

# 航空工程建设

AERO-INDUSTRY ENGINEERING CONSTRUCTION

2017年第4期 总第132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

# 中航锂电（江苏）有限公司 中航锂电（江苏）产业园建设项目一期工程

**建设地点：**江苏 常州

**设计单位：**航空工业规划电子院

**建设情况：**建成

**用地面积：**约16万m<sup>2</sup>

**总建筑面积：**约13万m<sup>2</sup>

项目内某车间南侧的局部五层辅助办公楼，面向江东大道，呈“一”字型排开，为厂区的标志性建筑物，并与东侧规划生产用房相呼应，展现园区形象。生产厂房延基地形态布置，形成建筑体量序列感，形成美观完整的建筑群界面。在造型处理方面，力求通过简单形体的组合及立面减法等设计手法，使建筑立面丰富且有立体感、层次感、节奏感；建筑中央设置主要出入口，设计有出挑大型钢结构雨棚，突出园区主导建筑及建筑的主要入口位置；外装饰上采用铝板结合玻璃幕墙，单体色彩均为浅灰色主调，厂房立面顶端均有蓝色装饰带，体现航空特色，色彩跃动明快，穿插活跃，主调庄重严谨而不失活泼元素，风格统一而富于变化，使厂区亲切宜人、环境优雅，最大限度的体现企业特点和现代化的企业形象。

项目景观绿化设计按“点、线、面”相结合展开。“点”指建筑前后等局部空间绿化；“线”指沿道路、用地红线而形成的环厂区绿化带；“面”则是出入口广场而形成的相对集中、面积较大景观绿化。绿化植被以四季常绿草地铺装为主，沿建设用地周边种植高大乔木，与城市绿地相呼应，以形成对基地的围合感，并减少外界对基地的噪声干扰。出入口广场是景观绿化设计的重点。布置了大面积铺装、建筑小品及微起伏地形设计，整个厂区沿线形成视觉开阔的连续景观带、起伏的绿化景观，空间序列井然，浑然一体，宛若天成，简洁大气，诠释一个现代高科技企业的对外形象。

该项目是电子院首次承揽超过5亿元的工艺设备总成业务、第一次接触进口设备代理的相关工作，承接该项目为我院承担进口设备总承包积累了宝贵的经验。进度管控引入精益生产控制理念，实行计划看板管理模式，进行进度检查、监督和考核工作，使项目进度得到有效保障。



## 中国航空工业建设协会举办军工生产能力建设规划培训

6月16日，中国航空工业建设协会在京举办了军工生产能力建设规划培训。本次培训由中国航空规划设计研究总院有限公司副总经理陆国杰主持，共60个单位近200人参加了培训。

首先，中国航空规划设计研究总院有限公司副总经理陆国杰做了题为《直面问题 学透政策 提高固定资产投资项目管理水平》的培训，分别从项目运作中的问题总结、新申报项目的特点和要求、建设单位和咨询设计单位的对策三个方面，对如何提高固定资产投资项目管理水平进行了详细的分析。他指出，能力建设是确保装备研制的重要基础，随着装备技术的日新月异，能力建设也面临新的挑战。国防科技企业将本着实事求是的原则，精心论证，严格实施，为航空工业军品项目管理水平的提升贡献力量。

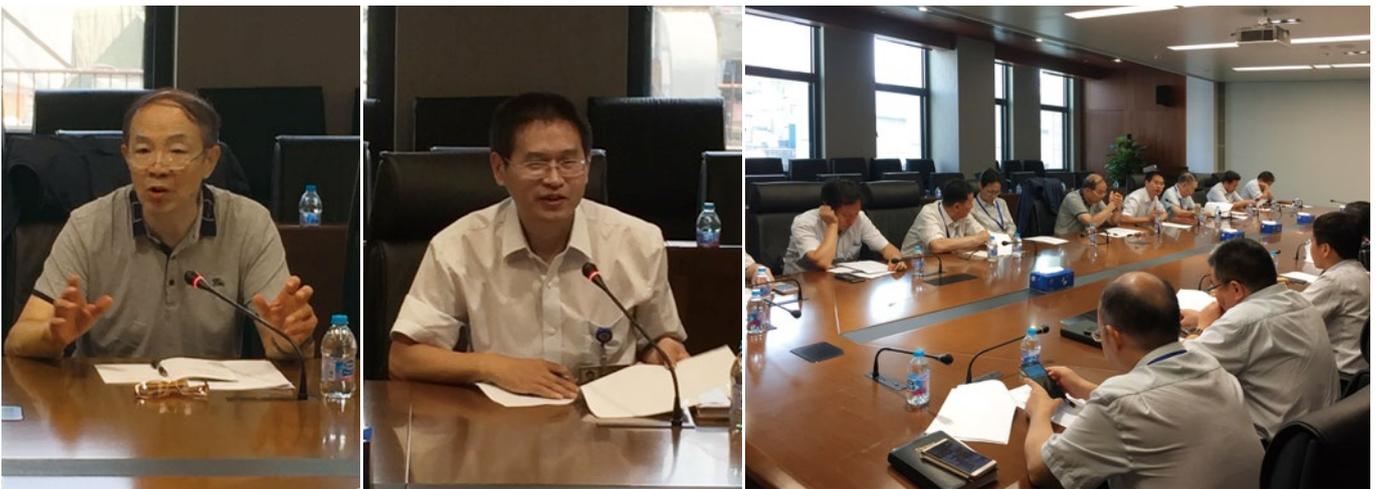
随后，科工局计划司副司长何世新做了题为《军工生产能力建设规划注意要点》的培训，对“十三五”国防科技工业发

展及军工固定资产投资政策主要发展趋势进行详细介绍。他重点关注投资建设中的新思路、重点方向和管理措施。从我国周边安全环境、世界新军事变革、科技发展与产业革命的角度深入分析了目前我国面临的形势；以问题为导向，对建设中国特色先进国防科技工业体系的发展目标进行了详细阐述；重点围绕科技发展、军民融合、能力建设、科研生产组织结构等方面提出明确要求，对实现目标的主要途径进行了详细介绍。从推进申报审批方式改革、缩小政府投资范围、完善政府投资政策、进一步简政放权等四个角度介绍了投资管理的改革完善措施。

此次培训受到与会人员的一致好评，并表示希望协会多举办类似贴近工程管理实际，具有很强时效性和可操作性的培训。

(中国航空工业建设协会供稿)

## 国防科技工业局对中国航空工业建设协会脱钩试点工作进行检查



6月20日，国家国防科技工业局对第二批脱钩试点行业协会开展检查座谈。国家国防科技工业局工作组由来自财务司、四司（航空）、外事司、人事司、党委和服务局的6位专家组成。协会副理事长杨俊峰、财务部部长孙少辉及秘书处全体工作人员参加座谈。

本次检查主要按照脱钩“五分离、五规范”原则，听取

了协会脱钩试点工作的汇报，与会者就脱钩工作中遇到的问题及解决办法进行了充分的沟通交流，并现场查看了协会在脱钩工作中形成的各类文件资料，重点查看了资产清查、党建、外事等方面的资料。科工局工作组对协会的脱钩试点工作给予了积极评价，检查工作顺利通过。

(中国航空工业建设协会供稿)

## 我国将创建“中国制造2025”国家级示范区 在政策制度上先试先行

近期召开的国务院常务会议部署创建“中国制造2025”国家级示范区，加快制造业转型升级。工信部副部长辛国斌说，在东中西部选择部分城市或城市群建设国家级示范区，目前已有的相关政策将扩展到示范区，示范区将在政策和制度上先试先行。

国务院常务会议指出，创建“中国制造2025”国家级示范区，探索实体经济尤其是制造业转型升级新突破，对于推进供给侧结构性改革，建设制造强国，保持经济中高速增长、迈向中高端水平，具有重要意义。会议提出，将目前已在国家自主创新示范区等实施的简政放权、财税金融、土地供应、人才培养等有关政策扩展到示范区，并对内外资企业一视同仁。

(摘自“新华社网站”)

## 航空工业要在新历史起点上坚定不移践行强军首责

8月1日，航空工业党组书记、总经理谭瑞松主持召开党组扩大会议，传达学习习近平总书记在省部级主要领导干部专题研讨班和庆祝建军90周年大会上的重要讲话精神。航空工业党组成员，总部各部门、特设机构以及各在京直属(直管)单位主要负责人参加会议。

谭瑞松指出，习近平总书记在省部级主要领导干部专题研讨班上的讲话，站在历史和时代的高度，科学分析了当前国际国内形势，深刻阐述了5年来党和国家事业发生的历史性变革，深刻阐述了新的历史条件下坚持和发展中国特色社会主义的一系列重大理论和实践问题，深刻阐明了未来一个时期党和国家事业发展的重大方针和行动纲领，提出了一系列新的重要思想、重要观点、重大判断、重大举措。讲话通篇闪耀着马克思主义思想光辉，具有很强的思想性、战略性、前瞻性、指导性，为开好党的十九大奠定了重要的政治基础、思想基础、理论基础。

(摘自“中国航空新闻网”)

## 全国统一的PPP大市场格局初步形成

“全国统一的PPP大市场格局初步形成。”7月22日，财政部PPP中心主任焦小平在“2017中国PPP投资创新论坛”上透露，截至2017年6月底，财政部全国PPP综合信息平台已收录项目1.3万个，计划投资额16.3万亿元，已落地项目投资额3.3万亿元，覆盖19行业。从规模、广度、深度和影响力来讲，中国市场已是全球最大的PPP市场。

由国务院发展研究中心指导、中国经济时报社和龙元建设集团联合主办的“2017中国PPP投资创新论坛”以“社会资本参与PPP模式面临的机遇与挑战”为主题，采用“1+4”模式——一个主题论坛和四个圆桌论坛，围绕规范、转型、竞合和创新四个主题，深入探讨中国PPP创新发展之路。

据了解，我国自2014年开始推动PPP改革，经过三年多时间的实践，PPP市场已如火如荼，随着众多项目落地，社会资本也得以大展拳脚。据统计，目前已有3000多家社会资本在PPP领域“亮相”。这里面既有央企、地方国企，也有民营、外企。央企作为基建领域传统老大，获得了超过一半的市场份额，地方国企也在积极转型，和民营企业一起分享了一半的市场份额。其中，民企占25%的市场份额，虽然平均项目规模只有7.8亿，远远小于国有企业的21.1亿，但是项目个数占比却也接近50%。

(摘自《建筑时报》)

## 工程建设标准体制将迎重大改革

针对工程建设标准(以下简称“标准”)目前存在的刚性约束不足、体系不尽合理、指标水平偏低、国际化程度不高等问题，住房城乡建设部会同有关部门起草了《工程建设标准体制改革方案(征求意见稿)》，于近日发布。此次改革目标：

- 强化底线控制要求，建立工程规范体系
- 精简政府标准规模，增加市场化标准供给
- 实施标准国际化战略，促进中国建造走出去
- 加强基础研究，提升综合能力
- 建立信息公开、管理、服务工作长效机制
- 加大实施指导监督力度，提高权威性和影响力
- 强化保障，确保改革任务落实到位

(摘自“住建部官网”)

## 《工程造价事业发展“十三五”规划》发布

住建部于近日发布《工程造价事业发展“十三五”规划》(以下简称规划)。

据规划,工程造价事业发展“十三五”指导思想为:按照市场决定工程造价的原则,加强和改善市场监管,转变政府职能,围绕制定规则、发布指标、动态监测、调解纠纷等内容,完善公共服务和诚信体系建设,实现工程计价的公平、公正、科学合理,达到提高工程投资效益、维护市场秩序、保障工程质量安全的目的。

“十二五”末,工程造价咨询业年营业收入达到1079.47亿元,年均增长14.4%。企业数量达到7107家,工程造价咨询企业从业人员41万余人。工程造价咨询业务结构向中高端咨询业迈进,全过程造价咨询服务业务占比上升10%。

根据规划,工程造价事业发展“十三五”主要目标具体为:健全全过程的工程造价管理制度,实现“制度规则统一,市场决定造价,计价活动规范”的工程造价生态环境;完善以市场交易环节为主的工程计价和计量规则,实现工程总承包、施工承包、专业分包工程计价和计量规则的全覆盖;优化以工程计价依据和信息为主的公共服务,实现建设工程各阶段工程计价定额的全覆盖和工程计价信息的动态化;提升计价成果文件的质量,完善工程造价咨询成果文件标准规范,实现各阶段工程计价文件的规范化、数据格式的通用化,积极推进大数据服务;推进工程造价咨询企业规模化、综合化和国际化经营,大幅度提升造价咨询服务总产值,发挥造价管理在工程咨询服务中的重要作用,培育一批具有国际化水平的全过程工程造价咨询企业;完善以造价工程师执业资格制度为龙头的人才培养机制,加强继续教育和专业培训,通过打造100名专业领军人才、5000名金牌造价师,带动工程造价人才素质全面提升。

此外,规划明确提出鼓励工程造价咨询企业采取优化重组、强强联合、战略联盟等形式实施品牌战略,着力培育100家可承担以造价管理为核心的综合工程顾问业务、产值过亿元的大中型企业。

(摘自“住建部官网”)

## 2016年全国工程勘察设计统计公报

根据工程勘察设计统计制度有关规定,住房城乡建设部对2016年全国具有资质的工程勘察设计企业基本数据进行了统计,现公布如下:

### 一、企业总体情况

2016年全国共有21983个工程勘察设计企业参加了统计,与上年相比增长7.3%。其中,工程勘察企业1903个,占企业总数8.7%;工程设计企业17582个,占企业总数80%;工程设计与施工一体化企业2498个,占企业总数11.4%。

### 二、从业人员情况

2016年工程勘察设计行业年末从业人员320.2万人,与上年相比增长5.2%;年末专业技术人员154万人。其中,具有高级职称人员35.2万人,占从业人员总数的11%;具有中级职称人员58万人,占从业人员总数的18.1%。年末取得注册执业资格人员累计34.9万人次,占年末从业人员总数的10.9%。

### 三、业务完成情况

2016年工程勘察完成合同额合计734.2亿元,与上年相比增加13.3%;工程设计完成合同额合计3542.7亿元,与上年相比增加15.8%。工程总承包完成合同额合计13856.3亿元,与上年相比增加8%;工程技术管理服务完成合同额合计485.9亿元,与上年相比增加0.5%。其中,工程咨询完成合同额190.3亿元,与上年相比增加6.4%。境外工程完成合同额合计1614.6亿元,与上年相比增加28.6%。

### 四、财务情况

2016年全国工程勘察设计企业营业收入总计33337.5亿元,与上年相比增加23.1%。其中,工程勘察收入833.7亿元,占营业收入的2.5%;工程设计收入3610.5亿元,占营业收入的10.8%;工程总承包收入10784.6亿元,占营业收入的32.3%;工程技术管理服务收入432.8亿元,占营业收入的1.3%。工程勘察设计企业全年利润总额1961.3亿元,与上年相比增加20.8%;企业净利润1617亿元,与上年相比增加22.5%。

### 五、科技活动情况

2016年工程勘察设计行业科技活动费用支出总额为775.2亿元,与上年相比增加47.2%;企业累计拥有专利130208项,与上年相比增加38.7%;企业累计拥有专有技术42120项,与上年相比增加57.2%。

(摘自《中国建设报》)

陕西华燕航空仪表有限公司新区项目立面设计从建筑自身特点出发，遵循基地总体规划对建筑形态要求，以简洁大方为主要设计特色，外立面以石材幕墙及玻璃幕墙、涂料等要素构成建筑主体，总体造型明快流畅，与基地总体环境相吻合。在对建筑物的造型、风格进行控制的同时，也对立面中的细部节点也进行了重点处理，建筑立面以8.4m的柱网开间为基本模数，在统一的模数中进行变化，立面关系丰富而严谨，同时玻璃幕墙的加入也活跃了立面尺度。整个建筑造型既有简洁、明快的总体形象，又经得起细细品味，用精美的材料和精致的细部充分表达建筑的文化含量。

本项目施工图设计采用BIM设计，利用BIM模型所含信息进行协同工作，实现各专业、工程设计各阶段的数据和信息有效传递。各专业管线综合碰撞检查，体现了精准化的设计，能减少施工失误及反工。本项目采用精细化的设计手法，设计同步采用Sketchup推敲施工图设计，对建筑的精细度控制，并且达到对施工中可能出现问题的预判。

## 陕西华燕航空仪表有限公司 新区项目

建设地点：陕西西安  
设计单位：航空工业规划电子院  
建设情况：在建  
总建筑面积：约10万m<sup>2</sup>  
占地面积：约2万m<sup>2</sup>





该项目设计从建筑自身特点出发，遵循基地总体规划对建筑形态要求，以简洁大方为主要设计特色，以石材及玻璃幕墙、涂料墙面等要素构成造型主体。同时，对立面中的细部节点也进行了重点处理，使建筑物既有简洁、明快的总体形象，又经得起细细品味，用精美的材料和精致的细部充分表达建筑的文化含量。

此项目功能主要涉及地下汽车库、试制区、研发区三大部分。各功能区之间相对独立又互相关联。人员、货物、车辆的流线设计充分满足使用的便捷性、通达性、私密性。

## 洛阳电光设备研究所 洛南新区新建试制大楼

建设地点：河南洛阳

设计单位：航空工业规划电子院

建设情况：在建

用地面积：约0.8万 $m^2$

总建筑面积：约3万 $m^2$

### 设计理念

- “以人为本”的设计理念贯穿于规划到单体设计始终；
- “实用、经济、美观”三原则的完美统一；
- 总体规划、分期建设、因地制宜、远近结合，既强调规划设计整体性，也注重一定的前瞻性；
- 规划设计中体现的其他要素：生态、节能、绿色环保、人文、空间设计等概念。

### 设计亮点

建筑设计在工业建筑中融入人文关怀。科研楼的弧形平面布局巧妙的结合了地形，形成了宏大的形象展示，高效的利用空间。建筑形态打破传统工业区的呆板形态，遵从平衡的构图原则在建筑一端的屋面上设置醒目的企业标识背景墙和休息平台，建筑北侧椭球形的报告厅通过室外平台与主体建筑有机结合，使建筑形态灵动、活泼，营造了丰富的建筑景观，同时也为职工提供了开放、舒适、人性化的休息、观景场所。

## 西安飞行自动控制研究所 GNC产业基地建设项目

建设地点：陕西西安

设计单位：航空工业规划电子院

建设情况：建成

用地面积：约18万m<sup>2</sup>

总建筑面积：约10万m<sup>2</sup>





超大型航天器总装测试试验中心（简称AIT中心）是根据我国航天战略部署，在天津建设全球最大规模的超大型航天器总装测试试验中心。该项目具有产品体积和重量大、精度要求高等特点，内部为多个层高30~80m的8级净化要求超大洁净厂房，堪称国内乃至国际最高大空间洁净厂房；中心试验设备需要模拟各种复杂太空环境，工况复杂、用电需求大，负荷等级供电品质要求高，谐波源多，对电能质量要求高，须满足供电可靠性并兼顾经济性等，均对设计的可靠性、经济性带来很大难度和挑战。

项目的成功建设，使我国的空间技术水平获得极大提升。我国已成为具有世界一流水平且具备独立建造空间站能力的国家。项目内部的试验测试设施国际领先，EMC试验室规模具备世界一流水平，大推力力学试验系统排名世界第一，4000立方混响室排名世界第二，真空试验设备为亚洲排名第一，世界排名第三，AIT中心先进的设计理念和科技创新，都为我国航天事业做出了突出的贡献。

## 超大型航天器总装测试试验中心

建设地点：天津滨海新区

设计单位：航空工业规划电子院

建设情况：建成

占地面积：约70万m<sup>2</sup>

规划总建筑面积：约80万m<sup>2</sup>

## 住房和城乡建设部关于《瓶装液化石油气调压器》等 38项强制性行业标准转化为推荐性行业标准的公告

根据强制性标准整合精简工作总结。我部将《瓶装液化石油气调压器》等38项强制性行业标准转化为推荐性行业标准，转化后的行业标准编号相应变更，现予以公布（目录见附件）。自公布之日起，上述标准不再强制执行。

附件：强制性行业标准转化为推荐性行业标准目录

序号	标准编号	标准名称	转化后的标准编号
1	CJ 50-2008	瓶装液化石油气调压器	CJ/T 50-2008
2	CJ 94-2005	饮用净水水质标准	CJ/T 94-2005
3	CJ 131-2001	家用燃气燃烧器具结构通则	CJ/T 131-2001
4	CJ 244-2007	游泳池水质标准	CJ/T 244-2007
5	CJ 3020-1993	生活饮用水水源水质标准	CJ/T 3020-1993
6	CJ 3058-1996	塑料护套半平行钢丝拉索	CJ/T 3058-1996
7	CJ 3062-1996	燃气燃烧器具使用交流电源的安全通用要求	CJ/T 3062-1996
8	CJ 3077-1998	建筑缆索用钢丝	CJ/T 3077-1998
9	JG 2-2007	采暖散热器 钢制板型散热器	JG/T 2-2007
10	JG 3-2002	采暖散热器 灰铸铁柱型散热器	JG/T 3-2002
11	JG 4-2002	采暖散热器 灰铸铁翼型散热器	JG/T 4-2002
12	JG 8-1999	钢桁架质量标准	JG/T 8-1999
13	JG 9-1999	钢桁架检验及验收标准	JG/T 9-1999
14	JG 13-1999	门式钢管脚手架	JG/T 13-1999
15	JG 118-2000	建筑隔震橡胶支座	JG/T 118-2000
16	JG 139-2001	吊挂式玻璃幕墙支承装置	JG/T 139-2001
17	JG 142-2002	建筑用电子水平尺	JG/T 142-2002
18	JG 143-2002	采暖散热器铝制柱翼型散热器	JG/T 143-2002
19	JG 144-2002	门式刚架轻型房屋钢构件	JG/T 144-2002
20	JG 160-2004	混凝土用膨胀型、扩孔型建筑锚栓	JG/T 160-2004
21	JG 161-2004	无粘结预应力钢绞线	JG/T 161-2004
22	JG 175 -2011	建筑用隔热铝合金型材第1部分穿条式	JG/T 175 -2011
23	JG 197-2006	预应力混凝土空心方桩	JG/T 197-2006
24	JG 220-2007	采暖散热器钢铝复合柱翼型散热器	JG/T 220-2007
25	JG 221-2007	采暖散热器铜管对流散热器	JG/T 221-2007
26	JG 225-2007	预应力混凝土用金属波纹管	JG/T 225-2007
27	JG 232-2008	卫浴型采暖散热器	JG/T 232-2008
28	JG 237-2008	混凝土试模	JG/T 237-2008
29	JG 238-2008	混凝土标准养护箱	JG/T 238-2008
30	JG 244-2009	混凝土试验用搅拌机	JG/T 244-2009
31	JG 293-2010	压铸铝合金散热器	JG/T 293-2010
32	JG 305-2011	人行自动门安全要求	JG/T 305-2011
33	JG 3002.1-1992	住宅楼梯预制混凝土梯段	JG/T 3002.1-1992
34	JG 3002.2-1992	住宅楼梯预制混凝土中间平台	JG/T 3002.2-1992
35	JG 3002.3-1992	住宅楼梯栏杆扶手	JG/T 3002.3-1992
36	JG 3042-1997	环氧树脂涂层钢筋	JG/T 3042-1997
37	JG 3050-1998	建筑用绝缘电工套管及配件	JG/T 3050-1998
38	JG 3056-1999	数显式粘结强度检测仪	JG/T 3056-1999

（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 陆国杰  
 副主任 米敬明 刘子彦  
 委员 (按姓氏笔画排序)  
 丁杰 卜国磊 王玮  
 王玉平 王锋 王笃礼  
 刘国新 李纲 李中强  
 肖武 张卫才 张立峰  
 陈阳 陈丹瑚 金来建  
 黄春晖 贺宏斌 傅绍辉  
 葛家琪

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 2017年8月  
 印数 1500册  
 电话 (010)62038276 62038235  
 传真 (010)62038297  
 封面 中航锂电(江苏)有限公司  
 中航锂电(江苏)产业园建设项目一期工程

# CONTENTS

## 目录 2017年第4期 总第132期

### 航空能力建设

- 02 民用航空发动机维修厂房工艺布局的设计研究 李凯 曾萤雪
- 07 航空工业热处理的现状和展望 姜煜霞 孙黎 张萌
- 09 某发射器脉动装配线设计及仿真验证 侯康伟 李慧 张超
- 15 结冰风洞及其云雾环境模拟系统分析 白鹏博 张明哲

### 研究与探讨

- 18 疫苗中试车间工艺设计分析 杨勇 张垚 暴学奇
- 22 水痘疫苗原液生产车间工艺布局设计要点分析  
李红 杨勇 高灿
- 26 基于激光准直仪的导轨几何误差测量  
王云龙 雷凯淞 孙谊
- 29 谈15D502《等电位联结安装》标准图的修编 牛犇 丁杰
- 33 低压变频设备的选择及设计中需注意的问题 董俊峰
- 37 2013版清单计价规范下工程量偏差引起的合同价款调整研究  
陈敏 李锐娟 王玉平
- 43 超长无支撑雨棚解决方案及抗震简化算法  
张晓彤 周青 郭鹏
- 48 国有建筑工程企业招标采购风险及管控分析 廖洁
- 50 大型单体建筑空调冷冻水大温差系统的经济性分析  
张晓莉 孟凡兵
- 55 上海地区某办公楼消防设计及施工图审查注意要点 陈雪

### 工程设计

- 61 西安地裂缝场地的结构设计 张清清 李晓璐

# 民用航空发动机维修厂房 工艺布局的设计研究

■ 李凯 曾莹雪 (工艺)

**摘要:** 文章通过梳理民用航空发动机修理的工艺流程,提出民用航空发动机维修厂房的两种工艺布局形式,并对其进行适应性分析,提出了一种模块化的民用航空发动机维修厂房工艺布局设计方法。

**关键词:** 民用航空发动机; 工艺布局; 模块化设计

## 0 引言

随着中国经济的持续高速发展,中国的民用航空运输事业也相应得到了飞速发展,各航空公司机队数量和档次均有大幅提升,相应中国民用航空维修市场逐年扩大。在整个航空维修市场中,航空发动机约占35%,按照美国TeamSAI咨询公司的全球MRO市场价值预测数据分析,中国2020年民用航空发动机维修市值将达到25.88亿美元,中国民用航空发动机维修市场具有十分诱人的前景<sup>[1]</sup>。因此,国内的民用航空发动机维修企业相继应运而生。航空器的维修方式主要分为定时维修方式(HT, Hard Time Process)、视情维修方式(OC, On Condition Process)、状态监控方式(CM, Condition Monitoring Process)三种模式<sup>[2]</sup>。对于民用航空发动机维修企业而言,主要承担的就是定时维修的工作。

民用航空发动机维修设施的规模与承担的修理机种、修理深度、维修大纲、管理形式等有

关,在确定厂房规模的基础上,根据生产功能需要,确定主要的工艺设备,大致的功能分区,根据生产特点组织工艺流程,从而制定出较为合理工艺布局。

民用航空发动机的维修是一个复杂的工艺过程,是实现发动机维修的重要场所,其内部工艺布局受到修理产品的种类、生产任务、维修大纲、工艺流程等的多种因素影响。本文通过对民用航空发动机维修厂房进行模块化设计,根据不同的生产组织模式选择合理的厂房工艺布局,对提高产品质量,加快维修效率,实现数字化管理等具有重要意义。

## 1 工艺布局的主要影响因素

民用航空发动机维修属于复杂精密机械维修,根据修理大纲和维修等级的不同,对工艺布局的要求也不同。其中,影响工艺布局的主要因素为维修所需的工艺设备、工艺组成和工艺流程。

### 1.1 工艺设备

根据不同的维修等级进行选择,以C2级为例需要分解/装配架、吹砂机、清洗线、荧光探伤

作者简介:李凯,男,研究员,2000年毕业于西北工业大学机械工程及自动化专业,现就职于航空工业规划航空业务部。

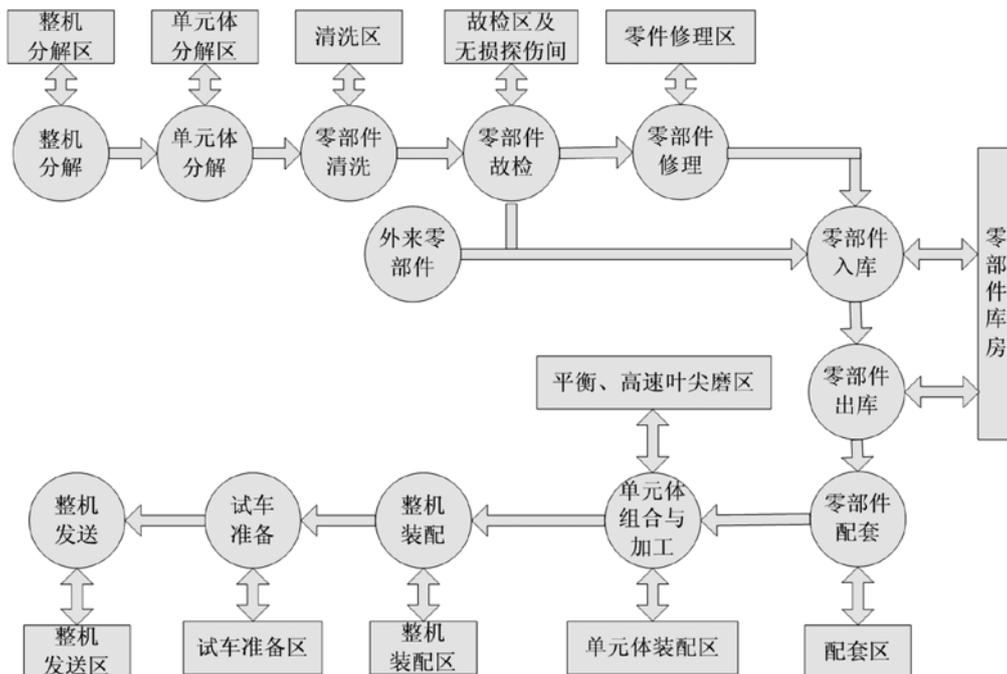


图1 航空发动机维修物流示意图

线、三坐标测量机、动平衡机、高速叶尖磨、数控立式车床、氩弧焊机、真空热处理炉、等离子喷涂设备、喷丸机以及各种专用工装等。

### 1.2 工艺组成

主要包括分解/装配单元、清洗/表面处理单元、故检单元（包含目视检查、尺寸测量、无损探伤等）、修理单元（包含机械加工、焊接、热处理、喷涂等）以及库房等。

### 1.3 工艺流程

航空发动机的维修工艺流程是非常复杂的，其主要的工艺流程如下（其中加粗部分均在修理厂房内进行）：

待修发动机接收→整机清洗→整机分解→单元体分解→零件清洗→故检（目视检查、尺寸测量、无损探伤等）→零件修理→配套→单元体装配→整机装配→试车准备→试车→油封→包装→发送

## 2 组织流程分析

### 2.1 人流物流

#### 1) 人流

航空发动机维修过程的人流相对比较简单，主要考虑员工流程和参观流程，两个流程尽量分开，设置不同的入口，以免相互影响，其中参观

流程有条件可以设计专用的参观走廊。

员工流程主要考虑更衣、淋浴区域在流程上的设计，减少交叉，避免对生产区域的影响。参观流程主要考虑参观的便捷，能够按照发动机维修的整个流程，设计最短流程，同时参观入口尽量能布置在发动机整机分解、装配区，使参观人员能够首先对航空发动机维修有最直观、整体的了解。

#### 2) 物流

航空发动机维修过程的物流相对非常复杂，需要根据维修工艺流程和工艺模式进行确定。主要的物流包括：

航空发动机整机清洗后从维修厂房入口进入，在整机分解区分解成风扇单元体、增压级单元体、核心机单元体、低压涡轮单元体等单元体，各单元体根据需要在独立的单元体分解区分解到零件，零件经清洗、故检后，根据检测结果进行修理后入库、更换或入库等工作；发动机进行装配时，从零件库房取出的零部件首先在配套区配套，之后在单元体装配区装配成单元体，并在整机装配区总装，最终进入试车厂房试车。

航空发动机维修过程的物流见图1。

### 2.2 平面布局

上述分析可以看出，民用航空发动机维修主

要围绕分解和装配两个重要工序进行，其中分解侧包含清洗、无损检测等工序，装配侧包含配套、动平衡等工序，零件修理区和库房作为整个流程中的中间重要环节，成为联系分解和装配区域的纽带。

由于航空发动机维修行业的零件尺寸和重量相对医药、电子等行业较大，考虑其物流等因素，其工艺系统多采用平面流程进行组织，而且通常采用“U”型布置，分解和装配区域分别作为“U”的两个边，零件修理和库房区域作为“U”的底。

### 3 工艺布局设计分析

无论是平面布局还是立体布局都是遵循航空发动机维修的总体工艺流程进行工艺系统设计，其中按照航空发动机整机的分解和装配模式，航空发动机维修厂房工艺平面布局形式主要可分为固定式和移动式两种。

#### 3.1 固定式布局形式

传统的航空发动机整机分解、装配模式要求发动机整机的分解和装配都在固定的工位上进行，在工位上有发动机分解/装配架或地井，发动机整机在此分解成单元体后送至各单元体分解工位进行单元体分解至零件；装配过程中则反向，在单元体装配工位由零件装配成单元体，再送至整机装配工位进行整机装配。考虑到发动机的分解、装配可能由同一组工人进行，且在生产不均衡情况下，可以相互调整借用工位，发动机的分解和装配工位通常相邻布置。

航空发动机维修工艺过程中的其它工艺环节也都设置相应的集中区域。其中清洗、无损检测、尺寸测量、故障检查等区域设置在发动机分解侧，便于零件分解后进行检测；零件配套、动平衡、组合加工等区域设置在发动机装配侧，便于零件装配；发动机零件修理和库房区域作为中间环节设置在分解装配区域的一端，便于修理、完好、新购零件周转。



图2 固定式分解/装配工艺布局示意图

在这种维修模式下，可以运用系统布置技术（SLP, System Layout Planning）等理论进行工艺布局的优化设计。图2即是运用SLP理论提出的一种固定式工艺布局模式。

