

# 航空工程建设

AERO-INDUSTRY ENGINEERING CONSTRUCTION

2018年第6期 总第140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

## 中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所洛南新区新建试制大楼（试验厂房）

**项目名称：**中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所洛南新区新建试制大楼（试验厂房）

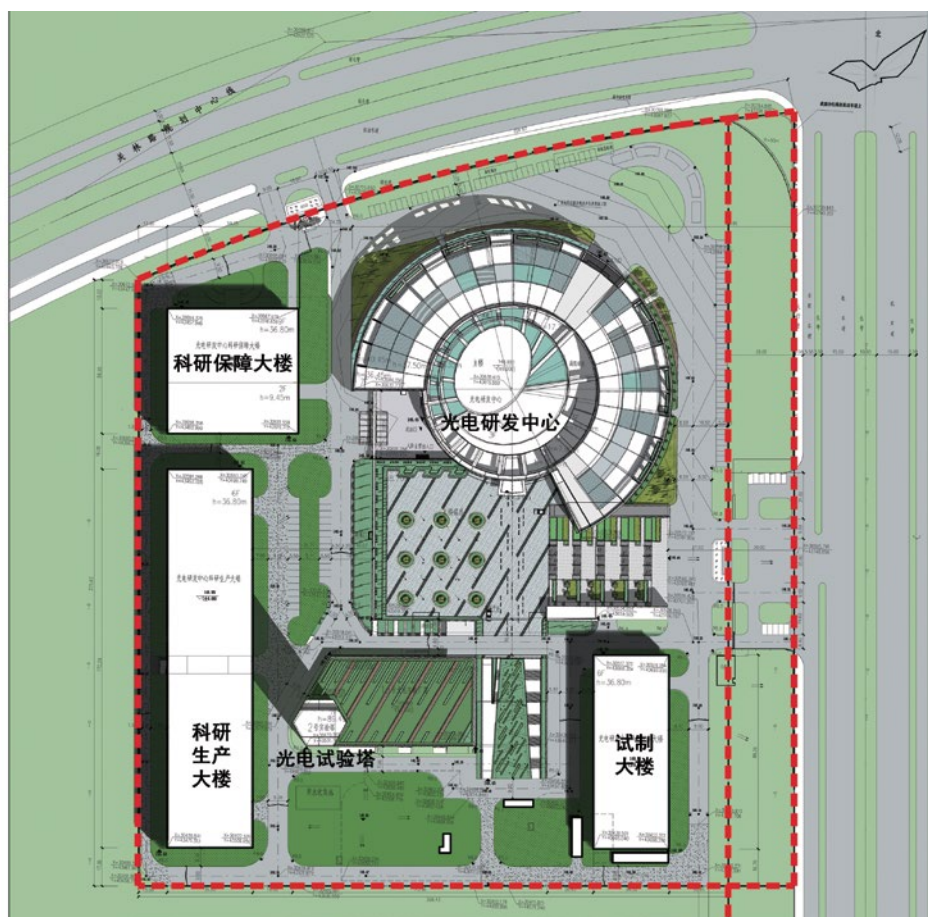
**建设单位：**中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所

**设计单位：**航空工业规划电子工程设计研究院

### 项目简介：

本项目为高层丙类工业厂房，总建筑面积38000m<sup>2</sup>，由地下2层车库和地上主体7层的生产试验用房组成。洛南新区位于河南省洛阳市主要景观交通道路王城大道与关林路交叉口，地理位置优越。基地内布置有一期建设的光电研发中心、光电试验塔及实验厂房、科研保障大楼，规划建设科研生产大楼和本次设计的试制大楼。

基地整体规划以圆形光电研发中心为主导，高耸的光电试验塔为中心，沿城市道路和基地边界排列园区主要建筑。试制大楼位于基地东侧，光电研发中心以南，北侧临近园区主要入口，东西两侧分别面向王城大道和园区中心试验场地。立面形象设计充分考虑园区整体风格的协调统一，建筑高度控制在不超过北侧光电研发中心的标准之下，外墙色彩采用园区统一风格的白灰搭配，沿用强调竖向线条的立面开窗；同时，矩形的建筑体量与光电研发中心圆形形体对比鲜明，相得益彰，出屋面部分整齐排列的构架很好地整合和界定了电梯机房、水箱间和放置在屋面的大型设备，在统一的风格下体现出园区建筑的丰富内涵。平面布局将楼电梯、卫生间和设备机房布置于核心部分，周边布置走廊和房间，提高了空间使用率。为避免对一层生产区的影响，地下车库设置于建筑主体西侧的空地，基地试验场兼绿地的下方，通过地下通道与建筑主体地下交通厅相连。地下车库的两处人行出入口均设计为地下庭院形式，减少对地面试验场的干扰。



## 国务院国资委与全国工商联召开军民融合发展座谈会

近日，国务院国资委与全国工商联在京召开军民融合发展座谈会。会议认真学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想，贯彻落实习近平总书记关于军民融合发展系列重要论述和在民营企业座谈会上的重要讲话精神，进一步加强国有企业与民营企业深度合作，推动新时代军民融合实现新发展。中央军民融合发展委员会办公室常务副主任金壮龙，国务院国资委主任肖亚庆，中央统战部副部长、全国工商联党组书记、常务副主席徐乐江出席会议并讲话。国务院国资委副主任徐福顺出席会议，全国工商联副主席黄荣主持会议。

徐乐江表示，习近平总书记关于军民融合发展的一系列重要论述为加快推动军民融合发展提供了科学指南，总书记在民营企业座谈会上的重要讲话，进一步坚定了民营经济发展的信心。他指出，要充分认识到加强国企民企合作，推动军民融合深度发展的重要意义。在推动军民融合深度发展中，具有中国特色的国有军工体系为我国国防工业发展做出了不可磨灭的贡献，国有军工主力军的地位和作用不会动摇。民营企业在推进国防建设机制创新、技术创新、管理创新，提升国防科技工业核心竞争力和武器装备建设质量效益等方面，发挥了生力军作用。正确处理国有企业和民营企业两大市场主体在推动军民融合深度发展中的关系，既是实现富国与强军相统一的战略需求，也是社会主义市场经济条件下推动军民融合深度发展的客观要求，也是军民融合实现高质量发展的必然要求。要进一步促进国企民企创新合作方式、联合互促协同发展，立足创新优势、打造科技融合引擎，畅通信息沟通渠道、搭建供需对接平台，推进混合所有制改革，使各种所有制经济在军民融合深度发展中取长补短、相互促进、共同发展。

徐乐江强调，推动军民融合深度发展，要发挥国有企业的带头引领作用，逐步形成国有军工集团与民营企业优势互补的科研、生产、维修保障产业链，构建更加完善的武器装备科研生产体系，带动民营企业健康发展。要将党组织建设情况纳入民营企业评价体系，通过完善组织建设，逐步建立问责机制，以国企民企党组织互建形成工作抓手，带动合作方式创新。要引导教育民营企业找准自身定位，提高思想认识，增强担当意识，树立正确的利益观。

肖亚庆表示，国务院国资委始终坚持“两个毫不动

摇”，大力推动中央企业在做强做优做大的同时，支持民营企业不断发展壮大，推动军工企业与民口单位全面加强合作，在创新融合方面打开了新局面，共同支撑创新发展良好态势已经初步形成；在产业融合方面取得了新进展，形成了良好的军民两用辐射效应；在资本融合方面实现了新突破，形成了新的融合路径和模式。肖亚庆强调，国务院国资委和中央企业将以更大的力度、更实的举措深入实施军民融合发展战略，全力保障好国防建设的要求，努力在新时代军民融合发展中、在支持民营经济发展中展现新作为、作出新贡献。要统筹各方资源，共同构建高效开放的军民协同发展体系。要加强联合攻关，积极吸纳各种力量参与科技创新，努力实现关键核心技术自主可控。要不断深化改革，推动各类所有制企业实现互利共赢、共同发展。

（来源：中共中央统一战线工作部官方网站）

## 国家发改委：形成沿淮通用航空作业走廊

近日，国家发展改革委印发《淮河生态经济带发展规划》。

《规划》显示，淮河流经我国中东部地区，全长约1000千米，是南北方的重要分界线。淮河流域地处南北气候过渡带，在我国经济社会发展全局中占有重要地位。为推进淮河流域生态文明建设，决胜全面建成小康社会并向现代化迈进，根据国家“十三五”规划《纲要》和《促进中部地区崛起“十三五”规划》，编制本《规划》。规划期为2018~2035年。

《规划》提出，要健全淮河流域立体交通网络，完善航空运输网络。优化运输机场布局，在机场密度较低且需求潜力较大的地区，规划新建一批支线机场。加快通用机场建设，大力发展通用航空业，形成沿淮通用航空作业走廊。协调沿淮各运输机场分工定位，强化各机场业务合作，实现协同发展，促进空域资源有效利用。

新建信阳机场、蚌埠机场、商丘机场、鲁山机场、亳州机场、枣庄机场、菏泽机场和一批通用机场，推进淮安航空货运枢纽建设，实施扬州泰州机场、徐州观音机场、盐城南洋机场、阜阳西关机场、临沂机场改扩建工程，推进连云港机场、济宁机场迁建，加快推进滁州机场、宿州机场建设前期工作。

（来源：《中国航空报》）

## 惯性技术研发生产基地建设项目一期工程项目

建设地点：陕西省西安市

设计单位：航空工业规划电子工程设计研究院

建设情况：施工中

### 设计亮点

本项目在主要出入口设置了南北向的景观轴线，从地理位置、建筑形态以及对外形象宣传上均与系统

园区北侧的主入口一脉相承，展现出航空系统现代高科技产业迅猛发展的态势，也形象地勾勒出与时俱进的精神步伐。

建筑造型充分结合使用功能的需求，将各建筑整体设计，力求塑造完整而特色鲜明的建筑形态。为体现高科技园区的性格特征，立面采用简洁大气的虚实对比，立面材料采用带有典雅气质的深色石材及玻璃，充分体现了本建筑的独特气质。厂房的设计既考虑自身情况又结合现有的规划状况，实现了体形、材质、色彩的变化，使得建筑活跃而生动。整体建筑利用色彩搭配、形体对比以及材料的组合创造了丰富的建筑层次。





## 长三角大数据产业园项目

建设地点：安徽省滁州市

设计单位：航空工业规划电子工程设计研究院

建设情况：设计完成

### 设计亮点

本项目用地位于安徽省滁州市经济技术开发区内，永乐路与昌辉路交叉口东南侧。项目用地总面积约65亩，总建筑面积约44692m<sup>2</sup>。

项目总体设计以满足数据中心功能使用需求、分期建设的基本要求、工艺流程的高效运转为基础，调配场地资源。

通过采用适宜的资源利用技术，提高了整个园区的节能效率。园区的数据机房部分，采用标准的模块化设计，在保证机柜数量的同时，有效地降低了企业的建设成本和设备的运行费用。建筑平面布局中的参观流线、工作人员流线、设备运输流线互补干扰，动静分开，营造了良好的工作环境。建筑立面形象以“智网”为设计理念，通过孔率变化的穿孔铝板、玻璃幕墙、铝单板的穿插变化，展现了“生态、科技”的主题。项目满足“节地、节能、节水、室内环境控制及运营管理等方面的技术要求”，达到《绿色数据中心建筑评价技术细则》设计阶段二星级的标准。数据中心PUE值1.29，远低于国内1.8~2.0的平均值，处于国内领先水平。

建成后的产业园区能容纳4000台（架）服务器机柜，将成为长三角地区重要的“节能示范型”数据产业基地。

## 中国工程物理研究院材料研究所活动中心项目

建设地点：四川省绵阳市

设计单位：航空工业规划电子工程设计研究院

建设情况：设计完成

### 设计亮点

本项目建设内容包括活动中心、室外泳池及室外总体设计3个部分，其中活动中心包括室内游泳中心、3D影院及配套用房，地下设备用房。

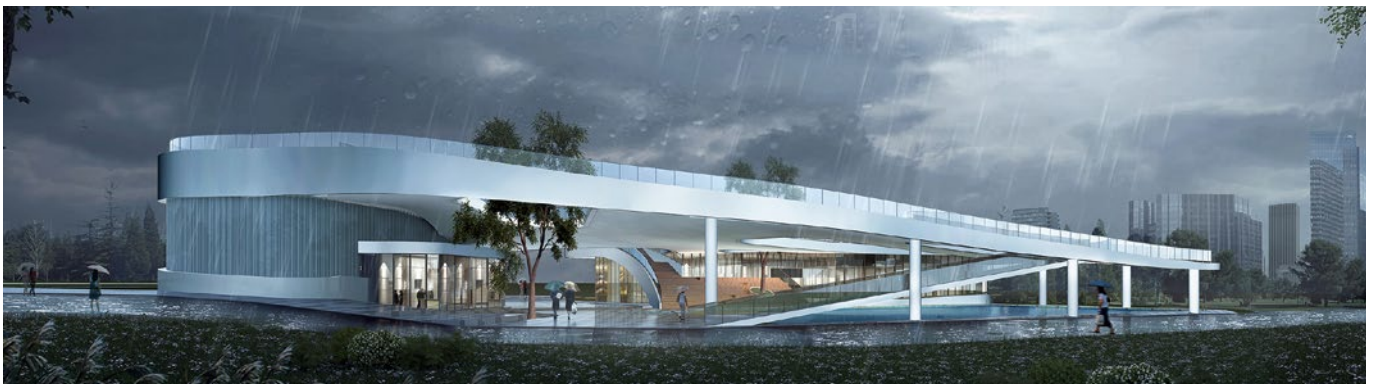
设计采用化整为零的方法，以分散布局的方式解决功能、交流、景观等各方面问题。同时，这组建筑不仅承载了任务书中所要求的有限功能，还涵盖了散步、休憩、聚会、嬉戏等附加功能，改变以往建筑与环境割裂的情况，整体融合的场所体验让所区的研发人员能够

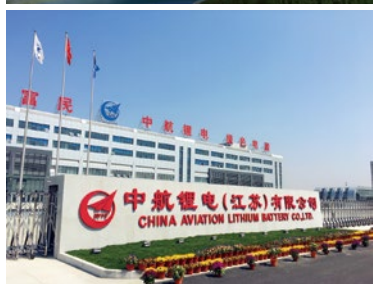
拥有强烈的归属感和认同感。通过这样一个开放场所的设计理念，使活动中心成为园区内最具有吸引力、最活跃、最生动的空间节点。人们可以进入、行走或休憩在建筑及屋面广场的不同部分，各得其所又互不干扰。

设计削弱了建筑的体量感，不再使建筑高耸于场地之上，将建筑的屋面连成一体，呈现为一个低矮的、铺满绿地的大活动场所，使整组建筑有一种平易近人的姿态，让人们不由自主地想要靠近它。人们可以通过草坡轻松走上屋顶，草坡本身也会吸引很多人休憩、停留。

设计不局限于只让人们来观影和游泳，在屋顶上设置了跑道、看台、沙坑、草坪剧场等有趣的设施，充分体现了公园的特质，能够吸引大量人们来此运动、休憩、游玩，甚至举办小型演出等活动。

屋面与底层空间相互渗透，人们可以从地面草坡走上屋面，也可以通过大台阶从屋面走到泳池，进入影院。屋顶上下连成一体，交通相互联系，活动也是不间断的。





## 中航锂电(江苏)产业园建设项目

建设地点：江苏省常州市

设计单位：航空工业规划电子工程设计研究院

建设情况：投产使用

### 设计亮点

中航锂电(江苏)产业园建设一期用地约240.39亩。整个厂区的建筑物在设计中力求在满足工艺生产要求的前提下,做到建筑外观及构造美观现代,简洁明快。

厂前区办公楼力求通过简单形体的穿插组合及立面局部挖空等设计手法,铝板结合玻璃幕墙的材质、纹理的变化,体现企业特点和现代化的企业形象。

因厂房占地面积大,平面内布置的连续的、超长的、不可穿越的工艺设备很多,同时由于工艺流程需求存在房间相互嵌套的情况。建筑内部疏散距离超长时,采用安全门及避难走道实现疏散。建筑中在连续传送带穿越防火分区时,工艺确定传送带在防火墙洞口处可断开100mm的间隙,以满足水雾式防火卷帘的实施。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《环境卫生技术规范》的公告

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

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

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《机械工厂年时基数设计标准》的公告

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

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

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

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

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

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准《装配式住宅建筑设计标准》的公告

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

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

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《建筑信息模型分类和编码标准》的公告

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

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

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

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

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

## 住房和城乡建设部关于发布行业产品标准《民用建筑远传抄表系统》的公告

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

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

## 住房和城乡建设部关于发布行业产品标准《导光管采光装置》的公告

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

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

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

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

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

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准《既有社区绿色化改造技术标准》的公告

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

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

（来源“国家工程建设标准化信息网”）





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

顾问委员会

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

编辑委员会

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

总编 沈金龙  
 主编 陈海风  
 执行主编 王蕊  
 责任编辑 范蕊  
 出版 《航空工程建设》编辑部  
 地址 北京德外大街12号  
 邮编 100120  
 E-mail hkgejs@avic-apc.com  
 印刷单位 北京奇麒麟印刷有限责任公司分公司  
 发送对象 公司内部及本系统内部  
 印刷日期 2018年12月  
 印数 1500册  
 电话 (010)62038276 62038235  
 传真 (010)62038297  
 封面 中国航空工业集团公司洛阳光电设备研究所洛南新区新建试制大楼(试验厂房)

# CONTENTS

## 目录 2018年第6期 总第140期

### 航空能力建设

- 02 NASA风洞测试需求预测方法评述 张波
- 08 航空产业园选址方法研究 闫慧 郑应平 王仲奇
- 12 关于X射线无损探伤间的工艺设计研究  
王虹 张萌 姜煜霞
- 14 以中国特色先进国防科技工业体系建设助力构建一体化的  
国家战略体系与能力 佟京昊 杨宇

### 研究与探讨

- 20 煤层气开发集气站余热综合利用系统 赵晨
- 27 EPC项目报价方法及影响因素研究 钱海静 王玉平
- 33 现代化工业厂房弱电系统设计要点分析 吴冠男
- 37 某燃油实验室消防设计 赵洁
- 39 城市综合管廊污水入廊设计研究 陆新生 贾宇辉
- 44 气候环境试验室复杂地坪结构的计算分析 裴永忠
- 50 考虑悬挂骨架耦合作用的大跨度结构抗震分析 裴永忠 王亮
- 57 绿色建筑设计理念在工业建筑设计中的应用研究  
王炜 裴燕
- 59 轻型钢结构工业建筑设计探究 张祎博

# NASA风洞测试需求预测方法评述

■ 张波 [工艺]

**摘要:** 近20年来,美国航空工业界十分关注NASA应该维持怎样的风洞群。按照时间顺序,本文对相关讨论的研究梳理出3种测试需求的预测方法,基于用户需求调查的需求预测方法最为直接,但是其客观性和准确性容易受到受访对象立场和经验水平的制约;基于模拟仿真的预测方法有望将不确定性因素纳入考虑,得到比平均值更有意义的区间估计;基于功能替代的预测方法实现了功能与需求的对接,有利于统筹和调度风洞的使用,后两种预测方法都需要扎实的统计数据基础。

**关键词:** 风洞;测试需求;预测方法;航空工业;模拟仿真

冷战结束后,美国航空工业新型号数量越来越少。据兰德公司的统计<sup>[1]</sup>,从上个世纪的50年代~80年代,美国航空工业实现首飞的新机型从55种迅速减少为不到10种。与此同时,美国在航空科研方面的投入也大幅度降低。从1998年起,NASA每年航空科研经费投入总额呈现出长期的下降趋势<sup>[2]</sup>。上述变化导致NASA风洞的年使用时数也呈现出明显的递减趋势。NASA2010年的研究表明<sup>[3]</sup>,从2003年~2011年,参与航空测试计划(Aeronautics Test Program, ATP)风洞的年使用时数(User Occupancy Hours, UOHs)从大约28000h减少到大约9000h,降幅高达68%。面临着封存、关闭冗余科研设施的巨大压力<sup>[4]</sup>,NASA需要认真地思考,未来对它们还有多少需求?现有的设施是否能够满足需要?是否以及应该怎样进行补充或调整?在此方面,美国的相关研究经历了从统计到预测,从局部到整体的发展过程。美国的相关做法和经验对于国内航空工业而言,无疑具有十分重要的借鉴意义。

## 1 基于用户需求调查的风洞使用需求预测

2006年,美国正式颁布了其第一部国家级的、针对政府部门的《国家航空研发政策》<sup>[5]</sup>。该政策制定了指导美国2020年前航空科技研发的原则和目标,明确了政府各部门在其中的职责和任务,并要求NASA、国防部、联邦航空管理局等部门在国家科技委员会(NSTC)的协调下共同制定《国家航空研发与相关基础设施规划》。

NSTC下属的航空科学和技术子委会(ASTS)专门负责组织制定上述《国家航空研发与相关基础设施规划》。为配合ASTS开展工作,美国航空航天协会(AIAA)下属的地面测试技术委员会(GTTC)专门成立了工业航空测试设施工作组,就大型地面试验设施(主要是风洞)战略发展问题听取工业界的意见,以便于为NASA和国防部等运营大型地面试验设施的机构制定相关战略规划提供输入。

工作组的成员本身来自美国各大航空制造企业,他们大多数都是部门主管,并且在产品研发、测试等领域积累了非常丰富的经验,这使得他们可以从所在企业的产品和技术发展的两个角度,比较权威和专业地提出未来的风洞

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

表1 美国航空工业界提出的2008年~2013年风洞测试需求(年平均使用小时数)

| 飞行器种类            | 低速<br>( $M < 0.4$ ) | 跨音速<br>( $M < 1.6$ ) | 超音速<br>( $M < 5$ ) | 高超音速<br>( $M \geq 5$ ) | 备注            |
|------------------|---------------------|----------------------|--------------------|------------------------|---------------|
| 通用航空             | 200                 | 0                    | 0                  | 0                      |               |
| 商务喷气机(5~20座级)    | 1250                | 1250                 | 150                | 0                      |               |
| 支线喷气机            | 500                 | 550                  | 0                  | 0                      |               |
| 商业运输机            | 2850                | 4500                 | 0                  | 0                      | 含大型商务喷气机      |
| 战斗机              | 2400                | 2900                 | 900                | 450                    | 含无人机          |
| 军用运输机和加油机        | 2050                | 1400                 | 0                  | 0                      |               |
| 战略轰炸机            | 1250                | 1100                 | 350                | 0                      | 含无人机          |
| 亚轨道飞机            | 0                   | 0                    | 0                  | 0                      | 无预测           |
| 空天往返飞行器          | 200                 | 600                  | 950                | 350                    |               |
| 传统直升机            | 2050                | 150                  | 0                  | 0                      |               |
| 倾转旋翼机            | 1200                | 0                    | 0                  | 0                      |               |
| 吸气发动机驱动的航空武器     | 350                 | 850                  | 150                | 0                      | 含靶机           |
| 火箭发动机驱动或无动力的航空武器 | 400                 | 1000                 | 900                | 700                    | 含靶机           |
| 动力系统             | 750                 | 1400                 | 750                | 200                    | 含内部空气动力学测试和集成 |
| 技术验证机及其他         | 300                 | 350                  | 150                | 0                      | 技术验证, 独立于型号项目 |
| 侦察平台             | 900                 | 850                  | 50                 | 0                      |               |
| 总计               | 16650               | 16900                | 4350               | 1700                   |               |

测试需求。工作组在梳理既往风洞使用情况的基础上,结合企业未来的产品和技术发展需求,预测了未来5年(2008年~2013年)的风洞使用需求<sup>[6]</sup>。由于风洞测试需求具有十分显著的波动性,工作组的预测值采用了5年平均值的形式,结果如表1所示。

从表1中不难看出,工作组的预测方法是一种基于用户需求调查的统计方法。这种方法的优点主要是直截了当,但是其可信度取决于许多主观因素,例如:受访者是否全面掌握了相关信息,在做出基于上述信息的判断时是否秉承了客观公正的立场,以及个人经验与客观实际的符合程度等。由于上述主观因素在预测过程中通常无法得以显性地表达,预测结果的可信度无法得到有效地佐证。

此外,即使可以排除上述各种主观因素的不利影响,由于受访者基于经验的预测过程不是透明的,一旦外部情况发生变化,就需要费时、费力地重新召集相关专家重新预测,不便于根据情势变化及时更新预测结果。

## 2 基于模拟仿真的风洞使用需求预测

兰德公司提出的基于蒙特卡洛模拟仿真的风洞使用需求预测模型<sup>[7-8]</sup>可以较好地克服基于用户

需求调查的风洞使用需求预测方法的不足。更重要的是,这种基于概率计算的仿真模型能够充分地将风洞使用需求预测过程中所面临的两大类不确定因素纳入考虑,并且其预测的结果是更有意义的、设定置信度下的区间估计。

风洞使用需求预测面临来自管理层和技术层的两大类不确定因素。来自管理层的不确定因素主要有:一是重大项目能否以及何时开展?二是这些项目具体包含什么内容(不同的项目通常需要不同的风洞设施)?技术层不确定因素主要表现为测试时间受到技术方案的影响。

兰德公司认为,上述两类不确定因素可以分别加以考虑。对于管理层的不确定因素,可以通过政府、军方和主机承包商的高层领导预判未来重大型号项目的开展情况来量化。例如,通过调研上述高层人物,可以预计未来10年中需要风洞试验的型号项目和科研活动的启动时间和实施概率。对于技术层的不确定因素,可以通过专业技术人员的技术分析和相关研发活动的历史统计数据来量化。例如,美国航空航天协会(AIAA)发布的092-2-2003号标准中列出了各类风洞测试时间的统计数据<sup>[9]</sup>,如表2所示。

兰德公司认为,这种将风洞测试需求分析的不确定性划分为“管理层不确定性”和“技术层不确定性”的做法有以下好处:

表2 AIAA标准(092-2-2003)中各种风洞试验时间的统计数据

| 模型类型           | 试验目标                | 平均风洞试验时间* |
|----------------|---------------------|-----------|
| 概念设计阶段         |                     |           |
| 低速力和力矩(高升力)    | 起飞和降落性能、稳定性、可控性     | 500-1000  |
| 高速力和力矩         | 巡航性能, 高速稳定性和可控性     | 500-1500  |
| 隔离的进气口和静态进气口模型 | 进气口概念设计             | 200-700   |
| 静态出气口模型        | 喷管性能                | 200-500   |
| 发展/验证阶段        |                     |           |
| 低速力和力矩         | 起飞和降落性能、稳定性、可控性     | 250-3500  |
| 高速力和力矩         | 巡航性能, 高速稳定性和可控性     | 250-3500  |
| 气动载荷模型         | 结构载荷                | 300-1000  |
| 颤振模型(低速和高速)    | 颤振间隙/气弹效应           | 800-1000  |
| 进气口/机体模型       | 进气口集成效应/进气口吸气系统性能   | 500-1500  |
| 武器分离模型         | 安全外载脱离/武器精确投送       | 2500-5000 |
| 尾旋模型           | 尾旋改出                | 500-2000  |
| 气流效应模型         | 尾气对飞行器性能、稳定性和可控性的影响 | 500-1000  |

\*此处的试验时间实际是用户占用时间(User Occupancy Hours, UOHs), 包括模型安装、风洞试验和模型拆除的时间总和。表格中的两个数分别为正态分布中90%置信区间的下限值和上限值。

(1) 方便高层管理人员和具体的技术人员分别对不确定性的概率做出估计。

(2) 方便按照不同的周期来对两种不确定性的大小进行更新。其中, “管理层不确定性”每年一次; “技术层不确定性”每5年一次。

(3) 可以通过改变“管理层不确定性”来做测试需求的敏感性分析, 来为高层决策人员提供决策支持。

值得说明的是, AIAA提供的风洞测试时间统计数据中只有部分数据被按照“低速”和“高

速”分别给出, 其他数据对此未加区分。对于这些没有针对速度细分的数据, 兰德公司采取了“低速”与“高速”平分的做法, 并且“高速”试验的时间还进一步等分为“跨音速”和“超音速”的试验时间。例如, 参见表3, 对于一个发展/验证阶段的超音速战斗机项目而言, 它对风洞测试的总需求等于 $(250, 3500) + [(300, 1000) + (800, 1000) + (500, 1500) + (2500, 5000) + (500, 2000) + (500, 1000)] / 2 = (2800, 9250)$ , 其中超音速和跨音速的测试需求各占一半。

表3 假想的风洞测试需求预测基础数据

| 年度            | 预计开展的项目 |      |      |      |      | 数据来源          |
|---------------|---------|------|------|------|------|---------------|
|               | A       | B    | C    | D    | E    |               |
| 1             | 80%     |      |      |      | 100% | 高层领导          |
| 2             |         |      | 100% |      | 100% |               |
| 3             |         |      |      |      | 100% |               |
| 4             |         | 50%  |      |      | 100% |               |
| 5             |         |      |      | 60%  | 100% |               |
| 6             | 50%     |      |      |      | 100% |               |
| 7             |         |      |      |      | 100% |               |
| 8             |         |      |      |      | 100% |               |
| 9             |         |      |      | 20%  | 100% |               |
| 10            |         |      |      |      | 100% |               |
| 持续时间, 年       | 2       | 5    | 3    | 8    | 1    | 技术人员/<br>技术手册 |
| 测试时间90%置信区间下限 | 2800    | 2000 | 1500 | 1600 | 1600 |               |
| 测试时间90%置信区间上限 | 12000   | 9800 | 8000 | 9000 | 4000 | 参数计算          |
| 测试时间平均值*      | 7400    | 5900 | 4750 | 5300 | 2800 |               |
| 测试时间标准方差**    | 2797    | 2371 | 1976 | 2249 | 730  |               |

\*平均值=(90%置信区间下限 + 90%置信区间上限)/2

\*\*标准方差=(90%置信区间下限-90%置信区间上限) / 1.6449

在确定了重大项目是否以及何时实施, 以及各种不同类型的项目对风洞试验需求的统计模型后, 可以得到表3所示的基础数据, 为蒙特卡洛仿真模拟提供输入条件。模拟仿真的结果如图1所示(模拟次数设为50000次)。可以看出, 各年测试时间的95%置信区间上限通常都会明显地高于平均值。可见, 如果完全按照平均值来确定建设规模将有可能面临规模不足的困境。

可以看出, 与基于用户需求调查的预测方法相比, 基于模拟仿真预测方法大大减少了对专家经验的依赖, 预测的依

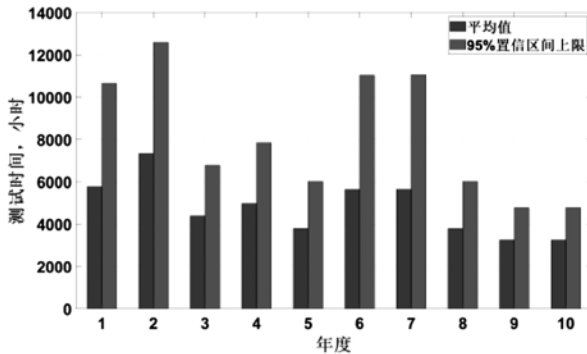


图1 各年测试时间的预测

据和过程都比较透明，在客观性和科学性上优势十分明显。此外，由于它能够给出指定置信度下的区间估计，可以为建设规模的风险分析提供有力的支持。

但是，基于模拟仿真的预测方法工作量较大，一方面它需要设施运行管理单位事先坚持不懈地做好相关使用数据的记录、整理和积累工作；另一方面也需要在预测过程中对于上述大量基础数据进行细致深入的统计分析，建立起相应的统计模型。

### 3 基于功能替代的风洞使用需求预测

在减少冗余，缩减风洞设施规模的努力中，兰德公司发现了基于设施来预测未来需求的弊端，提出了基于功能替代的风洞使用需求预测模型<sup>[10]</sup>。兰德公司指出，以往在风洞测试需求的预测中通常是将各个风洞的测试需求相加，自下而上地汇总整体的预测。这种预测方法忽略了一个重要的事实，那就是许多风洞在功能上有所重叠，实际是可以相互代替的。采用基于设施的预测不利于合理地安排风洞测试，并容易给人留下各种风洞都必须保留的感觉。为此，兰德公司提出，应当在基于设施提出需求预测的基础之上，对这些需求按照测试功能重新汇总，得到基于功能的需求测试。为此，兰德公司搭建了风洞未来需求框架（Future Needs Framework, FNF），用它将NASA基于设施的需求预测转换为基于功能的需求预测。

