

# 航空工程建设

AERO-INDUSTRY ENGINEERING CONSTRUCTION

2021年第5期 总第157期



主管单位 中国航空工业集团有限公司  
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9921-L0337号

## 佛山南海生活垃圾焚烧发电厂提标扩能工程

**项目名称：**佛山南海生活垃圾焚烧发电厂提标扩能工程

**建设单位：**佛山市南海绿电再生能源有限公司

**设计单位：**航空工业规划总院市政工程设计研究院

本项目位于广东省佛山市南海区狮山镇，国内知名的广东省佛山市南海固废循环产业园南部，总建筑面积为3.2万 $m^2$ ，日处理生活垃圾1500吨，总投资约9.7亿元。项目执行欧盟2010最严排放标准，彻底实现了南海区垃圾零填满、零外运，打造出亚洲一流的环保科技教育基地。

设计从场地出发，充分考虑到场地的局限性，与一期、二期工程协调并创造性地利用其原有条件。厂房整体体块追随功能，在细节上，灵感来自闪耀的钻石光芒，运用切割整合、不同材料巧妙拼凑的手法，使立面丰富，让建筑在光影折射下展现其独特魅力。

在主厂房颜色选择上，厂房下部选用深灰色，上部选用灰白色，局部选用橘黄色跳脱点缀。为消除120m高烟囱带来的压迫感及巨大尺度感，在设计标高81.5m处一分为二，交接处装饰橘黄色条带，如闪电定格于烟囱之上。

为呼应城市气质，主厂房在造型设计上竭力打造科技、秩序、生态等多位一体的工业厂房。在技术实现上，建设方、设计方、施工方等通力合作，在保证工期和效益的同时，兼顾了建筑师对高品质和高完成度的要求。



## 中国航空工业虚拟现实产业联盟亮相 2021世界VR产业大会

10月19日，由工业和信息化部 and 江西省人民政府共同主办，主题为“VR让世界更精彩——融合发展创新应用”的2021世界VR产业大会云峰会在南昌开幕。

航空工业党组成员、总会计师张民生带队出席大会，中国航空工业虚拟现实产业联盟以实物参展大会同期举办的2021 VR/AR产品和应用展览会。航空工业光电所、航空工业上电、华航文化、拓普瑞思、中航联创等5家理事单位携40余项展品参展，涵盖视景仿真系统、汽车显示、联合空战训练系统、航空虚拟维修培训、航空科普、军事仿真等多个虚拟现实应用领域。另外，中国航空工业虚拟现实产业联盟还首次设置了创新展区，展示在产业孵化领域的最新科创产品。

（信息来源：《中国航空报》）

## 《2030年前碳达峰行动方案》落地

国务院日前印发《2030年前碳达峰行动方案》，聚焦2030年前碳达峰目标，对推进碳达峰工作作出总体部署。

方案明确：到2025年，非化石能源消费比重达到20%左右，单位国内生产总值能源消耗比2020年下降13.5%，单位国内生产总值二氧化碳排放比2020年下降18%，为实现碳达峰奠定坚实基础。到2030年，非化石能源消费比重达到25%左右，单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降65%以上，顺利实现2030年前碳达峰目标。

根据要求，城乡建设碳达峰行动重点任务有四项：

一是推进城乡建设绿色低碳转型。要求推动城市组团式发展，科学确定建设规模，控制新增建设用地过快增长。倡导绿色低碳规划设计理念，增强城乡气候韧性，建设海绵城市。推广绿色低碳建材和绿色建造方式，加快推进新型建筑工业化，大力发展装配式

建筑，推广钢结构住宅，推动建材循环利用，强化绿色设计和绿色施工管理。加强县城绿色低碳建设。推动建立以绿色低碳为导向的城乡规划建设管理机制，制定建筑拆除管理办法，杜绝大拆大建。建设绿色城镇、绿色社区。

二是加快提升建筑能效水平。要求加快更新建筑节能、市政基础设施等标准，提高节能降碳要求。加强适用于不同气候区、不同建筑类型的节能低碳技术研发和推广，推动超低能耗建筑、低碳建筑规模化发展。加快推进居住建筑和公共建筑节能改造，持续推动老旧供热管网等市政基础设施节能降碳改造。提升城镇建筑和基础设施运行管理智能化水平，加快推广供热计量收费和合同能源管理，逐步开展公共建筑能耗限额管理。到2025年，城镇新建建筑全面执行绿色建筑标准。

三是加快优化建筑用能结构。要求深化可再生能源建筑应用，推广光伏发电与建筑一体化应用。积极推动严寒、寒冷地区清洁取暖，推进热电联产集中供暖，加快工业余热供暖规模化应用，积极稳妥开展核能供热示范，因地制宜推行热泵、生物质能、地热能、太阳能等清洁低碳供暖。引导夏热冬冷地区科学取暖，因地制宜采用清洁高效取暖方式。提高建筑终端电气化水平，建设集光伏发电、储能、直流配电、柔性用电于一体的“光储直柔”建筑。到2025年，城镇建筑可再生能源替代率达到8%，新建公共机构建筑、新建房屋屋顶光伏覆盖率力争达到50%。

四是推进农村建设和用能低碳转型。要求推进绿色农房建设，加快农房节能改造。持续推进农村地区清洁取暖，因地制宜选择适宜取暖方式。发展节能低碳农业大棚。推广节能环保灶具、电动农用车辆、节能环保农机和渔船。加快生物质能、太阳能等可再生能源在农业生产和农村生活中的应用。加强农村电网建设，提升农村用能电气化水平。

对于政策保障，方案要求，建立统一规范的碳排放统计核算体系，健全法律法规标准，完善经济政策，建立健全市场化机制。

（信息来源：《建筑时报》）

## 贵阳市生活垃圾焚烧发电项目

建设地点：贵州省贵阳市

设计单位：航空工业规划总院市政工程设计研究院

建设情况：建设中

项目位于贵州省贵阳市白云区麦架镇摆茅村，用地环境优美、风景秀丽，西临猫跳河，东侧临近白修线，交通便捷。项目总建筑面积4.7万m<sup>2</sup>，日处理生活垃圾2000吨，建设3条750吨/天机械炉排炉焚烧生产线，配套3台中温次高压余热锅炉、2台30MW发电机组及相应的公共辅助设施。

本项目结合周边起伏连绵的山体以及蜿蜒流淌于贵阳千年不息的南明河，塑造了如龙舟破浪般优美的建筑曲线和流转蜿

蜒的厂前区景观。二者自成一體，赋予了整个厂区动态的曲线美感。在深化设计中，更参考了苗族银饰所特有的龙、凤等图腾意象，抽象提取了其银角、鱼尾等曲线元素，巧妙地运用到建筑的造型中，不仅与周边地形地势形成良好的对话，更为贵阳市添加了一道独具特色的弧线美。

项目建成后，将极大缓解城市发展造成的“城市病”，为贵阳市的城市发展提供有效保障。在实现工艺流程稳定高效的同时，通过安全、卫生、美观、绿色等多方面的展示，给市民提供循环经济的环保教育基地，成为惠及每一个贵阳市民的民生工程，为以后其他类似项目的顺利落地提供了有力支撑。





## 河南省平顶山市石龙区石龙河生态治理项目

建设地点：河南省平顶山市

设计单位：航空工业规划总院市政工程设计研究院

建设情况：已建成

项目位于河南省平顶山市石龙区石龙河流域，河道总长约12km。本设计内容要求在满足防洪前提下，进行流域生态综合治

理，包括但不限于景观美化、河道治理、生态提升、植被种植、水利工程及安装相关配套设施，把生态保护放在优先位置，加强生态景观规划和建设，推进山水林田湖草整体保护、系统修复、综合治理。

本项目打造出平顶山市石龙区生态郊野公园目的地，成为展现城市特色、传达地域文化、塑造片区形象窗口的重要载体，引领石龙区郊野休闲游憩重要功能的绿色空间。

## 沈阳市大辛生活垃圾焚烧发电项目

建设地点：辽宁省沈阳市

设计单位：航空工业规划总院市政工程设计研究院

建设情况：已建成

本项目位于辽宁省沈阳市沈北新区财落街道，日处理生活垃圾3000吨，年处理垃圾量99.9万吨。厂区总用地面积11.5万m<sup>2</sup>，总建筑面积约6.59万m<sup>2</sup>。

沈阳是东北地区的核心城市之一，气候分区属于严寒地区。建筑外立面设计结合地域和气候特点，通过设计手法的重复和循环变化，给人以单纯不单调的震撼之感，以方正、完整的大体量横向错落堆叠，呈上窄下宽的稳定形态，使之成为历史轴和时间轴的继承

与延续。同时，设计在充分尊重工艺体量的基础上，整合重构，突出了工业建筑的个性和绿色环保理念。

主厂房以白色金属板为主，局部配合玻璃幕墙，点缀以条窗，呼应了环保绿色建筑干净节能的特点。灰色金属板和玻璃幕墙为辅，强调沈阳城市的沉稳、厚重。屋顶天窗延续底座部分的竖向线条风格，将多个屋面和立面串联成一体。通过点、线、面的组合，形成简化外观、重点突出的整体形象。竖向、横向条形窗和上下跳跃的装饰带活跃整体形象、与厂前广场流动、多变的水景铺装遥相呼应。从绿色建筑特点、前卫的时尚感，分别加以描述，设计方案简洁、大气、适用，并充满了时代精神，实现了工业建筑“去工业化”，以人为本的特点。





## 宁夏回族自治区石嘴山市生活垃圾综合处置项目

建设地点：辽宁省沈阳市

设计单位：航空工业规划总院市政工程设计研究院

建设情况：建设中

项目位于宁夏回族自治区石嘴山市大武口区长胜煤炭集中加工区，石嘴山市循环经济产业园（一期）内，西北侧紧邻国道G110（旧），西南侧紧邻姚汝路，总建筑面积为3.6万 $m^2$ 。设计包含生活垃圾处理1000吨/天+炉渣处理300吨/天+污泥处理120吨/天+高浓度污水处理400 $m^3$ /天，是一个以垃圾焚烧发电厂为核心的，综合型、科技型的循环经济产业园。

本项目的设计理念为：“建瓴高屋”，喻指把瓶子里的水从高层顶上倾倒的态势，比喻居高临下，不可阻遏。这与当今环保时代的行业发展如同一致，与坡屋面的建筑形式相吻合。本方案在方正的工艺体量

基础上，将垃圾池、焚烧间的屋面进行弧线处理，将高大厂房与城市周边的天际线协同考虑，并呼应了具有北方特色的传统坡屋面的建筑形式。

烟囱在垂直方向上通过金属幕墙板的弧线处理，与水平方向上的屋面弧线纵横交叉组合，在柔化了建筑造型的同时，丰富了垃圾焚烧发电类建筑的去工业化效果。

在立面处理上，巧妙通过红色格栅的粗细组合变化与远方的贺兰山起伏所呼应，为城市增加一道亮丽的红色；同时，底面大片的玻璃幕墙与竖向金属格栅的组合幕墙也展现出了现代工业建筑的安全、高效和西北地区大气的地域情怀。

## 标准名称: 四川省建筑地基基础检测技术规程

标准编号: DBJ51/014-2021  
发布日期: 2021-06-30  
实施日期: 2022-01-01  
公告号: 川建标发〔2021〕163号  
发布部门: 四川省住房和城乡建设厅

## 标准名称: 建筑工程消能减震技术标准

标准编号: DB13(J)/T8422-2021  
发布日期: 2021-06-28  
实施日期: 2022-01-01  
公告号: 2021年第87号  
发布部门: 河北省住房和城乡建设厅

## 标准名称: 给水与排水工程施工安全技术规程

标准编号: DB11/T 1872-2021  
发布日期: 2021-06-28  
实施日期: 2021-01-01  
发布部门: 北京市住房和城乡建设委员会,北京市市场监督管理局

## 标准名称: 福建省应急建筑安全技术标准

标准编号: DBJ/T13-357-2021  
发布日期: 2021-06-24  
实施日期: 2021-08-01  
公告号: 闽建科函〔2021〕18号  
发布部门: 福建省住房和城乡建设厅

## 标准名称: 被动式超低能耗公共建筑节能设计标准

标准编号: DB13(J)/T8360-2020 (2021年版)  
发布日期: 2021-06-23  
实施日期: 2021-07-01  
公告号: 2021年第82号  
发布部门: 河北省住房和城乡建设厅

## 标准名称: 建筑装饰装修工程施工安全管理标准

标准编号: T/CBDA 54-2021  
发布日期: 2021-06-17  
实施日期: 2021-10-01  
公告号: 中装协〔2021〕52号  
发布部门: 中国建筑装饰协会

## 标准名称: 装配式建筑评价标准

标准编号: DBJ/T36-064-2021  
发布日期: 2021-06-11  
实施日期: 2021-08-01  
公告号: 赣建科设〔2021〕16号  
发布部门: 江西省住房和城乡建设厅

## 标准名称: 泡沫混凝土自保温砌块应用技术标准

标准编号: DBJ/T36-065-2021  
发布日期: 2021-06-10  
实施日期: 2021-08-01  
公告号: 赣建科设〔2021〕14号  
发布部门: 江西省住房和城乡建设厅

## 标准名称: 湖南省建筑防水工程技术标准

标准编号: DBJ43/T373-2021  
发布日期: 2021-06-04  
实施日期: 2021-11-01  
公告号: 湘建科〔2021〕95号  
发布部门: 湖南省住房和城乡建设厅

## 标准名称: 建筑幕墙工程技术标准

标准编号: DB32/T 4065-2021  
发布日期: 2021-06-04  
实施日期: 2021-12-01  
发布部门: 江苏省市场监督管理局,江苏省住房和城乡建设厅

(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)  
 卜国磊 王玉平 王锋  
 王笃礼 刘景灏 李纲  
 肖武 张卫才 张立峰  
 陈阳 陈丹瑚 金来建  
 黄春晖 贺宏斌 葛家琪  
 傅绍辉 谢启良 谢哲明

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 北京华美昌信印刷设计有限公司  
 发送对象 公司内部及本系统内部  
 印刷日期 2021年10月  
 印数 1500册  
 电话 (010)62038235  
 传真 (010)62038297  
 封面 佛山南海生活垃圾焚烧发电厂提标扩能工程

# CONTENTS

## 目录 2021年第5期 总第157期

### 航空能力建设

02 新型举国体制下“一体化”的国防科技工业建设思考 佟京昊

### 研究与探讨

06 预应力装配式高耸风电塔架受力性能研究

张国军 张曼生 黄威振 葛家琪

16 粘滞阻尼器支撑墙受剪状态分析 郑帅群 郭鹜 贾洁

20 某理化实验室楼面活荷载分析 马若辰 王辰

24 基于政策规定下的建设工程合同付款约定分析及优化建议

邵飞

34 锂离子电池厂房的真空系统设计探讨 齐心 赵磊 孟凡兵

39 包含工艺设备的工程总承包项目二次配工程管控技术研究

詹翔

42 房屋建筑工程大体积混凝土的施工技术分析 于海侠

45 暖通施工中常见问题质量控制 程小良

48 基于事故灾害类型的航空应急救援机型适用性分析 杨沫

### 工程设计

51 某危险废物处置园通风净化设计 孙亚峰 肖武 王乃天

57 南方某机场三期扩建工程空调冷源方案分析 梁乃正 孟凡兵

62 航食配餐楼暖通节能设计的一些思考 申剑 卢洪 朱巍

# 新型举国体制下“一体化”的国防科技工业建设思考

■ 佟京昊 [工艺]

**摘要:** 本文通过回顾我国国防科技工业的发展和成绩,提出新型举国体制以遵循科学的发展规律和与充分发挥市场机制为根本特点,阐述了现阶段我国国防科技工业发展所面临的调整方向。

**关键词:** 国防科技; 科技企业; 科技工业

“十四五”规划纲要提出,“健全社会主义市场经济条件下新型举国体制”。2020年12月召开的中央经济工作会议提出,“要发挥新型举国体制优势”。举国体制是我国“集中力量办大事”的体制优势,也是我国社会主义制度的根本优势之一,但是这一体制优势如果利用不好,也可能成为劣势。而新型举国体制,就是在尊重事物发展科学规律的基础上,将市场机制充分运用于举国体制之中,实现有为政府和有效市场的共同作用,充分发挥“集中力量办大事”这一体制优势。

我国改革开放40多年实践已经证明,社会主义举国体制的资源调动优势和市场机制对资源有效配置的优势并不矛盾,而是可以实现相互补充,这也是新型举国体制构成的实践基础,也必将成为新时代中国特色社会主义制度的根本优势之一。

回顾我国国防科技工业的发展和成绩,可

以说主要得益于举国体制下对行业的支持。国防科技工业,本身使命就是通过集成高科技工业各领域的最新进步,形成先进武器系统,提升军事斗争致胜能力。国防科技工业有着资源投入大、技术集成领域广、系统性强、尖端技术竞争激烈的根本特征,未来要发展好,必然还是要依靠新型举国体制的支持。

如前所述,区别于过去的举国体制,新型举国体制以遵循科学的发展规律和与充分发挥市场机制为根本特点。这也是我国武器装备发展体制和国防科技工业改革必须要随之调整的方向。目前,国防科技工业发展与习近平总书记提出的“实现一体化的国家战略体系和能力”这一目标差还距很大,其中一些攸关改革调整的关键性问题还没有说清论清,特别是以下两种观点,目前在行业内外还很有市场。

一个观点是可以墨守成规。这种观点认为:国防科技工业领域是个特殊的领域,有着自身的发

作者简介:佟京昊,男,高级工程师,1997年毕业于北京航空航天大学工艺专业,现就职于中航建设综合规划研究院。

展特点。我国国防科技工业在计划经济时代取得了“两弹一星”为代表的一系列巨大成就，事实证明传统的发展方式可以满足国家国防建设需要，因此不需要进行大的改革调整。这种观点无视了快速变化和发展的国际技术与地缘政治环境，也忽视了我国国防科技工业建设当前面临的紧迫任务和发展实际。我国已经经历了长达40年的和平发展时期，大量新型武器装备缺乏实战检验。而在此期间，世界大战模式已经伴随技术的突飞猛进发生数次大规模的演变。目前，以美国为代表的世界军事强国正在将人工智能、基因工程等新型技术与机械装备技术发展深度融合，通过更新武器装备不断开拓出新的不对称战法。其中，马赛克战理念的提出更是颠覆掉了传统技术——装备——战法的发展逻辑，打破了以武器装备为作战单元的体系构建模式，使技术进步与战法演进的关系更加紧密。从大体系上系统的重构未来战场环境，对我国武器装备战场制胜能力提出重大挑战。而我国国防科技工业几十年来一直以机械装备工业行业作为建设主体，在人工智能、先进半导体、基因技术、新型材料与新能源技术等新兴技术领域存在明显短板，客观上的确难以再独立满足我国国防建设对先进武器装备的需求。而这种对战场环境变化和新兴技术进步响应缓慢的现状反映出的是旧举国体制下国防科技工业发展模式存在的诸多固有顽疾，必须要通过建设适应新型举国体制的全新发展方式加以克服。

另一个观点是应该另起炉灶。这种观点认为：我国国防科技工业体系封闭发展几十年，行业内利益链条错综复杂，壁垒森严。因此，传统国防科技工业体制内的企业是无法自行克服利益羁绊，摆脱一直赖以生存的封闭发展方式。同时，我国社会上其他科技工业部门和大量民营企业在改革开放后，经历了数10年市场竞争的洗礼，实现了快速发展，在半导体、信息化、人工智能、生物技术、能源技术等新兴领域技术工业实力已超越传统国防科技工业。因此，不如另起炉灶，以立代破，在传统国防科技工业行业之外建设一套武器装备供应体系，再推动国防科技工业改革。这种观点看到了当前改革面对的困难和复杂性所在，但是低估了国防科技工业建设的自身复杂性。虽然各新兴领域尖端技术在武器装备发展中的作用日益重要，但机械装备工业仍处于技术工业集成的核心位置，最终大量高科技还是要通过装备工业实现产品化。即便是在当前国家科技工业体系中，国防科技工业仍是我

国技术链和产业链最为完整、最具系统性的科技工业体系主体，在诸多技术领域拥有国内领先的基础设施和核心人才。而且我国国防科技工业发展面临的一些关键性问题，在民用科技工业领域也广泛存在。正是这些问题造成了我国工业产品，高端缺乏、低端过剩；专业化技术企业普遍缺乏国际竞争力；产业链关键环节受制于人等现象，也是我国要利用新型举国体制，攻关重要核心技术，打通国内大循环，推进供给侧改革和产业结构调整无法回避的问题，必须正视并加以解决。

综上所述，以上两个观点各自看到了我国国防科技工业发展的一些情况和问题，但是对于一体化的国家战略体系和能力的建设目标，对于高新技术工业发展的客观规律和国家科技工业能力建设工作的系统性缺乏全面认识，最终都是没有办法实现通过提升国家科技工业体系能力保障武器装备与世界先进国家相比的先进性和竞争性，也就无法满足国家战略安全对武器装备发展的客观需求。

新型举国体制是将社会主义国家意志在遵循科学发展规律的前提下，利用市场机制等手段加以贯彻的发展体制。要充分发挥好、利用好，就必须对科技工业和武器装备发展的客观规律和现实需求有客观、科学的认识。因此，要在国防科技工业建设中充分融入到新型举国体制优势中，现阶段，科学、客观的认识我国国防科技工业发展面临的几个调整尤为重要。

首先，要认识到我国国防科技工业必须要完成要素驱动发展向创新驱动发展的调整。所谓要素驱动，是指从主要依靠各种生产要素的投入（比如说土地、资金、劳动力等）来促进产业发展和经济增长的发展方式。这种发展方式一般适合相对落后的国家或行业，世界各国的发展经验已经证明，国家或地区在经济起飞阶段主要靠要素驱动的。在这一发展阶段，生产要素投入居于核心地位，有生产要素就有经济增长，要素越多，经济规模也就越大，对于一些其他地方已经实现了的科技成果，只要有足够的要素支撑，通过技术跟踪很多也可以实现。但是当经济逐步走向完善和成熟时，因为资源和市场都是有限的，靠要素驱动的收益回报率在递减，难度在加大，还产生了环境破坏等因素，这种现象严重到一定程度，就会出现所谓的要素瓶颈，就必须要通过创新活动加以破解。我国军、民科技工业领域普遍存在的低端领域产能过剩、恶性竞争，高端领域能力不足，受制于人的现象就是由于

这种原因所导致的。正是在这种背景下，党中央先后提出了创新型国家建设和创新驱动发展战略。十八大以来，习近平总书记多次指出，我国经济应从要素驱动发展为主向以创新驱动发展为主进行转变。在中央财经领导小组第七次会议上的讲话中，习近平总书记明确指出，我国是一个发展中大国，目前正在大力推进经济发展方式转变和经济结构调整，正在为实现“两个一百年”奋斗目标而努力，必须把创新驱动发展战略实施好。中共十八届五中全会明确了“创新、协调、绿色、开放、共享”五大发展理念，其中，“创新”排在第一位。

在传统的举国体制支持下，我国国防科技工业发展多年来一直仰赖要素驱动的发展模式，行业的发展进步完全仰赖于国家对于资金、人力、土地等要素的投入，各种制度设计也是基于这一传统发展方式。特别是在和平环境中，武器装备不通过实战检验的情况下，形成了较为稳定的利益分配格局。国防科技工业作为高技术工业的重要组成，其先进性和装备制胜能力高度依赖创新活动。这是不可否认的行业发展规律。伴随创新驱动战略成为指导当前国家发展的核心战略之一，新型举国体制的要素投入必然要向创新环节和创新活动聚焦，势必触及传统发展模式下形成的利益壁垒，这正是国防科技工业改革当前最为复杂和困难的地方。但正如习近平总书记所说：“坚持创新发展，就是要把创新摆在国家发展全局的核心位置，让创新贯穿国家一切工作，让创新在全社会蔚然成风。”在新型举国体制的大力支持下，国防科技工业发展必然会遵循以创新为核心驱动力的科学发展规律。

其次，需要认识到国防科技工业建设需要从项目建设向体系建设的调整。我国国防科技工业发展一直以项目建设为主要方式，无论型号项目或是技改技措等能力建设项目，都是企业获取国家对行业发展投入要素的主要渠道。但是我国国防科技工业的项目发展模式始于我国军事工业基础薄弱时期，有很多长期开展逆向工程的遗留问题。其中最关键的就是科技进步、工业能力提升和项目成功之间的逆向发展逻辑问题。毋庸置疑，以科学技术进步为先导，促进工业能力提升，最终形成装备项目成功才是科学的发展规律。而我国国防科技项目的发展模式是科技落后、工业基础薄弱时期，通过模仿跟踪发达国家成功项目而形成的一种通过装备项目立项——技改技措提升工业能力——倒逼科技进步发展方式，这一发展方式事实上就是一种与要

素驱动发展紧密依存的方式，看似高效率，实则对创新活动有明显的抑制作用，因为其发展的根本逻辑是在要素具备的情况下，寻找最具效率的发展路径，而这一最具效率的路径其实就是跟踪模仿。

伴随科学技术的突飞猛进，无论武器装备自身发展还是科技工业建设都已步入系统复杂性很高的体系化时代。尤其值得注意的是，2017年美国国防高级研究计划局（DARPA）战略技术办公室于提出了“马赛克战”概念。美军通过从武器装备体系和作战体系角度寻求对包括我国在内的潜在竞争对手形成不对称优势的战略意图已经跃然纸上。马赛克战概念从根本上彻底颠覆了以武器装备平台作为基础单元的武器装备体系构建方法，取而代之的是对大体系需求有着复杂系统兼容性的多功能作战任务单元，就犹如无数张内容迥异的小照片构成的巨幅马赛克图案。这一概念从根本上改变了技术进步、武器更新、战法创新之间的发展逻辑，使三者之间的迭代进步更加复杂和紧密。我国如果仍坚持采取跟踪武器装备平台的项目发展方式，对此是不可能形成有效应对的。因此，无论从武器装备发展还是国防科技工业能力建设上，都需要更多的从体系角度预先考虑系统工程的复杂性加以发展。

最后，需要深刻认识国防科技工业建设必须由军民分立向一体化建设调整。无论由要素驱动向创新驱动，还是由项目建设向体系建设的调整，对于国防科技工业发展来说都是发展方式的巨大变革，需要摆脱既有利益格局造成的羁绊，看似也缺乏明确的发展路径。然而事实上，习近平总书记在十九大报告中提出的，“深化国防科技工业改革，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。”已为新型举国体制下国防科技工业改革和建设未来发展指明了道路，这个道路就是军民深度融合发展的“一体化”道路。在正向发展逻辑下，科学进步和技术创新都并无明确的军或民的先天属性。工业基础建设也不宜采取军民分设的发展模式。我国国防科技工业采取军民分设的发展方式主要参考的前苏联模式，然而前苏联工业体系在冷战期间濒于崩溃，并最终成为政权丧失、国家解体的诱因之一，这个惨痛教训需要高度重视。新型举国体制以举国之力，贯彻国家意志，自然应是建设一个融全社会与国防力量为一体的具备国际竞争力的先进国家科技工业体系。在此“一体化”的视角下，国防科技工业是建立在国家科技工业基础之上，以军事需求为导向的一个应用化领域。而新

举国体制下国家对国防科技工业发展的支持和投入，也会成为夯实国家工业基础能力，提升科技工业各领域全球竞争力的重要手段。而这种通过新型举国体制基于市场机制和一体化的国家科技工业体系建设，也可以很好的解决大体系建设的系统化问题。从科学性和经济性角度来看无疑是最为合理的发展方式。

伴随盛大的“七一”纪念活动，党的“第一个一百年”奋斗目标已经实现。党领导全国人民向着全面建成社会主义现代化强国建设的第二个百年奋斗目标迈进。我国在生物技术、新能源技术、新一代信息技术和人工智能技术都正在突飞猛进，如果在新型举国体制下，国防科技工业还需要再用20年时间才达到美军装备今天甚至几年前的水平，这既不是科学发展规律，也不可能满足我国国防建设的现实需求。作为今日国防科技工业建设的各相关主体，对此必须有清醒的认识，并积极为适应新型举国体制下必须的调整而持续深化改革。

首先，各军工集团作为国防科技行业管理单位，要看全局、管全局，从过去以资源分配与利益协调为主的行政事务中摆脱出来，将本该由市场机制解决的问题的交由市场，不在“央企总部机关化”的方向上越走越远。应注意大幅提升和强化自身的行业顶层设计能力，加强战略管控能力，重视行业智库建设，深化对未来作战和技术发展关系的研究，着眼未来做好行业资源补充与调整工作。

而各地方政府和社会力量在“民参军”工作中，应多从“补短板”和提升自身优势入手，大力发展国防科技工业存在短板的新兴技术领域和自身具备专业化优势的科技工业基础环节，扶持本地专精特新企业向隐形冠军、单项冠军企业发展，积极参与国防科技企业混合所有制改革，整合央地双方专业化工业力量，打造具备国际竞争力的大型专业化企业和企业集群。

而各国防科技企业则要在央企改革大背景下，锐意改革，聚焦主业，以核心技术能力建设作为企业持续发展的根本。可能需要注意以下几方面工作。首先是要强化和完善党在企业的领导职能、党委应强化政治领导和监督职能，独立开展工作，而不宜被日常经营活动所裹挟；其次要进一步完善职业经理人制度，强化对职业经理人的行政授权，坚持责权利统一，杜绝职业经理人将行政管理责任分解下放和行政体系无序扩张；最为重要的是，要将技术创新资源赋予具备创新能力和意愿的科技工

作者，推广以核心技术人员持股为关键的混合所有制改革，组建关键技术专家为主的战略议事机构，大幅提高和扩大关键技术人员在企业战略发展的话语权。

面对第二个百年奋斗目标，国防科技工业使命艰巨，初心不改。新型举国体制将是我国国防科技工业走向新成功的根源，也是国防科技工业进一步深化改革的要求。相信在充分研究和认识科学发展规律，全面贯彻市场机制基础上，国防科技工业将以全新的面貌，在国家经济建设和国防建设中发挥更为重要的作用。

# 预应力装配式高耸风电塔架 受力性能研究

■ 张国军 张曼生 黄威振 葛家琪 [结构]

**摘要:** 预应力装配式混凝土结构作为结构预制化产业的关键技术,符合国家倡导的建筑发展方向,风力发电机预制混凝土预应力拼装式混合塔架是风电行业未来普遍的发展方向。本文对预应力装配式混凝土塔筒进行设计荷载和极限荷载作用下的试验研究和数值分析,结果表明在设计荷载作用下,混凝土塔筒整体位移变形表现出弹性特征,混凝土应力处于混凝土设计要求范围内,钢筋工作应力均远小于钢筋抗拉设计强度,混凝土塔架可判断处于整体弹性工作阶段,塔筒可以安全的承受设计极限荷载。破坏极限荷载作用下,预应力混凝土塔筒段承载力储备充足,且上部钢塔筒先于混凝土塔筒段出现屈曲破坏的特征表明,预应力混凝土与钢塔混合塔架中,混凝土塔筒与钢塔的承载力比例设置合理,避免了混凝土塔筒先于钢塔筒破坏。预应力风电混合塔架疲劳作用相当明显,预应力混凝土塔筒的11个标高截面处疲劳损伤均小于1,预应力索的疲劳应力幅小于预应力钢绞线的允许应力幅,双面熔透焊缝疲劳损伤值总疲劳损伤小于1,预应力风电混合塔架能满足1千万次的疲劳次数。

**关键词:** 装配式高耸结构; 预应力; 混合风电塔架; 疲劳性能

## 0 引言

随着现代工业的飞速发展,人类对能源的需求明显增加,而地球上可利用的常规能源日趋匮乏。风能作为一种清洁的可再生能源,其蕴藏量巨大,中国风能资源仅次于美国和俄罗斯,居世界第三位。预应力装配式高耸风电塔架,可以用更加经济的混凝土材料替代钢材,形成下部采用预应力混凝土,上部采用纯钢塔的组合塔架型式。此种组合塔架可以在轮毂高度远远超过现有钢塔的同时,

获得优异抗疲劳、耐腐蚀等工作性能,并大幅度降低前期建设成本、中期维护成本、增加有效发电时间,综合降低风电度电成本。

风力发电机组轮毂高度越高,则轮毂处风速越大。为获得更大的风速,追求更高的发电量,欧洲从1997年起,针对高轮毂风电塔架启动了预制装配式预应力混凝土组合塔架设计开发。2007年后,欧洲预制装配式预应力混凝土组合塔架设计技术逐渐成熟,成为高轮毂塔架的代表。德国Enercon、西班牙安迅能等欧洲一些主要风机厂家80%的塔架均采用钢和混凝土结构结合的预制装配式预应力混凝土组合塔架。作为欧洲风电强国的德国,截止2011年底,其境内121m以上高度的塔架已占其全