对于维修发动机种类多、维修工艺差别较大的工厂，适合采用固定式布局形式。根据不同大小、结构的发动机按需设置不同的分解、配工位，依据发动机的分解、装配周期分别计算工位的数量；根据发动机零件的尺寸、工艺综合考虑工艺设备的数量及规格。

清洗、无损检测、尺寸测量、故障检查等区域集中设置，有利于对修理过程中污染物的集中处理排放，同时可以减少设备数量及操作人员，而且分解、装配区域布置比较柔性，调整方便。但这种工艺系统布局方式也有零件周转距离长，生产不均衡，能耗相对较大的缺点。

#### 3.2 移动式布局形式

移动式的航空发动机整机分解、装配模式是较为新型的工艺模式，发动机整机的分解和装配都在移动的分解/装配车架或上部运输系统上进行，发动机整机的分解和装配形成一条流水线，发动机单元体分解装配单元按分解装配的流程垂直布置在分解/装配线的一侧。以CFM56系列发动机为例，发动机整机首先分解附件机匣主单元体，然后是低压涡轮主单元体，其次分解风扇主单元体，最后是核心机单元体。各单元体的分解/装配线则按此顺序垂直排列布置，即附件机匣主单元体首先分解后送入附件机匣主单元体分解

/装配线中，发动机整机剩余部分向前移动；低压涡轮主单元体分解后送入低压涡轮主单元体分解/装配线中，发动机整机剩余部分继续向前移动；风扇主单元体和核心机主单元体采用同样的工艺流程模式。装配过程则采用同样的逆向工艺流程模式。

航空发动机维修工艺过程中的其它工艺环节，包括清洗、检测、故检、修理、库房、配套等也都分别设置在相应的单元体分解/装配单元内，根据不同单元体不同的零件尺寸及修理工艺合理配置设备，不集中设置。

图3是根据上述移动式生产组织模式，提出的一种移动式工艺布局形式。

对于维修发动机种类单一、维修批量大的工厂，较适合采用移动式布局形式。分解、装配的工位设置按照发动机的分解和装配流程和节拍设置，工作效率高。

清洗、无损检测、尺寸测量、故障检查等区域分别设置在不同单元体，按照不同需求选择设备，有利于保证修理节拍，零件周转距离短，相对节能。但这种工艺系统布局方式也有设备、人员配置多，对设备环保措施要求高，不适用多种类发动机修理，不利于布局调整的缺点。

### 3.3 其它形式工艺布局

工厂工艺流程组织也可以采用立体模式。发

动机整机分解、故检、装配等在厂房一层进行，发动机的单元体分解、装配在厂房二层进行，楼层之间的垂直物流采用电梯运输。采用立体模式节省用地、流程紧凑，但由于单元体分解、故检、库房、零件修理处于不同楼层，物流量大，且不可避免存在交叉。另外，此种模式在需扩大生产能力时很难进行调整，缺乏柔性。

## 4 维修厂房的模块化设计

无论采用何种工艺布局模式，都是分解/装配单元、清洗/表面处理单元、故检单元等工艺单元的组合。而对于各个工艺组成单元，其工艺设备的选择、布置以及动力供应需求也是基本相同的。这些工艺组成单元可以看成不同的工艺模块，对于一个厂房内的不同工艺内容，各个模块具有其独立性；但对于任何一个厂房，其工艺模块又是具有通用性的。我们在发动机维修厂房工艺布局的设计过程中，可以将整个厂房按功能分解为模块，按照不同模块的工艺需求，形成基本固定的设备布置和技术条件，

例如，无损检测单元（NDT），一般都包括荧光探伤线、磁力探伤机、涡流探伤机、超声波探伤机等工艺设备。无损检测间是依据设备尺寸及操作位置确定面积，按维修工艺流程布置。

风扇主单元体 零件修理区	核心机主单元体 零件修理区	低压涡轮主单元体 零件修理区	附件 修理	更衣区
风扇主单元体 零件配套区	核心机主单元体 零件配套区	低压涡轮主单元体 零件配套区	附件 配套	
风扇主单元体 清洗、无损检测	核心机主单元体 清洗、无损检测	低压涡轮主单元体 清洗、无损检测	附件 检测	库房区
风扇主单元体 分解、装配区	核心机主单元体 分解、装配区	低压涡轮主单元体 分解、装配区	附件 分解 装配	
发动机 存储区	发动机整机分解、装配流水线			发动机 接收区
	办公区			

图3 移动式分解/装配工艺布局示意图

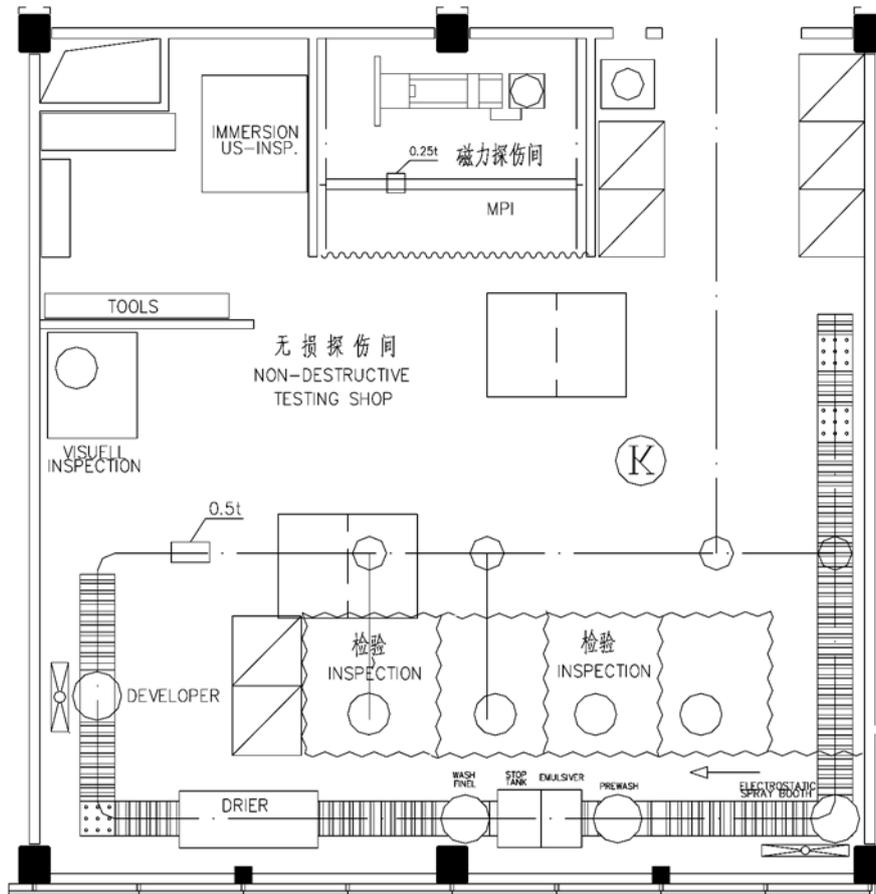


图4 典型无损探伤区模块工艺布置图

房间的火灾危险性是戊类，需要设计防腐地面和墙壁，需设计通风及污水处理设施，需设计洗眼器，用电量一般为300kW左右。图4所示为一种无损检测单元的标准设计模块。

在对各模块进行标准化的构建后，就可以针对不同发动机的维修工艺需求进行多样化的组合，形成航空发动机维修厂房工艺布局模型的快速搭建和设计。

## 5 总结

航空发动机维修设施工艺系统的设计，采用何种工艺布局模式，主要是依据维修的产品种类、维修量，不同发动机的维修工艺以及经济投入产出进行综合考虑。

民用航空发动机维修厂房的工艺布局只要是按照基本的修理流程设计，都是合理的。不同的工艺模式、布局设计与维修产品和工艺有很大关系，后者是整个设计过程的基础。但随着民用

航空发动机制造技术的不断进步，其维修技术也不断提升，需要设计更加先进的维修设施与之配套。本文对民用航空发动机维修厂房的工艺流程和布置方法进行了总结，提出了一种模块化的民用航空发动机维修厂房的设计方法，期望在民用航空发动机维修先进工艺、设备以及信息化技术进步的支撑下，形成一种实用、高效、经济、节能的维修厂房工艺布局，以适应不断发展的民用航空发动机维修市场。

## 参考文献

- [1] Frank Jackman, "MRO Market is UP And Down", Overhaul & Maintenance, 2007 (4).
- [2] 郑东良, 航空维修理论, 国防工业出版社.
- [3] 发动机装配与试车 航空制造工程手册, 航空工业出版社.

# 航空工业热处理的现状和展望

■ 姜煜霞 孙黎 张萌 [工艺]

**摘要:** 在航空工业中,热处理在零件制造过程中是非常重要的环节,直接影响航空产品质量。本文对航空工业中热处理技术、设备、车间建设现状进行了分析,在此基础上展望上述三个方面的未来的发展趋势。

**关键词:** 航空工业;热处理;热处理车间

## 0 前言

在航空工业中,热处理对于零件加工和制造具有重要的意义,直接影响到零件的使用寿命、理化性能、组织结构等,属于修炼内在的工序,该工序在航空产品制造中的地位不言而喻。近年来,航空工厂越来越认识到热处理对航空零件性能的重要性,相应的在技改中加大了对热处理工艺的投入,因此在热处理工艺技术、设备、车间建设方面均取得了长足的进步。

## 1 航空工业热处理现状

### 1.1 热处理工艺技术现状

真空热处理技术方面,航空工厂近年来积极采用先进的热处理技术。真空热处理技术应用越来越广泛,真空热处理工艺占热处理量的1/3以上。真空加压气淬工艺在不锈钢、高温合金、钛合金以及部分结构钢零件的热处理中均发挥了重要作用。

化学热处理技术方面,可控渗碳逐步代替传

统滴注渗碳,通过碳势传感器和碳控仪进行碳势控制,提高渗碳控制精度,通常采用氧探头、红外仪、电阻探头等控制;精密渗氮工艺已成熟应用,氢探头或氢分析仪控制渗氮迅速发展,实现精密渗氮。

热处理质量控制方面,航空工业最先制定了热处理全面质量控制方面的专业标准《HB5354 热处理工艺质量控制》,实行热处理全面质量控制,同时贯彻实施美国宇航材料规范“AMS 2750D 高温测量”标准(“AMS 2750D 高温测量”标准已于2012年7月正式发布,目前还处于强制执行阶段。该标准已成为世界各国热处理行业关注并采纳实施的标准)。

热处理技术标准方面,航空热处理标准化体系更完整和先进,完善了各种航空材料热处理工艺标准和热处理质量检验标准,制定了真空热处理、氮基气氛保护热处理等新工艺标准。现有航空热处理标准50余项,形成了完整的标准体系。

### 1.2 热处理工艺设备现状

航空工厂热处理车间经过各项技改,通过更新、替换或改造,主力热处理设备逐渐更新。普通电炉在温均匀性、控温能力、仪表智能化等各方面均有提升。真空热处理设备数量以每年30%

作者简介:姜煜霞,女,高级工程师,2009年毕业于北京航空航天大学材料学专业,现就职于航空工业规划动力技术研究院。

左右的速度递增。可控气氛氮化炉设备数量每年新增5—10台,淘汰传统老旧氮化设备。真空渗碳炉、离子氮化炉等设备也逐渐应用。铝合金热处理以空气循环电炉代替硝酸盐。

在热处理辅助设备方面,目前大部分厂所已采用室内排放型吹砂机替代室外排放型吹砂机,但由于投资不足,除尘效果欠佳导致室内排放效果较差。清洗设备方面,极少数工厂开始重视清洗设备,采用真空清洗机、溶剂清洗机等,但是大部分厂所仍保留手工汽油清洗、化学清洗线等传统清洗方式。

### 1.3 热处理车间建设现状

近年来大部分航空工厂通过搬迁、新建或改造,热处理厂房面积均有不同程度的增大。从生产线布局角度,目前航空工厂生产线设置主要采取单纯的机群式布置形式,车间工艺布局则主要以工艺原则集中布置。

从生产控制角度,少数航空厂所引入热处理计算机集中监控及管理系统,通过对现有热处理设备增加带有串行通信口的智能温控仪表、无纸记录仪表,采用高精度智能采集模块进行信息传输和炉温控制,实现计算机和各仪表间的双向数据传输,对各设备实施集中监控。但是大部分热处理车间仍处于设备单独控制,尚未实现车间整体集中监控。

## 2 航空工业热处理发展展望

### 2.1 热处理工艺技术发展趋势

未来航空工业热处理技术发展趋势主要为真空热处理技术、特种可控气氛热处理技术、多功能复合化学热处理技术。其中,真空热处理技术的重点发展方向为真空加压气淬、真空化学热处理、真空功能热处理、真空气氛热处理。特种可控气氛热处理的主要发展方向为精密渗碳和精密渗氮技术、钛合金真空离子渗氮技术等。多功能复合化学热处理技术主要为多种热处理工艺复合处理,达到对零件的最强强化效果,如离子-气体复合深层渗氮或渗碳加渗氮工艺,通过离子渗氮有效去除不锈钢、高合金钢表面钝化膜,加速渗氮;通过气体渗氮精确控制氮势,提高硬度和氮势均匀性。

### 2.2 工艺设备发展方向

未来航空热处理设备主要从如下几个方面

发展:对于普通电炉等设备,着重提高自动化水平,降低热处理工人劳动强度。对于化学热处理设备,着重提高控制精度,开发复合化学热处理设备,提高热处理质量。真空热处理设备,将向着高度集成化、柔性化的方向发展,形成柔性热处理生产线,提高效率。热处理辅助设备则主要向清洁高效的方向发展,如采用自动吹砂设备、自动清洗机等先进环保设备,改进淬火槽、实现淬火槽油烟收集净化功能。

### 2.3 热处理车间建设展望

未来的航空热处理车间主要向绿色清洁、高效智能的方向发展。在先进工艺和工艺设备发展的基础上,通过采用真空热处理工艺、可控气氛热处理技术、环境友好型清洗工艺等先进工艺及相应的先进设备,以及环保节能的专业设计方案实现绿色清洁;通过采用高效集成的热处理生产线实现高效生产和自动化;通过热处理计算机集中监控及管理系统等方式实现车间的数字化管控;在上述基础上,打破现有机群式布置模式,进行柔性车间布局,并在此基础上建立智能化热处理车间。

## 3 结束语

航空工业热处理技术正处于迅速发展时期,新技术新工艺不断被研究和应用,相应的对热处理工艺设备和车间建设提出更多需求,从工艺规划设计的角度,应随时掌握热处理新工艺、新设备动向,并将之与车间设计相结合,为建设绿色清洁、高效智能的航空工业热处理车间奠定基础。

### 参考文献

- [1] 莫龙生.航空热处理、表面处理的现状及展望[J].材料工程,2011,06:1-2.
- [2] 孙枫,王广生,佟小军.航空工业中热处理现状和发展[J].金属热处理,2014,01:58-66.
- [3] 朱祖昌.热处理技术发展和热处理行业的市场分析[J].热处理,2013,04:11-24.
- [4] 王广生.航空热处理发展的思考[J].金属加工(热加工),2012,23:17-23.

# 某发射器脉动装配线设计及仿真验证

■ 侯康伟 李慧 张超 [工艺]

**摘要:** 脉冲移动式(简称脉动式)装配线是介于传统固定站式与连续移动式之间的一种装配形式, 站位负荷平衡问题是脉动式装配生产线设计中的关键问题之一, 其优劣程度直接影响到脉动线能否高效运转。本文利用基于改进逆向差分进化算法的装配线平衡程序, 以某发射器的装配生产线为对象, 研究了该脉动生产线的站位划分、作业分配以及站位负荷平衡的问题, 随后基于仿真软件PlantSimulation模拟计算出该脉动线的节拍、生产周期以及站位负荷率等参数。

**关键词:** 脉动装配; 站位划分; 负荷平衡; 仿真验证

## 0 引言

脉冲移动式(简称脉动式)装配线是介于固定站式与连续移动式装配之间的一种装配生产形式, 与连续移动式不同的是, 当产品装配作业进行时, 产品不发生移动, 产品的移动是按照一定节拍人为地产生移动。脉动式装配线有以下优点: 1、可以有效地缩短装配工时; 2、可以合理安排工装夹具摆放位置, 改善现场环境; 3、使装配作业标准化; 4、拉动整个生产供应链的协同工作<sup>[1]</sup>。对于国内航空制造企业多品种、小批量的装配生产特点, 显然研究脉冲移动式装配生产模式在航空制造企业的应用更具有实用意义。

不合理的站位工序分配除了造成工时浪费之外, 还可能造成大量的工序堆积, 严重时会造成整条生产线停摆。据有关资料统计, 在装配生产中, 平均有5%~10%的时间是浪费在负荷不平衡产生的生产等待中, 即使是美国这样的工业发达国家也不例外<sup>[2]</sup>。研究解决脉动式移动装配线的平衡问题, 是实现生产线高效运转, 发挥脉动式装配线优势的前提。

本文以某发射器的装配线为对象, 通过下节所述脉动线站位负荷平衡程序提出该线的站位划分以及作业分配方案, 基于该方案, 使用生产线仿真软件Plant Simulation模拟计算出改脉动线的节拍、生产周期以及站位负荷率等参数。

## 1 脉动线负荷平衡程序

### 1.1 目标函数

装配线站位负荷平衡问题是第二类生产线平衡问题, 简称ALB-II问题, 其优化目标是在给定站位数量 $m$ 和优先关系约束的条件下, 寻求最小的节拍 $C$ , 并使装配线的负荷尽可能均衡, 即各站位的工时负荷标准差最小。设定目标函数<sup>[3]</sup>如下:

装配线节拍最小化:

$$\text{Obj1: } \min c = \text{Max}(T_k), k \in (1, m) \quad (1)$$

站位负荷标准差最小化:

$$\text{Obj2: } \min S_t = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^m (T_k - \bar{c})^2}{m-1}} \quad (2)$$

作者简介: 侯康伟, 男, 工程师, 2015年毕业于北京航空航天大学固体力学专业, 现就职于航空工业规划技术院。

约束条件为:

$$S_x \cap S_y = \emptyset, x \neq y, x \in [1, m], y \in [1, m] \quad (3)$$

$$\bigcup_{k=1}^m S_k = J, \quad (4)$$

$$\forall i \in S_x, j \in S_y \text{ if } r_{ij} = 1, x \leq y \quad (5)$$

其中:

$n$  为装配线作业元素数量;

$J$  为所有装配线的作业元素集合,

$$J = \{j_1, j_2, \dots, j_n\}$$

$C$  为装配线生产节拍;

$\bar{c}$  为装配线上各工作站负荷的算术平均值;

$S_k$  为分配到第  $k$  个工作站的作业元素集合;

$T_k = \sum_{i \in k} t_i$  为第  $k$  个工作站的总作业时间;

$t_i$  为完成作业  $i$  所需的时间, 即作业元素时间;

$R = (r_{ij})_{n \times n}$  为装配作业优先关系矩阵, 当作业  $i$  为作业  $j$  的紧前工序时  $r_{ij}=1$ , 否则  $r_{ij}=0$ ;

式 (3) 约束任何作业只能分配到唯一站位上, 且只能分配一次;

式 (4) 使所有作业都分配出去;

式 (5) 表示作业顺序必须满足先后约束。

### 1.2 改进的逆向差分进化算法

装配平衡问题通常采用粒子群算法计算, 初始种群中的粒子优劣情况对粒子群算法的性能有较大影响, 仅采用普通的随机初始化方法不利于加快进化算法的收敛, 该程序采用逆向学习方法初始化粒子群<sup>[4]</sup>, 其中逆向位置定义为:

设一个  $n$  维空间中有粒子  $i$ , 其位置向量为  $x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}]$ ,  $x_{in} \in R$  且  $x_j \in [a_j, b_j] \forall j \in \{1, 2, \dots, n\}$ , 则其逆向位置为:

$$x_j = a_j + b_j - x_j \quad (6)$$

通过利用逆向点, 即使没有先验知识也能获得好的初始解。本研究中初始种群的生成步骤为:

步骤1: 随机生成初始种群  $S(P_n)$ , 种群规模为  $P_n$ ;

步骤2: 根据初始种群生成逆向种群:

$$OS_{ij} = a_j + b_j - P_{ij};$$

步骤3: 从  $\{S \cup OS\}$  集合中优选  $P_n$  个粒子作为初始种群。

标准粒子群算法中, 粒子自身历史最优位置和种群最优个体位置影响着粒子速度的更新以及位置的更新。众多研究者设计了各种种群进化算子, 如混沌扰动、差分变异等, 该程序采用逆向差分进化算法<sup>[5]</sup>使种群迭代进化, 它是一种简

单有效的全局优化算法<sup>[6]</sup>, 完全摒弃粒子速度概念, 算子直接对粒子位置发生作用。经典差分算法包括变异、交叉和选择算子, 如下介绍。

### 1.3 算法流程

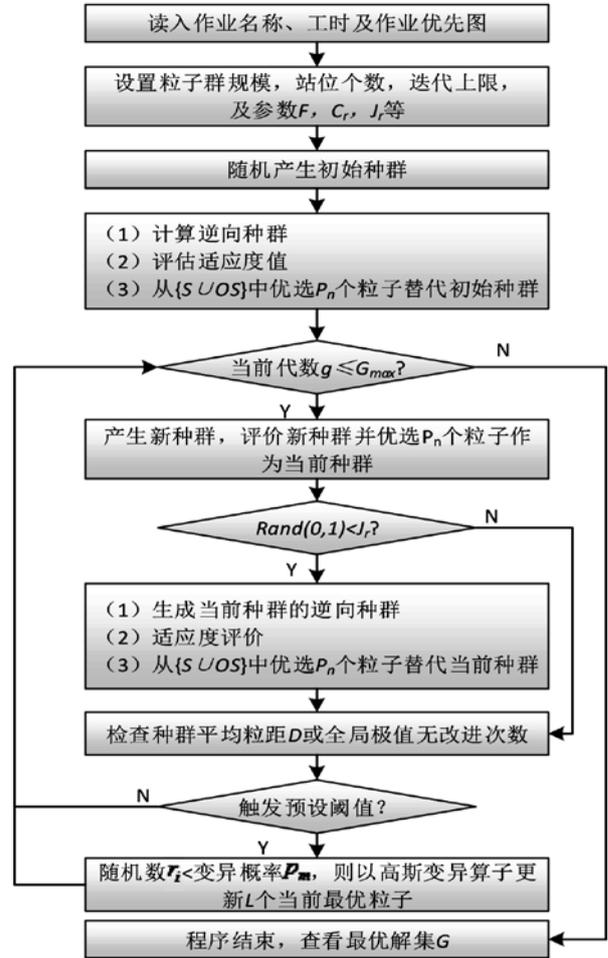
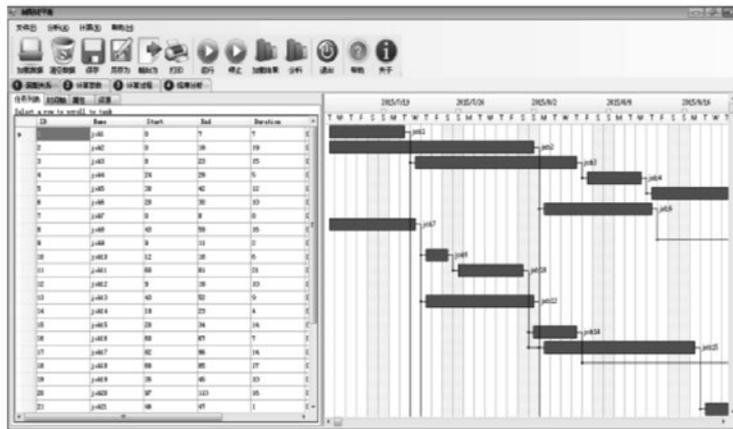


图1 算法流程

该逆向差分进化算法流程见图1, 在一次进化中, 通过变异、交叉、选择算子后, 由逆向种群生成拓展搜索范围, 通过定期的观察种群进化情况对种群施加高斯变异扰动, 增强了种群的全局寻优能力。

### 1.4 程序实现

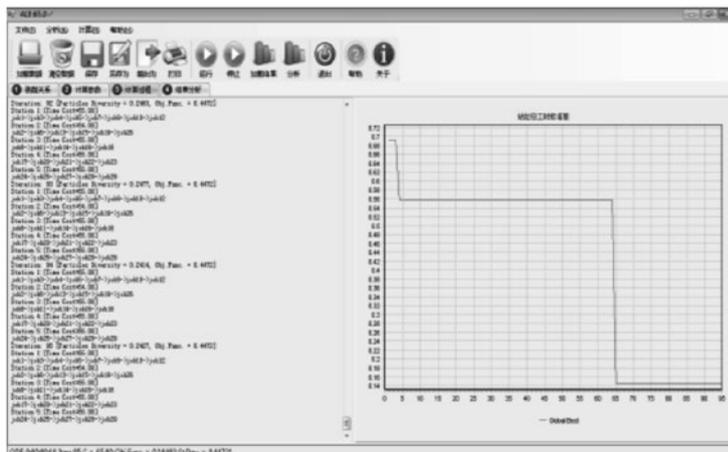
该程序是由中国航空规划设计研究总院设计并开发, 用于研究脉冲移动式装配线的站位负荷平衡问题。程序是基于改进逆向差分进化算法的装配线平衡程序, 可以实现载入问题描述数据后的甘特图自动绘制, 在用户设定站位数量及计算参数后, 即可点击运行按钮。程序计算完成后, 程序界面上将给出站位应分配的作业元素, 见图2。



(a)甘特图绘制



(b)计算参数设置



(c) 计算过程

图 2 装配线负荷平衡程序

使用该程序计算Buxey问题和Scholl问题集<sup>[7]</sup>, 测试结果表明, 该程序可以比较有效地解决ALB-II问题。

对于设施规划领域而言, 研究ALB-II问题更为贴近实际需求: 根据需求方提供的生产纲领

及产品的装配优先图和各作业元素工时, 通过装配线平衡设计, 分析得出合理的工作站数量和工作站作业元素分配, 从而确定后续的工艺设计和其他专业设计奠定基础。

## 2 脉动线设计

### 2.1 生产现状

通过对某型发射器装配生产线的调研了解, 该装配生产线目前采用传统固定式装配生产线。其主要缺点有: 1、产品在固定的工位完成所有装配工作, 装配项目和过程繁杂, 需要配备多套生产工装, 占用较多的生产区域; 2、由单人或同一班组完成所有工序的装配工作, 对装配人员要求较高, 由于不同操作人员对产品装配过程的理解存在差异, 操作技能水平参差不齐, 导致产品装配质量不稳定; 3、自动化水平低, 装配过度依赖于操作人员的经验技能, 致使工艺管理水平无法提升; 4、工艺水平提升困难, 装配生产周期长。

### 2.2 工时数据

该发射器的装配可以分解为31道工序, 具体见表1, 通过分析各工序的紧前紧后关系以及工序时间, 可以找到该装配流程的关键路径上的各工序, 见表2。整个过程的作业优先关系见图3。

### 2.3 站位划分

本文对该关键路径进行脉动式生产线站位划分分析, 获得不同站位个数下的生产节拍, 以及工序分配情况。根据关键路径的定义可知, 该路径上工序的总时长即该发射器装配的总工时, 由表2可知, 该武器发射器的装配总工时为 $\sum t_i = 1090\text{min}$ , 平均工时为 $\bar{t} = 53.4\text{min}$ 。同时, 观察表2可得该关键路径的瓶颈工序为JOB13, 工时为

125min, 可以得知, 装配线中无论设置多少个站位, 生产节拍都一定大于125min, 反过来说, 站位个数的设置不能超过8个。

### 2.4 计算分析

本文中设置站位个数为2~8个, 将关键路径

表1 装配工时表

编号	名称	时间(min)	紧前工序
1	JOB1	40	/
2	JOB2	80	/
3	JOB3	120	/
4	JOB4	40	/
5	JOB5	20	/
6	JOB6	200	/
7	JOB7	45	/
8	JOB8	3	7, 1
9	JOB9	25	8
10	JOB10	35	9
11	JOB11	18	10, 2
12	JOB12	96	11
13	JOB13	125	12
14	JOB14	72	13, 5, 6
15	JOB15	5	14
16	JOB16	100	15, 4
17	JOB17	78	16
18	JOB18	75	17
19	JOB19	21	18, 3
20	JOB20	58	19
21	JOB21	96	20
22	JOB22	117	21
23	JOB23	72	/
24	JOB24	78	23
25	JOB25	90	24
26	JOB26	23	25
27	JOB27	25	26
28	JOB28	8	27
29	JOB29	26	22, 28
30	JOB30	8	29
31	JOB31	87	30

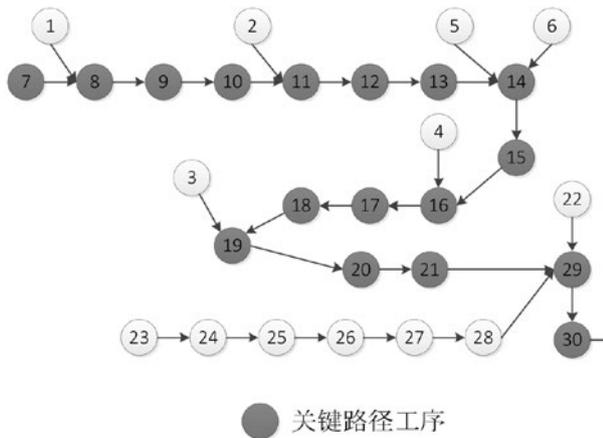


图3 装配优先关系图

中的工序工时、以及优先关系数据整理成输入文档，导入前文所述的程序中，通过计算，记录不同工作站位数量下工序的分配方式，以及站位负荷标准方差，记录结果见表3。

表2 关键路径工时表

编号	名称	时间 (min)	编号	名称	时间 (min)
1	JOB7	45	11	JOB17	78
2	JOB8	3	12	JOB18	75
3	JOB9	25	13	JOB19	21
4	JOB10	35	14	JOB20	58
5	JOB11	18	15	JOB21	96
6	JOB12	96	16	JOB22	117
7	JOB13*	125	17	JOB29	26
8	JOB14	72	18	JOB30	8
9	JOB15	5	19	JOB31	87
10	JOB16	100			

表3 不同站位数的计算结果

站位个数	各站位工时数 (min)	实际节拍 (min)	站位负荷标准差
2	524、566	566	29.7
3	347、351、392	382	24.9
4	222、302、328、238	328	50.6
5	222、197、183、250、238	250	27.8
6	222、202、178、154、213、121	222	38.7
7	126、96、202、178、154、213、121	213	43.9
8	126、96、125、177、174、154、151、87	177	33.6

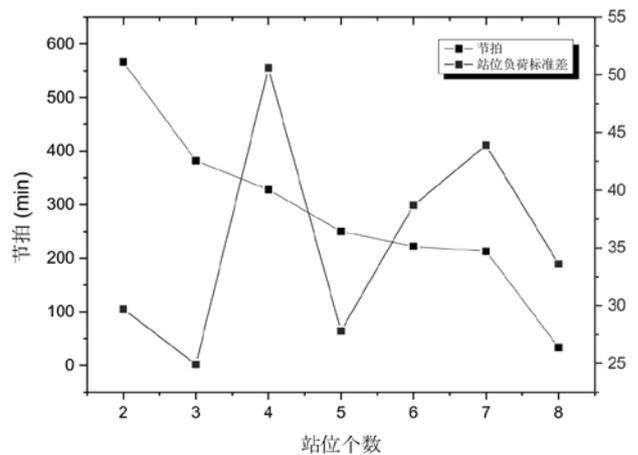


图4 节拍与站位负荷随站位个数变化趋势

站位负荷标准差可以体现出各站位之间负荷平衡情况，标准差越小则站位负荷平衡性越高。将表3中的结果，以站位个数为横坐标，生产节拍和站位负荷标准差为纵坐标绘制折线图，见图

表4 不同站位作业分配表

工作站序号	站内作业元素	工时
1	JOB7、JOB8、JOB9、JOB10、JOB11、JOB12	222
2	JOB13、JOB14	197
3	JOB15、JOB16、JOB17	183
4	JOB18、JOB19、JOB20、JOB21	250
5	JOB22、JOB29、JOB30、JOB31	238

4. 随着生产线作业站位个数的增加, 生产节拍单调递减。站位负荷标准差与站位个数之间无明显规律, 当站位个数为3的时候, 站位负荷标准差达到最小值24.9, 此时各站位负荷平衡性最高。当站位个数大于3的时候, 生产节拍会进一步减小, 但是站位负荷标准差却会明显增加。当站位个数为5时, 站位负荷标准差值仅次于3个站位, 且相差幅度很小, 而生产节拍相比于3个站位却有了显著地降低。若只以生产节拍最小化为优化目标, 则无法有效地考虑站位负荷平衡性, 这对于脉动式生产线来说弊大于利。因此, 综合考虑生产节拍与站位负荷平衡性, 本文将该发射器装配生产线的站位个数设置为5个, 经过负荷平衡后的各站位内作业元素分配及工时数见表4, 各站位内工作元素工时分布见图5。

为了保证关键路径脉动式生产线的流畅性, 除了关键路径之外的工序可以根据特点分为两种工作形式, 以并行工作的方式加入各工作站中,

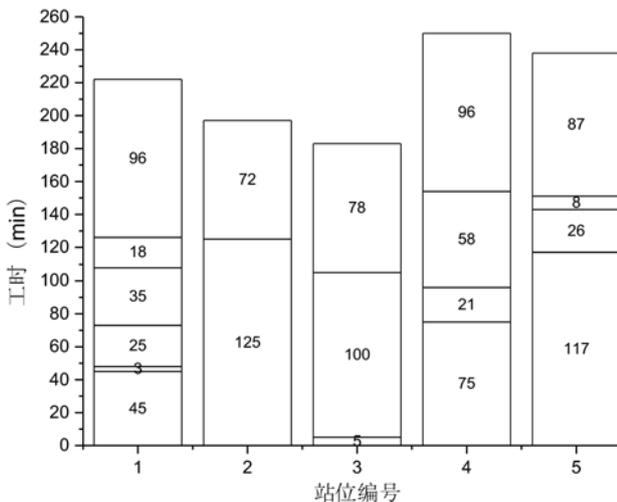


图5 不同站工时分配情况

或者作为外部供应, 以准时配送的方式输送到移动脉冲式装配线中。

### 3 仿真计算

#### 3.1 仿真软件

西门子公司的Plant Simulation软件, 是典型的面向对象的仿真软件, 具有很好的易用性、灵活性和开放性, 能够分析和优化生产线的多种性能指标, 帮助用户评价规划方案。根据装配平衡方案、工序工时、工序之间的优先关系以及各工序所需的物料等装配相关信息建立仿真模型, 主要是用于分析生产线的装配周期、年产量、站位利用率以及装配线平衡率等。

#### 3.2 仿真模型

依据第2节中的装配工序工时信息、工序之间的优先关系以及装配平衡方案等, 建立该脉动式装配线的仿真模型, 见图6。模型包含5个站位, 每个站位工序分配见表4, 各站位中均增加接受和移交工序, 分别为15min和20min, 用于各站位间工作的交接。仿真过程中, 全年工作日按250天计算, 生产按照1班制(8小时/天)进行。仿真运算考虑屏蔽预热期对最终结果的影响。具体措施为: 先运行一段时间认为模型运行达到稳态, 记录下该时段末的产品产量; 再继续运行至停止, 记录下总时段末的各产品产量, 最终两者求差值得到仿真模型运行250天后的产量。

#### 3.3 结果输出

仿真结束后, 可以输出仿真结果, 指导设计者对其进行分析。本次仿真的主要输出包括装配周期、年产量、站位利用率、平均等待时间、装

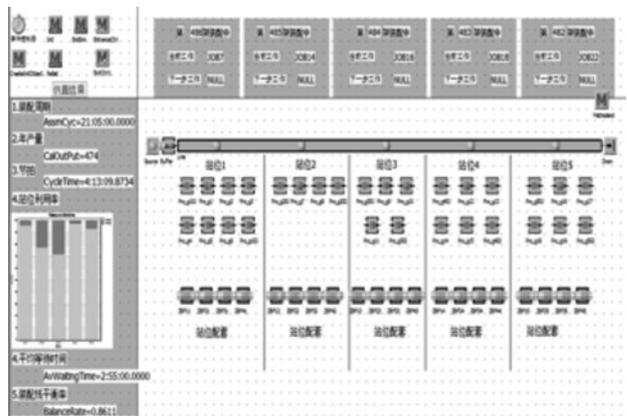


图6 仿真模型图

表5 各站位利用率统计

序号	站位利用率
站位1	95.5%
站位2	77.6%
站位3	72%
站位4	98.1%
站位5	93.2%

配线平衡率等。

1) 装配周期。本次仿真得到一件产品的装配周期为1265min, 即一件产品在装配线上的时间为21h5min。

2) 年产量。以250天作为年时基数来算, 该产品装配线的年产量为474件。

3) 站位利用率。各站位的利用率见表5。

4) 平均等待时间。一件产品的等待时间为175分钟, 该时间即一件产品在线上的平均等待时间。

5) 装配线平衡率。该装配线的平衡率为86.11%, 计算公式为: 装配线平衡率=产品装配周期/(站位个数×节拍)。该参数的大小体现了脉动装配线各站位间负荷的均衡性, 平衡率越高说明各站位间负荷的均衡性越好, 反之越差。

从仿真结果可以看出站位4的负荷接近满负荷, 成为该脉动线的瓶颈所在。设计应以工艺优化作为重点, 调整各站位间的任务分配, 降低瓶颈站位负荷率, 提升装配线整体的平衡率。限于文章篇幅, 本文不作进一步阐述。

## 4 总结

本文通过基于改进逆向差分进化算法的移动装配线平衡程序, 以某发射器装配生产线为对象, 研究了该脉动式装配生产线设计中的站位划分、作业分配以及站位负荷平衡情况。站位划分方案确定之后, 通过生产线仿真软件Plant Simulation对该方案进行模拟计算, 输出生产节拍、周期以及站位利用率等参数, 用于进一步指导脉动线的设计。

### 参考文献

[1] 陈绍文 精益制造和飞机移动式装配线 航空制造技术2011-16:34-37.

