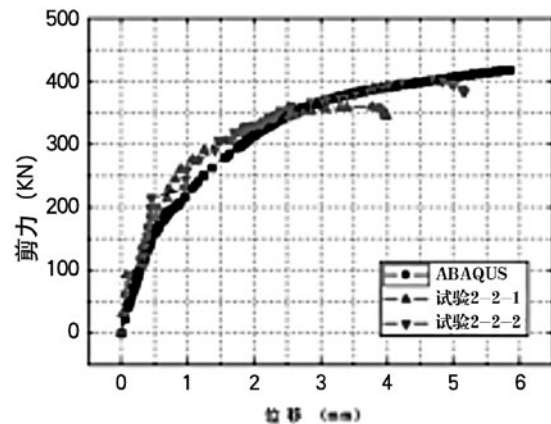


图11 有限元计算与试验对比

将式(1)进行可靠度分析并引入材料强度设计值,得出用于工程设计的式(2):

$$V \leq \alpha_r (4.0 - 0.08d) \sqrt{\frac{f_c}{f_y}} f_y A_s \quad (2)$$

式中: V ——预埋件抗剪承载力设计值 (kN);

α_r ——锚筋层数的影响系数,按单根锚筋进行对比,取 $\alpha_r=1.0$;

f_c ——混凝土抗压强度设计,按实测值取 $f_c=18.0 \text{ N/mm}^2$;

f_y ——锚筋的抗拉强度设计值,规范^[1]规定 f_y 不应大于 300 N/mm^2 。

式(2)计算的设计值约为式(1)极限值的1/2,从图10等试验的荷载-位移曲线可以看出,此时预埋件已进入弹塑性状态,偏安全地选取有限元计算结果的比例极限与式(2)计算结果进行对比。表1中 V' 值为有限元计算的比例极限值, V_1 和 V_2 为式(2)的计算结果,其中 V_1 为取 $f_y=300 \text{ N/mm}^2$ 的计算值、 V_2 为取实测 $f_y=406 \text{ N/mm}^2$ 的计算值。

表中可见,锚筋层数的增加并没有导致预埋件抗剪承载力的降低。通过有限元分析与规范计算的对比可知,当锚筋层数多于5层时,除个别模型外,采用锚筋实际强度计算的设计值与有限元分析的比例极限值更为接近,主要原因是本试验研究设置的构件边缘尺寸 c 、 c_1 及锚板厚度均比规范规定的最小值大,当锚筋层数更多时,混凝土的抗剪破坏面较大,使高强钢筋的强度发挥得更多。

6 结论

1) 试验结果及有限元分析均表明,锚筋层数与折算为单根锚筋的预埋件抗剪承载力之间并无显著的相关性,锚筋层数的增加并不会导致预埋件抗剪承载力的折减。

2) 锚筋层数增加后,确实会产生各个锚筋应力不均衡的情况,但不均衡的程度与锚板厚度有关,锚板越厚各锚筋分配到的剪力越接近平均,锚板越薄锚筋应力分配的随机性越明显,而这种随机性直接导致构件混凝土破坏形态可能发生显著区别,破坏程度也差别较大。

3) 多层锚筋的受剪预埋件,当采取较厚锚板或设置加载板、增加锚栓距混凝土边缘的距离以及设置足够的约束箍筋等措施后,其抗剪承载力可不乘折减系数。

4) 混凝土构件的边界尺寸增加至 $10d$ 后,高强钢筋作为锚筋的多层锚筋预埋件的抗剪承载力反而可以更充分地发挥其较高强度。但边界条件、锚板刚度、锚筋层数之间的量化关系尚需进一步研究。

参考文献

- [1] GB50010—2010混凝土结构设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [2] 殷芝霖,李玉温.钢筋混凝土结构中预埋件的设计方法(一)——受剪预埋件[J].工业建筑,1988,04.
- [3] 贾洁,王军.钢筋混凝土结构中受扭预埋件受力特点研究,全国第十四届混凝土结构基本理论及工程应用学术会议,2016.

预制拼装式体外预应力 混凝土风电塔架试验研究

■ 张曼生 张国军 葛家琪 王树 丛欧 [结构]

摘要: 本文通过对钢-混凝土组合塔架下端的45m高预应力混凝土风电塔架部分的1:3大比例缩尺实验模型进行受力性能试验,并进行精细化有限元分析,研究预应力混凝土分电塔架的工作性能。将数值模拟的宏观及微观结果与实验实测结果进行对比分析,确认了数值结果的有效性。模型试验表明,预应力混凝土塔筒段承载力储备充足,且上部钢塔筒先于混凝土塔筒段出现屈曲破坏避免了混凝土塔筒先于钢塔筒破坏。有限元模拟结果表明,混凝土塔架下部门洞区及塔架上部变截面区是整个混凝土塔架的薄弱环节,设计中需特别关注变截面区的加强。

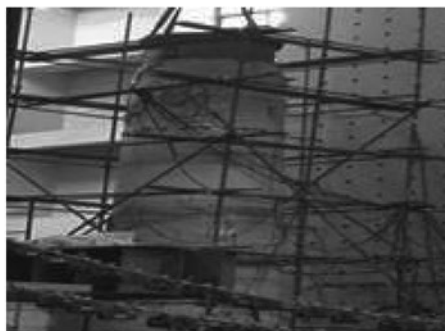
关键词: 体外预应力; 装配式混凝土塔筒; 模型试验

1 引言

欧洲作为世界风电发展的先导,领先我国3~5年时间开拓低风速风电市场地区,技术方案领先。超高抗拉强度的预应力钢筋与混凝土材料结合的预制装配式预应力混凝土组合塔架是当前世界最先进的解决高塔架设计的方案之一。

国内2004年出版的《风电场工程技术手册》宫靖远指出随着风力发电向单机大容量的发展,出现了钢筋混凝土塔架取代钢结构塔架的趋势。2012年《特种结构》杂志宋玉普认为钢-预应力混凝土塔架能够充分利用材料的性能优势,将得到广泛的应用。风电作为众所周知的绿色能源技术,在近年得到国家的大力推广应用,风力发电机预制混凝土预应力拼装式塔架是风电行业未来普遍的发展方向。

本文通过对45m高预应力混凝土风电塔架的1:3大比例缩尺实验模型进行精细化有限元分析,研究预应力混凝土分电塔架的工作性能。由于缩尺



a 预应力装配式混凝土-钢组合塔



b 预应力混凝土段缩尺试验模型

图1 混凝土塔顶位移对比

作者简介: 张曼生,男,高级工程师,2008年毕业于北京交通大学结构工程专业,现就职于航空工业规划文物保护技术中心。

实验在实验室只能监测塔筒关键部位的部分位置，不可能全面了解塔架的全面工作状态。因此将实验模型（包括所有塔筒钢筋）精细建模，并考虑各种材料的弹塑性性质，对实验模型进行弹塑性受力分析。将数值模拟的宏观及微观结果与实验实测结果进行对比分析，确认数值结果的有效性后，从数值结果中详细研究塔筒的细部工作性能。

2 缩尺塔架顶部位移

为了深入了解预应力混凝土塔架体系的承载力潜力，对缩尺塔架进行破坏极限荷载试验。实验中计划将加载荷载提高至设计荷载的2.5倍，实际加载到1.75倍后塔筒上部与过渡法兰连接的钢塔筒段发生屈曲失稳，混凝土塔筒此时未出现明显破坏。

由实验测得的预应力混凝土塔顶位移与由数值模拟得到的塔顶位移对比见图2。

由图中可见，当荷载加载到设计荷载时，数值模拟结果与实验测得的塔顶位移均为10mm，可见数值模型的整体刚度与实验模型相当，宏观变形结果可信。

实验荷载加载到1.75倍之前，混凝土塔顶位移

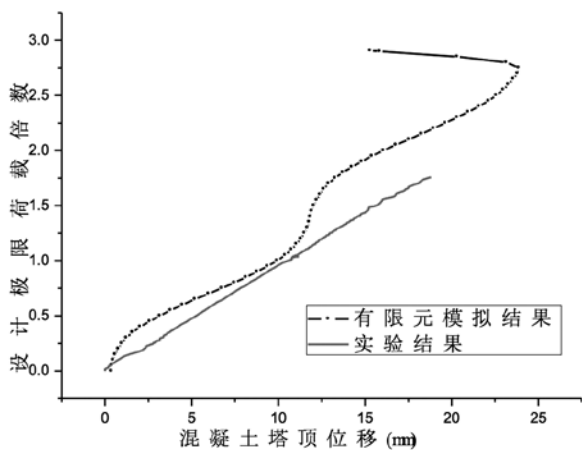
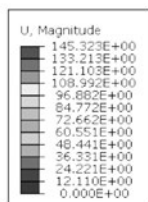


图2 混凝土塔顶位移对比



(a) 有限元计算钢筒屈服失稳



(b) 实验模型钢筒屈曲失稳

图3 钢段屈曲失稳形态对比

与塔顶加载荷载呈明显线性关系，可见在荷载到达1.75倍时，预应力混凝土塔筒部分仍处于整体弹性状态。有限元加载到2.7倍时塔顶位移出现回调，此时与混凝土塔筒顶部过渡法兰连接的钢筒出现屈曲失稳。有限元计算得出的荷载位移曲线中部出现一次波动的原因是采用动力算法对结果的影响。

对比有限元计算结果钢筒的失稳形态与实验中钢筒的失稳形态可见，二者在钢筒中的失稳位置不完全相同，虽然都发生在钢筒在塔架主弯矩的受压

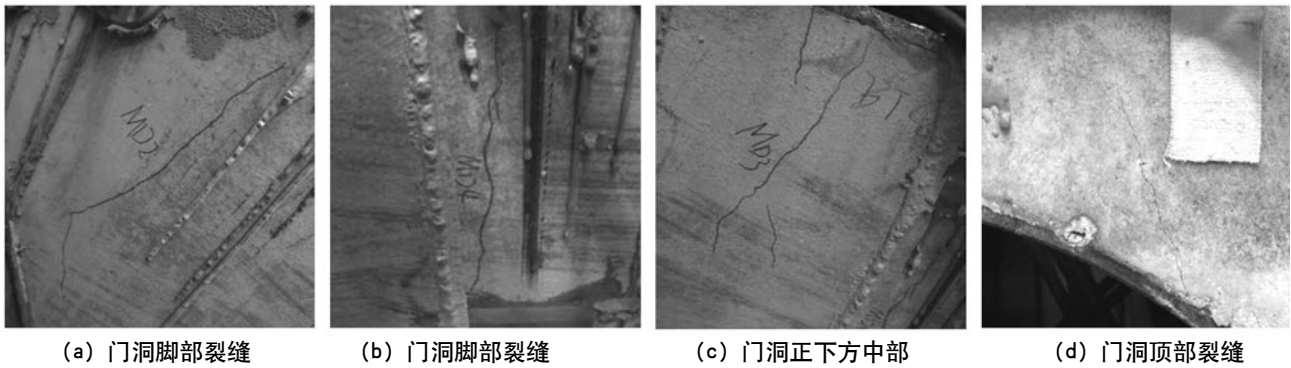


图4 门洞区混凝土裂缝

区,但有限结果中,钢筒在靠近过渡法兰的位置屈曲失稳,而试验中钢筒的失稳位置更加考上远离过渡法兰,但靠近钢筒上部与加载梁连接的法兰外加劲板根部。

分析造成差异的原因是有限元计算中未考虑钢筒上法兰外侧加劲板,但在实际试验中,由于钢筒上法兰随加载梁一起在弯矩荷载作用下发生转角位移,但由于法兰外侧加劲板增加了有加劲板部分钢筒的刚度,此段钢筒也随上法兰一起转动,同时加劲板尖端位置在钢筒上产生应力集中,进而导致钢筒在荷载仅达到1.75倍设计荷载时就产生屈曲失稳。当然实验中钢筒段屈曲荷载比有限元低还有一个原因是试验中钢筒段本身的圆度初始缺陷也有一定关系,有限元中钢筒段为完美正圆,并未考虑任何圆度误差。