作者简介: 张国军,男,研究员,2006年毕业于北京工业大学结构工程专业,现就职于航空工业规划总院结构工程创新研究院。

国低风速风电场总量19%以上。

但由于我国这类大型动力设备结构的设计、施工均为空白，传统全钢制风电塔架又无法推向市场，造成国内超过100m高度的风电塔架较少，占全国市场总量的0.02%以下，超过105m高度的风电塔架极少。如此看来，国内在此领域的设计水平与欧洲差距巨大。由于超过100m以上的高轮毂塔架采用传统全钢质塔架会造成机组共振，所以预制装配式预应力混凝土混合塔架是解决高轮毂塔架的必然发展方向。国家目前大力倡导绿色建筑及绿色能源发展及应用，预应力装配式混凝土结构作为结构预制化产业的关键技术，推广应用后可在建设及使用阶段节省建筑材料及提高建设工作效率，符合国家倡导的建筑发展方向；风电作为众所周知的绿色能源技术，在今年得到国家的大力推广应用，风力发电机预制混凝土预应力拼装式塔架是风电行业未来普遍的发展方向。

## 1 预应力装配式高耸风电塔架结构体系

预应力装配式高耸风电塔架下部为预应力混凝土塔筒，混凝土塔筒为预制混凝土，共分为10个混凝土塔筒节段，每个混凝土塔筒节段分为两个半圆形预制，两个半圆预制件在施工现场进行竖缝拼装为整圆。两个相邻整圆通过水平缝拼装进行形成整个混凝土塔筒。混凝土塔筒壁内沿竖向设置预应力高强拉索，形成后张无粘结预应力混凝土，预应力高强拉索平面投影为放射状。混凝土塔筒上部均为钢塔筒，在钢塔筒与混凝土部分的结合部设置钢结构过渡法兰，混凝土塔筒的预应力束下部锚固于现浇混凝土基础中，上部锚固于钢结构过渡法兰。



图1 预应力高强拉索平面布置



图2 预应力装配式高耸风电塔架

## 2 静力性能研究

预应力装配式混合风电塔架在国内工程经验少，因而需要通过模型试验进一步验证其传力路径有效性，拼装连接安全性等性能。

### 2.1 试验模型

试验模型依据等应力原则选用1:3的缩尺比例，风电塔架的缩尺模型总高度10m，包括原型结构上部预应力锚固端以下的所有节段。试验底座重长4.5m，宽3m，高0.735m，底端塔筒重高1.817m，中段塔筒高1.2m，顶段塔筒高4.58m，加载悬臂梁重长6m。为了定位方便，定义塔架门洞所在朝向的水平方向为x正向，垂直于门洞出入方向的水平方向为y向，竖向向上方向为z正向。试验对象的三维效果图如图3、图4所示。



图3 三维效果图

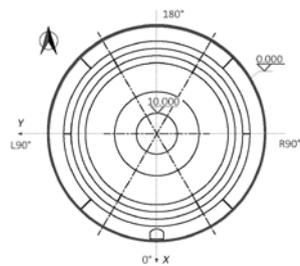
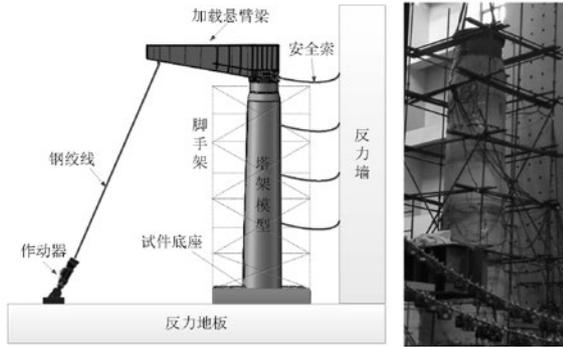


图4 三维线框图

## 2.2 试验装置及加载制度

预应力装配式混凝土塔筒采用了如图5所示的加载方案,其中,塔架顶部的轴力、弯矩、剪力和扭矩由斜向拉索同时施加,加载制度如图6所示。



(a)示意图 (b)现场图  
图5 试验加载方案图

经详细设计和计算,加载悬臂梁自身重为40.72kN,其重心位置距离风电塔架轴心距离为1.797m,加载悬臂梁自重产生的附加弯矩为73.174kN·m。将加载架自重所产生的弯矩和轴力附加到试验荷载中,得出作动器施加的荷载为:

- (1) 设计荷载:垂向荷载194kN(近似取200kN),水平荷载50kN。
- (2) 极限荷载:垂向荷载505kN(近似取500kN),水平荷载125kN。

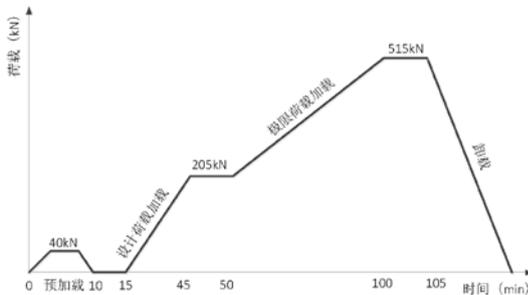


图6 加载制度示意图

## 2.3 设计极限荷载加载结果分析

由于缩尺试验不能全面了解塔架的工作状态,因而将试验模型精细建模,并进行弹塑性受力分析,在确认数值结果的有效性后,从数值结果和试验结果中详细研究塔筒的细部工作性能。

### 2.3.1 缩尺塔架顶部位移

缩尺塔架在设计极限荷载作用下,混凝土塔

筒顶部门洞0°方位的水平位移试验和数值模拟结果对比如图7所示。

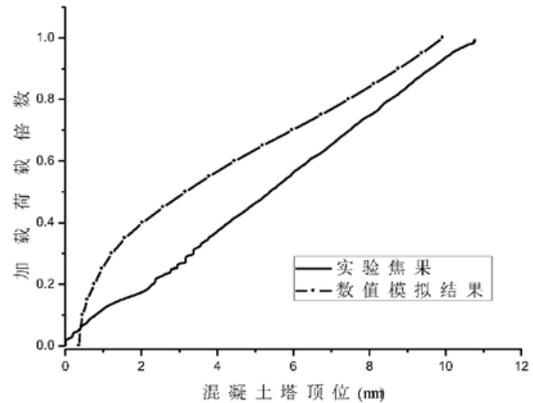


图7 缩尺塔架顶部荷载位移图

由图7中的荷载位移曲线可见,当荷载加载到设计极限荷载时,数值模拟结果与试验测得的塔顶位移均为10mm,可见数值模型的整体刚度与实验模型相当。从宏观上看,荷载位移曲线基本呈现线性变化关系,由此可以认为,缩尺塔架在设计极限荷载的作用下,预应力混凝土塔筒整体在宏观上处于弹性受力阶段。

### 2.3.2 塔顶变截面位置混凝土和钢筋应力

在设计极限荷载作用下,变截面位置在试验中测得的各测点应力与有限元计算得到的应力对比,如表1所示。试验测得结果均大于有限元结果,主要原因是在此变截面位置混凝土已产生塑性应变,而试验中测得的只是此位置的总体应变按弹性换算得到的应力,因此应力值偏大。从试验中测得的竖向应变与有限元结果差异很小,因此可以认为有限元结果能较为真实的反应实验模型的工作应力分布,并以有限元结果为依据研究此部位的详细工作性能。

由有限元的主应力图中可见,变截面位置的主拉应力沿截面环向分布,变截面塔筒的内表面加腋位置环向拉应力较大,最大3.85MPa,已达到混凝土的抗拉强度标准值。塔筒变截面位置外侧的环向主拉应力相对较小,最大2.7MPa,小于混凝土的抗拉强度标准值。竖向主压应力的最大值为22.7MPa,发生在变截面区域的小截面端头,小于混凝土的设计抗压强度,变截面位置处竖向抗压较为安全。综合分析可得,塔筒变截面加腋的最内侧环向拉应力较高且竖向压应力较小,因而此部位最容易受拉开裂。

表 1 变截面位置混凝土应力

测点说明	试验测得结果 (Mpa)	有限元结果 (Mpa)
5段变截面下100mm-0°砼外表面水平应力	6.79	2.4
5段变截面处0°砼外表面水平应力	7.27	2.4
5段变截面下100mm-0°右侧200mm砼外表面水平应力	5.00	2.4
5段变截面下50mm-0°右侧200mm砼外表面水平应力	7.76	2.5
5段变截面处0°右侧200mm砼外表面水平应力	6.39	2.3
5段变截面下50mm-0°砼外表面竖向应力	-16.91	-11.6
5段变截面处0°砼外表面竖向应力	-14.31	-11.5
5段变截面下50mm-0°右侧200mm砼外表面竖向应力	-17.50	-11.4
5段变截面处0°右侧200mm砼外表面竖向应力	-13.85	-11.4

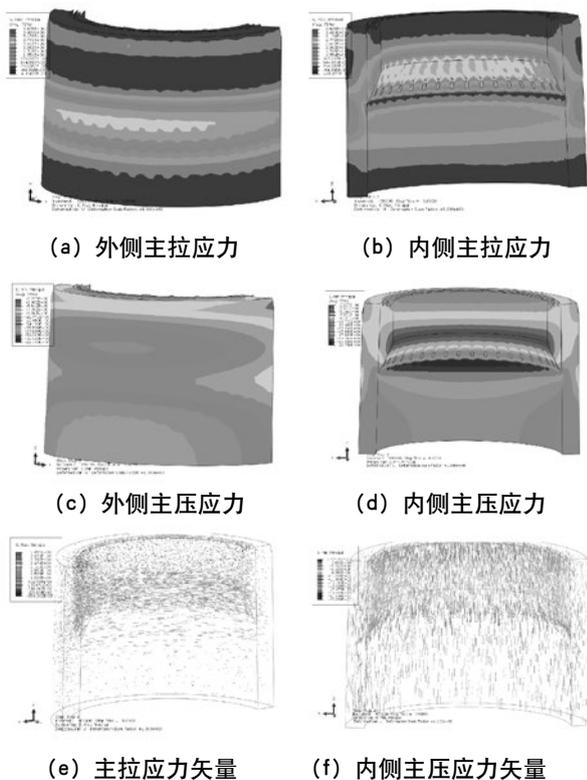


图8 塔顶变截面位置主应力分布

### 2.3.3 预应力锚固区混凝土和钢筋应力

由锚固区的主拉应力分布可见，在此区域主拉应力主要沿截面的径向分布，与塔筒其他部位的主拉应力方向完全不同。最大主拉应力3MPa左右，分布在混凝土塔筒顶部，且越靠近顶部主拉应

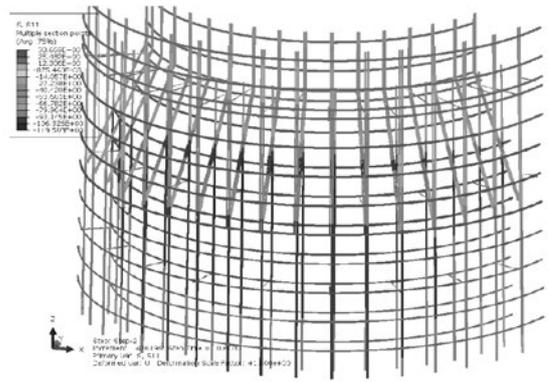


图9 变截面位置钢筋应力

力越大，沿塔筒竖直向下主拉应力逐渐减小。

塔筒顶部竖向压应力均为竖向分布，在塔筒主弯矩受压区主要分布在截面中部靠外的区域，最大为24.3MPa。在主弯矩的受拉区主要分布在截面内侧边缘附近，最小的竖向压应力仅为10MPa左右，均小于混凝土的抗压强度设计值。

由锚固区的塑性应变分布图可见，锚固区的混凝土已大面积产生塑性，塑性区主要集中在顶部预应力锚具下方，此区域也是混凝土最大主拉应力以及最大竖向压应力的分布区。

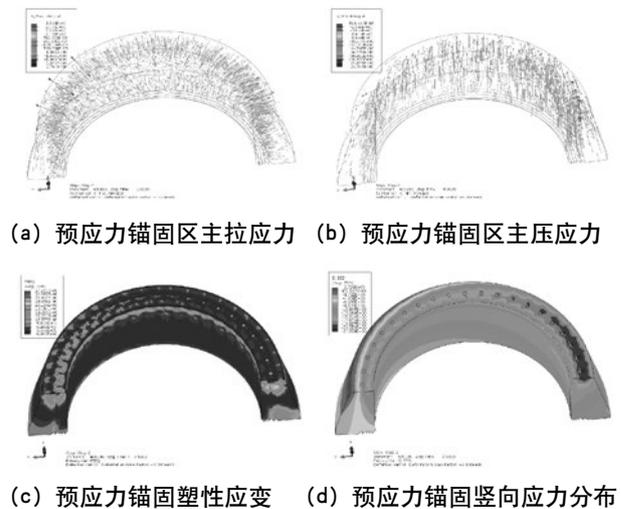


图10 预应力锚固区混凝土应力分布

钢筋应力与混凝土的主拉应力分布特征相似，顶部布置的各层加强钢筋网中沿径向分布的钢筋中拉应力达到33MPa。环形钢筋顶部承受压力，沿竖向向下逐步转化为受拉，越靠近塔筒顶部环形钢筋受压越大，最大压力在12MPa左右。竖向钢筋中的压应力在塔筒顶部附近最大达到85MPa，沿竖向向下随着混凝土截面厚度增加而逐步减小至

50MPa左右。

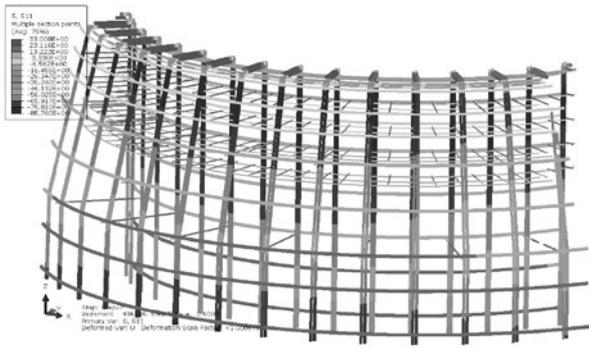


图11 预应力锚固区钢筋应力分布

分析锚固区的构造特征及混凝土主应力分布特点,可见拉应力沿截面径向分布的原因是由于预应力锚具在混凝土顶面产生较大的沿截面环形分布的局部受压区,对混凝土塔架顶部截面位置产生劈裂效应。由钢筋的应力分布特征可见,顶部配置的局部受压加强钢筋网起到了明显的帮助混凝土抵抗拉应力的作用,有效加强了混凝土在此部位的防劈裂性能。综合分析混凝土在此区域的受力性能,此部位的混凝土在设计极限荷载作用下处于整体弹性的工作性能区间内。

### 2.3.4 过渡法兰应力

在过渡法兰0°和180°方向的根部各选择2个布点位置(间距100mm左右,布点位置如图12所示),每个布点位置在钢筒内外侧各布设2个应变片(测点位置见图12),此处共计布设应变片16片(编号范围S317-S332)。

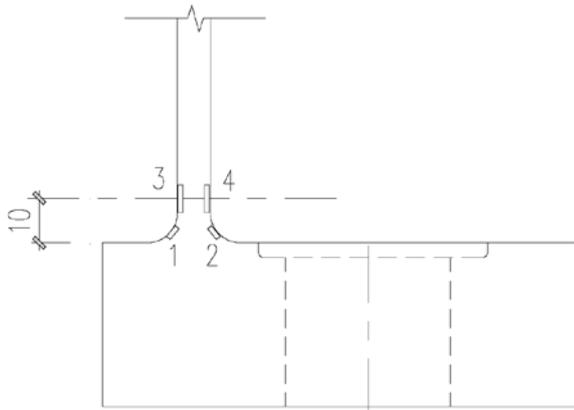


图12 钢法兰过渡段应变贴片位置示意图

应力监测结果如表2所示:

表2 过渡法兰位置应力监测结果

测点说明	实验测得结果 (Mpa)	有限元结果 (Mpa)
过渡法兰0°外侧根部应力	-67.77	87.2
过渡法兰0°内侧根部应力	-189.63	59.6
过渡法兰0°外侧根部上10mm应力	-196.36	160.8
过渡法兰0°左100mm外侧根部应力	66.92	85.5
过渡法兰0°左100mm内侧根部应力	-185.99	58.8
过渡法兰0°左100mm外侧根部上10mm应力	-88.80	158.4
过渡法兰180°外侧根部应力	-105.69	55.8
过渡法兰180°外侧根部上10mm应力	82.31	104.9
过渡法兰180°内侧根部上10mm应力	38.91	72.2

过渡法兰与钢塔筒连接焊缝位置的应力较大,在200Mpa左右,但是小于钢材的强度设计值。理论计算时,过渡法兰0°位置承受塔筒弯矩产生的压力,180°位置承受塔筒弯矩产生的拉力。但实测结果表明,0°位置塔筒根部也有材料受拉部分,且应力较高,180°位置也有受压区。可见过渡法兰位置的应力分布相当复杂,与过渡法兰在内部塔筒竖向预应力与外部弯矩荷载的共同作用下产生的局部变形密切相关。过渡法兰及钢筒底端的塑性应变图表明,在承受设计极限荷载时,过渡法兰及钢筒底端完全处于弹性受力阶段。



图13 过渡法兰及钢段塑性应变

## 2.4 破坏极限荷载加载结果分析

为了更加深入的了解预应力混凝土塔架体系的承载能力,对缩尺塔架进行破坏极限荷载试验。实验中,计划将加载荷载提高至设计极限荷载的

2.5倍,实际加载到1.75倍后,塔筒上部与过渡法兰连接的钢塔筒段发生屈曲失稳,混凝土塔筒此时未出现明显破坏。

### 2.4.1 缩尺塔架顶部位移

由实验测得的预应力混凝土塔顶位移与由数值模拟得到的塔顶位移对比见图14。

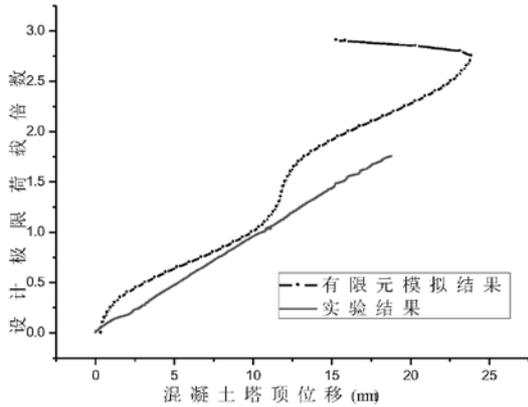
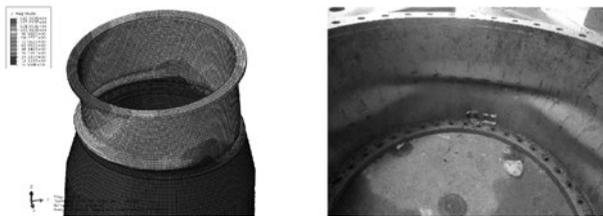


图14 混凝土塔顶位移对比

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



(a) 有限元计算钢筒屈曲失稳 (b) 试验模型钢筒屈曲失稳

图15 钢段屈曲失稳形态对比

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

### 2.4.2 塔顶变截面位置混凝土和钢筋应力

与门洞区类似,此时监测到的混凝土环向水平应变按弹性规则得到的混凝土应力已大幅超出混

凝土的抗拉强度标准值。可见此时此位置的混凝土塑性应变较大,并已开裂。此位置监测到的混凝土压应力最大为23Mpa,还未达到混凝土的抗压强度标准值。由裂缝图可见,在变截面附件位置塔筒混凝土的裂缝开展方向为竖向,与监测到的混凝土水平向受拉一致,但裂缝分布不多。由图中的塑性应变计受拉累积损伤分布可见,受拉损伤的分布与缩尺实验中混凝土的裂缝分布位置一致。

表3 破坏极限加载时变截面位置混凝土应力

测点说明	破坏极限加载累计 (Mpa)
5段变截面下50mm-0°砼外表面竖向应力	-22.98
5段变截面处0° 砼外表面竖向应力	-19.81
5段变截面下50mm-0°右侧200mm砼外表面竖向应力	-23.21
5段变截面处0°右侧200mm砼外表面竖向应力	-18.96
5段变截面处0°砼外表面水平应力	9.32
5段变截面下100mm-0°右侧200mm砼外表面水平应力	6.49
5段变截面下100mm-0°砼外表面水平应力	8.75
5段变截面下50mm-0°右侧200mm砼外表面水平应力	10.00
5段变截面处0°右侧200mm砼外表面水平应力	8.24

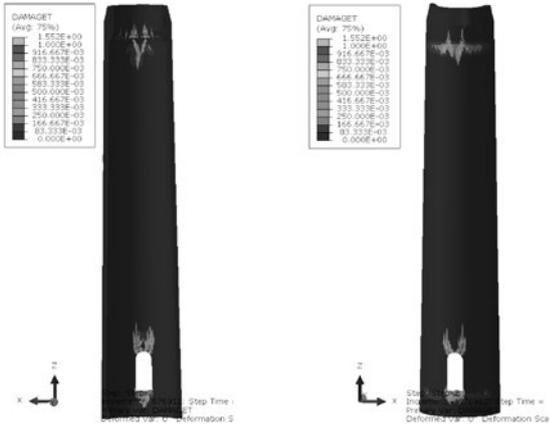


图16 变截面位置塔筒内壁裂缝



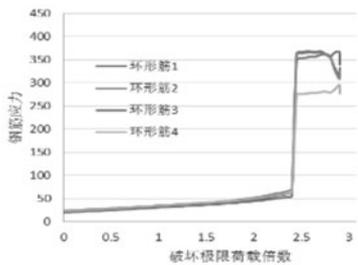
(a) 外侧塑性应变分布

(b) 内侧塑性应变分布

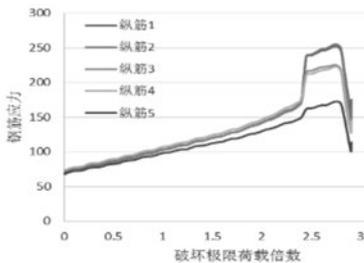


(c) 内侧受拉累积损伤 (d) 外侧受拉累积损伤  
图17 混凝土塔筒塑性应变及受拉累积损伤

变截面区域的环形钢筋在结构受力初期应力很小，随着荷载不断增加，应力缓慢增长，当荷载达到设计荷载2.4倍时，变截面位置的混凝土在环形拉应力的作用下，突然发生了开裂，导致沿变截面区域环形分布的混凝土主拉应力直接向开裂部位集中，混凝土开裂位置的环形钢筋应力直接增长到抗拉强度设计值，发生钢筋屈服。混凝土在此位置失去环形钢筋的套箍作用，进而使开裂区混凝土竖向抗压承载力降低，压力荷载转移到纵向钢筋上，导致纵向钢筋应力也出现突然增加，相近位置的纵向钢筋在此时也同时出现了钢筋应力的跳涨情况，但应力增长幅度相比环形钢筋小；且与环形钢筋屈服点距离越远的纵向钢筋应力跳涨情况越不明显。



(a) 变截面位置环筋应力

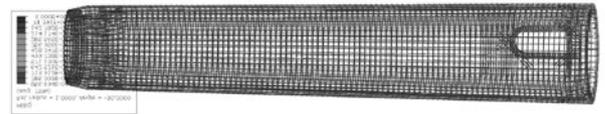


(b) 变截面位置纵筋应力

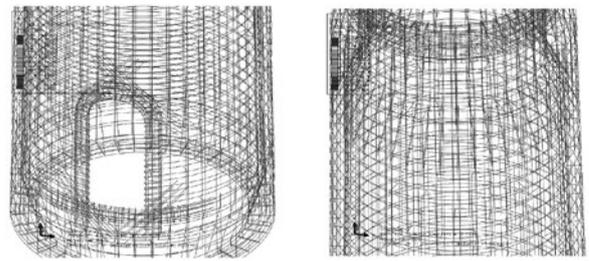
图18 变截面位置钢筋应力

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

### 2.4.3 预应力锚固区混凝土和钢筋应力



(a) 破坏极限钢筋塑性应变分布



(b) 破坏极限钢筋塑性应变分布 (c) 破坏极限钢筋塑性应变分布

图19 破坏极限状态的钢筋塑性应变

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

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

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

混凝土塔筒顶面主弯矩压力作用区中，纵筋压应力随塔架荷载增加不断增大，且外侧纵筋增加幅度明显，而内侧纵筋压应力仅有少量增加。外侧纵筋最大压应力达到170Mpa左右，小于钢筋

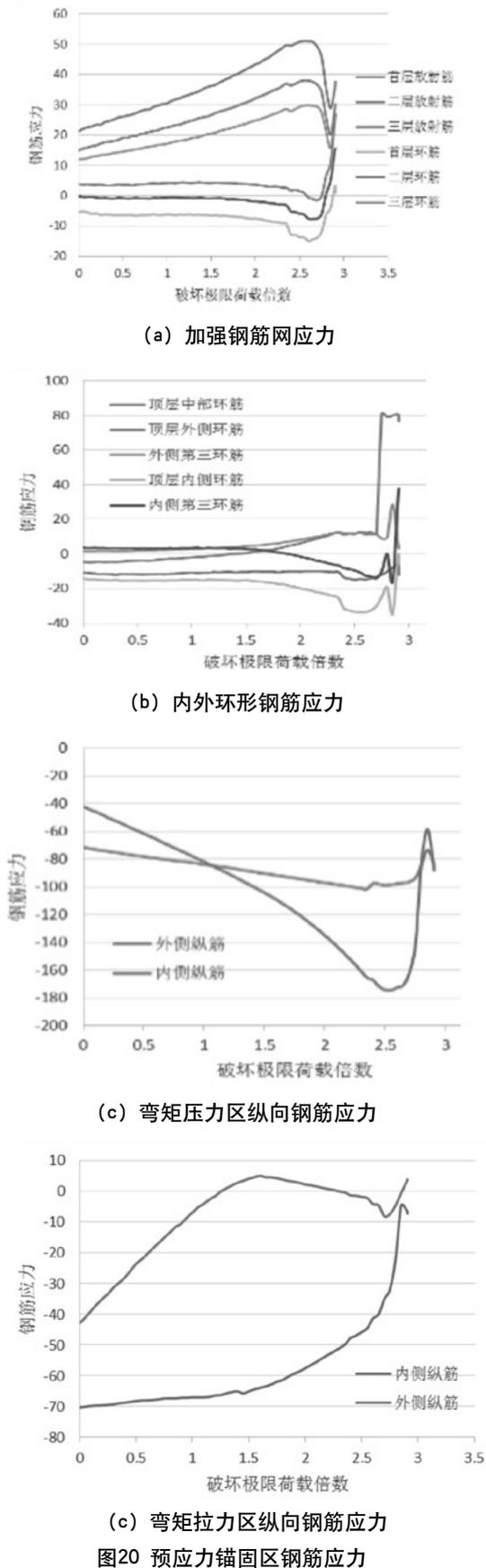


图20 预应力锚固区钢筋应力

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

#### 2.4.4 预应力束应力

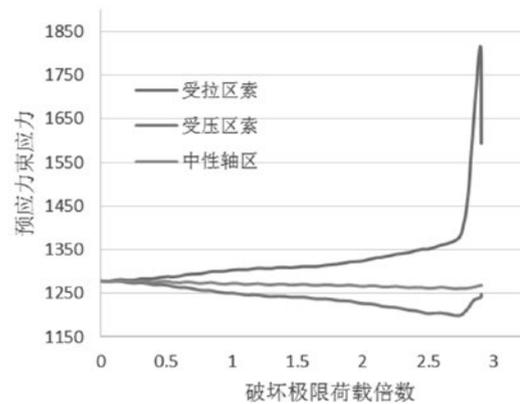


图21 预应力束应力

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

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

### 3 疲劳性能分析

预应力风电混合塔架在整个工作生命周期内一直处于流体动力荷载的作用下, 疲劳作用相当明显, 主要分为两个部分, 其一是预应力钢绞线及过渡段法兰的疲劳问题, 其二是混凝土材料的疲劳问题。预应力装配式混凝土塔筒的疲劳性能分析针对上述试验模型的原型结构。原型结构总高100m, 下部30m为预应力混凝土塔筒, 混凝土塔筒壁内沿竖向设置40束预应力钢绞线。

#### 3.1 混凝土塔筒疲劳验算

混凝土塔筒的疲劳分析的荷载依据为厂家提供的等效常幅疲劳荷载, 对应的疲劳次数为 $10^7$ , 依据CEB-FIP对混凝土进行疲劳强度分析, 中国规范中的C60对应CEB-FIP中的C50。预应力混凝土塔筒始终处于受压状态, 因而按照受压考虑混凝土塔筒疲劳性能。对预应力混凝土塔筒设置了11个标高截面, 分别计算不同标高处容许疲劳次数及相应的疲劳损伤。

单个标高截面处的混凝土塔筒容许疲劳次数依下式计算。当计算得到的 $\log N_1$ 小于或等于8时, 容许疲劳次数 $N$ 取 $N_1$ , 否则取 $N_2$ 。式中的 $S_{cd,min}$ 为最小的压应力水平,  $S_{cd,max}$ 为最大的压应力水平,  $S_{cd,min} = \gamma_{Ed} \sigma_{c,min} \eta_c / f_{cd,fat}$ ,  $S_{cd,max} = \gamma_{Ed} \sigma_{c,max} \eta_c / f_{cd,fat}$ 。 $\sigma_{c,min}$ 和 $\sigma_{c,max}$ 分别为混凝土计算的最小压应力和最大压应力。

$$\log N_1 = \frac{8}{Y-1} \cdot (S_{cd,max} - 1)$$

$$\log N_2 = 8 + \frac{8 \cdot \ln(10)}{Y-1}$$

$$(Y - S_{cd,min}) \cdot \log \left( \frac{S_{cd,max} - S_{cd,min}}{Y - S_{cd,min}} \right)$$

$$Y = \frac{0.45 + 1.8 \cdot S_{cd,min}}{1 + 1.8 \cdot S_{cd,min} - 0.31 \cdot S_{cd,min}^2} \quad (1)$$

单个标高截面处的混凝土塔筒疲劳损伤值 $D$ 以下式计算。式中的 $N_{Ei}$ 为在实际应力幅下的容许疲劳次数,  $N_{Ri}$ 为在给定应力幅下的容许疲劳次数。

$$D = \sum_{i=1}^j \frac{N_{Ei}}{N_{Ri}} \quad (2)$$

运用公式计算不同标高处各数据点疲劳损伤值如表4所示, 计算结果表明, 混凝土截面在当前荷载状态下按7.4.1.5条规定的计算方法得到的截

面总损伤值小于1, 因此截面的疲劳强度满足要求。

表4 不同标高处总疲劳损伤值

序号	标高	总疲劳损伤
1	0.5m	$3.56 \times 10^{-9}$
2	1.76m	0.000987
3	4.37m	0.017006
4	7.97m	0.000292
5	11.27m	0.000192
6	14.57m	0.00019
7	17.87m	0.000282
8	21.17m	0.000426
9	24.47m	0.000976
10	27.77m	0.003157
11	31.08m	0.014707

#### 3.2 预应力钢绞线疲劳验算

根据CEBFIP规范6.7.4规定, 对直线后张纲绞线选用的SN曲线 $k_1$ 斜率为5,  $k_1$ 斜率为9, 疲劳次数 $N_0$ 为 $10^6$ 时允许应力幅为185Mpa。当设计疲劳次数为 $10^7$ 时允许应力幅值 $\Delta\sigma_{Rsk}$  ( $10^7$ ) 按下式计算。经计算可得允许应力幅值 $\Delta\sigma_{Rsk}$  ( $10^7$ ) 为143.24Mpa。预应力钢绞线的设计分项系数 $\gamma_{s,fat}$  取为1.15,  $\gamma_{Ed}$ 取为1.1。综合考虑可得可知预应力钢绞线的最大容许应力幅 $\max\Delta\sigma_{Es}$ 为113.23Mpa。

$$[\Delta\sigma_{Rsk}(10^6)]^9 \cdot 10^6 = [\Delta\sigma_{Rsk}(10^7)]^9 \cdot 10^7$$

$$\gamma_{Ed} \max\Delta\sigma_{Es} \leq \Delta\sigma_{Rsk}(10^7) / \gamma_{s,fat} \quad (3)$$