[2] 罗振壁, 朱耀祥, 张书桥. 现代制造系统[M]. 北京: 机械工业出版社. 2004.

[3] 周金平. 生产系统仿真[M]. 北京: 电子工业出版社. 2011: 109-110.

[4] 高卫峰, 刘三阳, 焦合华 等. 引入人工蜂群搜索算子的粒子群算法[J]. 控制与决策, 2012, 27(6): 833-838.

[5] R. Storn, K. Price. Differential evolution—a Simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces[J]. Journal of Global Optimization, 1997, 11: 341-359.

[6] K. Price, R.M. Storn, J.A. Lampinen, differential evolution: a practical approach to global optimization(Natural ComputingSeries)[M]. Springer, 1st Edition, 2005, ISBN: 3540209506.

[7] Blum, Christian. Iterative beam search for simple assembly line balancing with a fixed number of work stations[J]. Statistics and Operations Research Transactions, 2011, 35(2): 145-164.

# 结冰风洞及其云雾环境模拟系统分析

■ 白鹏博 张明哲 [工艺]

**摘要:** 结冰风洞是飞行器结冰和防冰研究的主要地面试验设备, 结冰风洞所需配套系统极为复杂, 国内对结冰风洞的研究开展较晚、成果较少。本文结合相关试验标准对结冰风洞的主要试验指标进行了分析阐述, 并介绍了结冰风洞所需的配套设备; 对结冰风洞中云雾环境模拟系统进行了初步设计; 为结冰风洞及其配套设备的设计提供参考。

**关键词:** 结冰风洞; 结冰试验; 冰云模拟系统

## 0 引言

飞行器在大气中飞行时, 可能会遇到过冷水滴、冰晶等云雾环境, 飞行器在此类云雾环境中可能在表面结冰, 并逐渐堆积。飞行器结冰会影响到关键部件如机翼、尾翼前缘、发动机进气道、空速管等设备的正常工作, 给飞行器带来严重安全隐患。因此中国民用航空规章第25部: 运输类飞机适航标准 (CCAR-25-R3) 以及GJB241-2010《航空涡轮喷气和涡轮风扇发动机通用规范》等对飞行器及发动机的结冰试验提出了明确要求。

飞行器结冰研究试验手段可以分为飞行试验和地面试验。飞行试验包括自然结冰条件下的飞行试验、人工模拟结冰条件下的飞行试验和带冰模的飞行试验。地面试验主要指在结冰风洞中开展的试验。与其他试验方法相比, 结冰风洞试验具有经济、实用、先行、安全的突出优点, 除与常规风洞类似对流场的要求外, 结冰风洞中还试验段云雾特性提出特殊的要求。

## 1 典型结冰风洞

世界范围内结冰风洞大约有20多座, 其中最具有代表意义的是意大利航天研究中心 (CIRA) 结冰风洞。该风洞建成于2002年, 共有四个试验段: 风洞主试验段截面 $2.25\text{m} \times 2.35\text{m}$  (宽 $\times$ 高),

最大Ma数0.4, 最低温度 $-32^\circ\text{C}$ ; 第2试验段截面 $1.15\text{m} \times 2.35\text{m}$  (宽 $\times$ 高), 最大Ma数0.7, 最低温度 $-40^\circ\text{C}$ ; 第3试验段截面 $3.60\text{m} \times 2.35\text{m}$  (宽 $\times$ 高), 最大M数0.25, 最低温度 $-32^\circ\text{C}$ ; 开口试验段截面 $2.25\text{m} \times 2.35\text{m}$  (宽 $\times$ 高), 最大Ma数小于0.4。风洞模拟高度7000m, 平均水滴直径 $5\sim 300\ \mu\text{m}$ 。风洞具有发动机进气道模拟系统, 流量范围 $1.5\sim 55\text{kg/s}$ 。试验段壁面透光率达到80%, 便于结冰试验观察。该风洞的气动轮廓见图1。

CIRA的结冰风洞试验速度范围宽, 雷诺数范围大, 既可以满足结冰试验研究外, 又可以进行常规气动试验, 使该风洞具有很强的综合试验能力。

## 2 结冰风洞主要参数

结冰风洞主要用于模拟飞行器在大气中飞行时遇到的积冰环境, 因此结冰风洞的主要参数包括以下几项:

(1) 试验段尺寸: 试验段尺寸根据被试件确定; 大型结冰风洞试验段尺寸在3m量级, 可对机翼模型、机身模型等进行结冰试验, 如CIRA的结冰风洞、中国空气动力研究与发展中心的结冰风洞等; 小型结冰风洞试验段尺寸一般在500mm左右量级, 可对飞行器空速管等设备进行结冰试验, 如BFGoodrich的结冰风洞;

(2) 试验段最大风速: 结冰风洞多为亚音速风洞, 最大风速大部分在 $200\text{m/s}$ 左右, 如中国空气动力研究与发展中心的3m风洞最大风速为

作者简介: 白鹏博, 男, 助理工程师, 2015年毕业于北京航空航天大学人机工效与环境控制专业, 现就职于中航工程集成设备有限公司。

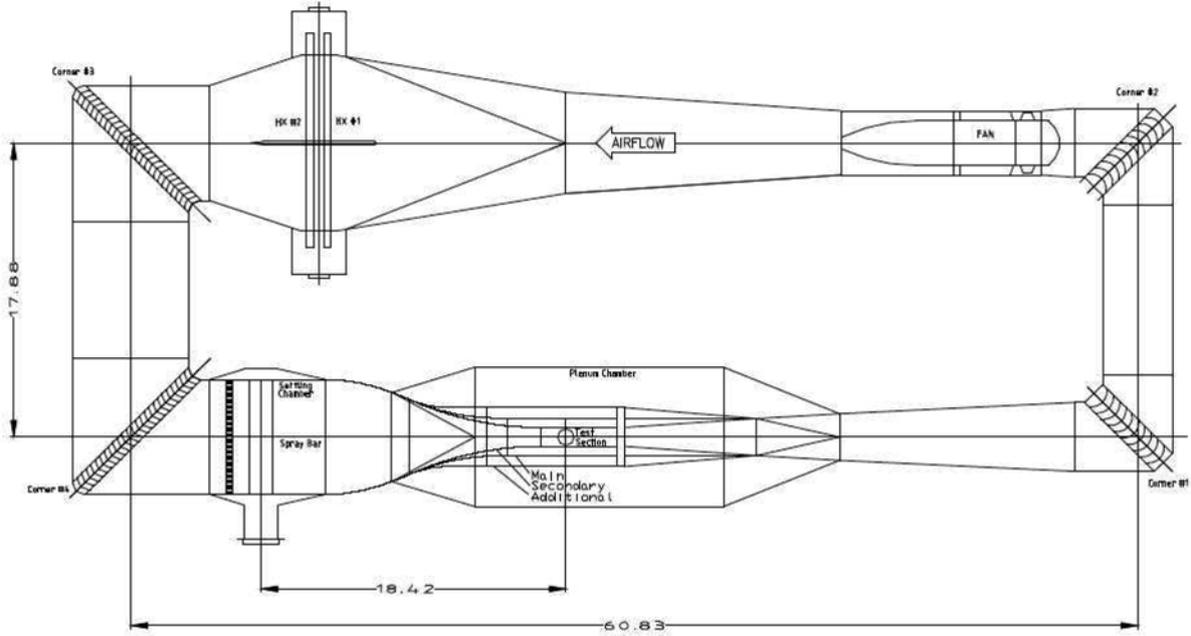


图1 CIRA结冰风洞气动轮廓图

210m/s、CIRA最大Ma数为0.7；BFGoodrich冰风洞最大风速约为100m/s；

(3) 试验段气流温度：根据适航标准规定，结冰试验气流最低温度为 $-30^{\circ}\text{C}$ ，一般结冰风洞可实现 $-35^{\circ}\text{C}$ 甚至达到 $-40^{\circ}\text{C}$ ；

(4) 高度模拟：根据适航标准及大气环境研究，一般结冰环境存在的高度为7000m，因此结冰风洞一般具备模拟7000m海拔高度的能力；

(5) 云雾参数：根据适航标准给定，飞行器结冰试验的液态水含量范围是 $0.2\sim 2.8\text{g}/\text{m}^3$ ，液滴平均粒径为 $15\sim 50\mu\text{m}$ 。

### 3 结冰风洞主要配套设备

根据第二节中介绍的结冰风洞主要参数，可以确定结冰风洞所需的配套设备：

(1) 风洞洞体：风洞洞体是构成结冰风洞的主体部分，承载了风洞气动设计，是满足风洞气动参数需求的关键因素。考虑到结冰风洞的特殊运行工况，在风洞洞体设计中需采用保温和防腐措施，对洞体采取防/除冰措施；洞体壳体可采用耐低温钢材；在试验段等水雾较多的部位可采用304不锈钢。

(2) 风机系统：由于气流与洞体壁面的摩擦损失、在扩散段内的流动损失、经过模型时的损失等原因，气体压力和能量会随之降低，为保持试验

段气流的流速，就需要部段补充能量。风机系统的作用是为风洞提供运行的动力，驱动气流以稳定的状态在洞体内持续流动，它是风洞的关键部件，直接关系到风洞能否达到设计的试验风速。

(3) 制冷系统：由于结冰风洞内空气最低温度可达 $-40^{\circ}\text{C}$ ，因此必须配置制冷系统。制冷机组可采用双机双级或复叠式制冷机组，满足不同试验温度的需求；制冷系统可采用制冷机组结合载冷剂系统的方式，满足风洞关于温度控制的需求。

(4) 抽真空系统：抽真空系统的作用主要包含两个方面，一是为模拟高空低压环境，使得试验段环境达到高海拔低压低密度的要求，二是在风洞准备过程的“换气”处理中将风洞内部的空气抽出。真空泵是抽真空系统中的关键设备，可选用螺杆式真空泵或水环真空泵满足结冰风洞对低压环境的需求。

(5) 冰云模拟系统：冰云模拟系统是冰风洞的关键设备之一，该系统主要通过两相流喷嘴在冰风洞中重现飞行器的结冰云雾环境；冰云模拟系统中包括水、气处理设备，满足结冰风洞中结冰试验对水质、压缩空气洁净度的需求。

(6) 测控系统：测量控制系统用于风洞运行控制、风洞试验结果测量和风洞性能测定，是风洞试验系统的重要组成部分，其主要任务是将风洞总压、静压、总温及风洞沿程运行压力、模型数据等物理量转化成电压或电流信号，再通过数据采集系

统逐个采样量化成数字信号进入计算机进行处理。

#### 4 云雾环境模拟系统浅述

根据中国民用航空规章第25部：运输类飞机适航标准（CCAR-25-R3）中对云雾参数的规定：飞行器结冰试验的液态水含量范围是 $0.2\sim 2.8\text{g}/\text{m}^3$ ，液滴平均粒径为 $15\sim 50\mu\text{m}$ 。调研市场喷雾产品，可选择空气助力雾化喷嘴实现上述液态水含量以及液滴平直直径的要求。

空气助力雾化喷嘴的示意图如下。在喷嘴内部，从液相喷孔中喷出的液体在高速气流的冲击下发生破碎，形成气液掺混的形态，该类型的喷嘴雾化效果非常好，即便是粘度比较高的液体，也可以获得很好的雾化，可以满足结冰风洞中对于云雾系统平均水滴直径的需求。

空气助力雾化喷嘴是满足结冰风洞对于云雾环境模拟系统平均水滴直径的关键设备，与之对应，云雾环境模拟系统需要配置压力、流量、温度可调的供水、供气系统。云雾环境模拟系统的供水、供气原理图示如下：

供水系统主要由水处理设备、稳压罐、换热器、水泵、压力传感器、流量计、温度传感器、电动调节阀等组成。供水系统通过稳压罐、水泵以及电动调节阀、传感器等测量控制供水压力及流量；通过换热器控制供水温度。供气系统主要由空压机、压缩空气罐、换热器、电动调节阀以及压力传感器、温度传感器等组成。供气系统通过稳压罐、电动调节阀、压力传感器等测量控制供气压力；通

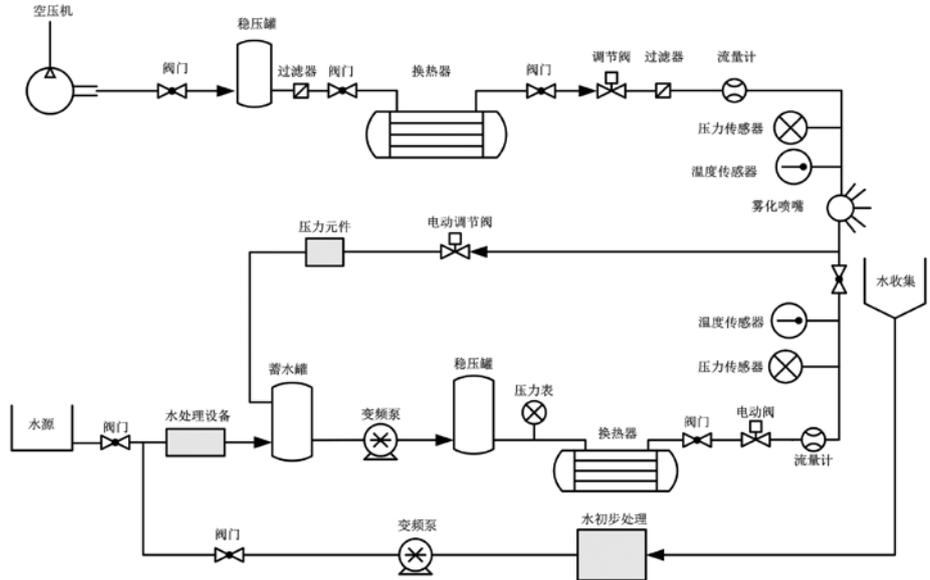


图3 云雾模拟系统工艺简图

过换热器控制供气温度。

#### 5 结束语

本文对结冰风洞的主要参数进行了浅述，并讨论了满足各项指标所需的配套设备；针对结冰风洞中的云雾环境模拟系统，探讨了一种供水、供气系统设计方案，可供结冰风洞的设计进行参考。

#### 参考文献

- [1] 胡站伟；结冰风洞云雾参数变化规律初探[D]；中国空气动力研究与发展中心硕士论文，2009。
- [2] 中国民用航空总局；中国民用航空规章第25部：运输类飞机适航标准（CCAR-25-R3）[S]；中国民用航空总局，2001。
- [3] 中国人民解放军总装备部；GJB241-2010《航空涡轮喷气和涡轮风扇发动机通用规范》[S]；中国人民解放军总装备部，2010。
- [4] 战培国；国外结冰试验研究平台综述[J]；飞航导弹，2016。
- [5] 刘政崇，彭强等；3m×2m结冰风洞设计总体初步方案[C]；中国航空学会2007年学术年会。
- [6] 战培国；结冰风洞研究综述[J]；实验流体力学，2007年9月3期。

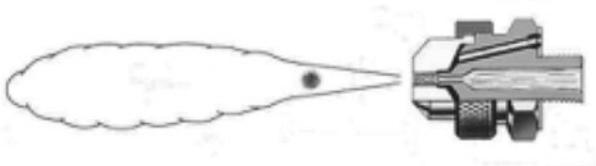


图2 空气助力雾化喷嘴示意图

# 疫苗中试车间工艺设计分析

■ 杨勇 张垚 暴学奇 [工艺]

**摘要:** 疫苗作为人类预防疾病的最有效的手段受到各国的高度重视,疫苗研发和中试需要高度安全的环境。结合WHO和美国NIH法规的要求,本文提出疫苗研发中试车间的“模块化”设计方式,即按照工艺流程的特点分成若干制作区域,既能保证生物安全的要求,又能兼顾研究的灵活性,极大节省工程建设的投资。工程设计考虑人员、物料、空调等系统的严格设置,满足生物安全的要求。

**关键词:** 疫苗;中试车间;工艺设计

## 0 引言

用人工免疫方法预防和控制传染病,是人类在同传染病作斗争中所取得的最为突出的成就<sup>[1]</sup>。近年来,国内外制药公司纷纷大力进行新疫苗的研发,取得了不少成绩。从研发到产业化生产,中间需要进行中试放大研究,摸索参数,积累经验,降低企业产业化生产风险,缩短产品上市周期。

我公司具有四十年制药工程设计经验,熟悉国内外疫苗工程设计,对于疫苗中试已有数个成功的工程化案例。本文将分析疫苗中试车间设计中需要考虑的工艺流程、工艺平面布置、人物流设计、生物安全、通用性和灵活性的要求,对中试车间的设计进行归纳,和大家分享。

## 1 疫苗的分类和生物安全要求

### 1.1 疫苗的分类

国内疫苗中试涉及的疫苗从工程设计上通常包括:病毒性疫苗、细菌性疫苗、基因工程疫苗等。病毒性疫苗代表的有:麻风腮系列疫苗、水

痘疫苗、狂犬疫苗、轮状病毒疫苗、流感疫苗、脊髓灰质炎疫苗等;细菌性疫苗代表有:百白破系列疫苗、肺炎、卡介苗、多糖疫苗、各种结合疫苗等;基因工程疫苗代表有:乙肝疫苗、丙肝疫苗、戊肝疫苗等。

### 1.2 疫苗的生物安全要求

根据美国国立卫生研究院(NIH)与《微生物学和生物医学实验室的生物安全》(BMBL)定级及我国《人间传染的病原微生物名录》进行分类,上述的疫苗大部分为生物安全二级的,因此其中试车间有毒(菌)功能间设计为生物安全二级,虽然目前规范,如《实验室生物安全手册》(WHO,第三版)对于生物安全二级无论从空调的排风过滤、空气循环、压差等均无特殊要求<sup>[2]</sup>,但是考虑到中试产品不确定性以及中试多产品共厂房等特点,其相应的配套设施需要提高标准进行设计。

## 2 疫苗中试涉及疫苗的工艺流程

### 2.1 工艺流程

以病毒性疫苗灭活疫苗为例,中试研究是指研究者在完成了病毒死疫苗、亚单位疫苗小量工

作者简介:杨勇,男,高级工程师,2000年毕业于华东理工大学制药工程专业,现就职于航空工业规划医药工程设计研究院。

艺研究的基础上,以15L或3L转瓶、生物反应器为细胞培养容器对小型实验规模进行50100倍的中试放大。主要工序由细胞复苏、孵室、细胞操作室、毒种复苏室、病毒罐培养、病毒灭活前纯化、病毒灭活后及精纯等工序组成。

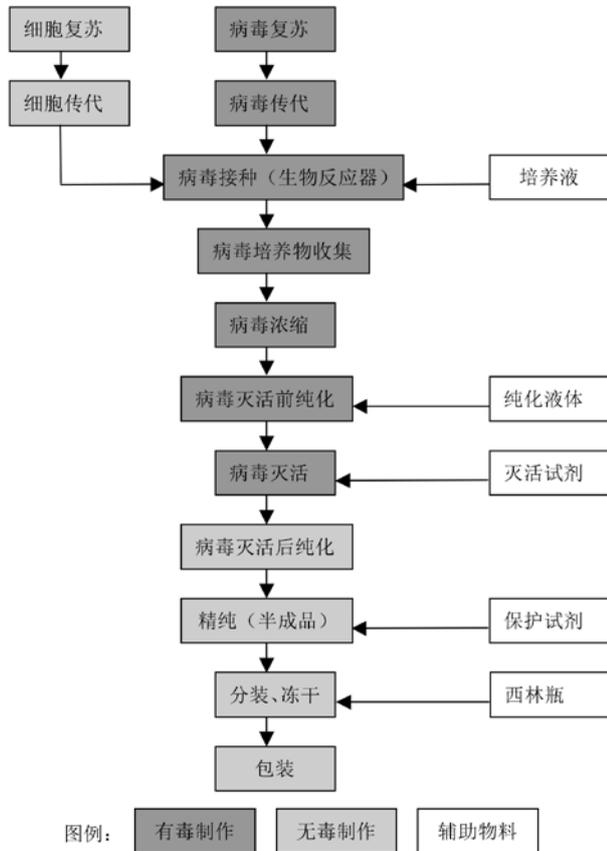


图1 病毒性灭活疫苗工艺流程框图

## 2.2 流程分析

病毒性灭活疫苗的流程从图1中可以看到,病毒性灭活疫苗可以分为无毒的细胞复苏区、有毒的疫苗培养和收获区域、有毒的纯化区域、无毒的灭活后纯化区域和无毒的分装、冻干和包装区域的。病毒性活苗、细菌性疫苗和基因工程疫苗有相应的流程划分,只是有毒(菌)区域在流程中不同阶段而已,处理其操作的单元均可归纳为有毒(菌)操作区、无毒操作区和配套的无毒清洗区等。不同的操作区域设置相应的净化级别功能间。

## 3 疫苗中试的工艺设计和生物安全控制

### 3.1 设计理念

WHO生物安全手册制订了生物安全实验室

的相应操作规范,但是实验过程检测的体积很小,而且大部分涉及到开放处理危害介质的工作都是在生物安全柜(BSC)中进行的<sup>[2]</sup>。

对于疫苗中试车间,生物安全性的危害风险通常与实验室相比来说风险要高一些,因为实际处理的体积较大,并非所有的工艺步骤都是在密闭系统或生物安全柜中进行操作的。因此,与二级生物安全实验室相比,生物安全二级的中试车间设施需要额外的保护。设计遵从如下原则:

- (1) 有毒无毒严格分区;
- (2) 仅通过气闸进入有毒区;
- (3) 有毒区和无毒区之间人员的走动须更衣;
- (4) 有毒间的送风和排风通过高效空气过滤器;
- (5) 与大气压相比,有毒间禁止超压(有毒间的压差应 $\leq$ 大气压);
- (6) 各种废弃物的灭活处理(包括废水)。

### 3.2 工艺平面概念布置

企业对于疫苗中试车间具有多品种的要求以及中试产品的不确定性等。具体工艺布置设计时,采用国际上常用的“模块化”设计模式,即按照工艺流程的特点分成若干生产制作区域<sup>[3]</sup>。对于疫苗中试车间设计,可以布置为图2的模式,依次并列布置若干的无毒(菌)生产区、有毒(菌)生产区等,各区可以共用清洗辅助区、配液区等。这种设置的各个功能单元都是独立的人、物流控制,独立的空调分区设置,便于灵活运行使用。其内的设备基本都是一次性的或可移动的,固定的设备如发酵罐均可以CIP/SIP等,若果更换中试研究的产品则将不适合的设备推出即可,这种柔性化的设置,极大便利了疫苗产品的中试使用。

### 3.3 工艺人、物流的设置

工艺人、物流设计时,有毒区域设计采用“单向流”的模式,有毒区域的人、物先进入洁净走廊,然后进入生产区,退出时,人通过更衣后从污染走廊退出,物品经过高压后退出至污染走廊。无毒区域的人、物先进入洁净走廊,然后进入生产区,退出时人从洁净走廊退出,物品从污染走廊退出。这样的人、物流流向在工程设计上实现较为简洁,尤其是多个产品模块进行组合建设时至关重要,可以有效防止各模块之间的交叉污染。中试车间人、物流图见图3。

### 3.4 生物安全的设置

有毒(菌)废气排放处理:有毒区域的空调系统排风均需要加装高效过滤器以防止有毒

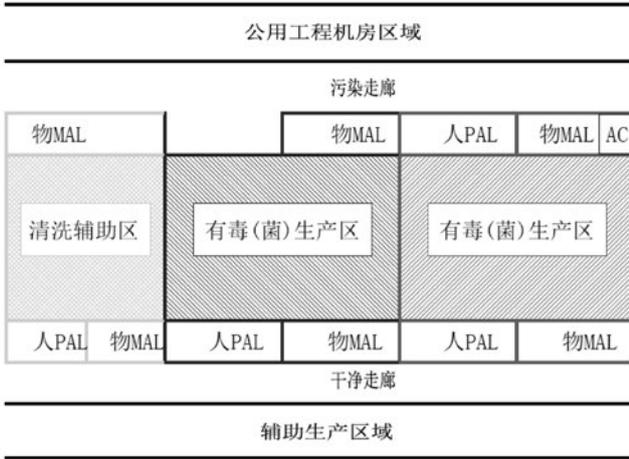


图2 中试车间布置概念图

空气外泄，这种高效可采用袋进袋出的高效过滤器，符合生物安全的要求，保证多产品时不同产品生产的安全。同时为了保证疫苗中试的生物安全和洁净要求，有毒（菌）区域独立设置空调系统<sup>[4]</sup>，并将有毒（菌）的生产区域设置为绝对负压（-15Pa）的洁净房间，见图4，其进出的人物通道均有相应的气锁设置，当然其采用的墙板材料必须具有很好的密封性能，这样既防止有毒区域的空气外泄至其他区域（包括顶棚上）又保证其生产的净化环境要求。

有毒（菌）固废、废液处理：有毒（菌）区域产生的固体废弃物和少量液体废弃物，可以通

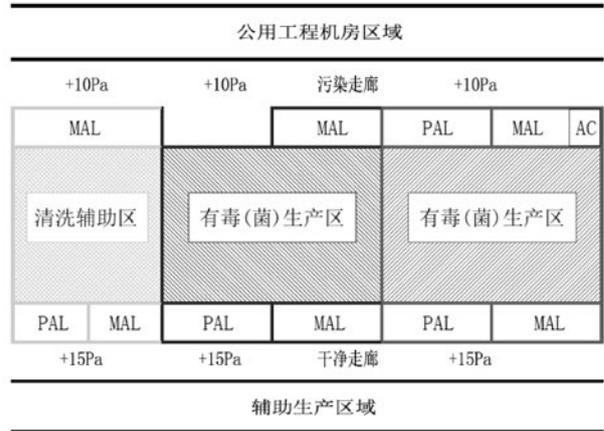


图4 中试车间压差示意图

过高压蒸汽灭菌器高压方式进行无害化处理。大量的废液则需要先收集到大罐中，然后进行蒸汽灭活处理。上述方法均符合生物安全控制要求，同时也是国家环保所要求。

### 3.5 工程案例

图五为我公司按照上述理念设计的某疫苗的中试车间案例，中试车间的布局主要由清洗配液区、若干个疫苗的发酵培养区和疫苗的纯化区组成，各个区在相似的设计理念下可以实现拼接组合，设计流线清晰、生产使用高度灵活。疫苗中试功能间内的设备可以根据疫苗研究需求柔性化配备，并且发酵区设计为C级别的，就是考虑实际中试研究中可能在本车间内研究不同疫苗产品

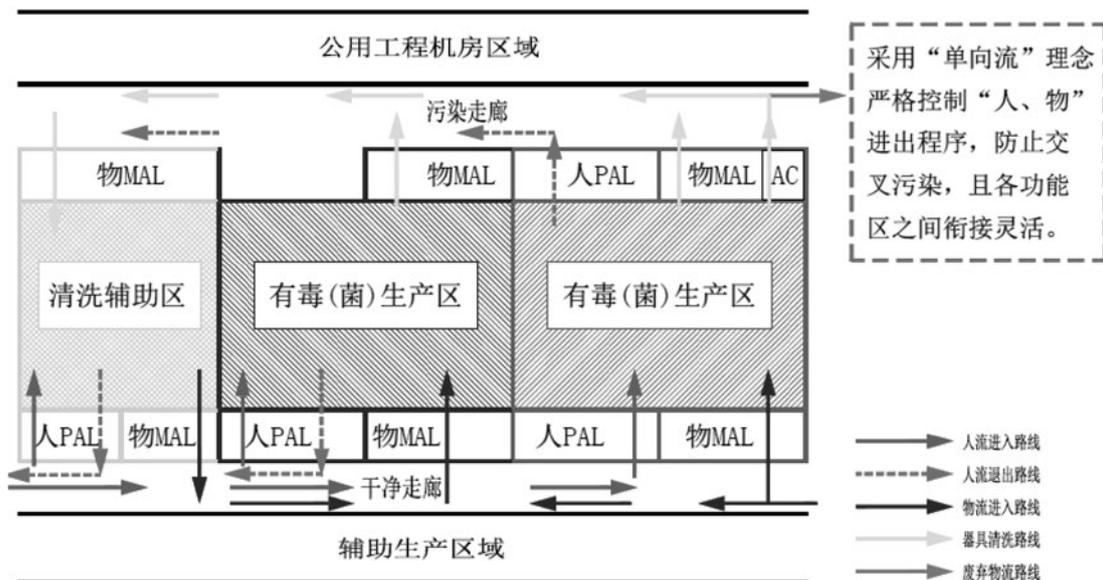


图3 中试车间人、物流图

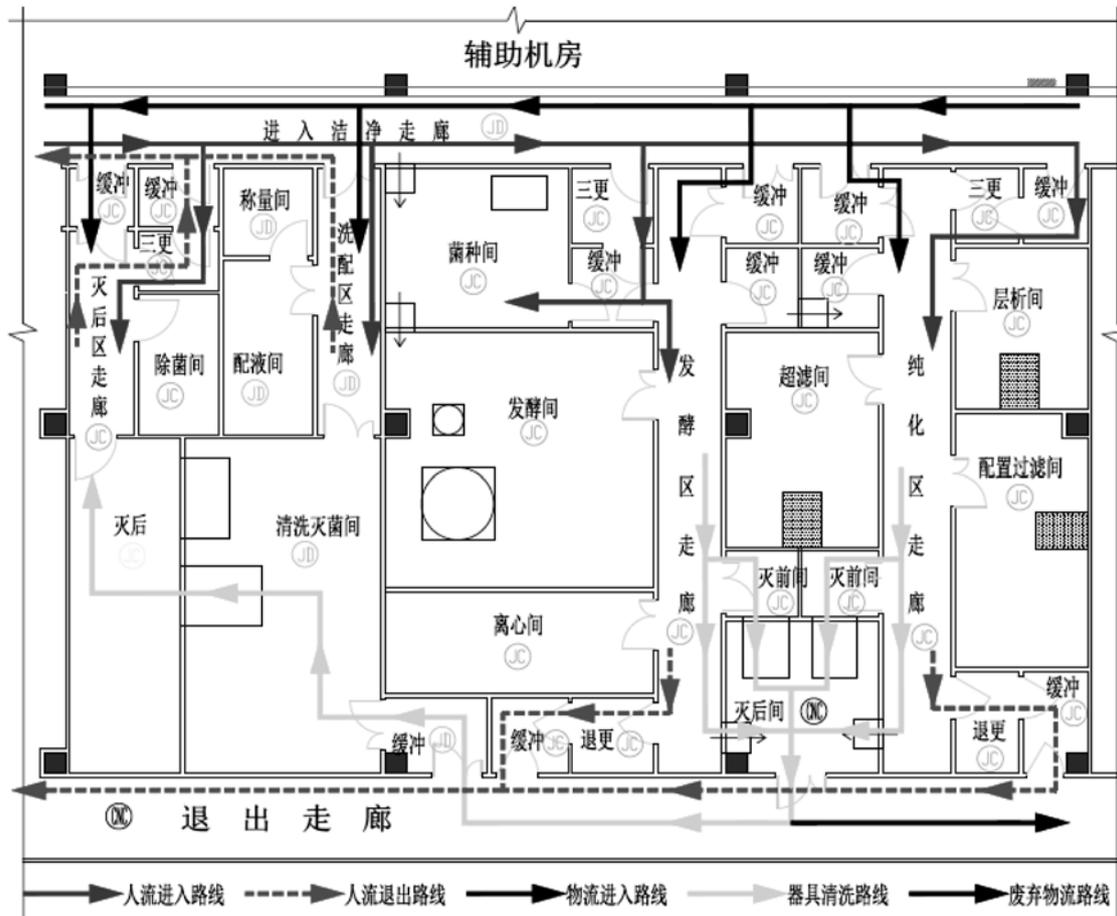


图5 疫苗中试布局图

的需求。疫苗中试布局图见图5。

#### 4 结束语

(1) 疫苗中试车间的“模块化”设计方式，即按照工艺流程的特点分成若干生产制作区域。这种方式既能保证生物安全的要求，又能兼顾中试研究的灵活性，极大节省工程建设的投资。

(2) 有毒（菌）区域人、物流采用“单向流”设计方式，可以有效避免有毒（菌）区域的人、物对于其他区域的污染风险。

(3) 所有的从有毒区出来的物品均需要考虑使用灭活设备处理后离开（当然除了操作者）<sup>[3]</sup>。

(4) 有毒（菌）区域的空调绝对负压的设置和袋进袋出高效过滤器的采用是实现该生产区域生物安全的保障。

#### 参考文献

- [1] 徐国章, 等. 实用免疫预防[M]. 复旦大学出版社, 2006摘要.
- [2] 实验室生物安全手册(WHO, 第三版), 9-19, 47-64.
- [3] Paul Thomas, Living the Biopharma Dream in Lincoln. pharmaceutical Manufacturing, Nov/Dec 2008.
- [4] 药品生产质量管理规范(2010年修订), 附录 3[S].