无论是有限元计算还是模型试验都表明在上部钢筒段屈曲失稳时,下部预应力混凝土塔筒段均未出现明显的整体屈服特征,即预应力混凝土塔筒在当时荷载作用下仍未到达承载力极限。由此可以

明确判断预应力混凝土塔筒的承载力裕度充足。

3 塔架混凝土应力

混凝土塔架门洞区是整个塔架的典型截面削弱位置,塔顶变截面区域以及塔顶预应力锚固区是整个塔架受力最为复杂和关键的位置,应力流线在以上这些位置都会产生方向改变,导致这些区域出现应力集中,在极限工况下其工作状态及破坏模式都直接影响到整个塔架的极限承载能力。

3.1 关键部位混凝土开裂情况

极限荷载加载过程中监测到的塔筒门洞底部、门洞顶部、塔架顶部变截面位置混凝土均出现不同程度的开裂,但裂缝均较小,以竖向裂缝为主:

门洞区混凝土在塔筒荷载超过设计值后,洞口正下方受拉区塑性应变继续扩大并开裂。实验中门洞区未出现混凝土压碎剥离现象,可见门洞区混凝土的在最大实验荷载作用下仍工作在混凝土的承载极限之内。但门洞脚部及顶部都出现不同程度的裂

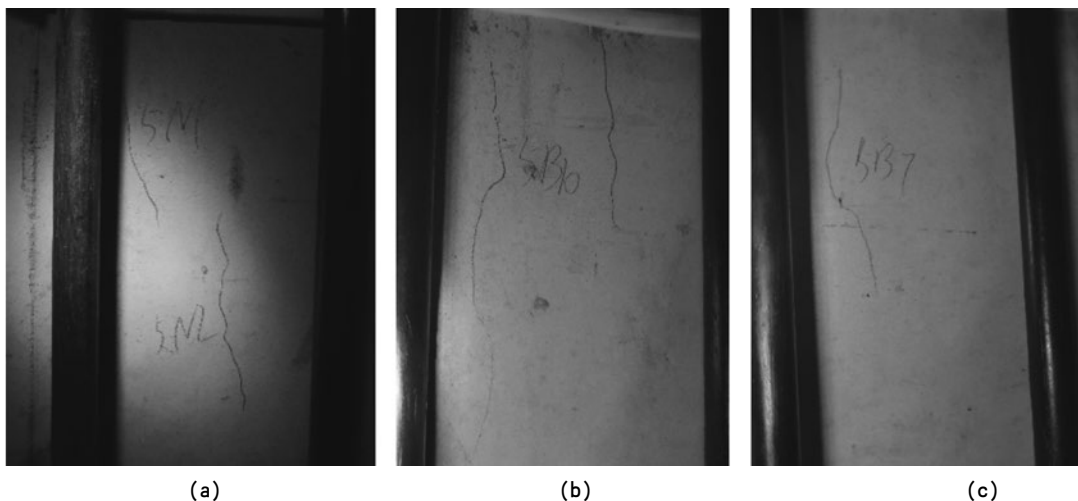


图5 变截面位置塔筒内壁裂缝

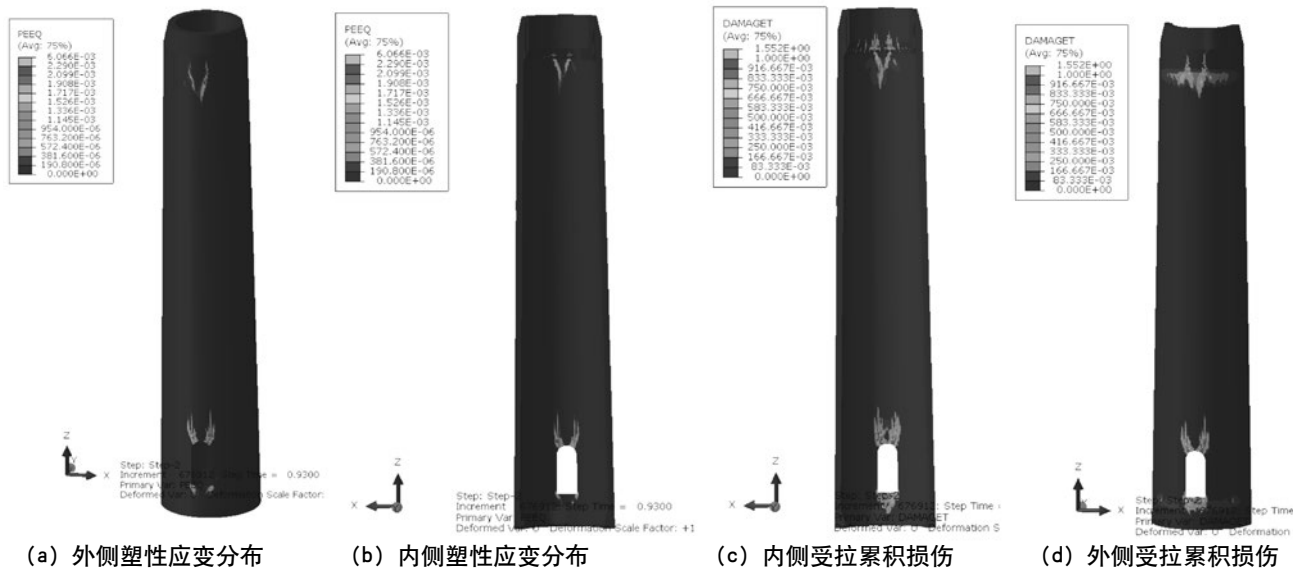


图6 混凝土塔筒塑性应变及受拉累积损伤

缝，裂缝开展方向均为竖向，可见混凝土主要是水平方向内的拉应力较大。

与门洞区类似，此时监测到的混凝土环向水平应变按弹性规则得到的混凝土应力已答复超出混凝土的抗拉强度标准值。可见此时此位置的混凝土塑性应变较大，并已开裂。

由裂缝图可见，在变截面附件位置塔筒混凝土的裂缝开展方向为竖向，与监测到的混凝土水平向受拉一致，但裂缝分布不多。

3.2 有限元模拟结果

由上图中的塑性应变计受拉累积损伤分布可见，受拉损伤的分布与缩尺实验中混凝土的裂缝分布位置一致。门洞区主要分布在门洞下方暗梁上，门洞顶部则分布在圆心射线45°方向上。由此可见整个混凝土塔架的薄弱部位为下部门洞和顶部变截面区域。

4 塔架普通钢筋应力

预应力混凝土塔架内配置了大量普通钢筋，由于风电塔架有较高的疲劳性能要求，钢筋与混凝土共同工作时：

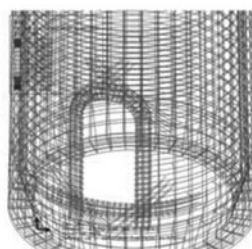
由钢筋塑性应变可见，在破坏极限状态只有门洞顶部局部以及变截面位置的环形钢筋产生了塑性应变。绝大部分钢筋在上部钢筒发生屈曲失稳时，仍工作在弹性阶段。

4.1 门洞周边钢筋应力

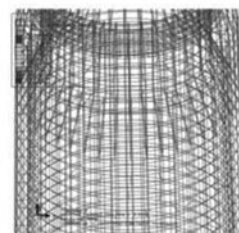
门洞周边钢筋在塔架设计荷载作用下有限元分



(a) 破坏极限钢筋塑性应变分布



(b) 破坏极限钢筋塑性应变分布



(c) 破坏极限钢筋塑性应变分布

图7 破坏极限状态的钢筋塑性应变

析得到的钢筋应力分布情况如下：

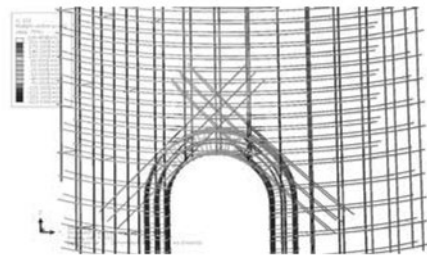
在有限元模型中提取与实验中钢筋应力测点对应位置的钢筋应力与实验结果对比如下表。

由钢筋应力对比表可见，实验测得的钢筋应力与有限元计算结果相差不大，在门洞脚部位置应力相差较多，此位置是应力集中非常明显的地方，钢筋混凝土的工作情况复杂。其他位置的应力均比较接近，可以认为有限元结果较为可信。

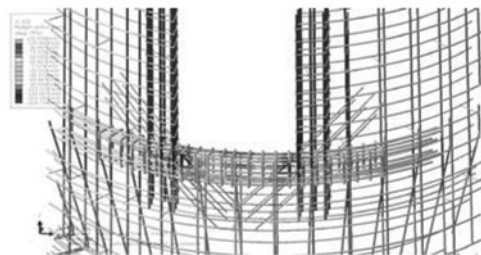
从有限元钢筋应力结果可见门洞底部暗梁钢筋均处于受拉状态，但应力水平不高，最大拉应力为120Mpa。钢筋拉应力较大的位置就是混凝土塑性应变开展部位，由于有限元模型中钢筋与混凝土完全变形协调，没有考虑钢筋的粘结滑移问题，因此计

表 门洞周边钢筋应力对比

测点说明	单位	实验测得结果	有限元结果
门洞下1号H筋0° 右210mm外侧应力	MPa	1.99	31
门洞下2号H筋0° 右210mm外侧应力	MPa	42.35	42
门洞下2号H筋0° 右420mm内侧应力	MPa	24.09	26
门洞下3号H筋0° 右210mm内侧应力	MPa	45.66	60
门洞下3号H筋0° 右420mm外侧应力	MPa	33.73	26
门洞下3号H筋0° 右420mm内侧应力	MPa	37.17	23