预应力风电混合塔架计算采用的疲劳荷载最大弯矩为55600kN·m, 最小弯矩为-41200kN·m, 压力取3288kN。有限元分析可得疲劳荷载上限作用下钢绞线应力如图20所示, 疲劳荷载下限作用下钢绞线应力如图21所示。预应力索在受压区最小拉应力为1251Mpa, 在受拉区最大拉应力为1295Mpa, 疲劳应力幅为44MPa, 预应力钢绞线的应力幅不超过113.23MPa, 能满足 $10^7$ 次的疲劳次数。

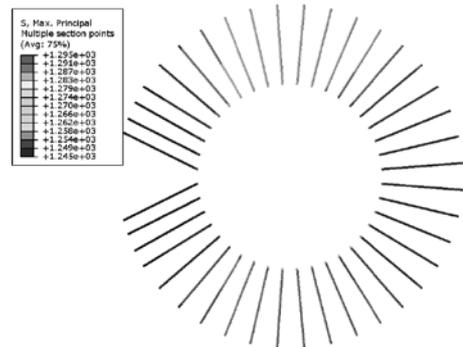


图22 疲劳荷载上限作用下钢绞线应力

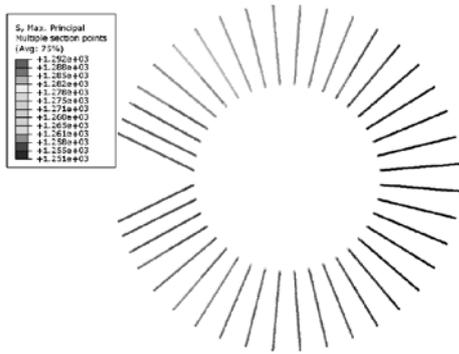


图23 疲劳荷载下限作用下钢绞线应力

### 3.3 过渡段疲劳验算

由于L型法兰用于预应力锚固,要求法兰与预应力混凝土塔筒具有同样的疲劳寿命。计算采用混凝土塔筒的疲劳荷载,采用Eurocode 3标准变幅疲劳的Miner累积损伤法则计算。疲劳累积损伤理论为假定结构的疲劳寿命与不同应力幅影响的先后次序无关,疲劳损伤会线性累加,各个应力之间互不干扰,在损伤累积到极限时构件就会发生疲劳损坏。

预应力风电混合塔架计算采用的疲劳荷载最大弯矩为 $55600\text{kN}\cdot\text{m}$ ,最小弯矩为 $-41200\text{kN}\cdot\text{m}$ ,压力取 $3288\text{kN}$ ,据此计算实际疲劳应力幅 $\Delta\sigma_R$ 。设计疲劳循环次数 $N=10^7$ ,实际疲劳应力幅 $\Delta\sigma_R$ 下的容许循环次数 $N_R$ 按下式计算:式中 $m$ 取值为5, $\Delta\sigma_D$ 为等幅疲劳极限应力,取值为 $0.737\Delta\sigma_C$ 。

$$\Delta\sigma_R^m N_R = \Delta\sigma_D^m \cdot 5 \times 10^6 \quad (4)$$

根据有限元计算结果,发现最危险截面为L型法兰与钢塔筒连接位置,此位置在正负弯矩作用下均处于受拉状态。计算采用的焊缝分类为 $\Delta\sigma_C=90\text{MPa}$ ,即不磨平的双面熔透焊缝。

双面熔透焊缝疲劳损伤值 $D$ 以下式计算。式中的 $N_{Ei}$ 为在实际应力幅下的容许疲劳次数, $N_i$ 为在给定应力幅下的容许疲劳次数,计算可得双面熔透焊缝总疲劳损伤为0.85满足要求。

$$D = \sum_{i=1}^j \frac{N_{Ei}}{N_i} \quad (5)$$

## 4 结论

本文对预应力风电混合塔架的静力和疲劳性能进行了试验、有限元和理论分析,得到如下结论:

(1) 预应力混凝土试验塔架在设计极限荷载

作用下,实验中塔筒整体位移监测结果、关键区域混凝土应力监测结果、关键位置钢筋应力监测结果均能较好的与试验模型的数值模拟结果吻合,可以用数值模拟结果扩充试验结果。

(2) 设计极限荷载作用下,混凝土塔筒整体位移变形表现出弹性特征,混凝土应力处于混凝土设计要求范围内,钢筋工作应力均远小于钢筋抗拉设计强度,混凝土塔架可判断处于整体弹性工作阶段,塔筒可以安全的承受设计极限荷载。

(3) 破坏极限荷载作用下,预应力混凝土塔筒段承载力储备充足,且上部钢塔筒先于混凝土塔筒段出现屈曲破坏的特征表明,预应力混凝土与钢塔混合塔架中,混凝土塔筒与钢塔的承载力比例设置合理,避免了混凝土塔筒先于钢塔筒破坏。混凝土塔架下部门洞区及塔架上部变截面区是整个混凝土塔架的薄弱环节。塔架上部的变截面区在塔架荷载足够大时,可能出现突然开裂且发展迅速的竖向裂缝,设计中需特别关注变截面区的加强。

(4) 预应力风电混合塔架疲劳作用相当明显,预应力混凝土塔筒的11个标高截面处疲劳损伤最大为0.014,均小于1。预应力索的疲劳应力幅为 $44\text{MPa}$ 小于预应力钢绞线的允许应力幅 $113.23\text{MPa}$ ,双面熔透焊缝疲劳损伤值总疲劳损伤为0.85,小于1,因而预应力风电混合塔架能满足107次的疲劳次数。

### 参考文献

- [1] 建筑结构荷载规范:GB 50009—2012 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.(Load code for the design of building structures: GB 50009—2012 [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012.(in Chinese))
- [2] British Standards Institution. Eurocode 3: Design of steel structures: part 1—9: Fatigue: BS EN 1993—1—9 [S]. London: British Standards Institution, 2005.
- [3] Beton E. CEB—FIP Model Code 1990[J]. Bulletin D'information, 1991

# 粘滞阻尼器支撑墙受剪状态分析

■ 郑帅群 郭懿 贾洁 [结构]

**摘要:** 本文针对某一具体工程,利用ABAQUS软件建立计算模型,模拟分析了粘滞阻尼器支撑墙的受力情况,分析了不同粘滞阻尼器支撑墙水平和竖向分布钢筋配筋率、支撑墙暗柱配筋以及支撑墙墙体长高比等因素对粘滞阻尼器支撑墙受剪受力状态的影响。数值分析结果表明:粘滞阻尼器支撑墙墙体内配置钢筋可以显著改善支撑墙受剪受力状态,但墙体水平、竖向分布钢筋配筋率和支撑墙暗柱配筋率大小对墙体的整体抗剪承载力影响不大,粘滞阻尼器支撑墙抗剪承载力基本保持不变;粘滞阻尼器支撑墙墙体长度的改变可以显著改变墙体受力模式:长高比变长,墙体从受弯受力状态逐渐向受剪受力状态过渡,支撑墙的抗剪承载力得到提高。

**关键词:** 预埋件;抗剪;非线性

## 1 工程背景

粘滞阻尼器在减小结构地震响应的同时,不会产生附加刚度,不增加地震剪力<sup>[1]</sup>;且具有不影响建筑立面,布置简单灵活等特点。因此,采用粘滞阻尼器的消能减震技术作为一种新型的结构抗震手段,愈发受到人们的重视,在实际工程中得到越来越广泛的应用<sup>[2]</sup>

目前,常见的做法是将粘滞阻尼器通过支撑墙与主体结构相连。在地震作用下,粘滞阻尼器会产生较大的阻尼力,阻尼力通过支撑墙传递到主体结构上,因此支撑墙能否安全地将阻尼力传递是粘滞阻尼器能否正常发挥作用的关键。此外受限于各种条件,阻尼器支撑墙的厚度都很小,且往往是一字型单片墙(如图1),影响阻尼器支撑墙抗剪承载力的因素较多。目前,对于阻尼器支撑墙抗剪承载力的计算方法、影响因素的研究比较有限,对墙体的受力情况认识较浅,有必要进行较深入的研究。

本文以位于云南某一实际工程为例,采用有限元分析方法,对影响阻尼器支撑墙抗剪承载力的部分相关因素进行分析。

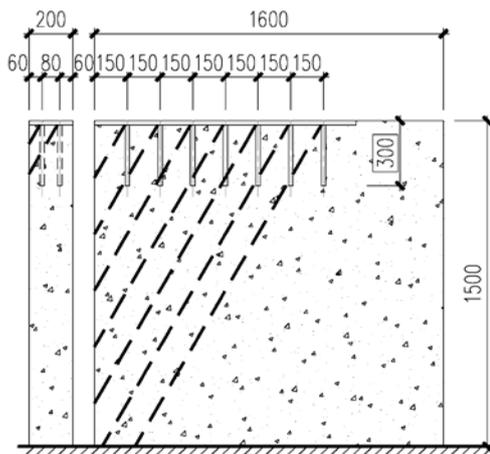


图1 阻尼器支撑墙示意图

## 2 计算参数

### 2.1 模型参数

本文阻尼器支撑墙高1.5m,长1.6m,厚200mm,粘滞阻尼器通过预埋件与支撑墙相连。支撑墙两端设置有暗柱,暗柱高400mm。支撑墙水平及竖向分布钢筋均为 $\text{N}12@150$ ,暗柱纵筋为 $6\text{N}25$ ,箍筋为 $\text{N}10@100$ 。

数值分析模型中,阻尼器支撑墙高取

作者简介:郑帅群,男,工程师,2016年毕业于天津大学结构工程专业,现就职于航空工业规划总院动力工程设计研究院。

H=1600mm, 墙长L分别取800mm、1200mm、1600mm和2000mm, 对应的长高比分别为0.5、0.75、1和1.25。墙体水平及竖向分布钢筋分别取 $\text{N}8@200$ 、 $\text{N}10@200$ 、 $\text{N}12@200$ 和 $\text{N}12@150$ , 对应的配筋率分别为0.25%、0.39%、0.57%和0.75%。暗柱的纵向钢筋分别为 $6\text{N}20$ 和 $6\text{N}25$ 。所有计算工况如表1所示。

表1 计算工况

墙高H/mm	H=1600			
墙长L/mm	800	1200	1600	2000
水平分布筋	$\text{N}8@200$	$\text{N}10@200$	$\text{N}12@200$	$\text{N}12@150$
竖向分布筋	$\text{N}8@200$	$\text{N}10@200$	$\text{N}12@200$	$\text{N}12@150$
暗柱配筋	$6\text{N}20$		$6\text{N}25$	

### 2.2 混凝土本构关系

混凝土塑性损伤模型是一种基于塑性的连续介质损伤模型, 材料压缩屈服后表现为先硬化后软化, 拉伸屈服后则表现为软化。考虑材料拉压性能的差异, 拉伸和压缩损伤采用的损伤因子不同, 且收敛性较好, 具有一定的优越性, 且既可以应用于单向加载, 又可用于循环以及动态加载等场合, 故本文分析中混凝土构件均采用塑性损伤模型。

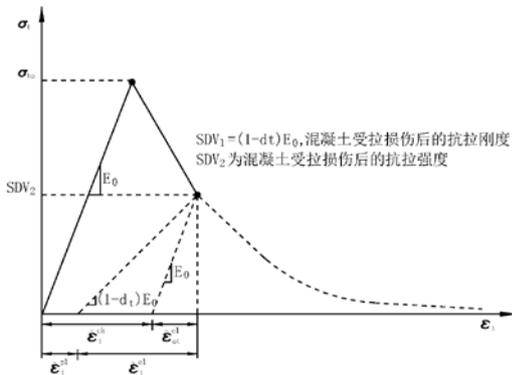


图2 混凝土受拉应力—应变曲线及损伤示意图

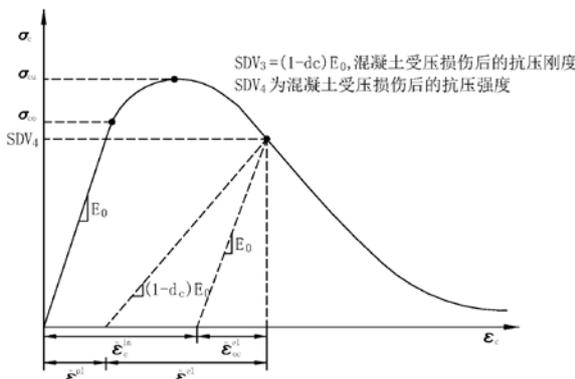


图3 混凝土受压应力—应变曲线及损伤示意图

### 2.3 钢筋本构关系

锚筋的应力—应变曲线采用理想弹塑性模型, 如图4所示, 其中 $f_y$ 和 $\epsilon_y$ 为对应的屈服应力和屈服应变, 构件配筋采用双折线模型。钢筋的弹性模量 $E_s$ 取 $2 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 。

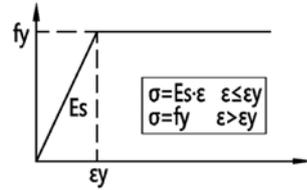


图4 钢筋应力—应变曲线图

### 2.4 接触的定义

采用独立的梁单元来模拟钢筋, 通过Embedded Region约束将钢筋嵌入混凝土构件中, 从而模拟浇筑在混凝土中的钢筋与构件的接触作用。

## 3 参数分析

### 3.1 素混凝土支撑墙

本文首先分析了素混凝土支撑墙和钢筋混凝土支撑墙受剪承载力情况, 如图5所示, 在长宽比分别为0.5、0.75、1和1.25这四种情况下, 素混凝土支撑墙顶剪力F与墙顶水平位移的关系曲线。

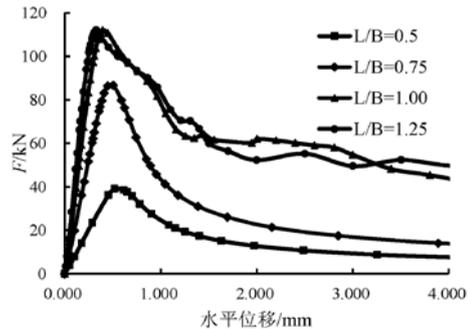


图5 素混凝土墙剪力—位移曲线图

由计算结果可以看到, 在墙顶位移很小时, 随着位移的增大, 墙体抗剪承载力接近线性增大, 在墙顶位移达到0.5mm时接近峰值, 此时的混凝土基本处在弹性状态; 在墙顶位移接近0.5mm时, 混凝土开始进入塑性, 并出现损伤; 随着墙顶位移的继续增大, 进入塑性的混凝土范围增大, 混凝土的损伤继续开展, 支撑墙的抗剪承载力持续下降。如表2所示, 素混凝土支撑墙抗剪承载力的峰

值情况, 可以看到, 当墙长小于墙高时, 随着墙体变长, 抗剪承载力增大, 当墙长超过墙高后, 抗剪承载力便不再增大。

表2 素混凝土墙抗剪承载力峰值表

L/H(H=1600mm)	0.5	0.75	1	1.25
F峰值/kN	39	87	112	112

### 3.2 钢筋混凝土支撑墙

如图6所示, 在长宽比分别为0.5、0.75、1和1.25这四种情况下, 按照0.39%配筋率配置分布钢筋的钢筋混凝土支撑墙顶剪力F与墙顶水平位移的关系曲线。

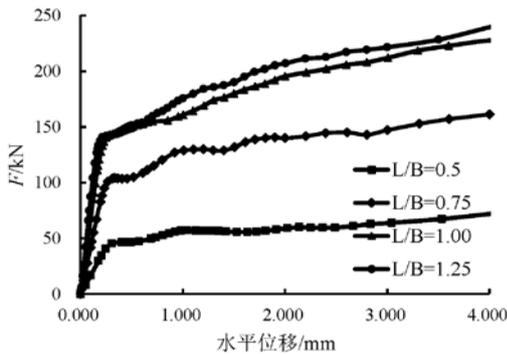


图6 钢筋混凝土墙剪力—位移曲线图

由计算结果可以看到, 配筋后支撑墙的受力情况和变形能力得到明显改善。墙顶位移达到0.2mm时, 墙体开始出现塑性变形, 与素混凝土墙不同, 此时随着位移的持续增大, 支撑墙的抗剪承载力持续增大, 表3为支撑墙抗剪承载力数值。调整墙体配筋, 分别分析了支撑墙长高比L/H=1时, 水平分布钢筋和竖向分布钢筋配筋率为0.25%、0.39%、0.57%和0.75%以及暗柱纵向钢筋为20和25共10种工况的承载力情况, 计算结果如表4所示。

表3 0.39%配筋率钢筋混凝土墙抗剪承载力

L/H(H=1600mm)	0.5	0.75	1	1.25
F弹性段/kN	57	104	144	142
F极限值/kN	94	211	282	289

从计算结果可以看到, 墙体水平和竖向分布

表4 L/H=1钢筋混凝土墙抗剪承载力

水平配筋率/%	0.25	0.39	0.57	0.75
F弹性段/kN	142	144	146	167
F极限值/kN	223	282	299	304
竖向配筋率/%	0.25	0.39	0.57	0.75
F弹性段/kN	142	144	146	167
F极限值/kN	223	282	299	304
暗柱配筋	6Φ20		6Φ25	
F弹性段/kN	144		144	
F极限值/kN	282		282	

钢筋配筋率对墙体抗剪承载力弹性段数值影响不大; 随着配筋率增大, 墙体抗剪承载力极限值有小幅增大; 暗柱配筋率对墙体抗剪承载力几乎没有影响。

### 3.3 支撑墙长高比

本文分析了不同墙体长高比对抗剪承载力的影响, 如图7所示, 按照0.39%配筋率配置分布钢筋, 暗柱配筋为6Φ25情况下, 钢筋混凝土支撑墙顶剪力F与长高比L/H的关系曲线。可以看到, 当长高比从0.5增大到1时, 支撑墙的抗剪承载力接近线性增大; 当长高比达到1时, 支撑墙的抗剪承载力保持不变。

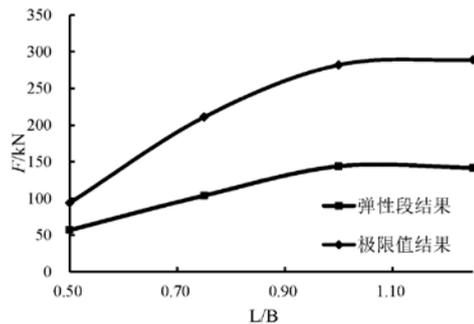
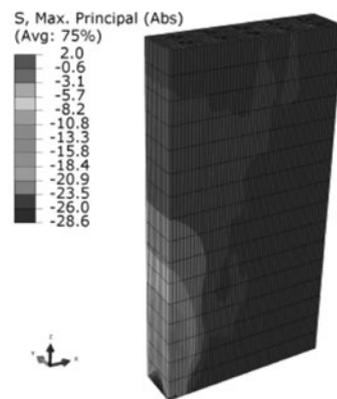


图7 钢筋混凝土墙剪力—长高比曲线图



(a) L/H=0.5

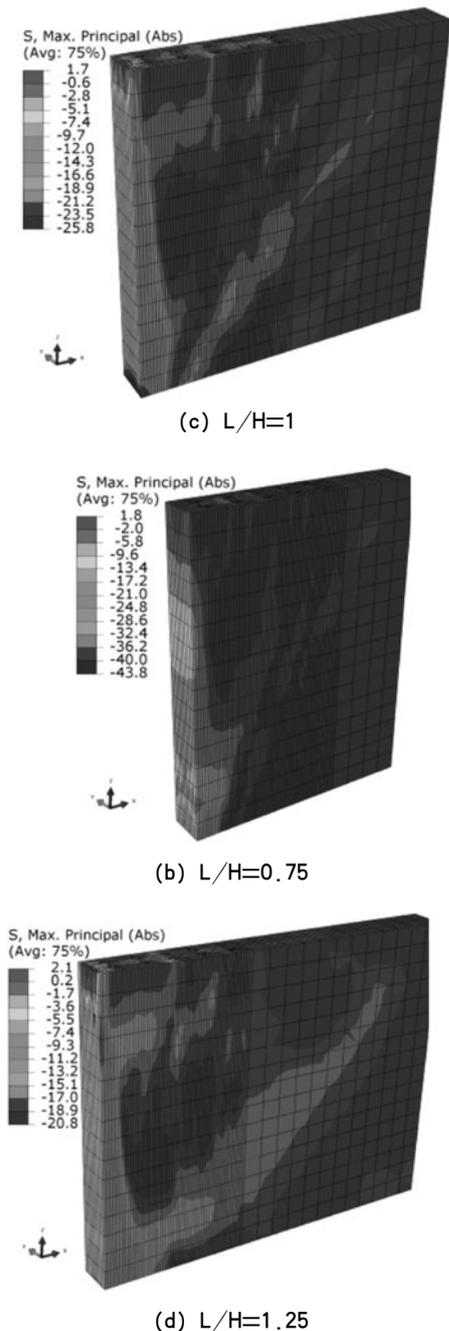


图8 墙体大主应力分布情况/MPa

图8为支撑墙体大主应力分布情况，可以看到，当长高比 $L/H=0.5$ 时，仅墙体左下角出现较高压应力区，墙体最左侧边界呈现下压上拉的弯曲受力状态；当长高比 $L/H=0.75$ 时，墙体最左侧边界的受压区域增大，受拉区域减小，弯曲受力状态减弱。同时从墙体左下角沿 $45^\circ$ 方向有一应力带形成，墙体开始呈现剪切受力状态；当长高比 $L/H=1$ 时，墙体最左侧边界几乎全截面受压，墙体

左下角沿 $45^\circ$ 方向应力带完整形成并延申至墙体尾部，此时支撑墙呈现比较明显的剪切受力状态；当长高比 $L/H=1.25$ 时，支撑墙应力分布形式与 $L/H=1$ 时接近，多出的墙体对于应力带的开展有一定帮助，但由于这部分墙体主要位于受拉区，受限于混凝土较低的抗拉强度，墙长的增大对支撑墙抗剪承载力的帮助比较有限。

#### 4 结论

本文基于实际工程项目，建立了粘滞阻尼器支撑墙的有限元计算模型，对墙体水平向和竖向分布钢筋、暗柱钢筋配筋率，墙体几何尺寸等因素对支撑墙抗剪承载力的影响进行了分析，得到结论如下：

(1) 在支撑墙内配置钢筋可以显著改善支撑墙的受力状态，但配筋率大小对承载力的影响有限，可以仅按照满足墙体承载能力的原则进行配置。

(2) 墙体长高比较小时，墙体呈现受弯受力状态，随着长高比的增大，墙体逐渐进入剪切受力状态，抗剪承载力得到提高；但当长高比达到1时，剪切应力带得到充分发展，继续增大墙长对于提高支撑墙的抗剪承载力意义不大。

#### 参考文献

- [1] 陈晓彬, 潘文, 白羽等. 高烈度区框架结构装设黏滞阻尼器的减震控制分析[J]. 工业建筑, 2016, 46(S1): 391-394.
- [2] 汪大洋, 周云, 王烨华等. 粘滞阻尼减震结构的研究与应用进展[J]. 工程抗震与加固改造, 2006, 28(4): 22-31.

# 某理化实验室楼面活荷载分析

■ 马若辰 王辰 (结构)

**摘要:** 本文以实际项目为例,介绍了理化实验室的总体布置方案和房间布局,在收集整理各种仪器设备样本的基础上,计算了实验室各房间典型板跨的等效均布活荷载,分析了最不利工况,并提出了等效均布活荷载的取值建议,供设计人员参考。

**关键词:** 活荷载;理化实验室;最不利工况

## 1 引言

理化实验,即利用物理学、化学的方法,使用测量工具或仪器设备进行分析检验,包括材料的分析、物质种类的测定、物质含量的测定等定性或定量的分析。进行理化实验的场所就被称为理化实验室。理化实验室常见的功能房间包括核磁室、扫描电镜室、光学仪器室、合成实验室、检材存放室、检验室,以及与生化实验相关的细胞室、核酸提取室等。

近年来,国家对基础科研领域投入持续加大,高校、科研机构乃至创新型企业新建或改造的理化实验室的项目也逐渐增多。本文以某理化实验室实际项目为例,对理化实验室的总体布置方案和房间布局形式进行了介绍,对各个功能房间楼面活荷载进行分析,旨在加深设计者对理化实验室的理解,加强对其活荷载的认识,以期取得较好的社会效益和经济效益。

## 2 研究现状

杨震<sup>[1]</sup>等(2020)研究了41t高吨位登高消防

车在行驶和扑救状态时的等效均布荷载,得出了相关规律和取值建议;王士裴<sup>[2]</sup>等(2019)对城市交通枢纽楼面活荷载等效方法进行了研究,提出了考虑单向板长宽比和公交车数量的改进规范公式;江志峰<sup>[3]</sup>(2017)研究了某室内自旋滑车的等效均布荷载,认为板的跨度及长宽比是等效荷载大小的影响因素;徐国明<sup>[4]</sup>(2013)对某几种常规公共卫生间的蹲便器台阶或小便槽踏步局部荷载进行了分析,认为附加的等效均布恒荷载可取 $1.5\text{kN}/\text{m}^2$ ;姚继涛<sup>[5]</sup>(2014)提出了小样本条件下楼面活荷载标准值和设计值推断的实用方法。以上报道多为在特定工况下,对等效均布荷载取值的研究,但未见实验室类相关的荷载工况。

丁芹<sup>[6]</sup>等(2017)对南京邮电大学第五教学楼的教学用房改造为化学实验室进行了报道,但偏重于对既有楼板配筋的校核和加固方案的提出。

在《建筑结构荷载规范》<sup>[7]</sup>(以下简称“荷载规范”)第5.1.1条中,“试验室”楼面均布活荷载活荷载标准值取不小于 $2\text{kN}/\text{m}^2$ 。此规定是否适用于理化实验室,待后文探讨。

## 3 某理化实验室总体布置方案和房间布局

理化实验室的总体布置方案是各个功能房间

作者简介:马若辰,男,工程师,2015年毕业于天津大学结构工程专业,现就职于航空工业规划总院动力工程设计研究院。

仪器设备和实验家具排布的基础，而房间布局决定了楼面荷载的分布，是进行楼面活荷载分析的前提。

### 3.1 总体布置方案

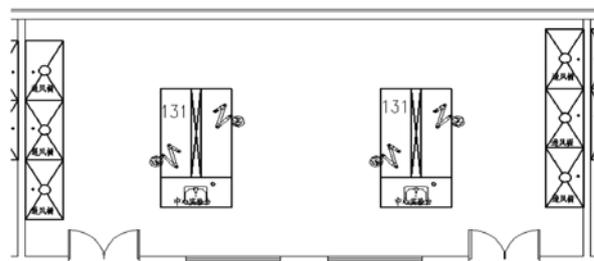
理化实验室总体的布置方案通常有两种，即按实验流程布置和按实验类别布置。按实验流程布置，是针对每一种类别的样本，都按照实验流程形成一个相对完整、连续的实验区域，不同类别的样本分区设置，避免交叉。按实验类别布置，是将仪器设备和配套设施分别集中设置，如设置共用的仪器室。

通常，受制于建筑面积和预算经费，理化实验室多采用按实验类别的布置为主、按实验流程的布置为辅的方案，专业条件相似的分析室尽量予以合并，设备和人员统筹安排。

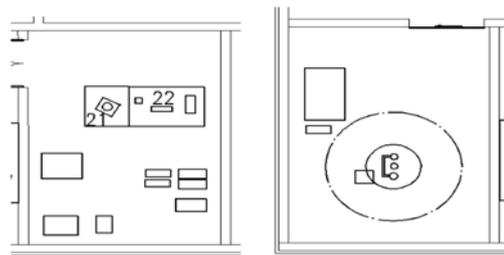
### 3.2 房间布局

笔者结合某理化实验室项目，对其中的25个功能房间进行了梳理，将房间布局形式归纳为侧式布局、岛式布局、混合式布局和其他布局等4种类型，典型布局的房间见图1。

侧式布局实验室内的仪器设备和实验家具沿房间墙壁靠墙布置，呈“U”字布局；岛式布局实验室内的仪器设备和实验家具布置在房间中部，呈“一”字布局；混合式布局实验室的仪器设备和实验家具，既有沿房间墙壁靠墙布置的，也有布置在



(c) 混合式布局



(d) 其他布局

图1 理化实验室房间布局示意图

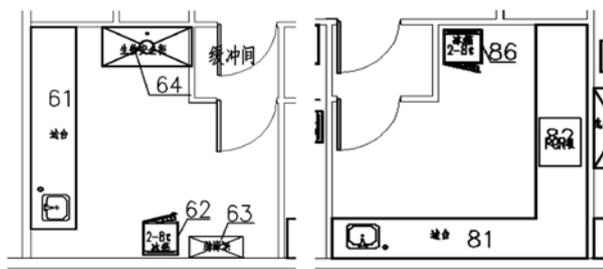
房间中部的，即侧式布局和岛式布局的组合；个别实验室如扫描电镜室和核磁室，房间布局须以设备条件为依据，故归纳为其他布局类型。

## 4 某理化实验室楼面活荷载分析

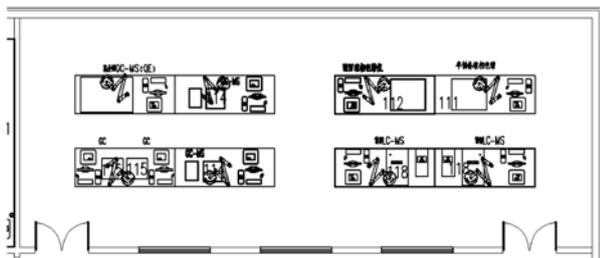
笔者按照实际的房间布局，采用荷载规范附录C的方法确定楼面等效均布活荷载，即按四边简支板的绝对最大弯矩等值来计算。所计算的楼板典型板跨有 $2.7\text{m} \times 8\text{m}$ 、 $4\text{m} \times 9\text{m}$ 、 $4\text{m} \times 4.2\text{m}$ 、 $4.5\text{m} \times 4.5\text{m}$ 这4种，房间布局方式涵盖侧式布局、岛式布局和混合式布局。

### 4.1 人员荷载

理化实验室内的工作人员一般较少且分散。实验室的小型常用仪器由送样人员直接进行操作，不配有实验助理，而大型仪器通常配有实验助理，进行专人操作。故考虑一名送样人员、一名实验助理和一名指导人员，能够满足要求。实验室内的人员荷载工况按作用在板跨跨中的 $2\text{kN}$ 集中荷载考虑，其等效均布活荷载见表1。需要说明的是，对于兼具教学功能的理化实验室，人员相对集中，本文未予考虑。



(a) 侧式布局



(b) 岛式布局

表1 人员等效均布活荷载

序号	板跨(m×m)	等效均布活荷载(kN/m <sup>2</sup> )
1	2.7×8	0.8
2	4×9	0.5
3	4×4.2	1
4	4.5×4.5	0.9

## 4.2 设备荷载

笔者对某理化实验室项目所涉及的逾25台/套仪器设备样本进行了分析,其中,台式仪器放置区域均可按附加1.5kN/m<sup>2</sup>取值,偏于安全;落地式仪器荷载较大,应按实际取值。此外,通风柜按2.5kN/m<sup>2</sup>取值,工作台、仪器台等实验家具按1.5kN/m<sup>2</sup>取值。

经计算,设备等效均布活荷载(单位kN/m<sup>2</sup>)范围为0.7~1.8,其中,活荷载0.7~1.2的房间均为侧式布局,活荷载1.7~1.8的房间均为岛式布局。

## 4.3 楼面等效均布活荷载分析

根据计算结果,不同的设备+人员等效均布活荷载等级的房间所占比例见表2。

表2 某理化实验室等效均布活荷载统计表

设备+人员等效均布活荷载 q(kN/m <sup>2</sup> )	房间个数 占比	房间面积占比
$q \leq 2$	56%	34%
$2 < q \leq 2.5$	22%	21%
$2 < q \leq 2.8$	22%	45%

由表2可知, $q \leq 2$ 的房间个数占比超过总数的一半,达到56%,其房间面积约占理化实验室总面积的1/3,这部分房间的荷载水平与荷载规范5.1.1规定的“试验室”相当; $2 < q \leq 2.5$ 的房间个数占比和房间面积占比均约为总数的1/5; $2.5 < q \leq 2.8$ 的房间个数占比约为1/5,其房间面积占比为45%,接近理化实验室总面积的一半。故荷载规范5.1.1规定的“试验室”楼面均布活荷载标准值2kN/m<sup>2</sup>不适用于理化实验室,相应的取值建议为3kN/m<sup>2</sup>。