# 水痘疫苗原液生产车间 工艺布局设计要点分析

■ 李红 杨勇 高灿 [工艺]

**摘要:** 本文首先介绍了水痘疫苗原液生产工艺流程, 然后对应用细胞工厂的水痘疫苗原液生产工艺进行分析和研究, 并与传统的转瓶生产工艺进行对比, 在此基础上分析了水痘疫苗原液生产车间工艺布局设计要点。

**关键词:** 水痘疫苗原液; 细胞工厂; 工艺布局设计要点

## 0 引言

水痘是一种急性、高传染性的病毒性疾病, 在全世界范围内都有传播。水痘疫苗主要用于接种年龄为12月龄以上的水痘易感者, 免疫接种后, 可刺激机体产生抗水痘带状疱疹病毒的免疫力, 用于预防水痘。传统水痘疫苗原液细胞培养和接种后培养使用转瓶工艺, 先进的培养技术使用细胞工厂, 细胞工厂是当今世界在病毒性疫苗培养阶段最前沿的实用技术, 国外细胞工厂培养技术已经是非常成熟和普遍的体外大量培养细胞的技术。在国内, 由于研发阶段起步较晚, 现在运用较少, 但由于其便捷安全的操作方式, 较少的占用空间, 可控性好, 细胞工厂已被越来越多

的国内生产及科研用户接受。当前, 许多疫苗生产企业非常重视疫苗工艺的技术革新, 将细胞工厂生产疫苗技术列入企业的重要研究课题, 细胞工厂的应用将会越来越广泛, 并在未来迅速成为较成熟的新一代细胞培养技术, 而被广大疫苗生产企业广泛应用于疫苗的生产领域。

水痘疫苗作为减毒活疫苗的一种, 具有代表性, 减毒活疫苗的工艺流程有其相似性。为了能将水痘疫苗的设计成果应用于其他相似的产品, 作者根据该疫苗原液的工艺流程, 对基于细胞工厂的水痘疫苗生产车间工艺设计进行研究。

## 1 水痘疫苗生产工艺分析

### 1.1 水痘疫苗简介

目前在世界各地广泛使用的水痘疫苗均为减毒活疫苗, 其生产用毒种均是1983年被世界卫生

作者简介: 李红, 女, 高级工程师, 2008年毕业于圣彼得堡化学药物大学药学专业, 现就职于航空工业规划医药工程设计研究院。

组织推荐的V-Oka疫苗株。

## 1.2 生产工艺流程分析

水痘疫苗系采用国际通用的水痘病毒OKA减毒株，经二倍体细胞培养制成，经培养、收获原液，然后合并，加入适量稳定剂再经冻干而成。

水痘疫苗的生产工艺流程主要分为两个阶段：原液制备阶段和制剂阶段。以下为原液制备阶段生产工艺流程简述和生产工艺流程图。

### 1.2.1 生产工艺流程简述

水痘减毒活疫苗原液是用水痘病毒减毒株接种工作细胞，经细胞复苏、培养、收获病毒液，迅速冷却降温保存；主要生产工序包括：细胞复苏、细胞操作、病毒接种培养、洗换、原液制备、降温保存等工序。

### 1.2.2 生产工艺流程图（见图1）

根据《中华人民共和国药典》（2010年版）第三部通则附录中常用生物制品生产用菌毒种危害程度分类，水痘减毒活疫苗使用的OKA株为四类。所以在工艺设计时应该按照相应的生物安全要求进行设计。

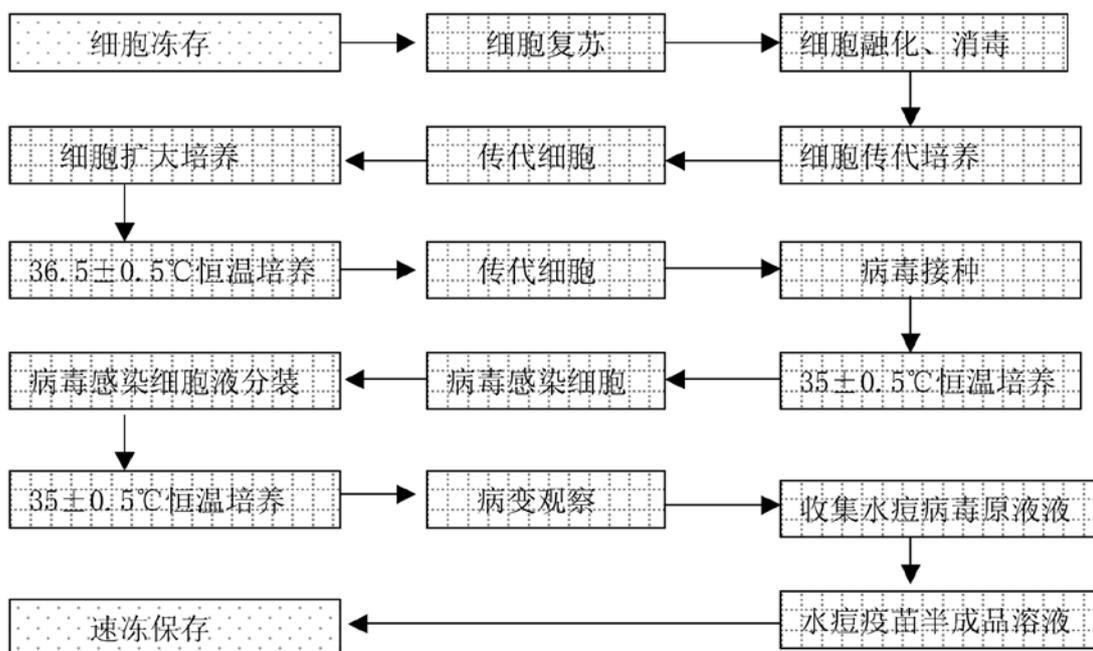
### 1.2.3 细胞工厂培养技术与转瓶培养技术的比较

我国作为世界人口大国之一，使得疫苗产品在我国的使用增长迅速，促使疫苗生产企业不断加大疫苗生产种类和产量，虽然我国企业生产的疫苗种类和数量与世界先进国家差距较小，但生产工艺落后。一般的疫苗生产企业均采用转瓶培养技术（见图2），转瓶技术为传统的贴壁细胞培养技术，细胞接种在旋转的圆筒形培养器——转瓶中，培养过程中转瓶不断旋转，使细胞交替接触培养液和空气。转瓶培养技术的优点是，这种工艺不仅能培养动物细胞如鸡胚成纤维细胞、牛肾细胞等多种元代细胞，还能培养人二倍体细胞、Vero细胞等多种传代细胞，符合大部分疫苗品种的需要；转瓶培养投资少，技术成熟，增加疫苗产量只需简单增加转瓶数量即可，因此，深受广大疫苗生产企业喜爱。

但随着国家对疫苗产品的产量和质量标准的不断提高，转瓶培养技术的缺点也突显出来：

（1）每一个转瓶都是一个独立的细胞培养单元，细胞的质量会影响病毒产量，导致每瓶疫苗滴度都会有所不同，使得疫苗批间差异大。

（2）由于转瓶培养须配合专用的转瓶机才能实



图例:  B级区  K级区

图1 水痘疫苗原液生产工艺流程图

现，因此，增加产量后不仅使得劳动强度增大，还会占用更多厂房放置转瓶机。正是因为这些缺点的存在，使得转瓶培养技术对疫苗产量的扩大和疫苗质量的提高形成了严重制约，难以产业化或规模化生产。

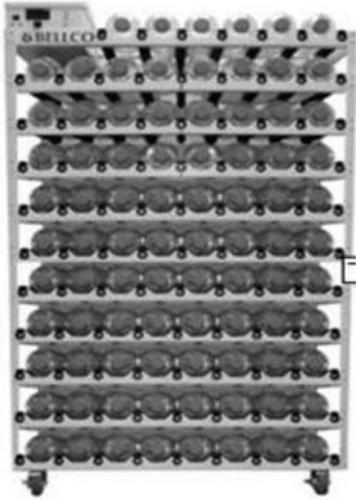


图2 转瓶机

细胞工厂培养技术在国外已有30多年的应用历史，而近十年来才在中国开始逐渐应用。细胞工厂(Cell Factory)作为一种设备，是一种设计精巧的细胞培养装置，水痘疫苗生产采用这种设备对工艺和设计的优化主要体现在：

(1) 降低批间差异：细胞工厂的应用使疫苗生产规模放大变得简单易行，特有的专利设计能有效的保证操作的无菌性，最大限度降低批间差异，实现操作规程化。美国塞莫飞公司生产的NUNC细胞工厂是目前应用较多的细胞工厂系统，可实现疫苗的工业规模生产，提供1、2、5、10和40层的规格，同时，与NUNC的细胞工厂自动化操作设备结合使用，可全面实现细胞培养的自动化，从而大大地减低劳动强度和密集度，快速替代传统的转瓶培养技术，实现大规模的细胞培养。图3为1、2、5、10和40层规格的细胞工厂。

(2) 节约培养空间：细胞工厂是有多层培养面，在有限的空间内最大限度地利用了培养表面，从而节省了大量的厂房空间，以我院的设计经验为例：14m<sup>2</sup>的细胞工厂培养间产能相当于120m<sup>2</sup>转瓶工艺培养间。细胞工厂材质为符合“美国药典”规定的聚苯乙烯，采用静止培养方式，培养表面经特殊处理，大大提高了细胞的吸

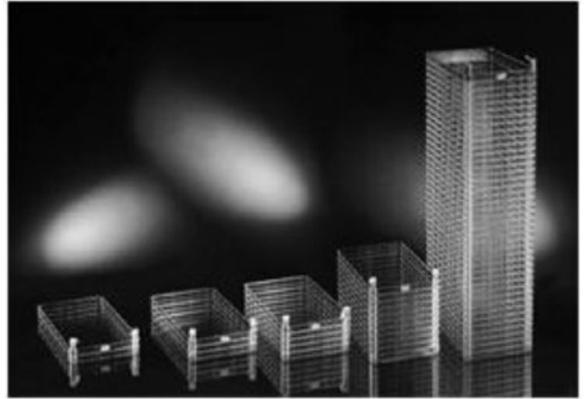


图3 细胞工厂

附性。因细胞工厂培养面积相对较大，可以节约操作时间和培养区域空间。

(3) 设计思路优化：由于使用细胞工厂后培养和操作空间的减少，相同功能房间减少，缩减了很多的走廊，相连工序之间的衔接也更加直接，比如，细胞操作完成后到病毒操作，原设计需要从细胞操作间到本区走廊，再到病毒区走廊，再到病毒操作间，现在只需要直接从细胞操作间通过传递窗递到病毒操作间，缩短产品的运输距离，有效降低污染风险。

所以，我们进行基于细胞工厂的水痘疫苗原液生产车间工艺的研究，优化以后的工作方法。

## 2 工艺布局设计要点

《药品生产质量管理规范（2010年修订）》（GMP）第四十六条明确指出：“为降低污染和交叉污染的风险，厂房、生产设施和设备应当根据所生产药品的特性、工艺流程及相应洁净度级别要求合理设计、布局和使用”。考虑到生物安全性、细胞的生长特点和易受外界微生物污染，要求在设计上保证操作无菌，并且过程中对温湿度的精确控制对收率影响很大等因素，根据我院多年保证全过程生产的经验，总结出以下要点：

### 2.1 恒温室的设计

恒温室是利用细胞工厂进行细胞传代培养和扩大培养的房间，是确定生产规模的瓶颈之处，所以恒温室的面积对设计至关重要，既要满足生产要求，又不能浪费（特别是这区属于B级区，运行成本很高）。根据不同型号细胞工厂的尺寸，结合甲方的生产安排，同时培养几批次的产品，计算出恒温室的面积。设计时，B级区尽可

能方正，长宽比例适宜布置回风道，以保证将来运行时B级的洁净度要求。

## 2.2 有毒区的设计

病毒操作模块和细胞操作模块是原液阶段最核心的两个模块，病毒操作模块较后者更为特殊。病毒区的活毒外泄会产生严重的生物安全问题，因此，在工艺布置时应设置一整套污物处理措施。病毒区的所有废弃物须经过高压蒸汽灭菌或化学消毒后方可运出处理；病毒区的排水经灭活罐灭菌处理后方可排入厂区污水处理站；排风需要经过高效过滤器处理后才可排出。为了防止有毒区的微粒扩散到其他区域，形成污染，病毒操作区相对于其他相邻区域应该是负压，但是同时也要保证该区域的B级环境，所以调节压差时要注意。另外，因为有毒区的给水系统不能与其他区域共用，考虑到投资使用比，一般该区不做给水点，少量用水从物流通道运入。

## 2.3 单独的B级公共区

器具统一清洗灭菌后通过B级公共走廊分别递给两个核心区，病毒区器具不通过细胞区传递，既为了减少细胞活性对病毒区的影响，也避免对细胞操作区B级环境的影响；除菌过滤后的培养液和缓冲液在B级区统一存放，保证了不同批次的产品质量；但是考虑到公共走廊也是B级环境，细胞操作区和病毒操作区的人员不适合通过B级公共区进入，不利于B级洁净环境的保持。另外，部分培养液需要在2~8℃存放，所以该区域包括一个2~8℃洁净冷库，设计时需注意。

## 2.4 配液间

配液间是为细胞操作和病毒操作配制培养液和缓冲液，使用细胞工厂后，配液量相比转瓶工艺有很大减少，所以应用细胞工厂后移液不需要管道，配置好的溶液除菌过滤后接至桶中存放、转移、使用，与以往相比，省去大量溶液输送管道，也省去这些管道的清洗灭菌工艺。配液罐的清洗依然使用CIP，就近布置即可。

## 3 结论

本文通过对基于细胞工厂的水痘疫苗生产工艺的研究，结合细胞工厂的新工艺，在与综合考虑生物安全、产品质量、经济效益的基础上，提取出四个工艺布局设计要点，体现了水痘疫苗原液生产环节的核心工艺和核心设计理念。希望本次研究

成果能够为以后类似工艺布置提供指导作用；通过遵循这些理念进行工艺布置，使工艺设计能够更好地满足GMP的要求，提高设计质量和效率，最大程度地降低甲方的建设成本和运营成本。

## 参考文献

- [1] 《疫苗学》 张延龄，张晖主编。
- [2] 《中华人民共和国药典》，2015年版，第三部。
- [3] 《药品生产质量管理规范》，2010修订。
- [4] 美国药品GMP: 21CFR Parts 210 &211
- [5] 《药品GMP指南》（国家食品药品监督管理局药品认证管理中心主编）。

# 基于激光准直仪的导轨几何误差测量

■ 王云龙 雷凯淞 孙谊 [工艺]

**摘要:** 本文分析了现行导轨几何误差测量手段的不足,提出了一种全新的基于激光准直仪的导轨几何误差测量方法,解决了精密机床实际生产中缺少高效准确的导轨几何误差测量方法的问题。该方法具有操作简单、测量精度高且不受导轨长度限制等优点。

**关键词:** 精密机床; 几何误差; 激光准直仪

## 1 绪论

精密机床直线进给系统的装配调整过程中,除了严格的工艺规范外,一种准确、便捷的测量方法对于提升装配精度也十分重要。实际生产中,常用的测量方法有三坐标测量仪法、水平仪测量法、机械比较仪法、钢丝检测法和基于激光干涉仪或准直仪的测量法等<sup>[1-5]</sup>。上述测量方法的优劣见表1。

表1 各种测量方法优劣情况分析

测量方法	精度	量程	复杂性	效率
三坐标仪法	高	短	复杂	低
水平仪法	低	不受限	简单	高
机械比较仪法	低	短	——	——
钢丝检测法	低	不受限	简单	高
激光干涉仪法	高	不受限	简单	高

基于激光干涉仪或准直仪的测量法是通过在滑块上安装测量装置,以激光为基准进行测量,测量精度高,实现容易,可以高效准确地测量出任意长度的导轨水平和垂直方向的直线度误差。另外,相对于激光干涉仪,激光准直仪还有安装简便、光路调整方便的特点。所以,激光准直仪测量法是现代机床行业中常用的导轨直线度测量方法。但是,它在测量过程中是用滑块的运动误差代替导轨的几何误差,是一个间接测量方法。虽然滑块的运动误差可以基本反映导轨水平和垂直方向直线度误差的基本趋势,但是测量的误差较大,对于高精密机床的直线进给系统是不能接受的<sup>[6-10]</sup>。因此,一种高效准确的导轨几何误差的测量方法,对于直线进给系统精度保障和高精密机床的装配工艺优化显得尤为重要。

## 2 测量原理

本文研究设计了一种由激光准直仪和位移传感器组成的导轨直线度测量方法,测量装置简图

作者简介:王云龙,男,助理工程师,2015年毕业于西北工业大学机械工程专业,现就职于航空工业规划动力工程设计研究院。

见图1。该装置主要由激光准直仪、测量装置夹具和三个位移传感器组成。激光准直仪和三个位移传感器通过测量装置夹具固定在两个导轨滑块上；测量装置在导轨上往复运动，其中激光准直仪用于测量滑块所在位置的滑块水平和垂直方向的偏移；三个位移传感器测量滑块所在位置导轨对应位置的上表面和侧面距离测量装置的距离。该方法的主要思路是利用激光作为测量基准，提高测量基准的准确性；通过激光准直仪测量滑块运动的直线度误差，作为间接基准；以位移传感器代替机械比较仪，比较导轨直线度误差和滑块运动的直线度误差之间的差值，通过测量量补偿因滑块运动直线度误差代替导轨直线度误差引起的测量误差，并利用最小二乘法拟合求出导轨直线度误差。该方法提升了导轨直线度的测量精度和测量的简易性。

### 3 导轨直线度误差测量装置关键尺寸

以上分析中，假设装置在运动过程中只存在水平和垂直方向的偏移，且忽略了装配过程中装配引起的误差。但是，实际情况中，整个装置在导轨上往复运动的过程中，装置除了存在水平和垂直方向的运动误差，还存在绕X轴的旋转误差即俯仰误差 $\alpha$ 、绕Y轴的旋转误差即翻滚误差 $\beta$ 、绕Z轴的旋转误差即扭摆误差 $\gamma$ 。激光准直仪实际测量的值和位移传感器的实际测量值都会受旋转误差作用引起测量误差，所以在装置的设计过程中，为了防止由于尺寸参数和传感器位置布放不合理导致放大旋转引起的测量误差，需要对装置的关键尺寸和装置的结构进行优化设计，以减小旋转误差引起的测量误差。整个装置中的关键尺寸主要指激光准直仪的位置和三个传感器的布

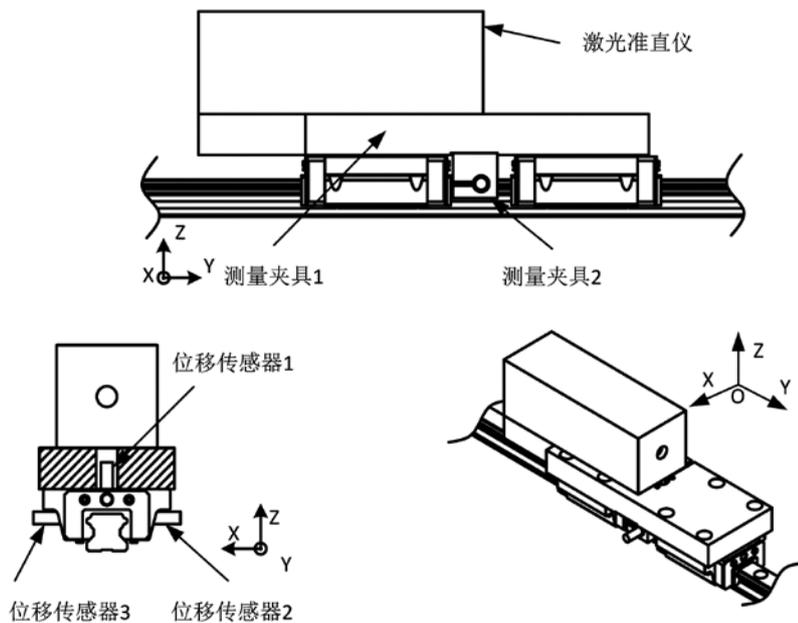


图1 基于激光准直仪的导轨几何误差测量装置设计简图

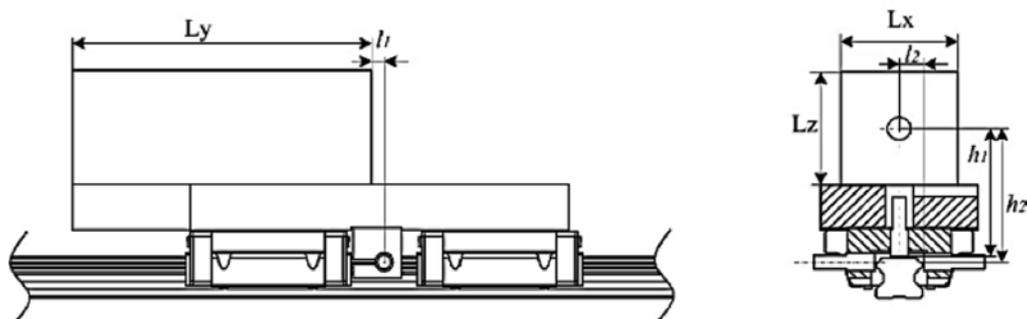


图2 导轨直线度误差测量装置关键尺寸

放, 关键尺寸见图2。

其中,  $l_1$ 是传感器测量平面与激光准直仪接收器接受平面在行程向的距离,  $l_2$ 表示2号传感器测量头与激光准直仪接收器中心水平方向的距离。因为采用对称设计, 3号传感器测量头与激光准直仪接收器中心水平方向的距离同为 $l_2$ ;  $h_1$ 和 $h_2$ 分别表示1号和2号传感器测量头与激光准直仪接收器中心在竖直方向的距离。为了确定这些关键尺寸的大小, 需要分别分析在测量导轨竖直和水平方向几何误差过程中的误差来源和误差传递关系。

#### 4 竖直方向测量误差来源分析

首先, 在整个测量系统中建立坐标系, 设激光光路的坐标系为坐标系 $P_1$ , 光路为Y轴; 在准直仪的接收平面建立坐标系 $P_2$ , XOZ平面与接收面重合, 原点与接收面中心重合; 坐标系 $P_3$ 为位移传感器1的接收面的坐标系, 原点与接收面圆心重合, ZOY平面与接收平面重合; 坐标系 $P_4$ 为导轨的顶平面, ZOY平面与顶平面重合。

分析竖直方向的测量误差的就是求解坐标系 $P_4$ 相对坐标系 $P_1$ 在竖直方向的偏移量与理论偏移量 $z_4' = d_1 + m_2 + \Delta z_{23}$ 的插值。

$$P_2 = T_1^2 P_1$$

$$\begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -\gamma_{12} & \beta_{12} & \Delta x_{12} \\ \gamma_{12} & 1 & -\alpha_{12} & \Delta y_{12} \\ -\beta_{12} & \alpha_{12} & 1 & \Delta z_{12} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$z_4 = -\alpha_{23}\alpha_{34}m_x + \alpha_{34}\gamma_{23}m_x - \beta_{23}\beta_{34}m_x + \alpha_{34}\Delta y_{23} - \beta_{23}m_x - \beta_{34}m_x - \beta_{34}\Delta x_{23} + d_1 + m_2 + \Delta z_{23} \quad (2)$$

传递矩阵中 $\Delta x_{12}$ 、 $\Delta y_{12}$ 、 $\Delta z_{12}$ 分别表示坐标系 $P_1$ 的原点在 $P_2$ 的位置,  $\alpha_{12}$ 、 $\beta_{12}$ 、 $\gamma_{12}$ 分别表示坐标 $P_1$ 相对 $P_2$ 的X、Y、Z轴的旋转角度。当激光准直仪读数为水平方向为 $m_x$ , 竖直方向为 $m_z$ 时, 即光点落在接收平面上的 $(m_x, 0, m_z)$ 点时, 为了计算方便, 假设坐标系 $P_1$ 原点落在准直仪接受平面上, 即坐标系 $P_1$ 和 $P_2$ 在Y向的距离 $p_y = 0$ ; 根据装置和导轨的实际结构, 假设坐标系 $P_4$ 的原点与坐标系 $P_3$ 的Z轴重合; 根据测量装置的结构可知:  $\Delta x_{23} = 0$ ,  $\Delta y_{23} = l_1$ ,  $\Delta z_{23} = h_1$ ; 综上得到式(2), 由式(2)可知在不存在任何偏转误差的和装配误差的情况下,  $z_4$ 理论值为 $z_4' = d_1 + m_x + \Delta z_{23}$ , 由于 $\alpha$ 、 $\beta$ 和 $\gamma$

在运动过程中都是趋近于零的, 数量级在 $10^{-4}$ rad, 所以可以认为两个角度相乘的值极小, 可以忽略不计, 所以竖直方向测量的主要误差来源为:  $\alpha_{34}$ 、 $l_1$ 、 $\beta_{23}$ 、 $\beta_{34}$ 和 $m_x$ 。

#### 5 结语

本文分析了现行导轨几何误差测量手段的不足, 针对精密机床实际生产中缺少高效准确的导轨几何误差测量方法的问题, 提出了一种全新的基于激光准直仪的导轨几何误差测量方法, 并对其装置的结构和关键尺寸进行了分析优化, 以减小测量误差。最后, 对测量方法进行实验验证, 证明了该测量方法的正确性和准确性。该方法操作简单、测量精度高且不受导轨长度限制等优点, 为直线进给系统运动精度预测模型在直线进给系统的实际生产中的应用奠定了基础。

#### 参考文献

- [1] 阎铁福. 导轨直线度测量与误差的解析法评定探讨[J]. 中小企业管理与科技, 2011: 141-142.
- [2] 李晓蕾. 图像法实现导轨直线度测量系统的研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2007.
- [3] 宁延平, 刘战锋. 国内外高精度直线度测量技术的研究现状[J]. 现代制造工程, 2005: 82-84.

# 谈15D502《等电位联结安装》 标准图的修编

■ 牛犇 丁杰 [电气]

**摘要:** 本文对15D502《等电位联结安装》标准图集修编中标准规范的选用原则作了说明,介绍总等电位联结做法等主要修改内容在修编时的考虑,对在修编过程中了解到的不利于做好等电位联结的几个问题,呼吁相关单位给予重视和解决。

**关键词:** 等电位联结;总等电位联结;局部等电位联结;辅助等电位联结;内部环形导体;地面等电位;编制深度;制造标准

## 1 标准规范的选用

15D502《等电位联结安装》是这本标准图集的第三版,前两版分别为97SD567和02D501-2,在过去的20年里,在前两版图集的推动下,等电位联结的概念和措施已经广泛地为设计、施工、监理和验收单位以及广大用户所了解,图集里的很多内容在国标编制时被采纳,成为了正式的规范条文,同时这两版图集也承载了很多超出标准

图集的责任。本次图集修编时,编制组考虑到以上情况,调整了以往在等电位领域标准图集先行的思路,采用标准图编制的一般原则,即以现行国家标准为依据,同时在编制时采纳了一些已经完成转化工作、通过了正式审查但尚未批准送印的标准,例如GB16895.3-20XX/IEC60364-5-54;2011《低压电气装置第5-54部分:电气设备的选择和安装接地配置和保护导体》和GB16895.19-20XX/IEC60364-7-702;2010《低压电气装置第7-702部分:特殊装置或场所的要求游泳池和喷泉》。

在图集的编制过程中,有专家提到了现行

作者简介:牛犇,男,高级工程师,2005年毕业于天津大学电力系统及其自动化专业,现就职于航空工业规划动力工程设计研究院。

国标例如GB50054—2011《低压配电设计规范》(以下简称《低规》)中的一些问题,但由于标准和标准图集的效力不同,编制组经过讨论,认为这些存在不同意见的问题宜在相关规范修编时讨论解决,本次标准图集维持与现行国标的要求一致。

新版图集引用了《低规》对等电位联结的分类、术语、等电位联结线截面的规定和对等电位联结作用原理的阐述,沿用了前两版对等电位联结的安装要求和导通性测试的办法。

## 2 总等电位联结的实施办法

新版图集参考IEC 62305-3:2010《Protection against lightning—Part3: Physical damage to structures and life hazard》的做法,推荐采用设置专用内部环形导体的做法(见15D502第10页“示意图二”)来实施总等电位联结,与防雷等电位连接共用设施,内部环形导体设于建筑物外圈基础或墙体内,不受土壤和外力因素的干预,敷设环境优于在室外设置环形接地体的做法(见15D502第10页“示意图一”),并推荐在条件允许时内部环形导体优先采用通长或大部分明敷的安装方式,以达到可视、易维护目的。

在调查中编制组也发现,有施工单位将建筑物外圈基础内的钢筋通长焊接,在各个被联结设施处引出联结线,针对这种利用结构钢筋作内部环形导体的做法,编制组咨询了结构专家,他们的意见是:混凝土结构中的钢筋在受力时的变形很小,不会破坏钢筋的连续性;钢筋焊接工程有专门的验收规程,不允许焊接部位出现低于钢筋性能的缺陷,基于上述两点,只要结构设计施工都符合相应规范,在建筑物正常使用时通长焊接钢筋的电气性能是可以得到保证的。对于此类情况,GB16895.3-20XX/IEC60364-5-54:2011《低压电气装置第5-54部分:电气设备的选择和安装接地配置和保护导体》第543.2.3的要求是:“正常使用中承受机械应力的结构部分不允许用作保护接地导体或保护联结导体”,至于基础内通长焊接的钢筋是否属于可能承受机械应力的结构部分,IEC标准没有明确的界定。

编制组考虑到专设内部环形导体的造价相对于整个建筑物的投资而言比例非常小,并且专设

内部环形导体的自由度高,确定不承受机械应力,新版图集推荐设置专用内部环形导体的做法,对拟利用的结构钢筋提出了不承受机械应力的要求。从基础内通长焊接的结构钢筋是否可以利用这个问题可以看出,我国在等电位等方面的基础研究还很欠缺,IEC标准的有些内容仍在探讨中,其结论不一定都完全正确,也不一定都适用于中国,接受哪些、修正哪些都要有基础研究作为支撑,而目前我们对很多问题的疑问只能从原理上去分析,没有通过科学实验和广泛的调查去验证,也就没有充分的依据给出结论,自然会有不同的观点。同样存疑的还有“地面等电位”,以往IEC和德国标准中提出过这方面的要求,但在与此内容相关的IEC最新版本中却没有提到这项内容,是延续前两版标准图集对地面等电位的要求还是完全按照最新版IEC标准不对地面等电位提出要求,业内也有不同的声音,地面等电位到底能够起到何种程度的作用,不是理论上的分析能够完全说清楚的,更需要科学实验的验证,这版图集考虑到地面等电位措施的造价不高,保留了这一要求。

## 3 局部等电位联结和辅助等电位联结

在图集的修编过程中,有专家提到了IEC标准没有“局部等电位联结”这一名词和措施的问题,其实早在1996年版IEC1200-413《Electrical installation guide—Part413: Protection against indirect contact—Automatic disconnection of supply》的第413.1.3.5条就专门提到了局部等电位联结,而且该做法在国内已沿用多年并广泛传播,可视为“局部范围内的总等电位联结”,与辅助等电位联结只是在具体的联结措施上有所区别,都能起到降低接触电压的作用,是有效和便于实施的,本版图集依照现行《低规》和最新的GB16895系列标准延续和更新了这部分内容。