FNF模型包含两大基本的模块：“设施/功能映射表”和“设施功能用量表”。其中，设施/功能映射表按照不同的风洞测试目的（功能）对NASA现有的各种风洞设施进行了梳理，表4展示了兰德公司对NASA亚音速风洞的梳理情况。

表4 NASA亚音速风洞的设施/功能映射表

| 一般测试    |  |
|---------|--|
| 大型，大雷诺数 | Ames 12-Foot High-Re Pressure            |
| 超大型，常压  | National Full-Scale Aerodynamics Complex |
| 大型，常压   | Langley 14x22-Foot Atmospheric           |
|         | Langley 12-Foot Atmospheric Lab          |
| 特殊测试    |  |
| 推进模拟    | Glenn 9x15-Foot Propulsion               |
|         | National Full-Scale Aerodynamics Complex |
| 远场声学    | National Full-Scale Aerodynamics Complex |
| 近场声学    | Glenn 9x15-Foot Atmospheric Propulsion   |
|         | Langley 14x22-Foot Atmospheric           |
| 尾旋      | Langley 20-Foot Vertical Spin Tunnel     |
| 小紊流     | Langley Low-Turbulence Pressure Tunnel   |
| 运动性     | Langley 14x22-Foot Atmospheric           |

设施功能用量表是在设施/功能映射表的基础之上建立的，它反映了各风洞中各种测试的用时比例，表5展示了NASA亚音速风洞的设施功能用量。值得说明的是，兰德公司指出，该表中各种测试的用时比例并非一成不变，它需要根据实际使用情况的统计数据定期进行更新。

借助于设施功能用量表，可以将基于设施的需求预测转换为基于能力的需求预测。例如，假设某年Glenn Icing Research Tunnel, Langley 12-Foot Atmospheric Lab, Langley 14×22-Foot Atmospheric 3个风洞的需求预测分别为1000、1500和2000h，那么可以推算出该年对大型常压类风洞测试需求的总量为 $1000 \times 10\% + 1500 \times 100\% + 2000 \times 80\% = 3200\text{h}$ 。

将来自不同机构或方法的基于设施的需求预测通过FNF模型转换为基于能力的风洞使用需求预测后，可以得到不同的结果，由此可以分析得到不同能力需求预测的最小值、平均值和最大值，如表6所示。

按照测试功能的分类，将不同风洞的可用测试时间和上述预测的结果叠加到一起，可以清晰地看出各类风洞测试的可用测试时间是否满足未来的测试需求，为满足这些需求需要哪些风洞，以及各风洞的过剩能力。如图2所示，可以看出NASA的亚音速风洞可以满足自身未来所有

表5 NASA亚音速风洞的设施功能用量表

|      |                | Ames 12-Foot High-Re Pressure | Glenn 9 x 15-Foot Atmospheric Propulsion | Glenn Icing Research Tunnel | Langley 12-Foot Atmospheric Lab | Langley 14 x 22-Foot Atmospheric | Langley 20-Foot Vertical Spin Tunnel | Langley Low-Turbulence Pressure Tunnel |
|------|----------------|-------------------------------|--|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|--|
| 大雷诺数 | 大型, 大雷诺数       | 100%                          |  |                             |                                 |                                  |                                      |  |
|      | 中型, 大雷诺数       |                               |  |                             |                                 |                                  |                                      |  |
|      | 小型, 大雷诺数       |                               |  |                             |                                 |                                  |                                      |  |
| 常压   | 超大型, 常压        |                               |  |                             |                                 |                                  |                                      |  |
|      | 大型, 常压         |                               |  | 10%                         | 100%                            | 80%                              |                                      |  |
|      | 中型, 常压         |                               |  |                             |                                 |                                  |                                      |  |
| 特殊测试 | 小型, 常压         |                               |  |                             |                                 |                                  |                                      |  |
|      | 推进集成, 含气流模拟    |                               | 50%                                      |                             |                                 |                                  |                                      |  |
|      | 舱载/分级分离运动/颤振模拟 |                               |  |                             |                                 | 10%                              |                                      |  |
|      | 半模测试           |                               |  |                             |                                 |                                  |                                      |  |
|      | 地面效应测试         |                               |  |                             |                                 |                                  |                                      |  |
|      | 旋翼机测试          |                               |  |                             |                                 |                                  |                                      |  |
|      | 远场声学           |                               |  |                             |                                 |                                  |                                      |  |
|      | 近场声学           |                               | 50%                                      |                             |                                 | 10%                              |                                      |  |
|      | 尾旋             |                               |  |                             |                                 |                                  | 100%                                 |  |
| 小紊流  |                |                               |  |                             |                                 |                                  | 100%                                 |  |
| 结冰   |                |                               | 90%                                      |                             |                                 |                                  |                                      |  |

表6 亚音速风洞测试能力的需求预测

| 试验能力 | 最小值            | 最大值  | 平均值  |      |
|------|----------------|------|------|------|
| 大雷诺数 | 大型, 大雷诺数       | 0    | 0    | 0    |
|      | 中型, 大雷诺数       | 0    | 0    | 0    |
|      | 小型, 大雷诺数       | 0    | 0    | 0    |
| 常压   | 超大型, 常压        |      |      |      |
|      | 大型, 常压         | 800  | 1600 | 1175 |
|      | 中型, 常压         | 0    | 0    | 0    |
|      | 小型, 常压         | 0    | 0    | 0    |
| 特殊测试 | 推进集成, 含气流模拟    | 500  | 600  | 525  |
|      | 舱载/分级分离运动/颤振模拟 | 100  | 200  | 138  |
|      | 半模测试           | 0    | 0    | 0    |
|      | 地面效应测试         | 0    | 0    | 0    |
|      | 旋翼机测试          | 0    | 0    | 0    |
|      | 远场声学           | 0    | 0    | 0    |
|      | 近场声学           | 600  | 700  | 663  |
|      | 尾旋             | 50   | 250  | 75   |
|      | 小紊流            | 0    | 0    | 0    |
|      | 结冰             | 1800 | 2000 | 1900 |
| 总需求  | 3850           | 5350 | 4475 |      |

的使用需求, 而且除了大型常压风洞试验有可能需要使用Langley 14 x 22-Foot Atmospheric

和Langley 12-Foot Atmospheric Lab两个风洞以外, 其余的试验都可通过一个风洞予以保障。此外, Glenn 9 x 15-Foot Atmospheric Propulsion风洞的剩余能力较多, 推进集成和气流模拟试验所需的测试时间(最多大约600h)仅仅占其可用测试时间(将近3600h)的17%。对于它过剩的能力, 最好的用途是用于开展近场声学方面的试验, 从而缓解Langley 14 x 22-Foot Atmospheric风洞可能面临的巨大压力。

兰德公司提出的FNF模型打破了基于设施预测需求的传统思路, 可以为统筹设施建

设, 科学调度设施使用提供一定的支持。不过, 不难发现, 这种方法在把基于设施的使用需求转换为基于能力的使用需求时, 完全依赖历史统计数据来做概率性划分的做法需要大量历史统计数据的支持, 对于新技术需求驱动下建设的新设施, 这种方法完全不能适用。

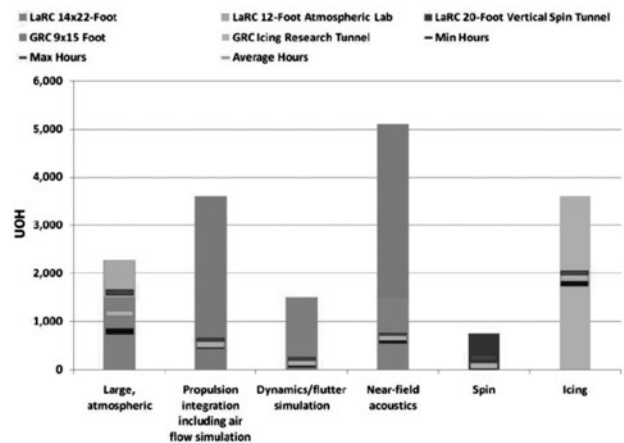


图2 NASA风洞基于功能的可用测试时间分布与预测的需求对比

## 4 分析与总结

能力建设需求预测是保障航空科技工业发展的重要工作。科学的能力建设需求预测是提高能力建设效率,优化能力组成,充分发挥现有能力效能的重要手段,应当得到高度的重视。

在上述3种需求预测的方法中,基于用户需求调查的需求预测方法最为直接,并依然是一种常用的方法。但是,这种方法的客观性和准确性容易受到受访对象的立场和经验水平的制约。另外,当涉及到的受访对象数量较多时,这种方法实施的难度较大。此外,对于需要定期更新的需求预测而言,容易发生受访对象更替而引入“系统误差”的问题。

利用概率模型将多种不确定性因素纳入需求预测模型,可以降低对专家和管理层意见的依赖程度,可以给出更有意义的区间估计,因此预测的透明度、客观性和科学性都明显地优于基于用户需求调查的预测方法,值得深入的研究和推广。这种方法需要大量的历史统计数据来构建概率模型,因此需要建立完善的统计制度,开展大量的日常统计和分析工作。

航空科研设施建设、使用的成本高,规模过于庞大将会给国家和企业带来沉重的负担,不利于行业的持续发展。在能力规划建设的过程中,要做好统筹规划和建设工作,尽可能地避免能力冗余和过度的重叠。为此,应当建立起以功能分类为基础的设施使用预测和统计工作,以此来分析建设需求。

### 参考文献

- [1] Ant ó n P, Gritton E, Mesic R, et al. Wind tunnel and propulsion test facilities: an assessment of NASA's capabilities to serve national needs [M], RAND 2004.
- [2] Committee on the Assessment of NASA Laboratory Capabilities. Capabilities for the future: an assessment of NASA laboratories for basic research, 2010.
- [3] Marshall T. An overview of the NASA aeronautics test program strategic plan [R/OL]. [2017.12.20]. <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20100019560.pdf>.
- [4] Melanson M, Chang M, Baker W. Wind tunnel testing's future: a vision of the next generation of

wind tunnel test requirements and facilities [C] // 48th AIAA Aerospace Sciences Meeting Including New Horizons Forum and Aerospace Exposition 4–7 January 2010, Orlando, Florida.

[5] National Science and Technology Council. National aeronautics research and development policy [OL]. [2018.8.30]. [http://www.nasa.gov/pdf/293693main\\_national\\_aeronautics\\_rd\\_policy\\_dec\\_2006.pdf](http://www.nasa.gov/pdf/293693main_national_aeronautics_rd_policy_dec_2006.pdf).

[6] AIAA Ground Test Technical Committee. Infrastructure recommendations for implementation of executive order 13419 national aeronautics research and development [R]. 2008.

[7] Ohlandt C, Ant ó n P, Kallimani J, et al. Monte Carlo model of national wind-tunnel demand [C] // 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition 4 – 7 January 2011, Orlando, Florida.

[8] Kallimani J, Ohlandt C, Osburg J. Long-term estimates of U.S. national wind tunnel demand for NASA aeronautics test program (ATP) using a probabilistic model [C] // 50th AIAA Aerospace Science Meeting Including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition. 2012, Nashville, Tennessee.

[9] AIAA. Standard 092–3–2003: wind tunnel testing part 2: practitioner's volume [S]. Reston, VA: AIAA, 2003.

[10] Kallimani J, Ohlandt C, Ant ó n P, et al. Future test needs of U.S. national wind tunnels for NASA's aeronautics test program: an approach for mapping ground test facility usage projections into capability projections [C] // 49th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition 4 – 7 January 2011, Orlando, Florida.

# 航空产业园选址方法研究

■ 闫慧 郑应平 王仲奇 [工艺]

**摘要:** 本文通过分析航空产业园的选址工作流程,从区域经济、劳动力资源、科研环境、集聚条件、交通运输、政策支持6个层面构建评价指标模型,并采用层次分析法,对各指标进行综合评价,最终确定最优厂址方案。

**关键词:** 航空产业园选址;评价指标模型;层次分析法

## 1 引言

航空工业是一个大国不可或缺的战略产业,其发展直接推动经济发展,对加快科技进步、增强国防具有重要意义。近年来,许多地区陆续筹建航空产业园区,旨在将发展航空产业作为产业升级和产业结构调整的重要举措。航空产业的高技术与复杂性使得航空产业对于选址区域的要求很高。通过分析影响选址的主要因素,优化选址模型,最终合理确定建设场址。航空产业园区受到区域经济、劳动力资源、科研环境、集聚条件、交通运输、政策支持各方面因素的影响,属于多因素综合评价。多因素选址综合评价方法有二阶段法、数据包络分析法<sup>[1]</sup>、模糊分析法<sup>[2]</sup>、层次分析法<sup>[3]</sup>。二阶段法对每种评价指标如何进行量化取值没有明确的讨论,而且没有建立较为合理的综合评价模型。数据包络分析法是完全的定量分析法。模糊分析法适合于多目标综合优化评价。层次分析法适合于目标层次清晰、定性分析定量评价的过程。采用层次分析法研究航空产业园选址,可以定性分析区域经济、

劳动力资源、科研环境等各方面因素,并有效实现各因素的定量综合评价,获得最优选址方案。本文首先分析航空产业园选址工作流程,构建评价指标体系,在此基础上,采用层次分析法对各指标进行综合评价,得出最优选址方案。

## 2 航空产业园选址流程

在航空产业园选址过程中,首先对场址的现有条件调查分析,构建选址评价指标模型,确定指标权重,综合评价获得场址选择的优化方案,如图1所示。

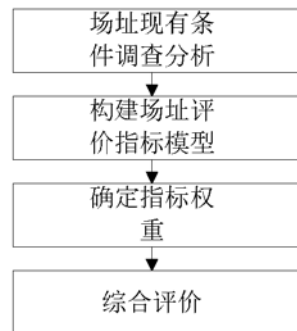


图1 选址流程

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



(1) 场址现有条件调查分析：调查预选场址所在区域的规划，交通情况，土地使用原则（容积率、建筑密度、绿地率等），征地政策，居住配套设施。

(2) 构建场址评价指标模型：考虑区域经济、劳动力资源、科研环境等因素，建立评价指标体系。

(3) 确定指标权重：应用层次分析法对各评价指标的重要性分析，确定指标权重值。

(4) 综合评价：进行组合权重计算，得分最高的为最优场址。

### 3 评价指标模型

#### 3.1 选址原则

航空产业园选址所面临的决策，要追求统筹兼顾、协调平衡、总体优化，通常不是单准则优化，而是多准则优化，目的是在充分考虑各约束条件下，寻求总体的综合指标最优，实现最大的经济效益和市场的占有率。在实际的选择评价指标体系的建立中要注意以下4个方面<sup>[4]</sup>：

(1)完整性原则：由于场址的选择要涉及的因素很多，因此要尽可能地建立完整的评价体系，特别是对候选场址的一些主要因素既不要遗漏也不要重复，能反映场址的综合情况，保证综合评价的全面性，使评价结果具有较好的合理性和客观性；

(2)灵活性和可扩展性原则：由于影响场址选择的因素众多，市场机遇不同，任务不同，侧重点也不同。场址选择的评价指标会随着企业所追求目标的不同而不断变化，因而评价指标体系就应具有较好的自适应性，能随实际情况的不同，对评价指标进行增添、删减等操作；

(3)简洁性原则：评价指标体系既要完备，也要突出影响场址选择的主要因素，但如果把所有因素都罗列在评价体系中，首先不利于发现场址的核心优势，其次也会增加场址选择的难度，降低选择的准确性，因此场址选择的评价体系要注意简洁性；

(4)一致性原则：明确指标间存在的逻辑关系，防止指标间的冲突。

#### 3.2 航空产业园选址模型

按照上述原则构建航空产业园选址评价“目标—指标—准则”模型，目标为航空产业园选址，指标是综合考虑后选定的评价指标，准则是指标的下一级细化。如图2所示。

(1) 区域经济：区域经济是支撑航空产业发展的重要因素。航空产业不能孤立存在，航空产业的持续发展能力与新技术的开发效益依赖于整个航空科学技术水平和国家的工业经济实力，必须有足够的经济实力作为基本条件，才能保证资金和劳动的大量前期投入。

(2) 劳动力资源：航空产业的技术垄断、技术密集加剧了航空产业专有人才垄断的特性，因此航空产业的发展必须依靠区域内大批航空人才。航空产业要求的人才队伍是一支以高层次骨干人才群体为核心、素质高、创新能力强的队伍，是一支按照系统工程要求组建的队伍，是一支具有强大高等院校作为后备支援力量的队伍。因此，在劳动力的选择上，既要考虑专有劳动力的质量，同时还必须兼顾劳动力成本因素。



图2 评价指标模型

(3) 科研环境：航空产业是知识密集型产业，它的发展与多学科取得的新进展和新成就有很大关系，航空产业与冶金、机械、电子等都有密切关系。因此区域研发条件是航空产业发展的重要因素之一。在科研环境的选取上，要考虑研发机构数量、研发人员数量和研发经费支出等区域科研资源。

(4) 集聚条件：集聚效应是指由于产业在空间上的集中和配套对企业所产生的经济效应。这种规模经济表现为与其他同类或相关行业的厂商集中于同一区域经营带来的好处，如工业区中专业化分工和协作带来的好处。

(5) 交通运输：交通的发达程度决定了各区域相互作用的广度和深度，是改变经济活动区位优势的重要因素。航空产业链长，除设计研发、制造环节之外，飞机总装、试飞等还需要更多的条件，因此完善的现代交通网络，地区的货运流量也是重要的参考指标。

(6) 政策支持：政府对产业布局的影响存在3种不同的方式：直接指定产业布局政策、隐性产业布局政策和导出的产业布局政策。航空产业是一个战略性产业，是一个国家技术经济水平和工业化水平的重要标志。对这样的高技术、资金密集以及风险的规避和承受能力等都需要政策的鼓励和支持。

#### 4 航空产业园选址决策方法

用层次分析法做出决策分析，首先要把问题层次化。根据问题的性质和要达到的总目标，将问题分解为不同的组成因素，并按照因素间的相互影响以及隶属关系将因素按不同层次聚集组合，形成一个多层次的分析结构模型，最终把系统分析归纳为最低层(方案层)相对于最高层(总目标)的相对重要性权值的确定或相对优劣次序的排序问题，从而为决策方案的选择提供依据<sup>[5]</sup>。

航空产业园选址的层次分析法计算步骤如下：

##### (1) 建立层次结构模型

在图2的评价指标模型中，目标层为航空产业园选址，指标层 $C = \{C_1, C_2, C_3 \dots C_n\}$ 表示评价指标体系的集合；

准则层 $F = \{f_{11}, f_{12} \dots f_{mn}\}$ 表示评价指标的二级指标集合。

(2) 构造成对比较判断矩阵，从层次结构模型的第二层开始，对于从属于上一层每个因素的同

一层诸因素，用成对比较法和1-9比例标度构造模糊判断矩阵，直到最下层。

判断矩阵 $A: A = (a_{ij})_{n \times n}$ ，其中 $a_{ij}$ 就是元素 $c_i$ 和 $c_j$ 相对于总目标的重要性的比例标度。 $a_{ij} > 0$ ， $a_{ij} = 1/a_{ji}$ ， $a_{ii} = 1$ 。根据矩阵理论，判断矩阵在满足上述条件下，具有唯一非零的，也是最大的特征根 $\lambda_{\max} = n$ ，且除了 $\lambda_{\max}$ 外，其余的特征根都是0。

表1 判断矩阵标度及含义

| 标度         | 含义                   |
|------------|----------------------|
| 1          | 两个因素相比，具有同样重要性       |
| 3          | 两个因素相比，一个因素比另一个稍微重要  |
| 5          | 两个因素相比，一个因素比另一个明显重要  |
| 7          | 两个因素相比，一个因素比另一个强烈重要  |
| 9          | 两个因素相比，一个因素比另一个极端重要  |
| 2, 4, 6, 8 | 上述相关判断的中间值           |
| 倒数         | 因素i与j比较为a，则j与i比较为1/a |

##### (2) 权重计算

应用层次分析法确定每个评价指标的相对重要性，也就是求出每个评价指标的权重，在此假设为 $w_1, w_2, w_3 \dots w_n$ ， $w_1$ 是 $C_1$ 的权重， $w_n$ 是 $C_n$ 的权重 $w_1 + w_2 + w_3 \dots + w_n = 1$ 。权重的计算过程如下：

计算判断矩阵的n次方根 $\bar{W}_i$ ，

$$\bar{W}_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}, i = 1, 2, \dots, n$$

向量 $\bar{W}_i = [\bar{W}_1, \bar{W}_2, \dots, \bar{W}_n]$ 归一化为 $w_i$ ，

$$w_i = \bar{W}_i / \sum_{i=1}^n \bar{W}_i, i = 1, 2, \dots, n$$

$w_i$ 即为权重值，特征向量 $W = (w_1, w_2 \dots w_n)^T$

计算判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}$ ，

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

一致性检验判断矩阵偏离一致性指标CI，

$CI = (\lambda_{\max} - 1) / (n - 1)$ ；一致性比例CR为 $CR = CI / RI$ ，RI为平均随机一致性指标，其值如表2所示。

表2 评价随机一致性指标

|      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| 0.00 | 0.00 | 0.58 | 0.90 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.45 |

表3 判断矩阵A

| A  | C1  | C2  | C3  | C4  | C5  | C6 | W0     |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|----|--------|
| C1   | 1   | 2   | 3   | 5   | 5   | 7  | 0.3833 |
| C2   | 1/2 | 1   | 3   | 5   | 5   | 7  | 0.3041 |
| C3   | 1/3 | 1/3 | 1   | 2   | 2   | 4  | 0.1322 |
| C4   | 1/5 | 1/5 | 1/2 | 1   | 1   | 2  | 0.0703 |
| C5   | 1/5 | 1/5 | 1/2 | 1   | 1   | 2  | 0.0703 |
| C6   | 1/7 | 1/7 | 1/4 | 1/2 | 1/2 | 1  | 0.0395 |
| $\lambda_{\max} = 6.088, CI = 0.018, CR = 0.014 < 0.1$ |     |     |     |     |     |    |        |

表4 判断矩阵B1

| B1   | f11 | f12 | f13 | W1     |
|--|-----|-----|-----|--------|
| f11  | 1   | 2   | 3   | 0.5278 |
| f12  | 1/2 | 1   | 3   | 0.3326 |
| f13  | 1/3 | 1/3 | 1   | 0.1397 |
| $\lambda_{\max} = 3.054, CI = 0.027, CR = 0.046 < 0.1$ |     |     |     |        |

对于1、2阶判断矩阵，总具有完全一致性。当阶数大于2时，判断矩阵的一致性指标CI与同阶平均随机一致性指标RI之比称为随机一致性比率，记为CR， $CR = CI/RI < 0.1$ 时，具有满意一致性。当 $CR \geq 0.1$ 时，应该对判断矩阵适当修正，调整判断矩阵为B'后重新计算，直到 $CR < 0.1$ 为止。

各指标权重计算如下：

同理，建立判断矩阵B2-B6，计算得出权重W2-W6，最终进行层次间的权重组合，得到候选厂址对目标层的权重，从而可确定候选厂址的最终排序。

## 参考文献

- [1] Talluri S, Baker R. C. A quantitative framework for designing efficient business process alliance [A]. International Conference on Engineering Management and Control (IEMC) [C]. 1996, 656-661.
- [2] 宋晓秋, 模糊数学原理与方法[M], 中国矿业大学出版社
- [3] Saaty T. L. The analytic Hierarchy Process [M]. New York: McGraw-Hill, 1980.
- [4] 蔡鹤皋, 马永军, 张福顺. 网络联盟企业中供应商选择方法[J], 小型微型计算机系统, 1999
- [5] 赵焕臣, 许树柏, 和金生. 层次分析法[M]. 北京: 科学出版社, 1986.5-7

# 关于X射线无损探伤间的 工艺设计研究

■ 王虹 张萌 姜煜霞 [工艺]

**摘要:** X射线检测是航空无损检测技术中五大技术之一,在航空工厂中具有很广泛的应用,相应的X射线无损探伤间的设计需求也极其广泛。本文以X射线检测为切入点,着重介绍了航空产品X射线无损检测工艺,总结了X射线无损探伤间设计特点和专业设计条件。

**关键词:** 航空材料; X射线无损探伤; 厂房设计; 专业条件

## 1 前言

航空无损检测技术领域包括了飞机及发动机部件、零件、原材料制造以及使用维修过程中,用于发现材料和结构中的缺陷和异常状态,评价制造质量和损伤程度所采用的无损检测方法和技术。

由于航空产品的可靠性对于人身安全的高度相关性,以及材料和零件使用环境和载荷条件的极端苛刻,对其产品的完整性要求是极其严格的。无损检测技术具有不破坏产品使用特性的特点,使其可直接针对各制造阶段和使用阶段的产品,对其缺陷、尺寸等质量特性进行检测与评价,该技术成为保证航空产品完整性和可靠性的重要手段。X射线检测是航空无损检测技术中五大技术之一,在航空工厂中具有很广泛的应用,相应的X射线无损探伤间的设计需求也极其广泛。

## 2 航空产品X射线无损检测工艺

X射线检测技术可用于金属材料、非金属材料和复合材料内部质量的检测;射线检测对于体积型缺陷敏感,应用最广泛的是铸件和焊接件检测。X射线检测法在航空制造工程中的典型应用如表1所示。

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

## 3 X射线无损探伤间的工艺设计

### 3.1 X射线无损探伤工艺流程

准备工作(选用射线检测设备、选择X射线胶片的类型、工夹具的准备、零件检验及编号)→射线透照(选择参数、摆放零件、摆放铅字及定位标记、摆放像质计、操作X射线机进行曝光)→胶片的暗室处理→底片的观察与评定→记录及工件的验收(记录、发检验报告、验收标记、存档)。

### 3.2 厂房工艺布局

根据设备成像方式不同,X射线探伤机可分为非实时成像和实时成像两类。其中,实时成像X射线探伤机可直接输出结果图,工艺房间主要包含探伤室、控制间和存片室;非实时成像X射线探伤机工艺房间主要包含探伤室、控制间、存片室、暗室和评片间等。以非实时成像为例,典型的X射线无损探伤间工艺布局如图1所示。

### 3.3 各专业设计要点

X射线无损探伤间各工艺房间专业设计要点如表2所示。

## 4 结语

本文总结了航空产品X射线无损检测应用以及工艺流程,根据X射线无损检测工艺流程,分析了X射线无损探伤间的典型工艺布局。同时,总结了X射线无损探伤间土建、暖通、电气等各专业的设

表1 X射线检测法在航空制造工程中的典型应用

| 典型零件    | 工艺状态    | X射线透视部位  | X射线透视方法                             |
|---------|---------|----------|-------------------------------------|
| 液压油箱    | 薄壁焊接结构  | 纵焊缝/环形焊缝 | 纵焊缝的射线检测在组合焊接前分段进行, 单壁单投影。环形焊缝双壁单投影 |
| 活塞杆     | 管状焊接结构  | 环形焊缝     | 双壁双投影或双壁单投影                         |
| 框架      | 点焊组合    | 透视点焊处    | 透视逐个电焊点                             |
| 椅盆      | 镁合金铸件   | 全面透视     | 按形状选择合理的透视方向、部位                     |
| 机匣      |         |          |                                     |
| 液压泵安装座  | 铝合金铸件   | 全面透视     | 按形状选择合理的透视方向及部位                     |
| 篦齿封严衬套  |         |          |                                     |
| 燃油供油管管子 | 不锈钢钎焊   | 钎焊缝      | 从两个互相垂直的方向分两次透视每个焊缝                 |
| 漏油管     | 不锈钢管氩弧焊 | 氩弧焊缝     | 从两个互相垂直的方向分两次透视每个焊缝                 |

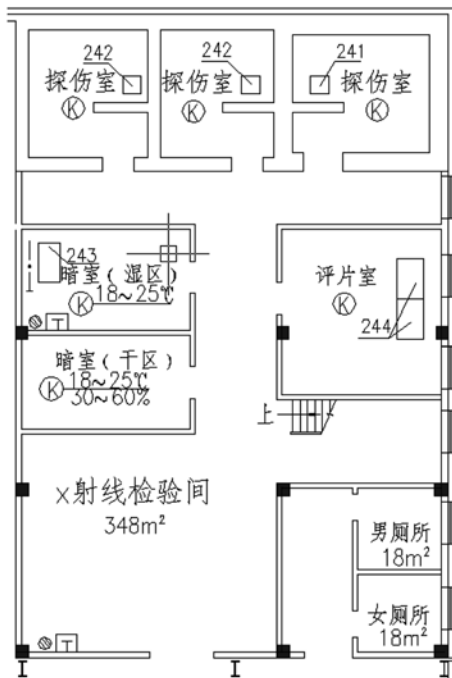


图1 典型X射线无损探伤间工艺布局

表2 X射线无损探伤间各工艺房间专业设计要点

| 房间名称   | 土建       | 暖通  | 电气                        |                                    |
|--------|----------|---|---------------------------|------------------------------------|
| 透射检验场所 | 探伤室      | 面积不小于35m <sup>2</sup> ；一般应设有人员门和单独的工件门，小型工件可仅设人员门。人员门宜采用迷路形式，并避开主射方向。常用材料为混凝土、铅和钢板等 | 换气次数≥5次；温湿度满足设备要求         | 设置门机连锁装置，在门口和内部设置指示灯和声音提示装置，安装急停开关 |
|        | 控制间      | 应置于探伤室外，避开主射方向  | —                         | —                                  |
| 暗室     | 干区       | 干区裁剪包装底片，应与湿区分开   | 18~25℃；湿度30%~60%；全室换气     | 暗室设置安全红灯                           |
|        | 湿区       | 湿区处理底片，地面铺设防滑瓷釉砖或水磨石。水槽用磁砖贴衬，墙壁涂深色油漆  | 18~25℃；全室换气               |                                    |
| 评片室    | 清洁       | 18~28℃；湿度不超过75%   | 光线柔和，评片人处照度25Lux，各观片灯互不影响 |                                    |
| 底片干燥室  | 手工处理胶片专设 | 通风良好；无过量灰尘  |                           |                                    |
| 底片贮存室  | 底片竖直存储   | 通风、阴凉、干燥  |                           |                                    |

计要求。

#### 参考文献

- [1] 《工业X射线探伤室辐射屏蔽规范》GBZ/T250—2014.
- [2] 《工业X射线探伤放射防护要求》GBZ117—2015.
- [3] 《500kV以下工业X射线探伤机防护规则》GBZ/

T250—2014.

- [4] 孙海燕, 工业X射线探伤室辐射防护技术, 职业与健康, 2011.4.

- [5] 朱宇虹, 9MeV电子直线加速器的屏蔽设计, 电焊机, 2010.1, Vol.40.