## 4.4 最不利工况分析

### 4.4.1 单向板2.7m×8m

两个侧式布局的房间在2.7m×8m的单向板跨中分界,由于隔墙两侧均靠墙放置有设备或操作

台,使楼板跨中荷载较为集中。单独分析这块楼板,其分布形式包含岛式布局,如图2所示。其设备+人员等效均布活荷载为2.1kN/m<sup>2</sup>。

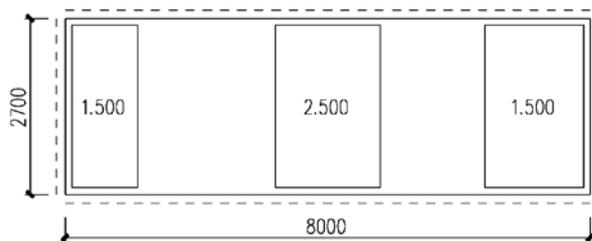


图2 单向板2.7m×8m的最不利工况1

单向板2.7m×8m板跨跨中设置有尺寸1m×5.6m的连续仪器台,如图3所示,其设备+人员等效均布活荷载为2.6kN/m<sup>2</sup>。

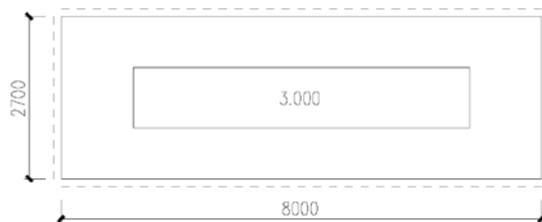


图3 单向板2.7m×8m的最不利工况2

### 4.4.2 单向板4m×9m

单向板4m×9m的最不利布置如图4所示,跨中布置有两排连续仪器台,其设备+人员等效均布活荷载为2.2kN/m<sup>2</sup>。

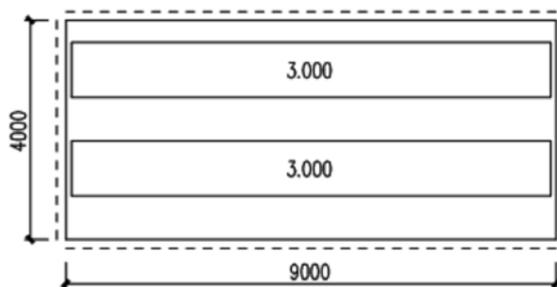


图4 单向板4m×9m的最不利工况

### 4.4.3 双向板4m×4.2m

双向板4m×4.2m板跨内有两个宽度1m的仪器台沿4m方向满布,如图5所示,其设备+人员等效均布活荷载为2.7kN/m<sup>2</sup>。

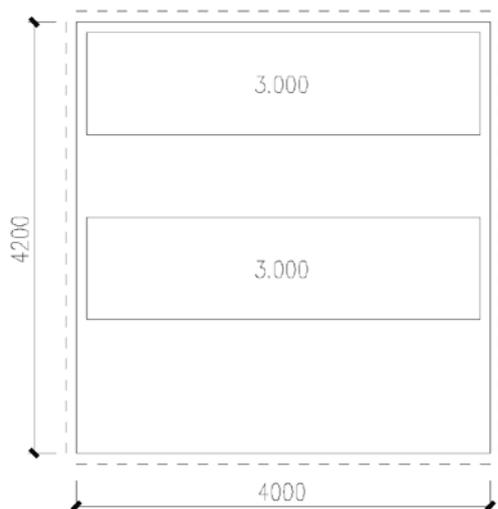


图5 双向板4m×4.2m的最不利工况

#### 4.4.4 双向板4.5m×4.5m

双向板4.5m×4.5m的最不利布置如图6所示，跨中布置有3排连续仪器台，其设备+人员等效均布活荷载为2.7kN/m<sup>2</sup>。

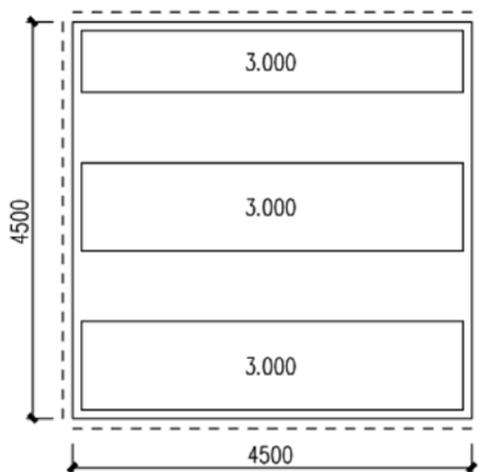


图6 双向板4.5m×4.5m的最不利工况

## 5 结语

本文结合某理化实验室项目，介绍了实验室总体布置方案，梳理了功能房间布局形式，分析了各功能房间典型板跨的等效均布活荷载，主要结论如下：

(1) 理化实验室的总体布置通常采用按实验

类别为主、按实验流程为辅的方案。

(2) 理化实验室功能房间的布局方式包括侧式布局、岛式布局、混合式布局和其他布局。

(3) 岛式布局比侧式分布更容易产生最不利工况。

(4) 对于与本文所述相似的理化实验室，板跨2.7m×8m、4m×9m、4m×4.2m、4.5m×4.5m等楼面等效均布活荷载标准值，建议取值为3kN/m<sup>2</sup>。

## 参考文献

- [1] 杨震, 陈德良, 等. 41t登高消防车等效荷载取值研究[J]. 建筑结构, 2020, (1):59-82.
- [2] 王士裴, 李雨航, 等. 城市交通枢纽楼面活荷载等效方法研究[J]. 建筑结构, 2019, (24):60-66.
- [3] 江志峰. 大型移动设备荷载的结构设计分析[J]. 特种结构, 2017, (3):27-34.
- [4] 徐国明. 对公共卫生间当量均布荷载的取值探讨[J]. 建筑结构, 2013, (22):65-67.
- [5] 姚继涛, 王旭东. 楼面活荷载标准值和设计值的小样本推断方法[J]. 工业建筑, 2014, (10):64-70.
- [6] 丁芹, 王义成. 实验室楼面荷载校核及加固方法探讨[J]. 江苏建筑, 2017, (1):77-79.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部, GB 50009-2012 建筑结构荷载规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.

# 基于政策规定下的建设工程合同付款约定分析及优化建议

■ 邵飞 [工程造价]

**摘要:** 本文通过搜集整理相关文件中对合同付款方式的约定,建立进度支付模型分析合同付款约定,进而预防建设项目出现施工方现金流断裂现象,促进工期与进度款支付协调、合理,从而保障建设项目合规平稳的推进,优化项目投资结构。

**关键词:** 进度支付模型;控制变量法;参变量;毛利润

## 1 绪论

### 1.1 研究背景

目前,多数项目合同中付款方式的约定往往参考类似项目固定模板,在建设施工期,部分项目往往在预付款回扣期内出现施工方现金流断裂情况,进而引发现场工人消极怠工,材料不能及时到场等情况。业主方为推进项目进度、考虑施工难度,需增加相应支出,但依据双方合同,预付款、进度款已如期支付,从而出现过程中双方争议纠纷现象,对项目进度不利。如何预防施工方在施项目现金流断裂呢?业主方、施工方提升自身管理,制定管理制度,做好团队沟通配合,推进各项流程等的应对措施受人为因素影响较大,等属于后期控制,可控性较低;在招投标、合同签署阶段分析制定合理的合同条款属于前期控制,可以通过经验总结、测算模拟等方式制定合理的合同条款,对后续施工有利,项目可控性较高。本文将深入分析研究如何通过制定合理的合同付款约定,从而达到预防施工方在施项目现金流断裂现象,为项目顺利推进提供保障。

作者简介:邵飞,男,工程师,2012年7月毕业于太原理工大学统计学专业,现就职于航空工业规划总院电子工程设计研究院。

### 1.2 研究意义

本文通过建立进度支付模型,分析总结不同进度支付模型对施工过程产生的影响。对业主方、施工方可分别针对各自情况在项目前期模拟进度模型,制定相应合同条约及应对措施,进而预防或降低施工过程中可能出现的施工方现金流断裂风险,为推进项目进展、减少项目成本浪费等发挥切实作用。

### 1.3 研究主要内容和方法

本文通过设立模型假设,对进度支付过程的变量进行定量分析,建立进度支付模型。通过控制变量法,模拟分析不同进度支付模型下的累计毛利润,采用图表分析的模式探索进度支付模型的数学原理,从而分析各参变量变化对进度支付模型产生的影响,总结主要影响变量,并提出优化建议。

## 2 法规、规范等文件中对合同付款的相关规定、约定

(1) 我国关于建设工程合同付款约定的相关内容见表1。

(2) 合同示范文本指建设工程施工合同(示范文本)GF2017-0201。

表1 法规、规范等文件中对合同付款的规定、约定

付款节点	结算暂行办法	合同示范文本	清单计价规范	质保金管理办法
预付款	第十二条、合同金额10%~30%，必须在合同中约定抵扣方式，并在工程进度款中进行抵扣	12.2.1、预付款的支付按照专用合同条款约定执行，除专用合同条款另有约定外，预付款在进度付款中同比例扣回	10.1.2、签约合同价（扣除暂列金额）的10%~30%	
进度款	第十三条、当期确定工程价款的60%~90%	12.3.2、除专用合同条款另有约定外，工程量的计量按月进行；12.4.1、除专用合同条款另有约定外，付款周期约定与计量周期保持一致	10.3.7、进度款的支付比例按照合同约定，按期中结算价款总额计，不低于60%，不高于90%	
变更价款	第十条、确认增（减）的工程变更价款作为追加（减）合同价款与工程进度款同期支付	10.4.2、因变更引起的价格调整应计入最近一期的进度款中支付	10.3.6、承包人现场签证和得到发包人确认的索赔金额应列入本周期应增加的金额中	
保证金				第七条、不得高于工程价款结算总额的3%

注：（1）结算暂行办法指《建设工程价款结算暂行办法》财建[2004]369号。

（3）清单计价规范指《建设工程工程量清单计价规范》GB50500-2013。

（4）质保金管理办法指《建设工程质量保证金管理办法》（建质〔2017〕138号）。

通过表1可知：合同中预付款支付比例可为10%~30%之间，进度款支付比例可为60%~90%之间，质保金预留比例不得高于工程价款结算总额的3%。确认的追加（减）合同价款随进度款同期支付。结合建设项目实际签署合同经验，一般在合同专用条款中还会设立完工款比例、竣工验收通过后付款比例、结算后付款比例。

### 3 基于合同约定的进度支付模型建立及分析

本章节主要分析合同关于付款的约定，需要以下步骤：

第一步、依据第一章整理的相关条款，分析变量，根据变量情况建立项目进度支付模型；

第二步、对模型进行分析，分析不同变量取值变化对模型造成的影响，总结各变量设定的作用，找出主要变量及其函数关系，优化进度支付模型。

#### 3.1 进度支付模型建立过程

##### 3.1.1 模型假设及评价标准的确定

通过整理归纳，建立进度支付模型，分析施工过程中施工方现金流压力，设定评价价值，即施工方的项目毛利润（项目收入—施工支出）。因各施工方自身管理水平高低不同，管理成本比例不一致，毛利润中不扣除项目管理成本支出，仅考虑业主方收款、工程施工支出。

项目总毛利润=项目总收入-施工总支出

项目总收入为施工方投标报价，施工总支出为有经验的施工方测算的施工成本总支出（不含管理成本）。即在投标期，有经验的施工方已预估暂定项目总体毛利润水平。本模型现暂不考虑项目施工过程中变更影响，假设无变更，投标报价等于结算价。

签订合同后可以确定项目毛利润率：总毛利润率=总毛利润/项目总收入=1-施工总支出/项目总收入。

例如：假设投标总价（项目总收入）为1000万，测算施工总支出为800万，即项目毛利润为200万，项目总毛利润率为20%。

同理月毛利润=月收入-月支出。假定项目月毛利润率≈总毛利润率。当累计月毛利润和为负

时,施工方需要垫资,以此可以评价施工方过程现金流压力。

由以上分析,可得出模型假设前提及评价标准:

(1) 本模型暂不考虑项目变更影响。

(2) 本模型假设项目月毛利润率=项目总毛利润率。

(3) 模型的评价标准是通过设定项目毛利润,用累计月毛利润值来评价不同进度支付设定下施工方累计现金流压力。

### 3.1.2 进度支付模型的变量分析

施工方当月收入以上月已确认合格工程量(上月产值)的比例进行支付;月支出为当月确认合格工程量(当月产值)扣除月毛利润后的支出,由此可知,进度支付模型中月产值为自变量,月收入为因变量。累计月毛利润=累计月收入-累计月支出,累计月毛利润也为因变量。

通过分析,可知合同约定的付款节点变量(即参变量)为预付款比例、进度款支付比例、预付款扣回节点、完工款支付比例、竣工验收支付比例、结算后支付比例、质保期满后支付比例。

由以上模型假设、变量分析及各比例取值范围要求,可做出如下参变量取值范围,见表2。

表2 进度支付模型参变量取值范围表

支付项目	比例设置					
	1	2	3	4	5	6
月毛利润率(S)	10%	20%	30%			
预付款比例(Y)	10%	15%	20%	25%	30%	
进度款支付比例(J)	60%	70%	75%	80%	85%	90%
预付款扣回(K)	50%一次扣回	50%两次扣回	50%三次扣回	50%五次扣回	前三次扣回	不扣回
完工款比例(W)	75%	80%	85%	90%		
竣工验收比例(O)	80%	85%	90%	95%		
结算后支付比例(F)	97%					
质保后支付	3%					

由表2可知,可以通过排列组合算出不同参变量值组成的进度模型个数:3(月毛利润率)\*5(预付款比例取值范围)\*6(进度款支付比例取值范围)\*6(预付款扣回取值范围)\*(2+3+4+4)(完工款比例、竣工验收比例取值范围)\*1(结算后支付比例取值范围)\*1(质保后支付取值范围)=7020(组)。

### 3.1.3 进度支付基础模型的建立

因参变量不同排列组合形成的进度模型体量庞大,可以用控制变量法先设定一组参变量值作为基础值,针对某一种参变量值的变化,固定其余参变量值,分析这种参变量值的变化对进度支付模型造成的影响。

第一步、确定模型参变量选值,见表3。

表3 基础参变量值设定表

序号	模型参变量	选值	备注
1	毛利润率(S)	20%	
2	预付款比例(Y)	20%	
3	进度款比例(J)	70%	
4	预付款扣回(K)	50%	分两次扣回
5	完工款节点(W)	80%	
6	验收后(O)	85%	
7	结算(F)	97%	
8	质保	100%	

第二步、根据参变量选值建立进度支付模型,见表4。

本模型通过累计月产值确定累计月收入,通过签约合同额确定的毛利润率与累计月产值确认累计月支出,累计月毛利润=累计月收入-累计月支出,由此建立进度支付模型。

由表3、图1可知,累计月毛利润在项目初期收到预付款后的20%,随着项目施工逐渐减少,在预付款扣回期即累计月产值在60%时为负值,在项目累计月产值完成90%~100%时达到负值极限17%,竣工验收后转负为正,缺陷责任期满后,累计毛利润回至20%。

### 3.2 进度支付模型分析

#### 3.2.1 仅毛利润率(S)值变化的进度支付模型分析

因模型已定,调整参变量后模型占用篇幅字

表4 项目进度支付模型基础值测算表

月份	形象进度节点	月产值	累计月产值	月收款	累计收款	月支付	累计支付	累计毛利润
公式		A	$B = \sum A$	C	$D = \sum C$	$E = A * (1 - S)$	$G = \sum E$	$I = D - G$
1	预付款	0%	0%	20%	20%	0%	0%	20.0%
2		10%	10%	0.0%	20.0%	8%	8%	12.0%
3		10%	20%	7.0%	27.0%	8%	16%	11.0%
4		10%	30%	7.0%	34.0%	8%	24%	10.0%
5		10%	40%	7.0%	41.0%	8%	32%	9.0%
6		10%	50%	7.0%	48.0%	8%	40%	8.0%
7		10%	60%	0.0%	48.0%	8%	48%	0.0%
8		10%	70%	0.0%	48.0%	8%	56%	-8.0%
9		10%	80%	1.0%	49.0%	8%	64%	-15.0%
10		10%	90%	7.0%	56.0%	8%	72%	-16.0%
11	完工	10%	100%	7.0%	63.0%	8%	80%	-17.0%
12	竣工验收	0%	100%	17.0%	80.0%	0%	80%	0.0%
13	验收后一个月	0%	100%	5.0%	85.0%	0%	80%	5.0%
14	结算	0%	100%	12.0%	97.0%	0%	80%	17.0%
15	缺陷责任期	0%	100%	3.0%	100.0%	0%	80%	20.0%

注：本月收款C为上月确认产值A乘进度款比例确定。

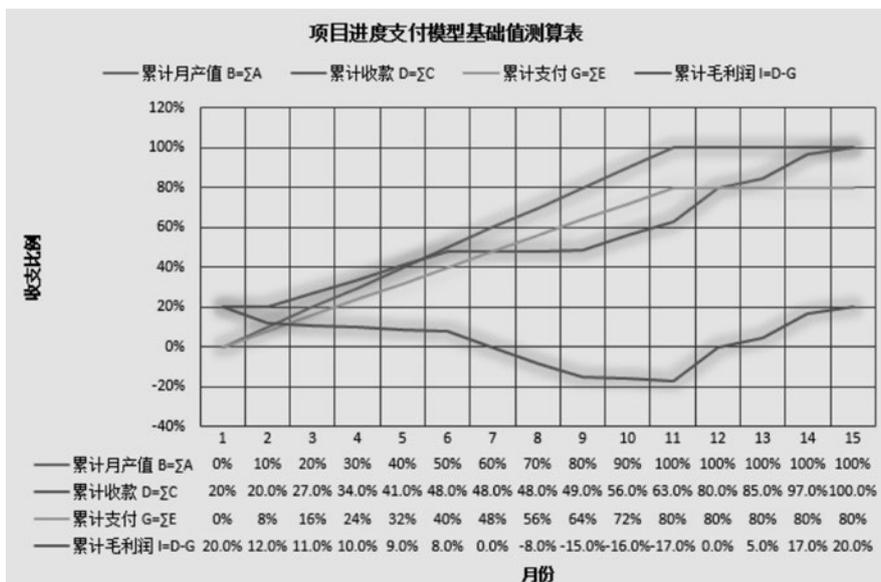


图1 项目进度支付模型基础值测算

数较多，本节仅展示参变量变化的累计毛利润对比表，以此对模型结果进行分析。

由图2可知，在毛利润率（S）设定值升高时，累计月毛利润为0点延后，负值区间变短，负值上限降低。即项目毛利润率预计较高时，收款足以支付施工支出，施工方过程中现金流断裂风险降低。

### 3.2.2 仅预付款比例（Y）值变化的进度支付模型分析

由图3可知，在预付款比例（Y）设定值升高时，累计月毛利润为前期较高，0点延后，负值区间变短，负值上限

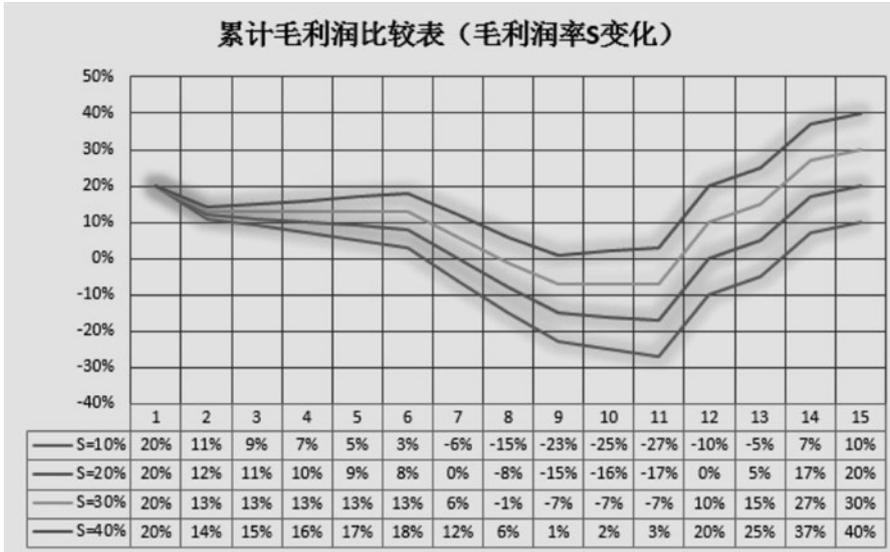


图2 毛利润率 (S) 选值变化的累计毛利润对比

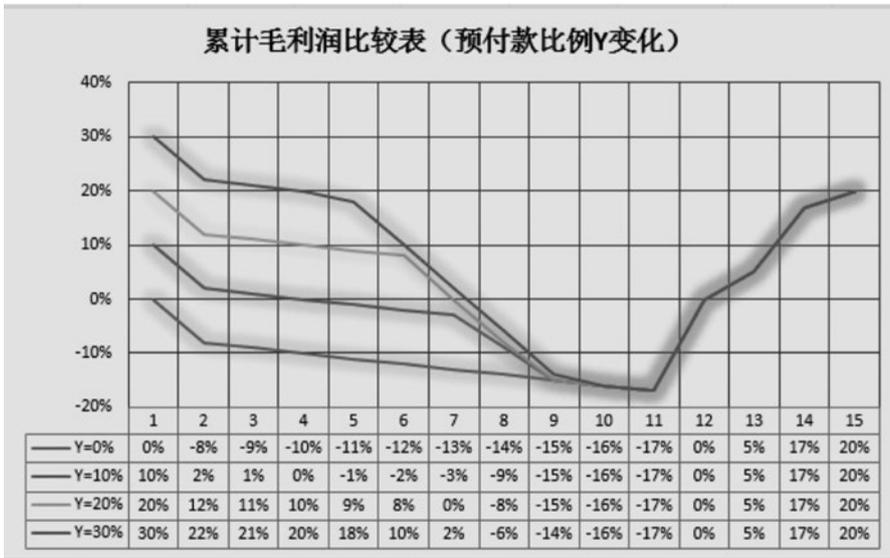


图3 预付款比例 (Y) 选值变化的累计毛利润对比

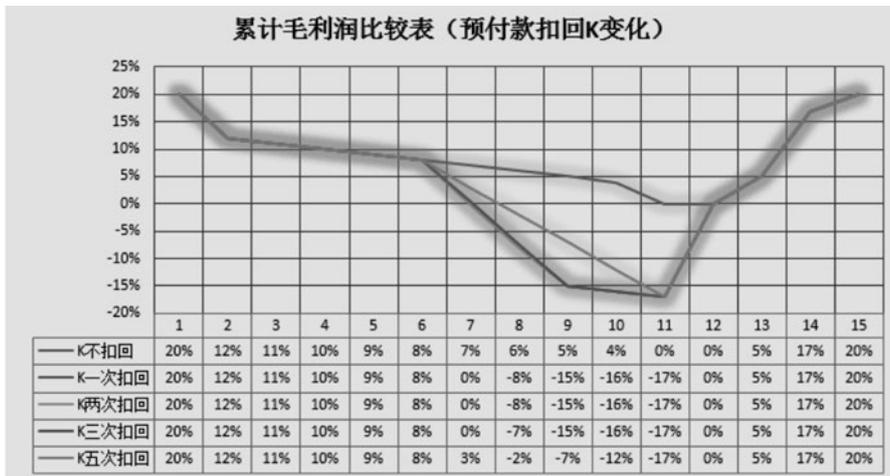


图4 预付款扣回 (K) 变化的累计毛利润对比表

不变, 即项目预付款比例升高时, 项目前期资金充足, 在预付款扣回后, 施工方过程中现金流断裂风险不变。

### 3.2.3 仅预付款扣回 (K) 变化的进度支付模型分析

由图4可知, 预付款不扣回时, 累计月毛利润无负值, 施工方过程现金流无断裂风险, 施工方几乎各阶段均有毛利润; 预付款扣回时, 累计月毛利润出现负值, 施工方过程现金流出现断裂风险。预付款扣回速率对累计毛利润负值上限无影响。预付款扣回越慢, 累计毛利润0值延后, 负值区间缩短。

### 3.2.4 仅进度款比例 (J) 值变化的进度支付模型分析

由图5可知, 进度款比例 (J) 设定值升高时, 预付款扣回节点提前, 累计毛利润0点提前, 负值区间延长, 负值上限降低。即进度款比例提高时, 施工方现金流断裂仍有风险, 风险值上限降低。

### 3.2.5 仅完工款节点 (W) 值变化的进度支付模型分析

由图6可知, 完工款节点 (W) 影响项目完工期资金支付, 随着W值升高, 累计毛利润负值区间缩短, 负值上限降低。当W < J时, 完工收尾期施工方收不到或者收到少部分资金, 不利于项目收尾工作。

### 3.2.6 仅竣工验收后付款节点 (O) 值变化的进度支付模型分析

由图7可知, 竣工验收后付款节点 (O) 影响验收后累计毛利润回收速率, 随着竣工验收后付款比例升高, 累计毛利润回收速率越快。

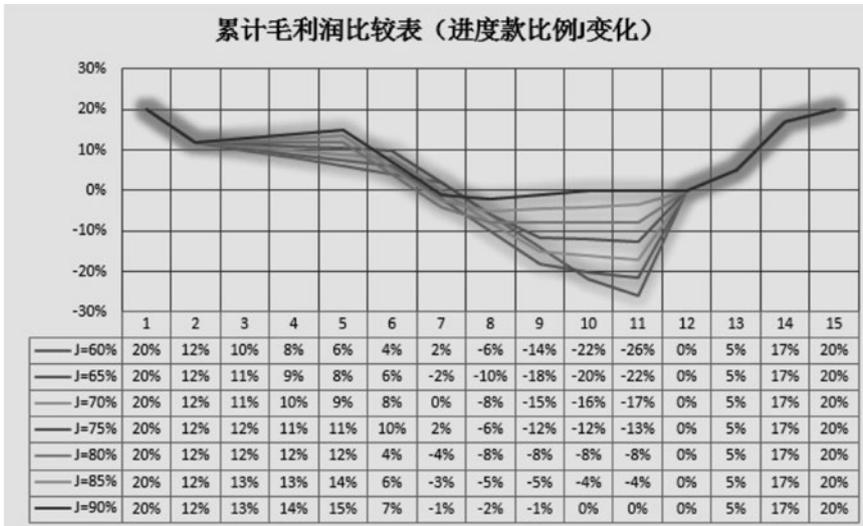


图5 进度款比例 (J) 取值变化的累计毛利润对比表

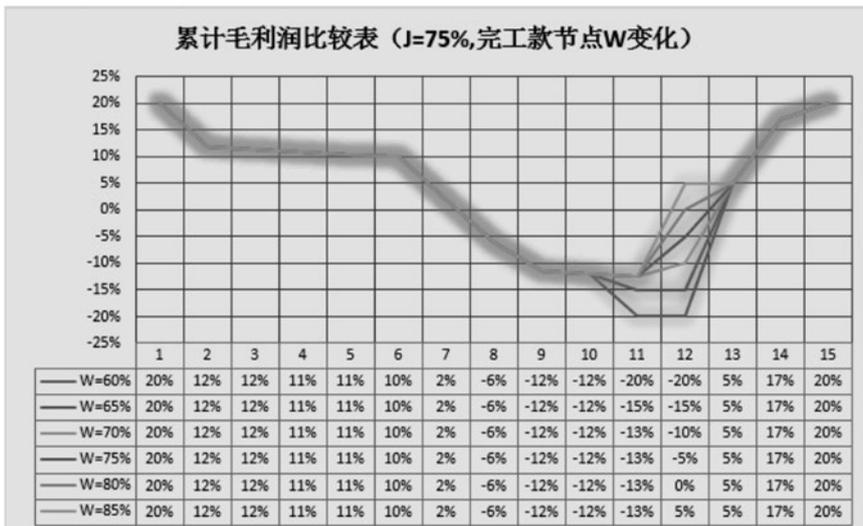


图6 完工款节点 (W) 取值变化的累计毛利润对比表

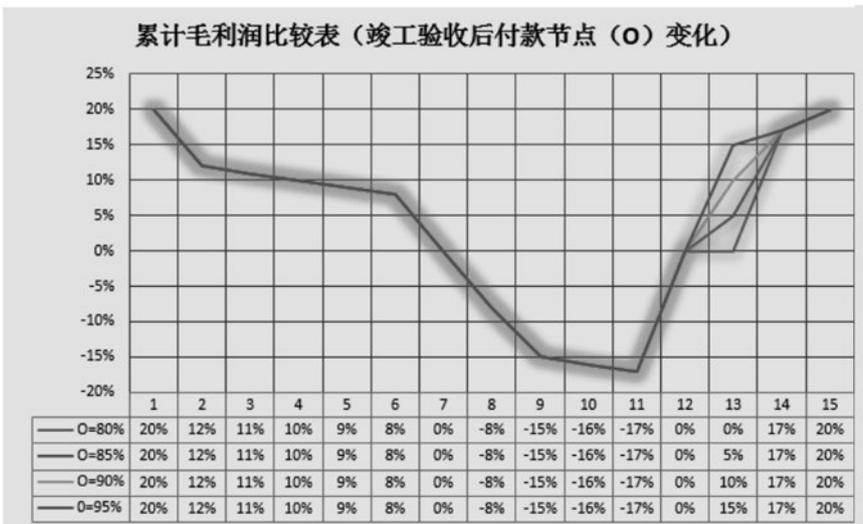


图7 竣工验收后付款节点 (O) 取值变化的累计毛利润对比表

### 3.2.7 项目工期1年、2年、3年的进度支付模型对比分析

项目工期2年、3年模型参变量值设定表选取与表3一样的取值。工期2年平均月产值为4.5%，工期3年平均月产值为2.94%。

比较同样参变量取值范围下不同工期的进度支付模型，因工期不同，不能用时间做横坐标，以横坐标为累计月产值完成比，用X-Y散点折线图来比较工期不同进度支付模型的变化，见图10。

由图10可知，不同的工期项目，在同一参变量设定下，累计毛利润在预付款扣回期出现负值，负值对应的完成产值区间基本一致，工期时间越长，负值区间存在的时间越长。

## 3.3 模型总结及优化建议

### 3.3.1 模型总结

总结前文，可得出如下模型总结：

(1) 模型假设：

(a) 本模型暂不考虑项目变更影响；

(b) 本模型假设项目月毛利润率=项目总毛利润率。

(2) 模型评价标准：通过设定项目毛利润，用累计月毛利润值来评价不同进度支付设定下施工方累计资金流压力。

(3) 模型分析方法：对模型自变量、因变量、参变量进行分析，用控制变量法依次改变某一种参变量变化，固定其余参变量，分析该参变量变化导致模型中自变量增长后，因变量产生的变化来分析参变量对进度支