对于需要在局部范围内做等电位联结的场所,部分标准(例如GB16895.13-2012/IEC60364-7-701:2006《低压电气装置第7-701部分:特殊装置或场所的要求装有浴盆或淋浴的场所》)只要求对可接触的建筑物金属部分做联结,编制组考虑到等电位箱与本层钢筋做联结的工程量非常小,易于做到,而且本层钢筋网确能起到地面等电位的作用,故要求“应”做联结,

当然，如果是绝缘地面则可以不作联结。

由这个问题引申出另一个问题：一般环境下，TN-S系统配电箱的PE排是否需要与本层结构体内的钢筋网做联结？理论上如果配电箱内保护装置和线路的选择通过校验完全符合《低规》的相关要求，则可以保证人身安全，不需要做此联结，但编制组了解到在实际工程中，设计者很少对每个回路进行校验，一方面是由于辅助工具的缺乏使得校验的工程量巨大，另一方面也是由于我国对电气安全的重视普遍没有落到实处，笔者认为这一联结措施造价很低，易于实现，对避免电击事故确能在一定程度上起到作用，推荐采用。

#### 4 室外用电设备的等电位联结

近年来因接触电动伸缩门意外致死的事件发生多次，针对这一问题的讨论也有很多。部分电动伸缩门配电线路的安装不够规范，而配电系统的保护配置不合理导致了故障持续时间超出规范要求或者干脆不跳闸；另一方面，外部故障电压的引入也是事故发生的可能原因之一。

等电位联结标准图集是否能为避免这类事故做些事情呢？编制组认为，IEC和《低规》都强调在保护电器不满足自动切断电源要求时应在局部范围内做等电位联结，那么在室外可在人与用电设备可接触的局部范围内做等电位联结（见图集第25页），使得局部地面和设备外壳的电位一致，这对避免此类电击事故在一定程度上可起到作用，尽管IEC标准中没有此类做法的示例。图集第25页做法的核心是地面等电位网格与电动伸缩门导轨和金属部分的联结，地面等电位网格的做法参照了上一版图集，供设计者参考选用。

#### 5 等电位联结实施情况调查和启发

在图集的修编过程中，编制组到北京、成都、上海、无锡、贵阳5地做了调查，与数家施工单位、成套厂和电工产品设备商进行了讨论，了解到了实施中存在的一些问题，并做出了一些针对性的修改，也有图集本身无法解决的问题有待更多相关部门的关注：

(1) 各地对等电位联结的执行情况不同：经济发达地区的执行情况相对较好，设计图纸即使只

在说明中提了要求，很多施工单位也能按照标准图集执行；经济欠发达地区的执行情况不理想，甚至有的等电位端子箱内只有端子排，没有任何引出线，用“触目惊心”来形容一点也不为过。

编制组查阅了大量的施工图纸，发现很少有专门的等电位联结图纸，绝大多数只是在图纸中有一段简单的说明，要求按照标准图集来做，接地平面图中对于进入建筑物的金属管道在何位置几乎没有提及，这就造成了等电位联结实施时的不确定和不规范，甚至有施工单位以图纸不明确为由不去实施。

另一方面，等电位联结的预算没有图纸的辅助，往往不能反映出实际的工程量，在实施中会造成一定的困难。

在2008年版《建筑工程设计文件编制深度规定》中，第4.5.10条第5款规定：在施工图阶段，“图纸中应提出总等电位联结和局部等电位联结的要求，在交代不清楚时要求绘制相应图纸”；在2016年版《建筑工程设计文件编制深度规定》中，第4.5.9条第5款规定在施工图阶段，“除防雷接地外的其它电气系统的工作或安全接地的要求，如果采用共用接地装置，应在接地平面图中叙述清楚，交待不清楚的应绘制相应图纸”。这两版规定对等电位联结内容图纸深度的相关要求过于宽松，何种情况为“交代不清楚时”没有界定，导致的结果就是在调查中看到的上述状况。编制组郑重地呼吁和建议，在《建筑工程设计文件编制深度规定》中，要求绘制总等电位联结平面图，注明等电位联结线和内部环形导体的材料、尺寸、敷设部位，标明总等电位联结箱、被联结设施及其所在房间等电位联结箱的位置；对于局部等电位联结，也同样应绘制相应的平面图，明确需联结设施的位置和等电位联结线的材料、尺寸、敷设部位。

(2) 编制组调查中发现，视招标要求不同，现场采购的等电位联结端子箱/排尺寸形式各异，大多数由成套厂加工或再采购，只有少数由接地电工产品专业厂家生产。这三版《等电位联结安装》标准图集都提供了端子箱/排的制作详图，但标准图集不是国家或行业的制造标准，约束力有限。有些接地电工产品专业厂家有自己的企业标准，但与标准图不尽相同，各企业标准之间也有差异。

在金属管件采用抱箍法联结时，最好选用成

品等电位连接卡，但在很多地区都反映没有这类产品或很难买到，只能由施工单位自行制作连接卡，或者采用原始的缠绕法，自制连接卡的质量难以保证，缠绕法的效果很难长久。

编制组认为：非常有必要制定等电位联结用端子箱、连接卡等附件的制造标准，结束等电位类电工产品无标准可循的状况。

(3) 被联结设施例如各种金属管材，现在少见自带端子的情况，如果在被联结设施的制造标准中要求管材、设施等出厂时即设有等电位联结端子/鼻子，这是最理想的状态，等电位联结的实施难度会大幅度下降，而且联结效果也会提高很多，呼吁相关设备、建材设施制造标准的制定单位与电气相关部门互相配合，在制造标准增加此内容。

## 6 结语

正如文中所述，科学实验和广泛的调查求证是规范、标准图编制的基础，我们在这方面所做的工作还有不足之处，疏漏难免，愿更多的业界人士参与其中，帮助这本标准图继续完善、进步。

### 参考文献

- [1] 中机中电设计研究院有限公司.GB50054—2011低压配电设计规范 [S].北京：中国计划出版社，2012.
- [2] 中国航空工业规划设计研究院.97SD567等电位联结安装 [M]，1998.
- [3] 中国航空工业规划设计研究院.02D501—2等电位联结安装 [M]，2002.
- [4]中国航空规划建设发展有限公司，中国建筑标准设计研究院有限公司.15D502等电位联结安装 [M]，2015.
- [5] 王厚余.低压电气装置的设计安装和检验 [M].第3版.北京：中国电力出版社，2012.
- [6] InternationalElectrotechnicalCommission.IEC1200—413Electricalinstallationguide—Part413: Protectionagainst indirectcontact—Automaticdisconnectionofsupply [S]，1996.
- [7] GB16895.3—20XX/IEC60364—5—54：2011低压电气装置第5—54部分：电气设备的选择和安装接地配置和保护导体 [S] .

[8] GB16895.19—20XX/IEC60364—7—702：2010低压电气装置第7—702部分：特殊装置或场所的要求游泳池和喷泉 [S] .

[9] GB16895.13—2012/IEC60364—7—701：2006《低压电气装置第7—701部分：特殊装置或场所的要求装有浴盆或淋浴的场所 [S] .

# 低压变频设备的选择及设计中 需注意的问题

■ 董俊峰 [电气]

**摘要:** 随着经济的飞速增长和工业生产的迅猛发展,变频器的应用也越来越普及,并且一直处于较为稳定的发展趋势,生产市场与需求市场也在不断的扩大,变频设备的正确选用对于机械设备电控系统的正常运行是至关重要的。在工程设计中如何选择变频设备以及工程设计中应注意的问题还需不断的提高。本文介绍了低压变频设备的选择及设计中需注意的问题。

**关键词:** 变频器;电动机;电缆

## 0 绪论

能源是发展国民经济的重要物质基础,目前,我国能源紧张,主要表现为电力供应紧张。因此我国确定把能源建设作为战略重点之一,特别提出要大力加强电力建设,并在加强能源开发的同时,最大限度地提高能源利用率,降低损耗,节约能源。

近年来,随着电力电子技术的发展,电动机交流变频调速技术已发展成为当今节约电能、改善工艺流程以提高产品质量和改善环境、推动技术进步的一种主要手段。变频调速以其优异的调

速和启制动性能,高效率、高功率因数和节电效果,广泛的适用范围及其他许多优点而被国内外公认为最有发展前途的调速方式。

目前在工程设计中,变频调速技术应用越来越广泛,变频器的类型也越来越多,那么对于设计人员如何正确选择变频器及相关设备就变得十分重要。本文根据工程设计经验及实施过程中遇到的问题对变频器与相关设备的选择及设计中应注意的问题做简要介绍。

## 1 变频器选择

### 1.1 按负载特性选择

人们在实践中常将生产机械根据负载转矩特性的不同,分为三大类型:恒转矩负载、恒功率

作者简介:董俊峰,男,工程师,2010年毕业于西南民族大学电气工程及其自动化专业,现就职于航空工业规划市政工程设计研究院。

负载和平方转矩负载。

### (1) 恒转矩负载

在不同的转速 $n$ 下, 负载的转矩 $T$ 基本恒定, 即 $T=常数$ 。例如: 输送机、起重机、挤压机等。机械特性 $n=f(T)$ , 见图1。对于恒转矩负载, 应选择具有低转速转矩大、静态机械特性硬度大、能适应冲击负载的变频器, 故可选择高性能型U/F变频器, 即重载启动型变频器。



图1 恒转矩负载机械特性

### (2) 恒功率负载

在不同的转速 $n$ 下, 负载的功率 $P$ 基本恒定, 即 $P=常数$ 。例如: 薄膜卷取机、机床主轴、轧机等。机械特性 $n=f(T)$ , 见图2。对于恒功率负载, 因其对动态性能要求较高, 故应选择矢量控制型变频器。该类变频器动态性能较高, 适用于生产机械高精度、快速响应的要求。

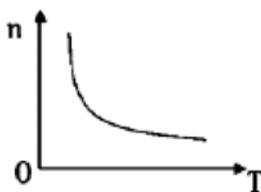


图2 恒功率负载机械特性

### (3) 平方转矩负载

负载的转矩 $T$ 与转速 $n$ 的二次方成正比, 即 $T=Kn^2$ , 如风机、泵类负载, 其机械特性曲线见图3。对于平方转矩负载, 因其转矩 $T$ 与转速 $n$ 的二次方成正比, 因此在低转速下负载的转矩较小, 故可选择普通型U/F变频器, 即轻载启动型变频器。



图3 平方转矩负载机械特性

## 1.2 变频器的额定电压

一般情况下, 电机的额定电压是根据供配电系统电压、电动机的额定功率大小以及综合性价比来决定的。根据电动机的电压确定变频器的额定电压, 就目前低压变频器技术的发展, 在工业中主要以380V、660V等电压等级为主。

## 1.3 变频器的额定电流

选择变频器时应以实际电机电流值作为变频器选择的依据, 电机的额定功率仅作为参考。要求变频器输出电流大于电机实际工作电流。然而因各种因素, 在设计过程不能确定电动机实际工作电流, 故应以计算电流及电动机功率等作为参考选择变频器, 并留有适当的余量。

另外, 应充分考虑变频器的输出含有丰富的高次谐波, 会使电动机的功率因数和效率变差。因此, 变频供电与工频供电相比较, 电动机的电流会增加10%而温升会增加20%左右。所以在选择电动机和变频器时, 应考虑该种情况, 留有适当余量, 以防止温升过高, 影响电动机的使用寿命。

## 1.4 按照负载使用环境选择

对于一些特殊的应用场合, 如高环境温度、高海拔高度等, 此时会引起变频器的降容, 变频器需放大一档选择。

变频器的防护结构要与其安装环境相适应, 这就要考虑环境温度、湿度、粉尘、酸碱度、腐蚀性气体等因素, 这与变频器能否长期、安全、可靠运行关系重大。大多数变频器厂商可提供多种常用的防护结构供用户选用。

## 2 电动机的选择

### 2.1 普通异步电动机

普通异步电动机都是按恒频恒压设计的, 不能完全适应变频调速的要求。变频器对普通电机会造成如下影响。

(1) 不论何种形式的变频器, 在运行中均产生不同程度的谐波电压和电流, 使电动机在非正弦电压、电流下运行。高次谐波会引起电动机定子铜耗、转子铜耗、铁耗及附加损耗的增加, 最为显著的是转子铜耗。除此之外, 还需考虑因集肤效应所产生的附加铜耗。这些损耗都会使电动机额外发热, 效率降低, 输出功率减小。

(2) 目前中小型变频器, 大都采用PWM脉宽调制的控制方式。载波频率约为几千到十几

千赫兹，这就使得电动机定子绕组要承受很高的电压上升率，相当于对电动机施加陡度很大的冲击电压，使电动机的匝间绝缘承受较为严酷的考验。另外，由PWM脉宽调制变频器产生的矩形斩波冲击电压叠加在电动机运行电压上，会对电动机对地绝缘构成威胁。从而电动机的绝缘老化加速。

(3) 普通异步电动机采用变频器供电时，会使由电磁、机械、通风等因素所引起的震动和噪声变得更加复杂。变频电源中含有的各次时间谐波与电动机电磁部分的固有空间谐波相互干涉，形成各种电磁激振力，从而加大噪声。

(4) 变频器为电动机频繁启动和制动创造了条件，然而在这个过程中电动机的机械系统和电磁系统处于循环交变力的作用下，会给电动机的机械结构和绝缘结构带来疲劳、加速老化。

(5) 普通异步电动机在低转速情况下运行，冷却风量与转速的三次方成比例减小，致使电动机的低速冷却状况变坏，温升急剧增加，难以实现恒转矩输出。

## 2.2 变频专用电动机的优点

变频专用电动机相较于普通异步电动机存在如下优点：

(1) 变频专用电动机采用电磁设计，减小了定子及转子阻抗。

(2) 变频专用电动机的对地绝缘和线匝绝缘强度更高。

(3) 变频专用电动机采用分体式冷却风扇，可以更加有效的控制电机温升。

(4) 变频专用电动机适用于不同环境下的频繁调速。

(5) 变频专用电动机可以更好的节约能源。

## 3 电缆选择

### 3.1 普通电力电缆存在的问题

变频器在运行过程中，均会产生不同程度的谐波，使其输出的不再是正弦波，而是可分解为正弦基波和高次谐波的阶梯波。

(1) 变频器产生的高次谐波会通过电缆向周围发射电磁波使各种电子设备受到严重干扰而使通信及信号失真、监测及控制失灵或产生误动作等。

(2) 高次谐波会通过线间电容向邻近回路产生电磁耦合而干扰邻近回路的正常工作。

(3) 由于变频器、电动机和电缆三者的阻抗

不匹配，导致谐波电流在传输过程中发生脉冲反射电压并叠加到原始电压波上，使电动机端的峰值电压成倍增高，可能导致电缆或电机前沿绕组被击穿。

### 3.2 变频电缆

变频电缆的结构包括三根主线绝缘线、三根零线绝缘线，在主线绝缘线和零线绝缘线外依次设置内绕包层、铜带层、外绕包层和外护套层，形成3+3线芯结构，使电缆具有较强的耐电压冲击性，能经受高速频繁变频时的脉冲电压，对变频器起到良好的保护作用。

(1) 变频电缆具有较低且均匀的正序和零序工作阻抗，有利于改善供电品质。

(2) 具有较好的电磁相容性，对抑制电磁干扰起到一定的作用，能抵消高次谐波中的奇次频率，提高电缆的抗干扰性，减少了整个系统中的电磁辐射。

(3) 可以有效地减小高次谐波对变频电机的危害。

## 4 设计中应注意问题

### 4.1 变频器的散热问题

在工程设计中，低压变频器组柜有两种方式，其一，变频器厂家成套组柜。该种实施方式的优点是变频器散热良好（大部分），但是缺点也很明显，即柜体尺寸不一，在变频器柜布置过程中会出现占地空间大、外观不齐整等问题。其二，由工程设计人员自行组柜。该种实施方式优点为设计人员可根据房间大小灵活确定变频器柜的尺寸；也正是由此导致在实际设计过程中配电柜生产厂家不能充分考虑变频器的散热问题，为后期运行带来问题。上述两种方式各有利弊，这就需要设计人员根据工程实际情况确定合理方案。

### 4.2 变频器与变频电机冷却风机的连锁关系问题

在工程设计中，电动机大部分由工艺专业选择或随工艺设备配备。那么在设计过程中总会出现变频电机冷却风机遗漏配电及控制问题，造成该问题的原因归结起来主要有：其一，工艺专业遗漏此项条件；其二，工艺专业未对设备厂家提出要求采用何种电机；其三，业主自行更改电机类型等等。那么就要求我们在设计过程中应积极主动，及时与工艺专业沟通，避免该类问题的出现。

另外，关于变频器与变频电机冷却风机连

锁问题，在设计中应该引起注意，两者的连锁关系应为先启动变频电机冷却风机，然后启动变频器。在某工程设计中配电柜生产厂家采用的做法是先启动变频器，然后变频器继电器输出信号启动冷却风机。这种控制方式存在安全隐患，即变频器不能正常启动冷却风机，那么将会导致变频电机无法散热，烧毁电机。

#### 4.3 谐波治理措施

众所周知，在电力的生产、传输、转换和使用的各个环节中都会产生谐波。

而变频器又是最重大的谐波源。在工程设计中，往往容易忽略谐波的影响。从而导致：电动机的效率降低，发热增加，缩短其使用寿命；变压器等电气设备产生附加损耗，加速绝缘老化；电容器过载发热，增加电容器绝缘击穿的可能性；对电子设备的控制信号形成干扰等等。

目前谐波治理方式有很多种，例如：增加换流装置的脉动数；加装交流滤波装置；改变谐波源的配置方式；加装串联电抗器；采用有源滤波、无源滤波器等新型抑制谐波的措施等等。这就需要设计人员根据实际工程计算谐波水平、分析治理效果、经济性以及技术成熟度等多方面综合考虑。

## 5 结论

综上所述，第一，在工程设计中变频器的选择，首先要按照机械设备的类型、负载转矩特性、调速范围、静态速度精度、起动转矩和使用环境的要求，然后决定选用何种控制方式和防护结构的变频器最合适。所谓合适是在满足机械设备的实际工艺生产要求和使用场合的前提下，实现变频器应用的最佳性价比。第二，正确选择电动机及电力电缆，对提高生产效率、减小故障率、增加运行的可靠性具有较大的现实意义。第三，在工程设计中应充分考虑变频器应用中存在的问题，及时总结提高。

#### 参考文献

- [1] 戈东方. 电力工程电气设计手册：电气一次部分. 中国电力出版社. 1989.
- [2] 中国航空工业规划设计研究院组编. 工业与民用配电设计手册 中国电力出版社. 2005.
- [3] 蒋运安. 低压变频电缆的选择与接线，电气

技术, 2013.

- [4] 雷蕾. 基于不同负载的变频器选择策略. 中国高新技术企业. 2014.

# 2013版清单计价规范下工程量偏差引起的合同价款调整研究

■ 陈敏 李锐娟 王玉平 [工程造价]

**摘要:** 由于建设工程自身的特性,合同价款纠纷在建设项目中屡见不鲜,其中工程量偏差引起价款调整具有普遍性,且容易引起发承包双方之间的纠纷。所以本文将深入分析工程量偏差引起的合同价款调整问题。本文围绕三个关键问题,一是要明确综合单价的调整机理;二是确定综合单价的确定方法;三是确定总价计算的措施项目费,提出每种问题的解决思路或方法,为此后解决此类问题提供依据。同时为承发包双方在处理施工过程中工程量偏差引起的合同价款调整问题时,提供了理论基础与实际建议,从而减少合同价款调整纠纷的发生。

**关键词:** 工程量偏差;综合单价;总价计算的措施项目费;价款调整

目前建设工程中大多数合同纠纷的起因,均来自竣工结算阶段,即发承包双方就实体工程量由谁承担责任的问题发生纠纷,当合同存在缺陷时,即在合同中没有明确约定工程量变动一定幅度范围,综合单价是否需要调整以及综合单价的调整方法与其引起的措施项目费的确定;由此,导致承发包双方在结算时对于工程量偏差引起的合同价款调整问题上各执一词。

本文通过对工程量偏差这一原因引起的合同价款调整问题进行深入研究,旨在剖析导致该问题的深层次原因,并进一步给出解决该问题的方法。因此,本研究的主要目的在于能够很好地解决,现实施工过程中,工程量偏差的条件下,施工方尚未做开工准备的前提下对于合同价款调整额的合理确定。

## 1 工程量偏差

### 1.1 工程量偏差的概念

《建设工程工程量清单计价规范》(GB50500-2013)(以下简称13版清单计价规范)较《建设工程工程量清单计价规范》(GB50500-2008)系统明确的提出了“工程量偏差”的概念。13版清单计价规范将工程量偏差定义为,承包人按照合同签订时的图纸(含经发包人批准由承包人提供的图纸)实施,按照现行国家计量规范规定的工程量计算规则计算得到的完成合同工程项目应予以计量的工程量与相应的招标工程量清单项目列出的工程量之间的偏差。

### 1.2 工程量偏差的原因分析(见图1)

综上所述:工程量偏差,一方面是由清单计价自身的特征引起的,如工程招标时技术文件的深度不够,设计疏漏;另一方面是由于业主自身原因,如业主招标准备的时间仓促,编制人员自身业

作者简介:陈敏,女,助理工程师,2013年毕业于天津理工大学工程造价专业,现就职于航空工业规划民航工程设计研究院。

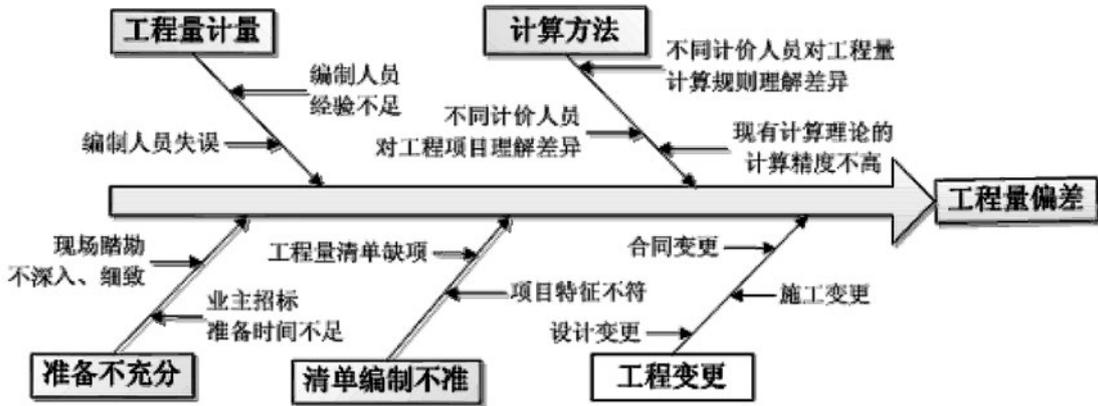


图1 工程量偏差原因

务水平不高等原因导致清单工程量准确性不高；同时，在工程建设过程中，由于工程变更等因素，也引起工程量偏差频繁出现。

## 2 综合单价调整的机理

### 2.1 经验曲线 (BCG Experience Curve) 的介绍

波士顿经验曲线又称经验学习曲线、改善曲线。经验曲线是一种表示生产单位时间与连续生产单位之间的关系曲线 (见图2)。经验曲线是一个人们较为熟知的概念。1960年，波士顿咨询公司 (Boston Consulting Group) 的布鲁斯·亨德森 (Bruce D. Henderson) 首先提出了经验曲线效应 (Experience Curve Effect)。亨得森发现生产成本和总累计产量之间存有一致相关性，即若一项生产任务被多次反复的执行，其生产成本将会随之降低。同时经各行业研究人员进行的研究得出每一次当产量倍增的时候，代

价值 (包括管理、营销、分销和制造费用等) 将以一个恒定的、可测的比率下降。

### 2.2 经验曲线的基本模型

经验曲线反映累计产量的变化对单位成本的影响，表达式为下面的微分方程式：

$$\frac{dy}{y} = -b \frac{dx}{x} \quad \dots\dots (2.1)$$

上式中  $y$  为每单位产品成本， $x$  为累计生产产量， $b$  为学习率指数 ( $0 < b < 1$ )。  $b$  的取值范围表明中成本的变化率总是小于累计产量的变化率。方程右边的负号则表明单位成本的变化与累计产量的变化方向相反。对(2.1) 式两边积分得：

$$\ln y = -b \ln x + c \quad \dots\dots (2.2)$$

$c$  为常数，令  $c = \ln a$  则

$$\ln y = \ln a x^{-b} \\ y = a x^{-b} \quad \dots\dots (2.3)$$

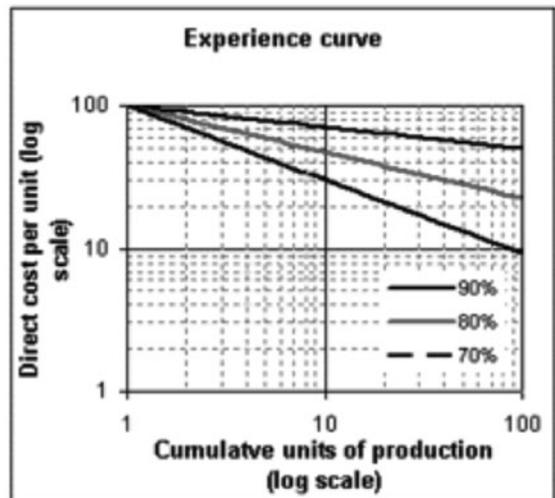
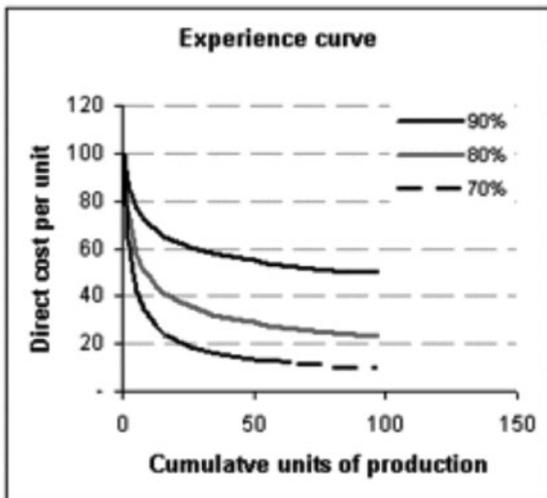


图2 波士顿经验曲线

(2.3) 式即为学习曲线的基本数学表达式。

由经验曲线的数学模型可以得出, 产量和成本之间呈反比变化, 即单位成本随着累计产量的增加呈递减趋势。

### 2.3 综合单价调价机理

清单计价模式下, 综合单价由人工费、材料费和工程设备费、施工机具使用费、企业管理费和利润组成。13清单计价规范中规定, 工程量变化超过一定幅度会导致综合单价的调整, 结合各专家学者对这个问题研究现状的分析, 具体如下:

余群周<sup>[1]</sup>认为, 当工程量减少时, 虽直接成本部分没有更多的投入, 但包含在被减少和删减工程量中的固定成本摊销部分却不能得到合理回收; 反之, 当工程量增加时, 则承包商回收的固定成本大于其实际投入。因而在进行竣工结算时, 当工程量的变化超出一定的范围时应对单价进行调整, 使承包商的固定成本部分在回收与实际投入之间总体达到平衡, 以公平的维护双方利益。

陈炜地<sup>[2]</sup>认为, 从机会成本的角度来说, 承包人实施超出合同工程量部分的工程量, 其管理成本是降低了(利润机会增加), 超出部分的工程单价应作调低处理。

郭楠鹏<sup>[3]</sup>提出, 工程量超出风险幅度部分调整综合单价的原因主要是由于承包人成本变动超出了风险范围, 超出部分应由发包人承担或分担。由于边际报酬递减规律的作用, 在工程施工阶段, 通常情况下, 工程量与成本是呈反方向变动的。

通过各学者的研究, 可以看出, 综合单价与工程量通常情况下也是呈反方向变动, 工程量变动超过一定幅度, 综合单价需要调整。与此同时, 结合上述经济学中原理, 也可以看出, 随着工程量的增加, 单位成本随之下降。

## 3 综合单价调整的方法

### 3.1 工程量偏差清单子目综合单价构成

工程量偏差即单纯的工程量变动, 故其所确定的单价即为工程量偏差所在清单子目的综合单价, 与分部分项清单工程量清单综合单价组成一致。由于工程量偏差项目能准确确定其综合单价, 因此不需计入风险费用。工程量偏差项目综合单价与原综合单价的关系见图3。

综上所述, 工程量偏差只是单纯的工程量变动, 可以准确的确定造价, 不用计算风险费用,

基本上不影响人材机费用, 故工程量偏差综合单价仍按上述过程确定, 只需重新确定管理费与利润即可。因为管理费和利润对变更价格的影响很大, 而且是引起变更争议的主要原因, 因此管理费和利润的计算是关键<sup>[4]</sup>。而且当项目的工程量或施工条件如发生变化, 就应重新考虑管理费的分摊<sup>[5]</sup>。

### 3.2 工程量偏差下管理费与利润确定

工程量变化影响综合单价的因素, 主要是管理费和利润。结合各学者的研究, 具体分析工程量变化对于管理费与利润综合单价影响机理, 具体见表1。

工程量变化使固定成本分担不合理, 进而使得相应分摊的管理费与利润发生变化, 即工程量增加, 管理费调低, 利润增加; 工程量减少, 管理费增加, 利润不变。因此, 仅需对管理费与利润作出调整, 即可确定新的综合单价。

#### 1. 工程量增加超过15%的情况

若按施工中工程实际发生的管理费以及利润来计算调整的综合单价中的管理费以及利润来确定需要调整部分的综合单价, 据此进行竣工结算就能实现发包人承担15%以外的工程量偏差的风险。

##### (1) 管理费的确定

由于工程量偏差是竣工结算时调整合同价款考虑的唯一因素, 又因管理费与工程量的变动是成反比的, 因此按照量变来推理可以用以下的公式来计算措施费:

$$\text{实际管理费率} = \frac{(1 + 0.15) \times \text{原工程量}}{\text{实际工程量}} \times \text{原管理费率} \quad \text{公式(3.1)}$$

##### (2) 利润的确定

由于工程量增加了, 利润分摊到工程量中, 方式应与管理费的分摊方式相同, 因此利润的计算公式为:

$$\text{实际利润率} = \frac{(1 + 0.15) \times \text{原工程量}}{\text{实际工程量}} \times \text{原利润率} \quad \text{公式(3.2)}$$

#### 2. 工程量减少超过15%的情况

##### (1) 管理费的确定

由上述工程量增加超过15%的管理费变化按实际发生的管理费来计算调整部分的综合单价可知, 工程量减少超过15%的管理费的公式为:

$$\text{实际管理费率} = \frac{(1 - 0.15) \times \text{原工程量}}{\text{实际工程量}} \times \text{原管理费率} \quad \text{公式(3.3)}$$

表1 各学者对于工程量变化影响综合单价各要素分析研究

序号	学者	观点	影响结果
1	王朝霞 <sup>[6]</sup>	清单项目综合单价组成中的管理费随工程量变化成非线性比例增减。	工程量变化使管理费成非线性变化
2	艾光鲜 <sup>[7]</sup>	变更工程单价计算的关键是确定管理费率,而新的管理费率应依据此项目工程量增减幅度,以合同规定管理费率为基础按比例推算新的管理费率。	应在原管理费率基础上确定新管理费率
3	余群周 <sup>[11]</sup>	当工程量减少时,虽直接成本部分没有更多的投入,但包含在被减少和删减工程量中的固定成本摊销部分却不能得到合理回收;反之,当工程量增加时,则承包商回收的固定成本大于其实际投入。因而在进行竣工结算时,当工程量的变化超出一定的范围时应对单价进行调整,使承包商的固定成本部分在回收与实际投入之间总体达到平衡,以公平维护双方的利益。	工程量增减变动使得固定成本分担不合理
4	陈炜地 <sup>[2]</sup>	工程量调整超出风险幅度部分调整综合单价的原因主要是由于承包人成本变动超出了风险范围,超出部分应由发包人承担或分担。由于边际报酬递减规律的作用,在工程施工阶段,通常情况下,工程量与成本是呈反方向变动的,而综合单价是由“成本(人工费+材料设备费+机械费+管理费)+利润”构成的,因此,综合单价与工程量通常情况下也是呈反方向变动的。	综合单价与工程量是反方向变动
5	孙玉红 <sup>[8]</sup>	在企业投标报价时,该工程的总管理费用和预期利润是按总工程量计算并分摊到每个单项工程中去的,减少的工程量无疑将会使承包商失去隐含在这部分工程量付款额中的管理费用和利润。同样道理,增加工程量的分项工程也因此会使承包商获得额外利益。可见,工程量的变化与企业的利益密切相关的。	工程量的减少(增加)使得承包商失去(增加)隐含在这部分费用中管理费和利润
6	曾祥瑞, 高平 <sup>[9]</sup>	现实中,管理发生的费用可能并不随着变更子目直接费的变化而变化,甚至可能不变。因此,应重新计算管理费的总额并重新分摊。	管理费并不一定随着变更子目的直接费变化而变化
7	孙海陶, 沈杰 <sup>[10]</sup>	从机会成本的角度来说,承包人实施超出合同工程量部分的工程量,其管理成本是降低了,利润机会增加,超出部分的工程单价应作调低处理。但实际合同实施过程中,如果工程量变更很大的话,一般工期都会得到相应的顺延,故应该考虑其综合单价的降低,可以采取降低其超出部分工程量的管理费与利润。而当变更减少的工程量减少超15%,也应该相应增加管理费和利润。	工程量增加,管理成本降低,利润增加
8	杜浩, 贺晓敏 <sup>[11]</sup>	因工程变更造成实际完成工程量偏差较大时,应对原合同单价作必要的调整。这是因为单价合同中的清单工程量是估算工程量,承包人按此工程量分摊完成整个工程所需管理费和利润总额,从而推算出一个包含固定费率(管理费率和利润率)的综合单价。	工程量偏差较大时,需要重新确定包涵固定费率(包含管理费率和利润率)的综合单价
9	董宇 <sup>[12]</sup>	工程量变化幅度大的项目,法律法规规定是只改变工程量变化幅度范围之外的工程变更项目综合单价,不改变人材机费用,只改变管理费和利润。	工程量变化,不引起人材机费用的改变,只是管理费、利润的变化
10	郭楠鹏 <sup>[3]</sup>	从机会成本的角度来说,承包人实施超出合同工程量部分的工程量,其管理成本是降低了(利润机会增加),超出部分的工程单价应作调低处理。	工程量增加,管理成本降低,利润增加