(a) 门洞上部钢筋应力

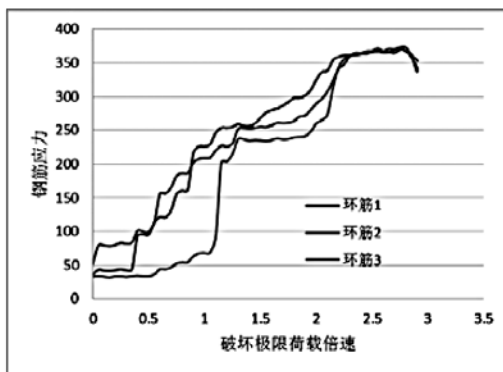


(b) 门洞下部钢筋应力

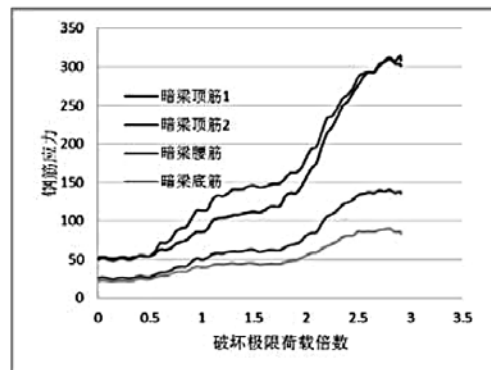
图8 设计荷载作用下门洞周边钢筋应力图

算所得钢筋应力与实验实测钢筋应力不完全一致。
 门洞两侧暗柱的钢筋受压钢筋应力较大，均只在130MPa左右，小于钢筋设计强度。暗柱内竖

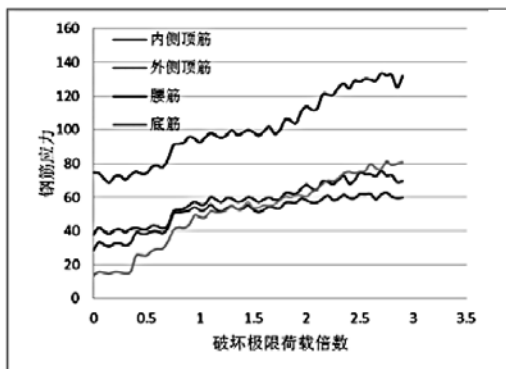
向主筋承受的竖向压力换算成暗柱混凝土压应力为6MPa，即暗柱内配筋将相应暗柱混凝土压应力降低了6MPa，有效对门洞两侧混凝土的竖向抗压能



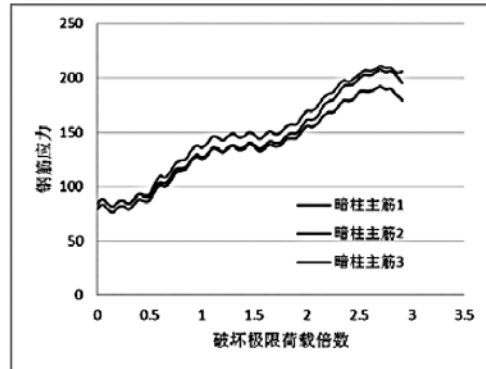
(a) 门洞顶环筋应力



(b) 门洞底部暗梁钢筋



(c) 门洞底部暗梁中部钢筋



(d) 门洞侧面暗柱钢筋

图9 门洞周边钢筋应力

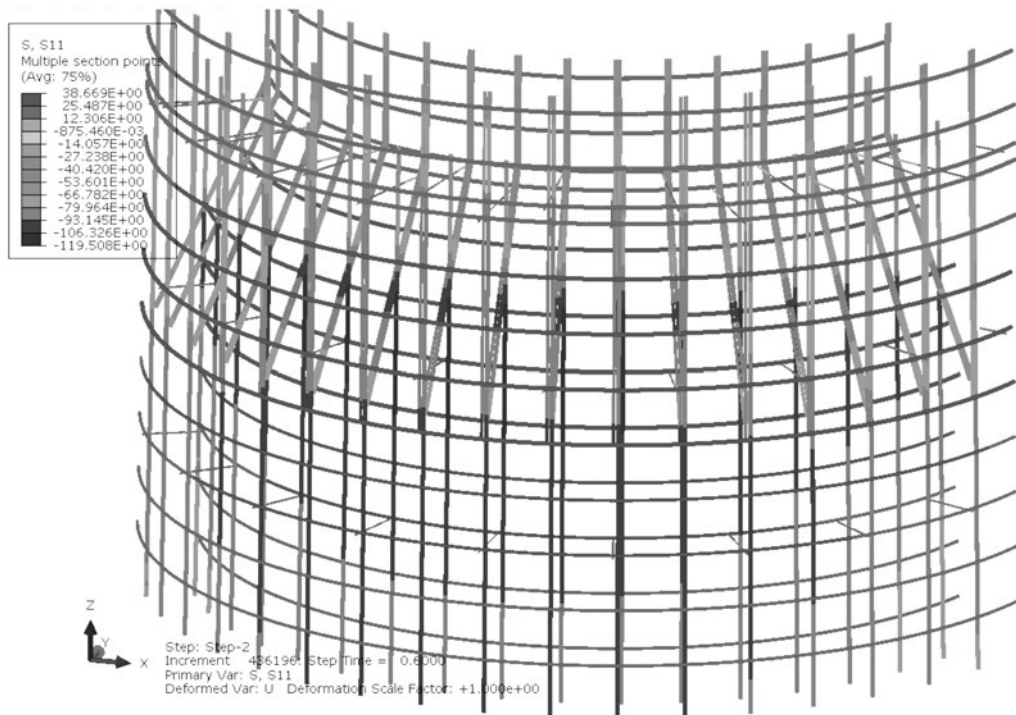


图10 变截面位置设计荷载作用下钢筋应力

力进行了加强。同时由于钢筋应力远小于设计强度，可以判断此时门洞顶部混凝土塑性区及门洞底部混凝土塑性区都处于带裂缝工作的弹性阶段。

门洞区域受力最大的钢筋位置在整个加载过程中应力变化曲线图如下：

门洞顶部进入塑性的环筋在加载到设计荷载2.2倍左右时，钢筋应力就已经到设计抗拉强度，由此可见门洞顶部混凝土开裂区混凝土的在塔筒荷载到2.2倍设计荷载时，达到承载能力极限。顶部环筋3的应力历程表明在塔顶荷载达到设计荷载1.1倍左右时，相应部位混凝土开始出现开裂，并导致此钢筋的应力陡然上升。

门洞下暗梁钢筋除门洞角部位置钢筋应力较高，达到300Mpa左右，其他位置的应力均低于150Mpa。可见门洞暗梁主要受力区在门洞角部，门洞正下方虽然竖向预应力张拉后的初期应力较高，但塔架设计荷载的作用下应力增长较缓慢，表明目前配筋量充足。

门洞侧面暗柱在竖向预应力张拉完成后预应力初始值就到达100Mpa左右，当塔筒荷载增加到设计荷载的2.7倍时，主筋应力增加了100Mpa，到达200Mpa左右，但仍小于钢筋的抗压强度设计值，

表明配筋量充足。

4.2 塔顶变截面位置钢筋应力

塔架顶部变截面位置混凝土在极限荷载作用下也出现了明显的裂缝，同时有限元分析结果也表明此位置混凝土出行明显的塑性损伤，因此这个部位的钢筋的工作情况直接关系到此部位混凝土结构的承载能力。此部位钢筋在设计荷载作用下的应力分布情况见下图：

由钢筋应力图可见，变截面位置环向钢筋均为受拉状态，且越靠近变截面位置环形钢筋的拉应力越高，但拉应力绝对值不大，最大拉应力仅为38MPa。竖向钢筋的压应力较大，最大应力达到119MPa，但仍远小于钢筋的设计强度。

综合前述变截面位置的混凝土环向拉应力分析可知，此部位的钢筋混凝土整体工作状态还处于整体弹性的工作性能区间内。但为防止塔架在反复的主弯矩方向改变下产生塑性应变不断扩展的问题，应设置环形预应力控制此部位产生的环形拉应力。

变截面区域的环形钢筋在结构受力初期应力很小，随着荷载不断增加，应力缓慢增长，当荷载达到设计荷载2.4倍时，环形钢筋的应力突然大幅度增加，直至钢筋受拉设计强度，发生钢筋屈服。相

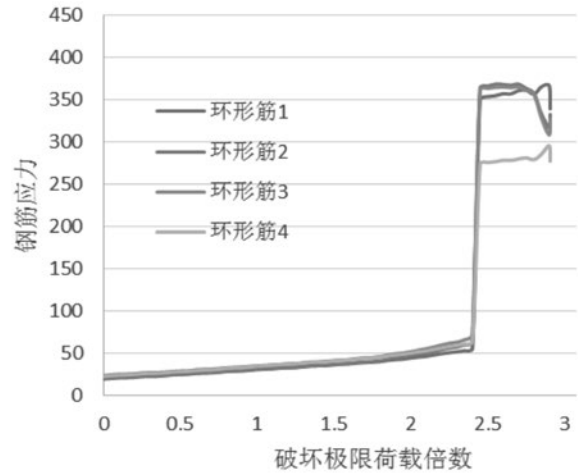
近位置的纵向钢筋在此时也同时出现了钢筋应力的跳涨情况,但应力增长幅度相比环形钢筋小;且与环形钢筋屈服点距离越远的纵向钢筋应力跳涨情况越不明显。

结合混凝土塑性应变分布综合分析可见,此处环向钢筋应力突然暴涨的情况源于,混凝土塑性应变突然大幅增加。可以理解为在外荷载加载到设计值的2.4倍左右时,变截面位置的混凝土在环形拉应力的作用下,突然发生了开裂,导致沿变截面区域环形分布的混凝土主拉应力直接向开裂部位集中,导致混凝土开裂位置的环形钢筋应力直接增长到抗拉强度设计值,发生钢筋屈服。由于环形钢筋在混凝土开裂后直接屈服,导致混凝土在此位置失去环形钢筋的套箍作用,进而使开裂区混凝土竖向抗压承载力降低,压力荷载转移到纵向钢筋上,导致纵向钢筋应力也出现突然增加的现象。

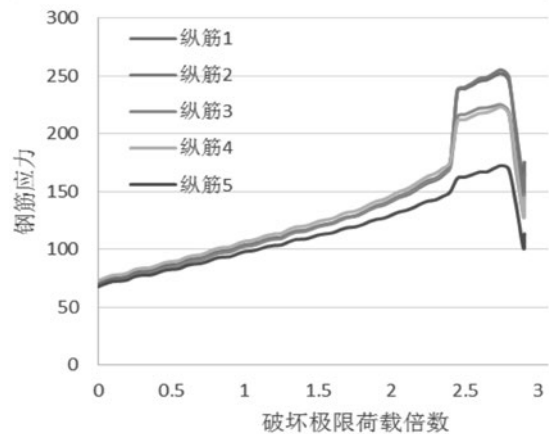
根据以上分析可见,变截面位置的混凝土竖向开裂后,发展迅速,属于脆性破坏,使原本受力很小的环形钢筋突然屈服。因此应增加变截面位置的环向钢筋配筋率,防止突然出现的裂缝直接将环形钢筋拉断,造成混凝土塔筒在变截面位置发生脆性破坏。