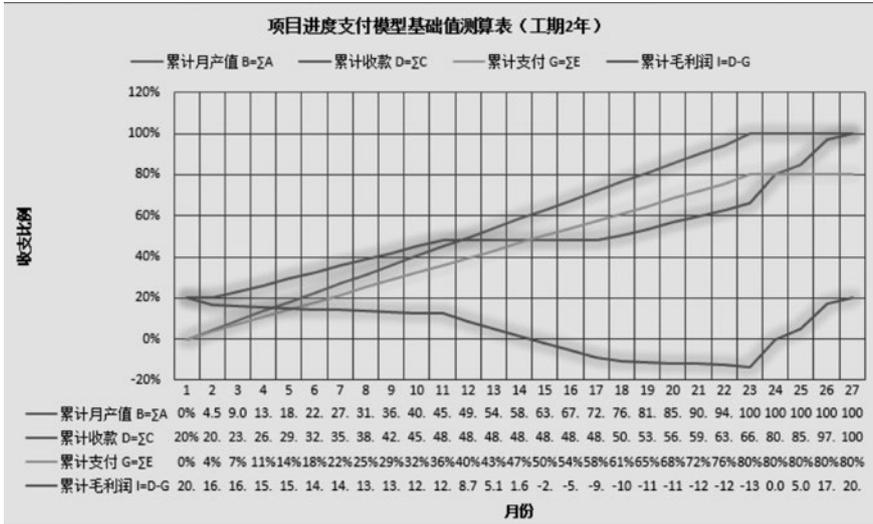


图8 项目工期2年项目进度支付模型

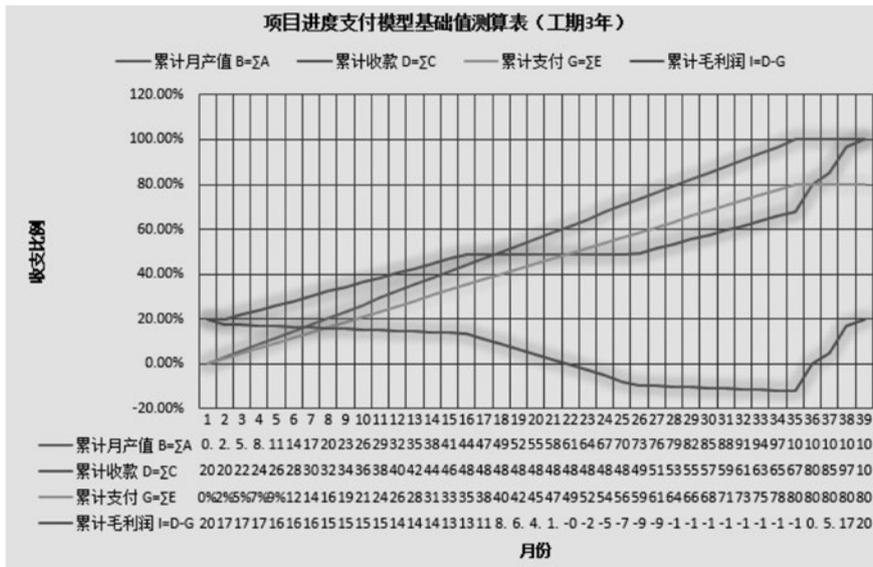


图9 项目工期3年项目进度支付模型

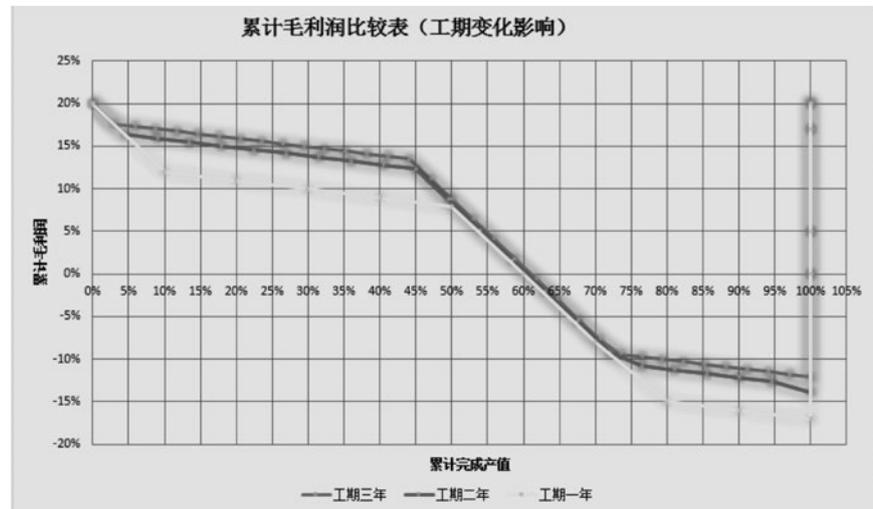


图10 工期变化的累计毛利润对比表

付模型产生的影响。

(4) 模型参变量影响作用归纳见表5。

通过对模型进行分析总结，得出如下6点主要结论：

(1) 毛利润率高的项目，施工方现金流压力降低或无。

(2) 预付款的设定根据项目前期设备材料投入准备情况确定，对预付款扣回期前施工方毛利润有影响。预付款扣回越慢，施工方现金流压力减缓。若项目前期设备材料投入不大，不建议预付款支付比例太高，以防施工方挪作他用。

(3) 完工款比例需与进度款支付比例相匹配，若完工款比例低于进度款支付比例，容易在项目收尾阶段，出现施工方无资金收入情况发生，对项目进度不利。

(4) 竣工验收及结算款对施工方毛利润回收速率有影响，可视项目毛利润高低情况确定竣工验收及结算款，以防施工方毛利润回收速率过快，造成部分细节工作施工方配合不到位；若项目毛利润过低，需推进加快项目结算工作。

(5) 不同项目不同工期同一付款条件下，施工方现金流压力出现的进度区间基本一致，工期越短，现金流压力上限越大。但同一项目若因各种原因延长工期，会增加施工方自身管理成本支出，影响总体毛利润率，增加施工方现金流压力。

(6) 若项目过程中出现重大变更，又不及时认价，会显著增加施工方过程支出，增

表5 模型参变量影响作用归纳表

序号	模型参变量	设定趋势	月度累计毛利润		
			0点	负值区间	负值上限
1	毛利润率 (S)	升高	延后	缩短	降低
2	预付款比例 (Y)	升高	延后	缩短	不变
3	进度款比例 (J)	升高	提前	延长	降低
4	预付款扣回 (K)	速率减慢	延后	缩短	无影响
5	完工款节点 (W)	升高	无影响	缩短	降低
6	验收后 (O)	升高	无影响	无影响	无影响
7	工期	不同工期的项目, 同一参变量设定下, 累计毛利润在预付款扣回期出现负值, 负值对应的完成产值区间基本一致, 工期时间越长, 负值区间存在的时间越长。			

表6 J+S-1参变量值设定表

序号	模型参变量	选值1	选值2	选值3	选值4	备注
1	毛利润率 (S)	30%	30%	30%	30%	
2	预付款比例 (Y)	20%	20%	20%	20%	
3	进度款比例 (J)	65%	70%	75%	80%	
4	预付款扣回 (K)	50%	50%	50%	50%	分两次扣回
5	完工款节点 (W)	80%	80%	80%	80%	
6	验收后 (O)	85%	85%	85%	85%	
7	结算 (F)	97%	97%	97%	97%	
8	质保	100%	100%	100%	100%	

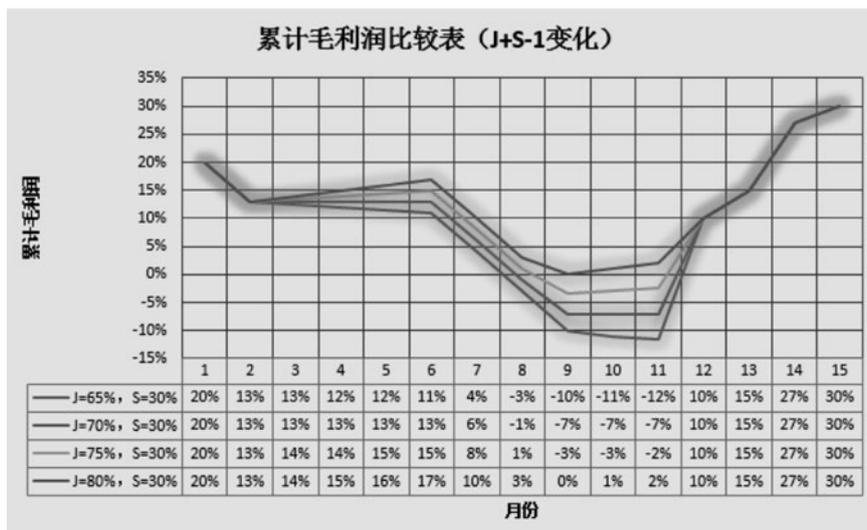


图11 J+S-1变化的累计毛利润对比表

加施工方现金流压力。

### 3.3.2 模型优化

通过上述模型发现, 为何施工过程中总是出现累计毛利润负值区间? 如何缩短累计毛利润? 如何降低累计毛利润负值上限? 这些都是需要考虑优化进度支付模型的问题。

若施工方月收入比例 (月进度款支付比例 (J)) < 施工方月实际支出比例 (即1-月毛利润率 (S)), 即施工方收到的进度款小于其实际支出的进度费用, 入

表7 不同毛利润率 (S) 的模型参变量选值表

序号	模型参变量	S=10% 选值	S=20% 选值	S=30% 选值	备注
1	毛利润率S	10%	20%	30%	
2	预付款比例Y:	20%	20%	20%	
3	进度款比例J:	90%	80%	70%	产值达到50%后调整为95% (S=10%) / 90% (S=20%) / 80% (S=20%)
4	预付款扣回K	50%	50%	50%	分5次扣回
5	完工款节点W	90%	85%	80%	
6	验收后O	95%	90%	85%	
7	结算F	97%	97%	97%	
8	质保	100%	100%	100%	

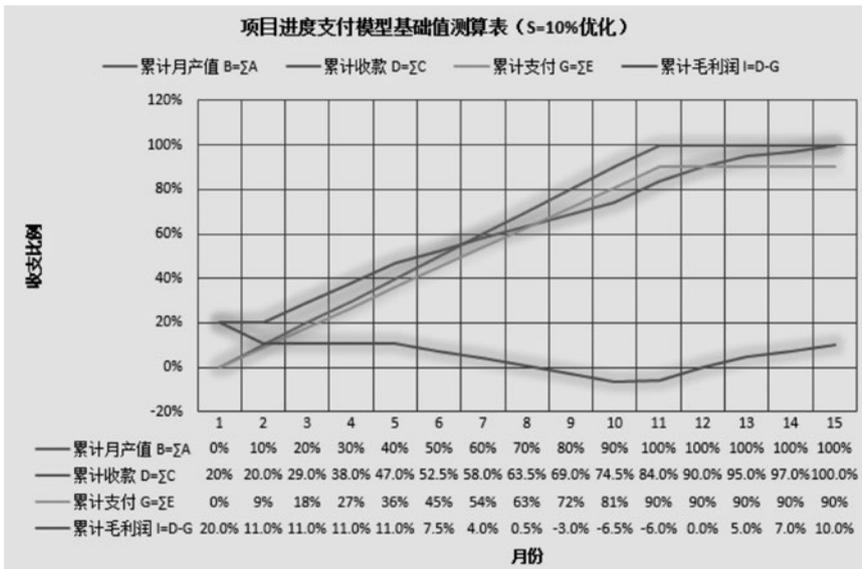


图12 项目进度支付模型测算 (S=10%优化)

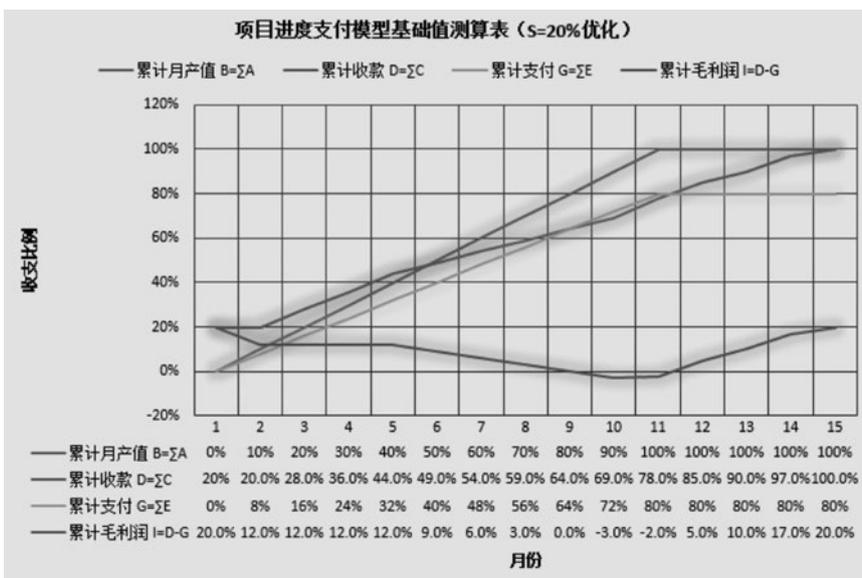


图13 项目进度支付模型测算 (S=20%优化)

不敷出, 预付款扣回后会出现累计毛利润为负的情况。设置进度款比例 (J) > 1-毛利润率 (S), 模型的变化情况, 见表6、图11。

由图11可以看出, 模型由 J < 1-S 逐渐到 J 大于 1-S 后, 累计毛利润负值区间显著缩短, 累计毛利润负值上限降低。因此, 可以调整进度支付比例来优化进度支付模型。

进度款支付比例与毛利润之和与项目过程现金流有直接关系, 属于主要影响参变量。需根据项目毛利润选择适宜的项目进度款支付比例, 以防项目过程中出现重大现金流断裂情况, 而引发项目停工等重大风险。若在项目毛利润较低情况下, 项目招标图与施工图有重大变化及变更, 存在无价可依的情况, 需抓紧认价。在合同中规定变更支付比例进行支付, 若无法达成最终认价, 可在合同中约定变更估价内容及支付比例, 最终价格以结算为准。

通过以上分析, 为减缓预付款扣回期施工方现金流压力, 可以视项目情况一方面减缓预付款扣回速率, 一方面设置两阶段进度款比例, 即预付款扣之前支付比例与预付款抵扣期开始支付比例, 例如: 合同约定累计确认产值达到50%前进度款支付比例为75%, 累计确认产值达到50%当月开始抵扣预付款, 且当月以后进度款支付比例调整为80%, 因前期累计50%的产值是按75%比例支付的, 后50%的产值是按80%支付的, 完工前累计付款为77.5%, 提高了过程付款效率。此两阶段进度款支付比例

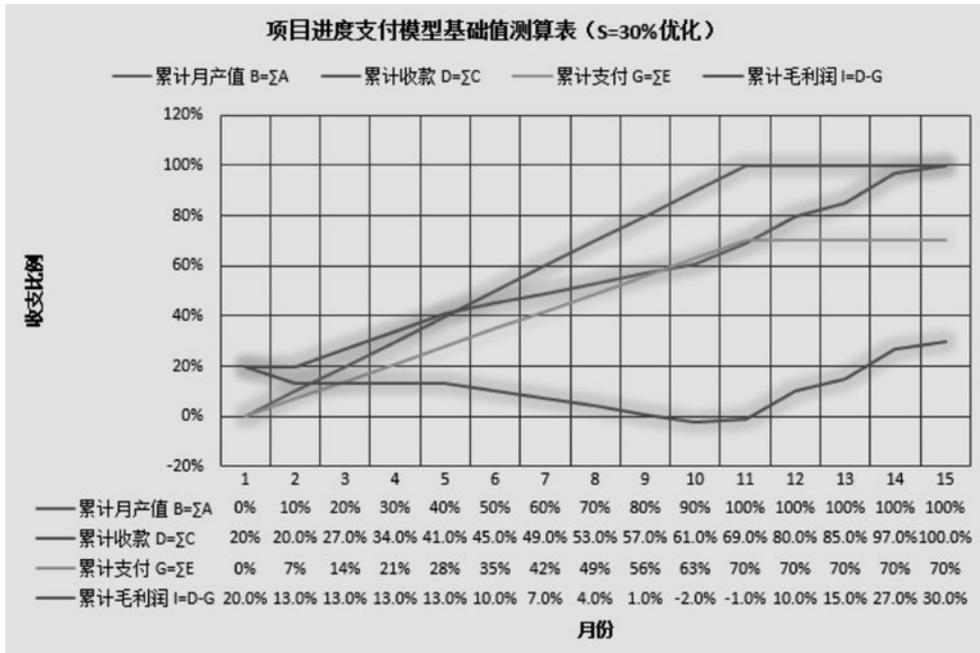


图14 项目进度支付模型测算 (S=30%优化)

会有效降低累计毛利润负值上限，降低施工方过程资金流压力。

### 3.3.3 预定不同毛利润率的进度支付模型建议

目前新形势下，受疫情、国际形势等各种因素影响，材料市场价格波动大，人员流动频繁，部分区域某段时期出现用工荒等情况，在新老项目建设施工中容易引发现金流断裂情况，产生各种纠纷。根据上述情况，分别给出测算后优化的毛利润率在10%、20%、30%的进度支付模型，以供大家参考。

毛利润率为10%，适应市场价格波动能力弱，新形势下不建议以此参与新项目投标。

此模型前期进度款支付比例 (J) 也可设置为75%。

以上进度支付模型供参考，预付款比例及扣回可根据项目实际情况测定。

## 4 结语

通过建立进度支付模型，可以测算施工方过程现金流压力水平，即通过过程中施工方现金流短期的承压，达到最终结算时实现预定的项目毛利润。例如施工方过程中现金流短期内承压上限为17%，最终实现毛利润为20%。

在以后的项目管理工作中，业主方在项目前

期可根据项目资金情况、项目工期需求、行业平均毛利润水平、市场波动等情况模拟进度支付模型，制定合理合同支付条款，保障项目顺利施工进展；施工方在投标期可根据招标控制价、招标文件中付款约定、企业毛利润率、市场波动等合理确定投标报价，并通过进度模型测算项目过程资金压力，制定相应的资金使用策略，降低过程现金流压力，提升项目管控水平。

本文通过对进度支付模型进行分析总结，对毛利润比例、预付款比例、预付款扣回、进度款比例、完工款比例、竣工结算款比例设定对进度支付模型的影响分别作了测试和解释说明，提出主要影响变量为毛利润与进度款比例，在合同中约定两阶段进度款比例，可有效降低施工方现金流断裂风险的建议。通过本文的论述和思路，在以后的招投标及合同签署工作中可以参考，并通过量化思维，提升造价咨询管理工作的精细化水平。

# 锂离子电池厂房的真空系统设计探讨

■ 齐心 赵磊 孟凡兵 [动力]

**摘要:** 锂离子电池厂房的真空系统在合浆、注液、烘烤等工艺流程中发挥重要作用,真空系统设计的好坏与锂电池的品质密切相关。本文通过介绍锂离子电池工厂的工艺流程、真空泵的选型、真空系统所抽介质后处理技术等问题,阐述了锂电池厂房真空系统设计的特殊之处和难点,为锂离子电池厂房的真空系统设计提供参考。

**关键词:** 锂电池;真空泵;干式泵;干式螺杆真空泵;NMP

## 1 锂离子电池工厂生产的工艺流程与真空系统

传统的锂电池生产过程包括:负极合浆、正极合浆、涂布、碾压、分切、烘烤、卷绕、入壳、电焊、注液、焊冒盖、清洗、干燥储存、检测对齐度、壳体喷码、化成、OCV测量、常温度储存、分容等。其中,正极合浆、负极合浆、涂布、卷绕、烘烤、注液、化成等工序需要配备真空系统。例如:

在烘烤工序中,锂电池极片中的水分对电池性能有很大影响,过量水分将会影响其电化学性能。因此需要设置烘箱间,将极片或电芯放置在烘箱的可移动真空腔体中,通过烘烤与抽真空相结合的方式除去水分。与常压干燥相比,这种方式的优点是真空干燥能够避免在常压干燥时容易出现的产品表面的硬化现象,这是由于真空环境时极片表面与内部的压差大,压力梯度时水分更快速的移出表面,干燥效率高,干燥温度低,利于电池内部集流体与活性物质的粘结。

在注液工艺流程中,依靠真空注液系统来完成对电芯注入电解液。在整个流程中,需要在注液前将注液腔体中的空气抽到储气罐中,在注液后需要进行真空静置、真空抽气封口等需要抽真空的步骤。

可见,真空系统在锂电池生产中是很庞大的系统,真空系统设计的好坏对锂电池的生产品质有着至关重要的影响。

## 2 选择真空泵时的主要考虑因素

真空系统中的核心设备为真空泵,通常选择真空泵时需要考虑三大因素:极限真空度、抽气速率、所抽介质成分。

### 2.1 极限真空度

真空泵的工作压强应该满足真空设备的极限真空及工作压强要求。通常选择泵的极限真空度要高于真空设备工作真空度半个到一个数量级。通常锂电池厂的真空系统要求达到相对真空度 $-0.096\text{MPa}$ 左右(绝对真空度 $5325\text{Pa}$ 左右),根据《真空技术术语》(GB/T3163-2007)真空区域的划分,锂电池厂的真空系统属于粗真空系统( $103\sim 102\text{Pa}$ )。

作者简介:齐心,女,工程师,2017年毕业于华北电力大学动力工程专业,现就职于航空工业总院机载工程事业部。

## 2.2 抽气速率

真空泵的有效抽气速率比额定抽气速率低，因此，应乘以一定系数后，再根据样本选择合适的真空泵。当样本上有泵的特性曲线时，从经济、安全可靠以及时间经验的角度，计算抽气速率（有效抽气速率）应当乘1.5~2倍作为额定抽气速率，根据泵的特性曲线选择泵的型号和台数；当泵的样本上没有特性曲线，而只有泵的额定抽速时，由于样本上给出的额定速率是在760Torr（即一个大气压）的条件下测得的，而泵的工作是低于一个大气压下运行的，因此计算抽气速率（有效抽气速率）应当乘2~4倍，与样本上的额定抽气速率比较，选择泵的型号和台数。

## 2.3 所抽介质成分

锂离子电池工厂的真空系统所抽物质包括：空气、NMP、粉尘、微量电解液等。

NMP作为正极合浆生产工艺中PVDF的溶剂，存在于合成的浆料中，并随着电池的生产流程，存在于涂布、烘烤等工艺流程中，所以上述工艺过程中，真空系统所抽介质含有NMP溶剂。

注液工艺中，电解液是否均匀是影响电池质量的关键因素，每个电池在电解液充注之前都要抽真空，并且在抽气的过程中还要持续脱气，这一操作可提高电解液的均匀度。因此在注液工艺中，真空系统所抽介质含有微量电解液。

## 3 有机溶剂的化学性质及对真空泵的影响

### 3.1 NMP的化学性质

N-甲基吡咯烷酮（NMP）的沸点204℃（101.3KPa），熔点-24.4℃，临界温度445℃。NMP是一种极性很强的非质子传递溶剂。能溶解大多数有机与无机化合物、极性气体、天然及合成高分子化合物，例如能与水和醇、醚、酯、酮、卤代烃、芳烃等互溶。

NMP是锂电池厂中电极粘和剂聚偏氟乙烯（PVDF）的溶剂，真空泵在合浆、涂布、烘烤等工艺流程中所抽取废气便含有NMP。含有NMP的废气在经过涂布机以后，温度在90~110℃左右。

### 3.2 真空泵的泵油失效

真空泵的润滑油主要起到润滑、密封、冷却的作用，但是在使用过程中会逐步失效，主要有两种失效形式：真空泵油乳化、真空泵油碳化。乳化是指高温时真空泵所抽气体中存在能够与真空泵油反应的化学成分，从而反应生成粘稠状的物质黏在真空泵叶片上，使其不能迅速做往复甩出运动，进而影响真空泵能够达到的真空度；碳化是指真空泵油在高温时产生颗粒状物质，随着真空泵的长期运转，颗粒状物质使缸体和叶片磨损，进而导致真空度下降。

目前，锂电池厂房在生产的过程中，如果使

表 干式真空泵特性对比表

形式特性	干式螺杆真空泵	无油往复真空泵	爪式真空泵	无油涡旋真空泵	干式旋片真空泵
真空度	较高	粗真空，极限真空度低，需要搭配罗茨真空泵提高极限真空	较高	较高	较高
抽气量	较大	较大	较大	较小	较大
稳定性	稳定、噪音低、故障率低	结构简单、噪音较高，需经常更换滑片；长时间运行磨损大，真空度降低，抽速降低，真空系统的工作效率下降	噪音较同抽速的干式旋片泵小，较干式螺杆真空泵大，可长期保持相对稳定的真空度和抽速，故障率低，但装配复杂，转子与轴不为一体，出现故障需全部重新拆解装配，进而降低产品性能及稳定性	结构简单紧凑、运行平稳、噪音低、振动小、维修方便	噪音较小，采用自润滑叶片材质，结构简单，叶片为易损件，需要定期更换
特殊处理	转子、泵腔均可做防腐处理，可选用镍磷涂层和特氟龙两种涂层	可使用具有除锈、防锈等金属表面处理剂	很难做防腐处理，各级隔板之间几乎无法做表面处理，转子表面的防腐涂层也容易在装配时损伤	只适合抽洁净的气体，不能抽取易燃、易爆及具有腐蚀性的气体	叶片为易损件，需要定期更换

用油泵作为润滑剂，则生产过程中产生的NMP会与真空泵油在高温下反应，使真空泵油乳化而失效，进而使真空泵叶片旋转困难，此外，NMP也会对吹扫器、密封件等产生影响。因此，油泵在锂电池厂房中需要频繁、定期地清洗，运行中事故多发并且维护费用高，废品率和维修故障率高。

考虑到有油真空泵的上述缺陷，在锂电池厂房真空系统的设计中，应首选干式真空泵。干式机械真空泵的主要形式有：干式螺杆真空泵、无油往复真空泵、爪式真空泵、无油涡旋真空泵、干式旋片真空泵等，其优缺点如表所示。

### 3.3 有机溶剂对真空泵部件的腐蚀及真空泵的防腐措施

NMP溶剂会对真空泵的金属部件造成极性腐蚀。这是由于NMP是一种极性溶剂，极化率极大，当存在离子化合物时，离子化合物易溶解，导电率大，可形成像水溶液一样的导电溶液，进而发生电化学腐蚀。极性溶剂在常温下对金属的腐蚀性较小，但在高温下对金属腐蚀性大，而真空系统所抽的含NMP的废气正是120℃的高温，因此对真空泵的金属部件采用防腐措施尤为重要。

为了避免有机溶剂以及电解液对真空泵金属部件腐蚀的发生，在转子、泵腔等与所抽有机溶剂接触的部位采用喷涂防腐涂层的处理是一种非常有效便捷的方法。其中，聚四氟乙烯（F4，PTFE）可作为真空泵防腐的理想涂料。这是由于其抗酸抗碱、抗各种有机材料的腐蚀，且几乎不溶于所有的溶剂的材料；此外还耐高温耐低温，长期使用能耐200~260℃的高温，而在-100℃时仍可保持柔软；摩擦系数极低，有润滑作用，方便真空泵内层结构的清洁。

此外，由于相似相容的原理，有机溶剂对真空泵的橡胶部件，例如丁晴橡胶、氟橡胶，也有腐蚀。为避免有机溶剂对橡胶部件的腐蚀，可采用聚四氟乙烯包裹的橡胶材料。

## 4 真空系统中针对有机溶剂的后处理工艺

NMP虽然毒性较小，但能够对人体也会造成轻微的皮肤刺激、不孕等影响，故锂电池生产时，在NMP浓度高的区域，生产人员应佩戴防毒面具，穿防护服等。此外，若将NMP直接排入周围环境会造成一定程度的大气污染，并且由于NMP易溶于水，可随雨水一起渗入土壤造成地下

水污染。因此，真空系统的设计中应避免将NMP直接排入厂房外的大气中，应当先将真空泵所抽的混合气体中的NMP分离出来进行回收，再将其余气体排入大气。

目前了解到的NMP的回收方式有3种：转轮吸附技术、深冷回收技术、吸收剂吸收技术。

### 4.1 转轮吸附技术

吸附剂有：活性炭、活性炭纤维、沸石分子筛等。转轮回收设备在处理区吸附NMP废气，在冷却区采用新风对废气进行冷却，在脱附区用热空气对NMP加热将其脱离出来。脱离出来的含NMP热空气还可以送回涂布机实现循环使用，具体示意图如图1。

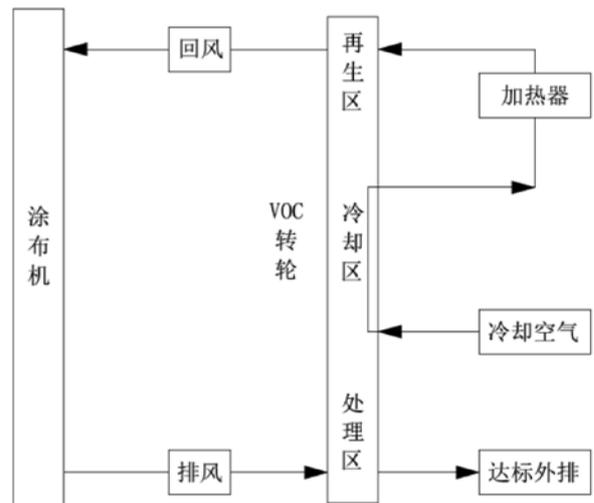


图1 转轮吸附示意图

### 4.2 深冷回收技术

深冷技术是对NMP的废气进行冷却，将其冷凝为液体，主要包括两种方式，间接式技术和直接式技术。间接式技术采用气气换热器与冷凝回收装置结合的降温方式，将大部分NMP降温成液态；直接式技术采用气气换热器与冷却塔喷淋结合的降温方式，冷却塔的冷媒为高纯度的NMP，将废气中NMP混合、冷凝，达到一定量后排出。上述两种工艺如图2、图3。

### 4.3 吸收剂吸收技术

NMP的吸水性很强，可用水作吸收塔中的吸收剂对NMP进行吸收。通过泵将塔釜的吸收液输送至吸收塔上部进行循环喷淋，塔釜的吸收液中NMP浓度逐渐增加，当达到特定值即可排至NMP废液收集罐中。以多级喷淋为例，其工艺流程如图4。

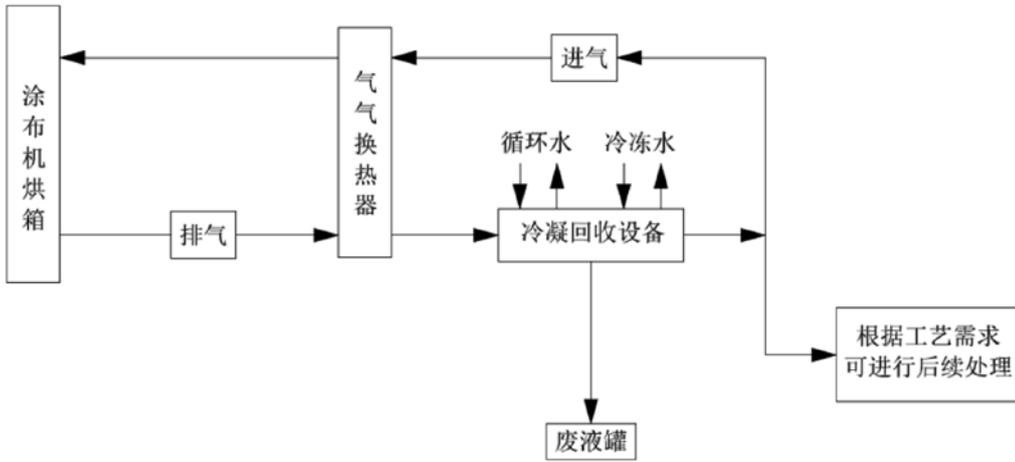


图2 间接式流程示意图

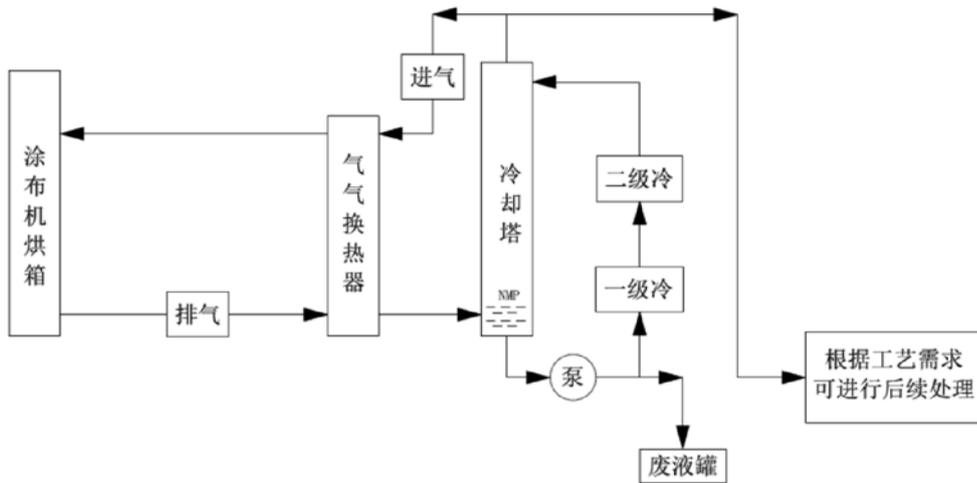


图3 直接式流程示意图

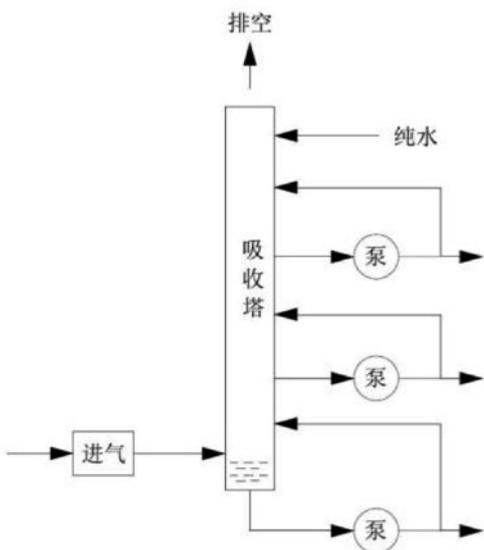
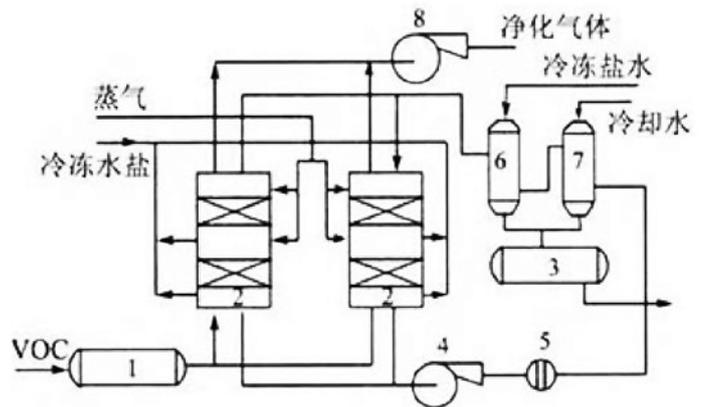