(2) 利润的确定

由于工程量偏差是非承包人的原因引起的，同时工程量减少了，发包人要对承包人进行补偿。因此，此部分的利润不应按实际的来减少，即反应在新的综合单价中不应考虑利润的分摊，仍执行原利润。

4 按系数或单一总价计算的措施项目费的确定

总价措施项目即工程量清单中以总价计价的项目，总价项目费用的发生和金额的大小与使用时间、施工方法或者两个以上工序相关，与实际完成的实体工程量的多少关系不大，此类项目无法计算工程量，计量单位为“项”，以总价（或计算基础乘费率）计算的项目。总价措施项目子目分为非竞争性施工措施项目和竞争性施工措施项目两大类，见图4。

4.1 修正总费用法确定总价措施项目

由于工程量变化过大，导致的总价措施项目变化，进而需要调整。由于重新计算比较繁琐，故而本节介绍一种在原报价的基础上快速适当确定总价措施项目费的方法。

(1) 拉氏指数概念的介绍

拉氏指数是德国经济学家拉斯贝尔(LASPEYRE)于1864年首先提出的。他主张无论是数量指标指数还是指数，都采用基期同度量因素(权数)的指数。拉氏指数分为拉氏物价指数和拉氏物量指数。拉氏指数的优点是用基期数量作权数可以消除权数变动对指数的影响，从而使不同时期的价格指数具有可比性。

(2) 拉氏指数计算公式及原理

$$\text{拉氏物量指数 (L1)计算公式: } I_P = \frac{\sum P_0 Q_1}{\sum P_0 Q_0}$$

拉氏物价指数是指为了说明销售量的变动，同度量因素必须使用同一时期的，即假定两个时期的商品销售额是按同一时期的价格计算的，然后再

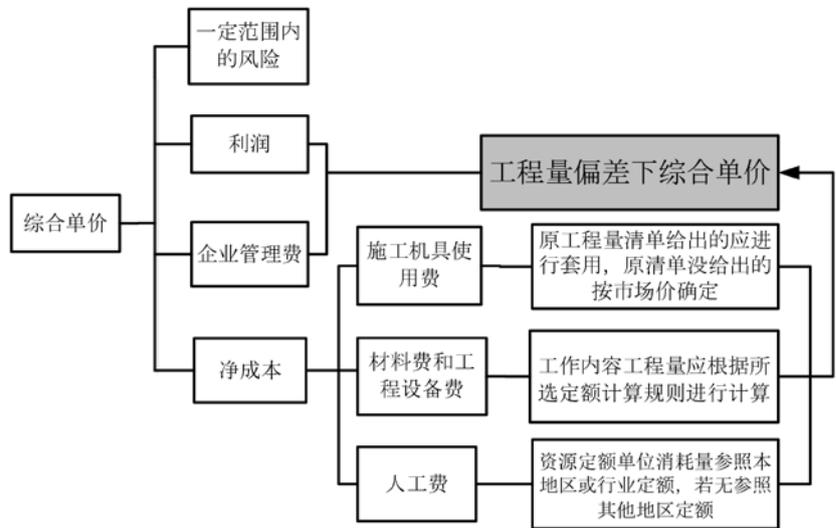


图3 工程量偏差项目综合单价与原综合单价的关系

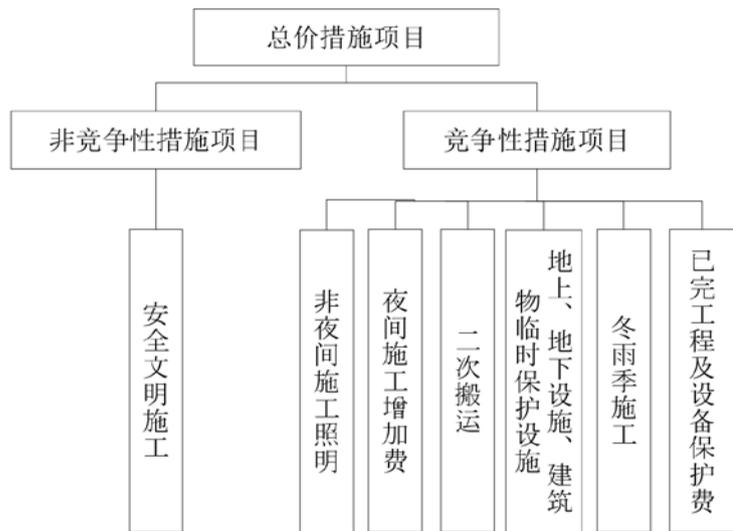


图4 总价措施项目分类

进行对比。

$$\text{拉氏物价指数(L2)计算公式: } I_P = \frac{\sum P_1 Q_0}{\sum P_0 Q_0}$$

拉氏物价指数是用数量指标作为同度量因素，反映质量指标变化的指数，也是说明总体内涵数量变动情况的指数。

(Q代表销售量等数量指标，P代表市场价等价格指数。)

(3) 拉氏指数在总价措施项目中的应用

通过对拉氏物量指数与物价指数的介绍，可知物量指数是以固定P反映Q的变动，物价指数是以固定Q反映P的变动。总价计算的措施项目可以参照拉氏物量指数计算公式。

由于工程量偏差只是单纯工程量的变动,即在确定工程量变化后,首先得出相应分部分项工程费、直接工程费、人工费、机械费这些计算基数;其次当工程量发生增减变化后,通常情况下工期也会随之发生增减变化,由此不会增加或减少夜间施工的密集度(除非工程量大幅增加而工期不变甚至减少,夜间施工投入加大,降效加重),因此以费率体现的夜间施工费应该维持投标时的费率水平;施工场地会因工程量的变更使得二次搬运材料的多少随之变化,而二次搬运的材料量与工程实体正相关(正比例),因此以费率体现的二次搬运费也应该维持投标时的费率水平;至于冬雨季施工费,并不会因工程量变更的增减变化而增加冬雨季施工的程度,即便因工程量变更致使工程进入冬雨季施工,在投标时已经明示要求投标方进行了冬雨季施工费的报价,投标方也不能因工程量的变化而改变投标时的费率水平。最后以此来确定总价计算的措施项目费调整额。

具体公式为:

$$I_P = \frac{\sum(\text{变化后分部分项工程费、直接工程费、人工费、人工费+机械费}) \times \text{费率}}{\sum(\text{变化前分部分项工程费、直接工程费、人工费、人工费+机械费}) \times \text{费率}}$$

综上所述,即工程量偏差前提下,总价计算的措施费中的记取基数里的人材机单价与记取费率均不随工程量发生变动。故只需考虑单一因素工程量的变化,对于总价措施项目的影响。而总价计算措施费的这些基数早在分部分项工程中已确定,故调整指数即可知晓。

## 5 结论

由于建设工程自身的特性,使得工程量偏差普遍存在于整个经济发展过程中,工程量出现太大幅度的变动时,承包人就有可能利用此缺陷,以获取超额利润。施工单位获取超额利润的同时就是建设单位的损失。若承发包双方在合同签订时期对价款调整相关条款约定不完善,如没有约定工程量调整幅度、综合单价确定方法等,将会导致承发包双方在处理施工过程中工程量偏差引起的合同价款调整问题时各执一词,因此导致合同价款调整纠纷频繁发生从而导致双方价款纠纷的发生,影响工程项目的顺利进行。所以本文将深入分析工程量偏差引起的合同价款调整问题,为承发包双方在处理工程量偏差合同价款调整问题上有据可循。

## 参考文献

- [1] 余群舟.基于工程量变化单价调整理论及方法分析.建设监理[J].2006(01).
- [2] 陈炜地.建设工程工程量清单项目变更计价办法探讨[J].经济师.2008(07).
- [3] 郭楠鹏.合同变更价款确定原则在实施过程中的应用与探讨[J].广东水利水电.2005(06).
- [4] 陈敏.建设工程合同价格调整[D].东南大学,2004.
- [5] 陶学明,李颖.基于工程量清单计价模式的综合单价风险控制西华大学学报.[J]2010(01).
- [6] 王朝霞.招标文件编制在建设项目投资控制中的作用[J].山西广播电视大学学报.2012(12).
- [7] 艾光鲜.建筑工程变更的合同管理[D].东北财经大学,2007.
- [8] 孙玉红.工程量清单计价模式下的工程量变更风险分析[J].现代经济.2006(07).
- [9] 曾祥瑞,高平.工程变更计价条款的改进探析[J].工程管理学报,2011(06)
- [10] 孙海陶,沈杰.工程变更价款的确定[J].基建优化,2006(10).
- [11] 杜浩,贺晓敏.浅析变更项目综合单价的确定[J].中小企业管理与科技,2010(11):229.
- [12] 董宇.工程变更项目综合单价确定及其争议管理[D].天津理工大学,2007.

# 超长无支撑雨棚解决方案 及抗震简化算法

■ 张晓彤 周青 郭鹏 [结构]

**摘要:** 上海浦东国际机场某货运站空侧雨棚长393m,进深24.8m,受使用要求及工艺布置限制,结构纵向无法设置柱间支撑,加之结构超长,导致结构纵向刚度较弱,地震作用下柱顶纵向水平位移较大。本文介绍了通过异形柱设计方案,利用底部剪力法和PKPM门式刚架二维设计模块进行简化计算,不仅解决了上述问题,也避免了异形柱建模的复杂性。

**关键词:** 超长雨棚;异形柱;地震作用;简化算法

## 1 工程概况

货运站位于上海浦东国际机场,建筑总长约393m,进深约121.6m,可分为主站房、陆侧雨棚、空侧雨棚、货运业务用房及冷库五个功能区(见图1)。其中主站房、陆侧雨棚和空侧雨棚均为单层结构,建筑面积分别约为26,278m<sup>2</sup>、3,917m<sup>2</sup>和5,007m<sup>2</sup>,结构形式分别为钢筋混凝土柱+网架、钢框架+斜拉杆和门式刚架结构;货运业务用房为3层钢筋混凝土框架结构,建筑面积2,918m<sup>2</sup>;冷库为单层,局部2层的钢筋混凝土框架结构,建筑面积2,293m<sup>2</sup>。各功能区通过抗震缝分隔。本文主要介绍空侧雨棚。

空侧雨棚总长393m,跨度24.8m,采用单坡门式刚架结构,柱距8m、16m。空侧雨棚与主站房之间设200mm抗震缝。

该工程设计使用年限为50年,结构安全等级二级;抗震设防烈度7度,设计地震分组为第二组,设计地震基本加速度0.1g,水平地震影响系数最大值(多遇)0.08,抗震设防类别丙类,场地类别为上海IV类,特征周期0.9s;基本风压0.55kN/m<sup>2</sup>(设计基准期50年);基本雪压0.2kN/m<sup>2</sup>(设计基准期50年)。

## 2 设计难点

### (1) 平面体型狭长

空侧雨棚总长393m,跨度24.8m,长宽比约为16,属抗震不利的狭长平面体型。雨棚长度大于300m,根据GB51022-2015《门式刚架轻型房屋钢结构技术规范》(以下称《门刚规范》),门式刚架轻型房屋钢结构的纵向温度区段不宜大于300m<sup>[1]</sup>。因此需采取措施,尽量减小结构长宽比。

### (2) 柱网不规则且抗侧力体系布置困难

对工业建筑,满足功能要求是结构布置的重要

作者简介:张晓彤,女,助理工程师,2015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民航工程设计研究院。

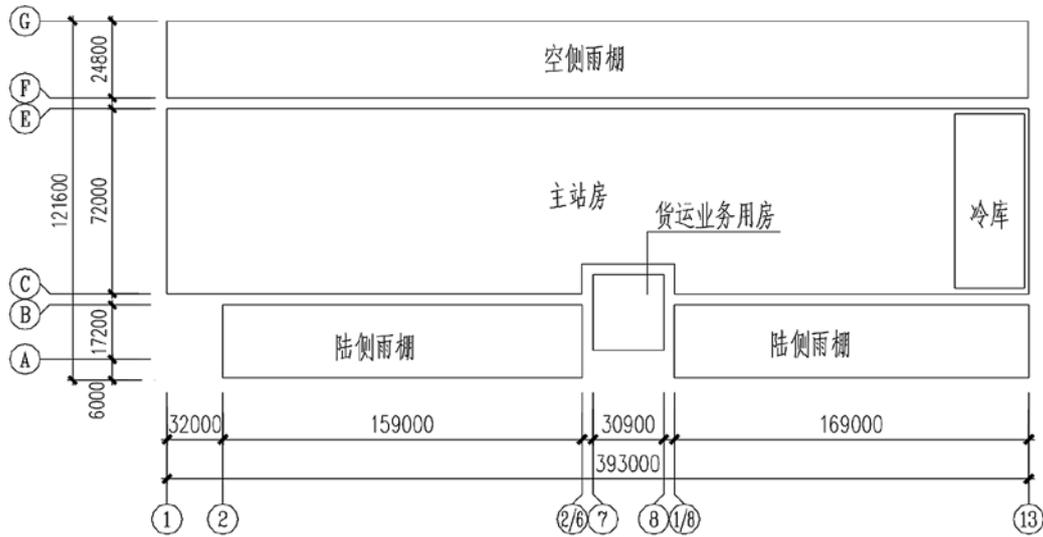


图1 货运站各功能区示意图

准则之一。根据业主提出的功能要求，经工艺专业设计计算得出：该货运站所需的集器拖板车尺寸约为12m×4m，行驶方向为由空侧驶入雨棚，最终到达辊道输送机；货物装卸台共30个，其中有3个装

卸台需1台辊道输送机传送货物，有27个装卸台需2台辊道输送机并排放置传送货物。单台输送机宽3m，两台并排放置所需的最小宽度为6m，输送机加货物的高度约为4.5m。工艺要求示意图见图2。

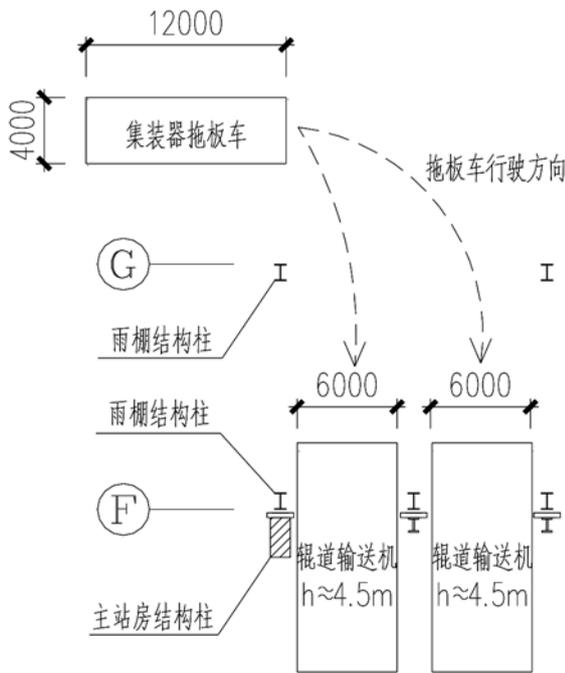


图2 工艺要求示意图

为防止集器拖板车斜向驶入雨棚时冲撞结构柱，并考虑输送机并排放置的长度需求，工艺专业建议F轴的柱间净距宜大于7m，G轴的柱间净距宜大于13m，据此可得出柱网布置，工艺布置及柱网布置见图3。从图中可看出，由于拖板车行驶要求，G轴无法设置柱间支撑。由于工艺设备排布、辅助用房出入口及结构分缝要求，F轴仅有个别位置可以设置交叉型柱间支撑。

### 3 解决方案提出

#### 3.1 超长解决方案

钢结构超长一般会导致较大的温度变形和应力，这种温度作用会与其他荷载作用组合叠加，影响结构安全。此外，日夜变更和季节交替会带来温度应力的交替，构件连接处的焊缝作为温度应力的应力集中点，在交替应力的反复作用下易发生破坏，最终将导致结构失效<sup>[2]</sup>。工程上一般通过设置伸缩缝解决该问题。

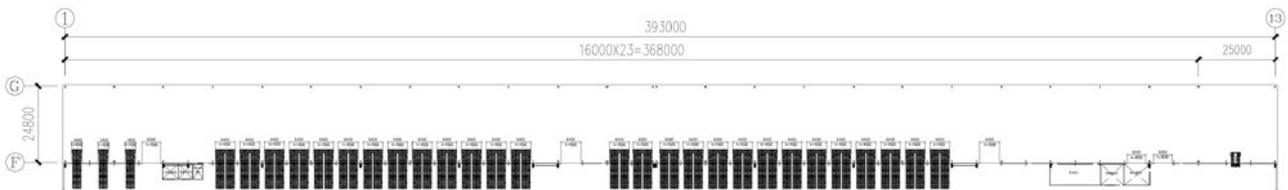


图3 工艺布置及柱网布置图

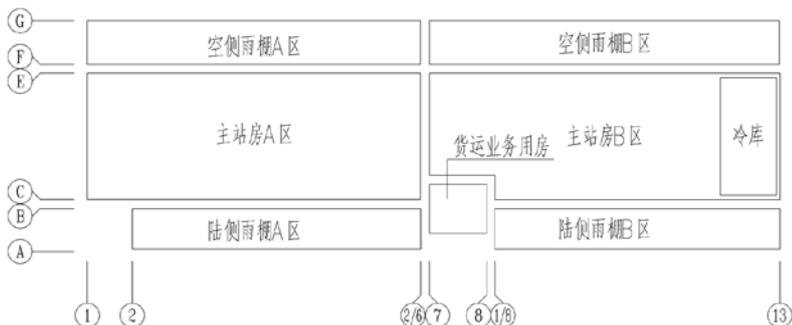


图4 货运站结构单元分区示意图

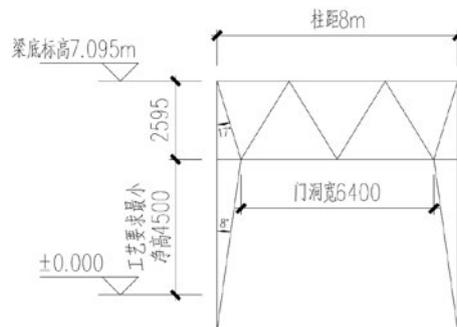


图5 空腹式门形支撑示意图

设计将空侧雨棚分为A、B两区。由于货运业务用房并不位于雨棚长度方向的中点，为使得A、B区长宽比尽量相同，并考虑主站房与货运业务用房连接的施工方便性以及雨棚与主站房分区的一致性，取A区长191m，B区长201m，两区之间设650mm伸缩缝。由此计算出空侧雨棚最大长宽比约为8。综上，货运站共划分8个结构单元，单元分区示意如图4。

### 3.2 结构布置解决方案

由工艺布置导致的结构布置问题主要分为两方面：一方面F轴柱距与G轴柱距不等；另一方面结构沿长度方向难以设置柱间支撑。针对两轴柱距不等的问题，可考虑的解决方案有以下两种：

1a) 改变柱网布置，令两轴柱距一致。若采用此方案，则柱距最小需为14m，而根据《门刚规范》，柱网轴线在纵向的距离宜为6m~9m<sup>[1]</sup>。14m的柱距已超出规范推荐值，经济性较差。

1b) 不改变柱网布置，在G轴设置分配梁传递荷载。此方案保证了F轴的柱距符合规范推荐值，分配梁与雨棚柱刚接的设计，不仅可递荷载，也可提高结构纵向刚度。

结构抗震不利且结构沿长度方向难以设置柱间支撑是本项目的最大难点，可以考虑的解决方案有以下四种：

2a) G、F轴均不设柱间支撑，采用传统的工字形梁柱门刚结构。由于结构长宽比和G轴柱距较大，纵向整体刚度相对较小，在较大的地震作用下此方案易产生安全问题。

2b) G轴不设柱间支撑，F轴设置十字交叉柱间支撑。这将导致结构刚度分布不均。此外，为满足使用要求，A区的两个柱间支撑将分别位于A区两侧，间距120m，柱间支撑间距不满足规范要求；B区两个柱间支撑的间距虽可满足规范要求，但其位置均位于B区右侧，将导致结构刚度分布不

均，对抗震不利。

2c) G轴不设柱间支撑，F轴设置空腹式门形柱间支撑。这将导致结构刚度分布不均。且在满足工艺最小要求的前提下，支撑与雨棚柱的夹角分别为8°和17°，柱间支撑的角度较差（详见图5），无法充分发挥其作用。

2d) G轴、F轴均不设柱间支撑，采用异形雨棚柱，提高雨棚柱在长度方向上的刚度。这样可以保证两轴纵向刚度基本相同，避免刚度分布不均。同时由于雨棚柱自身沿长度方向刚度较大，可直接用于抵抗纵向水平地震力。再者异形柱占用空间小，可满足功能及工艺要求。

经综合比选，最终采用方案1b)和2d)，具体设计如下：

1) F轴、G轴各柱之间设置钢梁，与雨棚柱刚接，取代传统门刚结构中的纵向撑杆，用于增加结构纵向刚度，提高地震作用沿纵向传递的均匀性和连续性。G轴的钢梁同时充当分配梁，用于传递F轴单柱刚架传递来的荷载。梁柱布置示意图见图6；

2) 在结构两端增加撑杆数量，且每隔32m设置屋面水平交叉支撑，用于增加结构整体刚度，提高结构的整体受力性能；

3) 在传统工字形门刚柱的基础上，选取部分门刚柱，在其腹板单侧和双侧增设T形结构（详见图7），形成异形雨棚柱，代替传统柱间支撑承担纵向水平地震作用。

## 4 建模及简化计算

为提高设计效率，节约计算时间，考虑门刚整体建模和异形柱建模较为复杂，故建模及计算软件采用中国建筑科学研究院编制的PKPM 2010（V3.1.4版）门式刚架二维设计模块，对纵向水平地震作用的计算采用简化算法。

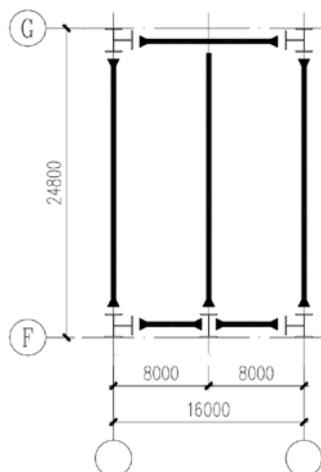


图6 梁柱布置示意图

#### 4.1 模型种类

空侧雨棚的模型大致可分为3类：

(1) 横向模型：可计算每榀刚架在面内荷载作用下的梁柱内力、强度、稳定、位移及其他相关指标；

(2) 用于计算纵向钢梁强度的纵向模型：可计算纵向钢梁在竖向荷载和纵向水平荷载作用下的内力、强度、稳定、挠度等指标。为使计算尽量准确，建模时将刚架梁传递到刚架柱顶端的恒活载，以及钢架梁传递到钢梁上的恒活载手动添加到模型中，然后再进行钢梁计算；

(3) 用于计算纵向地震作用的纵向模型：主要计算雨棚柱在纵向水平地震作用下的内力和位移。

以下将以空侧雨棚B区为例，详细介绍模型(3)的建模方法及纵向结构在地震作用下的简化计算。

#### 4.2 地震作用纵向模型建立

模型3)分为F轴和G轴纵向模型。雨棚梁柱截面形状共3种：工字形截面和两种异形柱截面。

为简化计算并避免异形柱建模，建模时做如下假定：门式刚架横向模型中的竖向和水平荷载由工字形柱和异形柱部分截面（见图8阴影部分）承担；门式刚架纵向模型中的竖向和水平荷载由工字形柱和异形柱另一部分截面（见图9阴影部分）承担。

单个T形结构的尺寸为：翼缘400mm×24mm，腹板400mm×20mm。纵向模型建模时选用PKPM截面库中的工字形截面模拟异形柱。对非异形柱，则将工字形截面旋转90°进行模拟。各支柱之间通过工字形钢梁形成刚性连接。钢梁、钢柱均采用Q345钢<sup>[3]</sup>。模型简图见图10和图11。

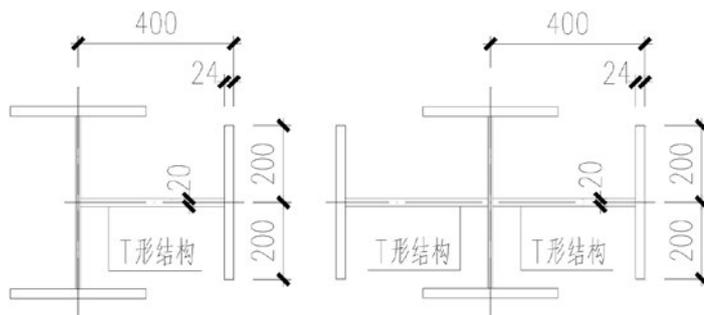


图7 异形雨棚柱示意图

#### 4.3 简化计算

根据《门刚规范》及GB50011-2016《建筑抗震设计规范（2016年版）》（以下简称《抗震规范》），该结构的纵向柱列可采用底部剪力法计算地震作用<sup>[4]</sup>。

但由于建模时，异形柱为简化建模，有部分柱截面并未建入模型中，因此计算地震作用时，纵向结构的梁柱自重（ $F_{D1}$ ）与实际并不符合。另外，计算纵向模型地震作用所需的屋面恒载、钢架梁自重、围护结构自重等恒荷载（ $F_{D2}$ ）和雪荷载（ $F_s$ ）也未包含在模型中。若经计算后，将上述荷载手动添加到模型中，不仅耗费时间，而且在软件中也无法使用底部剪力法进行准确计算。

考虑到雨棚纵向由钢梁刚性连接，且每隔32m设置了屋面交叉水平支撑，可认为水平地震作用在各柱之间能均匀连续地传递。故可通过底部剪力法首先计算出纵向水平地震作用总和，再将总地震作用平均分配到各柱柱顶。计算重力荷载代表值时，恒载取各轴纵向梁柱自重（ $F_{D1}$ ）加分配到该纵向结构的恒荷载，活荷载取分配到该纵向结构上的活荷

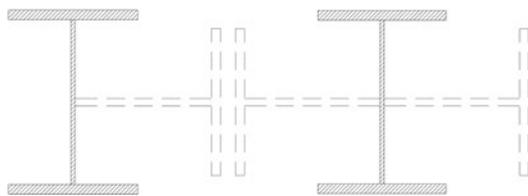


图8 横向模型中异形柱的简化

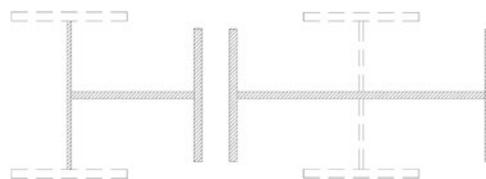


图9 纵向模型中异形柱的简化



图10 F轴纵向结构模型简图



图11 G轴纵向结构模型简图

载, 总地震作用在两纵向柱列间的分配系数取0.5。

根据《抗震规范》, 底部剪力法计算的地震作用 $F_{Ek}$ 如下:

$$F_{Ek} = \alpha_1 G_{eq} \quad (1)$$

$$G_{eq} = 1.0 \times (F_{D1} + F_{D2}) + 0.5 F_S \quad (2)$$

其中,  $F_{Ek}$  ——根据底部剪力法计算的水平地震作用总和, kN;

$\alpha_1$  ——相应于结构基本自振周期的水平地震影响系数, 此处按最不利情况取 $\alpha_1 = \eta_2 \alpha_{max}$ ;

$G_{eq}$  ——重力荷载代表值, kN, 其中 $F_{D1}$ 为纵向结构梁柱自重,  $F_{D2}$ 包括屋面恒荷载、女儿墙自重、墙面挂板自重、钢架梁自重,  $F_S$ 为雪荷载。

根据《抗震规范》, 相应于结构基本自振周期的水平地震影响系数 $\alpha_1$ 计算如下:

$$\alpha_1 = \eta_2 \alpha_{max} = \left( 1 + \frac{0.05 - \zeta}{0.08 + 1.6\zeta} \right) \times 0.08 \quad (3)$$

$$= \left( 1 + \frac{0.05 - 0.035}{0.08 + 1.6 \times 0.035} \right) \times 0.08 = 0.089$$

其中,  $\eta_2$  ——阻尼调整系数;

$\alpha_{max}$  ——地震影响系数最大值, 根据规范取0.08;

$\zeta$  ——阻尼比, 根据规范取0.035。

经计算, 总地震力为486.64kN。G轴、F轴各有异形柱10根, 故将地震力平均分配至上述20根异形柱, 每根柱上的地震作用节点力为24.332kN, 实际计算时取24.5kN。

#### 4.4 计算结果

经计算, 设置异形柱后, G轴雨棚柱在地震作用下的柱顶水平位移约为 $h/374$ , F轴雨棚柱在地震作用下的柱顶水平位移约为 $h/314$ 。

由于雨棚柱在纵向由工字形钢梁刚性连接, 有别于传统的撑杆铰接连接, 雨棚柱的柱顶水平位移由《抗震规范》控制。根据规范, 柱顶水平位移限值为 $h/250^{[4]}$ , 设计满足规范要求。

## 5 总结

本文以上海浦东国际机场某货运站空侧雨棚为例, 解决了设计中结构纵向超长且难以设置柱间支撑的问题, 并提供了一种较为快速准确的雨棚柱在纵向水平地震力作用下柱顶位移的计算方法。

本设计使用的异形柱可增加结构纵向刚度, 避免使用柱间支撑, 为工艺设备提供充足的空间, 满足工业建筑对使用功能的要求, 随之带来的计算难度可通过本文提出的简化算法解决。但该算法仍存在一定局限性, 例如: 无法准确给出地震作用在两个纵向结构之间的分配比例、无法得到准确的结构自振周期等。因此该方法比较适合初步设计阶段的估算, 对施工图阶段的精确计算, 应考虑整体建模, 由于雨棚未设置柱间支撑, 柱脚在施工图设计时采用刚接, 柱按双向受力进行设计计算。

#### 参考文献

- [1] GB51022-2015 门式刚架轻型房屋钢结构技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- [2] 林锴锴, 王元清, 石永久, 施刚. 温度作用对钢结构设计与施工的影响分析[A]. 第十届全国现代结构工程学术研讨会论文集[C]. 天津大学、上海交通大学, 2010.
- [3] GB50017-2003 钢结构设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2003.
- [4] GB50011-2016 建筑抗震设计规范(2016年版)[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.

