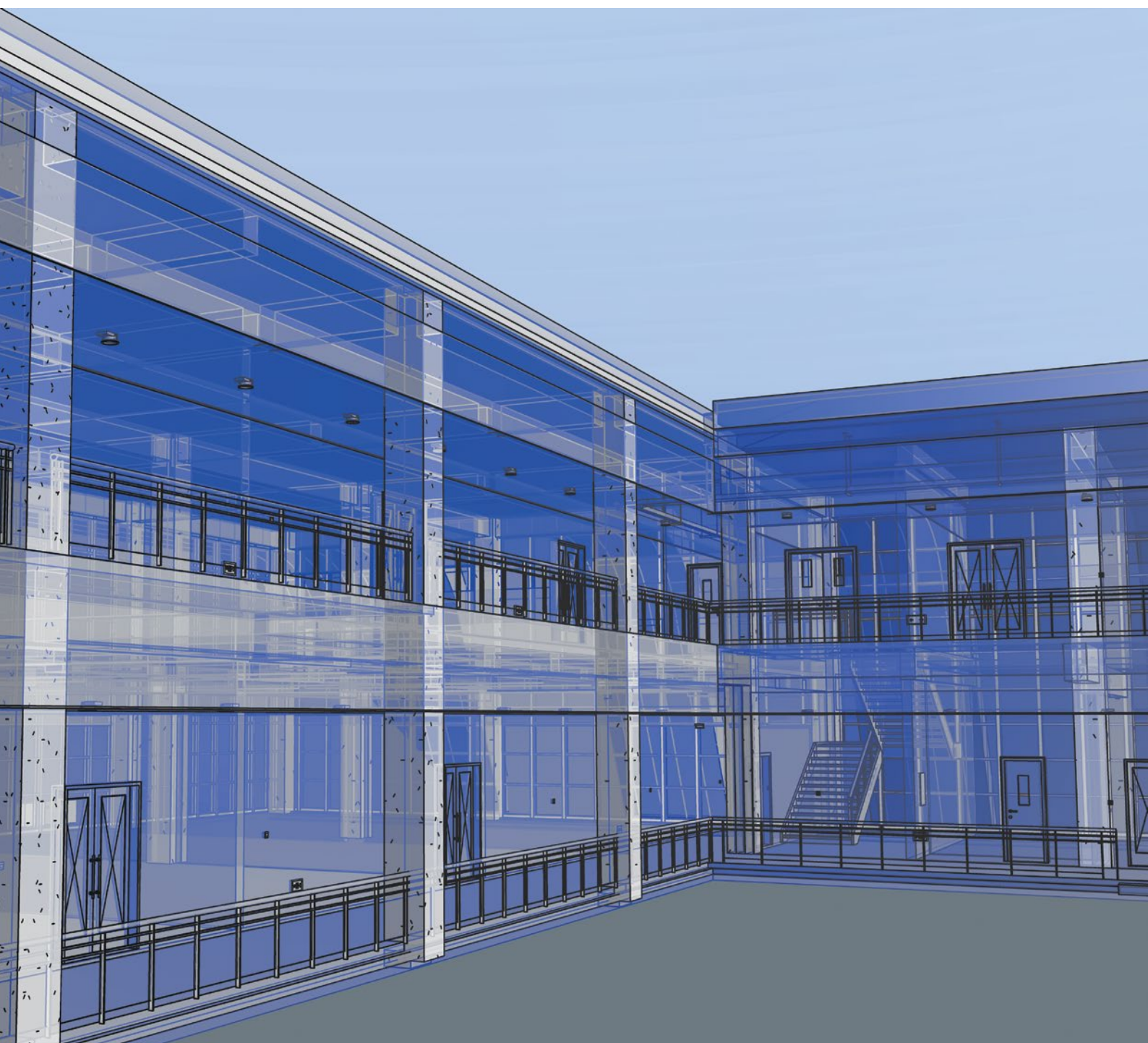


航空工程建设

AERO-INDUSTRY ENGINEERING CONSTRUCTION

2016年第4期 总第126期



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

内部资料 免费交流
准印证号：京内资准字9914-L0337号

蒙内标轨铁路项目第8标段内罗毕火车南站

建设地点：肯尼亚 内罗毕

BIM咨询单位：中航规划信息工程研究院

总建筑面积：1.6万m²

设计阶段：施工图设计

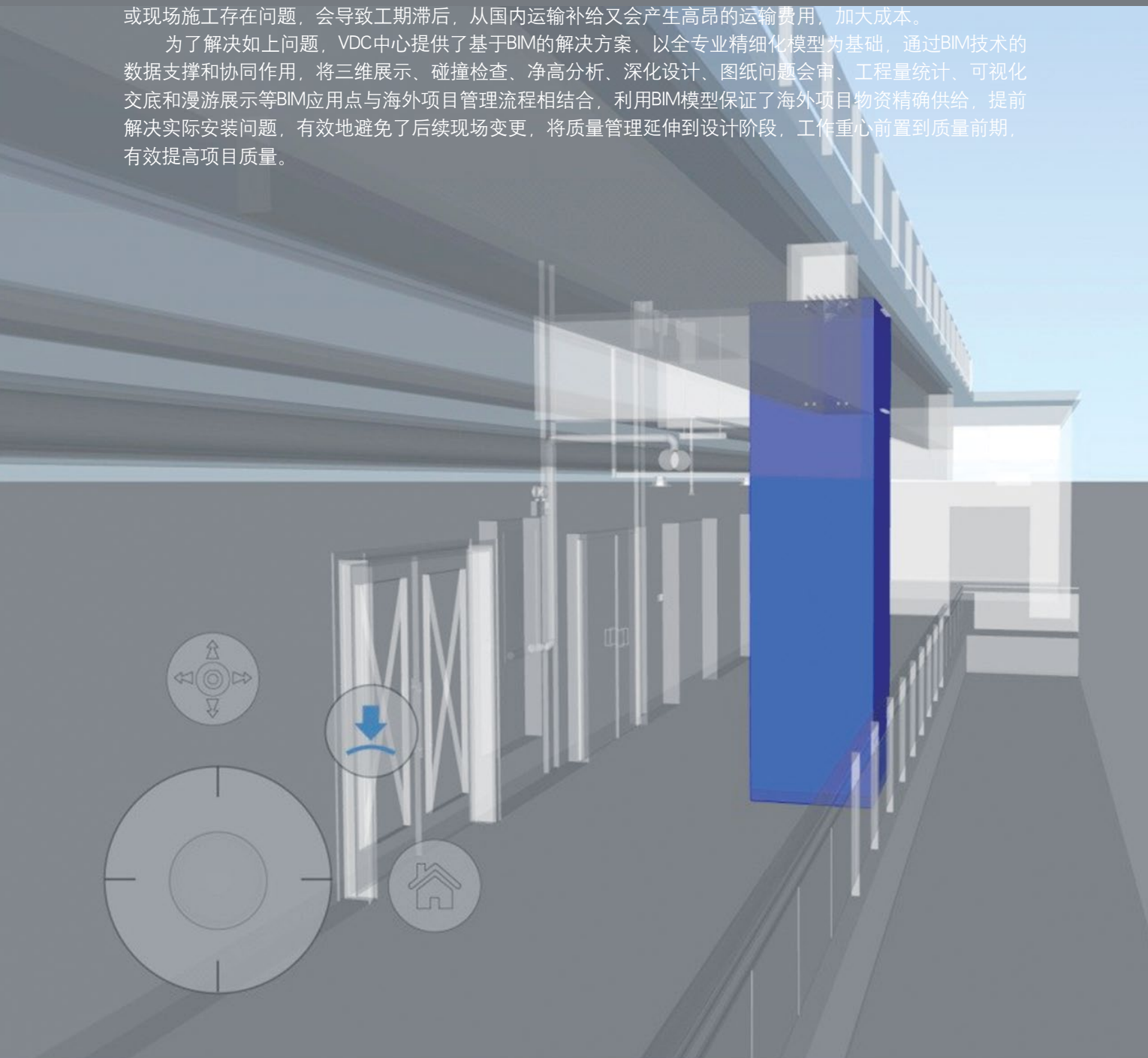
建筑结构形式：钢结构

项目简介：

内罗毕南站项目建筑设计以“中非邦交友好”为设计理念，外观造型与城市特色完美融合。以人为本，功能齐全；在设计思路与站内人流交通组织上，充分体现了人文关怀的设计理念。

本项目位于肯尼亚首都内罗毕，为海外项目，即在国内完成设计及施工方案制定等工作，也包括物料采购等内容。海外项目在物资管理以及项目沟通方面与国内差异较大，国内项目如有材料短缺或设备型号规格不符，可及时补供和更换，可保证工期；而海外项目主要围绕项目工期和费用进行管理，如材料设备不足或现场施工存在问题，会导致工期滞后，从国内运输补给又会产生高昂的运输费用，加大成本。