图4 多级喷淋流程示意图



1气体缓冲罐；2吸附床；3回收液储罐；4循环风机；  
5阻火器；6冷凝器；7预冷却器8排气风机

图5 冷凝法与吸附法联合回收VOCs工艺流程图

#### 4.4 深冷技术与转轮技术结合

将120℃左右含NMP的废气经过风换热器，把烘干机需要的新风加热到80℃，废气则降温至70℃，再经过一级冷凝器（采用冷却水）降温至30℃，后经过二级冷凝器（冷冻水）降温至15℃，此时可对一部分NMP气体实现冷凝回收。另一部分未冷凝的废气经过活性炭的吸附处理，被一些体积较大的活性炭截留，而NMP溶剂中的有机溶剂则被吸附到活性炭（吸附塔）的细孔中。废气经过活性炭之后，未被吸附的部分再次经过冷凝塔进行处理，最终排到大气中。此外，活性炭的吸附量达到35%是就已经使其吸附能力达到饱和状态，进而开始吸收热空气释放废气达到再生的状态，因此，应将活性炭释放的废气与生产中产生的NMP废气一起排入冷凝塔进行回收，并且要定期检查活性炭装置的吸附能力，及时对使用时间过程、使用次数过多的活性炭及时更换。

具体工艺流程图如图5。

该方法适用于高浓度、单一组分有回收价值的VOCs的处理，这是由于该方式处理成本较高，通常情况下，VOCs浓度 $\geq 5000$ ppm，回收效率介于50~85%之间，才可适用用冷凝处理；浓度 $\geq 1\%$ 以上时，回收效率 $\geq 90\%$ 。

这种方法受外界温度、压力影响小，不受气液比影响，回收效果稳定，可在常压下直接冷凝，且可以直接回收到有机液体，无二次污染。缺点是要得到较高的回收率需要采用较低温度的冷凝介质或较高的压力，这使得能耗较大，设备材质及运行费用也较高。

## 5 结论

国内对锂离子电池厂房的真空系统设计已有研究较少，而真空系统对锂电池质量和生产人员的健康有着重要的影响，故本文对该领域的设计内容进行了一定程度的总结，包括工艺流程、真空泵的选型、真空系统所抽介质后处理技术等，主要结论如下：

(1) 选择真空泵时，应满足其极限真空度高于真空设备工作真空度（相对真空度-0.096MPa左右）半个到一个数量级；

(2) 选用干式真空泵可避免油泵遇到NMP溶剂发生泵油失效的问题；

(3) 真空泵与有机溶剂接触的表面应喷涂聚四氟乙烯等涂料来避免有机溶剂的腐蚀；

(4) NMP的回收方式有3种：转轮吸附技术、深冷回收技术、吸收剂吸收技术，此外还可将上述技术进行结合使用。将这些回收技术应用到真空泵的后处理系统中，可最大程度减少厂房中NMP对生产人员健康的影响以及对环境的污染。

#### 参考文献

- [1]沈军. 一种锂离子电池生产中NMP溶剂的回收方法[J]. 化工管理, 2018, No.481(10):202-202.
- [2]迪建东, 李国盛, 郑晓舟,等. 锂电正极涂敷NMP回收技术综述[J]. 广东化工, 2020(3).
- [3]谭伟, 李新宏, 李耀昌. 软包锂电池自动真空注液系统研究[J]. 机电工程技术, 2017, 46(008):61-63.
- [4]肖艳军, 杨欢, 康炎平. 锂电池极片涂布机NMP回收系统的红外辐射研究[J]. 系统仿真学报, 2020(1):96-104.
- [5]高士强. 锂电池极片真空干燥工艺研究. 现代制造技术与装备, 2020 (5) .
- [6]张立奎. 锂电池生产中NMP凝液回收计算及"零排放"处理工艺[J]. 环境工程, 2016(S1):475-479.
- [7]林满阳. 干式真空冷凝系统在原料药真空干燥工艺中的设计与应用[J]. 化工与医药工程, 2012, 33(001):14-19.
- [8]李爱珍, 帅新发, 廖雪松. 干式螺杆真空泵在原料药生产工艺中的应用[J]. 广东化工, 2014, 41(021):190-191.

# 包含工艺设备的工程总承包项目 二次配工程管控技术研究

■ 詹翔 [工程管理]

**摘要:** 本文结合项目实际操作经验, 尝试对包含工艺设备的工程总承包项目中二次配工程的管理流程和管控要点进行研究, 从而实现二次配工程管控技术的进一步提高和改进。

**关键词:** 工程总承包; 工艺设备; 二次配工程

## 1 前言

近年来, 随着国家对工程总承包的大力推广和支持, 我国工程总承包行业迎来新一轮的高速发展。建筑企业在全面推广实施工程总承包业务的同时, 也在尝试从传统的建安工程总承包向包含工艺设备在内的建厂工程总承包转型, 从而真正实现整个工业生产线的交钥匙工程。工艺设备的二次配工程, 对工艺设备调试、生产线试生产乃至整个项目的顺利投产均起着至关重要的作用, 需要进行精心策划和重点管控。

## 2 二次配工程管控技术研究

### 2.1 二次配工程的定义

工艺设备二次配管, 也就是通常所说的二次配, 是以工艺设备为服务对象, 按其具体技术要求和既定施工方案, 在合理时间内, 将水电风气各种动力源安全、保质、及时的连接到工艺设备, 并保证工艺设备能长期持续稳定的正常

运转。简单来说, 二次配就是一个系统接驳的过程, 实际上就是将工艺设备的动力需要与前期预留系统进行碰头连接。

### 2.2 二次配工程的管理难点

#### 2.2.1 系统复杂

随着科学技术的发展, 现代工业生产设备正朝着大型化、高速化和自动化的方向发展, 机械、电气结构日趋复杂, 尤其一些大型连续性生产线设备, 所需求的动力系统复杂, 涉及的专业范围广, 使用的材料类型多, 施工难度大, 对二次配工程的技术和管理水平均提出很高的要求。

#### 2.2.2 空间有限

为了最大限度地利用生产空间, 工业厂房内的工艺设备往往摆放比较密集, 留给二次配的安装和作业空间非常有限。加之二次配施工阶段往往处于工程后期, 在工艺设备进场前, 各类机电专业管线已经安装完毕, 留给二次配使用的空间路由也很紧张。因此, 如何做好二次配空间管理和空间规划, 合理有效的利用空间来确保二次配工程的质量、进度和施工安全, 是包含工艺设备的工程总承包项目管理难点。

#### 2.2.3 周期较短

越是复杂的工艺设备, 其生产周期和调试周

作者简介: 詹翔, 男, 高级工程师, 2017年毕业于北京交通大学电气工程及其自动化专业, 现就职于中航建投合约商务中心。

Utility Requirement Spec(需求规格)

Item (项目)		Utility Spec				开关大小 (A)	Point Qty (点数量)	Piping Size (管径)	Piping Type (设备管道接口形式)	Material (管道材质)	Flow Rate (流量)	Flow Meter (流量计)	Regulator (调节阀)	Valve (阀)	Filter (过滤器)	Floor (底部标准)	Remark 备注		
Div.		(需求规格)	Unit	Usage (point 使用量/点)	Unit														
Power(Elec) (电力)	Normal (一般市政用电)		V,A,Φ		KVA						Y/N	Y/N	Y/N	Y/N	Y/N				
			V,A,Φ		KVA														
			V,A,Φ		KVA														
			V,A,Φ		KVA														
	UPS		V,A,Φ		KVA														
Exhaust (排风)	General (一般)		m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O		m <sup>3</sup> /min														
	Heat (热)		m <sup>3</sup> H <sub>2</sub> O		m <sup>3</sup> /min														
PCW (冷却循环水)	IN (进水)		kg/air		LPM													7-12°C	
	OUT (出水)		kg/air		LPM													18-23°C	
	IN (进水)		kg/air		LPM														
	OUT (出水)		kg/air		LPM														
N <sub>2</sub> 氮气	普通 GN <sub>2</sub>		kg/air		LPM														
	高纯氮 PN <sub>2</sub>		kg/air		LPM														
Process vacuum 真空	真空		mmHg		LPM														
DA (Inlet)	压缩空气		kg/air		LPM														
D.I纯水	Normal		kg/air		LPM														
	Hot		kg/air		LPM														
CW自来水	Normal		kg/air		LPM														

UT表范例

期越长。有的大型进口设备，生产加运输周期动辄就在半年以上。有的连续性生产线设备，需要3、4个月的时间才能调校到设计要求的运转性能参数和最佳工作状态。二次配工程正好处在生产和调试之间承上启下的关键环节上，其施工进度直接影响设备调试进度乃至项目投产时间，管理策划必须以保证设备调试进度为最重要的管理目标。

2.2.4 要求严格

行业对二次配工程的要求极其严格，二次配首先要满足工艺需要，其次要便于后期生产工人进行操作和维护保养。在满足工艺和使用功能的基础上，还要尽可能做到整齐美观，因为二次配管线往往无法隐蔽，在高大上的现代工业厂房中，二次配施工的观感质量要能满足参观的要求，因此也有业内人士将二次配管称为精密配管。

2.3 二次配工程管理流程及操作实施策划

2.3.1 编制设备动力条件清单

二次配工程施工是以工艺设备为服务对象，按其具体动力技术要求进行施工的。工艺设备的具体动力技术要求常常以设备动力条件清单来体现，用以描述二次配的具体需求内容，因此，要求工艺设备厂家编制准确、具体的设备动力条件清单。

2.3.2 提交二次配申请表

完成设备动力条件清单编制后，要求工艺设备生产厂家提交二次配申请表，将设备动力条件清单的记录内容，归纳成更为详细直观的二次配接点技术参数，要求能够准确反映该台设备正常

运行所需的全部能源类型、用量、接点数量、管径大小、接口尺寸、接头形式、材质及其他附件辅材等。

2.3.3 整理机台参数

收到二次配申请表后，要对所有工艺设备的详细参数逐点进行整理，这里所说的“点”是指机台的设备接点。每个接点应包含二次配阀盘、阀盘底座、管道、接头、弯头、支架、大小头、垫片、三通、小尺寸管路软管、压力表、调压阀、流量计等。

2.3.4 负载分配

当整理机台参数与套图完成后，需要进行负载分配。负载分配是整个二次配的重中之重，一个二次配的好与坏很大程度取决于此。从套图中能很清楚地看到机台和点位的相对位置。在负载分配时，要结合申请表中的参数、管道分管原则、二次配管流量对照表，然后再根据套图的相对距离选出最合适的预留点进行分配。

2.3.5 绘制PID图及ISO图

当负载分配好后，根据负载表的相关信息绘制出每一个机台的二次配系统图。二次配系统图能够清晰反映出选取的预留点尺寸、编号及位置、配管管径及材质、盘面包含的在线设备、机台的节点尺寸及用量。随后，根据绘制好的二次配系统图以及现场的勘察结果，开始绘制二次配空间图。二次配空间图相当于BIM管线综合，能够清晰反映二次配各专业管线的路由走向和综合排布情况。

### 2.3.6 预会勘与会勘

二次配工程中预会勘和会勘是两个不容忽视的环节。工艺设备到场就位之前,设备厂家会在机台所处位置按照系统标记出接点位置以及各点的对应参数,需要到现场组织预会勘,与施工班组一起进行现场确认。工艺设备到场就位后,开始组织会勘,最终确认工艺设备的设备动力条件参数,包括设备接点的具体位置、接头尺寸和接口形式等。

## 2.4 二次配工程的管控要点策划

### 2.4.1 材料预制

为了保证二次配施工能在有限的工期内按时完成,必须在工作正式开展前进行必要的材料预制工作,预制材料对于二次配施工进度来说是一个至关重要的环节。确保预制足够数量材料的同时,还要关注预制材料的质量。所有预制方面的工作应在洁净度等于或高于7级以上洁净室内进行。如预制风管过程中,应每天进行焊样检查,焊缝成型必须均匀,美观,不允许有未焊透,未熔合,表面内凹、气孔错边等缺陷。

### 2.4.2 空间规划

二次配工程一旦会勘完成,一次管道的预留点和二次配管的接驳点相当于在三维空间固定了起点和终点,二次配就是要用管线将这两个点连起来。在平面中两点之间直线最短,但在三维空间就有无数种连接方式,这就需要通过二次配空间设计,进行合理规划,找出最优路径。在二次配空间设计过程中,要结合一次图纸的空间管理原则,尽量做到横平竖直,减少管线倾斜和交叉的情况。

### 2.4.3 安全管理

二次配施工可能接触到各类高压气体系统、高低温介质管道系统、危化气体和液体系统等。施工和测试过程中存在很大的安全隐患,因此保障安全是二次配工程管控的重中之重。

对于高压气体系统,材料压力等级选择不当可能会导致系统爆裂,系统压力过大将损坏工艺设备部件和仪器,高压释放可能会造成重大事故。在施工之前应先对所施工的对象有明确认知,选择采用合理的施工方案,严格按照规范操作,切忌莽撞行事。

### 2.4.4 细节把握

二次配在现场施工过程中要注意对细节的把握,包括:固定支架的数量、管路标签的张贴、

阀门挂牌(注明详细信息)、丝扣衔接处的易损标签、焊道的抛光处理并贴焊道标签、走道旁边的外露管线需加防护围栏、外露的管线需加防踩踏盖板。为了给使用单位日后生产维护提供方便,二次配施工还要关注可操作性方面的细节。易损件(如控制阀、过滤器、压力表等)的安装位置应合理、便于操作、易于拆装,以便后期维护保养。

## 3 结论

对于包含工艺设备的工程总承包项目,实现生产线量产的终结角色和压轴重点是二次配工程。工程总承包企业需要建立一套科学合理的二次配管理流程和管控要点,通过全面的管理策划,实现包含工艺设备的工程总承包项目中二次配工程管控技术提高和改进。

### 参考文献

- [1] 李兵峰,《浅谈二次配管的应用》[J]科技创新与应用2012.9

# 房屋建筑工程大体积混凝土的施工技术分析

■ 于海侠 [工程管理]

**摘要:** 科技不但改变了人们的生活方式,同时也促进了各种先进技术的发展应用。建筑是社会建设工作开展的物质保障,是城市建设与人们居住属性满足的关键手段。混凝土是建筑工程结构构件的主要材料,对于整个建筑结构的稳定性及安全性具有重要的保障作用。大体积混凝土是建筑工程经常用到的技术,对于提升整个建筑工程的品质、为人们创建一个舒适安全的生产生活环境,具有重要的促进作用。鉴于大体积混凝土技术实施对于建筑工程的重要价值,本文以大体积混凝土的技术特点作为切入点,明确大体积混凝土技术实施的主要原则,制定合理的优化对策,为建筑工程品质提升提供强大的技术保障。

**关键词:** 大体积混凝土; 建筑工程; 技术实施

## 1 大体积混凝土的主要特征

### 1.1 体积较大

从大体积混凝土字面的含义便不难看出,体积较大是大体积混凝土最为明显的特征之一,大体积混凝土主要指混凝土结构物实体最小几何尺寸不小于1m的大体量混凝土,其主要目的是为了**满足建筑结构的稳定性及承重要求**,相对于一些传统的普通混凝土结构形式,大体积混凝土结构构件的厚度较大。

### 1.2 施工技术要求高

大体积混凝土浇筑是一项专业性要求较高的混凝土作业技术,其实施的要求要远高于传统的混凝土作业技术,混凝土作业期间经常会出现较多的裂缝问题,从而对整个混凝土结构的稳定性造成严重影响。大体积混凝土作业需要严格执行裂缝控制的相关标准规范,从混凝土的配合比、温度、养护等多元化等因素进行仔细分析,并采取有效措施,从而保障现场实施达到预期的目标。

### 1.3 整体性原则

混凝土构件的质量对提升整个建筑结构的稳定性起着至关重要的作用。大体积混凝土作业时,要依据项目的设计要求,对石料的含水率情况、掺合料的应用比例进行深入分析,还要加强大体积混凝土质量的检测,及时对混凝土进行配

---

作者简介: 于海侠,男,高级工程师,2011年毕业于长安大学土木工程专业,现就职于航空规划研究总院机载工程事业部。

合比的调整,保证大体积混凝土的质量。

#### 1.4 具有较高养护要求

众所周知,大体积混凝土的厚度较大,在浇筑完成之后,如果缺少合理的养护措施,势必会导致大体积混凝土构件质量受损,进而造成整个建筑工程的主体结构出现裂缝或者变形的问题。因此,在大体积混凝土作业时,要严格按照大体积混凝土养护的相关规范开展作业,使混凝土的裂缝问题得以合理的控制。

## 2 大体积混凝土技术实施的主要原则

### 2.1 温度控制原则

在进行大体积混凝土施工之前,需要对混凝土的入模温度进行控制,同时,还要对混凝土的温度应力及收缩应力进行核算,以保障混凝土结构的稳定性。除此之外,为了确保建筑工程的建设品质,要对混凝土的组成材料进行严格检查,保证材料品质达到设计的相关标准,并且在进行温控的过程中,还要依据模板的类型及特点,利用科学的温控措施,使大体积混凝土的浇筑质量得到保障。

### 2.2 合理配备原则

大体积混凝土生产前,需要提前掌握混凝土的相关数据,利用试配的形式,对混凝土的比例进行仔细分析,严格按大体积混凝土实施的相关标准进行作业,对混凝土配合比例进行及时调整,降低水泥所带来的“水化热”效应,使混凝土裂缝问题得以有效控制。当采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥时,应掺加矿物掺合料,胶凝材料的3d和7d水化热分别不宜大于240KJ/kg和270KJ/kg。大体积混凝土的水胶比不宜大于0.55,用水量不宜大于175kg/m<sup>3</sup>,配合比还应满足现场施工条件对大体积混凝土凝结时间的要求。因此,大体积混凝土要秉承合理配备的原则,按照大体积混凝土作业规范进行作业,以保障混凝土的质量。

## 3 大体积混凝土技术实施要点

### 3.1 混凝土作业前的准备工作

在大体积混凝土施工之前,需要将所有作业环节的工具准备齐全,如刮尺、振捣器等相关设施。在混凝土浇筑作业前,要做好相关的准备工作,避免在浇筑作业期间出现手忙脚乱的情况,进而影响施工质量。与此同时,还要针对可能会影响大体积混凝土作业质量的因素进行仔细分析,避免不利因素对混凝土的浇筑质量造成影响。除此之外,还要对作业的大型设备进行严格检查,保证整个浇筑作业的正常进行。做好精细骨料的级配工作,选用膨胀系数较小的材质;做好备用电的准备工作,防止在浇筑期间出现突然断电的情况。

### 3.2 浇筑作业及搅拌实施要点

大体积混凝土施工时,对于材料的投放及搅拌时间都有严格规定,相较于普通混凝土浇筑作业,大体积混凝土由于自身体积及构件厚度的原因,浇筑的时间和浇筑期间搅拌所需的时间更长,其主要原因是由于外加剂及粉煤灰的渗入,使单位体积的混凝土量得到了有效控制。混凝土的搅拌时间应满足《混凝土结构工程施工规范 GB50666-2011》7.4.4条要求,采用自落式搅拌机应比强制式搅拌机的搅拌时间延长30s。大体积



图 大体积混凝土温度控制图

混凝土首次浇筑时,要查验混凝土的开盘鉴定。除此之外,大体积混凝土浇筑作业时,需要一次浇筑完成,在进行逐层浇筑时,确保第一层浇筑混凝土处于初凝状态时,要及时开展后续的浇筑作业。利用振捣棒及平板振捣器开展振捣作业,对于建筑结构构件的连接处,要确保振捣到位,避免出现漏振或者过振,振捣应按照国家规范顺序进行,确保混凝土浇筑的效率和成品质量。

### 3.3 混凝土温度控制技术应用

温度控制是大体积混凝土裂缝控制的关键措施,也是建筑结构安全性的重要保障,会直接影响结构抗压、抗拉应力的强度值,因此,在大体积混凝土施工期间,要给予足够的重视。正常情况下,大体积混凝土入模温度需要控制在 $30^{\circ}\text{C}$ 之内;混凝土结构件表面内 $40\text{mm}\sim 80\text{mm}$ 位置处温度与混凝土结构件内部温度的温差要控制在 $25^{\circ}\text{C}$ 以内;混凝土浇筑期间主体结构的温度降速需要控制在 $2.0^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 。大体积混凝土的测温点设置必须符合规范要求,尤其基础、柱、梁、墙的测温点设置以及测温频率都必须符合《混凝土结构工程施工规范GB50666-2011》要求,才能使大体积混凝土的成品质量得以合理控制,为建筑工程结构稳定性能及建设品质提供有力保障。

## 4 结束语

混凝土是建筑结构重要的材料之一,对于整个建筑工程的质量具有重要的保障作用。随着城市建设的迅速推进,不但带动了地方的经济建设,也为建筑行业赢得了更多的建设机遇。大体积混凝土是建筑工程施工时经常会用到的技术,对于整个建筑主体的稳定性及安全性具有重要的保障作用。由于大体积混凝土对于施工技术具有较高的要求,不仅对入模温度有一定的要求,更对浇筑过程、养护有严格的要求,因此,基于建设优质项目、提升建筑品质的目标,从大体积混凝土技术实施特点及原则进行分析并采取合理的控制措施,才能保障建筑结构的稳定性及质量。

### 参考文献

- [1]余以明,刘建军,高凡,周俊宏,徐霖.大体积混凝土冬季施工智能温控及养护[J].中国港湾建设,2019,39(11):38-41+81.
- [2]卢丹,魏焕卫,朱丽丽,蒋兴科.大体积混

凝土低温环境下动态养护技术[J].陕西建筑,2019(11):14-17.

[3]卫智玉,申保军,任秋玲,贺美荣.低温环境下大体积混凝土施工技术[J].陕西建筑,2019(11):33-36.

[4]毛旭,王巧南,张立国,张雪松,林成栋.城市中心超高层建筑底板大体积混凝土溜管浇筑施工技术[J].混凝土,2019(10):100-106.

[5]《混凝土结构工程施工规范GB50666-2011》.

# 暖通施工中常见问题质量控制

■ 程小良 [工程管理]

**摘要:** 暖通工程在日常生活和工作中扮演着重要角色,是生活中经常接触的工程之一。暖通工程作为建筑工程的重要组成部分,其施工质量不仅决定着整个建筑的质量,还影响着我国居民的生活质量。基于此,本文就建筑暖通工程施工中常见问题的质量控制工作进行论述,为建筑人员提供参考。

**关键词:** 建筑暖通工程;施工质量;质量控制

## 1 引言

暖通空调系统是不断排出建筑内部混浊的空气、向建筑内部不断输出外界新鲜空气的系统,对建筑内部空气的温度、湿度、洁净度进行调节控制,为建筑内部的人们创造舒适的生活空间。

## 2 常见问题

暖通施工中常见的施工质量问题很多,常见的主要是“跑、冒、滴、漏”等现象。

### 2.1 风管漏风问题

在风管安装完成后检查时,往往能够发现,由于制作时未严格把控质量,导致风管密封性不好,存在漏风现象,主要漏风点在风管与法兰或法兰与垫片以及风管的折边接缝处。

### 2.2 空调水管及冷凝水管漏水问题

空调水管及冷凝水管漏水,经常是保温质量不好所造成。如,未在支架上放置木垫,产生冷桥现象;保温层接口不严密;保温层没有与空调



图1 风管未加木托



图2 风管软接头和风管密封不严

作者简介:程小良,男,工程师,2015年毕业于大连理工大学工程管理专业,现就职于航空工业规划总院机载工程事业部。

管道贴合紧密等。

### 2.3 阀门安装方向及漏水问题

阀门安装时,未严格按照阀门水流和指示方向安装,导致管道堵塞,水无法正常循环。进场时,未对阀门进行相关的严密性检测,安装后阀门由于阀芯质量问题漏水。

### 2.4 空调水系统水流不畅问题

空调管道在进行水循环时,往往会发现水循环不利,造成这种问题的原因包括,水泵设备选型问题,施工问题等。

### 2.5 组合式空调系统风量分配不均、冷热不均问题

空调风量分配不均,主要表现在一个组合空调机组给多个区域房间送风,由于在调试时未调试到位,导致房间风量大小、分布不均,从而导致房间温度冷暖不均。

## 3 原因分析

### 3.1 风管漏风原因

在风管制作时,由于施工工人技术水平问题,未在法兰及接缝处该打密封胶,或者打密封胶时,责任心不强,导致密封胶没有打到位,最后未做检查直接安装。

### 3.2 空调水管及冷凝水管漏水原因

空调水管及冷凝水管在施工支架时,由于施工人员不知道或忘记最后未设置木托,在保温时,此处支架和管道就会产生冷桥现象,从而产生冷凝水。在保温施工时,需要施工人员具有专业的保温知识和强烈的责任心,保证保温材料和管道贴紧,这样,就不会导致冷凝水在未贴紧处产生。

### 3.3 阀门安装方向及漏水问题原因

(1) 阀门未按照标识方向安装。大部分也是由于施工人员水平及责任心问题所造成的。

(2) 阀门本身质量问题。阀门在进场后开始安装,通水试用时,往往会发现阀门关不紧,或阀芯、垫片漏水,这是由于采购的阀门质量不合格。

### 3.4 空调水系统水流不畅问题原因

(1) 施工人员冲洗管道时未冲洗到位,过滤器堵塞后,未单独拆开清洗所造成。

(2) 由于自动排气阀本身质量不合格,排气阀阀体内的浮球装置存在质量问题,导致排气阀不排气,从而造成空调水系统循环不畅的质量问题。

### 3.5 组合式空调系统风量分配不均、冷热不均原因

(1) 调试人员技术水平和经验不足。

(2) 调试人员没有提前做调试方案,导致调试时无计划和无指导方案,从而随意调试,造成冷热不均问题。

## 4 控制对策

通过以上问题分析,施工中产生质量问题主要原因有施工人员原因、施工材料的原因、施工方案和施工工序等原因。为控制质量问题的发生,需要通过以下施工管理对策来控制质量问题。

### 4.1 施工人员问题及控制对策

施工人员是保证施工质量的重要因素之一。如今,建筑行业中很多一线施工人员没有受过专业学习,其专业知识、技术水平和责任心参差不齐,而暖通安装工程要求技术含量相对较高,所以在暖通施工中,会出现很多由于施工人员自身问题而导致的施工质量问题。为杜绝由于施工人员造成的质量问题,应从以下几个方面来控制:

(1) 通过加强教育和制定一些奖惩措施,加强施工工人责任心,对于多次由于责任心不强导致的施工质量的施工人员必须清除出施工现场。

(2) 加强技术交底的深度。对于某些技术水平较差的施工人员,应把技术交底工作做细致。施工员首先要对施工班组进行技术安全交底,必须严格要求,否则将会造成暖通施工质量达不到设计及规范要求而返工。

(3) 增加教育培训场次。在培训时,通过现场的实例来讲解,有助于提高施工人员的技术水平。

(4) 综合考虑人工成本。上述施工人员技术水平差责任心不强和人工成本有很大关系。有些公司不愿意找专业施工队伍,看似成本降低,但实际后续出现质量问题,返工成本往往比省下成本多。因此,公司一定要找有经验的专业队伍来施工,这样,既保证了施工质量,也节省了返工的成本和时间成本。

### 4.2 施工材料问题及控制对策

暖通工程的原材料和设备品种繁多,主要有镀锌钢板、管材、保温材料、阀门、仪表、空调机组、风机盘管、水泵、风机等。一旦这些材料、设备达不到设计和规范要求,就会影响到暖通工程的施工质量。为杜绝由于施工材料设备造成的质量问题,应从以下几个方面来控制:

(1) 采购正规品牌厂家材料, 在成本控制范围内, 尽量采用知名品牌材料, 降低材料问题的概率。

(2) 应对原材料和设备依据设计图纸和国家有关规范进行一一核对, 按照规范要求, 抽取一定比例的材料进行检验试验或复检, 比如风机盘管及空调机组, 要对其供冷、供热能力、风量、风压等性能进行复试, 保温材料应对其导热系数等性能进行复试, 阀门对其严密性和强度进行试验等, 材料设备只有检验试验合格后才可以使用。

#### 4.3 施工方案和施工工序问题及控制对策

施工方案和施工工艺对是进行科学施工的重要措施和手段, 其对施工质量影响很大。

暖通施工时, 必须按照先进成熟的施工工艺和施工方案, 施工前必须做好方案。比如上文提到的房间风量分配不均、冷热不平衡的问题, 就是没有提前做调试方案造成的。



图3 项目换热站管道施工完成图



图4 餐厅风机盘管施工完成图

在编制调试方案时, 应根据房间的大小来平衡风量, 首先应进行粗调, 保证每个房间都有风, 再进行精调, 保证风量满足设计房间需要的风量。

施工调试时, 按照方案进行就不会出现问题。

管道安装时, 要按照“小管让大管、有压管让无压管、水管让风管”的原则进行。另外, 需要做好上一步工序才能进行下一步工序, 比如应做好管道压力试验后, 再进行保温工作, 这样能有效减少施工质量问题的发生。

## 5 暖通工程验收

在暖通工程施工完成后, 应参照相关规范与标准进行检查验收。不仅要把控整体质量, 还要对工程中的使用效果进行检测, 并结合空间布局对设备的安全性、密封性进行评估。若发现隐患, 应及时与相关人员沟通并进行整改、返工。若无法满足质量要求, 则坚决不予以验收。

## 6 结语

暖通工程建筑具有复杂性特点, 要求工作人员具有专业的技术和负责的态度。在施工的过程中, 需要工程人员严格把控施工质量, 并遵循相关规定, 提高施工质量, 为居民营造安全舒适的生活环境。

### 参考文献

- [1] 程哲铭. 试述建筑暖通工程施工质量管理与控制[J]. 建材发展导向, 2018(7).
- [2] 康智强, 李志星, 董建男, 等. BIM技术在暖通工程设计施工中的应用[J]. 建筑技术, 2018(5).
- [3] 张海峰. 暖通空调工程现场施工难点与优化途径[J]. 大众标准化, 2020(9).