# 以中国特色先进国防科技工业体系 建设助力构建一体化的 国家战略体系与能力

■ 佟京昊 杨宇 [工艺]

**关键词：** 推进国防科技工业改革，建设一体化的国家战略体系和能力是习近平总书记在《决胜全面建成小康社会 夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利》报告中指出的我国先进国防科技工业体系建设的方向。伴随着国防需求和国防理论的快速发展，技术环境的快速进步，战争形态的快速演变，国防科技工业体系的内涵和发展需求也发生了深刻变化，需要提前研究，充分认识。

**摘要：** 一体化；国家战略体系域能力；国防科技工业体系；中国特色

建设中国特色先进国防科技工业体系，是中共中央、国务院、中央军委印发《关于经济建设和国防建设融合发展的意见》提出的明确要求，也是习近平总书记提出的“一体化的国家战略体系和能力”的重要组成部分。建设中国特色先进国防科技工业体系，不仅事关国防科技工业和武器装备发展，也与基础设施统筹建设和资源共享、军民科技协同创新、新兴领域军民深度融合等军民融合重点任务有紧密联系。那么，到底什么是“中国特色先进国防科技工业体系”，具备何种特征，有何内涵意义，与现行国防科技工业

和武器装备发展体系有何区别，如何推进，职责如何分工，这些都是急需明确的问题。

国防科技工业体系就是发展武器装备和国防科技的工业与技术发展体系。所谓“中国特色”，是指国防科技工业建设需要与我国国家发展战略体系紧密衔接，并与我国政治与行政体制特点高度匹配；“先进”则是对国防科技工业体系建设的目标要求，“先进”是个相对概念，既表现为对传统体制的先进性，更是相比其他军事装备强国武器装备行业发展体制的先进性要求。在当前战略背景下，“形成深度军民融合发展格局，构建一体化的国家战略体系和能力”，则是对先进国防科技工业体系建设目标的根本性要求。

作者简介：佟京昊，男，高级工程师，2007年毕业于北京理工大学工商管理专业，现就职于中航建设综合规划研究院。

## 1 构建中国国家战略体系和能力的战略背景

### (1) 现代国防理念的提出全新要求

伴随我国改革开放四十年取得的伟大成就，我国成为了世界第二大经济体。大国地位空前提升，特别是随着“一带一路”等战略的提出，我国国家利益在空间和内涵上都有了很大的延伸。与之对应的是，一些视我国为战略竞争对手的世界性强国，加大了对我国的竞争压力。因此，捍卫我国国家安全和国家利益是一个复杂的综合性课题。对国防力量的要求已不仅是三军作战部队规模、武器装备数量可以满足的。现代国防的内涵包含有社会国防、大国防、全民国防的含义。现代国防以军事力量为核心，还包括可以影响国家安全的非军事力量；包括国家的战争潜力，特别是战时的动员效率与潜力。国家的经济能力、工业能力、特别是科研创新能力都可以作为国防战略能力的组成部分。和平时期国防的作用是威慑，以达到“不战而屈人之兵”的目的。事实上，这些综合性国家能力正是过去几十年，捍卫我国和平发展环境的重要支撑之一。因此，如何充分利用我国国家工业体系和科技创新能力建设取得的成就贡献于国防需求，同时如何充分利用国家对国防技术和装备发展的投入进一步强化我国科技创新能力和工业体系建设，就需要“形成军民融合深度发展格局，构建一体化的国家战略体系和能力。”

### (2) 信息化战争对武器装备发展提出了更高要求

和平时期国防的责任是威慑，目标是捍卫和平与发展；而战时国防的责任是实战，目标是胜利。过去30年，信息技术革命在大大改变了人们的生活方式，也对战争形态和战场环境产生了颠覆式影响。大量信息技术的广泛应用和智能技术的快速进步使得现代战场范围在时间轴和空间轴上都得到了极大的延伸。由于战场内外各种信息可以高效安全的快速传递，武器装备对抗迅速由平台对平台过渡到体系对体系。在体系装备对抗下，战场呈现明显不对称特征，热兵器时代以来形成的传统的大军团对决的作战方式已被彻底颠覆。处于前线关键位置的少数士兵可以被授权指挥、引导强大的火力支援，包括直接指挥无人机、巡航导弹等智能化武器精确攻击。这些一线士兵已可以控制远超出人力实际搬运能力的火

力打击能力。“小部队、强火力、打大仗”将可能成为未来信息化战场的主要作战形式之一。战争形态的变化必然对武器装备发展提出了全新要求，传统追求平台技术指标的武器装备发展模式已经落后，武器平台的技战术指标已经无法体现装备的实战效能，充分与战法创新结合的体系化武器装备发展模式追求的是武器装备体系整体应对复杂实战需求的体系效能。外形相似，甚至技战术指标接近的武器平台在战场中，实战效能可能差距巨大。武器装备体系化发展需要先进顶层设计加以论证指引，需要海洋、太空、新能源、人工智能、生物技术等多领域的复杂技术集成和创新成果加以支撑。战争模式的颠覆式变化对我国国防科技工业发展提出了前所未有的全新要求。

### (3) 我国国防科技工业传统发展模式已经无法满足新的发展要求

我国国防科技工业自建设以来，一直采取行业化发展体制，目前由航空、航天、船舶、兵器、电子、核六大行业的10余个央企集团为主体发展。但是，随着时代发展和技术进步，目前军事科技与工业范畴已绝非这六大行业可以涵盖。人工智能、生物科技、网络安全、新能源、新材料等领域的技术进步都在深刻影响着世界武器装备发展，并改变着战场环境和战争模式。同时，伴随我国国家实力和国际地位的持续提升，保障日益扩大的建设成就和海外利益也对国防建设和国防科技工业发展和能力提出更高要求。国际上，霸权主义、单边主义、分离主义、恐怖主义的猖獗活动更使我国国防建设能力提升的要求日益紧迫。面对当今复杂多变、充满挑战的国际形势，面对国家安全环境和技术环境的深刻变化，我国传统的、封闭的国防科技工业体制，已经不能很好地适应当前发展需求。需要深入贯彻军民融合发展战略，通过体制机制改革和制度创新，激发各方面积极性，动员全社会力量参与，构建植根我国实际、具备发展先进性的国防科技工业体系，支撑我国高科技战争和多领域持续斗争的综合保障能力，提升战略威慑能力。

## 2 中国特色先进国防科技工业体系的深刻内涵

新的战争模式和武器装备发展需求需要先进的中国特色国防科技工业体系，这既需要将军方

具备优势的战法研究与武器装备研制深度融合，也需要把社会各领域的最新技术成果和工业成就应用于武器装备发展；需要军民协同创新，新兴领域军民深度融合等工作的推进；需要推动军工核心能力建设由任务能力型向体系效能型转变。国务院办公厅2017年颁布的《关于推动国防科技工业军民融合深度发展的意见》明确提出，“形成小核心、大协作、专业化、开放型武器装备科研生产体系”。但要达到这一建设要求，需要对其背景内涵有深刻的认识。

#### (1) 推动深度融合，打造军事技术“小核心”

建设先进国防科技工业体系，首先要做强国防军工“核心”能力。所谓军工“核心”，是指专用军事技术和专用军事装备技术能力。伴随信息化技术和智能化技术的突飞猛进，世界武器装备之间的对抗与竞争，已由“平台对平台”过渡到“体系对体系”。武器平台的技战术指标已经不能直接反映武器装备的实际战斗力，一个成熟、稳定又灵活、多变的武器装备体系才是现代高科技战争制胜的关键。举例来说，美国空军在主力战机选择上就没有选择平台指标更具优势的F/A-22，而是选择了更具体系合作效率的F-35联合攻击机，通过与“忠诚僚机”等智能武器和特种武器合作，F-35组成的体系化作战单元可以轻易击败平台指标比其更先进的战斗机。而多个任务不同的作战体系化作战单元又可以通过不同的搭配与组合适用于不同的作战任务。复杂的武器装备体系直接支撑了复杂多变的战法形成，而新式战法需求又牵引出更多针对战法需求的武器装备，使武器装备体系更加完善。这就要求战法研究者必须掌握军事装备各领域的最新发展和技术突破，也要求装备发展部门深刻领悟世界军事对抗的新战法、新思路。要做到这一点，只有通过深化军地协同创新才能实现。由于聚焦于军事对抗专用技术，此类技术开发不以追求应用的广泛性为目标，也很难在民用领域实现拓展，但必须做精、做实，需要国家的大力扶持和持续投入。

#### (2) 倡导公平竞争，发展国防科技“大协作”

改革开放以来，我国技术、经济各方面建设取得重大成就，国家工业体系日趋完善，工业能力稳步增强。但由于我国国防科技工业一直都保持着较封闭的发展体制，未能很好地将国家工业体系建设成就很好的用于国防装备发展。很多工业技术领域社会技术与工业能力以明显强于国防

科技内部能力。同时，我国正在大步向创新型国家迈进，国家对于国防技术开发和装备发展的高额投入也应该为国家工业与技术发展创造更大的价值，这就需要开展国防科技工业“大协作”。

“大协作”就是要将社会主义市场经济建设的成功经验和先进技术、工业能力引入到国防科技工业和武器装备发展上来，同时使国家对国防技术发展的支持普惠到整个国家科技与工业体系。因此，所有从事军民两用技术发展和产品制造的企业都将可能参与国防科技工业发展和协作。对此，习近平总书记指出，“要强化开放共享观念，坚决打破封闭垄断”。而要打破封闭垄断，就是要建立公平的竞争环境，这是军工“大协作”得以实现的前提和基础。所谓“公平的竞争环境”，就是要实现“同等能力，同等待遇”。不论军内机构还是地方机构，不论军工企业还是社会企业，不论国有企业还是私营企业，在国防技术招标和项目采购上，都面对同样的评价标准，承担同样任务就给予同样的资助、扶持，提供同样的产品、技术和服务，就享受同样的政策、待遇和支持。

#### (3) 克服利益羁绊，实现“专业化”发展

专业化发展是现代工业发展的基本规律之一，是市场机制和工业分工细化共同作用形成的一种先进的工业组织形式，可以最大化地利用企业专业技术能力、工艺能力、专业设备能力提高质量、降低成本、并促进技术持续发展。但在我国国防科技领域对专业化发展一直存在曲解，将专业化与行业化混为一谈。事实上，专业化企业实现的应该是技术和工艺上的专业化，这些专业化企业由于技术开发的持续和专注在专业领域更易取得成果，其企业发展的核心优势一般为其专业技术优势。而我国国防科技工业现行的行业化发展形式最终变成了一种贯穿产业链上下游的行业分割体制，行业集团内的各企业发展依赖的核心优势其实是对行业资源的垄断控制。在此体制下，各行业集团分别建立各自小而全的专业协作系统，立足于自我配套。很明显，这两种发展形式有着根本性的不同，专业化企业发展最终是做强核心优势是专业技术，而行业分割体制最终做实的核心利益保障是行业利益链条。现代高科技武器装备是典型的系统集成末端产品，涉及的专业都很广泛，除了在末端集成和专业军事领域，行业化与专业化趋同外，越是基础的领域，



军民技术通用性越强，行业化发展与专业化发展的差距越显著。但是，变行业化发展为专业化发展，触及的是传统军工发展模式下各利益攸关方的核心利益，必然会遭到各种阻力。伴随大量社会企业进入国防科技领域，必然会对传统军工企业的日常经营形成很大冲击，一些过于依赖行业壁垒而忽视核心能力建设的传统军工企业可能就遭到淘汰，而由此产生的“蝴蝶效应”可能使传统军工利益链条的很多人都受到影响。习近平总书记多次指示国防科技工业“要坚决拆壁垒、破坚冰、去门槛，破除制度藩篱和利益羁绊”。国防科技工业存在的价值就在于解决我国武器装备克敌制胜的问题，这是整个行业的历史使命，也是整个行业建设的“初心”所在。要实现“专业化”发展需要各军工企业，不忘初心，牢记使命，摆脱利益的羁绊，做强专业技术实力，重塑发展核心能力。

#### (4) 着眼未来，推动“开放”发展

习近平总书记多次指出，“人类社会发展的历史告诉我们，开放带来进步，封闭必然落后”。建立“开放型”的国防科技工业发展体制正是遵从这一科学的发展规律。有开放才有竞争，历史已经无数次证明，行业封闭除了保护落后和既得利益，其余什么都保护不了。正是由于封闭体制下各种资源都封闭在行业内部，最终形成了行业自我评价、自我肯定的发展模式，进而无视世界武器装备发展最新技术趋势，不但丧失发展机遇而且会使我国整体武器装备发展处于不利地位。此外，现代战争是国家综合实力的对抗，这种竞争与对抗，不仅存在于传统的陆海空战场，在外太空、网络空间、电磁环境甚至心理领域都有激烈的对抗。武器装备的概念和需求早已非传统国防科技工业可以涵盖，需要大量的新技术、新装备参与到国防建设中来，这是现代战争和武器装备发展形势对建设“开放型”国防科技工业的必然要求。所以“开放型”国防科技工业，不只是对所有技术、所有企业的开放，也是对历史、对未来的开放。事实上，绝大部分先进技术都有军民两用性，任何一项颠覆性技术产生时，不只可能改变人们生产生活的方方面面，也可能就此改变战争的过程和形态。军事竞争永远是强国之间、高精尖技术发展与国家工业体系实力的比拼。谁都无法准确预测几十年后，强国之间军事对决的具体形态和领域，因此，军工行业必须要

保持“开放”，时刻为迎接未来的技术与军事变革作好准备。

### 3 中国特色先进国防科技工业体系面临的新变化

国防科技工业是国家一体化战略体系和能力的重要领域，在充分发挥市场机制激发行业活力的同时，也要坚持党的领导和国家的主导作用。国防科技工业发展技术性日益复杂，整个国防科技工业将面临重大的调整，以适应新的发展需求。推动国防科技工业改革，建设中国特色的先进国防科技体系，需要对国防科技工业行业面临的变化有清晰认识。

#### (1) 国防科技工业范畴已经大大增加

我国传统国防科技工业主要范畴是以航空、航天、船舶、兵器、核、电子等六大工业领域为主。但是，随着科技进步和国际斗争形势的复杂化，网络空间、电磁空间、太空、深海等新的战场空间不断被开辟；人工智能、生物技术、能源技术、材料技术、网络信息技术等领域的技术与工业能力进步对国防安全的影响日益重要。这些涉及国防安全的工业技术领域都将是国防科技工业体系和能力重要组成领域，同时国防科技领域还将随着技术的发展和进步不断扩充。

#### (2) 国防科技工业参与主体大大扩充

传统国防科技工业参与主体主要是六大行业的军工集团及其下属企业，但在中国特色先进国防科技工业体系中，国防科技工业的参与主体将大大扩充，涉及到与国防技术相关的各个工业领域。今后所有从事军民两用技术开发和武器装备科研生产的企业都将成为国防科技工业参与主体，既包括传统军工企业，也包括从事相关业务的非军工央企、地方国企、股份企业、私营企业。

#### (3) 国防科技工业体制面临根本性变化

我国国防科技工业传统发展体制为需求牵引、技术推动，军方对装备发展提出要求，装备部门结合自身技术发展，对装备发展提出建议。但在现代武器装备对抗由平台对平台过渡到体系对体系后，先进武器装备发展与战法设计紧密结合，需求论证和技术推动都成为高技术复杂性工作。旧的装备发展模式呈现出明显脱离实战需求的弱点，对于武器装备的评价标准由技术指标向体系效能转变。习近平总书记对武器装备发展提

出了“实战牵引、体系论证”的全新要求。这需要国防科技部门与企业加深对现代战争的研究认识，能够与军方需求部门进行涵盖战法与装备发展的深层次技术沟通，也需要从事军民两用技术开发与应用的企业始终把满足国防需要当作企业长久发展的一项战略问题加以考虑，并贯彻在日常科研生产工作中。当然，这也需要管理机关自身的改革调整和相应的政策调整与制度创新，以促进我国国防科技工业由任务能力型向体系效能型转变。

#### (4) 国防科技工业发展模式面临根本性转变

我国国防科技工业传统上采取的是各行业自我发展的封闭发展体制，每个行业集团均建立了小而全的研制生产配套体系。国家也将各军工行业集团作为国防科技工业发展主体，直接下达任务并赋予大量资源。这种举国体制的发展模式在资源匮乏时期有力保证了我国国防科技工业建设，但是同时形成了根深蒂固的利益壁垒，最终导致各集团在经济技术大发展的环境下发展导向发生偏差，利用自身权力与资源压制技术创新，忽视国防科技主业的竞争与挑战，唯经济利益是瞻。需要指出的是“集中力量办大事”的举国体制虽然在资源投入上具备优势，但是“市场竞争体制”更具资源应用效率优势，二者并不对立。今后，国防科技工业将采取的是专业化发展模式，充分引入“市场机制”，使国家对国防科技工业的投入取得更大的收益与效率。行业壁垒将被逐步破除，企业研制任务和配套任务获得将坚持同等能力同等待遇，以能力作为唯一评价标准，公平竞争。

#### (5) 国防科技工业体系的涵义已发生本质变化

综上所述，所谓国防科技工业就是武器装备发展科技和工业而非所谓军工行业，国防科技工业是少量从事专用军事装备技术的军工企业和全国工业体系中从事军民两用技术开发并可将技术应用于军事装备的企业构成。因此，“一体化的国家战略体系和能力”下的“先进国防科技工业体系”，并非一个独立的企业体系，而是建立于整个国家科技工业体系之上的一种具有特定指向的工业技术能力体系。对这一体系的管理，并非行业管理，而是一种能力管理，这一点国防科技工业参与各方必须要有充分认识。

## 4 国防科技工业管理新内容的建议

先进的国防科技工业体系建设作为国家“一

体化战略体系和能力”建设的核心内容，面临着前所未有全新的发展要求。建设中国特色先进国防工业体系，构建一体化的国家战略体系和能力，需要认真研究筹划开展以下工作。

#### (1) 国防科技工业整体能力评价与调整

由于目前军事斗争环境和技术环境的变化，国防科技工业体系与能力也需要不断随着环境的变化而有所调整，这就需要管理机关持续跟踪世界军事竞争和国内技术工业发展情况，周期性的根据环境变化对于国防科技工业整体能力特别是体系效能的形成情况进行评价并做出相应的调整计划。

#### (2) 军工核心能力规划发展与建设支持

以军事技术与专业国防技术开发为主的军工核心能力，由于短时间内缺乏民品衍生能力，是需要国家重点扶持建设的领域。基于对这一领域的深入研究，前瞻性的开展能力建设规划和建设支持是国防科技工业管理部门的最重要职责之一。

#### (3) 社会力量军民深度融合发展引导机制建设

新兴领域军民深度融合发展是当前军民融合的战略任务之一，但目前我国各社会力量普遍对如何通过军民深度融合发展军民两用技术和相关产业缺乏认识，需要建立适当的技术补贴和能力建设机制加以引导。

#### (4) 军工能力瓶颈与短板问题识别与解决

作为一个有机互动的体系，任一领域的落后与缺失都可能影响体系效能的形成与发挥，而国防科技工业体系组成也日益庞杂。因此，需要对军工能力的瓶颈与短板问题快速识别，并能够有相应的手段加以解决。

#### (5) 各专业领域先进技术力量比选与培养

随着国防技术领域的迅速与扩充，各专业技术领域进展与发展情况，绝非几个军工集团和少数企业可以掌握。因此，需要建立覆盖国家技术工业全领域的技术、能力比选与培养机制，使强者更强，优者更优。

#### (6) 国防科技前沿技术领域攻关安排与奖励措施

由于民用技术开发关注成本与经济效益，对于过于超前的技术，即使有技术储备和应用前景的企业也可能持迟疑态度，而这些前沿技术开发最终却能给武器装备体系竞争带来优势，必须要有针对性攻关安排和奖励措施，解除企业的后顾之忧。

(7) 国防基础研究与实验设施统筹布局与共享机制建设

目前,我国国防基础研究与试验设施基本都由国家投资建设,也普遍存在利用效率不高的情况,基础设施资源共享就是军民融合的重点工作领域之一,推动这些设施向全社会开放共享,将大大提升这些设施的利用效率,助力深度军民融合发展。

## 5 措施与建议

### (1) 持续深化国防科技工业改革

“深化国防科技工业改革”是党的十九大报告中明确提出构建“一体化的国家战略和能力”的重要举措。目前,军工行业改革已纳入国有企业改革的重要部分,部分科研院所改革和混合所有制改革业已开始试点。我国军工产业利益链条,经过几十年发展,早已根深蒂固,形成了复杂的利益壁垒,正是这些利益壁垒的存在,导致了诸如“玻璃门”等不良现象。因此,国防科技工业改革就是要拆壁垒、破坚冰、去门槛;在改革推进中一定要注意摆脱利益的羁绊;清晰区分需要保护、继承的和需要放弃、破除的;特别是国防科技工业主管机构和各军工集团要端正态度、坚定信仰,以建设先进中国特色国防科技工业体系和发展先进武器装备体系为总目标,锐意推进改革。

### (2) 强化行业顶层设计与研究能力

在我国国防科技工业在历史上,为我国国家安全和技术发展作出过不可磨灭的贡献,但是在信息化时代后,面对战场环境和作战模式的颠覆式变革带来的新变化、新要求,却迟迟没有做出相应的调整。究其原因,除了受制于传统发展模式的束缚和行业的利益羁绊外,与我国国防科技工业长期缺乏顶层设计有着紧密关系。武器装备发展进入到体系化发展阶段后,顶层设计的作用大大加强,国防科技工业的技术领域也已大大扩充。对于行业发展新要求、对于新的领域,管理机关需要快速形成科学、客观的宏观认识,才可能做出科学的决策进行有效的管理。这对管理机关和各军工行业、“参军”企业的顶层设计能力提出前所未有的迫切要求。面对这一要求,只能依靠军内外、全社会的顶层设计和高端咨询技术

力量。因此相关机关需要就顶层设计、决策咨询的课题委托、项目招标等迅速完善制度,配置资源,尽快启动相关工作。各军工集团和主机企业也要与军队战法部门加深合作,以“实战牵引、体系论证”为根本要求做好武器装备发展顶层设计工作

### (3) 创新国防科技领域专家工作机制

伴随国防科技工业的范畴与参与主体的大量扩充,需要的技术支持必然将大大增加。即使在传统六大领域,由于前期在军工产业管理由政府向企业转化的改革过程中,转化得过于彻底,导致几乎所有专家力量都被军工企业控制,从而使专家力量成为利益链条的一环。因此,管理机关迫切在强化自身科学决策能力的同时,需要建立复杂背景的专家队伍与创新决策咨询方式。只有通过开放的、常态化的专家队伍建设和咨询机制设立,才能应对工作范畴调整对国防科技工业管理工作造成的挑战。需要特别注意的是,为避免单一渠道的利益导向,建议采取多种方法将自身研究队伍发展与社会化咨询结合使用的方法,以社会研究力量支撑自身研究能力的迅速提高。

# 煤层气开发集气站 余热综合利用系统

■ 赵晨 [动力]

**关键词：** 为提高天然气压缩机组烟气余热利用率，提出一种进气冷却的天然气压缩机组余热综合利用系统，通过余热锅炉、蒸汽型溴化锂冷水机组、天然气-水换热器等装置将进入燃气压缩机的煤层气进气冷却到10℃，增加燃气压缩机的日供煤层气量，提高燃气驱动压缩机系统的能源利用效率；并在日供煤层气量一定的前提下，降低燃气压缩机耗功，减少燃料消耗量，提高系统经济性与效率，同时增加压缩机组可靠性与寿命。通过系统热力学性能及经济性分析，在蒸汽型溴化锂机组运行工况下将系统能源利用效率提高24%，在供热装置运行工况下将系统能源利用效率提高37%。该系统用在煤层气开发集气站，其静态回收期约为3.5年。

**摘要：** 余热综合利用；进气冷却；天然气压缩机组；溴化锂制冷；循环效率

随着世界能源形势越来越严峻，寻求高效无污染的能源二次利用及回收转换方法成为解决当今能源问题的有效技术途径之一<sup>[1]</sup>。与日本和美国的能源利用率相比（分别为57%和51%），中国的有效能源利用效率约在30%左右，导致这一现象的主要因素为能源梯级利用不合理，大量余热资源未得到充分利用就直接排放<sup>[2]</sup>。为了提高能源利用率，工信部提出“要在余热余压资源丰富行业全面推广余热余压回收利用技术，推进低品质热源的回收利用，形成能源的梯级利用”，并在《工业节能“十二五”规划》将“余热余压利用工程”列为“重点节能工程”之一<sup>[3]</sup>；发改委在《能源发展“十三五”规划》中将“加强余热余

压、工业副产品、生活垃圾等能源资源回收及综合利用”列为“实施多能互补集成优化工程”的主要内容之一<sup>[4]</sup>。

压缩机组作为煤层气集气站能源系统以及输气管道中最基本且最重要的设备之一，其性能直接影响集气站能源系统的整体性能与效率。集气站压缩机组通常由燃气发动机、燃气轮机或电动机提供动力，其中燃气发动机驱动的离心压缩机组占大部分，其工作原理为空气经过增压后进入燃烧室，与过滤后天然气混合后燃烧，产生的高压高温气体经过燃气涡轮膨胀做功，驱动压缩机运转，经涡轮做功后燃气排烟温度可达400℃~700℃。排烟余热绝大多数都未经利用直接排放到大气中，造成能源的极大浪费。因此，如何将排烟余热进行合理利用，实现集气站能源系统节能减排增效，降低环境热污染以及烟气中污染物排

作者简介：赵晨，女，工程师，2013年毕业于中国科学院大学工程热物理专业，现就职于航空工业规划市政工程设计研究院。

放, 具有巨大的经济和社会效益。

压缩机组燃气发动机的烟气余热回收利用方式有多种, 包括余热换热、余热锅炉、余热制冷<sup>[5]~[6]</sup>、余热发电、功冷联产<sup>[7]~[8]</sup>等。魏云峰等<sup>[9]</sup>设计烟气回收装置, 在塔里木油田勘探冬季作业时利用烟气余热产生蒸汽进行吹扫钻台、紧急解冻、特殊部分保温等工作。樊轩等<sup>[10]</sup>采用换热器, 在大港油田采油五厂西二联天然气发电站将天然气发电机组烟气余热利用加热原油, 以取代原加热炉达到节能降耗的目的。戚涛等<sup>[11]</sup>基于溴化锂吸收式制冷机组开发一套发电机余热利用系统, 将胜利油田动力机械厂发动机烟气余热回收利用, 用于厂内办公大楼和厂房的供热与供冷。于海涛等<sup>[12]</sup>利用余热回收装置将烟气余热用于大港油田天然气公司天然气处理站采暖与办公制冷。张梁等<sup>[13]</sup>利用天然气发动机烟气余热制冷, 实现制冷量与防噪声工房内发动机空压机组散热的动态平衡, 满足机组在防噪声门关闭情况下的温度要求环境。赵淑珍等<sup>[14]</sup>介绍一种燃气驱动压缩机余热利用的系统, 回收烟气余热制冷降低压缩机出口处天然气温度, 提高外输量。

本文将天然气压缩机组烟气余热回收利用, 用于冷却燃气压缩机进口天然气, 减小压缩机耗功, 以提高天然气压缩机组经济性, 并以某煤层气开发集气站为例, 基于能的综合梯级利用原理, 进行系统不同工况下热力性能及其经济性分析, 验证余热回收系统有效性。

## 1 进气冷却的天然气压缩机组余热综合利用系统

进气冷却的天然气压缩机组余热综合利用系统由天然气压缩机组、余热利用系统和进气冷却系统三部分组成, 具体设计流程图如图1所示。天然气压缩机组由天然气发动机和天然气压缩机组成, 利用集气站天然气燃烧做功带动同轴压缩机实现天然气增压; 余热利用系统由余热锅炉、蒸汽溴化锂冷水机组、回热器等装置组成, 利用天然气压缩机组烟气余热驱动余热锅炉, 形成饱和蒸汽, 一部分用于驱动蒸汽溴化锂冷水机组, 一部分用于水处理、供热等, 采用回热器对烟气能量进行二次利用, 将进入余热锅炉的循环水加热, 以进一步提高系统热效率; 进气冷却系统由天然气-水换热器和循环水泵组成, 利用溴化锂制冷机组的冷量, 将进入天然气压缩机组的煤层气冷却。

## 2 某煤层气开发集气站余热综合利用系统可行性分析

某煤层气开发集气站共有4台天然气压缩机组, 1号机组和2号机组分别单独运行, 3号和4号机组同时运行, 且1号或者2号机组运行时, 3号和4号机组不运行, 3号和4号机组运行时, 1号或者2号机组不运行。4台机组的参数如表1中所列。因

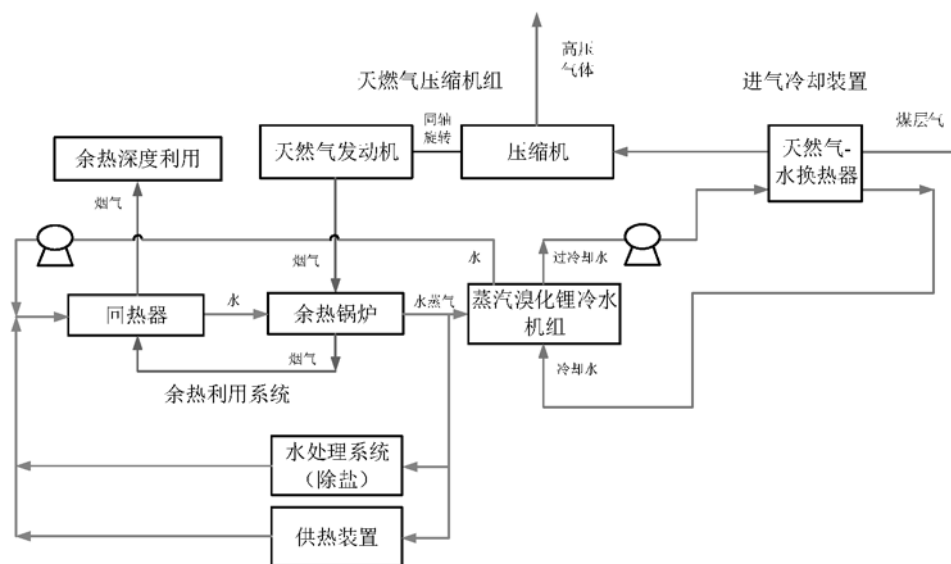


图1 进气冷却的天然气压缩机组余热综合利用系统

表1 天然气压缩机组参数

| 参数          | 1号机组  | 2号机组  | 3号机组    | 4号机组    |
|-------------|-------|-------|---------|---------|
| 发动机额定功率, kW | 2517  | 2517  | 1253    | 1253    |
| 排气温度, °C    | 465   | 46    | 547~626 | 547~626 |
| 烟气流量, kg/h  | 17500 | 17500 | 5113    | 5113    |

煤层气主要成分为天然气, 因此后续分析时均以天然气的相关参数进行核算。

### 2.1 余热分析

1号或2号机组发动机排气温度为465°C, 烟气流量为17500kg/h, 假设经余热锅炉利用后的烟气出口温度为160°C, 假设排气的定压比热为1.089kJ/(kg·K), 则1号或2号机组单独工作时, 发动机烟气中含余热为:  

$$= ((465+273.15) - (160+273.15)) \times 1.089 \times 17500/3600 = 1615 \text{ kW}$$

3号或4号机组发动机排气温度为547°C~626°C, 此处取600°C, 单台机组烟气流量为5113kg/h, 假设经余热锅炉利用后的烟气出口温度为160°C, 假设排气的定压比热为1.089kJ/(kg·K), 则3号和4号机组同时工作时, 发动机烟气中含余热为:  

$$((600+273.15) - (160+273.15)) \times 1.004 \times 5113/3600 \times 2 = 1360 \text{ kW}$$

### 2.2 负荷需求

水处理蒸发器(除盐)所需热负荷: 为了使煤层气采出水达到排放标准, 需要对煤层气采出水进行处理, 包括重金属、原油和悬浮物、COD和磷酸盐、无机盐等。在无机盐处理过程中, 采用低温多效蒸发浓缩结晶系统实现, 基于该集气站煤层气采出水量, 设计低温多效蒸发浓缩结晶系统所需热负荷约为360kW, 对应蒸汽参数为500kg/h的蒸汽, 温度为110°C, 压力为0.1~0.2

MPa的低压蒸汽。

煤层气压缩机组进气冷却所需冷负荷: 将压缩机组进气天然气温度始终保持在10°C(该天然气进气温度为压缩机设计说明书额定工况进气温度范围内), 以此为准, 计算煤层气压缩机组进气冷却所需冷负荷。

以二季度5月份为例, 依据统计数据, 煤层气的进气温度是16°C, 煤层气的进气压力为0.038MPa, 煤层气的排气压力为1.285MPa, 排气温度为122°C, 排出高压煤层气的密度为6.8131kg/m<sup>3</sup>。从测量数据得到平均日供气量(体积流量)为255321m<sup>3</sup>/day, 假设日供气流量不变, 从而计算得到降温前的日供气量(质量流量): 255321×6.8131=1739532 kg/day(折合标准体积流量2424569 Nm<sup>3</sup>/day); 假设降温之后, 煤层气的进口温度变成10°C, 使用差值拟合得到出口温度变成116°C, 排气压力为1.285MPa。排出高压煤层气的密度等于6.9224kg/m<sup>3</sup>, 则降温后日供气量(质量流量): 255321×6.9224=1767438kg/day(折合2463466Nm<sup>3</sup>/day); 增加值: (2463466-2424569)/2424569=1.6043%。进而核算使5月份煤层气降温所需冷量为267kW, ((16+273.15)-(10-273.15))×2.21×1739532÷24÷3600=267kW。

通过计算得到二季度4月份、二季度6月份、三季度7月份、三季度8月份、三季度9月份、四季度10月份将煤层气进气温度稳定在10°C所需的冷量及其增加的日供气量, 如表2所示。可以看到9月份为需要冷量最大的月份, 约900kW, 能够将日供气量增加5.34%, 因此以900kW的冷量作为余热利用系统中溴化锂制冷机组选取的依据。