# 国有建筑工程企业招标采购 风险及管控分析

■ 廖洁 [工程管理]

**摘要:** 随着当前建筑市场竞争日益激烈,经济体制不断完善,市场在资源配置中决定性作用日益凸显,国内公共资源交易体制改革正如火如荼开展,国有建筑工程企业勇担责任领跑行业先锋,积极主动采用招标方式确定供应商,优化资源配置,提高效率,营造公平竞争的市场环境,发挥着越来越突出的作用,因此,对于招标采购过程中的风险,正确分析有效预防管控,是国有建筑工程企业须认真面对的重要工作。

**关键词:** 国有建筑工程企业; 风险; 管控

## 1 国有建筑工程企业招标采购现状

自招投标制度实施以来,国家及地方均出台一系列法律法规及政策文件促进招投标活动的实施及发展,建筑市场作为国家经济市场的有力支柱,建筑工程招投标在国内招投标市场占据较大份额,建筑工程企业尤其是国有建筑工程企业在国家的带领号召下,积极主动采用招投标制度公平透明选择供应商,更有企业专门成立了采购工作小组,明确采购工作的民主集体制原则及监督制度。各地政府设立了采购交易公开平台如公共资源交易中心、建设工程交易中心、建筑工程承发包交易中心等,发承包双方在平台上完成招投标全过程,有效提高了招标采购过程的公开透明度,较大程度上减少人为因素干扰,有力保证了企业招标工作质量的提升。采用招标的方式确定供应商日益普及透明,发展态势及采购质量也日趋规范,但也存在有招标采购违规现象,招标采购领域尤其是建筑工程招标采购金额巨大,经济利益较为明显,各利益主体通过不同方式介入,使原本单纯的招标采购活动演变成权利寻租,给国家及社会造成不良影响及损失。其中有

招标人未按照法律法规规定违规招标、跨越基本建设程序实施项目招标、管理人员及操作人员业务水平不高、对国家法律法规理解不到位、风险防范意识薄弱,廉洁自律意识不强,知法犯法,从中谋取利益;也有招标代理机构不完全履行自身职责,不辨是非,违规满足招标人不合理要求,配合招标人进行违规招标;也不乏投标人不诚意投标,串标围标陪标导致招投标市场混乱复杂,影响正常招标工作及结果。

## 2 国有建筑工程企业招标采购存在的风险

招标采购是一项涉及环节多、参与主体复杂的工作,任何一个环节出现问题可能导致不同的结果,合理识别风险达到规避或降低风险是目标。具体的风险简单整理如下:

(1) 企业招标采购制度风险。依法治国依法治企,法就是规矩,企业是否制定了相应的采购管理制度,制度是否合理全面,是否按制度执行等,如果建立了完善合理的采购管理制度并严格执行,风险必然相对可控。

(2) 采购包划分的风险。采购包的内容在一定程度上决定着合同额的大小,采购包的数量决定着中标人的数量,因此采购包的划分一定程度上影

作者简介: 廖洁,女,工程师,2011年毕业于中国地震局工程力学研究所防灾减灾工程及防护工程专业,现就职于航空工业规划技术质量安全部。

响着采购结果的成功与否。采购包的划分是否遵循法律法规规定,是否合理规划标段及分包,是否将由一个承包单位完成的建筑工程肢解成若干个采购包等。

(3) 供应商选择的**风险**。供应商的选择直接影响着投标报价及工程质量,邀请招标所邀请的供应商是否满足项目招标的资质及能力要求,是否以不合理条件排斥潜在的供应商等。

(4) 采购交易平台选择的**风险**。选择不同的采购交易平台决定着采购项目受政府监管的程度不一,面对的企业群体也不一,有些交易平台规定参与投标的企业应在其平台进行相应的严格的注册及实名认证、对于招标人提交的招标文件也进行严格的审核;有些交易平台则管理较为放松,要求管理不大严格的采购交易平台给想要实施小动作的招标人及投标人提供了可乘之机。

(5) 采购方式确定的**风险**。采购方式分为公开招标、邀请招标、单一来源谈判、询价等方式,采用何种采购方式是否与项目立项时批复的招标方式一致,如果立项时对招标方式无批复,是否采用了公开招标的方式。选择不同的采购方式,采购的过程环节有所差别,各环节的重点也不一样,采购结果也势必不同。

(6) 招标公告发布媒介选择的**风险**。招标公告发布媒介的选择在一定程度上决定着项目的竞争激烈程度及公开透明度。在何种档次规模媒介何时发布,公告的时限、公告内容的符合性完整性都将影响招标后续环节,也在一定程度影响着招标结果的成功与否。

(7) 采购文件编制审查的**风险**。采购文件是采购工作的灵魂,一份优秀的采购文件能反映采购人的需求特点及意图,招标文件的编制是否符合国家法律法规要求、是否符合规范及行业惯例、是否具有明显倾向性及排斥性,评标办法是否符合项目特点及要求等;编制后的文件是否经过了内部部门(如设计人员、采购人员、管理人员等)的评审,是否按规定送至规定的政府部门或机构进行审核评审等。采购文件的编制审核过程如有多层级复核机制可有效控制采购文件质量及相应风险。

(8) 评标的**风险**。评标环节的风险主要为:是否按照法律法规规定及招标文件规定在规定的专家库中抽取评标专家,专家的组成是否符合法定要求,专家的专业水平是否满足规定,专家是否按招标文件中评标办法进行评标。

(9) 评标结果确定的**风险**。是否在规定的媒介进行中标公示、公示期限是否符合法律法规要求、是否按规定确定排名第一的中标候选人等为中标人等。

(10) 合同签订**风险**。合同签订风险主要表现为:合同签订人是否为中标人;招投标双方是否按中标通知书的中标价格签订合同;合同内容与招标文件中合同条款是否存在有实质性的改变,合同内容是否合理全面;合同签订时间是否在规定的时间内。

(11) 采购变更的**风险**。采购合同实施过程中,因各种原因发生采购变更,是否按规定的流程进行合同补充或者重新招标等。

### 3 国有建筑工程企业招标采购风险防控措施

国有建筑工程企业作为行业的风向标,在招标采购工作中应严格风险防范,保证招标采购的质量,促进行业发展,主要的措施可以为:

(1) 企业及管理**者**要严格执行招标采购法律法规,依法治企,严守高压线,熟悉掌握招标投标法律法规,积极参与行业内外举办的培训交流提高业务水平。

(2) 完善建立与企业业务模式相符的招标采购管理制度。国有建筑工程企业应制定相当于或严于国家法规的企业招标采购管理制度,制度应涵盖本企业内生产经营业务的特点及可操作性并保证一定的效率性,严格执行制度同时加强日常的监督检查管理。

(3) 提前进行采购策划并注重策划的**指导性**。凡是预则立不预则废,一份合理可行的采购策划将对项目的执行起到事半功倍的效果,准确的策划能合理预估过程中的风险并采取措施进行规避或降低。

(4) 加强采购管理全流程**管控**。所谓牵一发而动全身,采购管理应与项目管理其他方面如质量进度安全等管理形成系统工程,用系统的思路应对采购过程中的风险。

#### 参考文献

- [1] 李佳欣.工程项目招投标风险研究[D].北京邮电大学,2007.
- [2] 俞瑜.建设工程施工招标风险分析及应对措施[D].浙江大学,2013.

# 大型单体建筑空调冷冻水大温差系统的经济性分析

■ 张晓莉 孟凡兵 [暖通]

**摘要:** 本文以某综合医院大楼为研究对象,借助TRNSYS软件模拟计算全年空调逐时动态负荷,通过对3种空调方案初投资及运行费计算,比较采用大温差与常规温差的总投资差别,分析空调冷水大温差系统的适用性。

**关键词:** 大型单体建筑;空调冷水;大温差;经济分析;全年空调逐时动态负荷

近些年来,我国商业综合体、大型综合医院等大型单体建筑越来越大,越来越多。空调系统大温差运用在大型单体建筑的经济性尚需进行研究及探讨。

## 1 工程案例分析

### 1.1 工程概况

该工程位于夏热冬冷地区某综合医院大楼,耐火等级为一级。该医院分为门诊医技楼、第一住院大楼、第二住院大楼和配套地下室部分。

医院总建筑面积约25万 $\text{m}^2$ 。其中门诊医技楼地上4层,建筑面积约8万 $\text{m}^2$ ,建筑高度约21m;第一、二住院大楼为高层公共建筑,建筑面积(地上部分)约8万 $\text{m}^2$ ,建筑高度约43m。配套地下室为2层车库,建筑面积约9万 $\text{m}^2$ 。

### 1.2 空调设计方案

#### 1.2.1 冷热源

根据医院不同区域不同功能与使用特点,选用了不同的空调形式,其中手术室采用独立冷热源全空气空调系统;医技区域采用多联式空调(热泵)系统;其他区域为常规舒适型空调,采用风机盘管加新风或全空气空调系统,采用本建筑集中冷源空调系统。此集中冷源空调系统,住院大楼按全天24小时工作,门诊等其他区域按全天8个小时工作。主冷源由本建筑地下2层制冷机房直接供给;热源由园区内锅炉房提供95 $^{\circ}\text{C}$ /70 $^{\circ}\text{C}$ 热水,经高效换热机组提供60 $^{\circ}\text{C}$ /50 $^{\circ}\text{C}$ 热水为空调系统服务。

#### 1.2.2 空调水系统

空调水系统采用一级泵闭式系统,在制冷系统分集水器之间设置压差旁通,空调机组末端设置电动调节阀,以保证系统变流量的需要。

#### 1.2.3 冷负荷典型部分负荷分布情况

借助TRNSYS软件计算的模拟,计算其全年空调逐时动态负荷,夏季冷负荷不同负荷率小时数分布图见图1。

作者简介:张晓莉,女,高级工程师,2001年毕业于兰州铁道学院暖通空调专业,现就职于航空工业规划飞机工程研究院。

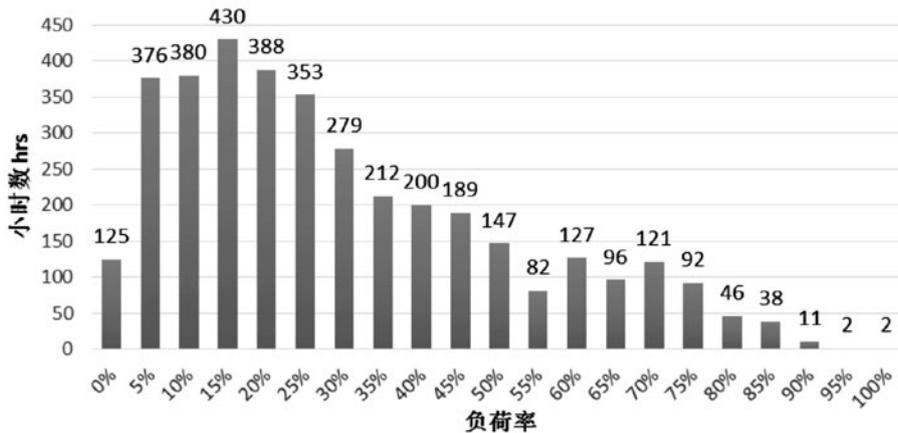


图1 夏季冷负荷不同负荷率小时数分布图

表1 选配管径

流量L / (m <sup>3</sup> /h)	L ≤ 0.42	0.42 < L ≤ 0.75	0.75 < L ≤ 1.2	1.2 < L ≤ 2.5
管径	DN15	DN20	DN25	DN32
流量L / (m <sup>3</sup> /h)	2.5 < L ≤ 3.3	3.3 < L ≤ 6.2	6.2 < L ≤ 12	12 < L ≤ 20.5
管径	DN40	DN50	DN65	DN80
流量m <sup>3</sup> /h	20.5 < L ≤ 37	37 < L ≤ 66	66 < L ≤ 108	108 < L ≤ 240
管径	DN100	DN125	DN150	DN200
流量L / (m <sup>3</sup> /h)	240 < L ≤ 380	380 < L ≤ 600	600 < L ≤ 870	870 < L ≤ 1250
管径	DN250	DN300	DN350	DN400

从图1中夏季冷负荷不同负荷率小时数分布情况可以看出，空调负荷大部分集中在低负荷率的情况下，负荷率在75%以上的时间只占到空调时间的5%，负荷率在50%以上的时间只占到总空调时间的20.7%，负荷率在10%~50%之间的时间占到空调总时间的69.8%。

#### 1.2.4 空调方案冷冻水供回水管径的确定

根据流量选配管径，表1为所选的管径。

#### 1.3 空调3种方案经济分析

大型单体建筑，在冷却水系统不变的情况下，对冷水系统的冷水机组、冷水循环泵、末端设备、输送管网及运行费进行全寿命周期综合经济分析。

《民用建筑供暖通风与调节设计规范》条文

说明第8.5.1条“当空调冷水或热水采用大温差时，还应校核流量减少对采用定型盘管的末端设备（如风机盘管等）传热系数和传热量的影响，必要时需增大末端设备规格，就目前的风机盘管产品来看，其冷冻水供回水在5℃/13℃时的供冷能力，与7℃/12℃冷水的供冷能力基本相同。<sup>[1]</sup>”故本文仅对大温差选用冷水供回水在5℃/13℃，末端设备的选取与常规温差水系统相同。

本文对以下空调三种方案进行经济分析：

方案1：空调常规方案，冷冻水温度7℃/12℃，温差5℃。

方案2：空调大温差方案A，冷水温度5℃/13℃，温差8℃，供回水管路按8℃温差设计。

方案3：空调大温差方案B，冷水温度5℃/13℃，温差8℃，供回水管路按5℃温差设计。

##### 1.3.1 空调方案机组选型

方案1，空调常规方案，冷水供回水温度7℃/12℃，温差5℃。机组选型如下：

冷水机组选离心式冷水机组额定功率849kW，共3台；冷水泵额定功率132kW，共3台；螺杆式冷水机组额定功率198.8kW，共1台；水泵冷冻空调循环水泵额定功率37kW，共1台。

方案2，空调大温差方案A，冷水供回水温度5℃/13℃，温差8℃，供回水管路按8℃温差设计。机组选型如下：

冷水机组选离心式冷水机组额定功率900kW，共3台；冷水泵额定功率90kW，共3台；螺杆式冷水机组额定电功率216kW，共1台；水泵冷冻循环水泵耗额定功率30kW，共1台。

方案3，空调大温差方案B，冷水供回水温度5℃/13℃，温差8℃，供回水管路按5℃温

差设计；管线沿程阻力与局部阻力通过计算降幅较大。机组选型如下：冷水机组选离心式冷水机组额定功率900kW，共3台；冷水泵额定功率45kW，共3台；螺杆式冷水机组额定电功率216kW，共1台；水泵冷却水泵额定功率11kW，共1台。

### 1.3.2 冷水机组运行策略

(1) 当空调负荷率为0~10%时，1台螺杆式冷水机组变负荷运行；

(2) 当空调负荷率为10%~30%时，1台离心冷水机组变负荷运行；

(3) 当空调负荷率为30%~40%时，1台螺杆式冷水机组变负荷和1台离心冷水机组满负荷同时运行；

(4) 当空调负荷率为40%~60%时，1台离心冷水机组变负荷和1台离心冷水机组满负荷同时运行；

(5) 当空调负荷率为60%~70%时，1台螺杆式冷水机组变负荷和2台离心冷水机组满负荷同时运行；

(6) 当空调负荷率为70%~90%时，1台离心冷水机组变负荷和2台离心冷水机组满负荷同时运行；

(7) 当空调负荷率为90%~100%时，1台螺杆式冷水机组变负荷和3台离心冷水机组满负荷同时运行。

表2 离心机组冷水系统额定用电量

	冷量/kW	水流量/(m <sup>3</sup> /h)	离心机组额定功率/kW	水泵额定功率/kW	总额定功率/kW
方案1	5274	907	849	132	981
方案2	5274	567	900	90	990
方案3	5274	567	900	45	945

表3 螺杆机组冷水系统额定用电量

	冷量/kW	水流量/(m <sup>3</sup> /h)	螺杆机组额定功率/kW	水泵额定功率/kW	总额定功率/kW
方案1	1223	210	198.8	37	235.8
方案2	1223	131	216	30	246
方案3	1223	131	216	11	227

表4 冷水机组部分用电负荷（参考某一国内品牌）

负荷率/%	离心机组		螺杆机组		
	用电负荷/(kW)		负荷率/%	用电负荷/(kW)	
	7-12℃	5-13℃		7-12℃	5-13℃
100	849	900	100	198.6	216
90	743	793	90	172.8	188.4
80	651	699	80	150.1	163.5
70	568	615	70	130.4	142.2
60	497	541	60	113.0	123.3
50	434	474	50	91.9	99.9
40	365	402	40	69.5	75.6
30	292	325	30	52.5	57.1

### 1.3.3 各方案额定用电量比较（结果见表2~3）

由表2、3可知：

(1) 方案1与方案2离心冷水机组+冷水循环水泵合计额定功率相差-9kW；螺杆冷水机组+冷水循环水泵合计额定功率相差-10.2kW；综合冷水机组与循环冷却水泵总额定功率相比，方案2比常规方案设备总额定功率较大。

(2) 方案1与方案3离心冷水机组+冷水循环水泵合计额定功率相差36kW；螺杆冷水机组+冷水循环水泵合计额定功率相差8.8kW；综合冷水机组与循环冷却水泵总额定功率相比，方案3比常规方案设备总额定功率较少。

(3) 综合比较，方案3设备总额定功率最少。

### 1.3.4 各方案用电负荷比较

根据部分负荷分配情况，在水泵定频的情况下，计算全年用电量，结果见表5。

从表5可以看出，方案3年

表5 3种空调方案年用电负荷

冷负荷率/%	方案1 累计用电量/ (kW.h)	方案2 累计用电量/ (kW.h)	方案3 累计用电量/ (kW.h)
<5	11187.5	10312.5	7937.5
5	47693	45103	38073
10	89528	86868	79648
15	243380	242520	223170
20	244052	244828	227368
25	274050	276150	260400
30	273699	276210	263655
35	244178	246378	232298
40	243320	247200	234400
45	278460	279720	263520
50	236670	238287	225057
55	141120	142320	135120
60	249174	251460	240030
65	188181	189891	180081
70	265909.6	269346	256157
75	214880	216240	204765
80	119186	120106	113896
85	219600	221520	210720
90	32373	32670	31185
95	6143.8	6199.8	5891.8
100	6357.2	6432	6124
全年	3629142.1	3649761.3	3439496.3

表6 初投资 (万元)

	设备 台数	方案1	方案2	方案3
离心冷机	3	791	870	870
螺杆冷机	1	61	67	67
冷水泵 (离心机 组系统)	3	48	32.4	16
冷水泵 (螺杆机 组系统)	1	4.5	3.6	1.2
风机盘管	--	459	459	459
供回水管线	--	934.8	720	934.8
总计	--	2298.3	2152	2348

表7 3种方案运行费比较

	方案1	方案2	方案3
年用电量/( kW.h)	3629142	3649761	3439496
年电费/ 万元	290	292	275

用电量最少, 方案2与方案1年用电量基本持平。

### 1.3.5 经济性比较

(1) 初投资比较见表6。

从6表可以看出, 方案2初投资最少, 方案2比方案1节约初投资146.3万元; 方案3比方案1增加初投资49.7万元; 初投资量相差比较大。

方案2比方案1冷水机组多投入85万元, 但供回水管线投资节省214.8万元。供回水管线投资占主要因素。

(2) 运行费计算结果见表7, 用电按0.8元/(kWh)计。

从表7可以看出, 方案3运行费最少, 方案3比方案1约运行费15万元/a, 方案2比方案1多花运行费2万元/a, 总体方案2与方案1年运行费相差不多。

(3) 全寿命周期的综合比较

三个方案台数相同、机组形式相同, 故机组的寿命、维护费、折旧费均相同, 故可不考虑其差

表8 全寿命周期的综合费用比较

	2年费用/ 万元	4年费用/ 万元	6年费用/ 万元	8年费用/ 万元	15年费用/ 万元	20年费用/ 万元
方案1	453	496	569	675	1349	2183
方案2	0	0	0	0	0	0
方案3	580	609	679	792	1596	2644

值,不考虑通货膨胀。全寿命周期的综合比较仅需考虑资金时间价值。按今年(2017年)央行企业贷款一年4.35%复利计算。以初投资最少的方案2为基准,做全寿命周期的综合比较结果见表8。

通过15年或20年寿命周期综合费用比较,方案2最经济,其次是方案1,最后是方案3。

### 1.3.6 小结

对于大型单体建筑,在冷却水系统不变的情况下,通过对冷水系统的冷水机组、冷水循环水泵、供回水管材的初投资、运行费及二者的综合比较,得出以下结论:

(1) 方案1——常规冷水机组(冷水供回水温度7/12℃)管线按温差5℃设计,初投资及运行费均较多,在整个寿命周期,总的费用居中。

(2) 方案2——大温差冷水机组(供回水温度5/13℃)管线按温差8℃设计,运行费较多,初投资比其他方案节省较多,在整个寿命周期,总的费用最少。

(3) 方案3——大温差冷水机组(供回水温度5/13℃)管线按温差5℃设计,运行费最少,但初投资较大,在整个寿命周期,总的费用是最多。

(4) 在大型单体建筑中,在冷却水系统不变的情况下,由于空调冷水管线较粗且较长,节能的初投资比冷水机组的因能效减小而多投入的投资更占优势,故采用冷水大温差空调是最经济的。

## 2 结论

本文针对大型单体建筑,结合实际案例,通过分析大温差对冷水机组、水泵及输送管网和空调末端设备的影响,并经计算比较采用大温差与常规空调的经济性,探讨空调冷水大温差系统的适用性。

(1) 对建筑物的经济性评价应包括初投资,不能仅谈运行费,应从建筑的整个寿命周期综合考虑。

(2) 单体建筑空调冷水大温差系统涉及空调系统、设备等诸多因素,不能仅从冷水机组及水泵是否节电来判断整个空调系统是否经济,还需考虑初投资及资金的时间价值考虑,即从寿命周期综合费用考虑。

(3) 大型单体建筑采用空调冷水大温差系统基本上不节电;由于管线较长且直径较大,管线初投资节省的费用可观;综合比较大型单体建筑

空调冷水大温差是经济的。

(4) 大型单体建筑空调改造项目,供回水管径不变,仅更换冷水机组,采用空调冷水大温差系统,可节省较多的运行费。

(5) 中小单体建筑设备管径较小且管线较短,管线初投资的费用较少,若采用空调冷水大温差运行,需要综合比较确定。

### 参考文献

- [1] 民用建筑供暖通风与调节设计规范:GB50736—2012[S].北京:中国建筑工业出版社,2012:149
- [2] 周亚素,陈沛霖.空调冷冻水系统大温差设计的能耗分析.1999.2
- [3] 殷平.空调大温差系统研究(5):空调冷水大温差系统设计方法[J].暖通空调.2001,2
- [4] 殷平.空调大温差系统研究(2):空调送风大温差经济分析[J].暖通空调.2006.
- [5] 殷平.空调大温差系统研究(4):空调冷水大温差系统经济分析[J].暖通空调.2001,1.
- [6] 郑东林.大温差空调水系统的应用研究[D].上海:同济大学,2006
- [7] 空调冷水大温差对风机盘管性能的影响 丁兴凤.同济大学硕士学位论文.2006
- [8] ASHRAE .ASHRAE Handbook— Fundamentals[S]. Atlanta:ASHRAE Inc.

# 上海地区某办公楼消防设计及施工图审查注意要点

■ 陈雪 [给排水]

**摘要:** 消防设计对保障生命财产安全至关重要,消防设计时既要遵守国家设计规范也要遵守所在省市的地标要求。本文通过上海市某项目消防系统设计,以及在此设计的基础上与施工图审查单位的沟通结果,总结出办公楼消防设计及施工图审查的注意要点。

**关键词:** 上海地区;二类高层;消防设计;审查要点

## 1 概述

本建筑为上海某新建厂区的技术办公楼,建筑面积约59000m<sup>2</sup>,建筑高度为30m,地下1层,地上6层,体积大于50000m<sup>3</sup>,耐火等级为一级。地下1层为Ⅱ类地下车库及设备用房。本建筑为二类高层科研办公建筑,消防设计主要包括室内外消火栓给水系统、自动喷水灭火系统、气体灭火系统及建筑灭火器。

## 2 消防水源

(1) 本地块周边仅东侧路上有一路DN200的市政给水管,供水压力均不小于0.16MPa,该引入管接入本地块后分出一根DN150生活给水供水管和一根DN200室外消防供水管,分别设置水表计量,并在室外消防供水管处设置倒流防止器。室外消防供水管在基地内形成室外环状消火栓环管。在地下一层消防水池内分别设置456m<sup>3</sup>(有效容积)室外

消防水池和620m<sup>3</sup>(有效容积)室内消防水池各一座,贮存室内、外消火栓、自动喷水灭火系统火灾延续时间内的消防用水量。屋顶水箱间消防水箱间设有36m<sup>3</sup>(有效容积)的消防水箱。

本新建厂区内其他建筑的室内外消火栓供水及自动喷水系统用水均由本建筑地下室消防泵房及消防水池供水。

### (2) 施工图审查时注意要点

施工图审查单位提出需提供室外给水排水总平面图及应说明高层建筑的分类。我们一般做单体建筑施工图时并不做其室外工程,但上海地区要求提供,深度可以是总体(初步)设计深度即可。

## 3 室外消防给水系统

(1) 本建筑室外消火栓用水量为40L/s,火灾延续时间3h。在室外消火栓环管上设有DN150的地上式室外消火栓,间距不大于120m,沿建筑物外均匀室外,并保证距水泵接合器的距离在15~40m内布置室外消火栓。此部分由室外工程设计。

室外消防给水系统采用临时高压给水系统。在地下一层消防泵房内设置室外消火栓加

作者简介:陈雪,女,工程师,2010年毕业于北京科技大学环境工程专业,现就职于航空工业规划飞机工程设计研究院。

压泵2台, 1用1备 ( $Q=40\text{L/s}$ ,  $H=0.4\text{MPa}$ ,  $N=30\text{kW}$ ), 水源为室外消防水池, 火灾时水力最不利室外消火栓的出水流量满足消防要求, 且供水压力从地面算起不小于 $0.10\text{MPa}$ 。为保证平时运行工作压力, 设置室外消火栓稳压泵2台, 1用1备 ( $Q=1.5\text{L/s}$ ,  $H=0.55\text{MPa}$ ,  $N=3.0\text{kW}$ ), 稳压罐1座 (调节容积 $150\text{L}$ )。稳压装置出水管上设有压力传感器, 分别设置稳压泵启泵压力 $Ps_1=0.47\text{MPa}$ 、稳压泵停泵压力 $Ps_2=0.54\text{MPa}$ 。当消火栓供水泵开启时稳压泵停泵。室外消火栓加压泵2根出水管与室外消火栓环管相接。

系统控制: 消火栓供水泵出水干管设有压力开关, 当压力降至 $0.40\text{MPa}$ 时, 直接启动室外消火栓供水泵。压力开关应引入消防水泵控制柜内。同时在消防值班室及消防水泵房内均可手动启动室外消火栓泵供水灭火。

为方便消防车直接从消防水池取水, 在室外设置取水口3处, 具体位置由室外工程设计。

#### (2) 施工图审查时注意要点

本设计稳压泵与消防主泵均设置于地下一层消防泵房内, 室外消防给水系统为稳高压系统, 稳压泵的设计压力应高于主泵, 且稳压泵的启停压力及控制均应描述清楚, 稳压泵的启停压力与主泵启动压差宜为 $0.07\sim 0.1\text{MPa}$ 。

## 4 室内消火栓给水系统

(1) 本建筑室内消火栓用水量为 $40\text{L/s}$ , 单支消火栓出流量 $5\text{L/s}$ , 充实水柱长度为 $13\text{m}$ , 消火栓栓口压力不小于 $0.35\text{MPa}$ , 同时使用水枪数为8支, 建筑内任意处不少于2支消火栓保护, 火灾延续时间 $3\text{h}$ 。室内消火栓消火栓采用临时高压给水系统。地下消防水泵房内设置2台室内消火栓泵, 1用1备 ( $Q=40\text{L/s}$ ,  $H=0.80\text{MPa}$ ,  $N=55\text{kW}$ ), 水源为室内消防水池。本建筑室内消火栓供水管网布置成环状, 并分段设置维修阀门。

消火栓箱规格: 本建筑消火栓箱均采用 $1800\times 700\times 180$  (长 $\times$ 宽 $\times$ 厚) mm型。内配: SNZW65/SNZ型减压稳压栓口; 水枪喷嘴口径 $19\text{mm}$ ; 衬胶水带长度 $25\text{m}$ ; JPS1.6-19型消防软管卷盘 ( $L=30\text{m}$ ), 2套逃生面罩, 下部放置手提式灭火器。其中负1层至3层采用减压稳压型消火栓, 栓口压力调至 $0.35\text{MPa}$ 。在有内装修要求的区域, 各消火栓箱由内装修单位配合做相应的装饰设

计; 在没有内装修要求的区域, 消火栓箱及消防设备箱均采用钢骨架不锈钢面板的消火栓箱/柜; 明设消火栓箱均靠墙/柱设置。

室内消火栓系统火灾初期的水量由位于本建筑屋顶的高位水箱供给, 水箱有效容积 $36\text{m}^3$ 。水箱间内设置消火栓稳压装置, 维持消火栓供水管网平时压力。稳压装置出水管上设有压力传感器, 分别设置稳压泵启泵压力 $Ps_1=0.15\text{MPa}$ 、稳压泵停泵压力 $Ps_2=0.22\text{MPa}$ 。当消火栓供水泵开启时稳压泵停泵。

系统控制: 室内消火栓供水泵出水干管设有压力开关, 当压力降至 $0.38\text{MPa}$ 时, 直接启动室内消火栓供水泵。压力开关应引入消防水泵控制柜内。同时在消防值班室及消防水泵房内均可手动启动室内消火栓泵供水灭火。火灾时按动消火栓柜内的报警按钮, 作为报警信号及启动消火栓泵的联动触发信号, 由消防控制室内的消防联动控制器联动控制启动动力中心的消防泵供水灭火。消防值班室内设有室内消火栓泵及稳压泵的工作状态显示、故障报警信号。

本建筑室外共设有3套DN150地上式消防水泵接合器, 供消防车向室内管网供水。水泵接合器处设永久性标志铭牌, 其上应刻: “供水系统: 室内消火栓”, “供水范围: 全楼”, “额定压力: $0.75\text{MPa}$ ”, 具体位置详见室外工程设计。

#### (2) 施工图审查时注意要点

室内消火栓系统应复核所有楼层是否需采用减压稳压消火栓, 并注明。减压稳压消火栓出口要动压不应小于 $0.35\text{MPa}$ 。确保同一平面有2支消防水枪的2股充实水柱同时达到任何部位的要求。不同防火分区内的消火栓尽量不要共用。

## 5 自动喷水灭火系统

(1) 本建筑内, 除消防控制室、弱电机房、变配电室及其他不宜用水扑救的场所外, 其余区域均设置湿式自动喷水灭火系统。

本建筑地上部分火灾危险等级整体按中危险级 I 级设计, 喷水强度为 $6\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}^2$ , 作用面积为 $160\text{m}^2$ , 喷头工作压力 $0.05\sim 0.10\text{MPa}$ , 流量为 $22\text{L/s}$ ; 地下车库按中危险级 II 级设计, 喷水强度 $8\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}^2$ 、作用面积 $160\text{m}^2$ , 喷头工作压力 $0.05\sim 0.10\text{MPa}$ , 流量为 $28\text{L/s}$ ; 层高在 $8\sim 12\text{m}$ 之间的区域, 按高大空间设计, 喷

水强度 $6\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}^2$ 、作用面积 $260\text{m}^2$ 、喷头工作压力 $0.05\sim 0.10\text{MPa}$ ，流量为 $35\text{L}/\text{s}$ ；层高在 $12\sim 18\text{m}$ 之间的区域，按高大空间设计，喷水强度 $6\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}^2$ 、作用面积 $350\text{m}^2$ 、喷头工作压力 $0.05\sim 0.10\text{MPa}$ ，流量约为 $47\text{L}/\text{s}$ ；地下一层的丙类仓储用房面积均小于 $100\text{m}^2$ ，存放办公设备及用品，按中危险级Ⅱ级设计，设计参数与地下车库一致；2层超过 $100\text{m}^2$ 库房为戊类，主要用金属货架存放实验设备及仪器，无可燃包装，按单、双排货架仓库危险级Ⅰ级，储物高度不大于 $3.0\text{m}$ ，喷水强度 $8\text{L}/\text{min}\cdot\text{m}^2$ 、作用面积 $200\text{m}^2$ ，喷头工作压力 $0.05\sim 0.10\text{MPa}$ ，流量为 $35\text{L}/\text{s}$ 。除二层超过 $100\text{m}^2$ 的库房火灾持续时间为 $1.5\text{h}$ 外，其余部位火灾持续时间均为 $1\text{h}$ 。

本建筑地下室消防泵房内设置自喷泵4台，2用2备。其中普通自喷泵2台， $Q=35\text{L}/\text{s}$ ， $H=0.85\text{MPa}$ ， $N=90\text{kW}$ ；大空间自喷泵2台， $Q=15\text{L}/\text{s}$ ， $H=0.85\text{MPa}$ ， $N=37\text{kW}$ 。水源为室内消防水池。

本系统设有10套湿式报警阀组，位于地下一层消防泵房，水力警铃设于消防泵房外。每个报警阀组控制的最不利点喷头处设有末端试水装置，试水接头出水口流量系数 $k=80$ 。其他防火分区和各楼层的最不利点喷头处设置DN25的试水阀。水流指示器安装在每层或每个防火分区的水平管上，其动作方向和水流方向一致，安装应在管道试压和冲洗合格后进行。在水流指示器前的管道上安装消防专用信号阀，其与水流指示器之间的距离不应小于 $300\text{mm}$ 。为保证配水管压力不大于 $0.40\text{MPa}$ ，自喷系统给水管水流指示器后设置减压孔板，减压孔板前后直管段的长度不小于该管段直径的5倍。

喷头选型、布置和安装：设计采用闭式玻璃球喷头，在有精装要求的吊顶区域采用装饰型吊顶喷头，在无精装要求的吊顶区域采用下垂式喷头，在无吊顶区或吊顶内采用直立式喷头；热交换机房喷头的动作温度为 $93^\circ\text{C}$ ，其余区域喷头动作温度为 $68^\circ\text{C}$ ；连接喷头短立管直径DN25；所有喷头均采用快速响应喷头。自喷系统喷头安装时可根据现场情况调整，但喷头布置应符合《自动喷水系统设计规范》GB50084-2001（2005年版）中喷头布置的相关规定。净空高度大于 $800\text{mm}$ 的闷顶和技术夹层内有可燃物时，应设置喷头。当成排布置的管道、桥架、风管等宽度大于 $1.2\text{m}$ 时，下部增设喷头；梁下布置的喷头加装集热板。集热板为 $\phi 400$

圆形金属板，周围向下卷边，喷头距集热板内面不大于 $15\text{cm}$ 。喷头的备用数量为总数的1%且每种型号不少于10只。

本系统需设有4套DN150的地上式消防水泵接合器，供消防车向室内管网供水。水泵接合器处设永久性标志铭牌，其上应刻：“供水系统：自喷系统”，“供水范围：全楼”，“额定压力： $0.85\text{MPa}$ ”。在本建筑附近统一设计消防水泵接合器，具体位置详见室外工程设计。

自动喷水灭火系统火灾初期的水量由位于本建筑屋顶的高位水箱供给，水箱有效容积为 $36\text{m}^3$ 。水箱间内设置自喷稳压装置，维持自喷供水管网平时压力。稳压装置出水管上设有压力传感器，分别设置稳压泵启泵压力 $P_{s1}=0.15\text{MPa}$ 、稳压泵停泵压力 $P_{s2}=0.22\text{MPa}$ 。当自喷供水泵开启时稳压泵停泵。

系统控制：

a) 自动控制：每层（每个防火分区）配水干管上安装有水流指示器和信号阀。系统在喷头动作后，湿式报警阀自动打开，压力开关动作。水流指示器有水流过时，向消防控制室报警；压力开关动作后，连锁自动启动设于本建筑地下室消防泵房内的相应自喷泵，灭火后手动停泵。压力开关应引入消防水泵控制柜内。生产研发2内自喷系统按大空间设计，发生火灾时，大空间专用湿式报警阀上压力开关动作，连锁启动普通自喷泵及大空间自喷泵；除报生产研发2外其他位置火灾时，对应的湿式报警阀上压力开关动作，连锁启动普通自喷泵（1~2轴交D~E轴处中庭按大空间设计，但面积较小，经计算火灾时总用水量为 $13.5\text{L}/\text{s}$ ，故无需启动大空间自喷泵；生产研发1按大空间设计，经计算火灾时总用水量为 $35\text{L}/\text{s}$ ，故也无需启动大空间自喷泵）。

b) 手动控制：喷头喷水，水流指示器动作反应到值班室，值班人员在控制室确认火灾后可手动启泵。泵房工作人员也可直接手动启、停泵。

c) 消防值班室内设有室内自喷泵及自喷稳压泵的工作状态显示、故障报警信号。

d) 地块内其他建筑自动喷水灭火系统启动时，也可启动本建筑自喷供水泵。

(2) 施工图审查时注意要点

根据上海市《民用建筑水灭火系统设计规程》DGJ08-94-2007，第6.2.7条规定，高大净空场所系统的设计水量及设计基本参数见表1。

表1 高大净空场所系统的设计水量及设计基本参数

适用场所	净空高度 H (m)	设计喷 水强度 (L/min·m <sup>2</sup> )	作用 面积 (m <sup>2</sup> )	喷头 选型	喷头最 大间距 (m)	系统设计最小用 水量 (L/s)
中庭、影剧院、音乐厅、 单一功能的体育馆等	8<H≤12	6	260	K=80	3	35
	12<H≤18	6	350	K=80	3	47