# 基于事故灾害类型的航空应急救援机型适用性分析

■ 杨沫 [规划]

**摘要:** 航空应急救援机队作为应对国家突发公共事件的重要力量,近年来得到广泛关注并不断发展,但仍然面临救援机队数量少、国产化比例低、救援力量专业化能力不足等问题。本文从我国主要灾害事故的救援任务开展情况入手,针对航空器重点承担的任务,提出机型选择的适用性建议,为构建结构合理、需求覆盖的航空应急救援机队提供参考。

**关键词:** 航空应急救援; 灾害救援; 救援机型选择

## 1 我国航空救援机队现状

目前,我国航空应急救援力量主要包括军队航空救援力量和民用航空救援力量。在重大灾害发生时,军队航空救援力量往往在第一时间驰援灾区,2008年汶川地震军队出动直升机率先抵达重灾地区,2020年新冠疫情爆发后,除夕夜当日,空军出动运-20、运-9等运输机,将医疗队员和救援物资运抵武汉。民用航空救援力量近年来也不断发展壮大,主要包括森林航空消防力量、交通运输部救助飞行队、警用航空机队以及民间救援力量等,形成了以直升机为主,固定翼通用飞机、无人机为补充的应急救援机队体系。

截至2019年底,我国在册民用直升机共计1246架,占通用航空器总量的34.2%,其中,轻型直升机占比85.6%,中型直升机占比7.9%,大型直升机占比6.3%,而重型直升机Mi-26仅有4架。应用于航空应急救援的飞机数量相当有限,而大型、重型直升机作为航空应急救援的主要力量,数量明显不足。

## 2 重点灾害事故机型适用性分析

航空器在各类事故灾害中发挥空中侦察勘

作者简介:杨沫,女,工程师,2018年毕业于华北电力大学工业工程专业,现就职于中航建设综合规划研究院。

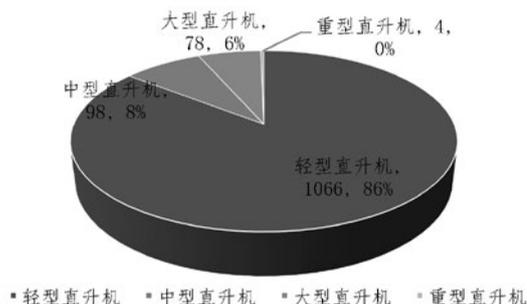


图1 我国在册直升机数量统计(截至2019年)

(数据来源:《适航审定部门年度报告2019》)

测、紧急运输、消防灭火、医疗救护等任务,在地震地质灾害、森林草原消防、海洋海事灾害、交通事故灾害等救援活动中发挥重要作用。

### 2.1 地震地质灾害

大型地震地质灾害突发性强,可在短时间内造成大范围的建筑物坍塌、桥梁断裂以及人员伤亡。灾害发生后黄金救援时间紧迫,而地面交通运输工具难以进入,此时急需机内载重量大、外挂能力强的重型、大型直升机运送救援物资与工程设备,转运被困人员。目前,在此类救援中以Mi-26、Mi-171、Ka-32等运输直升机为主力机型。Mi-26在重大灾害事故中发挥重要作用。在汶川地震中,吊运挖掘机成功解除了唐家山堰塞湖危机;在山东寿光羊口镇张僧河堤坝封堵决口的行动中,共运送近500t砂石至决口现场。

之外,从我国近年来发生的7级以上地震来看,军队、通航运营公司等救援主体出动包括“黑鹰”S-70C、H225、Mi-26、Mi-171、直-8、直-9等机型,承担空中搜救、人员转运、物资运送、设备转运等任务。我国特大地震较多集中于高原地区,被救援人员常位于高山峡谷中,这对于航空器高原性能、机动灵活性、安全可靠等方面也有更高要求。

## 2.2 森林草原消防

我国森林草原面积广,每年防火任务重,尤以冬春两季防火更为严峻。从地区分布来看,草原多分布在我国北部和西部,森林大都集中在东北、西南地区。在森林草原防灭火过程中,外挂能力强的重型、大型直升机发挥重要作用,直升机通过外挂水桶,可负载尽可能多的水用于灭火任务。2020年3月,在四川凉山州西昌市突发森林火灾中,应急管理部南方航空护林总站出动西昌站3架和外省增援1架,包括一架Mi-26,一架Mi-171,两架Ka-32直升机,配合地面扑火,控制火势发展。重型、大型直升机由于其购机费用高,运营成本高等因素,所以国内在大型事故灾害中常以调机的方式使用。

在国产机型方面,我国自主研制的大型水陆两栖飞机“鲲龙”AG600最多可载水12t,能够在水源与火场之间多次往返投水灭火,单次投水救火面积可达4000余<sup>2</sup>,AG600分别在2017年、2018年和2020年完成陆上首飞、水上首飞和海上首飞,未来投入运营后可满足森林灭火任务要求。

## 2.3 海洋海事灾害

我国海域辽阔,岸线资源丰富,海岸线总长1.8万km,每月全国各级海上搜救中心组织搜救遇险船舶与人员达上百起。直升机以其救援速度快、观察视角广、救助效率高等优势,在救援过程中主要执行空中目标搜索与救助任务。海上事故发生时常伴随低温、大浪等恶劣天气,对救援直升机安全稳定、机动灵活能力要求高。目前国内以S-76系列、H225等大、中型多用途直升机为主。直升机根据救援现场情况,安装机降或绞车救援装置,并配备专业的医疗救援人员与设备,同时搭载GPS导航、无线电、雷达探测等定位搜索设备,与地面指挥、海上遇险人员建立联系。

目前,我国海上救援任务主要由交通运输部救助飞行队执行,拥有北海第一救助飞行队、东海第一救助飞行队、东海第二救助飞行队、南海

第一救助飞行队4支专业救助飞行队,以及大、中、小型训练直升机24架。

## 2.4 城市灾害事故

城市中的灾害事故每天都在发生,包括交通事故、城市消防、城市安防、危化品安全生产等。在人口密集、高楼林立地区发生的灾害更是对人民的生命财产安全造成巨大威胁,严重的甚至会危及社会安定。城市防灾减灾能力的建设尤为重要,对于航空应急救援力量而言,主要承担常态化的灾情事故侦察以及及时性的医疗转运,在机型选择上重点考虑经济性和医疗改型的要求。目前,国内以H125、H135、AW109、AW139、AC312等轻、中型直升机为主。

近年来,随着无人技术的快速发展,在航空应急救援方面,无人机更是凭借其运输便捷、可突破现场屏蔽限制、运营成本低等优势,通过外载红外相机、导航设备完成受灾现场的航拍、测绘,在人员无法到达的地区第一时间反馈现场情况,极大缩短了救援工作时间。在疫情防控工作中,无人机通过携带相关设备,进行人员集聚巡查、红外测温、跟踪喊话、消毒药物喷洒等,在节约人力成本的同时,有效降低了人员接触导致的感染风险。

## 2.5 灾害事故适用机型建议

除了上述灾害事故的救援外,航空应急救援力量也在矿山灾害、突发公共卫生事件等事故及灾害中同样发挥着作用。此外,航空器在各类灾害事故中均可承担空中侦察勘测、空中指挥调度、空中应急通信等任务,根据《应急救援航空体系建设方案》中的八大救援任务,梳理航空器参与的灾害事故适用机型,为各地完善航空应急救援装备体系提供参考。

## 3 航空应急救援机队发展建议

### 3.1 强化救援机队专业化建设

目前,我国在森林草原消防、海上救援、警用巡逻搜救方面拥有专业救援机队,但由于机队数量少,常有救护直升机是通过改装救护设备使用的情况,专业化救护人员、设备、机队不足的问题逐渐显露。而在救援普及度要求高的医疗救护领域,国内仅有九九九空中救护、上海金汇、华彬天星等15家通航运营企业。2019年医疗救护飞行小时数为2365h,与美国300余家航空医疗救援公司,年飞行超过70万h相比,航空医疗救援

表1 事故灾害救援任务梳理

灾种	空中侦察勘测	空中指挥调度	空中消防灭火	空中紧急输送	空中搜寻救助	空中特殊吊载	空中紧急通信	参与国际救援
地震地质灾害	✓	✓		✓	✓	✓	✓	
森林草原消防	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
海洋海事灾害	✓	✓		✓	✓			✓
城市灾害事故	✓	✓	✓	✓				
矿山灾害	✓	✓		✓				
突发公共卫生事件	✓			✓		✓		✓

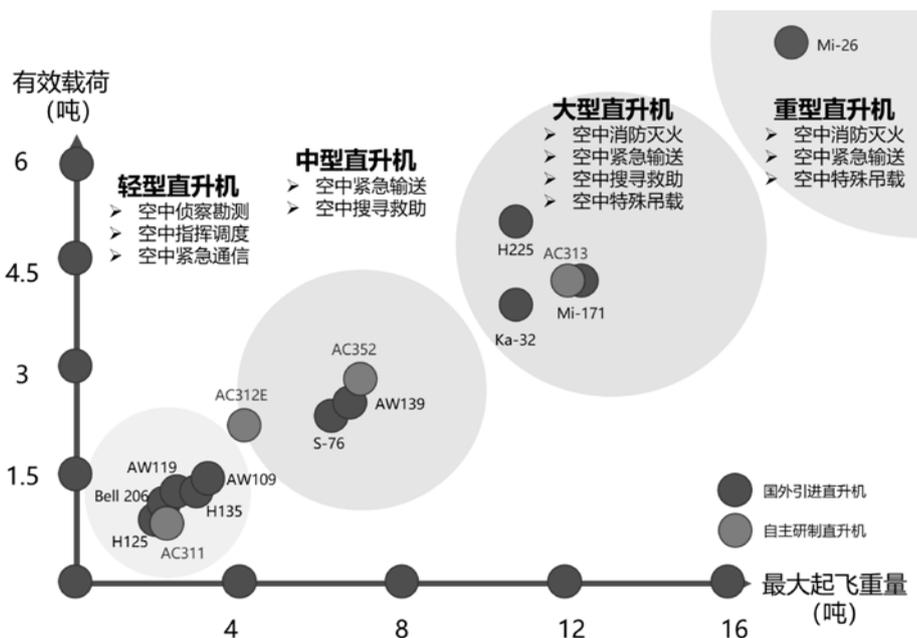
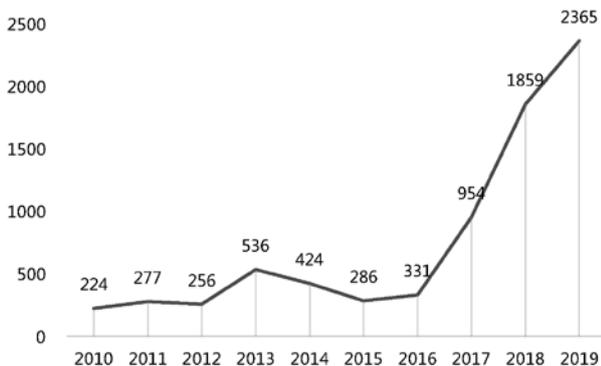


图2 救援任务适用机型分析

表2 2010~2019年航空医疗救护飞行小时数 (h)



保障能力严重不足。为应对“全灾种、大应急”任务要求，在增强原有救援主体机队规模的基础上，亟需提升专业化救援机队及人员配备。

### 3.2 提升救援装备国产化水平

目前我国在册的直升机机队中，国产机型数量占在册直升机总数不足5%，国产机型数量少，在航空应急救援应用领域广的大中型直升机方面，主要依靠国外进口。目前我国拥有自主知识产权的直升机包括轻型直升机AC311、中型直升机AC312E、AC352，以及大型直升机AC313，现有机型在载重能力方面与国内常用的救援直升机相近，未来可通过提升量产能力，提高国产化机队比例。20t

级以上重型直升机国内仍处于在研状态。未来在以国产化为核心的航空救援装备体系建设要求下，加快弥补机型短板，提升国家航空应急救援产业发展水平。

### 3.3 构建合理化救援机队体系

由于我国国土面积大，各地区灾害事故复杂多样，航空应急救援机队配置应重点考虑救援覆盖范围、区域基础条件以及主要救援需求，以需求覆盖、功能合理为原则组建航空应急救援机队，按需选择轻、中、大、重型直

升机、无人机以及AG600水陆两栖飞机等机型配置比例。如在森林草原消防重点片区增设重型运输直升机备勤，避免长距离调机影响黄金救援时间；在人口密集地区组建轻型直升机与无人机相配合的空中救援机队。

### 3.4 采用多样化机队使用方式

航空应急救援机队建立初期，航空器的配备将带来巨大的资金投入，为缓解救援设备一次性大规模投入的资金压力，可通过政府购买服务、租赁等方式满足布防要求。广泛调动社会力量参与救援，与专业领域通航救援企业合作，确保在发生自然灾害、交通事故、生产事故等紧急情况时，可以及时调派直升机参与救援工作。

# 某危险废物处置园通风净化设计

■ 孙亚峰 肖武 王乃天 [暖通]

**摘要:** 危险废物处置园中各类危险废弃物在储存、处理和转运过程中均会挥发出毒有害有异味的气体,为保证园区内各厂房、仓库和园区内各类有害气体的浓度满足规范要求。本文以某危险废物处置园为例,详细论述了危险废物处理车间和存储库房的通风及净化系统设计,着重描述了排风量的计算和车间库房内的通风系统设计,为类似工程的设计提供参考。

**关键词:** 焚烧间;暂存库;通风设计;净化设计

## 0 引言

根据《中华人民共和国固体废物污染防治法》的规定,危险废物是指列入国家危险废物名录或者根据国家规定的危险废物鉴别标准和鉴定方法认定的具有危险性的废物。《国家危险废物名录》1998年首次发布,2008年和2016年进行了两次修订,其中2016年版将我国危险废物分为46大类479种,2021年1月1日最新的修订版实施,对部分危险废物类别进行了增减、合并已经表述的修改,修订后种类数共467种,修改了90种危险废物的文字表述或危险性特征,新增豁免16个种类危险废物,豁免的危险废物共计达到32种类。

《国家危险废物名录》是危险废物环境管理的技术基础和关键依据,修订版名录的施行进一步提高危险废物属性判定和环境管理的精准性,有效改善了危险废物管理“一刀切”的方式,有效推进了危险废物分级分类管理,切实提高危险

废物环境管理水平。

近年来,随着工业化程度的加快,危险废物的产生量日益增多,2020年危废产生量突破万万吨。随着危险废物的不断产生,危险废物的综合利用能力随之快速提升,危险废物处置园区不断建设。危险废物在暂存、转运和处理过程中均会不时产生有毒有害气体,甚至有些剧毒危险废物会产生剧毒气体。对这些污染物产生区域必须采取有效的措施,如房间密封、通风、负压控制和排风净化等,防止危险废物扩散到厂区甚至厂外对生产人员和周围群众造成不同程度的伤害,且保证危险废物暂存和处理区域的有害物浓度低于限定值,对于排风也应采取有效的处理手段,使各类污染物达标后方可通过一定高度的排气筒排到大气中。烟囱高度除满足排放标准外,还应满足环评要求,而对于污染物的排放不仅要满足排放浓度的要求,还应进行排放总量控制。

因此,对于危险废物处置园不同区域如何设置通风净化处置系统显得尤为重要。本文依托某危险废物处置园项目,对危险废物处理厂房和暂存库的通风净化设计展开详细的论述。

作者简介:孙亚峰,男,高级工程师,2009年毕业于大连理工大学暖通专业,现就职于航空工业规划总院市政工程设计研究院。

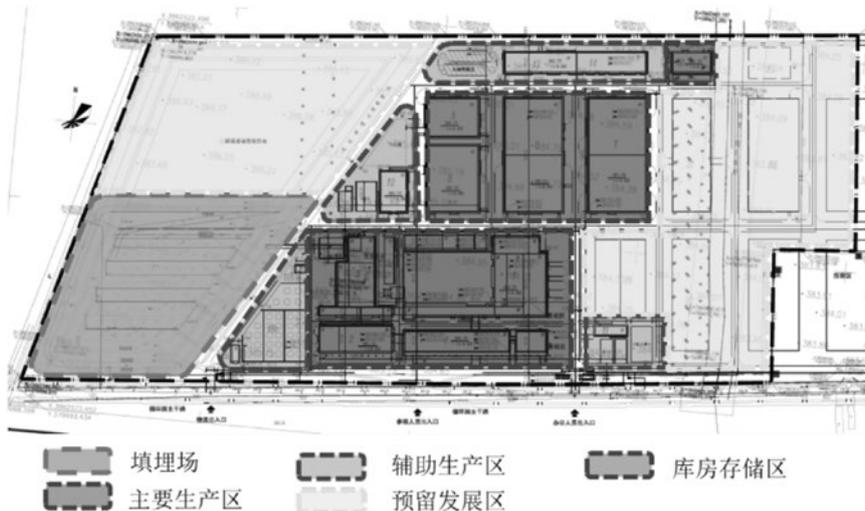


图1 某危险废物处置园区布置

## 1 工程概况

某危险废物处置园项目处理规模为123360t/a，建设内容主要包括：危险废物焚烧66000t/a，物化处理26660万t/a，资源化利用19800t/a（废活性炭再生利用6600t/a，废树脂再生利用4950t/a，废酸资源化利用8250t/a，二期预留），稳定化/固化10900t/a，配套安全填埋场（库容20万m<sup>3</sup>），并预留二期安全填埋场用地（预留库容30万m<sup>3</sup>）。按照用途整个园区分为5个区域（见图1），分别是填埋场、库房存储区、主要生产区、辅助生产区和预留发展区。其中，库房存储区包括甲乙类废物暂存库、特殊废物暂存库、包装容器暂存库、有机废物暂存库、无机废物暂存库，主要生产区包括、焚烧厂房、物化厂房、稳定化/固化厂房，辅助生产区包括综合楼、综合泵房、

废水处理车间、机修间、地磅房等。

## 2 通风设计

危废处置园区各类单体较多，但是具有特殊要求的通风场合主要为库房存储区和主要生产区，本文着重针对这两个区域的通风设计进行详细的论述。

### 2.1 设计依据

目前，对于危险废物处置通风量和各类污染物排放指标的专业规范是不足的，对于危险废物处置项目可以

参考规范见表1。

表1中，现行、征求意见稿表示该规范虽然仍在用，但是新的规范已经在征求意见中。

《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》（GB50019—2015）和《建筑设计防火规范（2018年版）》GB50016—2014为通用规范，危险废物处置园区通用通风设计参照这两本规范进行设计，污染物净化和排放则主要参照其他规范进行设计。危险废物通风设计除参照以上国家规范标准外，还有国家政策法规，相关行业的危险废物管理办法和专门针对某一种或一类危险废物的相关规范、政策法规和管理办法及地方性标准等。这些文件更多的是针对危险废物处置的相关要求，但是针对危险废物处置通风净化和排放要求的专业标准目前还尚未制定和施行。

### 2.2 通风量计算

对于危废处置园区工艺生产车间和存储区为保证污染物不扩散到周围环境中，车间和库房均应保证负压，一般负压值按照5~10Pa考虑，同时保证这些区域各类污染物浓度不超过规范要求的限制，通风量计算主要采用污染物浓度稀释法、压差法、门洞风速法和换气

表1 危险废物处置通风设计参考规范

规范名称	标准号	规范更新
工业建筑供暖通风与空气调节设计规范 <sup>[1]</sup>	GB50019—2015	现行
建筑设计防火规范（2018年版） <sup>[2]</sup>	GB50016—2014	现行、征求意见稿
危险废物集中焚烧处置工程建设技术规范 <sup>[3]</sup>	HJ/T176—2005	现行
危险废物贮存污染控制标准（2013年修订） <sup>[4]</sup>	GB 18597—2001	现行、征求意见稿
危险废物焚烧污染控制标准 <sup>[5]</sup>	GB 18484—2001	现行、征求意见稿
恶臭污染物排放标准 <sup>[6]</sup>	GB 14554—1993	现行、征求意见稿
大气污染物综合排放标准 <sup>[7]</sup>	GB 16297—1996	现行

表2 不同区域换气次数

厂房名称	火灾危险性	换气次数 (次/h)	备注
焚烧厂房卸料大厅	丁	4	
焚烧厂房垃圾储坑	丁(丙类设防)	1.5	含颗粒物, 高低位排风
物化厂房	丁	3-6	全室换气和局部通风相结合
稳定化/固化厂房	丁	3-6	全室换气和局部通风相结合
无机废物暂存库	戊	3-4	固态取3, 液态取4
甲乙类废物暂存库	甲乙	3/12	平时3次/h, 事故12/h次
包装容器暂存库	丙	3-4	固态取3, 液态取4
有机废物暂存库	丙	3-4	固态取3, 液态取4
特殊废物暂存库	丙类	12	剧毒, 事故兼做平时

次数法, 通过各类方法计算的通风换气量取最大值, 作为系统设计的依据。

污染物浓度稀释法需要明确不同污染物的发生量和各类污染物限值。危险废物种类繁多, 且存储工艺各异, 污染物发生量很难确定, 除对于一些污染物种类和发生量十分明确的项目, 一般不采用该方法进行通风量的计算。压差法和门洞风速法分别对应工艺车间和库房大门开启和关闭的情况进行通风量的计算, 这两种计算方法可参照规范《建筑防烟排烟系统技术标准》<sup>[8]</sup> (GB51251-2017) 中3.4.5~3.4.9的方法进行计算, 其中压差值取5~10Pa, 门洞风速取0.5~1m/s。常规工程设计中更多采用的是换气次数法进行通风量计算, 用门洞风速法进行复核。

换气次数法是一种经验累积的方法, 各类规范中并没有对于危险废物处置园工艺生产车间和库房存储区换气次数的规定, 某危险废物处置园内工艺车间和存储库房的换气次数基于以往危险废物处置项目经验见表2。

表2中, 对不同工艺车间和暂存库的换气次数进行了规定, 不同工艺房间和暂存库的换气次数的取值受房间可开启门窗缝隙和开启面积的影响, 也受处理工艺处置方式和污染物的相态影响, 对于危废处置园内各区域的换气次数应综合考虑。

### 2.3 通风形式

根据火灾危险性等级和废气毒性, 本项目的通风设计可以分为3大类, 丙丁戊类车间和库房通风、甲乙类库房通风和剧毒库通风系统。考虑到危险废物本身种类繁多, 释放出的气体和颗粒物

种类繁多, 为保证系统安全性, 根据《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》(GB50019-2015) 强制性条文6.1.13的规定, 下列情况之一时, 应单独设置排风系统:

(1) 不同的物质混合后能形成危害更大或腐蚀性的混合物、化合物时;

(2) 混合后易

使蒸汽凝结并聚集粉尘时;

(3) 散发剧毒物质的房间和设备。危险废物处置园区的工艺车间和库房的通风系统均分别设置, 不合用管道、净化设备和排气筒, 且考虑到各单体的负压要求, 这些车间和库房均采用机械排风、自然进风的方式。

#### 2.3.1 丙丁戊类车间和库房通风

本项目丙丁戊类车间和库房分别是焚烧厂房、稳定化/固化厂房、物化厂房、无机废物暂存库, 这些局域不论是火灾危险性还是毒性均不高, 《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》(GB50019-2015) 和《建筑设计防火规范(2018年版)》(GB50016-2014) 中对于这些区域的通风系统并未有特殊性要求。通风方式采用全室通风为主, 局部工艺处理和污染源所在区域设置密闭措施, 辅以排风罩或风口局部通风。通风系统设计参照《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》(GB50019-2015) 通风章节的规定, 但是全室换气空间体积的计算不执行6.3.8的规定, 仅放散密度比空气小的有害气体的厂房, 当车间高度小于或等于6m时, 其排风量不应小于按1次/h换气计算所得的风量; 当车间高度大于6m时, 排风量可按 $6\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ 计算, 该条文所规定的房间体积和通风量计算方法远低于表2中所规定的换气次数所计算的通风量。因此, 在计算通风量时空间体积按照整个空间的体积进行计算。局部通风的排风量则是按照工艺专业提资确定。

丙丁戊类车间和库房不仅要合理确定负压和污染物稀释所需的通风量, 还应该保证整个空间具有合理的气流组织。根据《工业建筑供暖通风

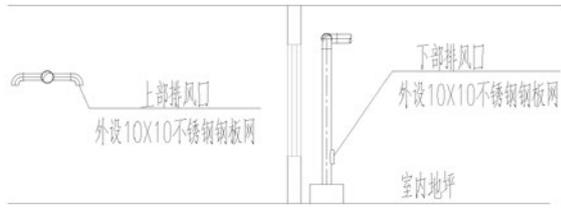


图2 高低位风口设置示意图

些区域全室通风设置高低位同时排风，高低位风口设置示意图见图2。但是危险废物处置项目中污染物种类繁多，工艺操作时也会影响到空气按层分布，为保证通风有效性，实际设计中并不会完全执行该条文的要求，高低位排风的风管和风口按照同尺寸设计，同时在高低位排风支管处设置调节阀门，按照实际运行需要调整高低位排风的比例。

集中散发气体污染物的工艺设备，为保证气体污染物的捕集率，在不影响工艺生产操作的前提下，将污染物产生区域进行封闭后，设置排气口和通风罩进行通风。本项目的稳定化/固化厂房、物化厂房的处理段位均设置封闭和局部通风，局部通风设计见图3。

### 2.3.2 甲乙类库房通风

本项目甲乙类废物暂存库存储的危险废弃物会产生易燃易爆的气体污染物，为保证库房负压、污染物稀释和避免燃爆危险，设置平时和事故通风系统。根据《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》(GB50019-2015) 6.4.1, 6.4.3, 对可能突然放散大量有毒气体、有爆炸危险气体或粉尘的场所，应根据工艺设计要求设置事故通风系统。事故通风量宜根据工艺设计条件通过计算确定，且换气次数不应小于12次/h。房间计算体积应符合下列规定：

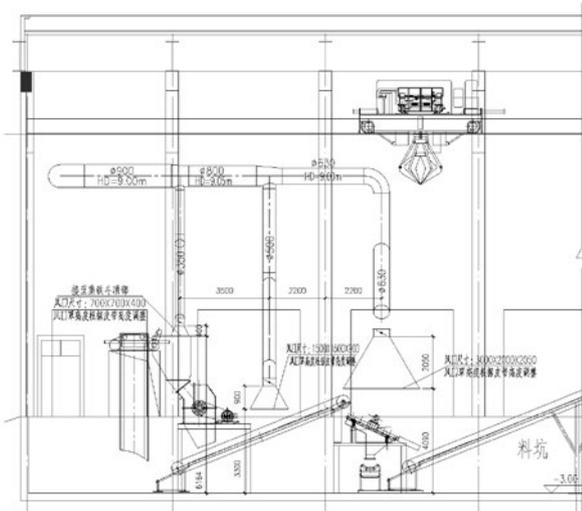
(1) 当房间高度小于或等于6m时，应按房间实际体积计算；

(2) 当房间高度大于6m时，应按照6m的空间体积计算。平时通风则不论房间高度均按照房间实际体积计算。在甲乙类库房通风除满足上述规范要求外，工艺提资中对于污染物产生量有明确给值时，还应核算通风量是否满足该类污染物稀释所需通风量要求。

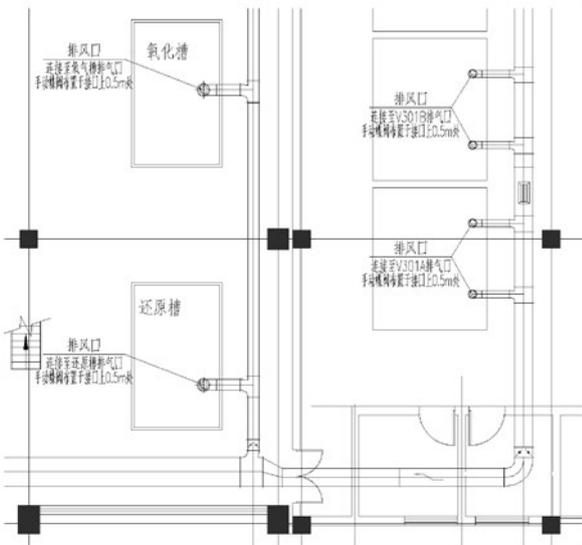
本项目甲乙类库房平时通风与事故通风分开设置，平时通风设置原则与丙丁戊类库房通风系统设置方案类似，排风经过净化设备处理后排放大气，事故通风选用外墙轴流风机，气体直接排放大气，排风位置同样需要高地位设置（见图4）。对于甲乙类库房通风系统管道需设置防静电接地，法兰连接部位设置跨接，通风设备也需要选择防爆型。

### 2.3.3 剧毒库通风

根据《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》(GB50019-2015) 6.4.1, 剧毒库需要设置



(a) 稳定化/固化厂房



(b) 物化厂房

图3 局部通风设置图

与空气调节设计规范》(GB50019-2015) 6.3.9 中的规定，将放散气体的相对密度小于或者等于0.75，视为比室内空气轻，宜从房间上部区域排除，反之则视为比空气重，宜从下部区域排除总排风量的2/3，上部区域排除总排风量的1/3。这

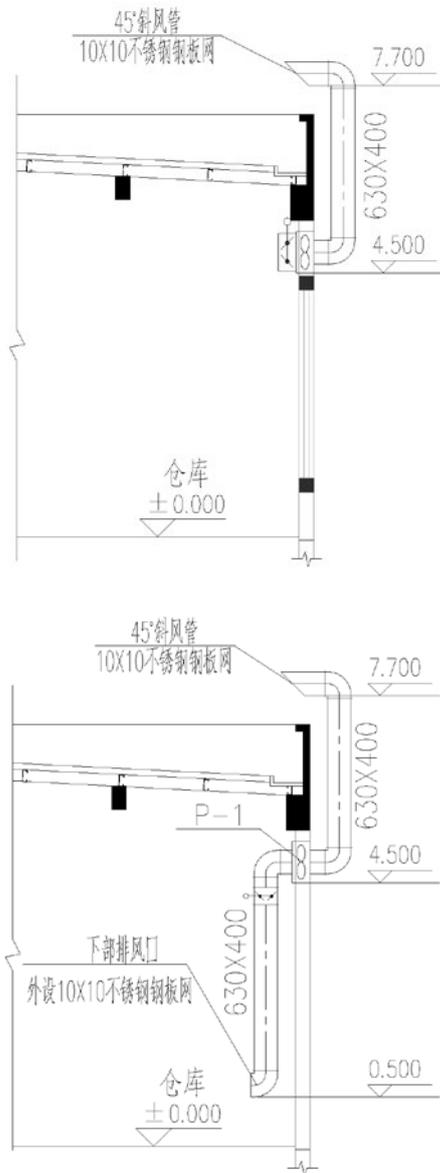


图4 事故通风设置图

事故通风，通常危废处置园区的剧毒库容积都较小，事故通风兼做平时通风设计，与甲乙类库房不同的是事故通风情况下，气体污染物同样需要经过净化达标后方能排放到大气中。考虑到剧毒污染物危害性极大，通风系统应连续运行以防止污染物扩散，通风设备选型时应选择性能稳定的通风设备，同时设置备用风机以满足通风要求。

### 3 净化工艺选择

危险废物处置园区内的工艺车间和危废存

储库房平时排风不允许直接排放大气中，需经过净化设备处理达标后才允许排放。危险废物释放出的气体污染物种类繁多，尚没有针对危险废物处置行业的大气污染物净化要求和排放标准，目前对于危险废物处置园区的各类污染物的排放要求参照《危险废物贮存污染控制标准》(GB 18597-2001)、《危险废物焚烧污染控制标准》(GB 18597-2001)、《恶臭污染物排放标准》(GB 14554-1993)、《大气污染物综合排放标准》(GB 16297-1996) 4本规范。现行项目对于污染物种类的控制仍是以恶臭9项作为排放达标的控制项，根据《恶臭污染物排放标准》(GB14554-93) 4.2.1节规定的无组织排放源限值，空气净化后排放应达到二级新扩改建厂界标准值，具体各类污染物的厂界标准值见表3。

表3 恶臭污染物厂界标准值

控制项目	单位	一级	二级		三级	
			新改扩建	现有	新改扩建	现有
氨	mg/m <sup>3</sup>	1.0	1.5	2.0	4.0	5.0
三甲胺	mg/m <sup>3</sup>	0.05	0.08	0.15	0.45	0.80
硫化氢	mg/m <sup>3</sup>	0.03	0.06	0.10	0.32	0.60
甲硫醇	mg/m <sup>3</sup>	0.004	0.007	0.010	0.020	0.035
甲硫醚	mg/m <sup>3</sup>	0.08	0.07	0.15	0.55	1.10
二甲二硫	mg/m <sup>3</sup>	0.03	0.06	0.13	0.42	0.71
二硫化碳	mg/m <sup>3</sup>	2.0	3.0	5.0	8.0	10
苯乙烯	mg/m <sup>3</sup>	3.0	5.0	7.0	14	19
臭气浓度	无量纲	10	20	30	60	70

危险废物处置园区气体污染净化工艺的选择主要受污染物种类、入口浓度、排放标准、含水率、处理量、气候条件及经济性等因素共同影响。各类危险废物产生的污染物浓度随时间具有很大的不确定性，环评中对于污染物产生量均采用同类项目类比的方式。根据以往项目经验和污染物净化达标要求，设置了多级串联的污染物净化工艺，主体净化设备为酸洗塔、碱洗塔、活性

表4 车间和库房空气净化工艺

名称	帘式除尘器	布袋除尘器	酸洗塔	碱洗塔	活性炭箱
焚烧厂房卸料大厅	✓		✓	✓	✓
焚烧厂房垃圾储坑	✓		✓	✓	✓
物化厂房				✓	✓
稳定化/固化厂房		✓		✓	✓
无机废物暂存库			✓	✓	✓
甲乙类废物暂存库			✓	✓	✓
包装容器暂存库			✓	✓	✓
有机废物暂存库			✓	✓	✓
特殊废物暂存库				✓	✓