### 2.3 不同运行工况下系统特性分析

运行工况一(蒸汽型溴化锂机组运行工况): 在每年二季度(4月、5月、6月)、三季度(7月、8月、9月)、10月, 不需要供热与采暖负荷时, 故蒸汽-水换热器和烟气-水换热器不工作。而蒸汽型溴化锂机组、煤层气-水换热器、回

表2 各季度所需冷量及所增加日供气量

| 时间段  | 1号或2号压缩机组 | 3号和4号压缩机组 | 余热蒸汽锅炉 | 蒸汽型溴化锂机组+煤层气-水换热器+回热器 | 水处理系统除盐 | 蒸汽-水换热器(供热装置) | 烟气-水换热器(余热深度利用装置) |
|------|-----------|-----------|--------|-----------------------|---------|---------------|-------------------|
| 运行状态 | ✓         | ×         | ✓      | ✓                     | ✓       | ×             | ×                 |
| 运行状态 | ×         | ✓         | ✓      | ✓                     | ✓       | ×             | ×                 |

表3 运行工况一

| 季度                       | 二季度        |            |            | 三季度        |            |            | 四季度         |
|--------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| 月份/<br>平均温度              | 4月<br>~10℃ | 5月<br>~16℃ | 6月<br>~22℃ | 7月<br>~18℃ | 8月<br>~25℃ | 9月<br>~30℃ | 10月<br>~15℃ |
| 日供气量, Nm <sup>3</sup> /d | 2463466    | 2463466    | 2463466    | 2490334    | 2490334    | 2490334    | 2436633     |
| 增加比例                     | 0.00%      | 1.60%      | 3.21%      | 2.14%      | 4.01%      | 5.34%      | 1.14%       |
| 所需冷负荷, kW                | 0          | 267        | 526        | 358        | 659        | 868        | 220         |

✓: 全天候运行; ×: 不运行。

热器、余热蒸汽锅炉、水处理系统除盐全天候运行, 其系统各装置运行状态如表3中所列。

该工况下系统图如图2所示, 天然气发动机烟

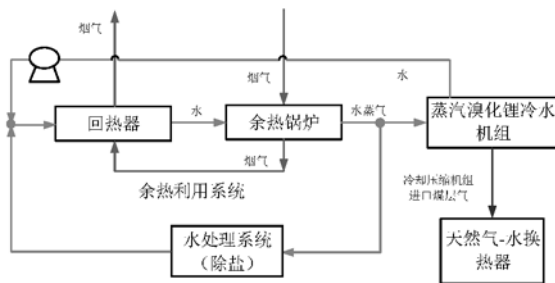


图2 蒸汽型溴化锂机组运行工况系统图

表4 蒸汽型溴化锂机组运行工况关键设备参数表

| 设备名称       | 参数名称           | 数值   |
|------------|----------------|------|
| 余热锅炉       | 烟气流量, Kg/h     | 8150 |
|            | 入口烟气温度, ℃      | 600  |
|            | 出口烟气温度, ℃      | 160  |
|            | 锅炉产汽量, t       | 1.56 |
|            | 锅炉给水温度, ℃      | 120  |
|            | 锅炉给水压力, MPa    | 0.80 |
|            | 蒸汽温度, ℃        | 159  |
|            | 蒸汽压力, MPa      | 0.60 |
|            | 锅炉热效率          | 0.90 |
| 蒸汽溴化锂冷水机组  | 入口蒸汽流量, kg/h   | 1006 |
|            | 制冷蒸汽耗, kg/h/kW | 1.12 |
|            | 总制冷量, kW       | 900  |
| 水处理系统 (除盐) | 入口蒸汽流量, kg/h   | 500  |
|            | 入口蒸汽温度, ℃      | 158  |
|            | 入口蒸汽压力, MPa    | 0.60 |
|            | 利用热量, kW       | 360  |
| 回热器        | 入口烟气温度, ℃      | 160  |
|            | 给出流量, t/h      | 1.56 |
|            | 出口水温度, ℃       | 120  |
|            | 换热量, kW        | 92   |

气通过余热锅炉将水变为饱和蒸汽, 一部分用于驱动蒸汽溴化锂冷水机组, 进而通过天然气-水换热器冷却进入天然气压缩机组的煤层气, 一部分用于水处理系统 (除盐); 经过余热锅炉的烟气进一步通过回热器对烟气能量深度利用。对该工况下系统方案进行参数核算, 其中蒸汽余热锅炉、蒸汽溴化锂冷水机组、回热器等主要设备的参数如表4所示。

经核算, 运行工况一的系统能源利用效率为78.67%, 较原燃气压缩机能源利用效率 (原天然气压缩机实际热效率仅为30%左右, 但为了方便计算, 以压缩机组标牌额定输出功率为实际有效输出计算值, 可得原天然气压缩机能源利用效率为54.21%, 后续计算中也采用该值) 提高24个百分点。

运行工况二 (供热装置运行工况): 在每年一季度 (1月、2月、3月)、四季度 (11月、12月), 燃气压缩机进口煤层气不需要冷却时, 而冬季需要供热和采暖负荷时, 此时蒸汽型溴化锂机组、煤层气-水换热器不工作, 而回热器、余热蒸汽锅炉、水处理系统除盐、烟气-水换热器全天候工作, 其系统各装置运行状态如表5中所列。

该工况下系统图如图3所示, 天然气发动机烟气通过余热锅炉将水变为饱和蒸汽, 一部分通过蒸汽-水换热器产生热水用于供暖, 一部分用于水处理系统 (除盐); 经过余热锅炉的烟气进一步通过回热器、烟气-水换热器对烟气能量深度利用, 以用于提高系统效率与提供热水, 而进入余热锅炉和烟气-水换热器的水来自于水处理系统。对该工况下的系统方案进行参数核算, 其中蒸汽余热锅炉、蒸汽溴化锂冷水机组、回热器等主要设备的参数如表6所示。

经核算, 运行方式二的系统可提供热量1560kW, 能够为26500m<sup>2</sup>的住宅供热<sup>[16]</sup>, 能源利用效率为91.89%, 较原燃气压缩机能源利用效率提高了37个百分点。

表5 运行工况二

| 时间段  | 1号或2号压缩机组 | 3号和4号压缩机组 | 余热蒸汽锅炉 | 蒸汽型溴化锂机组+煤层气-水换热器+回热器 | 水处理系统除盐 | 蒸汽-水换热器 | 烟气-水换热器 |
|------|-----------|-----------|--------|-----------------------|---------|---------|---------|
| 运行状态 | ✓         | ×         | ✓      | ×                     | ✓       | ✓       | ✓       |
| 运行状态 | ×         | ✓         | ✓      | ×                     | ✓       | ✓       | ✓       |

✓：全天候运行；×：不运行。

2.4 优势分析

采用上述进气冷却的天然气管压缩机组余热综合利用系统，通过2.3中可行性分析可以看到，在保证天然气发动机额定工况天然气消耗量不变的前提下，以冷却前煤层气进气温度30℃为例，通过余热综合利用系统，能够增加日供气量（煤层气）5.34%，提高系统能源利用效率24.46%。若在保证天然气驱动压缩机日供气量不变的前提下，通过余热综合利用系统，可以将天然气发动机的天然气消耗量降低，经核算，可以将天然气发动机额定工况日天然气消耗量降低4.88%，系统能源利用效率增加20.37%，具体参数如表7中所示，另

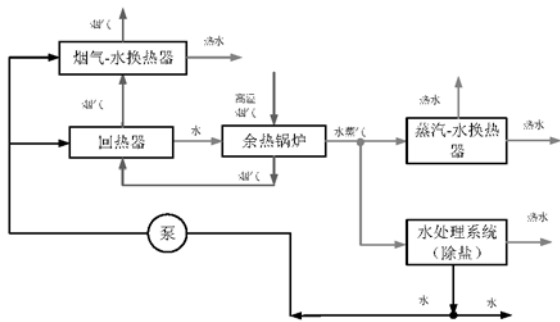


图3 供热装置运行工况系统图

表6 供热装置运行工况关键设备参数表

| 设备名称      | 参数名称         | 数值    |
|-----------|--------------|-------|
| 余热蒸汽锅炉    | 烟气流量, Kg/h   | 10226 |
|           | 入口烟气温度, ℃    | 600   |
|           | 出口烟气温度, ℃    | 160   |
|           | 锅炉产汽量, t     | 1.96  |
|           | 锅炉给水温度, ℃    | 120   |
|           | 锅炉给水压力, MPa  | 0.80  |
|           | 蒸汽温度, ℃      | 159   |
|           | 蒸汽压力, MPa    | 0.60  |
|           | 锅炉热效率        | 0.90  |
| 蒸汽-水换热器   | 入口蒸汽流量, kg/h | 1390  |
|           | 入口蒸汽焓, kJ/kg | 2756  |
|           | 出口蒸汽焓, kJ/kg | 210   |
|           | 换热量, kW      | 983   |
| 水处理系统（除盐） | 入口蒸汽流量, kg/h | 500   |
|           | 入口蒸汽温度, ℃    | 158   |
|           | 入口蒸汽压力, MPa  | 0.60  |
|           | 利用热量, kW     | 360   |
| 回热器       | 入口烟气温度, ℃    | 160   |
|           | 给出流量, t/h    | 1.96  |
|           | 出口水温度, ℃     | 120   |
|           | 换热量, kW      | 228   |

表7 对比分析

| 工况                                    | 保证天然气发动机额定工况天然气消耗量不变的前提下                               |               | 保证天然气驱动压缩机日供气量不变的前提下   |               |
|---------------------------------------|--|---------------|--|---------------|
|                                       | 燃气驱动压缩系统   | 进气冷却的燃气驱动压缩系统 | 燃气驱动压缩系统   | 进气冷却的燃气驱动压缩系统 |
| 天然气发动机额定工况下天然气消耗量, Nm <sup>3</sup> /d | 11196  | 11196         | 11196  | 10650         |
| 所利用烟气流量, kg/h                         | 未利用  | 8150          | 未利用  | 8150          |
| 所利用余热量, kW                            | 未利用  | 1084          | 未利用  | 1084          |
| 煤层气天然气入口温度, ℃                         | 30   | 10            | 30   | 10            |
| 日产天然气气量, Nm <sup>3</sup> /d           | 2364091  | 2490334       | 2364091  | 2364091       |
| 系统能源利用效率                              | 54.21%   | 78.67%        | 54.21%   | 74.58%        |
| 评价指标                                  | 日供气量（煤层气）增加5.34%；<br>系统能源利用效率增加24.46%；<br>提高压缩机寿命与可靠性。 |               | 天然气发动机额定工况日天然气消耗量降低4.88%；<br>系统能源利用效率增加20.37%；<br>提高压缩机寿命与可靠性。 |               |



外,还能够是天然气压缩机煤层气入口温度恒定在10℃,该温度在压缩机高效高稳定区域,对压缩机组的寿命及可靠性也有极大的提高。

## 2.5 投资回报分析

初始投资费用分析:  $C_{total} = \sum_t(C_t N_t)$

其中上式 $C_t$ 和 $N_t$ 分别表示设备 $t$ 的单位功率价格和额定功率,主要设备包括:溴化锂-水吸收式制冷机、余热锅炉、回热器、烟气-水换热器、蒸汽-水换热器。根据调研设备的单位价格表7中所列。

收益:  $B_{total} = \sum_i(Q_{c,i} B_i) + \sum_j(Q_{h,j} B_j)$

其中 $Q_{c,i}$ 表示全年回收的冷量,  $B_i$ 表示单位冷量的价格;  $Q_{h,j}$ 表示全年回收热量,  $B_j$ 表示单位热量的价格。

投资的静态回收期为:  $N_s = C_{total}/B_{total}$

经计算可得,如表8和表9所示,方案的静态回收期为3.48年。

表8 投资分析表

| 设备          | 单位价格, 元/kW | 功率, kW | 总投资, 元  |
|-------------|------------|--------|---------|
| 溴化锂-水吸收式制冷机 | 1500       | 900    | 1350000 |
| 余热锅炉        | 900        | 1360   | 1224000 |
| 回热器         | 600        | 217    | 130200  |
| 烟气-水换热器     | 500        | 250    | 125000  |
| 蒸汽-水换热器     | 500        | 1100   | 550000  |
| 合计          | 337.92万元   |        |         |

表9 收益分析表

| 收益          |          | 合值, 元       |
|-------------|----------|-------------|
| 冷量, kJ      | 单价, 元/GJ | 冷量, kJ      |
| 16329600000 | 500      | 16329600000 |
| 热量, kJ      | 单价, 元/GJ | 热量, kJ      |
| 17405280000 | 87.28    | 17405280000 |
| 总收益         |          | 96.83万元     |

## 3 结论

本文提出一种进气冷却的天然气压缩机余热综合利用系统,以解决天然气压缩机烟气余热利用率低的问题,通过系统热力性及经济性分

析,给出所提出系统的特性,主要结论如下:

1) 所提出的进气冷却的天然气压缩机余热综合利用系统通过余热锅炉、蒸汽型溴化锂冷水机组、天然气-水换热器等装置将进入燃气压缩机的煤层气进气冷却到10℃,增加燃气压缩机的日供煤层气量,提高燃气驱动压缩机系统的能源利用效率;并在日供煤层气量一定的前提下,降低燃气压缩机耗功,减少燃料消耗量,提高系统经济性与效率,同时增加压缩机组可靠性与寿命。

2) 在蒸汽型溴化锂机组运行工况下,采用余热综合利用系统的天然气压缩机系统能源利用效率提高了24%,在供热装置运行工况下,采用余热综合利用系统的天然气压缩机系统能源利用效率提高了37%;该系统用在煤层气开发集气站,其静态回收期约为3.5年,具有良好的应用前景。

3) 回收的余热可以用于煤层气采出水水处理系统(低温多效蒸发浓缩结晶系统的蒸发器),提高了系统的效率和经济性。

## 参考文献

- [1] 李君. 电站锅炉深度余热利用系统设备选型以及经济性分析[D]. 华北电力大学, 2014. LI Jun. Equipment selection and economic analysis of waste heat depth utilization system in utility boiler[D]. North China Electric Power University, 2014.
- [2] 罗海华. 空气压缩机冷却循环水余热利用系统设计[J]. 华电技术, 2013, 35(6): 22-31. LUO Hai-hua. Design of waste heat utilizing system for cooling circulating water of air compressors[J]. Huadian Technology, 2013, 35(6): 22-31.
- [3] 中华人民共和国工业和信息化部. 工业节能十二五规划[M]. 2012.
- [4] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 能源发展“十三五”规划[M]. 2016.
- [5] 连红奎, 李艳, 束光阳子, 等. 我国工业余热回收利用技术综述[J]. 节能技术, 2011. (2): 123-128+133. LIAN Hong-kui, LI Yan, SHU Guang-yangzi, et al. An overview of domestic technologies for waste heat utilization[J]. Energy Conservation Technology, 2011. (2): 123-128+133.
- [6] 陈宜, 韩巍, 孙流莉, 等. 余热驱动的吸收压缩复合式低温制冷系统研究[J]. 工程热物理学报. 2017, 38(1): 18-26.

CHEN Yi, HAN Wei, SUN Liu-li, et al. Analysis of an absorption - compression low - temperature refrigeration system driven by waste heat[J]. Journal of engineering thermophysics, 2017, 38(1): 18-26.

[7] G. Demirkaya, R.V.Padilla, D.Y.Goswami. A review of combined power and cooling cycles[J]. Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment, 2013, 2(5): 534-547.

[8] 陈宜, 韩巍, 孙流莉. 混合工质功冷联产循环与吸收式制冷循环的热力性能分析与比较[J]. 热能动力工程, 2016, (11):1-6.

CHEN Yi, HAN Wei, SUN Liu-li. Analysis of the thermal performance of a hybrid working medium power and cooling cogeneration cycle and an absorption type refrigeration cycle and their comparison[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2016, (11):1-6.

[9] 魏云峰, 王冲, 何建萍, 等. 钻井队柴油机余热回收利用技术[J]. 石油工业技术监督, 2010, 26(10): 42-44.

WEI Yun-Feng, WANG Chong, HE Jian-ping, et al. Drilling team diesel engine waste heat recovery and utilization technology[J], Technology Supervision in Petroleum Industry, 2010, 26(10): 42-44.

[10] 樊轩, 王成, 刘怡雯. 天然气发电机余热回收利用[J]. 资源节约与环保, 2011, 4(3):59-62.

FAN Xuan, WANG Cheng, LIU Yi-wen. Natural gas generator waste heat recovery[J], Resource Conservation and Environmental Protection, 2011, 4(3):59-62.

[11] 戚涛, 张志勇. 天然气发电机烟气余热利用技术在油气田场站的应用[J]. 节能, 2006, 291(10):52-54.

QI Tao, ZHANG Zhi-yong. Application of natural gas generator flue gas waste heat utilization technology in oil and gas field station[J]. Energy Conservation, 2006, 291(10):52-54.

[12] 于海涛, 戚涛, 罗晓娥. 某油田天然气处理站余热利用工程实例[J]. 节能, 2010, 334(5):47-48.

YU Hai-tao, QI Wei, LUO Xiao-e. An example of waste heat utilization project of an oilfield natural gas processing station[J]. Energy Conservation, 2006,

291(10):52-54.

[13] 张梁, 梁政, 邓雄, 等. 增压站天然气发动机余热利用方案研究[J]. 石油矿场机械, 2009, 38(7):27-30.

ZHANG Liang, LIANG Zheng, DENG Xiong, et al. Research on the use of waste heat at the natural gas booster station[J]. Oil Field Equipment, 2009, 38(7):27-30.

[14] 赵淑珍, 李唯, 李尹建, 等. 燃气驱动压缩机余热利用系统及方法: 201310280054.3[P]. 2013-07-05.

[15] 金红光, 林汝谋. 能的综合梯级利用与燃气轮机总能系统[M]. 北京: 科学出版社. 2008.

[16] 中华人民共和国行业标准. 城镇供热管网设计规范[S]. CJJ34-2010, 2010.

# EPC项目报价方法及影响因素研究

■ 钱海静 王玉平 [造价]

**关键词：** 为解决EPC项目资料少、范围大而导致的投标报价难的困境，保证总承包企业在EPC项目中能够获得合理的利润，本文通过分析EPC总承包工程的投标报价难点以及投标报价内容，识别EPC总承包项目投标报价的影响因素并做具体阐述，最后通过实际案例验证该影响因素对EPC项目投标报价的影响，从而为EPC总承包企业在投标中的投标报价起借鉴作用，从而促进我国EPC总承包模式的健康发展。

**摘要：** EPC；投标报价

## 1 绪论

随着EPC工程总承包模式的大力推广与发展，对于EPC工程总承包商而言，要想提高EPC工程总承包项目的中标率，获取合理的利润，认真研究EPC工程总承包投标报价方法及其相关影响因素就显得尤为必要。

以往采用传统的平行承发包模式时，设计、采购及施工相互脱节，承包商在投标报价时的范围往往只考虑整个项目的某一阶段，投标报价影响因素范围较小，投标风险较低。而采用EPC工程总承

包模式时，承包商需要将设计、采购、施工阶段集成统一考虑，承包范围大，涉及金额大，投标风险高，因而传统的平行承发包模式投标报价方法及影响因素分析，已无法满足EPC总承包模式投标报价的要求。

本文从EPC工程总承包方角度出发，通过调查研究法，文献分析法，及实例论证法，结合工程市场竞争情况，通过分析EPC工程总承包的投标报价难点以及投标报价内容，识别出EPC总承包项目投标报价的十大影响因素，并结合工程实际案例验证了该影响因素对EPC项目投标报价的影响，从而为EPC工程总承包方在类似项目的投标报价时起借鉴作用。

作者简介：钱海静，女，高级工程师，1996年毕业于沈阳农业大学农业建筑专业，现就职于航空工业规划电子工程设计研究院。

## 2 EPC总承包投标报价概述

### 2.1 EPC总承包模式的特性

EPC模式下总承包商的服务范畴涵盖设计、采购和施工3个阶段,在此模式下,业主不直接参与对工程的直接控制,转变为过程的监督,赋予总承包商对该项目的实际控制权,有利于总承包商充分发挥自身的专业优势,对工程的质量、成本和工期进行优化和控制,从而显示出相较于传统模式的优越性<sup>[4]</sup>。

工程总承包能够引导建设单位强化项目前期工作,提高项目可行性和初步设计深度,降低投资风险;减少建设单位协调设计、施工工作,降低管理协调成本;通过总价合同和风险分担,控制投资总额。

根据《住房城乡建设部关于进一步推进工程总承包发展的若干意见》(建市[2016]93号)文规定,工程总承包项目可以采用总价合同或者成本加酬金合同的模式,合同价格应当在充分竞争的基础上合理确定。两种合同模式下,承包商的合同风险有着根本的区别。总价合同模式要求除合同约定的可以调整的因素外,承包范围内的工程费用、工程建设其他费用、风险费用均由承包商包死,合同价格不做调整。由于总承包商是在业主需求、实施条件、方案等不明确或未完全确定的情况下进行报价,且需要考虑市场风险,因此,对于承包商来说,总价合同模式意味着较大的风险,当然,控制得好也会意味着较高的利润。在成本加酬金合同模式中,承包商仅根据合同约定对酬金进行报价,酬金报价可以采用固定数字、固定比例或根据项目控制目标的实现情况采用固定数字/比例加奖励酬金的模式。采用成本加酬金合同模式,承包商的风险相对较小,往往仅限于由于承包管理失误导致的酬金的核减,而对于风险较大的工程费用则基本不承担风险。在我国目前的总承包市场条件下,项目业主一般把EPC模式视同为总价合同模式。

本文的讨论是基于在总价合同模式下,承包商投标报价需要重点考虑的因素,对涉及报价的工程费用、其他费用进行细致的分析,以便承包商获得合理的承包利润。

### 2.2 不同阶段EPC总承包投标报价的优缺点分析

EPC总承包项目的招标按照招标阶段的不同可以分为以下3种:方案阶段招标、初步设计阶段招标、施工图阶段的招标。

方案阶段的招标对投标报价存在以下难度,由于设计深度不够,该阶段造价人员只能根据以往相似项目的指标及本项目的特点,粗略估算项目造价,相对实施阶段的造价精度较差,投标报价很难确定。

施工图阶段的招标存在以下问题,由于施工图已经确定,造价人员能精确计算工程量,准确计算造价,造价精度相对较高,但投标人在实施阶段的设计可优化空间很小,设计与总承包实际已经脱节,与真正意义的EPC设计、采购、施工相违背。

目前常用的EPC招标为初步设计阶段。此阶段初步设计图纸相对清晰,工程量可以按图计算,图纸没有反映的零星项目可以通过零星工程费解决,材料价格参照当地的信息价及指定品牌的市场询价,造价计算结果与施工实施阶段比较吻合,投标价格相对比较准确。设计优化空间明显,限额设计能够较好掌握。

## 3 EPC总承包报价的内容构成及方法

### 3.1 总承包报价内容构成

总承包报价内容根据招标文件约定的招标范围、内容进行确定,一般包括工程费用、工程勘察设计费、总承包管理及运营服务费等构成。

工程费用按照范围划分,一般包括室内工程、室外工程费用,是否包含厂外市政工程费用,根据招标文件及不同项目的情况确定,如果包含要落实市政工程的方案及相关费用。工程费用按照费用类别又可以划分为建筑工程费、设备购置费、安装工程费(又称为设备安装工程费),建筑设备购置及其安装费一般应计入建筑工程费,设备购置费一般是指除建筑设备外的工艺设备购置费,安装工程费是指工艺设备安装费,工艺设备安装的配套管线、设备基础平台、设备基础应计入安装工程费。

工程勘察设计费包括工程勘察费和工程设计费。工程勘察费是指工程总承包企业根据建设单位要求,自行或委托勘察人收集已有资料、现场踏勘、制订勘察纲要,进行测绘、勘探、取样、试验、测试、检测、监测等勘察作业,以及编制工程勘察文件和岩土工程设计文件等服务的费用。工程设计费是指工程总承包企业根据建设单位要求,自行或委托设计人提供编制建设项目初步设计文件、施工图设计文件、非标准设备设计文件、施工图预算文件、竣工图文件等服务的费用。工程设计费根

据不同的设计阶段及工程特点又可分为初步设计费、施工图设计费、技术设计费和其他设计费等。

总承包管理费是指工程总承包企业组织勘察设计、设备购置、建筑安装施工及经营管理所需的费用以及对工程总承包管理应获的利润，内容包括总承包管理人员的工资、办公费、差旅交通费、工具用具使用费、保险费、税金、其他费用及利润等。

试运行服务费是指工程总承包企业派驻具有相应资格和经验的指导人员，并提供所需要的其他临时辅助设备、设施、工具和器具及相应的准备工作所发生的费用。试运行服务费根据招标范围及项目特点需要确定。

### 3.2 EPC总承包报价方法

EPC总承包报价应根据不同的费用类别、内容采用不同的报价方法。

#### 3.2.1 工程费用

工程费用报价须根据其对应的方案进行报价。工程费用报价方法可采用详细估算法、指标估算法、市场询价法进行报价。投标时间较长、项目方案详细的，应尽量采用详细估算法进行报价，主要项目按照详细的工程量结合项目所在地定额、市场价进行计算报价，次要或零星项目采用占主要项目的一定比例进行估算。投标时间不允许、方案相对较粗，无法采用详细估算法进行估算的，可采用类似项目指标法进行估算，对类似项目需要进行时间、地区、标准等因素的调整。对于特定专业或系统，市场价比较明确的，应采用市场询价法进行报价。对工程费用中的设备购置费一般按照设备清单，采用市场询价法进行估算报价。设备安装费一般按照指标估算法进行报价，建筑工程费中包括相应的工艺设备基础的，设备安装费中应进行扣除。

涉及部分市政工程如上水、下水、供电工程等报价的，鉴于我国目前市政工程的地方垄断性及投标阶段的不确定性，在技术方案确定前，应与地方市政公司保持密切的沟通，或直接由地方市政公司进行报价。

工程费用中除包括静态的费用报价外，尚需根据合同条款对由于市场波动引起的动态风险费用进行估算。风险费用一般需要首先估算风险要素数量，如项目所需的人工、材料、设备、施工机械等用量，结合其市场变动幅度，估算相应的风险费用。

#### 3.2.2 工程勘察设计费用

工程勘察设计费用可参照国家出台的指导性文

件并结合市场情况进行报价。报价范围中包括勘察设计图纸审查的，其费用亦应参照市场报价情况进行估算报价。

#### 3.2.3 总承包管理费

总承包管理费应结合项目规模、内容、范围、质量要求、工期要求等主要合同要素综合确定，包括现场管理费用、总部管理费用、利润、税金。

现场管理费用又可进一步细分为现场项目部固定资产费用、人员费用、办公费用、其他费用。固定资产费用可以根据拟建项目部的临时办公、生活设施、交通工具进行估算，见表1项目固定资产费用估算明细表；人员费用根据项目部拟派人员类别及服务时间，采用包含工资、现场津贴、五险一金、企业年金的全费用人工单价估算方法。办公费用可以根据项目复杂程度及人员配置情况，采用人员单位办公费用估算，或采用人员费用系数估算；其他费用根据项目及企业情况进行估算。

表1 项目固定资产费用估算明细表

| 序号 | 固定资产费用                                    | 新建费用 | 租赁费用 | 合计 |
|----|---|------|------|----|
| 1  | 办公设施（含办公用品、桌椅电脑、打印机、传真机、复印机、会议系统、现场视频监控等） |      |      |    |
| 2  | 生活设施                                      |      |      |    |
| 3  | 交通工具                                      |      |      |    |
| 4  | 其他  |      |      |    |
|    | 合计  |      |      |    |

总部管理费又称公司管理费用，可采用现场管理费系数法进行估算，即以现场管理费为基数，乘以固定的比例进行估算。其比例可取其他已完项目积累分析的总部管理费用占现场管理费用的比例，并结合项目的复杂程度及公司参与管理的内容，进行综合确定。

利润需要根据项目投标企业情况、投标项目情况、评分办法、投标策略等因素综合确定，一般可采用工程费用的一定比例计算。

税金根据总承包合同价格划分，结合国家增值税规定计算，目前增值税税率为10%或6%。工程费用中已经包含相应的增值税，此处税金仅指总承包管理费的税金。

### 3.2.4 试运行服务费

试运行服务费包括人员费用和设备设施费用两部分。人员费用可采用项目试运行期间的人员类别及时间,采用全成本人工费用计算。设备设施根据特定项目需要进行分类估算。除此之外,需要计算相应的税金。

## 4 EPC总承包报价的影响因素分析

EPC总承包项目投标报价,需要根据技术方案,结合报价范围,采用适当的方法进行报价。鉴于我国目前定额体系按照常规的施工组织与措施方案、工期、质量标准进行编制,诸多费用并未包括在定额单价内,因此,依据定额单价或依据定额计算的造价指标进行工程费用报价时,需要结合项目特定情况、合同要求,对其中的部分影响报价的因素进行调整,以便减少报价风险,合理报价。下面对与定额体系不一致的报价因素进行分析。

### (1) 工期对报价的影响

编制投标报价时,工期对报价的影响主要体现在:是否比国家或项目所在地工期定额有较大幅度的缩短,如有,需要增加赶工措施费,目前《江苏省各专业计价定额(2014版)》、2009年《北京市建设工程工期定额》及相关文件等均给出了赶工措施费的计算规则,其他地区若无专项规定则可参照其他地区计算<sup>[5]</sup>。

### (2) 质量要求对报价的影响

编制投标报价时,质量要求对报价的影响主要体现在:除质量合格的基本要求外,业主要求的其他质量等级或奖项均可能增加措施费,如在北京市,如果项目要求最终获得鲁班奖,则该项目的施工验收标准将会提高,允许偏差的幅度比要求合格的幅度更小,其施工精度提高,施工难度增加,相应措施要到位,故需要增加相应费用。

### (3) 变更洽商对报价的影响

项目建设过程中,不可避免地会发生设计变更、工程洽商,应结合项目类型及通常实施情况下的变更洽商情况,对发生的变更洽商进行估算报价。设计变更的产生一方面是由于设计者对招标文件中的业主需求理解不到位,导致其设计方案不符合业主要求,需要实施时进行设计变更;另外设计的失误也会导致实施时设计变更的出现。工程洽商可能是由于建设过程中的拆改,或是由于出现与预计不一致的地质条件情况,需要的对工程的变

化。变更洽商估算报价一般采用积累的类似项目中非业主方要求的设计变更洽商占工程费用的比例进行估算。

### (4) 安全文明施工要求对报价的影响

编制投标报价时,安全文明施工要求对报价的影响主要体现在:安全文明施工费对投标报价的影响应当按照当地的具体计费标准进行报价,如江苏省的安全文明施工费用文件规定,若要施工现场达到省级文明工地,则要在市级文明工地的基础上增加相应百分比的费用,相应增加安全文明措施要求;如贵阳地区建设局收取的视频远程监控费用等。

### (5) 设备材料品牌对报价的影响

编制投标报价时,设备材料品牌对报价的影响主要体现在:询价时应注意设计参数准确性,如遇业主提供品牌厂家已不生产该产品时,需联合设计者提出质疑,请招标人更换品牌;询价时落实报价包含的内容,如吊车询价,是否包含吊车轨道,滑触线等,是否包含安装费等;招标人指定的品牌均应询价,综合比选后计入报价,如遇品牌差异较大时需与招标人沟通核实。

### (6) 场地情况对报价的影响

编制投标报价时,场地情况对报价的影响因素主要体现在:现场土方的平衡情况,是亏土情况还是余土情况,是需要外运还是需要回购,应综合考虑整个厂区平衡;是否有地下障碍物,是原有建筑物拆除后新建还是在新地块新建,是否为软弱地基、暗浜、流沙、溶洞等;桩基工程的成孔方式及土石比等。由于EPC项目一般较为复杂,在地质条件复杂的情况下,将有可能给项目带来不容小觑的风险。

### (7) 市场材料价格的变动情况对报价的影响

编制投标报价时,市场材料价格的变动情况对报价的影响因素主要体现在:根据近期市场行情,判断市场是处于稳定期还是波动期,是上涨还是下浮,据以做出正确判断<sup>[6]</sup>。