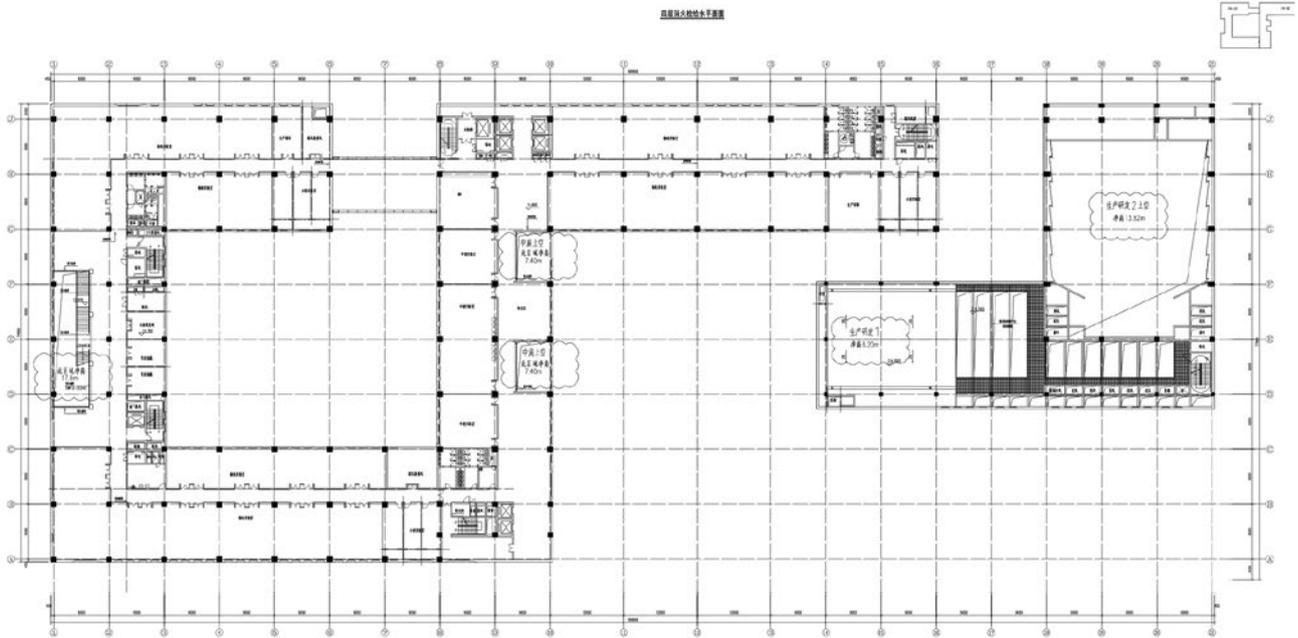


图1 高大空间分布图

民用建筑内单间使用面积不大于100m<sup>2</sup>的丙类库房，其自动喷水灭火系统的危险等级可按中危险Ⅱ级确定；使用面积大于100m<sup>2</sup>的库房应按《自动喷水灭火系统设计规范》GB50084—2001（2005年版）中仓库的设计参数确定。

在设计中应标明高大净空场所的净高，标明各库房所储存物品的火灾危险性类别及储物高度。错层式、斜楼板式的汽车库的车道、坡道上方应设置喷头。应描述吊顶内设置喷头的原则，装设通透性吊顶的场所，其喷头应布置在顶板下。末端试水装置应接至排水漏斗再排至排水立管。

表2 消防用水量

消防系统	喷水强度	作用面积	设计流量	供水时间	用水总量
	L/min·m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	L/s	h	m <sup>3</sup>
室外消火栓			40	3	432
室内消火栓			40	3	432
自动喷水灭火系统	8	200	35	1.5	189
合计			127		1053

因高大净空场所的消防用水量较大，故消防时普通喷淋泵及大空间自喷泵同时工作，需设置专用的报警阀组。本建筑的高大空间分布见图1。

## 6 消防用水量

消防用水量见表2，自喷用水量按用水总量最大的生产研发2计算。

## 7 消防水泵房

(1) 地下室消防泵房内设室内、外消防水池各1座。室内消防水池贮存室内消火栓系统、自喷系统消防时用水量，有效容积为638m<sup>3</sup>，分2格；室外消防水池贮存室外消火栓系统3小时的消防水量，有效容积为456m<sup>3</sup>，分2格。同时为保证水池内水质，室内、外消防水池各设一套水处理机。

消防水泵的性能应满足消防给水系统所需流量和压力的要求；消防水泵所配驱动器的功率应满足所选水泵流量扬程性能曲线上任何一点运行所需

功率的要求；消防水泵的流量扬程性能曲线应为无驼峰、无拐点的光滑曲线，零流量时的压力不应大于设计工作压力的140%，且宜大于设计工作压力的120%；当出流量为设计流量的150%时，其出口压力不应低于设计工作压力的65%。水泵的外壳材质为球墨铸铁，叶轮材质为不锈钢。

消防水泵控制柜设置在消防泵房内，在平时应使消防水泵处于自动启泵状态，并应设置专用线路连接的手动直接启泵按钮。消防水泵不应设置自动停泵的控制功能，停泵应有具有管理权限的工作人员根据火灾扑救情况确定。消防水泵应能手动启停和自动启动。消防水泵控制柜的防护等级不低于IP55。消防水泵应确保从接到启泵信号到水泵正常运转的自动启动时间不应大于2min。消防水泵控制柜应设置机械应急启泵功能，并应保证在控制柜内的控制线路发生故障时由有管理权限的人员在紧急时启动消防水泵。机械应急时，应确保消防水泵在报警后5min内正常工作。

消防水池设低水位、报警水位、常水位及超高水位四个液位信号。在消防泵房和消防控制中心均设置所有液位信号的就地显示装置，超高、低水位及低于常水位100mm时的报警水位设声光报警信号，并传至消防值班室。

#### (2) 施工图审查时注意要点

室内、外消火栓应在水泵出水管上设置压力开关，并注明启泵压力。消防泵应根据其重量设置起重设施。建议注明消防水池的面积，便于计算容积。消防泵、自喷系统报警阀等的试验排水应接至消防水池。消防水池的通气管、泄水管、溢流管均应在图上画出。需注明消防水池的通气管、溢流管管口应设防虫网罩，人孔应加锁。

## 8 消防水箱间

(1) 屋顶水箱间内设置高位消防水箱1座，有效容积为 $36\text{m}^3$ ，为保证水箱内水质，设置一套水处理机。消防水箱设低、报警、常、关闭进水电阀、溢流5个液位信号。在消防水箱间和消防控制中心均设置所有液位信号的显示装置，溢流和低液位及低于常水位100mm时的报警水位设声光报警信号，并传至消防值班室。当水位降至常水位时，水箱进水管上的电动阀自动打开并连锁启动位于地下室给水泵房内的变频供水泵，当水位到达关闭进水电阀水位时，自动关闭电动阀。稳压泵的

外壳及叶轮材质采用不锈钢。

#### (2) 施工图审查时注意要点

水箱通气管、泄水管、溢流管均应在图上画出。需注明消防水箱的通气管、溢流管管口应设防虫网罩，人孔应加锁。需注明防止旋流器的顶标高。消火栓及喷淋系统稳压泵的出水管应设电接点压力表注明稳压泵启、停压力。因本建筑消防水箱补水由水泵加压供给，故根据《建筑给水排水设计规范》GB50015-2003中第3.7.7中第4条，在消防水箱补水管上设置电动阀，由水箱液位控制阀门的启闭，并连锁自动控制供水泵的启停。水箱的监测水位相应的多了一个关闭电动阀的水位。消防水箱水位图见图2。

## 9 建筑灭火器

(1) 本建筑仅二层实验中心放置贵重仪器设备，按严重危险级设计外，其他部位按中危险级设计，灭火级别办公等用房按A类火灾设计，电气用房应按E类火灾配置，地下车库应按B类火灾配置。单具灭火器最小配置灭火级别3A，单位灭火级别最大保护面积 $50\text{m}^2/\text{A}$ 。严重危险级灭火器A类火灾最大保护距离15m，B类火灾最大保护距离9m，中危险级灭火器A类火灾最大保护距离20m，B类火灾最大保护距离12m。在每个消火栓箱下部及方便取用处放置2具MF/ABC5型手提式磷酸铵盐干粉灭火器；在易发生电气火灾的地方（如：配

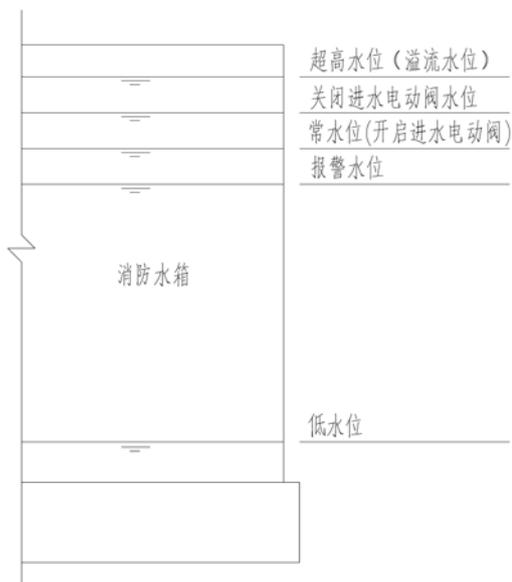


图2 消防水箱水位图

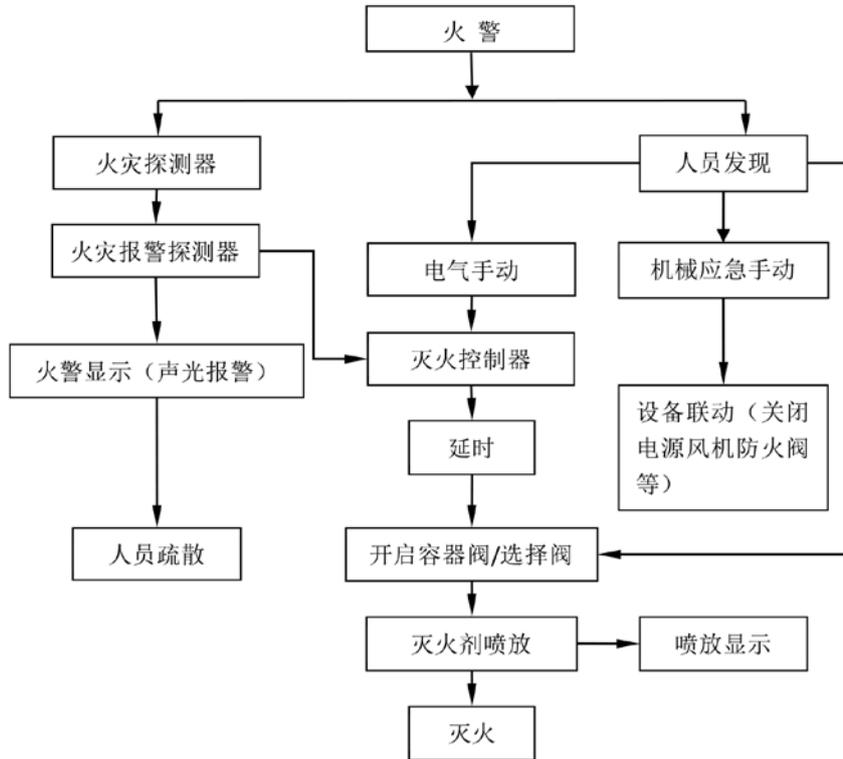


图3 控制原理图

电间等)设置MT7型手提式二氧化碳灭火器;地下车库的主出入口处设置MFT/ABC20型推车式灭火器。

(2) 确保建筑内任何位置都在灭火器的保护范围内。不同防火分区的灭火器不建议共用。

## 10 气体灭火系统

(1) 根据规范要求,设计在地下一层的变压器室、低压室、一层的高压室内设置一套七氟丙烷气体灭火系统,采用全淹没灭火系统,即在规定时间内,喷出设计浓度的七氟丙烷气体,并使其均匀地充满整个防护区,此时能将在其区域里的任意部位发生的电气火灾、固体表面火灾扑灭。控制采用自动、手动及机械应急启动方式,控制原理见图3。

(2) 施工图审查时注意要点

原设计中为对电气专业服务的监控室和值班室未做气体灭火系统,但复审时,审查单位强调此类房间必须设置自动灭火系统,即自喷系统或气体灭火系统。但电气专业不允许使用水灭火系统,后又与电气专业咨询,此两房间内不常有人值守,故此两房间也做了气体灭火系统。气体灭火系统图中

应注明泄压口的型号与泄压面积。

在一层有一个 $46.5\text{m}^2$ 的网络信息机房,审图单位认为此机房为重要机房,应设置自动灭火系统,但根据弱电专业条件,此机房为C级机房,根据《电子信息系统机房设计规范》GB50174-2008,此机房可不设自动灭火系统。但为了审图方便,建议在此房间处标注机房的级别。

## 11 总结

消防系统对建筑及人员的安全保障,具有至关重要的作用。作为设计者更加需要严谨对待,且各地区对消防设计都有严格的地方标准,施工图审查单位在一定程度上也代表了地方的规范标准,及时与审图单位沟通,提高图纸的详细程度,将问题消灭在图纸阶段,从而才能保证生命财产安全。

# 西安地裂缝场地的结构设计

■ 张清清 李晓璐 (结构)

**摘要:** 随着西安地裂缝活动已趋于稳定, 西安城市发展的需要, 对地裂缝场地的利用提出了新的要求, 地裂缝场地的结构设计方法的相关创新成果不断应用于工程实践。本文通过对西安地区地裂缝的分布与活动特征及西安地裂缝对建筑物的破坏形式及机理进行比较和探讨, 找出不同类型跨地裂缝建筑物的处理规律和适用条件, 为今后类似地裂缝场地结构设计方案的选择提供参考。同时初步引入地裂缝灾害风险评估的概念, 寻求在承担一定风险条件下, 通过优化防治策略, 为跨地裂缝建筑建设提供科学的防灾减灾依据。

**关键词:** 西安地裂缝; 防治措施; 设计措施; 风险评估

## 1 西安地裂缝概况

地裂缝是发育于地壳表层的一种岩土介质的不连续或错断现象, 是内外力作用下和人类活动等因素引起的地表破裂形迹。地裂缝破坏不仅引起建筑结构的破坏, 还会导致建筑局部沉降、整体倾斜甚至倒塌, 威胁到房屋的正常使用和人民的生命财产安全。西安城郊区域目前共发现了14条地裂缝<sup>[1]</sup>, 形成了著名的西安地裂缝群, 如图1所示。西安地裂缝具有明显的带状分布特征, 主地裂缝总体走向北东。西安地裂缝的活动具有明显的周期性, 在活动速率方面与不均匀地面沉降有密切关系。由于地震等地质活动的不可预知和瞬时性, 地裂缝在空间上的活动很不规律。

## 2 跨地裂缝建筑的破坏机理

地裂缝的影响范围将控制其上建筑的建筑尺

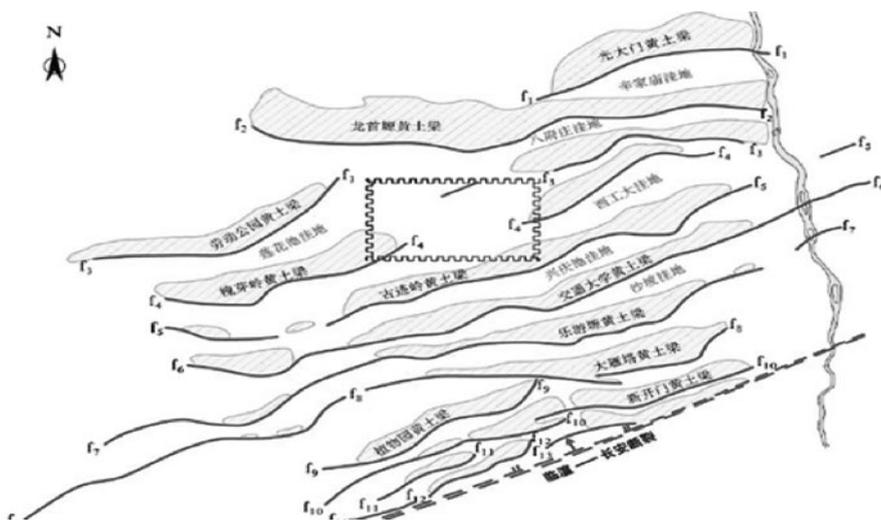


图1 西安地裂缝与地貌构造关系图

寸、建筑物规模和具体位置以及建筑结构<sup>[2,3]</sup>。地裂缝引起的不均匀沉降会改变地裂缝两侧土体应力形成集中现象, 当土体自身的粘结强度不足以抵抗集中的应力时, 两侧土体会发生剪切滑动, 产生位移, 形成裂缝。地裂缝穿过建筑物的边缘时, 其三维运动使建筑物部分地基发生扰动甚至松动, 改变了地基支撑的形式, 建筑物局部基础也因此行成了类似悬臂结构的脱空现象。

建筑物跨地裂缝带, 当地裂缝引起的不均匀沉降范围小于建筑物地基基础规模范围时, 位于地裂缝上、下盘建筑物两侧均有支撑或地基基础支撑,

作者简介: 张清清, 男, 高级工程师, 1989年毕业于中航工业设计院建筑结构专业。现就职于航空工业规划电子工程设计研究院。

而地裂缝两侧范围内与建筑物脱离或建筑物中间某部分悬空,分析模型可简化为简支梁。当不均匀沉降范围大于地基基础规模范围时,位于地裂缝上盘的建筑物相当于有土体和地基基础支撑,而位于下盘的建筑物相当于无支撑,模型可简化为悬臂梁。

### 3 跨地裂缝建筑物的防治处理措施

#### 3.1 空间避让法

自西安市地裂缝活动以来,遭到地裂缝活动的破坏的楼房非常多,也带来了巨大的经济损失。经过几十年的研究,陕西省建设厅和陕西省质量技术监督局分别于1988年和2006年分别颁发了陕西省标准《西安地裂缝场地勘察与工程设计规程》(DBJ61-6-2006),来对地裂缝带上建筑物的建设进行了规定,并提出了合理的避让距离<sup>[1]</sup>。

针对建筑物规模、使用过程中的重要性以及由于地裂缝活动可能造成的建筑物损坏或影响正常使用的程度,规范将建设在西安地裂缝场地的建筑分为一、二、三、四类四个重要性类别,见表1。

建筑物基础底面外沿(桩基时为桩端外沿至地裂缝的最小避让距离,见表2),应符合规范以下规定:

一类建筑应进行专门研究或按下表采用;二、三类建筑应满足下表的规定,且基础的任何部分都不得进入主变形区内;四类建筑允许布置在主变形区内。

当地裂缝场地上建筑的安全避让距离不满足上述要求时,应根据实际勘察资料对安全避让距离探讨,以充分利用有限的土地资源,并保证建筑安全<sup>[4]</sup>。建议地裂缝场地建筑物最小避让距离见表3。

某大跨钢桁架结构位于西安高新区,拟建场地为I级非自重湿陷性黄土场地,建筑场地类别为II类。场地标准冻深0.45m。本场地东南角有已查明的f7地裂缝通过,按《西安市地裂缝场地

表1 地裂缝场地的建筑重要性分类<sup>[1]</sup>

重要性类别	建筑类型
一类	特别重要的建筑和构筑物、高度超过100m的超高层建筑
二类	大跨度公共建筑、高度28m~100m的高层建筑、有桥式吊车(吊车额定起重量小于100t,大于等于30t)的单层厂房、高度超过30m的水塔和烟囱、容易引起次生灾害的建筑(如储水构筑物和大量用水的工业民用建筑物)
三类	除一、二、四类以外的一般工业与民用建筑
四类	临时性建筑

表2 地裂缝场地建筑物最小避让距离(m)<sup>[1]</sup>

结构类别		建筑物重要性类别		
		一	二	三
砌体结构	上盘	/	/	6
	下盘	/	/	4
钢筋混凝土结构、钢结构	上盘	40	20	6
	下盘	24	12	4

- 注: 1、 $\Delta k$ : 场地勘探精度修正值  
 2、底部框架砖砌体结构、框支剪力墙结构建筑物的避让距离应按表中数值的1.2倍采用。  
 3、 $\Delta k$ 大于2m时,实际避让距离等于最小避让距离加上 $\Delta k$ 。  
 4、桩基础计算避让距离时,地裂缝倾角统一采用 $80^\circ$ 。

表3 建议地裂缝场地建筑物最小避让距离(m)<sup>[4]</sup>

结构类别	基础位置	建筑物重要性类别		
		一	二	三
刚性基础	上盘	/	/	6
	下盘	/	/	4
条形基础	上盘	/	12	6
	下盘	/	4	4
筏形基础	上盘	16	8	/
	下盘	8	4	/
箱型基础	上盘	12	6	/
	下盘	8	4	/
桩基础	上盘	16	11	/
	下盘	4	2	/

- 注: 1、在对靠近地裂缝处的钢筋混凝土基础加强配筋的情况下,最小避让距离可适当减小,但减小后的上盘最小避让距离不宜小于与地裂缝想处置基础宽度B的1/5;下盘最小避让距离不宜小于2m。  
 2、若上部结构为容易引起次生灾害的建筑物(如储水构筑物和大量用水的工业与民用用水的工业与民用建筑物),其最小避让距离不得减小。  
 3、本表不适宜于穿越地裂缝的地铁隧道及各类地下管线。

勘察与工程设计规程》(DBJ 61-6-2006)第

4.2.1~4.2.4条规定划分,本场地为三类地裂缝场地。场地地裂缝走向为NE,倾向SE,倾角约 $80^\circ$ ,地裂缝表现为上盘(地层相对下降),下盘(地层相对上升)的正断层性质。场地内f7地裂缝未发现活动迹象,该段地裂缝在近、现代无活动,呈隐伏状。基础布置示意图见图2。

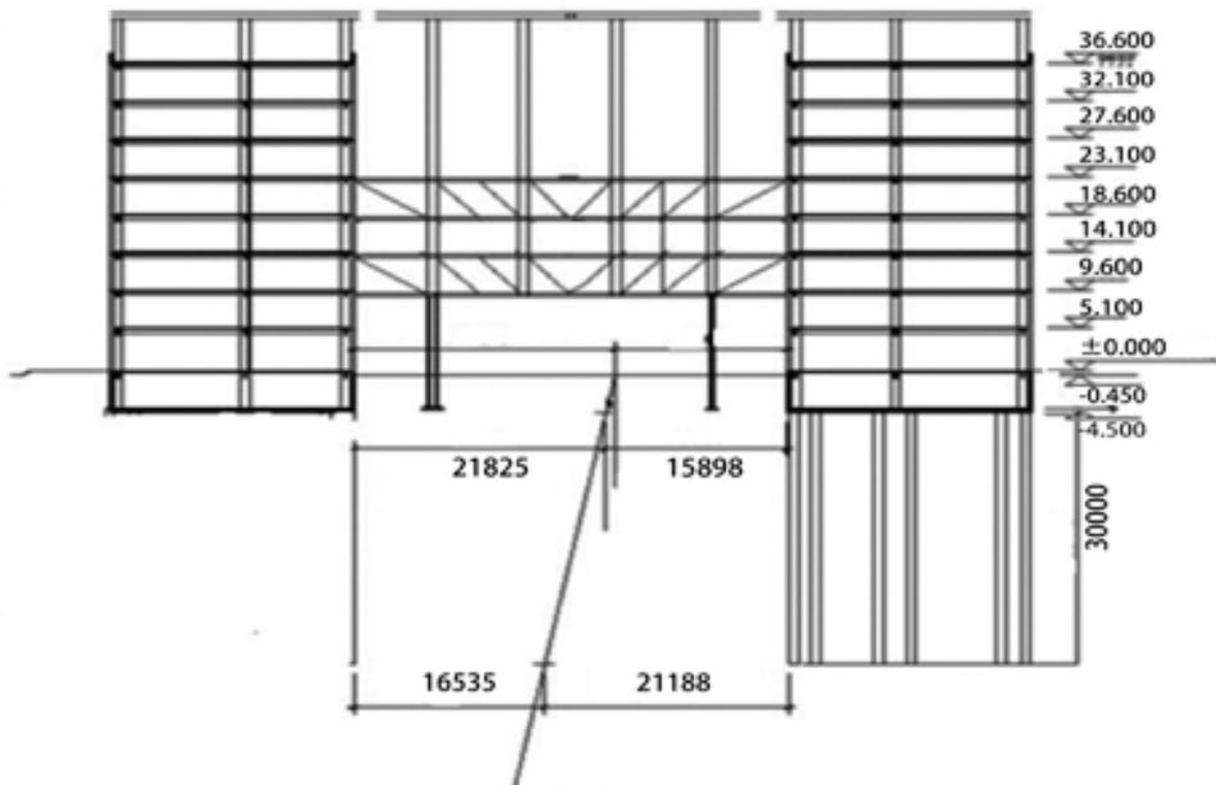


图2 基础布置示意图

由于西安地裂缝具有高倾角的特征，一般建筑物的地基压缩层不深，基础中心点附加压力分布线与地裂缝近于平行。经计算，位于上盘的桩长必须小于5m，而下盘的桩长必须大于25m，方能满足地裂缝避让距离的要求。上盘采用筏板基础，具有较好的整体性。下盘桩筏基础，采用桩径600mm桩长30m的钻孔灌注桩。

### 3.2 时间避让法

时间避让法是根据地裂缝在时间上的波动性的规律，避开地裂缝强烈活动时期，来达到有效的防灾减灾目的的一种防治措施<sup>[3]</sup>。西安某探矿机械厂综合楼为三层混凝土框架结构，地裂缝f7从原楼中间单元穿过。原综合楼中间单元因受地裂缝的影响严重破坏，两侧楼也受到影响，于1988年、1998年先后拆掉，并在原楼址上建起现在的三个独立单元的三层框架综合楼，现综合楼的中间单元仍有地裂缝斜跨而过，近十多年对该综合楼进行观测，未发现裂缝等不良迹象。

### 3.3 部分拆除法

对于横跨构造地裂缝上并与地裂缝正交或大角度交叉的建筑物，如建筑物的几个独立的单元楼联在一起，可拆除受地裂缝破坏的楼单元，可避免

整栋建筑物都受到地裂缝的活动的破坏和影响。

### 3.4 裂缝置换法<sup>[6]</sup>

当地裂缝与建筑物基础长轴交叉且偏向基础的边缘位置时，对建筑物破坏影响不大，在确定的地裂缝横穿处或其要横穿通过的地方附近，可以用人为开挖一条避开建筑物基础的与地裂缝相互联接贯通的壕沟，新裂缝替换旧地裂缝。

### 3.5 分割法

在地裂缝影响区内，上部建筑应增加结构的整体刚度与强度，并且建筑体型应简单。若体型复杂时，应设沉降缝将建筑划分成若干体型简单的独立单元，单元长高比不应大于2.5。

西安建筑科技大学新建西大门拟建场地横跨f6地裂缝<sup>[7]</sup>。在不调整新建西大门的平面布置的前提下，建筑物的基础采用的是地裂缝两侧为局部筏板-条形基础，远离地裂缝的部位为交叉条形基础。上部结构两边外挑梁，通过地裂缝处留100mm沉降缝，把结构分为各自独立趋于稳定，只考虑主要的垂直沉降。该工程于2006年投入使用，地裂缝两侧结构沉降量差并未影响正常使用。

### 3.6 优化结构加强基础法

在地裂缝影响区内，建筑基础宜采用钢筋混

凝土双向条基、筏基或箱基等整体刚度较大的基础。设计时,应建议选用轻质材料,减轻结构自重。地裂缝处,建筑的框架梁、板及基础配筋贯通、加强,提高结构的横向变形能力。

### 3.7 静压注浆法

建筑物跨地裂缝时,地裂缝对其破坏较大,可以用特殊的方法对建筑物的地基进行处理,以纠偏的方法使建筑物重新达到安全。在地基处理时提前埋设的注浆管中进行注浆,来抬升发生沉降的地基基础。在注浆时,还应观测基础的变形发展,来综合调节注浆的方案。

### 3.8 抽砂法

若安全避让距离不满足规范规定时,除了采取必要的安全避让距离讨论外,应设计纠偏方案,在建筑物基础沉降量较小的一侧的预制抽砂管中抽砂,增大其沉降量,使其与沉降量较大一侧的地基基础持平,以达到纠偏的目的<sup>[9]</sup>,防止建筑不均匀沉降。

### 3.9 支座调节法

建筑物跨地裂缝带,当地裂缝引起的不均匀沉降范围小于建筑物地基基础规模范围时,位于地裂缝上、下盘建筑物两侧均有支撑或地基基础支撑,而地裂缝两侧范围内与建筑物脱离或建筑物中间某部分悬空,分析模型可简化为简支梁。

西安站高架候车室的结构形式类似于桥梁结构,除加强建筑刚度、优化基础形式外,同时采用简支结构形式,在地裂缝附近将上部结构分布成若干节,设置柔性连接,在支座处设置可调结构<sup>[8]</sup>。立柱设置在规范规定的最小避让距离以外。

## 4 地裂缝灾害风险评估及管理

目前,虽然部分地裂缝的活动性有所减弱,但是今后的发展具有很大的不确定性,正在建设中的西安工程建设项目,根据规划有些将与地裂缝相交,有必要对西安项目进行地裂缝灾害的风险分析,寻求在承担一定风险条件下,通过优化防治策略,为地铁建设提供科学的防灾减灾依据。

运用风险评估方法,对可能存在的风险进行评估,并有针对性地采取预防措施,排除存在的安全隐患,促进施工顺利进行,保障地裂缝工程安全<sup>[10, 11]</sup>。开展地裂缝灾害风险分析时,首先应该合理确定分析方法,根据工程建设需要,考虑地裂缝工程具体情况,采取有效的方法对其进行分析。

## 5 结语

西安正处于快速发展的时期,研究跨地裂缝建筑物基础的破坏机制和地裂缝的影响距离,对地裂缝带上建筑物的建设和土地资源的合理利用具有重要的实际价值和工程意义。通过对多项工程实例的研究,总结跨地裂缝建筑物的防治处理措施。在地裂缝工程风险方面,以往工程实例的风险评价模型较少,有关地裂缝灾害的风险管理不足,现有规范对于三类场地勘探精度修正值 $\Delta k$ 取值相对保守,需结合工程实例及有限元模型分析进行进一步确定。

### 参考文献

- [1] 陕西省建设厅. 西安地裂缝场地勘察与工程设计规范(DBJ61-6-2006)[S]. 2006.
- [2] 张家明. 西安地裂缝研究[M]. 西北大学出版社, 1992.
- [3] 朱慕仁, 张家明. 西安地裂缝及其工程地质意义[J]. 地震地质, 1982 (5)2:23-26.
- [4] 彭建兵. 西安地裂缝灾害[M]. 科学出版社, 2012.
- [5] 部瑞梅. 西安地裂缝和地面沉降灾害现状和防止[J]. 西部探矿工程, 2011(3):118-121.
- [6] 张高峰, 孙新新. 浅谈西安市地面沉降成因及控制措施[J]. 技术服务, 2012(4):12-14.
- [7] 熊仲明, 王军良. 西安地区某跨地裂缝建筑物的计算和分析[J]. 建筑结构, 2011(41)10:42-45.
- [8] 王旭. 西安火车站北绽放及高架候车室地裂缝的勘察、评价及对策[J]. 铁道标准设计, 2015(59)4:101-105.
- [9] 郑宏强, 孙香红. 某高层建筑地裂缝安全避让距离的探讨与加强措施[J]. 建筑技术, 2010(41)5:437-439.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. 风险管理 风险评估技术(GB/T 27921-2011)[S]. 2011.
- [11] 侯俊东, 吕军, 殷伟峰. 地质灾害风险管理研究综述及展望[J]. 中国国土资源经济, 2012 (3):41-46.

## 中国航空规划设计研究总院有限公司 电子工程设计研究院

中国航空规划设计研究总院有限公司电子工程设计研究院（简称四院或电子院），始建于1951年，前身为航空机载系统工程设计研究所，主要业务范围集中在航空机载系统工程、航天空间器、战略战术、航天电子、兵器工程、电子工程、新能源锂离子动力电池、特种汽车及零部件等领域，近年来开拓军队体制改革需求建设、政府定向投资民生工程，以及PPP等新建设模式市场。四院在航空工业机载系统工程领域具有雄厚的技术实力和丰富的咨询设计、工程总承包经验，并且拥有“工艺包”特色的设计、工程管理能力，可以提供包含工艺设备在内的工程总承包4.0项目服务模式，获得国家优秀工程设计奖、部级优秀工程设计奖、科学进步奖等奖项的项目遍布全国各地。

经过60多年的发展，四院汇集了200余名前期咨询、工程设计、项目管理人才团队，拥有研究员级工程师10名，高级工程师50名，工程师80余人，一级注册建筑师、一级结构师、一级建造师、注册咨询师等60余人次。打造了航空工业航电系统、机电系统、精导武器系统、大中型数据中心、惯性器件、传感器、标准件以及航天空间器、航天电子、新能源汽车动力电池、高端咨询/军民融合、智能制造等十几个精英团队，积极践行项目实践，工程总承包EPC管理项目遍及全国各地。

四院践行“规划梦想，共创辉煌—为投资咨询建设活动提供最有价值的整体解决方案”这一公司使命，展望未来，四院将以更广阔的视野、更坚实的技术储备、不懈的创新精神、提供更优质的服务和管理的，立足航空、服务社会、合作共赢，为投资咨询建设活动提供最有价值的整体解决方案，成为工程领域中具有国际竞争力的价值集成商。



2017年第4期（总第132期）  
2017年8月出版



中航锂电（江苏）有限公司  
中航锂电（江苏）产业园建设项目一期工程