为了解决如上问题，VDC中心提供了基于BIM的解决方案，以全专业精细化模型为基础，通过BIM技术的数据支撑和协同作用，将三维展示、碰撞检查、净高分析、深化设计、图纸问题会审、工程量统计、可视化交底和漫游展示等BIM应用点与海外项目管理流程相结合，利用BIM模型保证了海外项目物资精确供给，提前解决实际安装问题，有效地避免了后续现场变更，将质量管理延伸到设计阶段，工作重心前置到质量前期，有效提高项目质量。



中国航空工业建设协会工程“建设项目管理实务培训会”在西安举办

中国航空工业建设协会按照年度培训计划，于2016年6月16日、17日在西安举办了工程建设项目管理实务培训会。培训会由协会副秘书长吴慧萍主持，协会会员单位主管业务人员共54人参加培训。



本次培训邀请了三位专家授课，中国航空规划设计研究总院有限公司副总工程师米敬明做了题为《中航工业工程总承包模式》的专题培训，重点对工程总承包政策法规文件、中航工业工程总承包的模式及特点、建设项目实施过程中的关键环节及应注意的问题进行了解读和解答；中航技国际经贸发展有限公司总经理助理徐军做了题为《招投标实务及风险防范》的专题培训，培训结合系统内招投标项目检查发现的常见问题，重温招投标法律法规及实务，并对招标采购电子