### (8) 特殊工程措施费对报价的影响

编制投标报价时,特殊工程措施费对报价的影响因素主要体现在:高大支模模板支撑及评审(无锡某厂房,单层30m高)、特殊大型施工机械(上海某技术综合楼屋顶400t装饰钢价的吊装)、特殊施工方案(某项目的屋面板采用直立锁边自防水)、降水护坡(上海某厂,由于地质情况特殊,挖深1m既要做钢板桩);由于施工场地狭小,距

离原有建筑物距离不够，深基坑支护采用护坡桩加喷锚，钢支撑等特殊支护措施方能满足施工要求的（北京某项目）；由于施工场地狭小，人员的住宿、办公、加工厂等均在厂外，增加额外的交通及租赁费用，材料不能一次入场，增加二次搬运的费用等等。

#### (9) 企业市场因素对报价的影响

编制投标报价时，企业市场因素对报价的影响因素主要体现在：目前，全国各地的定额水平及招投标竞争激烈程度不尽相同，投标报价采用一种模式已无法满足市场竞争的需求。例如某项目投标，投标报价采用了多维度对工程成本进行测算，首先根据传统做法，预算人员根据初步设计图纸计算工程量，套用当地预算定额，采用当地信息价及市场询价，计算出工程费用约7亿元；根据调研当地的招投标竞争情况，测算下浮比例，测算中标价约为5.9亿元；其次根据以往项目的实施经验，采用概算指标法计算项目费用，测算出该项目基本成本，再根据本项目工艺需求与以往项目的差异，增加差异费用，测算出工程成本费用约6亿元。投标前，经讨论决策，工程费用报价为5.9亿元，顺利中标。

#### (10) 其他费用对报价的影响

编制投标报价时，还应考虑其他对报价的影

响因素：综合管线支架等特殊设计方案的费用，专项设计费如精装修设计费、幕墙的深化设计费、钢结构深化设计费等，幕墙四性试验费，桩基的检测费，电梯检测费，压力管道及容器的检测费，竣工图编制费，有的项目还包括场地平整及临时设施费，招标代理服务费，建设工程交易综合服务费、建设消防设施检测费、建筑设施电气消防检测费、防雷设施检测费、（规划验线费用）工程保险费等其他费用。

## 5 案例分析

### 5.1 场地情况对EPC投标报价的影响实例

例如上海某项目，地下1层连体建筑，地上两栋8层建筑，基础形式为独立桩承台+防水板，桩基采用预应力高强混凝土空心方桩（HFCKZ）。设置轻型井点降水。桩基施工完成后，进行基坑土方开挖，基坑挖深6.6m，采用两级放坡开挖，搅拌桩作止水帷幕。施工过程中出现两次滑坡及大面积断桩，如图1、图2所示。清理滑坡及采用锚杆静压桩加固桩基导致费用增加约830万元（原桩基预算为850万元）。

厂区施工道路紧贴基坑。滑坡位于101号与102号楼相连处，施工段分界恰好位于暗浜范围。

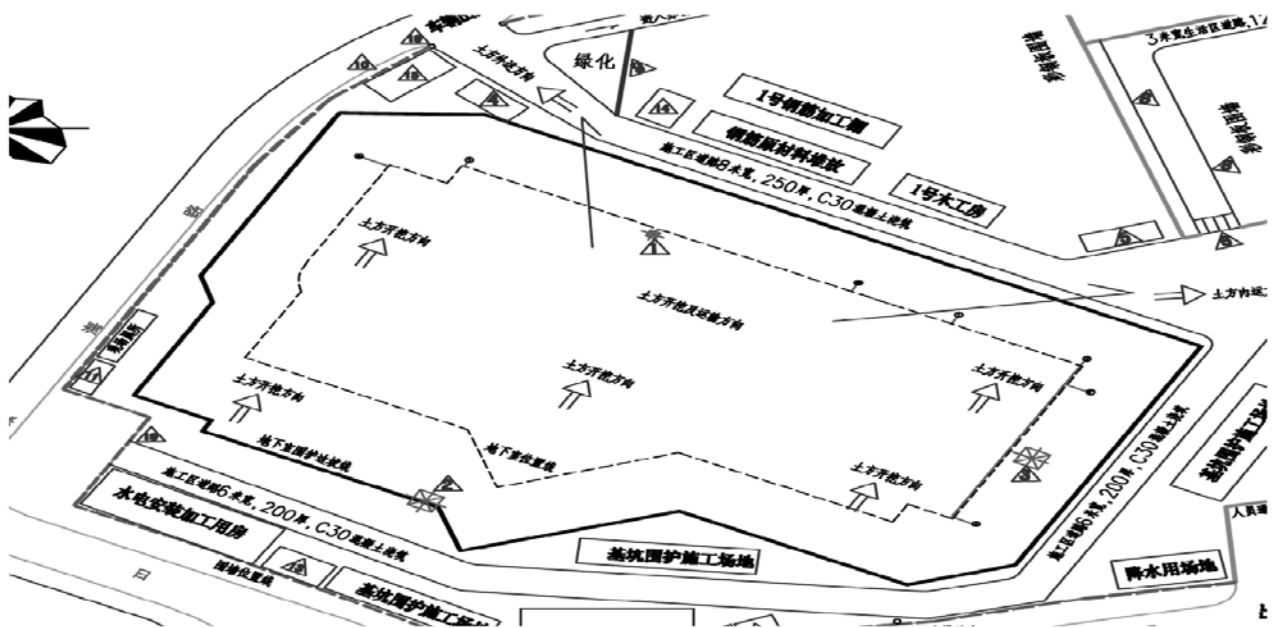


图1 场地布置及滑坡示意图



图2 场地断桩情况示意图

### 5.2 设计变更对EPC投标报价的影响实例

例如某项目在EPC投标阶段,设计人员没有提供吊顶内检修马道图纸及条件,造价人员也没有计算该笔费用,但中标后施工图设计阶段,设计者根据业主需求增加了检修马道,以方便后期检修使用,但该笔费用业主不予支付此项费用增加约23万元,全部由总承包商承担,由此减少了总承包商本就薄的利润。

## 6 结论

针对EPC项目投标报价难的问题,本文通过分析EPC项目投标报价内容,阐述工程费用、勘察设计费用、总承包管理费用的报价方法,结合报价与定额体系存在差异的情况,重点对影响报价的工期、质量、安全文明、设备材料品牌、场地情况、材料价格波动、特殊工程措施费、企业竞争等因素进行了分析,以便在工程实践中EPC总承包商合理的报价,规避风险,取得合理的利润。

### 参考文献

[1] 张水波, 陈勇强. 国际工程总承包EPC交钥匙

合同与管理[M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.

[2] 成虎, 韩豫. 工程全寿命期管理体系构建[J]. 科技进步与对策, 2012, 29(18):17-20.

[3] 杜开明, 钱婷婷. EPC项目BIM技术应用实践[J]. 重庆建筑, 2016, 15(7):30-32.

[4] 王双军. 结合BIM技术的EPC工程进度管理模式研究[J]. 住宅产业, 2016(7):46-50.

[5] 常军. 投标报价书中项目(EPC)进度计划的编制[J]. 工程建设与设计, 2015(1):134-138.

[6] 廉素瑞, 魏艳, 王士强. EPC总承包投标报价浅析[J]. 价值工程, 2012, 31(31):74-75.



# 现代化工业厂房弱电系统设计要点分析

■ 吴冠男 [电气]

**关键词:** 弱电系统能否正常有效的运行,直接关系到现代化工业厂房的生产效率和安全运转。本文从弱电系统的设计角度出发,总结了通用情况下火灾自动报警系统、电话和信息网络系统以及安全防范系统等要点,并结合工程实际给出了以上系统设计中设备的选择方式。

**摘要:** 工业厂房;弱电系统;设计要点

## 1 引言

随着经济发展的突飞猛进,工业生产领域的工程建设也随之增多,为了现代化生产日新月异的发展需求,设计人员需要根据建筑特点及其生产工艺情况设计合理稳定的弱电系统。弱电系统应结合现代化工业厂房内新工艺与新材料的使用情况,并针对本项目地域及定位特殊性,既需做到满足用户需求和留有冗余,又需在此基础上做到最大程度的节约为业主节省投资。下文分别从火灾自动报警系统、电话和信息网络系统以及安全防范系统等3个主要系统的设计进行分析。

## 2 火灾自动报警及消防控制系统

现代化工业厂房存在多种火灾危险性生产区域混杂的情况,厂房环境相对更复杂,因而厂房的火灾自动报警系统的设计更显得尤为重要。设计时可按照厂房不同功能区域的火灾自动报警及消防控制系统设计不同环境(如烟雾、光线、温度、红外线等)来设置不同类型的火灾探测器。

根据以往厂房设计的经验教训,由于设计人

员在设计过程中对于环境因素、设备因素、线路因素及其他因素的考虑疏忽,使得火灾信号的漏报、误报或错报的情况也时有发生。下图总结了在火灾自动报警系统设计中影响设计质量的几大因素,如图1所示。

### 2.1 探测器选择

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

### 2.2 火灾自动报警系统布线及敷设要求

根据相关规范及以往厂房的设计经验,火灾自动报警系统的供电线路、消防联动控制线路采用耐火铜芯电线电缆,报警总线、消防应急广播和消防专用电话等传输线路采用B1级阻燃电线电缆。火警干线沿耐火线槽敷设,引至火警设备时套钢管埋顶板及埋墙敷设。明敷时钢管须涂防火涂料;暗敷时,管线敷设在非燃烧体的结构层内,保护层厚度不小于30mm。不同电压等级的线缆不应穿入同一根保护管内,当合用同一线

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

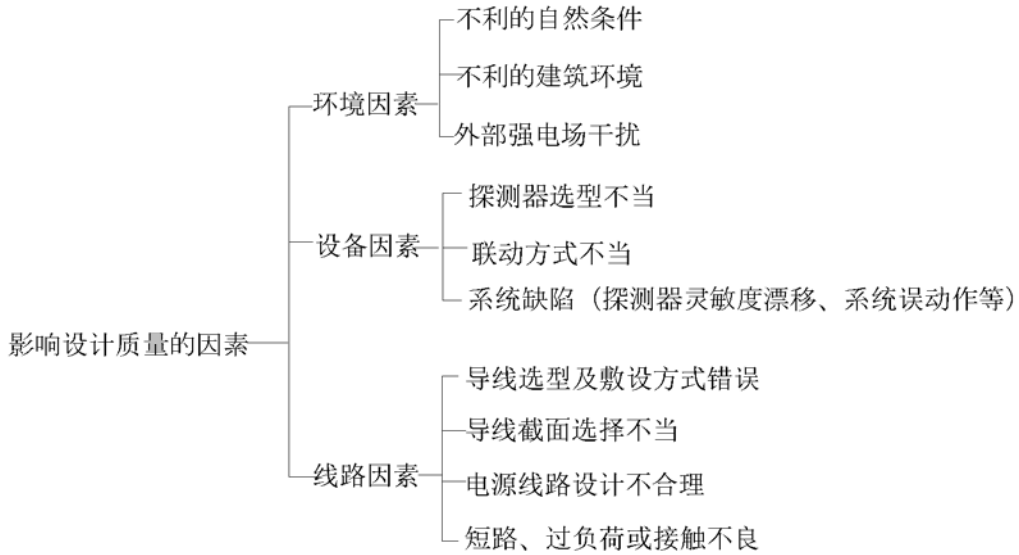


图1 影响火灾自动报警设计质量的因素

槽时，线槽内应有隔板分隔。采用穿管水平敷设时，除报警总线外，不同防火分区的线路不应穿入同一根管内。

火警明敷的管线及金属线槽外均需涂防火涂料，各种线路敷设完毕后，所有穿越楼板和墙的孔洞均需用防火堵料封堵严密；暗敷线槽需要30mm以上保护层。建筑内的电缆井、管道井应在每层楼板处采用不低于楼板耐火极限的不燃材料或防火封堵材料封堵。建筑内的电缆井、管道井与房间、走道等相连通的空隙应采用防火封堵材料封堵。穿越防爆房间的墙洞均用非燃性材料严密堵塞，防爆房间线路敷设需按防爆要求施工，配管明敷；所有隔爆设备均采用截面不小于4mm的绝缘铜线（套钢管敷设）可靠接地，接地电阻 $\leq 1\Omega$ 。

### 3 电话、信息网络系统

传统工业厂房多采用模拟电话形式，电话和信息网络系统两个系统分别独立。但随着科技的发展，已有大量现代化工业厂房采用了PON技术管理其网络，可根据工厂使用需求，电话、网络系统独立或合并使用。

#### 3.1 电话系统

电话系统应根据工程选址、当地通信运营商提供的资源和用户使用要求设置，宜采用电信局直配方式。当工程选址偏僻或用户有特殊要求时，可设置电话站，并应符合现行国家标准《用户电话交换系统工程设计规范》GB/T50622的有关规定。电话系统可分为直通电话、内线电话。

厂房内的车间电话插座应根据科研生产使用

表1 厂房内常用火灾探测器分类表

| 类型       | 说明   |
|----------|--|
| 感烟式火灾探测器 | 感烟式火灾探测器对警戒范围内火灾烟雾浓度的变化作出响应，是实现早期报警的主要手段，主要用于探测火灾初期和阴燃阶段的烟雾。其中点型感烟探测器适用于厂房内如普通办公用房、走廊、办公室、工作间、休息室、变电站及其他设备用房内的探测。线型感烟探测器适用于厂房生产大厅的整体探测。吸气型感烟探测器适用于厂房内有洁净要求的房间。 |
| 感温式火灾探测器 | 感烟式火灾探测器对警戒范围内的异常高温或（和）升温速率作出响应，报警灵敏度低，报警时间迟，可在多灰尘、潮湿等恶劣环境中使用。   |
| 感光式火灾探测器 | 感光式火灾探测器对警戒范围内火灾火焰光谱中的紫外线或红外线作出响应，又称为火焰探测器，适用于各类生产和储存易燃材料或其他需要快速响应的环境内，适用于厂房内如油料库的探测。  |
| 可燃气体探测器  | 可燃气体探测器对火灾早期阶段的可燃气体作出响应，当其保护范围内的空气中可燃气体含量、浓度超过一定值时，发出报警信号，适用于厂房内如喷漆间、乙炔汇流排间、化学药品库间及油料库的可燃气体探测。另外厂房内的氧气瓶间单独设置氧气浓度探测器。   |

要求设置不同功能电话插座,但需保证每间用房每种功能电话至少设置一个插座。调度电话系统可根据科研生产调度要求设置。车间和工段可设置对讲系统。

### 3.2 信息网络系统

计算机网络设计应满足科研生产信息化建设的要求。计算机网络宜分为内部局域网、互联网和专用网络。

生产必须的网络信息插座宜根据不同功能设置相应独立的网络信息插座,同样需保证每间用房至少设置一处满足使用功能的信息插座。

根据现代化厂房不同生产性质的网络点位使用需求,可选用不同的信息网络系统交换机,如表2所示。

## 4 安全防范系统

由于现代化工业厂房的设备和产品一般贵重性较高,安全防范系统可按照需求以相对于传统工业厂房更高的标注进行设计。安防系统一般包括视频监控系统、出入口控制系统、入侵报警系统及声音复核等系统。以上系统可共用安防设备网络进行传输。

在厂房的安全防范工程设计过程中,应遵循下列原则:

- 系统的防护等级与被保护对象的风险等级相适应;
- 技防、物防、人防相结合,探测、延迟、反应相协调;
- 满足防护的纵深性均衡性抗易损性要求;
- 满足系统的安全性、电磁兼容性要求;

e.满足系统的可靠性、维修性、与维护保障性要求;

f.满足系统的先进性、兼容性、可扩展性要求;

g.满足系统的经济性、实用性要求。

### 4.1 视频监控系统

1) 监控摄像机在厂房不同位置的选择

a. 厂房周界摄像机的选择可参考:沿厂房外围,每隔50m左右布置一台室外型200万像素低照度带红外补光灯的宽动态筒型摄像机,低倍数光学变焦,防护等级IP65。

b. 厂房出入口、走廊摄像机的选择可参考:在出入口、各层过道走廊、电梯楼梯口等布置室内型200万像素半球摄像机,其中过道和走廊每50m左右设置一台。这些地点照度变化较大,摄像机需具有低照度、带红外补光灯、宽动态性能;摄像机的监控位置固定,低倍数光学变焦即可;室内摄像机防水防尘等级IP54。若无吊顶可布置相同参数的筒型摄像机。

c. 厂房大厅摄像机的选择可参考:监控常需要监控整个厂房大厅等大空间,布置室内型360度全景摄像机,1600万像素,低照度,高倍数光学变焦,防护等级IP54。

d. 厂房某个房间内摄像机的选择可参考:生产监控也常需要监控单体建筑的某个房间。对于单独某个房间的监控,可布置室内型200万像素球型或筒型摄像机,低照度,高倍数光学变焦,防护等级IP54。

2) 监控摄像机的供电

摄像机电源可采用监控机房集中供给方式,亦可采用从弱电间半集中供电方式,比较可靠、

灵活、方便、便于扩充,与分散就地供电相比,可减少电源变压器的数量(每层的几台摄像机可合用一个电源)。

3) 监控摄像机的安装要点

a. 室外摄像机应带有防护罩,并应安装在被保护区的内侧;

b. 在重要场所使用多台摄像机时,应使一个摄像机在另一个摄

表2 厂房信息网络系统交换机参数选用

|       |      | 网络点位需求较小的厂房  | 网络点位需求较大的厂房                      |
|-------|------|--|----------------------------------|
| 信息点位数 |      | m  | m                                |
| 吞吐量   |      | $\geq m \times 0.1488\text{Mpps}$                    | $\geq m \times 1.488\text{Mpps}$ |
| 端口类型  | 上行端口 | 铜缆端口   | 光纤端口                             |
|       | 下行端口 | 部分点位距离 $\geq 90\text{m}$<br>所有点位距离 $\leq 90\text{m}$ | 光纤端口+双绞线端口<br>双绞线端口              |
| 端口速率  | 上行端口 | 100Mbps  | 1000Mbps                         |
|       | 下行端口 | 100Mbps  | 1000Mbps                         |
| 扩延方式  |      | 无  | 级联或堆叠                            |
| 空闲插槽  |      | 可设置  | 可设置                              |

像机的视野内；

c. 摄像机镜头应顺光源方向对准被摄目标，当只能逆光安装时，应选用具有逆光补偿的摄像机；

d. 电梯轿厢内的摄像机宜安装在电梯轿厢门的左或右侧上角；

e. 车库区域的摄像机宜覆盖所有的电动充电桩位；

f. 摄像机的安装高度，室内应距地面2.5m~5m，室外应距地面3.5m~10m。

4) 监控摄像机的存储容量计算：

a. 采用FULL D1 (720×576) 的图像分辨率格式进行存储，2048Kbit/s实时码率，保存30天。

单个摄像机一天存储量： $2048K \times 3600 \times 24 / 1024 / 1024 / 8 = 21.09375GB$ 。

b. 采用1080P (1920×1080) 的图像分辨率格式进行存储，4096Kbit/s实时码率，保存30天。

单个摄像机一天存储量： $4096K \times 3600 \times 24 / 1024 / 1024 / 8 = 42.1875GB$ 。

#### 4.2 出入口控制系统

对于现代化工业厂房内的重点部位，如财务室、资料室或档案等处，需要设立相应的出入口控制系统技防措施进行严密监管；另外厂房的主要出入口以及重要部门的办公室走廊，作为敏感区域附近主要通道，必须通过出入口控制严密监视人员活动行为，以保证区域范围内的绝对安全系数。

出入口识别装置应与执行机构联锁。控制主机应监视执行机构的状态(开启、关闭、闭锁、解锁)。执行机构控制应满足紧急撤离功能要求。出入口控制系统包括出入口控制器、读卡器、电磁锁及门磁开关、应急开关等设备。

#### 4.3 入侵报警系统

1) 现代化工业厂房入侵报警系统的设计应符合下列要求：

- a. 无漏报警，少误报警；
- b. 采用纵深防护；
- c. 具有防拆功能；
- d. 系统可以自检；
- e. 探测无盲区；
- f. 具有模式鉴别功能；
- g. 与实体防护系统有机结合；
- h. 适应当地的物理与环境条件。

2) 入侵报警探测器在厂房内不同位置的选择：

a. 厂房周界防护探测器的选择可参考：机电探测器、红外探测器、震动探测器、电容型探测器、光纤探测器、玻璃破碎探测器等类型；

b. 厂房内运动探测器的选择可参考：微波探测器、微波—红外双鉴器、双鉴器、视频移动探测器、超声探测器、声控探测器、被动红外探测器等类型；

c. 厂房内接近实物目标探测器的选择可参考：电容型探测器、压力探测器、光纤探测器等类型；

d. 厂房内出入口部位探测器的选择可参考：微波探测器、红外探测器、复合探测器、磁开关探测器等。

#### 4.4 声音复核系统

在厂房内重点部位以及门厅可设置拾音器，信号上传至安防监控中心，可与视频监控系统共用平台。

### 5 结束语

随着工业智能化和现代化的提高，厂房内也会涉及考勤、投影、电子会议等其他系统的设计，本文不再逐一列举，设计者可根据业主不同需求可按照产品进行相应系统功能的设计。本文主要从火灾自动报警系统、电话和信息网络系统、安全防范系统等方面具体分析了弱电系统的设计要点，综合考虑了各种影响因素，为现代化工业厂房的弱电系统统设计提供参考。

#### 参考文献

- [1] 龙小梅. 某工业生产厂房火灾自动报警系统设计浅析.[J] 智能建筑电气技术.
- [2] 刘建浩. 厂区安防系统的集成建设.[J] 电子技术与软件工程.
- [3] 程羽. 空中会所的火灾自动报警设计.[J] 现代建筑电气.

# 某燃油实验室消防设计

■ 赵洁 [给排水]

**关键词:** 本文介绍了某燃油实验室消防系统设置及各消防系统的设计参数如何选取, 根据实验室的布局、实验性质, 采取分区域设置泡沫-水雨淋系统的方式, 有效利用了现有设施, 节省了建设费用。

**摘要:** 燃油; 消防; 雨淋

## 1 概况

本燃油实验室位于某研究所内, 占地面积约 $2400\text{m}^2$ , 其中实验大厅建筑面积约为 $1600\text{m}^2$ , 其余为辅助用房面积。实验大厅火灾危险性为乙类, 辅助用房火灾危险性为戊类。本建筑设两个防火分区, 实验大厅为一个防火分区, 辅助用房为一个防火分区。实验大厅地上1层, 高度 $13\text{m}$ ; 辅助用房地上2层, 每层高 $4.5\text{m}$ 。

## 2 系统设置

本建筑整体为乙类多层工业建筑, 根据《建筑设计防火规范》GB50016-2014规定, 应设置室内外消火栓系统及建筑灭火器。考虑到实验大厅内实验介质为乙类燃油, 实验时有可能发生燃

油泄漏的可能, 根据《泡沫灭火系统设计规范》GB50151-2010, 在实验大厅内增设泡沫枪灭火系统(即轻便式泡沫灭火装置)及泡沫-水雨淋灭火系统。

## 3 水源

本建筑所在研究所现有一座消防泵房及消防水池, 供给所区各建筑室内消火栓及自喷系统用水。消防泵房内消火栓供水泵组供水能力为 $Q=20\text{L/s}$ ,  $H=0.60\text{MPa}$ , 自喷供水泵组供水能力为 $Q=90\text{L/s}$ ,  $H=0.70\text{MPa}$ ; 消防水池有效容积为 $700\text{m}^3$ 。研究所内各建筑室外消火栓用水由市政供水管网供给, 市政供水管网引入管 $\text{DN}300$ , 研究所内生活和室外消防合用供水管网管径为 $\text{DN}200\sim\text{DN}300$ 。

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

## 4 用水量计算

消火栓系统：根据《建筑设计防火规范》，本建筑体积约为 $28000\text{m}^3$ ，室外消火栓供水流量为 $30\text{L/s}$ ，室内消火栓供水流量为 $10\text{L/s}$ ，火灾延续时间 $3\text{h}$ ，室外消火栓总用水量为 $324\text{m}^3$ ，室内消火栓总用水量为 $108\text{m}^3$ 。

泡沫枪系统：根据《泡沫灭火系统设计规范》，实验大厅内的泡沫枪同时使用两支，每支泡沫枪的泡沫混合液流量为 $240\text{L/min}$ （即 $4\text{L/s}$ ），总供水流量为 $8\text{L/s}$ ，供给时间 $20\text{min}$ ，总用水量约为 $9.6\text{m}^3$ 。

泡沫—水雨淋系统：本系统采用水成膜泡沫液（3%），泡沫混合液供给强度 $8\text{L/min}\cdot\text{m}^2$ ，泡沫混合液连续供给时间为 $10\text{min}$ ，泡沫混合液与水的连续供给时间之和为 $60\text{min}$ ，即本系统工作时，先喷放 $10\text{min}$ 泡沫混合液，再喷放 $50\text{min}$ 水。

根据规范，本系统的作用面积为保护场所内的水平面积。本建筑实验大厅建筑面积约为 $1600\text{m}^2$ ，整个大厅都有燃油泄漏发生火灾的危险，所以，本系统的作用面积应按 $1600\text{m}^2$ 设计。如按此作用面积计算，本系统泡沫混合液流量约为 $214\text{L/s}$ （未计算雨淋系统喷放不均匀性），供水流量约为 $207\text{L/s}$ ，消防总用水量约为 $745.2\text{m}^3$ 。

## 5 系统比选

根据本建筑各消防系统用水需求，所区现有消防供水设施仅能满足室内外消火栓及泡沫枪灭火系统供水（泡沫枪系统由消火栓供水泵供水），无法满足泡沫—水雨淋系统用水要求。

经过与建设单位深入沟通，本建筑实验大厅内分为3个并排的区域，面积分别为 $500\text{m}^2$ 、 $550\text{m}^2$ 和 $550\text{m}^2$ 。这3个区域的实验相互关联，但不同时工作；并且不工作的区域，燃油会泄空，不会存在实验区域。所以，如果采取措施保证3个区域的燃油不能跨区流淌，可认为这3个区域的火灾不会同时发生，只需分别设置灭火系统即可。

根据以上分析，泡沫—水雨淋系统可分为3个独立系统，最大的一个系统作用面积为 $550\text{m}^2$ ，泡沫混合液流量约为 $73.3\text{L/s}$ ，供水流量约为 $71.1\text{L/s}$ ，消防总用水量约为 $256\text{m}^3$ 。这样，研究所现有消防系统就能够满足本建筑各消防系统用

水要求。

## 6 措施

为有效利用现有设施，节省建设费用，需采取措施保证3个实验区燃油不跨区流淌。本建筑在每个实验区的实验台周围设置隔油围堰，一旦燃油泄漏，围堰会将燃油阻隔在实验台周围，不会四处流淌。为加强防护，本建筑在每个实验台的围堰外，设置隔油沟，万一发生燃油溢流出围堰，隔油沟会将燃油排至室外废油池，保证室内安全。

## 7 结论

建筑防火安全是每个项目设计时必须放在首位的事情，但不意味着需要重复建设和浪费现有资源，设计者根据实际情况分析火灾发生原因，针对性的采取有效防火、灭火措施，既能保证建筑防火安全，又能节省建设费用。

# 城市综合管廊污水入廊设计研究

■ 陆新生 贾宇辉 [给排水]

**关键词:** 通过对污水管入廊技术难点进行全面分析, 阐述污水管纳入综合管廊的前提条件, 详述污水管入廊需解决的重点问题, 结合贵州某市综合管廊一期工程实例, 从管廊的断面布置、污水出舱井、交叉节点设计、污水管材选择、通风及监控设施设置等方面提出技术解决方案, 为污水管纳入综合管廊提供决策依据和设计参考。

**摘要:** 综合管廊; 污水管道; 交叉节点

## 0 前言

综合管廊是建于城市地下用于容纳两类及以上城市工程管线的构筑物及附属设施。综合管廊作为城市管线的重要载体, 入廊管线的选择对于管廊建设成本及效益有着重要意义, 对综合管廊的规划建设影响巨大, 直接关系到综合管廊建设的区域、断面形式尺寸和管廊造价。目前, 我国所建成的地下管廊中, 给水、中水、电力、通信、热力管、燃气等管线入廊均有较多工程实例, 但纳入污水管线的管廊屈指可数。

由于污水管线多为重力流, 纳入综合管廊将对管廊坡度有一定要求, 且按规范规定需每隔一段距离设置一处检查井, 对管廊的结构形式将有一定影响, 本文将结合工程实例, 分析污水管线入廊存在

的难点, 阐述污水管纳入综合管廊的前提条件, 详述污水管入廊需解决的重点问题, 并研究解决这些问题技术方案。

## 1 污水管入廊技术难点

污水管道纳入综合管廊较传统直埋方式有明显的优势, 但是对于入廊污水管道设计、建造、运营、管理提出了全新的技术要求。

污水中的硫酸根、氯根离子对混凝土有腐蚀作用, 污水中含有硫化氢等腐蚀性气体, 均不利于综合管廊的日常养护和检修, 因此, 规范规定污水入廊应采用管道形式。重力流性质污水管线要求管廊的坡度与污水管道要求的坡度协调一致, 这样势必导致管廊埋深不断加大, 同时入廊后的污水管道还存在新的技术难点, 污水入廊主要技术难点包括廊内外污水管道的衔接; 管廊交叉节点; 污水管材及附属设施选型等。

作者简介: 陆新生, 男, 研究员, 1987年毕业于东南大学环境工程专业, 现就职于航空工业规划市政工程设计研究院。

## 2 污水管纳入综合管廊适宜性分析

市政管线中的污水管线多为重力流,且携带杂质、固体颗粒等,为避免淤积、便于清通,排水管线的敷设有了一定的坡度要求。污水管线是否纳入综合管廊,应当结合当地道路竖向规划、污水管线专项规划及综合管廊专项规划,在不大幅度增加综合管廊覆土和增设排水泵站的前提下,可考虑将污水管线纳入综合管廊。污水支管纳入综合管廊,在经济性和可实施性等方面相对较差,一般不考虑污水支管纳入管廊;而当污水干管与道路坡度一致时,可考虑将污水干管纳入综合管廊。

山地城市道路坡度较大,在局部路段可以充分利用地形坡度,在不增加管廊埋深的情况下,保证污水重力自流排放,可考虑污水纳入综合管廊。

建议对污水干管走向等与道路纵断面相一致时可考虑纳入综合管廊,否则,应慎重考虑污水管入廊问题。

## 3 污水管道入廊需重点解决的问题

结合污水管道的特性和综合管廊的构造特点,污水管道入廊后的管廊设计应重点解决以下问题:

(1) 廊内安装维修更换需求:管廊空间及口部设施设计时,应满足污水管道在管廊内的安装、维修、更换要求。

(2) 过流能力需求:入廊后污水管道的过流能力不应减小,入廊后污水管道的坡度不应被改变,至少不应被减小;或者坡度减小,而管径增大,并应校核管道不淤流速。

(3) 重力自流排放需求:入廊后污水管道应仍按一定坡度敷设,不应额外增加污水倒虹段,从而增加污水管堵塞风险。

(4) 与街区污水管的接驳需求:污水管每隔一定距离(一般约120m)需设置街区污水管的接驳井和接驳支管,管廊竖向上应与之避让。

(5) 与市政污水管的接驳需求:在交叉路口处或管廊交叉处,存在两条路上市政污水管的连接,管廊设置不应影响其正常接驳,应满足自流重力接驳的需求。

(6) 通风需求:污水管网中由于通风不畅,氧气浓度较低,污水中有机物在输送过程中逐渐被厌氧微生物生物分解并产生有机挥发性气

体和无机爆炸性气体,当污水管道中爆炸性气体浓度达到爆炸极限,遇明火极易发生爆炸。因此,污水入廊后,应满足管道正常通风需求,避免有害气体的积累。

(7) 清疏需求:污水管道因污水水质、水量变化及系统运行不合理,导致的流速过低等原因,不可避免地存在淤积问题。而污水入廊之后,再像直埋管道那样隔一定距离设置检查井并直通地面,已显得很不合理,一方面污水检查井会增加管廊空间断面面积,另一方面,露出地面的井盖也让管廊改善地面景观的功能大打折扣。因此,入廊污水管的检查检修设施和清疏方式均应特别考虑。