炭箱，对于部分产生颗粒物的车间，还根据颗粒物的粒度和浓度设置了帘式除尘器或布袋除尘器。本项目不同车间和库房空气净化工艺见表4。

#### 4 结语

目前，危险废物处置园区存在通风与净化系统设计尚存在标准不完善、污染物种类和发生量不明确等问题。同时，对于净化处理工艺而言，除本文论述的工艺，还有UV光解、低温等离子和RTO等处理工艺，随着危险废物处理行业的发展，各类污染物排放指标的日益严格，处理工艺也需要不断的发展和革新，以满足日益发展的危废处置行业的需要。

#### 参考文献

[1] 中国有色金属工业协会. 工业建筑供暖通风与空气调节设计规范: GB50019-2015 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2015

[2] 中华人民共和国公安部. 建筑设计防火规范 (2018年版): GB50016-2014 [S]. 北京: 中国计划出版社, 2015

[3] 中华人民共和国国家环境保护总局. 危险废物集中焚烧处置工程建设技术规范: HJ/T176-2005 [S]. 北京: 中国环境出版社, 2005

[4] 中华人民共和国国家环境保护总局. 危险废物贮存污染控制标准 (2013年修订): GB 18597-2001 [S]. 北京: 中国环境出版社, 2013

[5] 中华人民共和国国家环境保护总局. 危险废

物焚烧污染控制标准: GB 18484-2001 [S]. 北京: 中国环境出版社, 2001

[6] 中华人民共和国国家环境保护总局. 恶臭污染物排放标准: GB 14554-1993 [S]. 北京: 中国环境出版社, 1993

[7] 中华人民共和国国家环境保护总局. 大气污染物综合排放标准: GB 16297-1996[S]. 北京: 中国环境出版社, 1997

[8] 中华人民共和国公安部. 建筑防烟排烟系统技术标准: GB 51251-2017[S]. 北京: 中国计划出版社, 2017

# 南方某机场三期扩建工程 空调冷源方案分析

■ 梁乃正 孟凡兵 (暖通)

**摘要:** 本文针对南方某机场三期扩建项目空调冷源设计方案进行了分析。结合当地能源政策及空调负荷特点,对常规制冷系统、水蓄冷系统、冰蓄冷系统3个方案进行技术经济分析和比较,并结合项目投资,用地情况给出优选方案。

**关键词:** 航站楼;水蓄冷;冰蓄冷;技术经济比较

## 0 引言

《国家综合立体交通网规划纲要》中指出:到2035年,我国基本建成现代化高质量国家综合立体交通网,其中,民用运输机场将达到400个左右。民用机场建设将随之迎来新的高潮。民用机场中,航站楼作为机场中最主要的能耗大户,其中,空调系统又占据了航站楼能耗的50%以上,节能减排降费意义重大。

## 1 项目概况

南方某机场三期扩建项目,处于亚热带湿润型季风气候,属于夏热冬冷地区。空调冷源负担总建筑面积约60万 $m^2$ ,包括新建及现有航站楼、交通换乘中心。新建能源中心位于机场工作区,距离3#航站楼距离较远,约1.4km。空调水系统采用三级泵直供系统,其中一级泵、二级泵设置于能源中心内,三级泵分别设置于各个单体建筑内。

## 2 空调冷负荷特征分析

### 2.1 旅客流量对空调负荷的影响

航站楼属于大型交通建筑,其空调冷负荷具有鲜明特点。人员及新风负荷是空调系统冷负荷变化的主要影响因素。作为交通建筑,航

站楼内人员数量受航班流量影响大。飞机航班是有一定规律的,在不同的时间段航班流量大相径庭。高峰时段一般出现在早7:00~10:00,晚17:00~21:00。本期航站楼目标年为2030年,目标年旅客吞吐量4200万人次,高峰小时旅客人数13100人。结合机场现有旅客流量信息、航班信息及远期机场规划,并参考其他同规模机场相关信息,对航站楼工作日内,旅客流量进行分时预测,作为负荷计算依据。总体负荷情况如表1所示。3#航站楼及既有2#航站楼是能源中心主要负荷源,占能源中心总冷负荷的77%左右。

表1 能源中心各子项基本概况

工程名称	建筑面积 (万 $m^2$ )	冷负荷 (kw)	冷负荷 占比	备注
T2航站楼	13	14300	20.9%	现有
T2换乘中心	10	5000	7.3%	远期预留
T3航站楼	32	38400	56.2%	新建
T3换乘中心	7.1	10650	15.6%	新建
合计	62.1	68350		

对各建筑单体分别进行逐时负荷计算,可知本项目设计日冷负荷逐时分布如图2所示。受航班流量变化影响,空调冷负荷呈现不明显的双驼峰型分布。早8时开始,空调冷负荷既达到当日最大冷负荷85%以上,并持续保持,直至下午5时许开始下降。

### 2.2 运行时长对空调负荷的影响

现有航站楼制冷站运行监测数据显示,航站楼内空调系统供冷期基本为每年4月15日开始,10

作者简介:梁乃正,男,工程师,2012年毕业于北京工业大学建筑环境与设备工程专业,现就职于中航建投民航设计院。

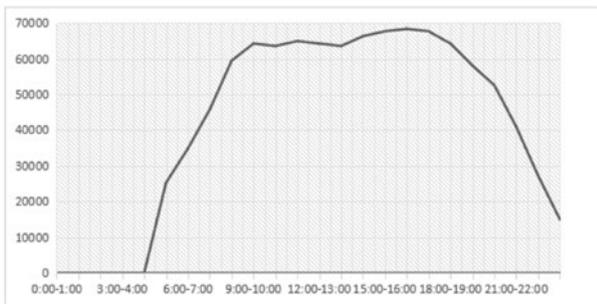


图1 航站楼内旅客数量逐时分布图

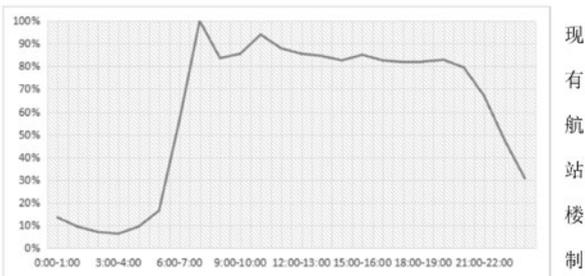


图2 设计日空调冷负荷逐时分布图

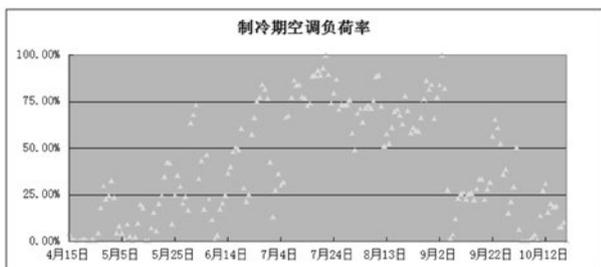


图3 空调供冷季负荷率分布

月20日截止, 供冷周期为188天。常规空调工况下, 单日运行时间段由早4:00~晚24:00时, 明显高于一般公共建筑。通过全年能耗模拟分析, 对各建筑单体全年空调供冷工况进行模拟计算, 结果见图3。

通过上述分析可知, 在全年供冷期内, 空调供冷系统负荷率与一般公共建筑存在较大差别。其中, 最明显的差别是低负荷率情况下运行时间较长, 约占整个供冷周期40%。此数据与现有2#航站楼运行监测数据基本吻合。

表2 空调供冷负荷率分布统计

负荷率	天数	占比
0~25%	75	39.9%
25%~50%	37	19.7%
50%~75%	44	23.4%
75%~100%	32	17%

### 3 冷源系统方案

#### 3.1 能源政策

机场周边具有较好的能源条件, 供电、供气充足。同时, 项目所在城市采用峰谷分时电价政策, 为蓄冷空调系统的采用提供了政策支持。另一方面, 项目所在地燃气价格较高, 接近5元/ $N \cdot m^3$ , 使得燃气型吸收式机组等方案无优势。由此, 本文将对水系统系统, 冰蓄冷系统与常规制冷系统进行比较。

表3 电网峰谷分时电价

峰谷分段	峰谷时段	蓄冷电价 (元/KW.h)	常规电价 (元/KW.h)
高峰	17:00~23:00	0.92415	0.786754
平段	5:00~17:00	0.6161	0.6161
谷段	23:00~5:00	0.30805	0.445445

#### 3.2 水蓄冷系统的设计方案及运行策略

为达到转移高峰用电, 降低运行费用, 削减冷水机组装机数量, 并结合用地规模限制等因素, 水蓄冷系统的方案, 拟采用6台3000Rt的变频离心式冷水机组作为蓄冷制冷主机, 新建2座18000 $m^3$ 的蓄冷水罐。水蓄冷系统设计参数为: 蓄冷供/回水温度为6 $^{\circ}C$ /14 $^{\circ}C$ , 蓄冷温差为8 $^{\circ}C$ 。水蓄冷系统须配置冷水机组、冷却塔、冷冻水一次泵(兼作蓄冷泵)、冷冻水二次泵(兼作放冷泵)、蓄冷水罐, 布水器以及控制系统等, 设计最大蓄冷量为75000Rt·h, 蓄冷率为25.4%。

按照设计日100%负荷率下, 夜间低谷电价时段, 冷机开启4~5台, 采取供冷兼蓄冷模式运行1h后, 进入蓄冷模式, 按照蓄冷水罐最大蓄冷量模式运行。在白天运行时, 蓄冷水罐功能主要包括两种:

(1) 3:00~17:00时段为平段电价时段, 此时段内放冷, 弥补制冷机组制冷量不足, 达到消减冷机装机容量目的;

(2) 17:00~23:00时段为高峰电价时段, 此时段内放冷, 达到降低运行费用目的。

75%负荷率及50%负荷率情况下, 夜间低谷电价时段, 按照蓄冷水罐最大蓄冷量模式运行, 蓄冷量可以完全承担当日高峰电价时段空调负荷。剩余部分蓄冷量可在平价电价时段释放。

25%负荷率情况下, 夜间低谷电价时段蓄冷, 蓄冷量可以完全承担当日全部空调冷负荷。

#### 3.3 冰蓄冷系统的设计方案及运行策略

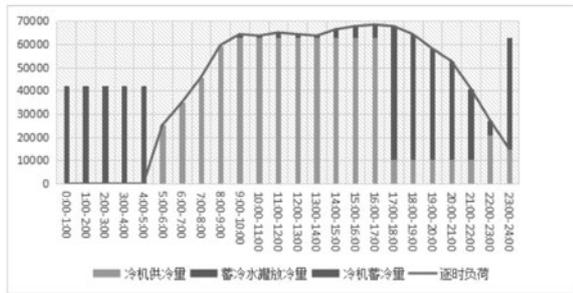


图4 水蓄冷系统运行平衡图 (100%负荷)

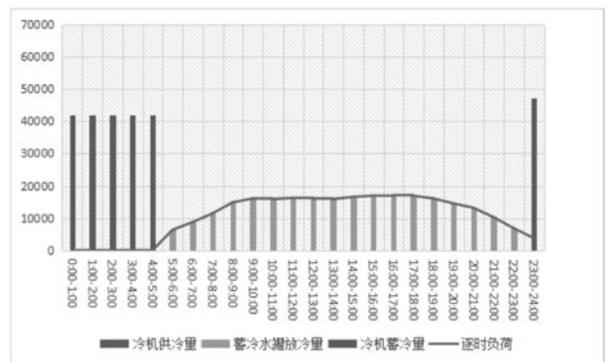


图7 水蓄冷系统运行平衡图 (25%负荷)

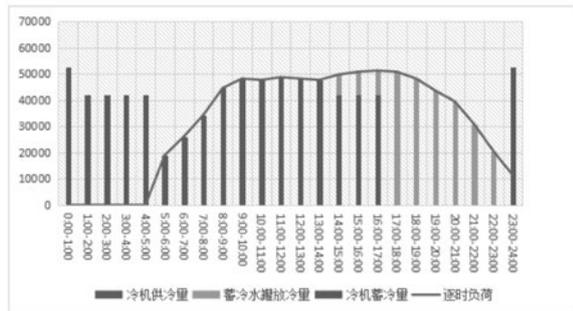


图5 水蓄冷系统运行平衡图 (75%负荷)

冰蓄冷系统中，蓄冰装置通常采用的形式包括盘管式蓄冰装置、封装式蓄冰装置、动态蓄冰装置等形式。其中，动态冰浆蓄冰具备制冰过程能效比高，综合蓄冰比大，融冰速度快等优势。本文拟采用动态冰浆蓄冷形式进行对比分析。

同样是为达到转移高峰用电，降低运行费用，同时削减冷水机组装机数量的目的，冰蓄冷方案，拟采用4台3000Rt的双工况变频离心式冷水机组作为蓄冷制冷主机，2台3000Rt单工况变频离心式冷水机组作为基载冷机，新建4320m<sup>3</sup>的蓄冰槽，及冷却塔、冷却水泵、乙二醇泵、制冰泵、释冷泵、冷冻水一次泵、冷冻水二次泵，制冰板换、直供板换以及控制系统等，设计最大蓄冷量

为54000Rt·h，蓄冷率为18.6%。

按照设计日100%负荷率下，夜间低谷电价时段，双工况机组4台满负荷运行蓄冰，基载机组负担此时建筑内冷负荷。在白天平价时段运行时，优先投入基载机组，不足情况双工况机组直供补充，仍有不足时，由蓄冰槽供冷。此时蓄冷系统放冷，达到了消减冷水机组台数的作用。高峰时段，蓄冰槽内全部冷量释放，不足情况采用基载机组及双工况机组补充。高峰时段释放槽内冷量，达到消减高峰时段用电负荷的作用，降低了系统运行成本。

75%负荷率情况下，夜间低谷电价时段，双工况机组4台满负荷运行蓄冰，蓄冷量虽不足以完全保证当日高峰时段全部空调负荷，但可以保证双工况制冷机组在高峰时段不开机。

50%负荷率和25%负荷率情况下，夜间低谷电价时段，双工况机组4台满负荷运行蓄冰，蓄冷量可以完全保证当日高峰时段全部空调负荷。

## 4 经济分析

### 4.1 初投资分析

表5、表6、表7分别统计了3种方案的出投资

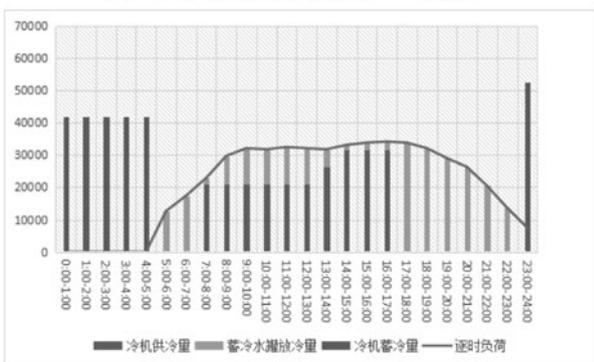


图6 水蓄冷系统运行平衡图 (50%负荷)

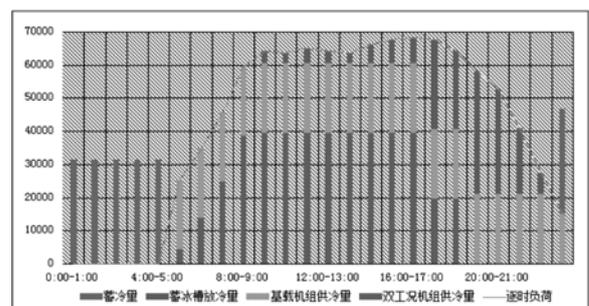


图8 冰蓄冷系统运行平衡图 (100%负荷)

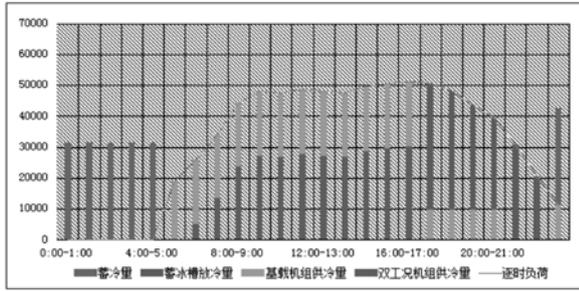


图9 冰蓄冷系统运行平衡图 (75%负荷)

数据。与常规制冷系统相比，水蓄冷系统初投资有所增加，约为2400万元，约占总投资25%。初投资增加的主要原因是增加了蓄冷水罐，布水器等设备，以及蓄冷水罐的地基处理费用。地基处理费用与项目所在地地质条件相关，占整个蓄冷系统初投资比例较高，方案论证阶段需特别注意。

与常规制冷系统相比，冰蓄冷系统初投资有所增加，约为2850万元，约占总投资29.7%。初投资增加的主要原因是冰蓄冷系统原理较复杂，增加冷蓄冰槽，制冰装置及水泵等设备较多，同时双工况冷水机组本身价格较常规机组更高。

另一方面，由于蓄冷而转移高峰时段用电

量，而且达到了“移峰填谷”意义，对于航站楼这种有代表性的建筑，具有一定社会效益。

#### 4.2 运行费用分析

表7给出了3种方案的运行费用及耗电等相关参数。与常规制冷系统相比，水蓄冷系统的运行费用有所降低。年运行费用降低440万元，占整个空调季运行费用的27.3%。转移高峰时段用电量约632万kW·h。

与常规制冷系统相比，冰蓄冷系统的运行费用同样有所降低，但优势没有水蓄冷系统明显。年运行费用降低284万元，占整个空调季运行费用的17.6%。转移高峰时段用电量约464万kW·h。

由于本项目供冷周期相对较长，增加了蓄冷系统节约运行费用的优势。另一方面，项目所在地虽然设置了专门的峰谷电价，但其目前电价政策中，低谷电价时段较短，仅为5h；同时，蓄冷系统与常规制冷系统执行不同的电价政策，这两点都降低了蓄冷系统的节约运行成本的优势。

通过对水蓄冷系统与常规供冷系统对比可以看出，水蓄冷系统初投资增加24.6%，年运行费用可降低27.3%，投资回收期约5.4年。按照设备寿命20年考虑，全寿命周期内（不考虑折旧和利率

表4 常规制冷系统设备表

序号	设备名称	主要参数	功率 (KW)	数量	价格 (万元)	
					单价	小计
1	冷水机组	3000Rt	1733	7	450	3150
2	冷却塔	3000m <sup>3</sup> /h	111	7	90	630
3	冷冻水一次泵	流量1150m <sup>3</sup> /h, 扬程18.5m	90	8	13.5	108
4	冷冻水二次泵	流量1150m <sup>3</sup> /h, 扬程46.5m	200	8	24	192
5	冷却水泵	流量2800m <sup>3</sup> /h, 扬程25m	240	8	36	288
6	机房群控设备					500
7	电气设备投资		16610			2160
8	机房土建费用					2573
	总计					9601

表5 水蓄冷系统设备表

序号	设备名称	主要参数	功率 (KW)	数量	价格 (万元)	
					单价	小计
1	冷水机组	3000Rt	1733	6	450	2700
2	冷却塔	3000m <sup>3</sup> /h	111	6	90	540
3	冷冻水一次泵	流量1150m <sup>3</sup> /h, 扬程18.5m	90	7	13.5	94.5
4	冷冻水二次泵	流量1150m <sup>3</sup> /h, 扬程46.5m	200	7	24	168
5	冷却水泵	流量2800m <sup>3</sup> /h, 扬程25m	240	7	36	252
6	蓄冷水罐及布水器等	容积18000m <sup>3</sup>	-	2	1300	2600
7	机房群控设备					500
8	电气设备投资		14440			1878
9	机房土建费用					2205
10	蓄冷水罐地基处理费用					1100
	总计					12037

表6 冰蓄冷系统设备表

序号	设备名称	主要参数	功率 (KW)	数量	价格 (万元)	
					单价	小计
1	双工况冷水机组	3000Rt(供冷) 2250Rt(制冰)	1733	4	540	2160
2	基载冷水机组	3000RT	1733	2	450	900
3	冷却塔	3000m <sup>3</sup> /h	111	6	90	540
4	冷却水泵	流量2800m <sup>3</sup> /h, 扬程25m	240	7	36	252
5	乙二醇泵	流量1850m <sup>3</sup> /h, 扬程25m	160	8	28.8	230
6	制冰泵	流量1600m <sup>3</sup> /h, 扬程24m	132	8	19.8	158
7	释冷泵	流量1400m <sup>3</sup> /h, 扬程18m	75	4	11.25	45
8	冷冻水一次泵	流量1150m <sup>3</sup> /h, 扬程20m	90	8	13.5	108
9	冷冻水二次泵	流量1150m <sup>3</sup> /h, 扬程46.5m	200	7	24	168
10	融冰放冷板式换热器 (水-水)	换热量3000Rt		4	80	320
11	直供板式热交换器 (乙二醇-水)	换热量3000Rt		4	80	320
12	动态制冰装置			1	2000	2000
13	乙二醇溶液			30	2.2	66
14	蓄冰槽	4320m				180
16	机房群控设备					500
17	电气投资					2044
18	机房土建费用					2583
	总计					12575

表7 水蓄冷系统与常规制冷系统运行费用比较

负荷率		100%	75%	50%	25%	小计	
常规制冷系统	单日耗电量	kw*h	233917	175328	120266	61236	590747
	单日运行费用	万元	15.6	11.7	8.0	4.1	39
	年运行天数	日	32	44	37	75	188
	年耗电量	kw*h	7485356	7714422	4449849	4592670	24242297
	年运行费用	万元	498	513	296	305	1613
水蓄冷系统	单日耗电量	kw*h	230652	174898	115320	58314	579184
	单日运行费用	万元	13.1	9.2	5.5	2.0	30
	年运行天数	日	32	44	37	75	188
	年耗电量	kw*h	7380874	7695519	4266826	4373518	23716736
	年运行费用	万元	420	403	204	149	1176
冰蓄冷系统	单日耗电量	kw*h	242085	176805	125861	72775	617527
	单日运行费用	万元	14.4	9.7	6.2	2.9	33
	年运行天数	日	32	44	37	75	188
	年耗电量	kw*h	7746727	7779415	4656872	5458141	25641155
	年运行费用	万元	461	425	229	215	1329

等因素)，水蓄冷系统与常规制冷系统相比，节省6382万元。

通过对冰蓄冷系统与常规供冷系统对比可以看出，水蓄冷系统初投资增加31%，年运行费用可降低17.6%，投资回收期约10.5年。按照设备寿命20年考虑，全寿命周期内（不考虑折旧和利率等因素），水蓄冷系统与常规制冷系统相比，节省约2708万元。

## 5 结语

由以上比较分析可知，本项目设置蓄冷设备

存在以下几个特点：

(1) 水蓄冷系统在本项目中，具有较好的经济效益，冰蓄冷系统次之。在出现设备故障等意外情况时，可以提供部分应急供冷的能力，提高了冷源系统可靠性。综上所述，本项目空调冷源采用蓄冷系统的方案是适用、经济、可行的。在场地允许设置蓄冷水罐的情况下，优先推荐采用水蓄冷系统。

(2) 由于冷水输送距离远，冷水机组运行调节具有很大的滞后性，建议冷源侧控制系统加入以航班流量为输入信号的前馈调节，以更快速的匹配末端负荷变化。

# 航食配餐楼 暖通节能设计的一些思考

■ 申剑 卢洪 朱巍 [暖通]

**摘要:** 航食配餐楼是能耗大户,尤其是热加工间,受其工作条件限制,以往通常采用直流空调系统,能耗较大。随着各种技术的发展,如果能合理地采用节能手段,节能效果将十分明显。本文通过阐述和分析市场中出现的3种新产品和技术,提出了几点关于节能措施的思考,为广大设计者提供参考。

**关键词:** 航食配餐楼;热加工区;节能设计

## 0 引言

航食食品配餐楼是一种特殊的建筑,因其自身的工作特点,它属于一个能耗大户,尤其是热加工区,在食品加工过程中有大量油烟的存在,所以在设计时,很多都是采用直流空调系统,导致其能耗巨大。而随着航食配餐食品质量和员工舒适性要求的进一步提高,能耗也进一步增加,如果能够采取一些节能措施,将会有很可观的经济收益和减碳效果。

## 1 热加工间循环空调的使用

因为热加工区有大量油烟,根据《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》7.3.9“空调区的空气质量、温湿度波动范围要求严格或空气中含有较多油烟时,不宜采用风机盘管加新风系统”;《全国民用建筑工程设计技术措施》(暖通空调·动力)5.3.3条也明确“厨房等空气中含有较多油烟的房间,不宜采用风机盘管”,其主要原因是风机盘管对空气进行循环处理,无特殊



实景照片

过滤装置,在油烟较多的区域运行,会增加盘管风阻力并影响传热,且易于滋生微生物和病菌,不利于室内空气品质。现在通常较为保守的做法是采用直流空调系统,并将新风与工作区的全室换气连锁工作。

以北京某配餐楼热厨房为例,用于热加工区空调系统的新风量约为 $8000\text{m}^3/\text{h}$ ,夏季新风计算负荷约为 $55\text{kW}$ ,冬季负荷约为 $62\text{kW}$ (以上负荷均不负担室内负荷)。如果使用循环空调的话,这部分能量就可以节省下来,现在不少多联机厂商推出了厨房专用空调系统,主要采取以下措施:

(1) 增加回风口的过滤措施,尽可能地阻止油雾进入机组内部,风口不仅便于拆卸和清理,

作者简介:申剑,男,高级工程师,2000年毕业于天津大学供热通风与空调工程专业,现就职于航空工业规划院飞机工程事业部。



效果图1

还具有脏堵报警功能；

(2) 采用具有强防腐型的翅片换热器，同时采用减少油烟附着设计，延长使用时间，加大清洗周期。新产品的出现，解决了热厨加工区循环空调的问题，在加工区单独设置一套多联机厨房专用空调系统可大大减少此部分能耗。

## 2 热加工排风热回收

根据《公共建筑节能设计标准》4.4.13“集中空调系统按本标准规定进行排风能量回收设计时，以下房间可不回收排风能量：1.排风中有害物质浓度较大的房间……”，在条文说明中明确“排风中有害物浓度较大的房间指厨房、吸烟室、产生有害物的实验室等”；《建筑设备专业设计技术措施》3.2.3.3“设置排风系统的空调建筑，技术经济比较合理时，宜设置新风与排风的显热或全热能量回收装置，但排风含有油烟（如厨房）或纤维、尘粒者除外”。

热回收的初衷是回收能量，起到节能、减少运行费用等作用，所以在规范中也是强调在进行经济比较后，能用则用，而以上规范内容不建议厨房采用热回收措施，其根源还是考虑油烟可能影响热回收装置的正常运行，导致增加了投资而未起到想要的效果。

配餐楼热加工区排风量大、运行时间长，如果能保证热回收装置的正常运行，经济效益可观，所以怎样将油烟净化达标以满足热回收装置

的使用要求是关键。其现在各地对于油烟净化的要求越来越高了，如北京地区《餐饮业大气污染物排放标准》中要求大型餐饮场所油烟去除效率应大于95%，而且非甲烷总烃的去除率应大于85%，故在系统中还会增设活性炭过滤器，所以整体油烟去除效率较高。

在北京某配餐楼项目中，热加工区排油烟罩采用的是水洗烟罩，其工作原理是通过排风机负压将接水盘中的水沿导流板向

上形成水帘，皂化后达到除油的效果，其除油效率可达到93.9%，再经过排风系统中设置的静电过滤器和活性炭过滤器，此套排风系统总除油效率远高于95%，为设置热回收提供了可能性。热加工区属于热湿环境采用热回收时，主要回收显热，而常用的热回收装置主要有3种方式——热管、板式、转轮<sup>[1]</sup>。

根据节能要求，显热回收率应大于65%。以北京项目为例，热厨加工区排风量170000m<sup>3</sup>/h，送风量为150000m<sup>3</sup>/h，假定排风温度20℃、相对湿度为60%，室外供暖计算温度为-7.6℃，考虑到避免排风结露，将新风预热到6℃再进行热回收，根据热回收效率计算公式：

$$\eta_t = G_x C_{px} (t_2 - t_1) / G_{\min} C_{p,\min} (t_3 - t_1) = G_p C_{pp} (t_3 - t_4) / G_{\min} C_{p,\min} (t_3 - t_1)^{[2]}$$
 (1)

$\eta_t$ ——显热回收效率%；

$G_x, G_p$ ——新风、排风的空气质量流量kg/s；

$G_{\min}$ ——新风、排风气流中，质量流量小的空气质量流量kg/s；

$C_{px}, C_{pp}$ ——新风、排风空气的定压比热，一般取1.01kJ/kg·℃；

$C_{p,\min}$ ——新风、排风气流中，质量流量小的空气定压比热，一般取1.01kJ/kg·℃；

$t_1, t_2$ ——新风进、出热回收装置（器）的温度℃；

$t_3, t_4$ ——排风进、出热回收装置（器）的温



效果图2

度 $^{\circ}\text{C}$ ；

当热回收效率按65%取值时，计算新风经过热回收后温度为 $15.1^{\circ}\text{C}$ ，排风排出温度为 $12^{\circ}\text{C}$ ，热回收量约为 $459\text{kW}$ ，即使采用回收效率较低，但是更便于清洗的液体循环式显热回收装置；当热回收效率按50%取值时，在其他参数不变的前提下，计算新风经过热回收后温度为 $13^{\circ}\text{C}$ ，排风排出温度为 $13.8^{\circ}\text{C}$ ，热回收量为 $353\text{kW}$ 。由此可见，此部分的能量回收潜力相当可观。同时抛开节能规范的限制，采用液体循环式显热回收装置，更适合目前的管理模式，维护要求低、工作量大小。

### 3 热加工排风变频控制

热加工间排风量巨大且存在不同时工作的情况，所以排风机是可以变频运行的。通常一个大的排烟罩是由多段烟罩组合而成的，以北京某配餐楼项目为例，一个 $8\text{m}$ 长的大烟罩，有7个排风支管，常规设计中由于考虑排风中有大量油烟，无法设置电动风阀等设施而导致无法采取变频控制。在北京某配餐楼项目中，因采用了前文中提到的水洗烟罩，其油烟去除率达到93.9%，所以项

目中每个排风支管均设置了一个电动风阀，由设置在烟罩上的温度传感器来判断此支管下方灶台是否工作，并控制相应电动阀门的开启来控制风机变频运行，经过一年的运行，风机平均运行速度降低了30%，节省了约65%的电耗。

### 4 结语

节能减排是大势所趋，在航食配餐楼项目中利用可行的方案、采用新型的空调通风设备，节能效果明显，经济效益可观，同时可以大大降低碳排放。

以上措施也可为大型餐饮项目提供参考。

### 参考文献

- [1] 陆耀庆.实用供热空调设计手册[M].2版.北京:中国建筑工业出版社,2008
- [2]《空调系统热回收装置选用与安装》06K301-2,中国建筑标准设计研究院,P5~P6.

## 市政工程设计研究院

市政工程设计研究院是航空工业规划总院在市政环境工程领域的专业团队，长期专注于市政公用工程、城市基础设施、生态环保节能等方面的工程咨询、设计和总承包业务。

市政工程设计研究院以市场为导向，始终坚持打造企业核心竞争力，细化专业分工，优化资源配置，注重技术创新，承揽项目遍布全国，目前已延伸至海外。市政工程设计研究院在城市固体废弃物处理、循环产业园区规划、能源供应、市政水务、环境治理和生态修复、地下综合管廊等领域完成了多项精品工程，获得了数十项国家和省部级奖项，为客户创造价值的同时，实现了经营规模的飞跃发展。

近年来，市政工程设计研究院的业务以固废处理工程研究中心、能源工程研究中心、生态修复与环境治理工程研究中心、城市交通与地下空间工程研究中心、水务工程中心等5个中心为核心展开，辅以热机、规划总图、景观、建筑、结构、道路、给排水、采暖通风、电气、自动控制、运输、造价、环境、岩土、咨询、工程管理等专业化的人才队伍，为客户提供从项目融资、高端咨询、规划立项、场地选址、可行性研究报告、方案设计、初步设计、施工图设计、工程与设备总承包和中后期评估、项目运营等工程投资、建设、运营全价值链的优质服务。市政工程设计研究院主要代表作品包括北京安定循环产业园区、北京首钢鲁家山生物质能源项目、郑州（东部）环保能源工程、广州市福山循环经济产业园区、陕西关中危险废弃物处置中心、青海海北州祁连山山水林田湖草生态保护与修复项目、贵阳市白云区城市地下综合管廊一期工程等，工程规模和投资均位于全国行业前列，具有广泛的影响力。



2021年第5期（总第157期）  
2021年10月出版



佛山南海生活垃圾焚烧发电厂提标扩能工程