4.3 预应力锚固区钢筋应力

分析由钢筋应力可见,与混凝土的主拉应力分布特征相似,顶部布置的各层加强钢筋网中沿径向分布的钢筋中拉应力达到33MPa,而顶部的环形钢筋反而承受压力,或极小的拉力,由顶部受压特征



(a) 变截面位置环筋应力



(b) 变截面位置纵筋应力

图11 变截面位置钢筋应力

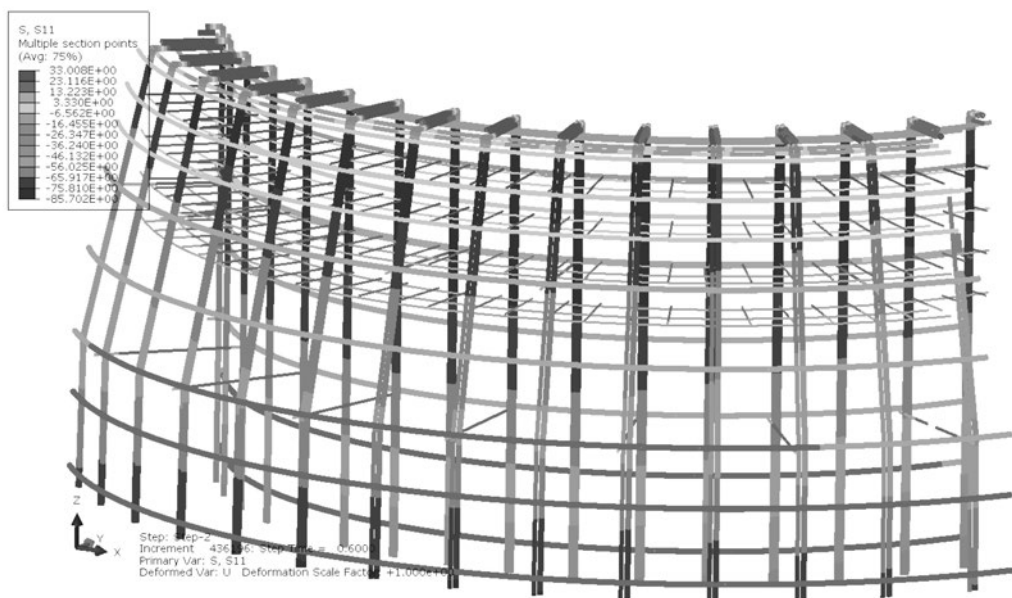


图12 预应力锚固区钢筋应力分布

沿竖向向下逐步转化为受拉，越靠近塔筒顶部环形钢筋受压越大，最大压力在12MPa左右。

竖向钢筋中的压应力在塔筒顶部附近最大达到85MPa，沿竖向向下随着混凝土截面厚度增加而逐步减小至50MPa左右。

由钢筋的应力分布特征可见，顶部配置的局部受压加强钢筋网起到了明显的帮助混凝土抵抗拉应力的作用，有效地加强了混凝土在此部位的防劈裂性能。综合分析混凝土在此区域的应力、应变及钢筋应力数值，可见此部位的混凝土在设计荷载作用下处于整体弹性的工作性能区间内。

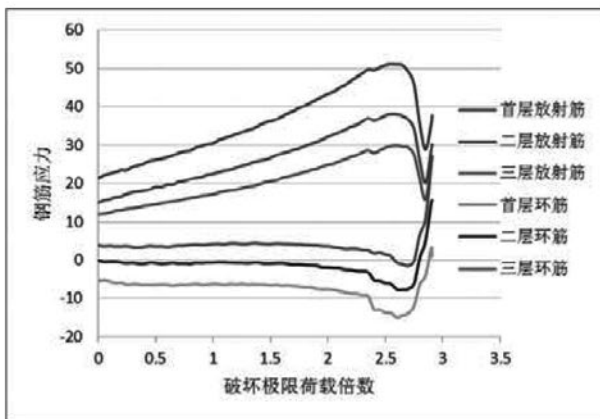
预应力束锚固区加强钢筋网中，与预应力锚固区混凝土主拉应力方向一致的放射钢筋主要承受拉力，其中越靠近混凝土顶面的上层放射筋受拉越大，下层放射筋随着与混凝土顶面距离的增加所承受的拉力逐级减小。随着塔架荷载的增加，放射钢筋的应力由10~20MPa最大增加到50MPa左右，钢

筋应力远小于设计抗拉强度。

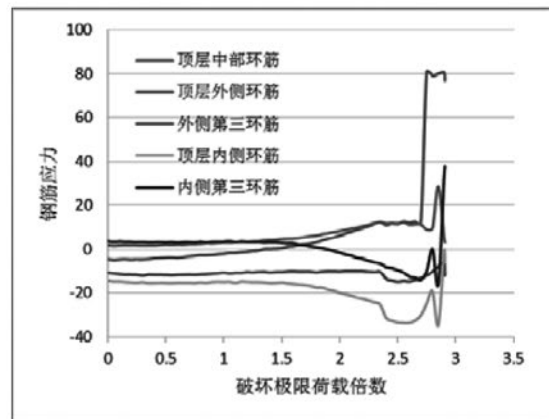
加强钢筋网中各层环向钢筋的应力均很小，且顶层网中环筋承受压力，以下各层环筋逐步转变为拉力，但不论受拉还是受压，应力绝对值都非常小。且环筋对塔架整体荷载的增加响应也不明显，随着塔架荷载增加环筋中应力仅有微小增加。混凝土塔筒内外两侧以及顶面的环筋受力特征与加强钢筋网中环筋类似，在塔架荷载增加过程中，内外侧环筋中的应力一直保持在正负20MPa之内。

结合混凝土塔筒的损伤指数可见锚固区的最大损伤指数仅为0.1左右，故锚固区加强钢筋网有效加强了锚固区混凝土的承载能力。

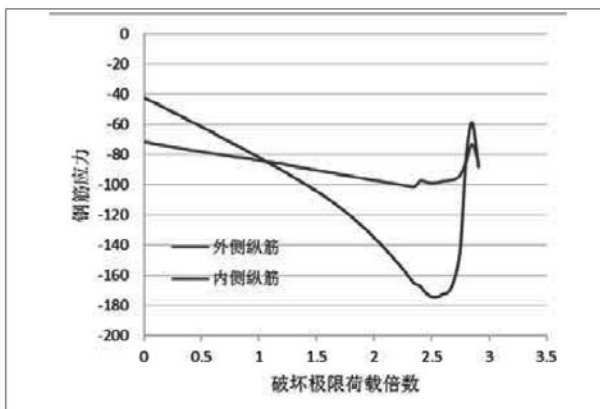
混凝土塔筒顶面主弯矩压力作用区中，纵筋压应力随塔架荷载增加不断增大，且外侧纵筋增加幅度明显，而内侧纵筋压应力仅有少量增加。外侧纵筋最大压应力达到170MPa左右，小于钢筋抗压设计强度，强度储备充足。主弯矩拉力作用区域内的



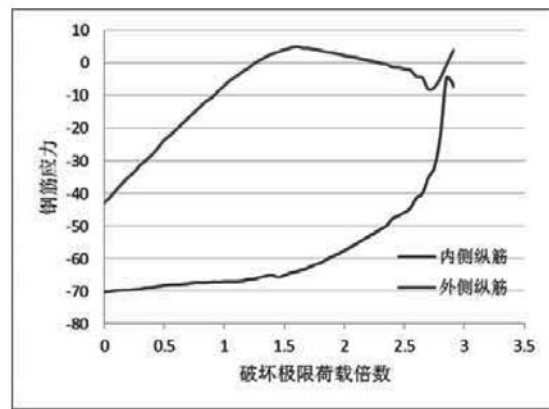
(a) 加强钢筋网应力



(b) 内外环形钢筋应力



(c) 弯矩压力区纵向钢筋应力



(c) 弯矩拉力区纵向钢筋应力

图13 预应力锚固区钢筋应力

主筋压应力随着塔架荷载的增加而不断减小,直至完全卸载。原因是纵筋中初始压应力是由竖向预应力引起的,随着塔架荷载的增加,过渡法兰将弯矩拉力作用直接传导至预应力束,致使预应力束中预应力由对混凝土产生预压作用转移到克服主弯矩的拉力作用,造成混凝土承受的预压卸载。拉区纵筋中外侧纵筋卸载很快,1.5倍设计荷载时基本已完全卸载,内侧纵筋卸载较慢。原因是卸载初期,过渡法兰外边缘在塔架主弯矩与预应力束共同作用下首先掀起,与混凝土顶面脱离,造成外侧纵筋首先卸载。过渡法兰内边缘在预应力的作用下一直保持原来的预压状态,因此内侧纵筋卸载缓慢。

5 预应力束应力

在破坏极限荷载加载过程中,预应力束应力变化平稳,塔筒截面中性轴位置的预应力束在整个加载过程中应力基本保持不变,塔架主弯矩的拉力区与中性轴距离最远的预应力束在荷载增加到2.5倍设计值时应力达到1351Mpa,应力值已超过钢绞线设计抗拉强度,比正常设计荷载作用下的应力值1303Mpa增长了48Mpa。主弯矩受压区预应力束在塔架荷载增加到2.5倍设计值时应力逐步降低到1203Mpa,比正常设计荷载作用下的应力值1250Mpa降低了47Mpa。

当上部刚塔筒段在2.7倍设计荷载作用时,受拉区预应力束应力突然增加到1860Mpa,即预应力束的应力达到抗拉强度标准值,此时可能出现钢绞线突然断裂。因此当塔架荷载无限增加,可能在2.7倍设计荷载时出现塔架预应力系统突然失效的状态。

6 小结

根据所做的夹片锚具体系常幅疲劳试验,预制拼装预应力混凝土塔架缩尺模型试验,以及相应的试验模型数值模拟试验可以得出如下结论:

(1) 破坏极限加载试验表明,预应力混凝土塔筒段承载力储备充足,且上部刚塔筒先于混凝土塔筒段出现屈曲破坏的特征表明,预应力混凝土与钢塔混合塔架中,混凝土塔筒与钢塔的承载力比例设置合理,避免了混凝土塔筒先于刚塔筒破坏。