## 4 污水管廊入廊技术对策

贵州某市城市地下综合管廊一期工程项目建设城市综合管廊21.8km,以金湖路干线综合管廊为例,该段管廊工程西起点位于与云环路交叉口处,终点位于与拟建青龙路交叉口处,管廊长度2.4km。该市属于典型的山地城市,山地城市道路坡度较大,在局部路段可以充分利用道路地形坡度,在不增加管廊埋深的情况下保证污水重力自流排放,考虑到道路纵坡较大,将污水管纳入综合管廊,综合管廊内管线有220kV、110kV、10kV电力电缆、广电通讯线缆、源水管、给水管、污水管、中压燃气管等6类管线。

### 4.1 管廊断面布置方案

从提高管廊空间利用率,降低污水管道入廊成本及各管线兼容性方面考虑,污水管道不宜单独成舱,宜与给水、通信、热力、电力等共舱。

考虑到污水支管接驳要求,若管廊单侧有接驳需求,可考虑将污水管所在舱室布置靠近接驳需求的一侧,以降低管廊埋深。若双侧都有污水接驳需求,则污水管所在舱室尽量布置在管廊中央,本工程污水管线双侧接驳,污水管设于管廊中间的综合舱,管廊位于道路中央绿化带以下,管廊顶覆土深度为3m,综合管廊断面见图1。

### 4.2 管廊平面、竖向布置

综合管廊确定平面位置时,主要考虑管廊内管道的吊装口、人员出入口、逃生口、通风等口部设施的布置需求,而纳入污水管的管廊,为了方便污水检查井(出舱)、通风、冲洗设施布置,污水管宜布置在绿化带下,并以此确定管廊



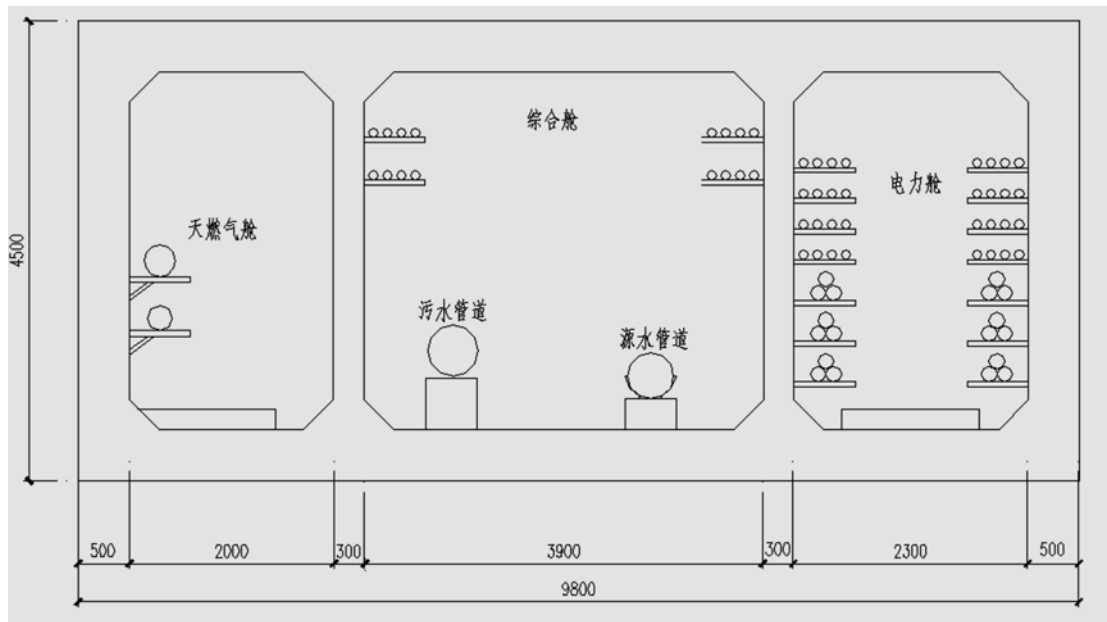


图1 综合管廊断面

平面位置，即管廊平面位置决定因素需要同时兼顾管廊吊装、逃生、通风等口部设施及污水管道的检查（出舱井）、通风、冲洗设施布置需求。

常规综合管廊入廊管线均为非重力流，为降低管廊埋深，管廊竖向设计时一般依道路坡度顺势敷设，而污水管为重力流管，因此，纳入污水管的综合管廊，其竖向设计坡度需要满足污水管线敷设坡度的要求，管廊埋深应满足街区污水支管（接户管）自流接驳至廊内污水管的要求。

#### 4.3 廊内、廊外污水管道的衔接

规范要求进入综合管廊的排水管道应采用分

流制，并采用管道排水方式，污水管道宜布置在综合管廊的底部，廊内外管道的衔接处理是污水管网整体功能实现的基础。

检查井在支线管段的最大间距应根据疏通方法等具体情况确定，同时污水支管为保障对地块的服务功能一般间距设置在120m~150m。污水支管布置间距采用120m~150m，具体结合地块服务需求确定，污水支管与廊内主管利用检查井进行衔接，污水接户井内设置必要的拦污设施，以降低廊内污水管堵塞风险，同时廊内污水管每隔50m设置检查口。廊内外污水管接驳设计方案示

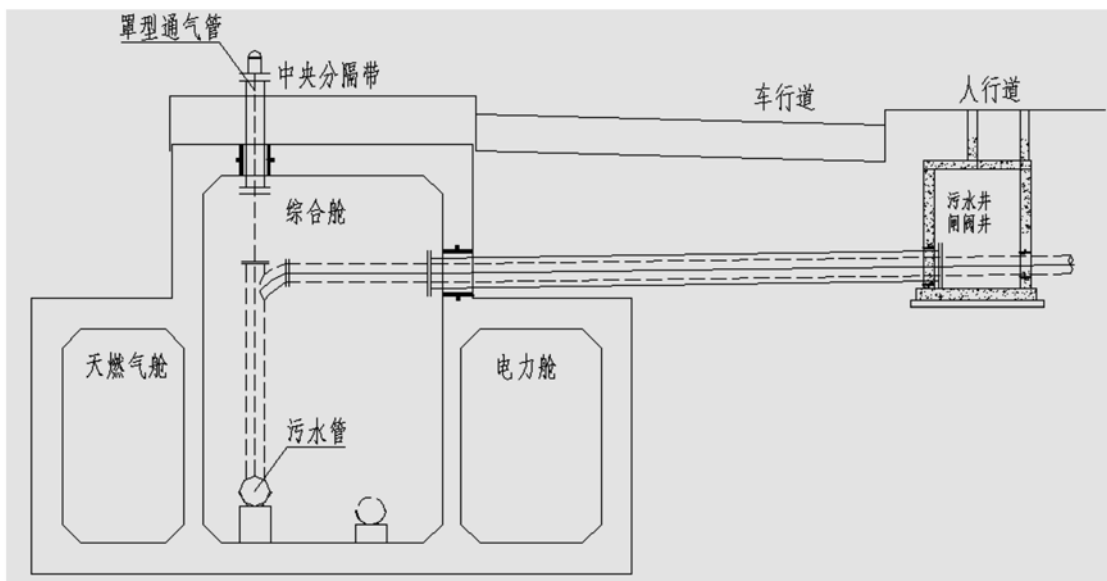


图2 廊内外污水管接驳设计方案示意图

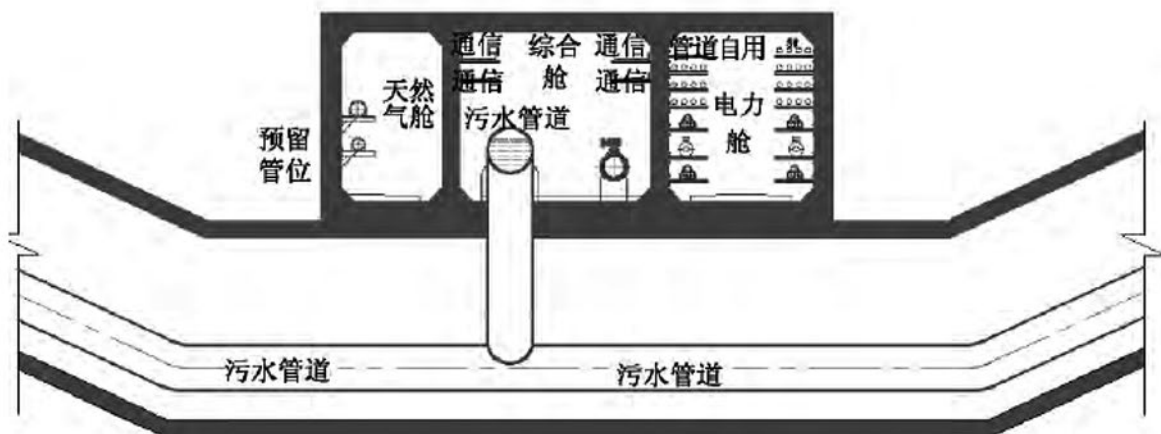


图3 上下交叉设计方案示意图

意见图2。

#### 4.4 管廊交叉节点的方案

十字型和T字型交叉是综合管廊建设中很常见的交叉节点，交叉节点设计方案是管廊设计的难点，污水管道入廊后，管廊交叉方案除了要考虑各舱室管线的连接、人员的通行、防火分区分隔外，特别需要考虑满足污水管排水坡度和接驳问题。

管廊在交叉处做法一般采用上下交叉，即下层管廊在交叉处先下弯，满足上层管廊覆土及未入廊管线交叉需求，之后再上弯至设计覆土隧道坡度敷设，以降低下游管廊埋深。该种交叉方式将会导致下层管廊内的污水管出现倒虹段，增加了污水管堵塞风险，如图3所示。

由于管廊上下交叉下层管廊排水倒虹管增加污水堵塞的风险，T字型交叉节点必须满足污水管重力自流接驳要求；其他舱室的管线通过上绕或下弯避让污水管所在舱室实现连接，污水入廊综合管廊T字型交叉节点设计方案示意图4、图5和图6。

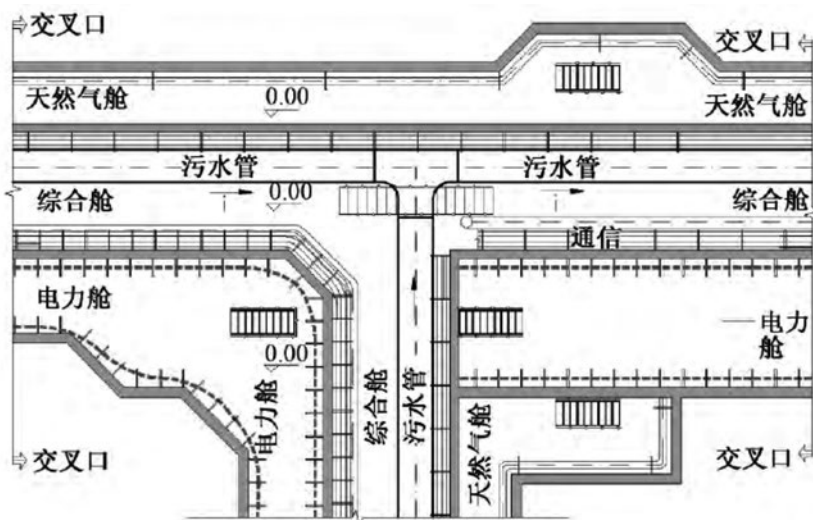


图4 综合管廊平行交叉设计方案示意1

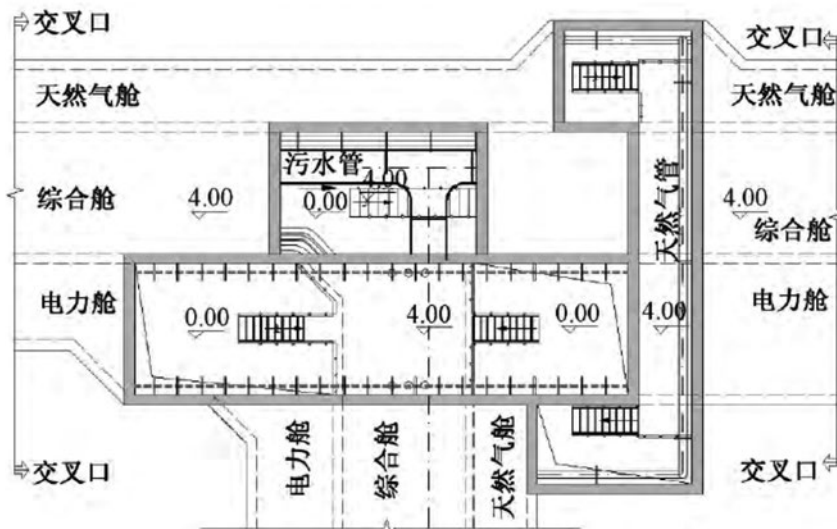


图5 综合管廊平行交叉设计方案示意2

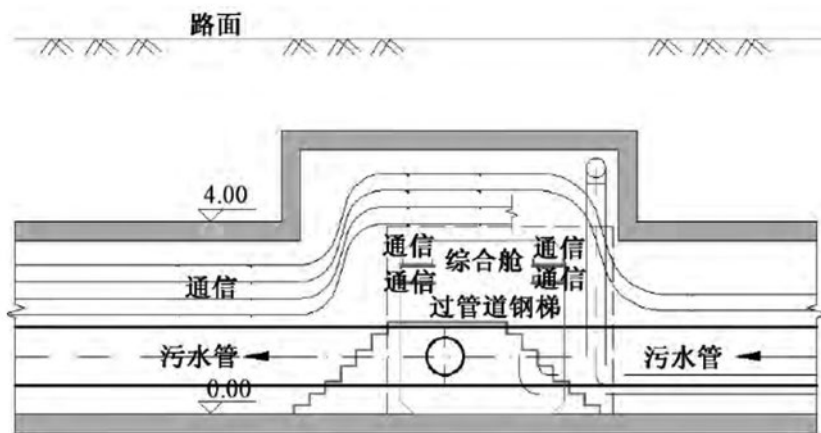


图6 综合管廊平行交叉设计方案示意3

#### 4.5 污水管材选择及附属设施的设计

考虑到管廊的污水管道大多为污水干管，同时所输送污水具有一定的腐蚀性，因此，推荐以高密度聚乙烯管为污水管道管材，钢筋混凝土支墩支撑，热熔接口，接口处外包防渗材料。

污水舱在常规供电、照明、排水等常规附属设备基础上，尤其需要重视通风、监控及报警、有害气体泄漏检测等相关设备。污水舱内温度、湿度、水位、 $O_2$ 、

$H_2S$ 、 $CH_4$ 等环境指标需按照国家现行标准《密闭空间作业职业危害防护规范》(GBZ/T205-2007)的有关规定进行控制。当环境监测设备检测到综合管廊内部气体含量异常时，在综合管廊内部以及监控中心进行报警，通知工作人员，同时自动启动事先制定的响应预案，关闭相关防火分区防火门，启动风机运转排风。

#### 4.6 廊内污水管线的运维

污水支管接入综合管廊前，均设置检修闸门或闸槽，这样当综合管廊内部排水管道进行检修时，能够隔断进入廊内的污水。当这些闸门或闸槽关断时，应在排水总体系统布置时，考虑应急状态条件下污水的排放路径。

相对于传统直埋方式，廊内污水管道增加了廊内检查口及排空口，可以实现廊内的人力及机械疏通。管廊为污水管道运营维护技术智能化升级提供了更广阔的空间。

## 5 结语

污水管道能否入廊应依据污水管线的总体

规划并结合道路竖向等因素进行综合分析对比确定，应谨慎研究污水入廊的科学性和合理性，不能盲目跟风，更要杜绝一刀切的思维。

污水入廊重点要解决好管廊交叉节点设计，廊内外污水管道的衔接问题，管材的选择和辅助通风系统的设置，以及日后管线疏通等运维问题。

虽然污水管道纳入综合管廊有一定的困难，但应当创造条件，结合污水管网建设和改造项目，从排水系统规划入手，合理规划污水片区和污水干管路由，在不大幅增加综合管廊埋设深度和增设中间提升泵站的前提下，尽可能适应在综合管廊内部敷设污水管道。

#### 参考文献

- [1] 李骏飞. 新城市综合管廊建设污水管道入廊案例分析, 中国给水排水, 2017第24期.
- [2] 仲崇军. 污水管道入廊设计与运维对策探讨, 给水排水, 2017年第1期.

# 气候环境试验室复杂地坪结构的计算分析

■ 裴永忠 [结构]

**关键词:** 某综合气候环境实验室大厅地坪直接暴露于试验环境之下,为满足功能使用要求,地坪系统由上下混凝土板和中间保温层构成,以适应剧烈冷热温度变化,上层地坪板由一定边长的板块组成,板块之间设缝,导致地坪结构计算分析比较复杂。分析地坪主要荷载和不利计算工况;针对地坪结构特点,给出一种有效的有限元分析模型;比较不同板厚、保温层弹性模量、板缝宽度以及材料强度等设计参数对地坪受力的影响;计算结果表明,中间保温层弹性模量对地坪受力影响最大。

**摘要:** 上层板;泡沫玻璃保温层;下层板;力钢板

## 1 工程概况

综合气候环境实验室是通过模拟自然界中各种气候环境,验证飞机、汽车、电力设施等对于各种气候环境条件适应能力的一类特殊实验厂房<sup>[1]</sup>。某综合气候环境试验室建成后可以对全机进行下述试验:低温高温环境试验(最低 $-55^{\circ}\text{C}$ ,最高 $+74^{\circ}\text{C}$ )、湿/热环境试验、淋雨环境试验、吹雨(风)试验、冻雨试验、降雪试验、太阳辐照试验以及各单项气候条件的组合条件试验。

实验室大厅地坪直接暴露于试验环境之下,

与一般工业厂房地坪<sup>[2]</sup>和冷库地坪<sup>[3]</sup>相比,主要特点表现在:1)地坪必须满足保温隔热的要求;2)地坪要适应经常经历剧烈的温度变化;3)地坪要满足冷热雨雪等冻融和干湿交替,特别极端温度变化的耐久性要求;4)要经常进行不同环境试验的试验,地坪的承载力和耐磕碰性能要求较高;5)上层地坪蓄热量巨大,控制地坪厚度,将降低制冷功率,节约能耗。基于以上特点,使气候环境试验室的地坪设计变得复杂。

地坪自上至下为钢筋混凝土结构层(简称上层板)、泡沫玻璃隔热层、钢筋混凝土结构层(简称下层板)、50mm细砂层、3:7灰土地基,上层板与泡沫玻璃保温层之间有0.5厚PE膜双层、

作者简介:裴永忠,男,研究员,2009年毕业于清华大学土木工程专业,现就职于航空工业规划飞机工程设计研究院。

20厚水泥砂浆、0.5厚PE膜双层和防潮隔汽层，泡沫玻璃保温层与下层板之间有防潮隔汽层。上层地坪板分为 $6\text{m} \times 6\text{m}$  ( $5\text{m} \times 5\text{m}$ ) 网格，设温度伸缩缝并加传力钢板（抗剪钢板，图4）。上层板混凝土标号C40，下层板混凝土标号C35。

气候环境试验室大厅地坪的做法类似于由上下混凝土板和中间保温层组成的夹芯板，但是与一般夹芯板受力不同，地坪中上层板是由 $6\text{m} \times 6\text{m}$  一块的板拼接而成，板之间由抗剪钢板相连，地坪板计算分析比较复杂。本文就针对气候环境试

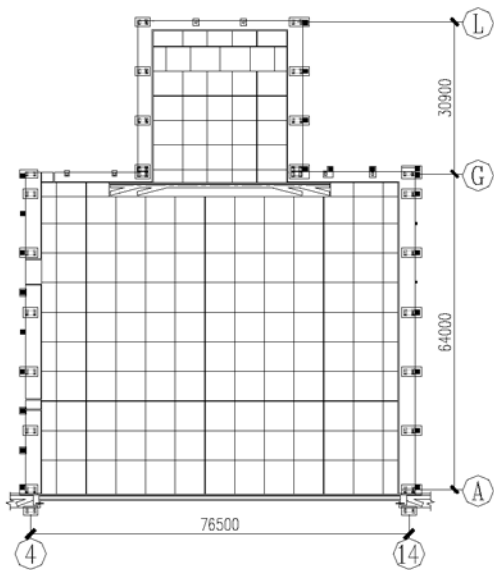


图1 地坪板的平面布置

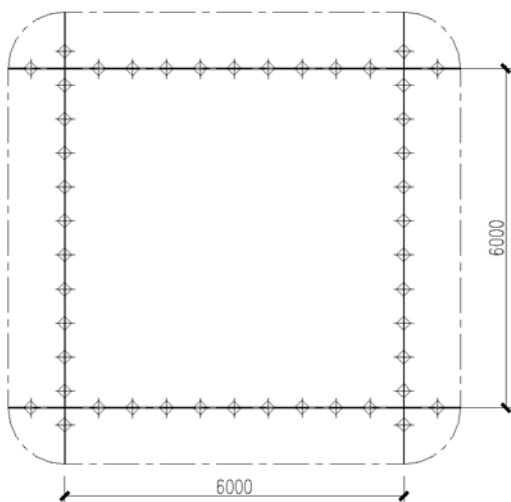


图2 地坪板的平面布置（局部）

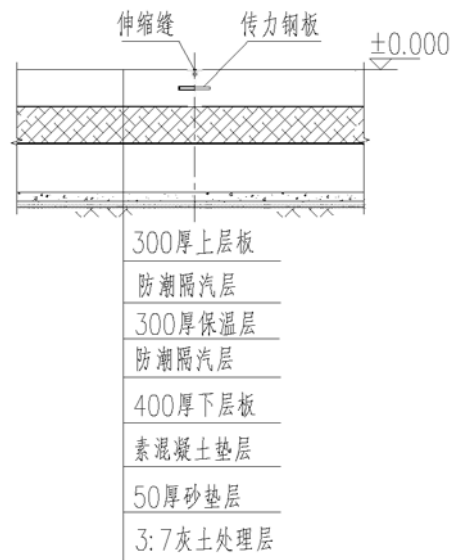


图3 地坪剖面

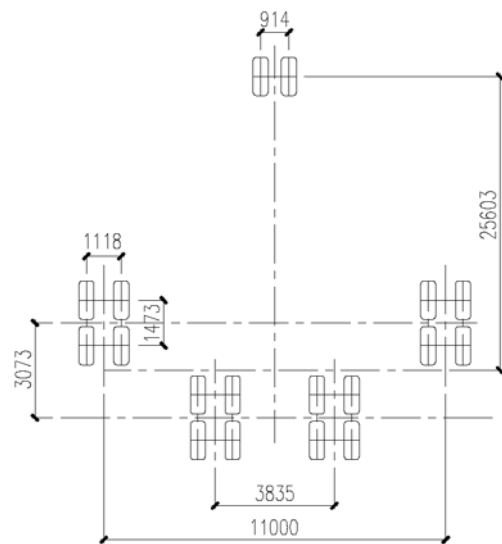


图4 B747-400轮压图

验室大厅地坪结构进行计算分析。对地坪的主要荷载进行分析；采用有限元方法进行详细计算，比较不同设计参数对计算结果的影响。

## 2 地坪主要荷载

大型气候环境试验室地坪荷载是由其要完成的功能所决定的，其主要的荷载包括可试验飞机的轮压、运输车辆的轮压、各种试验设备放置的压力荷载，以及试验过程中试验件的固定和发动机试

车时锚固产生的拉力。其中，拉力荷载需要专门设计，本文的地坪计算中主要针对压力荷载。

气候环境试验室能满足大多数飞机的气候环境试验，地坪设计按包络设计，中部宽度24m范围内按空载下的B747-400飞机轮压计算，其他部位按10t牵引车轮压计算，显然B747飞机轮压是地坪的最大压力荷载，以下的计算中，就以B747飞机轮压为荷载进行地坪计算分析。

## 2.1 飞机荷载

图5为B747-400型飞机起落架布置，飞机使用空重184.5t，主起落架荷载分配系数约0.95，主起落架机轮尺寸1245mm×483mm ( $L_{\text{轮}} \times b_{\text{轮}}$ )，胎压  $p_{\text{胎}}=10.5 \sim 15.3\text{kg}/\text{cm}^2$ 。为便于分析，主轮着地按矩形考虑<sup>[4]</sup>，着地宽度取主轮宽度，即  $b=483\text{mm}$ ，则着地长度近似按下式计算：

$$\begin{aligned} \text{每个主轮压力: } P &= 184.5 \times 1.1 \times 0.95 / 16 \\ &= 12.05\text{t} = 120.5\text{kN} \end{aligned}$$

$$L = P / p_{\text{胎}} \times b_{\text{胎}}$$

$$= 12.05 \times 1000 / 15.3 / 48.3$$

$$= 16.3\text{cm}$$

$$\text{则触地尺寸: } L \times b = 16.3 \times 48.3$$

$$= 787.3\text{cm}^2 = 0.0787\text{m}^2$$

$$\text{触地的压力: } p = 120.5 / 0.0787$$

$$= 1530.5\text{kN}/\text{m}^2$$

## 2.2 板不利轮压布置

根据B747的轮压、轮距和地坪板板块布置，寻找荷载最不利分布。主轮作用于板角和板边时，地坪板和传力钢板的受力最大。有限元分析时，选取了4种工况，如图5，其中前3种是轮压作用于板角，另一组亦作用于另一板角，与实际情况稍有差异，是偏于安全的。轮压距离板边向下移动，系为了计算传力钢板在移动荷载下受力变化；第4种则是轮压正作用板中工况。

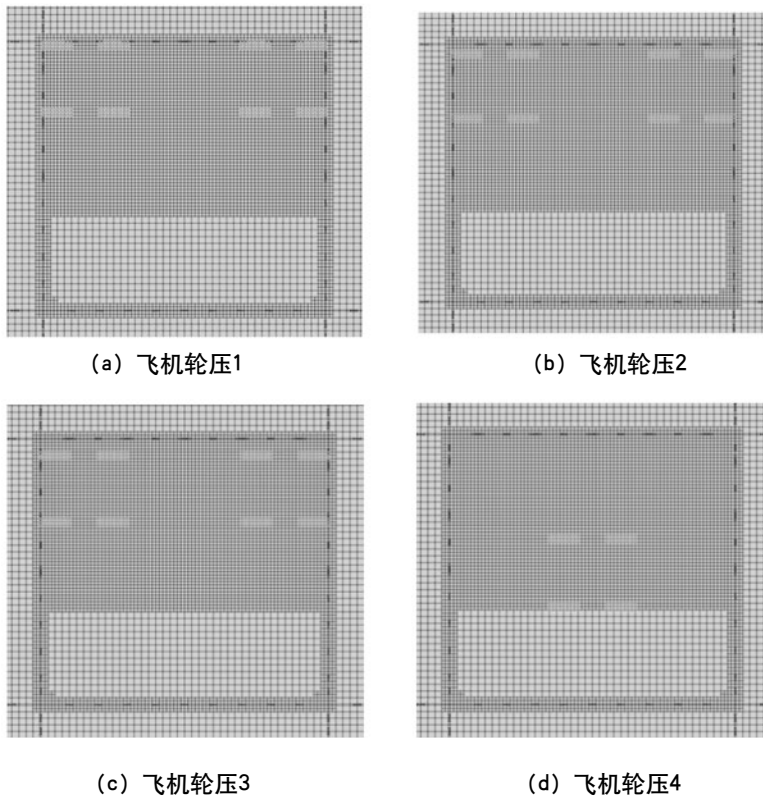


图5 计算中输入的轮压荷载布置图

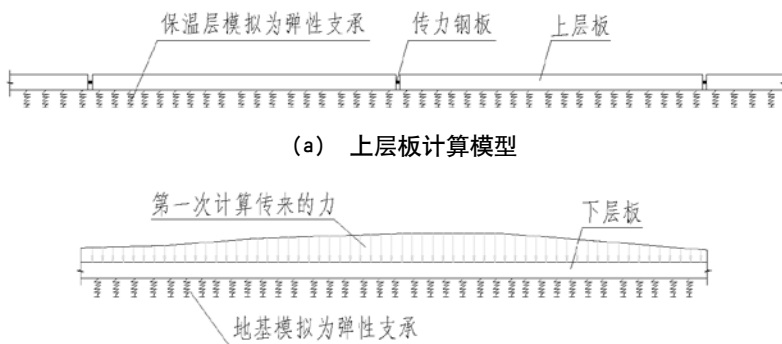


图6 地坪板计算模型

## 3 有限元模型

试验室地坪由两层混凝土板和中间保温层组成，上层混凝土板不是整体，而是由6m×6m的板组成，之间有温度缝，板之间有传力钢板连接。准确模拟地坪受力十分复杂，计算中做了简化。

模型需分两次计算。首先将上层混凝土板按板单元计算，板之间的传力钢板按只考虑剪切刚度的弹性连接，其单元仅能传递剪力，左右可滑动，保温层模拟为弹性支承，如图6

(a)，计算得到上层混凝土板的内力和传力钢板的剪力；再将下层板作为放置在弹性地基上的板，将第一次

计算得到的力作用于下层板上(图6(b)),计算得到下层混凝土板的内力。

上面的模型无法反映混凝土板和保温层之间的关系,而且保温层采用泡沫玻璃,是砌筑的,因而用弹性材料模拟也是近似的。虽然如此,对于轮压之类的竖向压力荷载,上面的模型计算是可靠的。

有限元分析中,传力钢板按只考虑剪切刚度的弹性连接,其单元仅能传递剪力,左右可滑动。对于抗剪键,只有一个方向的抗剪刚度,其抗剪刚度计算公式为:

$$SD_z = GA / \Delta \quad (1)$$

其中,G为剪切模量,对于钢材,  $G = 79 \times 10^3 \text{ N/mm}^2$ ; A为受剪面积,此处  $A = b \times t$ , b、t分别为板缝处传力钢板的宽度和厚度;  $\Delta$ 为温度缝的宽度,设计中为10mm,但考虑到实际工作中有收缩工况,计算偏安全考虑两张情况,  $\Delta = (10, 20) \text{ mm}$ 。则按照设计,计算得到抗剪刚度:

$$SD_z = 79 \times 10^3 \times 250 \times 20 / (10, 20) = (3.95 \times 10^7, 1.98 \times 10^7) \text{ N/mm}$$

设计中要求保温层中泡沫玻璃的弹性模量  $E_{cg} \geq 1000 \text{ MPa}$ ,计算中,为了比较,分别取  $E_{cg} = 1000, 600, 300 \text{ MPa}$ 这三种情况。

地基为3:7灰土垫层,计算中基床系数取  $k_{\pm} = 80000 \text{ kN/m}^3$ 。

#### 4 结果分析

表1 9种计算模型

| 模型 | $E_{cg}$ (MPa) | $\Delta$ (mm) | 标号  |
|----|----------------|---------------|-----|
| M1 | 1000           | 10            | C40 |
| M2 | 600            |               |     |
| M3 | 300            |               |     |
| M4 | 1000           | 20            |     |
| M5 | 600            |               |     |
| M6 | 300            |               |     |
| M7 | 1000           | 10            | C20 |
| M8 | 600            |               |     |
| M9 | 300            |               |     |

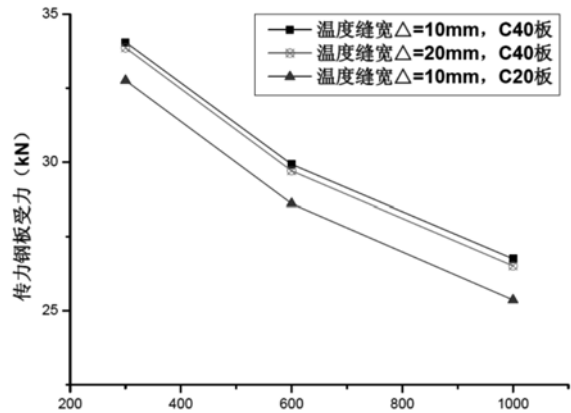
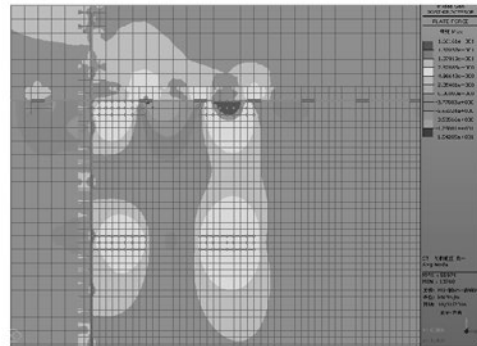