(2) 破坏极限加载试验中各关键位置的应力监测结果及试验塔架的有限模拟结果表明,混凝土塔

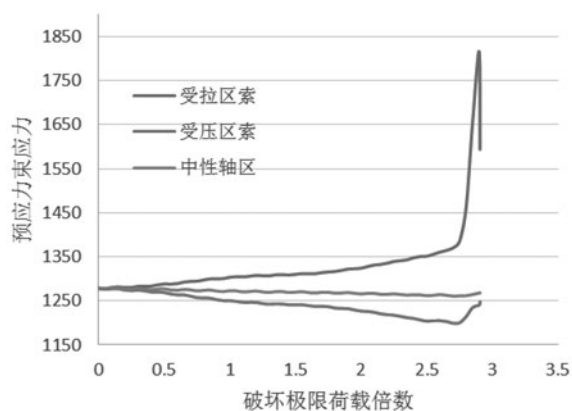


图14 预应力束应力

架下部门洞区及塔架上部变截面区是整个混凝土塔架的薄弱环节。下部门洞区薄弱会在塔筒整体破坏前产生局部破坏,但仅限于局部,扩张性有限。塔架上部的变截面区在塔架荷载足够大时可能出现突然开裂且发展迅速的竖向裂缝,此裂缝由于发展迅速,可以影响整体塔架承载力。因此设计中需特别关注变截面区的加强。

基于CFD的压气机试验器进气系统设计及气动性能研究

■ 刘其琛 王静 [动力]

摘要: 本文对压气机试验器进气系统进行了概况介绍,并对100kg/s流量的压气机试验器进气系统进行了详细设计,利用CFD方法验证了该进气系统可满足试验需求,同时验证了该进气系统设计方法的可行性和可靠性。

关键词: CFD; 压气机试验器; 进气系统; 气动性能

1 研究背景

随着航空技术及武器装备发展的需求,对航空发动机的发展提出了更高的要求,出现了更大幅度的飞跃阶段^[1]。在航空发动机性能不断提高的同时,也对航空发动机整机和部件试验器性能提出了更为严格的要求。压气机是航空发动机核心机的三大部件之一,其性能的提高一直以来备受科研工作者的关注,其中试验研究依靠其真实可靠性,在气动性能研究上具有不可替代的地位,因此众多学者对压气机试验器系统进行了详细研究^[2-4]。通过试验测试,不仅可获得压气机内部具体的流动物理情况,还可验证所设计的压气机的性能^[5]。压气机试验器主要为压气机试验件提供气动热力环境和转动动力,此外还有相应辅助功能,如静叶调节、引气密封等。测试压气机时,试验平台以不同的速度和相应的功率驱动试验件,以得到其等转速性能,并研

究叶片排内和多级叶片排间的物理现象。行业标准HB7115《压气机气动性能试验》对压气机试验设备、测试方法、测量精度提出了具体要求^[6]。

随着计算流体力学(CFD)的发展,CFD方法已逐渐成为航空试验设备性能评估的重要手段。本文以相应行业标准为设计依据,对100kg/s流量压气机试验器进气系统进行了详细设计,在试验厂房长度受限的情况下,通过CFD方法对进气系统进行了反复优化,最终确定了进气系统的各阶段形式和相应尺寸参数。

2 进气系统总体介绍

压气机试验器主要由进气系统、试验段、排气系统、驱动系统及电气测控系统等部分组成,压气机试验器立面图如图1所示。其中进气系统的作用主要是为压气机试验器提供满足试验要求的高品质来流,进气系统的组成主要包括进气消音塔、进气过滤装置、进气消音装置、整流网、流量管、扩压

作者简介:刘其琛,男,助理工程师,2017年毕业于北京航空航天大学飞行器设计专业,现就职于中航工程集成设备有限公司。

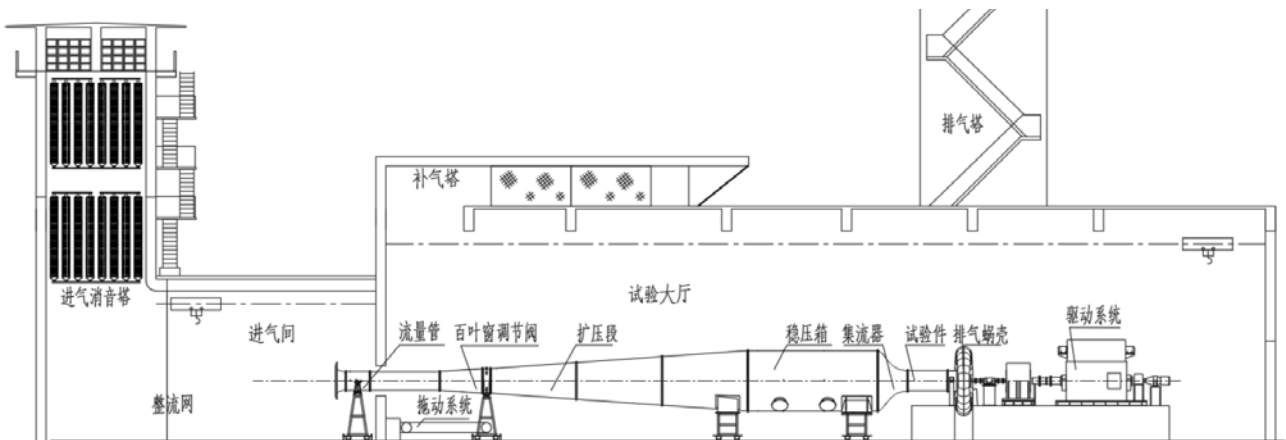


图1 进气间和进气系统立面图

段、进气节气门、稳压箱、集流器、支架、拖动装置等。进气系统设计中进排气塔、流量管、扩压段、进气节气门、稳压段等对气动设计影响很大，本文后续将一一阐述。

3 进气系统数值分析

3.1 数值方法

数值计算采用商用软件ICEM对流域进行网格划分，除进气节气门外均采用结构化网格，同时为了能够更加准确的获得进气系统内部流场流动结构，在内流场中对进气系统网格进行了适当加密处理，整体网格数量为620万，图2给出了进气系统稳压箱和集流器段网格示意图。

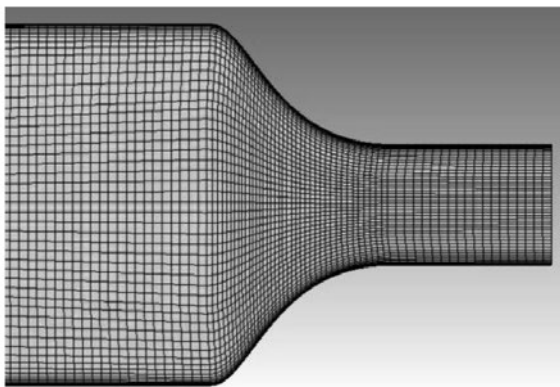


图2 数值计算网格

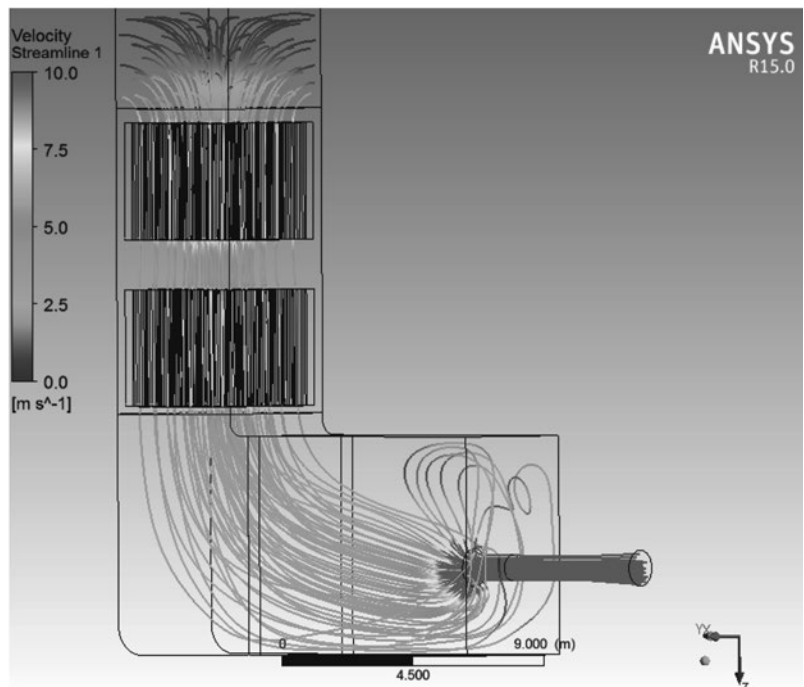


图3 进气塔和进气间流线图

运用FLUENT软件对进气系统流场进行三维数值模拟，无粘对流通量采用基于MUSCL插值的Roe格式进行离散，粘性通量采用二阶中心差分格式进行离散，时间推进采用点隐式方法。湍流模型采用 $k-\varepsilon$ 模型，分子粘性系数采用Sutherland公式计算。计算采用压力进出口及无滑移绝热固壁边界条件，其中进口总压为当地大气压88kPa，计算过程中通过调节出口压力使流量达到100kg/s，阻尼网和蜂窝器采用多孔介质模拟。

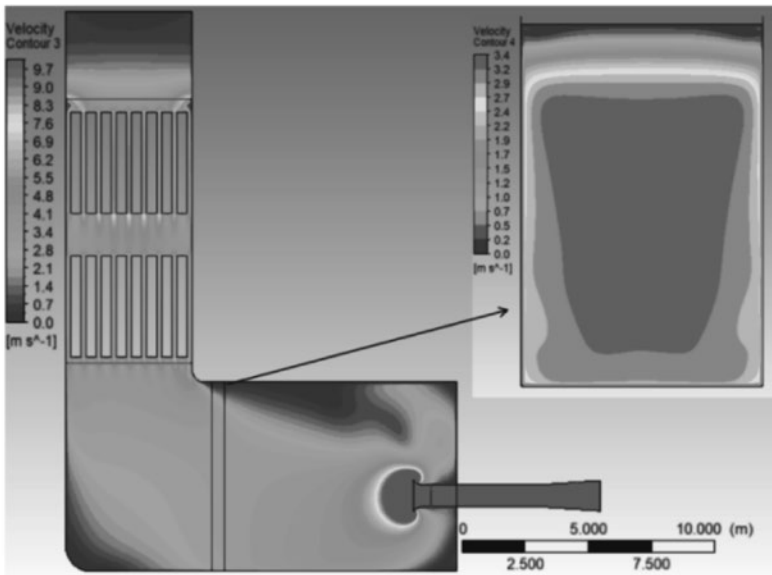


图4 进气塔和进气间速度云图

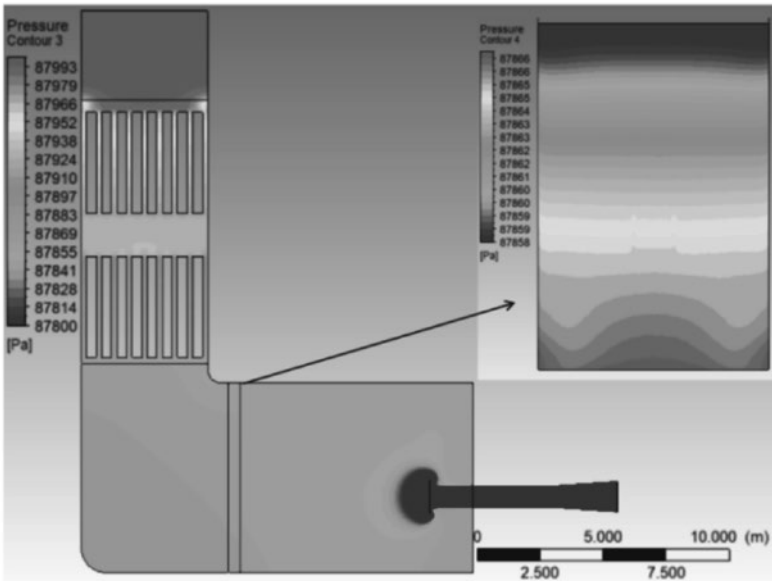


图5 进气塔和进气间压力云图

3.2 进气塔及进气间

为全面了解进气塔和进气间流场情况,对进气塔、进气间流场进行数值仿真,整流网距离流量管进口8m,保证大于最大流量管的8倍喉部直径。

计算流线图、速度云图、压力云图如图3~5所示。

从进气系统的整体流线图可以看出,流入进气塔的气流多集中于进气间中下部,当气流向下游流动,大部分气流进入流量管,小部分气流遇到进气间壁面后,向上折返后流入流量管。

从速度和压力云图可以看出,气流由外界进

入进气塔内,经过垂直阵列消音装置,速度增加并产生一定压力损失,在垂直消音装置出口处,由于流动通道突然扩张,产生了一定分离区,但该分离区面积很小,未对气流产生影响。随后气流由原垂直方向流动变为水平方向流动。气流在进气间内速度分布均匀。

由于HB7115《压气机气动性能试验》未对进气塔和进气间流场品质提出明确要求,目前行业内通常是采用GB50454《航空发动机试车台规范》^[7]对发动机整机试车台进气塔和进气间提出的气动性能要求作为压气机试验器的设计参考依据。GB50454标准要求与计算结果对比参数表1所示。

通过分析可知,进气间平均流速3.02m/s,进气间总压降为332Pa。矩阵消音间气流平均流速7.1m/s,以上指标均满足GB50454《航空发动机试车台规范》要求。

3.3 流量管

在敞开式进气压气机试验器上,多数情况是在试验器进口位置安装双扭线型面流量管来测量被试压气机的物理流量参数^[8]。通过在特征截面测量总压和静压参数来计算流量,为保证测量精度,一般将管内气流马赫数控制在0.2~0.6之间。

本试验器试验工况的进气流量范围为10~100kg/s,经计算3套流量管可满足测量要求,其中DN900流量管仿真结果如图6所示。

通过数值仿真,从测量截面的静压、速度分布云图可以看到,流量管测量截面静压速度分布比较

均匀,根据公式 $\bar{D}_p = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P^* - P}$ 得到静压不均匀度为0.963%,满足HB7115标准静压不均匀度不大于1%要求。

3.4 扩压段

为防止气流在扩压段内产生漩涡和回流,依照HB7115要求,进气节流装置前后的扩压段当量扩张全角均为8°。前段扩压段进口直径为900mm,百

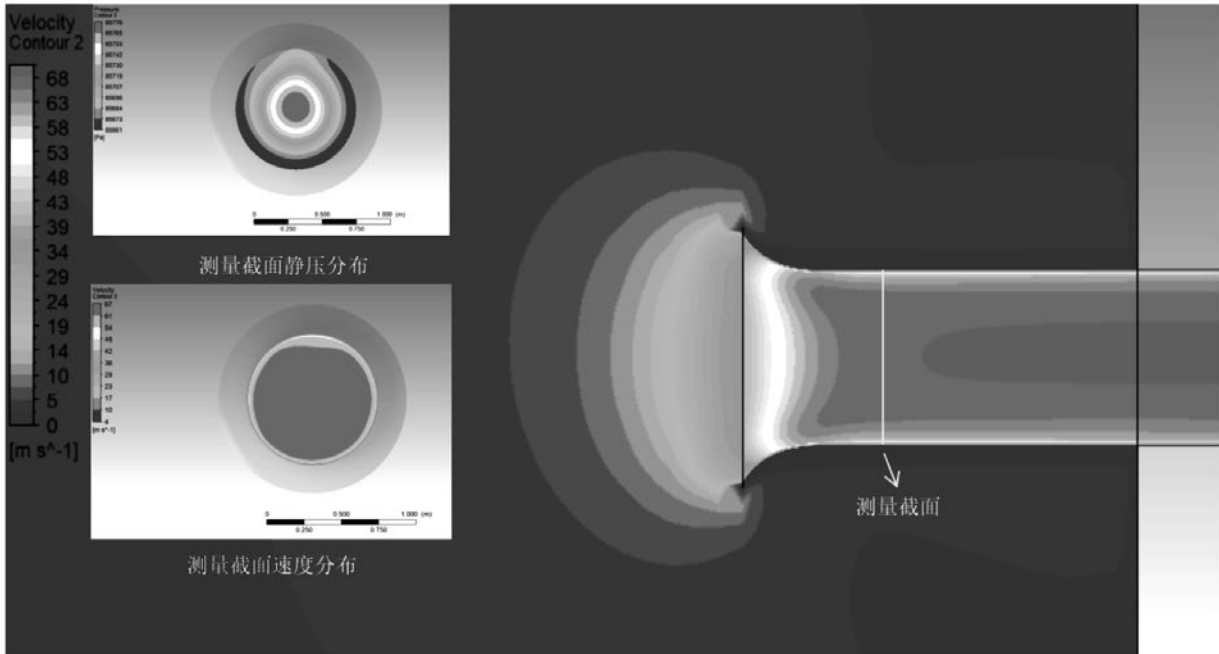


图6 DN900流量管速度云图

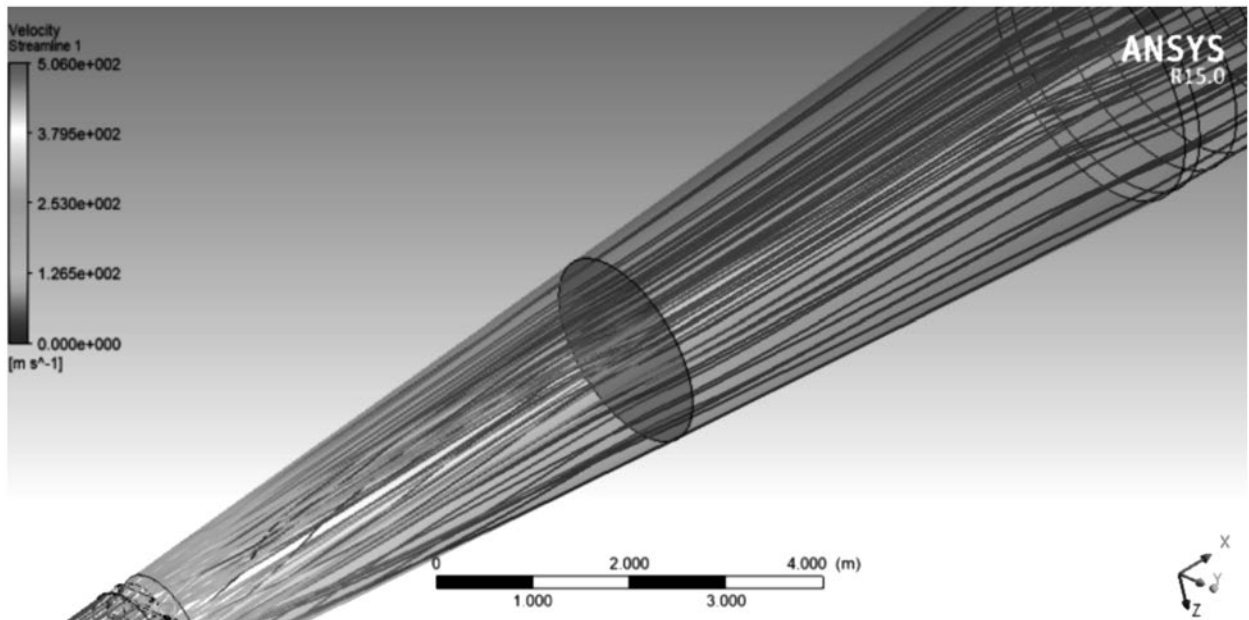


图7 扩压段内气流流动情况

表1 进气塔和进气管计算结果与标准要求对比

	GB50454要求	计算结果	结论
进气管压力	试车间进气压力降不大于500Pa	进气压力降为332Pa	满足要求
进气消声装置流速	进气消声装置内空气平均流速不大于20m/s	进气消声装置内空气平均流速为7m/s	满足要求

叶窗阀直径为1200mm。后段扩压段进口直径为1200mm，稳压箱直径为3000mm。为使扩压段出口气流更加均匀，在后段扩压段内设置一层阻尼网，能够有效减少分离，得到满意的流场品质，仿真结果如图7所示。通过仿结果可以看到，在扩压段内没有流动分离和漩涡产生，流场品质较高。

3.5 进气节气门

进气节气门即百叶窗式调节阀是蝶阀的一种，相比于传统蝶阀，百叶窗式调节阀具有多流动通道的特点，因此较之于传统蝶阀，百叶窗调节阀对阀后流场的均匀性影响更小。

本文对所设计的DN1200百叶窗式调节阀 30° 、 45° 、 60° 、 90° （全开）情况进行建模和分析。以 60° 开度为例，流线和中间截面速度如图8~9所示。

从流线和中间截面速度分布可以看到，由于百叶窗式调节阀流道对称，因此在任意开度下，流线和速度云图均对称分布，仅在中间阀板位置有一对对称分布、面积较小的低速区，未对后方流场造成较大影响，气流更容易在下游流道中掺混均匀。

3.6 稳压箱

稳压箱的作用是使进入集流器的气流变得均匀，降低湍流度，以保证试验件进口处的气流品质。本文设计的稳压箱为直径3m的圆筒结构，在 100kg/s 流量下，稳压箱内最高流速为 20m/s 。本试验器稳压箱长度为6.5m。扩压段出口气流进入稳压箱首先经过蜂窝器整流装置，蜂窝器的作用是导向和分割气流大旋涡，导顺和拉匀气流。后经过三层阻尼网，以改善气流的速度分布，并在一定程度上降低气流的湍流度。

进气系统中间截面速度云图如图10所示，可以看出整个扩压段内速度分布均匀性不高，当气流经过稳压箱后，通过蜂窝器和多层阻尼网的整流作用，速度均匀性逐渐提高。当气流经过最后一层阻