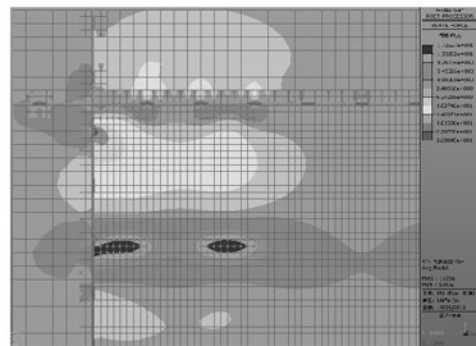
图7 不同泡沫玻璃弹性模量下传力钢板的最大受力

计算中考虑了9种情况,以比较不同弹性模量的保温材料、两种温度缝间距和混凝土板刚度降低时上层地坪板和传力钢板的受力变化。9种计算如表1。表中 $E_{cg}$ 为沫玻璃弹性模量, $\Delta$ 为温度缝间距,C20混凝土是考虑C40混凝土由于耐久性导致强度降低50%时的一种近似。

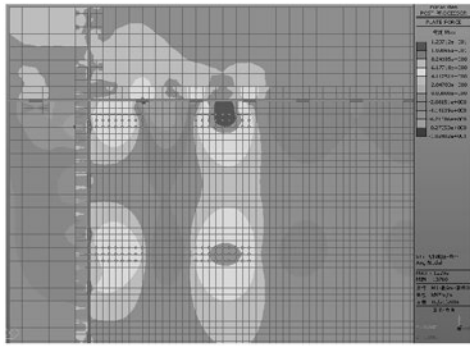
#### 4.1 传力钢板的受力



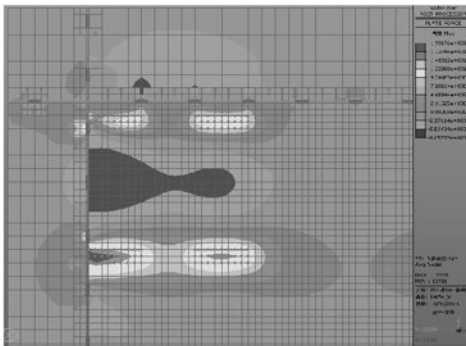
(a) 飞机轮压1-Mxx



(b) 飞机轮压1-Myy



(c) 飞机轮压2-Mxx



(d) 飞机轮压2-Myy

图8 M1模型下不同荷载工况下上层板的受力图

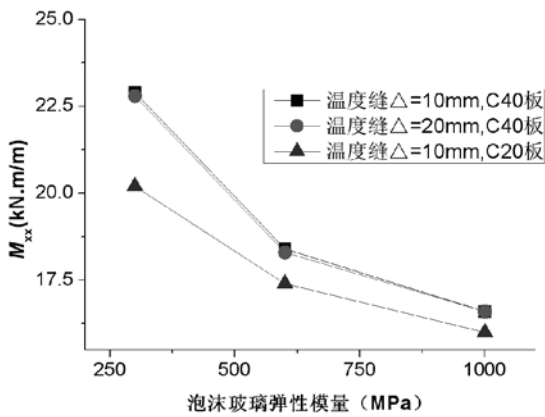


图9 上层板的受力变化 (Mxx)

图7给出了不同计算模型下和不同荷载工况下传力钢板的受力比较，可以看到：1) 3种飞机轮压工况下，工况1传力钢板受力最大，即飞机轮压靠近板角时，传力钢板受力最大；2) 传力钢板受力随泡沫玻璃弹性模量增大而减小；3) 温度缝宽度对传力钢板受力影响不大；4) 混凝土板性能下降时，传力钢板受力会减小，但幅度不大，不到5%。

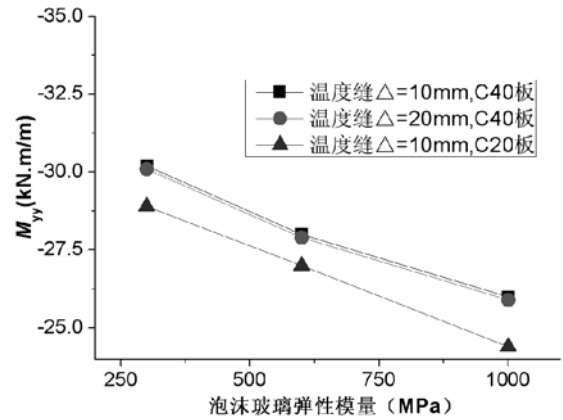
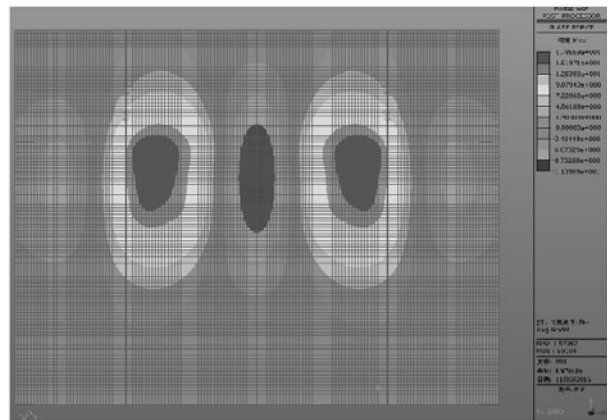


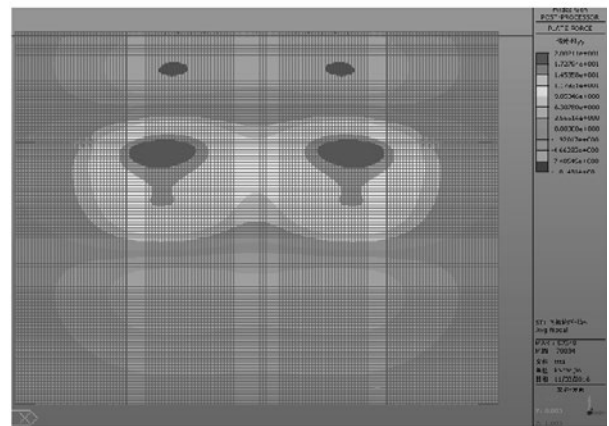
图10 上层板的受力变化 (Myy)

#### 4.2 上层混凝土地坪板的受力

图9和图10给出了不同计算模型下和不同荷载工况下上层板的最大弯矩，可以看到：1) 3种飞机轮压工况下，工况1上层混凝土板受力最大，飞



(a) 飞机轮压1-Mxx



(b) 飞机轮压1-Myy

图11 板厚h=300mm时下层板的受力图



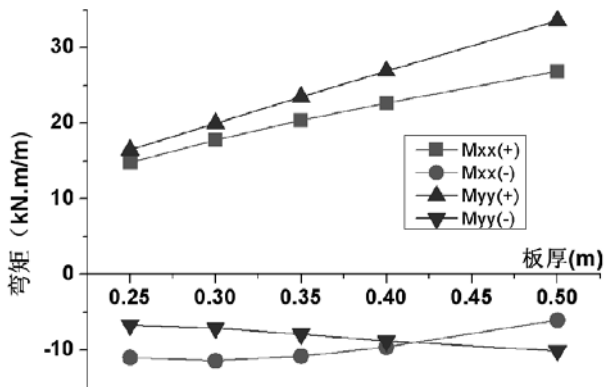


图12 不同板厚时下层板的受力比较

机轮压靠近板角时，上层混凝土板受力也最大；2) 上层混凝土板受力随泡沫玻璃弹性模量增大而减小；3) 温度缝宽度对上层混凝土板受力影响不大；4) 混凝土板性能下降时，上层混凝土板板受力会减小，但幅度不大。与传力钢板的受力规律基本一致。

#### 4.3 下层混凝土板的受力

下层板是连续的，其受力也是连续的，不必区分飞机轮压的作用位置。为了与上面的分析对应，仍对应上层板的荷载工况。

图11即M1模型中飞机轮压作用于上层板板角时的下层混凝土板受力分布。显然，下层板受力即为弹性地基上弹性板承受集中荷载的典型特征，集中荷载作用处为正弯矩，两组轮压之间负弯矩。在地基刚度一定的情况下，板越厚，正弯矩越大。如图12。

## 5 结论

本文以某气候环境实验室的复杂地坪为例，按不利荷载分布按不同计算模型下和不同荷载工况下的对地坪板进行有限元分析，得出以下主要结论。

- 1) 飞机轮压靠近板角时，传力钢板和上层混凝土板的受力最大；
- 2) 传力钢板和上层混凝土板的受力随泡沫玻璃弹性模量增大而减小；
- 3) 温度缝宽度对传力钢板和上层混凝土板受力影响不大；

4) 混凝土板性能下降时，传力钢板和上层混凝土板受力会减小，但幅度不大。

5) 上层混凝土板变形很小，在板角处最大变形约为0.1mm。

6) 下层板受力表现为弹性地基上弹性板承受集中荷载的典型特征，集中荷载作用处为正弯矩，两组轮压之间负弯矩。在地基刚度一定的情况下，板越厚正弯矩越大。

#### 参考文献

- [1] 刘海燕, 马建军, 张惠. 大型气候环境实验室空气处理系统方案探讨[J]. 装备环境工程, 11 (4), 2014:107-113
- [2] 李志刚. 工业车间地坪结构设计分析[J]. 四川建材, 2016, 42 (9): 56-58
- [3] 张国东. 冷库设计及实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2013
- [4] 中华人民共和国行业标准, 民用机场水泥混凝土道面设计规范(MH/T5004-2010), 中国民用航空局, 2010.04.30

# 考虑悬挂骨架耦合作用的大跨度结构抗震分析

■ 裴永忠 王亮 [结构]

**关键词:** 某综合气候环境实验室大跨度屋盖下的悬挂骨架是工业建筑内部一种较为特殊的悬挂结构,呈现出更加复杂的情况。一方面,悬挂骨架及其附加的管线等质量与主体结构质量的质量比达70%,远超过一般工业与民用建筑中屋盖吊挂结构与主体结构的质量比;另一方面由于使用功能要求,悬挂骨架未设置侧向支承,为避免在使用和地震作用下的过大晃动,设置了粘滞阻尼器。建立不同计算模型,对某大型气候环境试验室进行抗震反应分析,考察主体结构-悬挂骨架耦联的地震反应及其动力相互作用,重点分析悬挂骨架对主体结构的影响。

**摘要:** 大跨度屋盖;悬挂骨架;耦合作用;粘滞阻尼器

## 1 工程概况

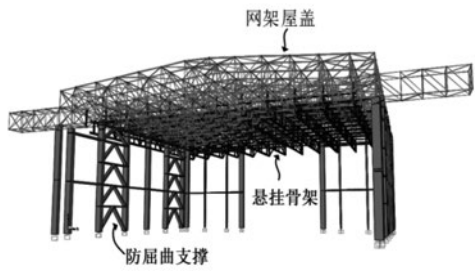
气候环境实验室是在室内人工模拟自然中各种气候环境的特殊实验室<sup>[1]</sup>,用以完成飞机、兵器、汽车、电力输变电系统等的气候环境实验。某综合气候环境实验室建成后可以完成下述试验:低温/高温环境(最低-55℃,最高+74℃)、湿/热环境、淋雨环境、吹雨(风)、冻雨、降雪、太阳辐照以及各单项气候条件的组合条件试验。

某综合气候环境试验室(图1)由试验大厅及其配套附楼组成,试验大厅呈品字形,分前后两个试验厅。本文的研究对象为前部实验大厅的主体结构和悬挂于屋盖的骨架系统。大厅跨度为76.5m,进深64m,钢排架结构。屋盖采用正交正放钢网架,厚度3.8m~6.8m,网格尺寸6.1m×6m,下弦中心标高27m。屋盖三边支承、大门边设反梁。网架节点为焊接空心球,支座采用球铰支座。排架柱为双肢格构钢柱,主肢为H型钢截面,纵向柱间支撑采用防屈曲支撑。结构布置如图2。实验室大厅由内舱板保温层与外部主体结构隔绝,主体结构按常温情况设计。主厂房钢结构构件均采用Q345B钢。

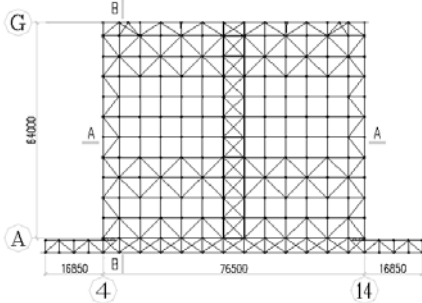
作者简介:裴永忠,男,研究员,2009年毕业于清华大学土木工程专业,现就职于航空工业规划飞机工程设计研究院。



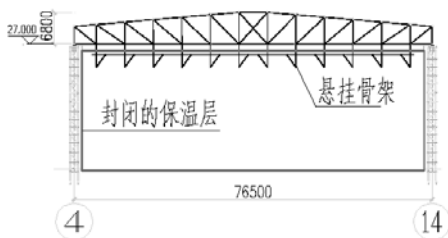
图1 综合气候环境实验室效果图



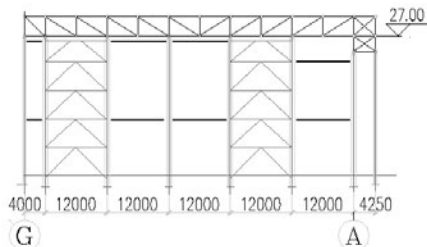
(a) 三维图



(b) 屋盖结构平面图



(c) 横向剖面A-A



(d) 纵向剖面B-B

图2 实验室大厅的主体结构

结构设计使用年限为50年；建筑结构的安全等级为一级；抗震设防烈度8度，III类场地；基本风压 $0.35\text{kN/m}^2$ ，地面粗糙度B类；基本雪压 $0.25\text{kN/m}^2$ 。

## 2 悬挂运输骨架

气候环境实验室大厅由内舱板及地坪保温层形成一个封闭的环境（图2（c）），与外部主体结构隔绝。为实现各种气候环境模拟实验功能，在大厅内部上空设计了一套钢骨架系统，由吊杆穿越内舱板保温层悬挂于屋盖结构之下，称之为“悬挂运输骨架”，用来吊挂轨道、风管及实验功能模块等。

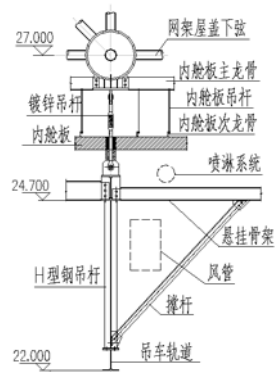


图3 上部运输骨架详图

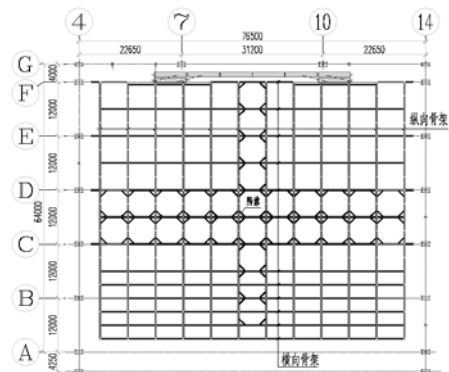


图4 24.7m标高处运输骨架平面图

### 2.1 悬挂骨架设计

图3为屋盖悬挂结构详图，从上至下，包括内舱板骨架、内舱板、喷淋系统、悬挂运输骨架、风管、轨道等。悬挂骨架是由吊杆直接悬挂于屋盖，吊杆直径50mm，镀锌，穿越顶部的保温层内

舱板。悬挂骨架由两向正交的H型钢组成，梁底标高24.7m，局部设置隅撑，保证平面内的几何稳定，温度作用下又不产生过大的内力。悬挂骨架下设H型钢吊杆，悬挂纵向的吊车轨道，轨道底标高22m，H型钢吊杆设斜撑，保证轨道的稳定。消防喷淋管道、暖通风管分别设置于运输骨架上、下部空间之内。悬挂运输骨架采用E级钢。

悬挂运输骨架直接暴露于实验大厅的各种实验环境之中，结构设计中需满足以下要求：1) 适应升、降温的剧烈温度变化，骨架允许水平方向变形，以减少的温度应力；2) 在实验设备吊挂、设备运行等外部激震作用下，控制其振动幅度，避免影响使用；3) 在温度、使用及多遇地震作用下，悬挂运输骨架的变形应与内舱板协调，保证建筑整体完好。

### 2.2 主要的荷载和作用

特殊的使用功能，导致实验大厅的荷载很大。屋盖上弦的屋面恒荷载(不含网架自重)为 $0.7\text{kN}/\text{m}^2$ ，包括屋面做法和悬挂于上弦的管线。下弦的荷载依次从上至下包括内舱板骨架、内舱板、喷淋系统、悬挂运输骨架、风管、轨道等，下弦恒荷载为 $1.8\text{kN}/\text{m}^2$ ，其中悬挂运输骨架、轨道及其吊挂管线的荷载约为 $1.45\text{kN}/\text{m}^2$ 。这样，在仅考虑恒荷载的情况下，计算得到的悬挂运输骨架与主体结构屋盖的质量比约为70%。

模拟各种气候环境的模块挂于运输轨道，每种工况荷载和位置并不相同，为了便于分析，本文中偏安全的取均布荷载 $0.5\text{kN}/\text{m}^2$ ，这对结构整体是包络的。

主体结构是由保温层与实验室大厅内部隔绝的，可按建设地区的温差取值，实际设计中，偏安全取 $\pm 40^\circ\text{C}$ 。悬挂运输骨架位于大厅内部，试验温度高温 $+74^\circ\text{C}$ ，低温 $-55^\circ\text{C}$ 。

地震作用的主要参数如表1。

### 2.3 悬挂骨架的减震控制

为适应实验中剧烈温度变化，悬挂运输骨架通过吊杆悬挂于屋盖之下，水平方向没有设置侧

向约束。为避免使用中实验设备吊挂或运行等外部激励作用下可能产生晃动，影响使用。同时防止地震作用下，悬挂运输骨架过大晃动对主体结构及内舱板破坏，设置了阻尼器。选用速度相关型的粘滞阻尼器。静载作用下，阻尼器自身不提供额外刚度，保证骨架在温度变化下自由变形；在动荷载作用下，阻尼器输出阻尼，消耗能量，降低结构的动力反应。

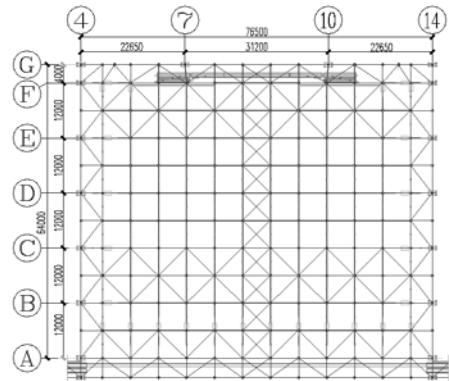


图5 阻尼器平面布置

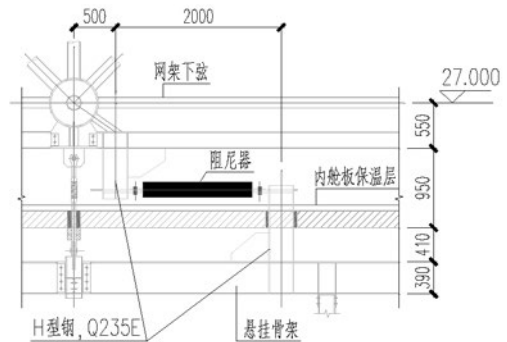


图6 阻尼器布置详图

不同水准地震作用下，设定不同减震控制目标：1) 小震下，悬挂运输骨架与主体结构基本同步；2) 中震下，悬挂运输骨架与主体结构相对位移控制在预留范围内；3) 大震下，悬挂运输骨架不对主体结构造成破坏。

表1 地震作用参数

| 序号 | 名称        | 数值    | 序号 | 名称   | 数值          |      |
|----|-----------|-------|----|------|-------------|------|
| 1  | 设计基本地震加速度 | 0.2g  | 5  | 多遇地震 | 场地特征周期      | 0.45 |
| 2  | 设计地震分组    | 第一组   |    |      | 水平地震影响系数最大值 | 0.16 |
| 3  | 场地类别      | III类  | 6  | 罕遇地震 | 场地特征周期      | 0.50 |
| 4  | 阻尼比       | 0.045 |    |      | 水平地震影响系数最大值 | 0.90 |

表2 粘滞型阻尼器规格表

| 编号   | 输出力F (kN) | 阻尼系数C ((kN.s/m) | 速度指数 $\alpha$ | 允许变形量(mm) |
|------|-----------|-----------------|---------------|-----------|
| ZNQ1 | 150       | 100             | 0.3           | $\pm 250$ |

粘滞阻尼器的计算模型如式(1)：

$$F = C v^\alpha \quad (1)$$

式中C阻尼系数， $\alpha$ 为速度指数，F为输出力。根据参数分析，阻尼器的主要参数见表2，阻尼器平面布置见图5，为便于维护和降低造价，阻尼器是放在保温层外面的常温环境下，其构造如图6。

### 3 结构计算模型

通常主体结构的设计计算中，悬挂于屋盖结构的吊顶、管线等，是直接以荷载形式作用于网架下弦。而吊顶、管线等非结构构件，一般通过等效侧力法或者楼层反应谱法来进行计算分析<sup>[3]-[5]</sup>。

本工程中屋盖下的悬挂骨架具有更复杂的情况。悬挂骨架与主体结构的质量比接近70%，而且悬挂骨架及轨道在距离屋盖下弦下方2m~5m；悬挂骨架是自由悬挂于屋架下方，利用粘滞阻尼器来控制动力作用下的晃动，这在一般悬挂结构中并不多见；本工程为跨度76.5m的大跨度结构，三边支承，一边开口，空间效应明显。因此，需

要更精细的分析。

建立3种计算模型进行分析：1) 将悬挂骨架以及其他悬挂物等均作为荷载直接作用于屋盖下弦，即为传统的计算模型，本文中定义为等效荷载模型；2) 将悬挂运输骨架作为结构构件建于计算模型中，与主体结构共同计算分析，悬挂管线等按实际作用位置施加，考虑阻尼器，定义为考虑减震的耦合模型；3) 与耦合模型2)一样，但为了比较分析，不考虑阻尼器，定义为自由悬挂的耦合模型。

为更好对比空间作用的影响，对应每一种模型，建立平面和空间模型。应该说明的是，平面模型中阻尼器在骨架平面内，与实际设计稍有差异。表3即为3种计算模型。

#### 3.1 结构动力特性

粘滞阻尼器只提供附加阻尼，不提供附加刚度，不改变结构的自振周期。表4给出了等效荷载模型与耦合模型动力特性。

平面模型有更明确的力学概念。计算结果可见，耦合模型中第一阶振型为悬挂结构的平动，主体结构的平动振型出现在第二振型，其周期远

表3 不同计算模型计算结果分析

| 模型        | 结构力学模型 | 平面模型 | 空间模型 |
|-----------|--------|------|------|
| 等效荷载模型    |        |      |      |
| 考虑减震的耦合模型 |        |      |      |
| 自由悬挂的耦合模型 |        |      |      |

表4 不同计算模型动力特性

| 等效模型 | 阶数 | 周期    | 振型描述     | 耦合模型 | 阶数 | 周期    | 振型描述     |
|------|----|-------|----------|------|----|-------|----------|
| 单榀模型 | 1  | 2.307 | 主体结构X向平动 | 单榀模型 | 1  | 4.244 | 悬吊骨架X向平动 |
|      | 2  | 0.811 | 主体结构竖向振动 |      | 2  | 1.357 | 主体结构X向平动 |
|      | 3  | 0.455 | 二阶竖向振动   |      | 3  | 0.810 | 主体结构竖向振动 |
| 整体模型 | 1  | 2.091 | 主体结构X向平动 | 整体模型 | 1  | 3.334 | 悬吊骨架X向平动 |
|      | 2  | 1.308 | 主体结构Y向平动 |      | 2  | 2.471 | 悬吊骨架X向扭转 |
|      | 3  | 1.283 | 主体结构X向扭转 |      | 3  | 1.976 | 悬吊骨架Y向平动 |
|      | 4  | 0.771 | 主体结构Y向扭转 |      | 4  | 1.807 | 悬吊骨架Y向扭转 |
|      | 5  | 0.726 | 主体结构竖向振动 |      | 6  | 1.407 | 主体结构X向平动 |
|      | 6  | 0.494 | 主体结构竖向振动 |      | 12 | 0.844 | 主体结构Y向平动 |

小于等效荷载模型计算得到自振周期,可见因悬挂结构连接吊杆侧向刚度小,耦合作用并不明显。等效荷载模型中,屋盖质量( $M$ )与骨架质量( $m$ )重合,主体结构自振周期可以近似认为 $T = 2\pi\sqrt{(M+m)/K}$ 。在耦合模型中,屋盖质量与悬挂质量不重合,可近似作为两个子系统。此时,主体结构自振周期可近似认为 $T \approx 2\pi\sqrt{M/K}$ ,而吊杆刚度小,单自由度的悬挂结构如按单摆考虑<sup>[6]</sup>,自振周期可近似认为 $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ 。另外,注意到悬挂结构与主体结构振动是相反的,这也是悬挂质量减震的基本原理。

空间模型中由于结构的空效应,表现出更复杂的模态。耦合模型中前5阶振型均为悬挂结构的振动,有平动还有扭转及局部振型,以主体结构振动的模态出现得更晚,在第6阶(横向)和12阶(纵向)。可见,对于大跨度结构,悬吊结构与主体结构的振动表现出更为复杂的模态。

### 3.2 屋盖及悬挂骨架

限于篇幅,本文地震输出采用1987年美国El Centro地震加速度记录,峰值加速度为0.36g,按照我国现行《建筑抗震设计规范》采用的地面峰值加速度(PGA)作为调幅指标,竖向地震作用按水平地震的65%。设计中等效荷载模型的罕遇地震下弹塑性时程分析表明<sup>[8]</sup>,仅有柱间支撑和局部网架杆件进入塑性,故以下的各水准地震下的分析均为弹性时程分析。

#### (1) 悬挂骨架与主体结构的变形差

设置阻尼器的主要目的就是控制悬挂骨架与屋盖结构之间的相对变形,防止晃动过大造成次

生破坏。表5和图8~图10的结果表明,阻尼器的设置对悬挂骨架在地震作用的晃动具有较好的控制。还可发现,在自由情况下,悬挂结构与主体结构变形并不同步,相反,这样虽然具有减震效果,却因相对晃动过大,损坏保温层及管线等附属结构,是不允许的。

表5 空间模型下悬挂骨架与主体结构的最大变形差(mm)

| 模型 | 无减震   | 减震    |
|----|-------|-------|
| 小震 | 59.2  | 15.3  |
| 中震 | 168.8 | 70.8  |
| 大震 | 337.3 | 133.9 |

#### (2) 悬挂吊杆的内力

图11为多遇地震作用下各个吊杆的内力。计算结构表明,水平地震作用对吊杆内力影响极小,吊杆的内力主要是由竖向地震作用引起的,最大在跨中,然后逐渐减小。阻尼器对吊杆内力几乎没有影响。多遇地震作用下跨中吊杆的最大内力为5.14kN,静载下吊杆拉力为67kN,最大动静比 $\xi = 0.08$ 。

#### (3) 网架的内力

主要分析对应支承柱处网架下弦杆在地震作用下的表现。图12为多遇地震作用下各个下弦杆的内力。对于大跨度屋盖,水平地震作用主要影响支座附近杆件,竖向地震作用则对跨中弦杆影响更大。竖向地震作用下弦杆最大内力189.3kN(按等效荷载模型),最大动静比 $\xi = 0.10$ 。吊

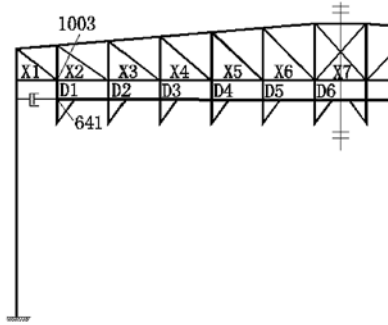


图7 节点和杆件编号

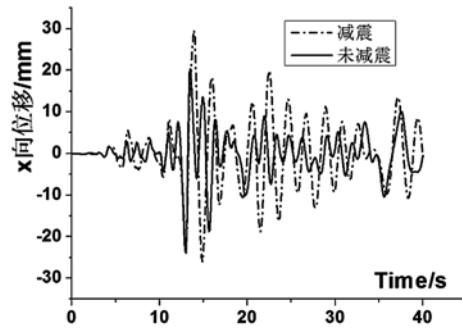


图8 节点641的位移时程

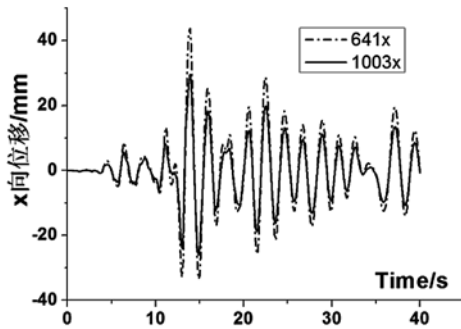


图9 加设阻尼器后两节点的位移时程

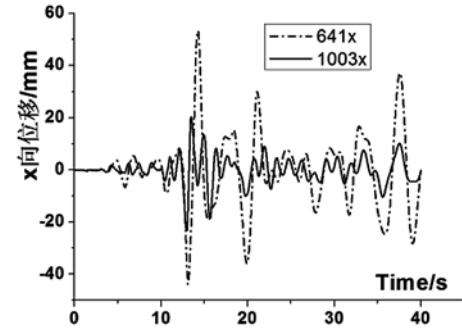


图10 未设阻尼器时两节点的位移时程

表6 不同模型柱顶位移 (mm)

| 模型   |    | 等效荷载  | 自由悬挂         | 减震            |
|------|----|-------|--------------|---------------|
| 平面模型 | 小震 | 42.2  | 22.6 (53.7%) | 34.8 (82.5%)  |
|      | 中震 | 120.3 | 64.6 (53.7%) | 81.7 (67.9%)  |
|      | 大震 | 235.3 | 129 (54.8%)  | 152.7 (64.9%) |
| 空间模型 | 小震 | 38.9  | 25.8(66.3%)  | 29.1(74.8%)   |
|      | 中震 | 111   | 73.5(66.2%)  | 70.2(63.2%)   |
|      | 大震 | 221.7 | 146.9(66.3%) | 138.2(62.3%)  |

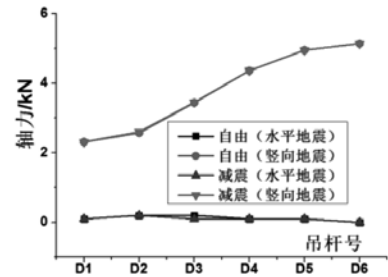


图11 多遇地震作用下吊杆内力的比较

表7 不同模型柱底弯矩 (kN.m)

| 模型   |    | 等效荷载   | 自由悬挂           | 减震             |
|------|----|--------|----------------|----------------|
| 平面模型 | 小震 | 1268   | 680.9 (53.7%)  | 1070.9 (84.5%) |
|      | 中震 | 3279.4 | 1941.9 (59.2%) | 2511.1 (76.6%) |
|      | 大震 | 7076.7 | 3880.4 (54.8%) | 4676.1(66.1%)  |
| 空间模型 | 小震 | 1179   | 783.3(66.4%)   | 894.1(75.9%)   |
|      | 中震 | 3362.6 | 2234 (66.4%)   | 2145.3(63.8%)  |
|      | 大震 | 6719.2 | 4463.9(66.5%)  | 4174.6(62.1%)  |

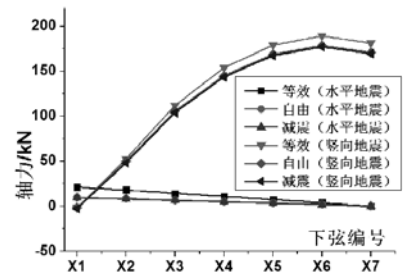


图12 多遇地震作用下下弦内力的比较

挂骨架对下弦杆最大内力有所降低, 减低幅度较小, 约5%。阻尼器对网架内力影响很小。

### 3.3 柱顶位移和柱底弯矩

表6和表7给出了不同模型下计算得到的跨度方向柱顶侧移和柱顶弯矩。结果表明, 等效荷载模型将悬挂骨架重量直接施加于屋盖, 柱顶位移、柱底反力都是最大的。对于自由悬挂的耦合模型, 悬挂骨架类似单摆式TMD(调谐质量阻尼器), 降低了整体结构动力反应。注意到, 平面模型的降低幅度稍大于空间模型, 但不同水准下降低的幅度基本上是一样的。