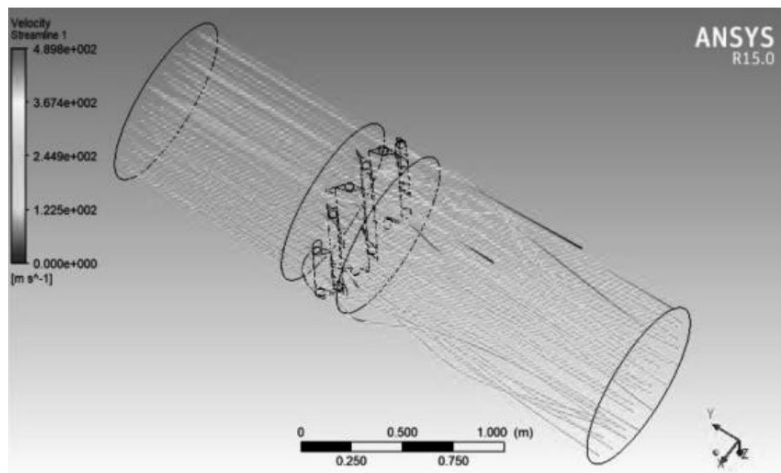


图8 百叶窗调节阀流线图

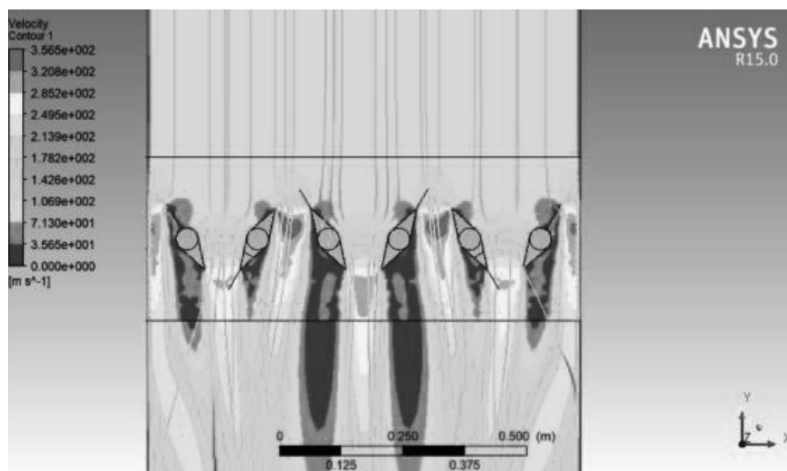


图9 百叶窗中间截面速度分布

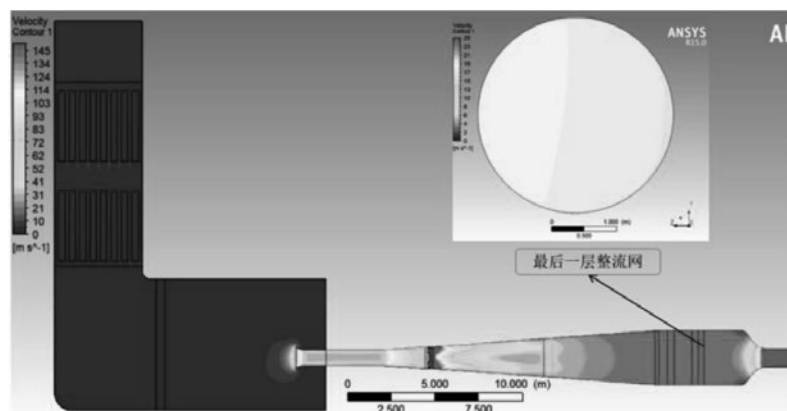


图10 进气系统整体计算结果

尼网后，速度不均匀度可达1.8%。

3.7 集流器

集流器是连接压气机试验器稳压箱和试验件的装置，使气流圆滑流畅的进入到压气机进口，减小气流压力损失，并保证总压不均匀度和湍流度的要

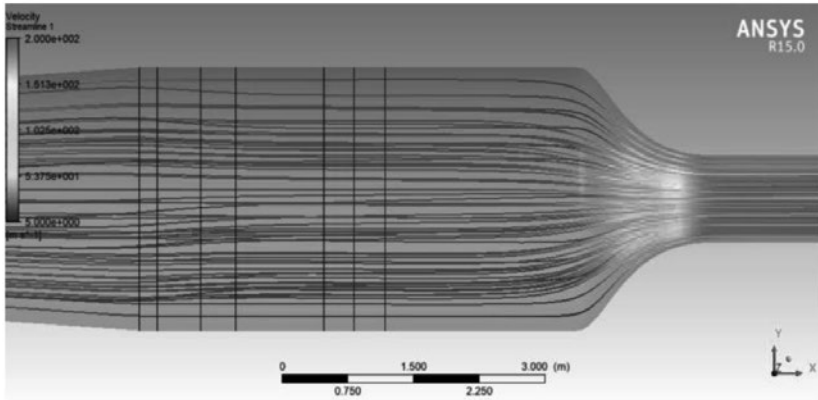


图11 集流器流线图

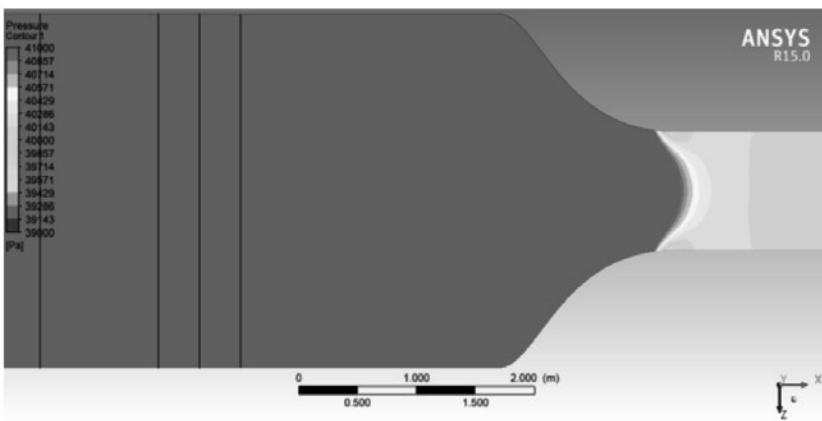


图12 集流器压力云图

求。维式-双扭收缩曲线集流器能够保证流场的连续性,使稳压箱气流连续收缩进入压气机试验件。集流器数值仿真结果如图11~12所示。

从流线图可以看出,由于维式-双扭集流器方式流动通道连续,气流可以连续光滑进入试验件进口。从压力云图可以看到,在集流器后方的直管段中,集流器直管段中压力梯度很小,压力分布均匀。在压气机进口截面,从中心延半径方向均匀布置4个总压测点,以对试验件进口总压不均匀度进

行评估。根据标准中公式 $\bar{D} = \frac{P_{\max}^* - \bar{P}^*}{P^* - P} \times 100\%$ 计算的总

压不均匀度为3.17%,满足规范中总压不均匀度不大于5%的标准要求。

4 总结

本文对100kg/s流量的大型压气机试验器进

气系统进行了详细设计并利用CFD商业软件FLUENT对进气系统各部段进行了数值仿真和优化设计。计算结果表明进气系统气动性能满足HB7115标准要求,证明了所设计的压气机试验器进气系统气动性能优良,可以满足试验需求。同时,证明了CFD方法能够为压气机试验器建设提供更多参考依据,从而提高压气机试验器设计效率,缩短试验器建设周期。

参考文献

- [1] 张宝诚. 航空发动机试验和测试技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2005: 299.
- [2] 刘斌. 亚声速重复级压气机试验台气动与结构设计[D]. 大连: 大连海事大学, 2015:1.
- [3] 刘一操, 杨化动等. 跨声速单级轴流压气机试验台设计[J]. 机械设计与制造, 2014(11):89-91.
- [4] 李正荣. 基于LXI总线的压气机试验台测试系统设计及应用[J].

计算机测量与控制, 2016:24(7):39-43.

[5] 桂幸民, 滕金芳等. 航空压气机气动热力学理论与应用[M]. 上海:上海交通大学出版社, 2014:290.

[6] HB7115, 压气机气动性能试验[S]. 北京:中国航空工业总公司, 1994.

[7] GB50454, 航空发动机试车台规范[S]. 北京:中国航空工业总公司, 2008.

[8] 向宏辉, 侯敏杰等. 压气机试验用流量管气动设计与应用验证[J]. 燃气轮机技术, 2015:28(4):28-33.

土方平衡的新视角一窥

■ 杜慧英 [总图]

摘要: 由于场平整施工和建构筑物土建施工分步实施,为实现便于实施的土方平衡,应分别使其实现填挖方平衡。本文立足建构筑物土建施工阶段,考虑规划要点相关要素的影响,对土方平衡相关因素进行深入解析,追求精细化土方平衡,从全新的视角分析技术经济指标中部分要点对于该阶段土方的影响,从而求得合理进行建筑物室内±0.00标高设计的新方法。

关键词: 技术经济指标;建筑物室内±0.00标高;道路设计标高;场平标高

场地平整设计中经常追求“土方工程平衡表”中各项内容(常见土方平衡表,见表)填挖方合计土方量最小^[1],以实现土方平衡,但工程实践中,“土方工程平衡表”中各项因素并非可以一次实施到位,常见顺序是先将原始地形平整为一块平地,或分台的几块平地,发生第一次土方工程,即场地平整土方工程,然后进行建筑物、道路、管线、设备等满足功能使用的实际事物施工,此部分内容出土量滞后发生,发生第二次土方工程。因此“土方工程平衡表”中各项内容分为两次发生,影响最终的土方平衡,由此带来的问题是,如果考虑二次土方工程,一次场平难以一次达到土建施工的平面需求,一般会低于建筑物施工需求平面,此时需要的填方土如果先行对规划的道路或管线区域进行挖方,又会影响该区域的道路或管线基础质量,并于施工现场形成诸多沟壑,影响场地排水,因此平衡表中一次性考虑土方平衡更多追求的是理论上的平衡,对施工组织要求较严苛,施工操作过程中产生诸多不便。

关于工程中实际的土方平衡,本文立足把“土方工程平衡表”中各因素分为两部分进行考

表 土方工程平衡表

序号	项目	挖方量	填方量	净方量	说明
1	场地平整				
2	室内地坪填土及地下建筑挖土				
3	房屋及构筑基础				
4	机械设备等基础				
5	铁路				包括路堤填土路堑挖土
6	道路				包括路堤填土路堑挖土
7	管线地沟				挖土
8	土方损益				指土壤经挖填后的损益数
9	合计				

虑,一部分即“一次土方”发生的场地平整,一部分即后续发生的建筑物、道路等相关土方,下文简称“二次土方”,分别使两次土方平衡趋近于零,以实现最终土方平衡趋近于零。

一次土方发生,即场地一次平整,可通过常规的方格网方法进行计算^[2],或进一步通过DEM模型进行高精度计算^[3],常用手段是相关软件的计算,本文不再赘述。

作者简介:杜慧英,女,高级工程师,2001年毕业于西安建筑科技大学总图设计与运输工程专业,现就职于航空工业规划动力工程设计研究院。

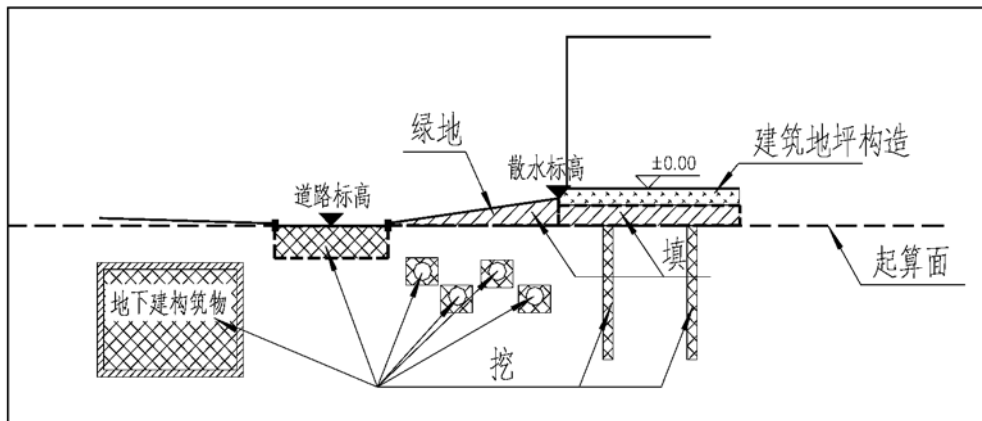


图1 理论断面图

二次土方发生，影响因素众多，事实上除去“土方工程平衡表”中所列各项内容外，常用于指导平面布置的技术经济指标中尚有几项内容也对土方量的发生产生着“隐蔽”的影响。

总平面设计主要包括建设用地范围内建、构筑物的平面设计（平面定位）和竖向设计（竖向定位，即标高设计）两方面内容。

技术经济指标，可以说是总平面设计中的强制性条件之一，其中建筑系数、绿地率、建筑退线等内容看上去只是限制着总平面设计中的平面定位，“貌似”与竖向设计无关。一块平整的建设场地，竖向设计则主要考虑防洪排涝、雨污水安全顺利的排放，在此基础上的土方经济性等因素。这些因素又“貌似”与平面设计中的建筑系数、绿地率无关。

平面布置内容主要由建构筑物、绿地和道路等构成，主要技术经济指标中限定的建筑系数和绿地率的大小，其实影响着道路占比的大小，而建构筑物的基础及地下空间与道路路基在建设过程中均有挖方产生，绿地作为道路和建构筑物的衔接部位，也根据实际情况发生填、挖土方，因此在场平完成后，即场地标高确定的情况下，考虑建筑系数、绿地率、道路占比进行的合理的竖向设计可以直接影响土建施工中发生的二次土方量。

土方平衡设计中需要考虑的因素有：腐植土、道路、管线、绿地、建筑物、地下构筑物等产生的相关土方。由于一次场平施工要求去除腐植土，因此在一次场平完成后的较短时间进行土建施工的项目中，腐植土可基本忽略不计，其他因素则影响着二次土方的发生。

本文用数学的方法和断面法，假设某一完成

面作为计算水平面，加入规划要点这一影响因素，研究场平标高确定后如何进一步确定建筑物、道路设计标高的一般规律，即寻找场平标高与设计建筑物、道路的标高关系，追求二次土方工程量最小。

1 基本假设

以现状的场平标高面作为起算面，如图1所示，起算面以上为填方量，起算面以下为挖方量。

经过多种情况进行对比，碍于篇幅所限，略去详细计算过程。

基本规律是，现状场平标高位于道路构造层范围内某处，求得该位置，即可确定合理的建筑物室内±0.00标高，使二次土方趋近于零。该情况下，道路、管线、地下构筑物为出土工程，绿地为填土工程、建筑物则同时存在填挖工程（基础部分有出土工程，地坪部位除去地坪构造外尚有填方需求）。

2 符号设定

起算面以上为填方工程，以“负数”计，起算面以下为挖方工程，以“正数”计。

V_U ——地下构筑物出土量；

V_R ——完整道路构造出土量；

V_{R1} ——道路出土量；

V_P ——管线出土量；

V_B ——建筑物出土量；

V_G ——绿地填土量；

设计目标追求二次土方工程量最小，即 $V_U + V_R + V_P + V_B - V_G \approx 0$ 。

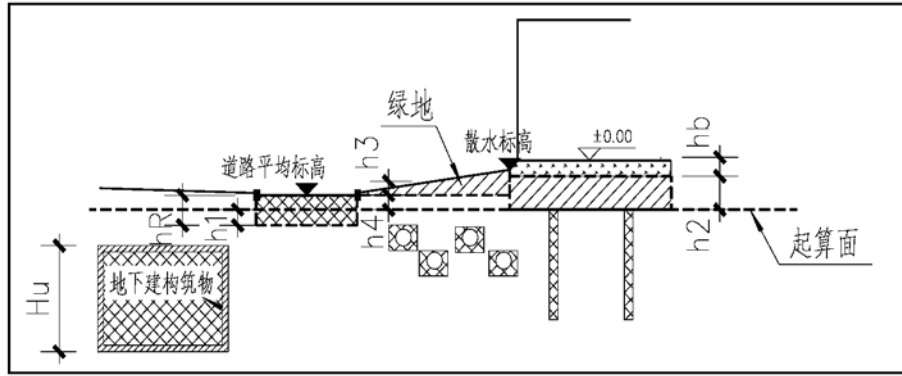


图2 符号断面图

由于本文分析的是在场平发生后, 场地已经进行过初步处理, 完成面土壤多为非原始自然土壤, 相对松散, 因此本文暂不考虑土壤松散系数。如建设场地为原始自然土壤, 本就平整, 未进行场地初平或平整后多年闲置, 则需要根据实际情况考虑松散系数, 同时考虑腐殖土挖方量。

土壤松散系数, 指自然土经开挖并运至填方区夯实后的体积与原体积的比值。^[4]

3 断面法关系推导

符号图示见图2。

地下建构筑物出土量 $V_U = S_U \times h_U$;

(S_U —地下建构筑物占地面积; h_U —地下建构筑物高度)

道路出土量 $V_{R1} = S_R \times h_1 = K_R \times S_A \times h_1$;

(S_R —道路占地面积; h_1 —位于起算面以下的道路构造出土厚度; K_R —道路占地系数; S_A —建设用地面积)

管线出土量^[5] $V_P = K_P \times V_R = K_P \times S_R \times h_R$;

(K_P —管线系数^[6]; S_R —道路占地面积; h_R —道路构造厚度)

建筑物出土量 $V_B = V_f - V_b = K_B \times S_B - S_B \times h_2$;

(V_f —建筑物基础出土; V_b —建筑物相对起算面的填土量; K_B —建筑物基础出土参数^[7]; S_B —建筑物占地面积; h_2 —建筑物地坪底标高相对起算面的高差)

绿地填土量 $V_G = S_G \times h_3 + S_G \times h_4 = K_G \times S_A \times h_3 + K_G \times S_A \times h_4 = K_G \times S_A (h_3 + h_4)$

(S_G —绿地面积; K_G —绿地率; h_3 —绿地相对道路平均标高处的平均高差; h_4 —绿地相对起算面的高差)

设计目标为:

$$V_U + V_R + V_P + V_B - V_G = S_U \times h_U + K_R \times S_A \times h_1 + K_P \times S_R \times h_R + (K_B \times S_B - S_B \times h_2) - K_G \times S_A (h_3 + h_4) \approx 0。$$

4 结语

上式中除 h_4 是变量外, h_1 和 h_2 与 h_4 相关外, 其他 h 值在均可由设计确定, 因此可以通过方程求解 h_4 , 求得使二次土方趋近于零的、较合理的设计标高与现状场平标高的关系, 从而合理确定设计建筑物室内 ± 0.00 标高和设计道路标高。

致谢: 感谢王秋平教授对本文所提的宝贵意见。

参考文献

- [1] 潘庆林, 潘琦. 建筑场地平整土方量的优化计算. 南京建筑工程学院学报 2002 (2): 55-59.
- [2] 钟仕林, 黄洪谷, 张志荣. 厂区和场站工程场地平整优化设计. 山西建筑. 2013.4 (10): 108-109.
- [3] 田旦, 成国辉, 徐景等. 方格网法土方计算精度提高的改进方法. 城市勘测. 2017.6(3):148-150.
- [4] 雷明, 雷丽华. 场地设计 北京: 清华大学出版社 2016:284-285.
- [5] 雷明. 工业企业总平面设计. 陕西: 陕西科学技术出版社, 1998: 268.
- [6] 雷明. 工业企业总平面设计. 陕西: 陕西科学技术出版社, 1998: 268.
- [7] 雷明. 工业企业总平面设计. 陕西: 陕西科学技术出版社, 1998: 267.

医药工程设计研究院

改革开放30年来，中国航空规划建设发展有限公司着力拓展民用领域，在医药工程设计方面形成了自己的特色，拥有了一支专业设计队伍——航空工业规划医药工程设计研究院。

医药院以先进的设计和优质的服务为依托，形成了以制药工艺为龙头，以航空工业洁净空调技术为后盾，规划、建筑、结构、建筑设备、电气、弱电、自控、技经、工程管理等专业配套齐全的工程服务体系。

医药院主营业务涉及生物制药、药物制剂、研发和中试实验室、中成药、原料药、医疗器械、保健品、食品、化妆品及医院等多个领域，主营业务范围涵盖规划咨询、项目建议书、可行性研究、方案设计、初步设计、施工图设计、工程预算编制、工程管理、工程监理、工程总承包等固定资产投资活动全过程。

自70年代后期医药院开始医药工程设计，按中国GMP标准、世界卫生组织WHO GMP标准、欧盟GMP标准及美国FDA标准，已经设计完成医药工程项目500余项，其中包括一大批代表我国医药领域先进水平的工程项目，如华润医药股份北京产业园、北京天坛生物疫苗产业基地、上海生物制品研究所奉贤产业基地、北京同仁堂股份有限公司亦庄生产基地等项目。众多项目获得广大业主的好评，所有项目均通过GMP认证。

近年来，医药院与法国Boccard工程公司、日本脏器工程公司、丹麦NNE工程公司、美国HDR工程公司、澳大利亚Kenelds工程公司、瑞士Advens AG公司等多家国际知名医药设计公司 & 工程公司进行了设计合作，完成了多项符合美国FDA、欧盟及WHO GMP标准的医药工程项目，建立了良好的合作伙伴关系。

医药院推行以设计为龙头的工程总承包和项目管理业务，依托设计优势，把服务延伸到建造、采购、试运行全过程，为顾客提供项目建设的全价值链服务。目前，公司已完成北大药业新药研发基地的设计、项目管理和监理业务，北京赛科药业有限公司固体新型药物制剂cGMP改造工程的设计、采购、建造的总承包业务。

面对不同的设计项目，不同的业主，不同的场所环境，我们都会去寻求并提出最具挑战性的设计方案，全力为业主服务。航空工业规划医药工程设计研究院秉承“以顾客为中心”的经营服务理念，在帮助顾客成功的过程中，与顾客共同营造互利双赢的和谐关系。



2019年第1期（总第141期）
2019年2月出版



天坛生物疫苗产业基地项目