对于减震的耦合模型, 则有更复杂的情况。小震作用下, 阻尼器控制上部悬挂的变形, 悬挂结构荷载近于同步参与地震反应, 因而结果更接近等效荷载模型。随着地震水平增加, 主附结构间的相对变形增大, 耦合程度降低, 同时, 阻尼器输出阻尼加大, 主体结构位移和反力较等效模型计算结果占比减少, 大震时接近于无减震的模型。

还应注意到, 单榀平面模型结构均匀简单, 整体性强, 不同水准下的地震反应十分明确; 整体空间模型中, 由于上部悬挂骨架相对构造复杂, 自身也有局部变形, 而屋盖结构实际刚度、质量分布都存在一定程度的不均匀, 计算结果呈现更复杂的特征。

## 4 结论

本文对某大型气候环境试验室考虑主体结构与悬挂运输骨架耦合, 建立不同计算模型, 进行抗震反应分析, 主要得出以下结论:

(1) 对于本工程, 将悬挂骨架以及其他悬挂物等均作为荷载直接作用于屋盖下弦的计算模型(等效荷载模型), 不能正确反映结构动力特征和地震反应, 其计算结果总体偏保守。

(2) 骨架自由悬挂于屋盖, 地震作用下通过单摆效应, 降低结构振动反应。但吊挂骨架与主体结构晃动相反, 导致很大相对变形, 损坏附属结构。

(3) 加设粘滞阻尼器既能控制骨架与屋盖结构之间相对变形, 两者振动协调; 又能输出阻尼, 在中震和大震下降低结构的动力反应, 对本工程是合理的。

(4) 水平地震作用对吊杆内力影响很小, 吊杆的内力主要是由竖向地震作用引起, 阻尼器对

吊杆内力几乎没有影响, 在地震作用下, 悬挂骨架对屋盖网架内力影响较小。

### 参考文献

- [1] 刘海燕, 马建军, 张惠. 大型气候环境实验室空气处理系统方案探讨. 装备环境工程, 11(4), 2014:107-113
- [2] 李爱群. 工程结构减振控制. 北京: 机械工业出版社. 2013.
- [3] 韩庆华, 张鹏, 芦燕. 基于传递函数法的大跨建筑非结构构件动力性能研究, 土木工程学报, 2014, 47(S2): 79-84
- [4] Gilani A S J, Reinhorn A M, Glasgow B, et al. Earthquake simulator testing and seismic evaluation of suspended ceilings[J]. Journal of architectural engineering, 2010, 16(2): 63-73.
- [5] 秦权, 聂宇. 非结构构件和设备的抗震设计和简化计算方法. 建筑结构学报, 2001, 22(3): 15-20
- [6] 王春林, 吕志涛, 吴京. 半柔性悬挂结构体系的减振机理及其减振效果分析. 土木工程学报, 2008: 48-54.
- [7] 曲哲, 叶列平, 潘鹏. 建筑结构弹塑性时程分析中地震动记录选取方法的比较研究. 土木工程学报, 44(7), 2011: 1-12
- [8] 王亮, 裴永忠. 大型气候环境实验室上部运输系统减震控制研究[R]. 北京: 中国航空规划设计研究总院有限公司, 2017



# 绿色建筑设计理念 在工业建筑设计中的应用研究

■ 王伟 裴燕 [建筑]

**关键词：** 随着绿色健康观念的普及，在工业建筑的设计中越来越多的人开始注入绿色建筑设计理念，设计师们致力于将绿色环保的理念，通过工业建筑来融入人们生活工作的环境，并且运用绿色建筑设计理念设计出来的工业建筑也十分符合当下生态环境的要求，因此绿色建筑的设计理念在工业建筑设计中越来越受欢迎。

**摘要：** 绿色建筑设计理念；工业建筑设计；应用分析

## 1 简析绿色建筑设计理念

### 1.1 什么是绿色建筑

所谓绿色建筑，具体是指最大限度的减少污染、保护环境及节约资源，提供给人们高效、适用及健康的使用空间，并且与大自然和谐共生的一种建筑。绿色建筑在建造的过程中并不是突兀立于城市之中的单一建筑物，在建造的过程中，设计师要充分考虑到建筑物周围环境以及怎样才能将建筑与周围建筑物更好地相融合，各建筑之间功能怎样才能达到完美的配合效果，从而来达到最好、最理想的使用效果，同时，还要将绿色健康的理念融入到建筑和人们的工作环境中去，使工作在此建筑中的人能够感受到绿色健康的气息，充分利用此工业建筑的功能，从而达到工业建筑、周围环境以及人群的相辅状态，真正将工业建筑的潜在功能发挥到极致。

### 1.2 绿色建筑的作用有哪些

绿色建筑的设计理念是基于环保健康，致力于打造一个人、环境、建筑物相融合的社会。绿色工业建筑在设计阶段就要充分考虑到环保因素，确保将资源利用到最大化，功能能与周围其他建筑相辅相成，便于工作人群的绿色健康工作，让工作者感受到此建筑是为其量身定做的，是完全符合工作者要求的。因此绿色工业建筑能够最大化地避免资源浪费，减少环境的污染，与其他周围建筑相融合的同时，还能够节省社会资源，提高工作者

工作效率。

### 1.3 绿色建筑设计理念与传统设计理念的区别

在传统的设计理念中，工业建筑的设计一般只考虑单独的一个建筑本体，很少会像绿色建筑设计理念中那样将建筑与其周围建筑群相联系以将建筑资源利用达到最大化，并且在传统的设计理念中，对工作环境的考量也相对较少，不会像绿色设计理念中那样将环境和健康作为考量的第一位，所以在传统设计中不可避免地会出现大量资源浪费甚至是污染环境的现象。因此，在当今如此重视绿色健康的工作环境的情况下，传统的设计理念并不能完全的符合要求，要与绿色设计理念相融合，取其精华，去其糟粕、扬长避短，从而打造出一个符合人们需求的绿色健康的工业建筑。

## 2 绿色建筑设计理念在工业建筑设计中运用的重要性

由于传统发展模式及传统建筑设计体系往往带来污染环境的问题造成生活质量下降，因此，在绿色文化理念的影响下，理念敏锐的建筑师开始思考并逐渐探索建筑设计发展的绿色环保道路。工业建筑可以说是建筑创作的一个重要类型。对工业建筑来说，除满足特定的生产工艺对建筑环境的要求之外，还要满足工作环境舒适度和精神愉悦的美学要求。目前，我国建筑师在借鉴国外工业建筑的成功经验后能对中国工业建筑设计面临的世纪挑战，工业建筑对绿色建筑设计的追求从来没有放弃过。绿色建筑设计理念在工业建筑设计中的运用进一步推

作者简介：王伟，男，工程师，2009年毕业于吉林建筑工程学院建筑学专业，现就职于航空工业规划动力工程设计研究院。

进了工业建筑可持续发展战略宏伟目标的实现。

### 3 绿色节能理念在工业建筑设计中的具体应用措施

#### 3.1 对工业建筑的整体环境进行设计

对于工业建筑来讲,整体环境的设计主要是指要以总体规划作为基础,并结合地区的水文、地质、气候、地形地貌等情况,综合工业生产的需要,对建筑设计的可行性和经济性做出有效的分析。具体来讲,第一要构建起开放的空间形象和集中的建筑布局。长期以来,我国的工业建筑基本上采用的是线性空间布局,并且构建起开放式和动态的空间体系。为了达到资源的高效共享,保障工业污水的处理,达到节能的目标,在生产内还需要采取相对集中的布局方式,尤其对于石油行业来讲,罐区、装卸油区域有可能产生的跑、冒、滴、漏和含油污水的排放,如果处理不当将会造成严重的水资源污染。要想解决这一问题,在石油库建筑设计的过程中,一定要科学的设计污水处理结构,合理布局,这样才能够更好的实现节能环保的目标。

#### 3.2 从工业建筑单体设计的角度进行分析

一般来讲,工业建筑的设计需要更好的提升建筑房屋的适用性和可变性。在对工业建筑进行设计的过程中,需要切实保证建筑的结构和建筑设备的灵活性,例如要注意框架结构建筑填充墙体分隔的灵活性、门的高度满足设备进出的要求以及未来接建和扩建的可能性,最大限度地提升工业建筑房屋的可变性和适用性,达到绿色节能的效果。

同时,在设计的过程中,还需要注重节能和智能的结合。在设计中,为了达到节能的目的,可以积极开发二次可再生新能源,例如太阳能等,节约不可再生资源的利用,并且提升其利用效率。要实现智能化,则需要在工业建筑设计中积极引入电子通信和自动化控制技术,这样能够实现建筑的智能化设计,进而实现工业建筑朝着高效能、低能耗和低污染的设计方向发展。

#### 3.3 合理选择材料

合理选择材料对于工业建筑节能的设计理念应用的重要性是不言而喻的。在合理选择材料的过程中,设计人员应当确保建筑外墙用的材料具有合适的厚度,在减少热量损失的同时,促进建筑内部保持较为良好的通风。除此之外,在合理选择材料的过程中设计人员应当可以从之前的节能设计建筑选

取适用的构造和所需的材料。并且根据工业建筑的设计特点,要求控制各朝向的窗墙比为35%~20%。从而能够更好地确保工业建筑的通风条件和采风条件,从而在减少电能消耗的前提下,促进工业建筑节能的设计理念应用效益的不断进步。

#### 3.4 太阳能热水系统与建筑一体化技术

绿色建筑在能源的利用上,多依靠太阳能提供热能和电能,太阳能非常稳定可靠,且能够持续开发利用,重视对太阳能的利用,是发展绿色建筑事业的重要保障。例如,将太阳能集热器与建筑屋面、阳台、外墙有机结合,既丰富了建筑物形象,又避免了重复投资。太阳能与建筑一体化是未来太阳能技术发展的方向。太阳能热水系统与建筑一体化技术目前已经是成熟的技术,3~4年即可收回投资,非常适用于宾馆、医院、学生公寓等公共建筑和住宅,即使是高层住宅也有多种技术系统可供选择。

#### 3.5 地源热泵技术

地源热泵是一个广义的术语,它包括了使用土壤、地下水和地表水作为热源和冷源的系统,即地下土壤热交换器地源热泵系统、地下水热泵系统、地表水(湖水、河水、海水及污水)热泵系统。地源热泵供暖(冷)系统通过吸收大地的能量,包括土壤、井水、湖泊等天然能源,冬季从大地吸收热量,夏季向大地放出热量,再由热泵机组向建筑物供冷供热,是一种利用可再生能源的高效节能、无污染的既可供暖又可制冷的新型热泵空调供暖系统,可广泛应用于商业楼宇、公共建筑、住宅公寓、学校、医院等建筑物。

## 4 结语

工业生产是提高国民生活水平最重要的基础保障,不仅增强了我国社会经济效益,也解决了大量的就业问题。而绿色建筑设计理念又彻底改善了现下工业建筑在节能环保方面的弊端,体现了高效的建筑质量和健康的设计方式,使工业建筑更美观、更实用,从而为作业人员构建了良好的生产环境,促进了工业生产的长期发展。

#### 参考文献

- [1] 童伟.绿色建筑设计理念在工业建筑设计中的体现[J]建材技术与应用.2016(03)14-15.
- [2] 李阳春.绿色建筑设计理念在工业建筑设计中的运用[J]科技传播.2016(05)22-23.

# 轻型钢结构工业建筑设计探究

■ 张祎博 [建筑]

**关键词：**我国轻型钢结构产业经过一段时间的发展，取得了非常可观的成就，该结构体系出现的同时，也促进了建筑设计领域的发展，致使新的设计手法和建筑模式产生，特别是在工业建筑设计领域应用更为广泛。建筑设计人员也需要不断加强对轻型钢结构的了解，使得该结构可以更为良好地融入到建筑设计中去。本文就是对该内容进行深入分析，希望对相关人员有所启示。

**摘要：**轻型钢结构；工业建筑设计

依据工程使用性质的不同进行划分，建筑可分为民用建筑和工业建筑两种类型。轻型钢重量轻、强度性能较为良好，在实际建设施工过程中，只需要对结构构件进行简单装配，施工周期较短，受到了建筑设计人员的青睐，在工业建筑设计中应用越来越为广泛。对轻型钢结构工业建筑设计进行深入探讨是具有重要意义的，下面就对相关内容进行详细阐述。

## 1 轻型钢结构工业建筑的内容和特点

单层为主的实腹式钢架轻型钢结构的金属面板建筑，是最早出现的轻型钢建筑，后来因为轻型钢结构重量轻等众多优点，致使轻型钢结构在工业建筑设计中应用越来越为广泛。随着轻型钢结构体系的完善和发展，结构应用范围也在不断扩展。通过对轻型钢结构的特点与优势进行分析可以了解到，轻型钢结构工业建筑是在轻型焊接和高频焊接轻型钢等技术充分应用基础上产生的一种新型受力构件，构件在实际制作过程中主要是采用了单层和多层质地较轻、强度良好的隔离材料。

### (1) 现场施工速度较快，周期消耗较短

轻型钢结构工业建筑现场施工速度加快，主要是因为轻型钢结构较为简单，而且结构构件质地较轻。轻型钢结构体系在工业建筑设计中的应用，可以大幅度降低工业建筑工程建设周期消耗，缩减工业建筑工程建设成本投入，同时该结构体系技术要求不是很高，可以实现建筑的量化生产，工业建筑

工程施工效率很高。

### (2) 材料重量轻

轻型钢结构最为突出的特点就是结构自身重量较轻，这一特点也是该结构体系在工业建筑设计中应用越来越为广泛的重要因素。轻型焊接的H型钢是轻型钢结构建设中的应用的主要材料，这种用材料与工字钢、槽钢进行比对，不仅重量很轻，而且结构连接较为便捷，可以大幅度降低建设施工中的材料消耗，特别是对建筑地基承载力要求较低的工业建筑，这一特性更加突出。

### (3) 工业化程度较高

轻型钢结构与其他建筑结构进行综合比对，建筑构造整体较为简单，施工材料应用单一，所以轻型钢无论在安装使用还是在生产中，工业化程度都很高，在工业建筑中这点是非常重要的。

## 2 轻型钢结构在工业建筑设计的应用

### (1) 工业建筑中轻型钢结构的外墙体系

非承重墙是轻型钢结构内外墙的主要形式，组合墙是外墙体系普遍采用的方式，砌块墙一般在1~1.3m以下，彩色压型钢板在1.3m以上。镀锌或镀铝锌钢板压制成型压型钢板，可以分为大波和小波、横板和竖板，钢板的刚度和自身稳定性可以通过压制波形来提高。外墙施工的程序为：主钢构施工完毕后，在柱子上进行横向墙檩的安装，并根据柱子跨度的不同，会影响其檩条大小和疏密程度，将墙檩固定好后，挂上压型钢板，将超细玻璃丝绵放入墙板和墙檩之间。若要提高其美观度，可以把墙体骨骼系统包起来，并在墙檩内侧挂上一层内衬

作者简介：张祎博，男，高级工程师，2012年毕业于华中科技大学建筑学专业，现就职于航空工业规划飞机工程设计研究院。

钢板。在进行版型选择时,竖版的稳定性较好,更为经济,横板则比较美观大气。

现在很多厂房除了采用普通的压型钢板外,开始运用高复合板,也被称为三明治板,它是在两层压型钢板中加入高密度保温材料,然后压制而成。复合板可以做成墙檩,其对于钢板版型几乎没要求,波形板、压花板、平板都可以。这种板的保温效果不错,并且平整度高,大气且耐用,可以仿石材或仿铝板,虽然其价格要稍贵一些,但是经常被合资企业的建筑运用。开窗自由是轻型钢结构外墙的最大特点,因为墙面和柱子不是一体,所以墙面不会被柱子打断,在开窗时不会受到影响,这种方式为工厂的外墙设计提供了优秀的基础。

## (2) 工业建筑中的轻型钢结构的屋面设计

### 1) 坡度的选择

屋面的坡度较大是一般工业建筑的特点。这种形式有利于屋面的排水,排水流速会受坡度的影响,坡度越大,流速越大,会造成溅水现象。反之,减小屋面坡度,会使排水速度变小,水流速度过慢会造成屋内积水,使压型板的腐蚀程度加快,无法长期使用。建设单位还要根据相关的经济要求选择屋面坡度,并以施工要求为参考依据,如屋面坡度较小时,可以适当减小材料的用量,一次节约成本,而施工的难度会随着屋面坡度的变大而增加,影响施工的质量。

### 2) 金属压型钢板屋面构造设计

很多轻型钢在满足采光、通风等方面的需求后,可以在屋面上开一定的空洞或是做一些通风和防水设计。所以,注重屋面的开洞、通风以及防水处理是金属压型钢板屋面设计的重点。在屋面的开洞设计中,可以在横量上插入一根圆形钢管,这是对于那些孔直径或边长较小的孔洞,如果出现泛水现象,还可以在东风处涂上硅酮胶进行防水。对于一些孔直径较大的孔洞,可以将底座和泛水板设计成一体进行处理,以此防止屋面受到积水的影响。

## 3 轻型钢结构工业建筑设计的优势

### (1) 安全

防腐蚀、防火、抗震、抗风、防雷和防暴是轻型钢结构工业建筑的安全标准,通过对轻型钢在工业建筑的应用,可以得出安全设计在轻型钢结构工业建筑设计中占有重要的地位。如工业建筑中的防火隔墙,通过校对施工图纸和验收工程中看到过许

多外墙屋盖与内隔墙间的空缝,需要运用有效的封堵措施。封堵材料是将防火涂料刷在钢板或运用防火板,根据该防火隔墙上的防火门窗的实际情况来确定耐火极限,构件间的缝隙应满嵌防火密封胶。在工业建筑结构设计工作中,结构设计的安全性、耐久性及实用性是设计需要遵循的基本性准则,为此就要求设计工作者需严格的按照有关的设计规章制度来工作,详细了解施工工艺顺序,全方位地对其影响因素进行考虑,对建筑结构进行科学优化,最终达到建筑技术经济性能的有效统一。

### (2) 经济

控制轻型钢结构工业建筑经济的最佳手段是优化建筑的设计方案。根据生产特点和企业规定进行优化设计,这其中包括项目地点的选择、总图位置的规划、防火分区的划分、建筑材料的挑选、建筑的耐火等级和耐久年限等方面。除了满足结构上多个方案的比较、计算出最优柱距和断面之外,还要考虑建筑物的外形是否美观,保温隔热能力是否达到相关标准,并使用钢量尽量减少,使檩距增大。还可以通过配合建筑、水、工艺、暖通等专业的要求适当增加吊挂荷载,使用钢量减小。

### (3) 美观

形体简洁、规格统一、构建类型较少、体量较大是轻型钢结构工业建筑的特点,所以轻型钢结构应根据自身特色,最大限度地减少构架,另外其还能对避雷针、企业名称起到画龙点睛的作用。

## 4 结语

相关人员在使用轻型钢做工业建筑设计时,要严格遵守相关规定和设计标准。随着轻型钢用量的加大以及轻型钢结构设计的日益成熟,设计师的设计理念也要跟进时代潮流,这样才能使设计出结构合理、环保经济、并且能够达到经济建设需求的建筑。

## 参考文献

- [1] 郑建伟.有关多层钢结构工业厂房设计分析与探讨[J]. 中国建筑金属结构. 2013(24)
- [2] 陈东.门式刚架轻型钢结构工业厂房最优柱距研究分析[J]. 城市建筑. 2013(02)
- [3] 黄带好.工业厂房设计中轻型钢结构的应用[J]. 硅谷. 2011(10)
- [4] 吴柏新,郭敏慧.对当代工业建筑设计的阐述[J]. 科技风. 2011(15)

# 《航空工程建设》2018年第1~6期文章索引

## 2018年第1期 总第135期 目录

- 02 基于智能排产的生产设备核算方法研究 张 波
- 06 基于Plant Simulation的航空复合材料生产线工艺布局仿真建模及评估研究  
崔 晶 李 慧
- 12 航空发动机用聚酰亚胺树脂基复合材料衬套研究进展  
王云飞 张 朋 刘 刚 肇 研 包建文
- 19 我国生物医药产业园区建设研究 曹雁林
- 25 工程总承包项目招标控制价编制研究  
——基于项目合规性视角 王玉平
- 32 南昌某预应力管桩沉桩问题及处理 汤红军 张 虎 金来建
- 36 基于大数据工程造价估算扩大清单法研究 孟 繁 樊自力 王立君
- 43 基于中美规范的混凝土预埋件抗剪设计对比及有限元分析 郭 馨 贾 洁
- 48 AOT光催化灭菌设备在建筑给排水中的应用 张宏扬 李力军
- 51 某技术综合楼给排水及消防设计难点分析及体会 李鹏杰
- 56 热力站无人值守自动化控制系统 金晓婷 王世忠
- 59 某严寒地区综合医院感染病房楼通风空调供暖设计 常文权 孟凡兵

## 2018年第2期 总第136期 目录

- 02 基于CFD的掺混引射器气动性能分析 曹海峰 李雪峰 赵 龙
- 08 机库附楼建设形式对工艺的影响 杨益嘉 赵景怡 郑应平
- 12 航空发动机热试车试验系统软件的采集控制设计  
罗 汉 刘 兵 李炎华 周 剑 樊 祺
- 16 基于ASAM ODS的发动机试验数据库管理模型设计 牟维明 刘 兵 周 剑

|    |                                    |     |     |     |     |
|----|------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| 20 | 航空景观的设计语言<br>——荆门爱飞客小镇航空极客公园景观设计实践 |     |     |     | 殷丽燕 |
| 26 | 民航建设项目设计概算编制问题及应对措施                |     |     | 亢良兆 | 李锐娟 |
| 29 | 垃圾焚烧项目投资决策阶段造价控制研究                 |     |     | 孙丽莹 | 韩爱华 |
| 33 | 浅埋暗挖施工方案及造价指标分析                    |     |     | 赵智兴 | 韩爱华 |
| 37 | 结构抗震设计研究——以内蒙古美术馆为例                | 徐 瑞 | 金来建 | 樊钦鑫 | 徐志坚 |
| 43 | 基于航空公司视角的我国航空货运市场分析                |     |     |     | 董 磊 |
| 47 | 雨水控制与利用技术在新机场海绵城市建设中的应用            |     |     | 闫 夷 | 陈洁如 |
| 51 | 某工程节能改造分析                          |     |     | 祖春洋 | 肖 武 |
| 56 | 暖通空调通风系统设计——以某国际机场公务机楼改造工程为例       |     |     | 李建民 | 张海桥 |
| 61 | 厦门某办公楼暖通设计工程                       |     |     | 刘雪源 | 肖 武 |

### 2018年第3期 总第137期 目录

|    |                                       |     |     |     |     |     |
|----|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 02 | 飞机装配的数字化与智能化探讨                        |     |     | 周 旭 | 徐学民 | 李晓阁 |
| 04 | 国内物流无人机配送体系模式研究                       |     |     | 曹珺雯 | 佟京昊 | 曹雁林 |
| 08 | 预应力全索系整体张拉结构设计研究<br>——以盘锦体育中心体育场项目为例  |     |     |     |     |     |
|    |                                       | 葛家琪 | 刘邦宁 | 王 树 | 张国军 | 张曼生 |
|    |                                       |     |     |     | 黄季阳 | 张奇铭 |
| 16 | 中航资本大厦超高层结构抗震设计                       |     |     |     |     |     |
|    |                                       | 樊钦鑫 | 杨超杰 | 金来建 | 谢 军 | 徐志坚 |
|    |                                       |     |     |     | 付锦龙 | 冯 丹 |
|    |                                       |     |     |     |     | 李 令 |
| 25 | EPC模式下工程变更对造价影响分析研究<br>——基于设计单位风险承担角度 |     |     |     | 周雅飞 | 王玉平 |
| 30 | 大型电动隔音门设计                             |     |     |     | 周天送 | 郗 方 |
| 34 | 教育建筑的供配电设计方案<br>——以云南民航学院为例           |     |     |     | 郑 迪 | 陈泽毅 |
| 40 | 现场总线技术在数字化垃圾焚烧电厂设计中的研究分析              |     |     |     | 王政一 | 苏 丹 |
| 46 | 蒸汽锅炉安全阀排汽管道的设计                        |     |     |     | 鲍立斌 | 吴 坤 |
| 48 | 蒸汽锅炉房除氧器用减压阀选型                        |     |     |     | 赵光耀 | 安玉生 |
| 51 | 疫苗分包装车间工艺设计中需要注意的问题                   |     |     |     | 伍雅欣 | 张 垚 |
| 54 | BIM技术在某工业厂房暖通系统设计中的应用与分析              |     |     |     | 王 洲 | 李晓谊 |
| 58 | 上海地区某办公楼防排烟系统设计                       |     |     |     | 刘 茜 | 张晓莉 |
| 62 | 某固体制剂生产厂房洁净空调设计                       |     |     |     | 程 鹏 | 董秀芳 |

## 2018年第4期 总第138期 目录

- |    |                              |     |     |
|----|------------------------------|-----|-----|
| 02 | 光纤法—珀腔声传感器温度特性研究             | 王 娜 | 程 进 |
| 09 | 基于SimEvents的智能排产验证仿真模型框架研究   |     | 张 波 |
| 14 | 生产线工艺仿真标准试验验证及服务平台设计研究       | 张 超 | 李 慧 |
|    |                              | 孙元亮 | 马文茂 |
| 19 | 基于CFD的试车台进气加温装置气动性能分析        | 曹海峰 | 李雪峰 |
| 24 | 某高烈度区中小学教学楼消能减震设计            | 冯 丹 | 徐志坚 |
|    |                              | 杨超杰 | 陈丽颖 |
|    |                              | 付锦龙 |     |
| 30 | 临空经济下航空货运产业需求分析<br>——以重庆机场为例 | 王 琅 | 郭璟坤 |
| 36 | “五态融合”理念在荆门通航小镇极客公园的实践       |     | 殷丽燕 |
| 43 | 抗震支吊架的地震作用计算分析及计算方法对比        | 赵 伟 | 闫 军 |
|    |                              | 李晓璐 |     |
| 48 | 抗震支吊架设计概述                    | 李晓璐 | 闫 军 |
|    |                              | 赵 伟 |     |
| 51 | EPC项目中道路结构设计<br>——以贵州某项目为例   | 王 哲 | 杜慧英 |
| 56 | 某园区EPC建设过程中雨水排水设计            |     | 李志杰 |
| 58 | 关于生产设备“二次配”施工安全管控的研究         |     | 尹 蕊 |
| 60 | 关于建筑屋面防水设计中易出现漏水问题的探讨        | 王 炜 | 裴 燕 |
| 62 | 通风空调系统自控技术在建设工程中的应用          |     | 齐金生 |

## 2018年第5期 总第139期

- |    |                          |     |     |
|----|--------------------------|-----|-----|
| 02 | 不同电镀清洗方式节水效果分析计算         | 王 虹 | 余 璐 |
|    |                          | 张 萌 |     |
| 05 | 实时数据驱动的航空机加生产线资源优化配置机制研究 | 侯康伟 | 张 岩 |
| 12 | 北京新机场某培训楼消能减震设计          | 杨会杰 | 张富华 |
|    |                          | 赵伯友 |     |
| 17 | 深圳公务机二期机库抗震超限分析          | 刘 也 | 胡 好 |
|    |                          | 周 青 | 郭 鹏 |
| 24 | 打造地方特色的小型航站楼建筑方案设计       | 张 楠 | 黄有曦 |
| 28 | 某螺旋桨滑流气源系统控制方法           |     | 史金春 |
| 32 | 火灾自动报警系统设计要点探讨           |     | 吴冠男 |

|                       |         |     |
|-----------------------|---------|-----|
| 37 工程造价指标数据库系统研究      | 王 旭 王玉平 | 陈文昭 |
| 47 供热管网工程施工质量控制要点分析   |         | 于 颢 |
| 49 供热直埋管道固定支架受力计算     |         | 王双成 |
| 52 机场跑道消防给水设计探讨       | 付 饶     | 陈洁如 |
| 57 上海某综合性建筑生活热水热源选择分析 |         | 赵 洁 |
| 59 排产的概念与算法选择         |         | 张 波 |

### 2018年第6期 总第140期

|                                       |         |         |
|---------------------------------------|---------|---------|
| 02 NASA风洞测试需求预测方法评述                   |         | 张 波     |
| 05 航空产业园选址方法研究                        | 闫 慧 郑应平 | 王仲奇     |
| 12 关于X射线无损探伤间的工艺设计研究                  | 王 虹 张 萌 | 姜煜霞     |
| 14 以中国特色先进国防科技工业体系建设助力构建一体化的国家战略体系与能力 |         | 佟京昊 杨 宇 |
| 20 煤层气开发集气站余热综合利用系统                   |         | 赵 晨     |
| 27 EPC项目报价方法及影响因素研究                   | 钱海静     | 王玉平     |
| 33 现代化工业厂房弱电系统设计要点分析                  |         | 吴冠男     |
| 37 某燃油实验室消防设计                         |         | 赵 洁     |
| 39 城市综合管廊污水入廊设计研究                     | 陆新生     | 贾宇辉     |
| 44 气候环境试验室复杂地坪结构的计算分析                 |         | 裴永忠     |
| 50 考虑悬挂骨架耦合作用的大跨度结构抗震分析               | 裴永忠     | 王 亮     |
| 57 绿色建筑设计理念在工业建筑设计中的应用研究              | 王 炜     | 裴 燕     |
| 59 轻型钢结构工业建筑设计探究                      |         | 张祎博     |



## 电子工程设计研究院

电子工程设计研究院（以下简称“电子院”）以航空工业机载产品研发、生产厂房设计为基础，全面承接航空工业航电、机电板块的咨询设计业务，在电子类厂房、数据中心等领域拥有雄厚的设计实力。

电子院以航空工业为根基，在航空、航天、兵器、船舶、新能源等领域不断拓展，先后完成了航空工业“十五”、“十一五”和“十二五”能力建设规划，以航空“十一五”能力建设规划为指导，完成了所有平台的建议书项目，以航空“十二五”能力建设规划为指导，完成了建议书的申报工作。

航空市场业绩：雷电院苏州生产试验基地项目获得住房和城乡建设部绿色建筑和低能耗建筑“双百”示范工程称号及苏州市建筑节能示范项目称号，《人民日报》曾于2010年10月23日刊文对项目进行了全面介绍。中航工业无锡发动机控制工程中心103号电子装配厂房获得2015年度工业工程设计奖（综合类），104号系统试验厂房获得2014年度工业工程设计奖（综合类）及2015年度航空工业优秀工程勘察、设计奖。

航天市场业绩：航天二院生产基地项目在航天系统内设计院无法完成专业化整合任务的情况下，经上级有关部门推荐，业主主动联系，电子院与业主建立合作关系，自此拉开了电子院进入航天市场的序幕。电子院在航天系统口碑良好，颇具影响力。其中，航天九院永丰基地项目在航天系统设计院已经开展工作的前提下，电子院通过公开竞标，最终获得项目，取得业主的全面认可，确定了我院在航天系统的地位和口碑。

民用市场业绩：中航锂电（江苏）产业园建设项目建成后将形成125亿瓦时的锂电池生产能力。项目采用了包含工艺设备的EPC总承包模式，为快速、高效形成生产能力提供可靠保障。民用市场项目还包括：深圳贝特瑞新能源科技有限公司贝特瑞（江苏）科技园项目，中航锂电技术研究院中试基地建设项目，中航锂电绿色电源科技孵化中心项目，中关村航空科技园一期项目和吴江行政中心项目等。

电子类业绩：电子院完成了神州计算机系统机房及配套工程项目，该项目充分体现了公司具备踏入大型计算中心市场相对较高市场的准入门槛的能力。该计算机系统通过“使用一代、预研一代”，不断滚动更新，努力保持国际领先水平。

近年来，电子院从项目前期咨询和前期控制着手，基于国家竣工验收要求指导项目全过程实施的“保过能力”，为业主提供工程总承包等全价值链价值集成服务，为业主投资建设保驾护航。



2018年第6期（总第140期）  
2018年12月出版



中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所洛南新区新建试制大楼（试验厂房）