化平台进行了介绍；中国航空规划设计研究总院工程造价专业总师王玉平做了题为《建设实施阶段造价管理应注意的问题及案例分析》的专题培训，主要结合国家招投标法律法规、科工局政策文件、工程量清单计价规范、标准合同及招标文件等与建设项目相关的文件及案例，从业主角度分析造价管理中应注意的问题。

住房部财政部通知要求切实做好清理规范工程建设领域保证金有关工作

为贯彻落实《国务院办公厅关于清理规范工程建设领域保证金的通知》精神，切实减轻企业负担，降低制度性交易成本，为企业发展营造良好环境，日前，住房城乡建设部和财政部联合下发通知，要求各地切实做好清理规范工程建设领域保证金有关工作。

通知要求，各地住房城乡建设、财政主管部门要制订切实可行的工作方案，认真组织实施。要按照“一个企业不落、一个项目不落”原则，摸清底数，建立台帐。在8月15日前重点查清本地区应取消的保证金种类、保留的保证金中

未按规定或合同约定返还的项目等情况。对取消的保证金，收取单位应立即退还，9月底前确保全部退还到位。对保留的保证金中逾期未退还及超额收取的部分，收取单位应在今年年底前退还完毕，并按约定向建筑业企业支付逾期退还违约金。对保留的保证金中未到返还时限的，要采取有力措施，确保到期按时返还。推行银行保函制度，完善相关管理办法。加快工程建设领域信用体系建设，加大信用信息公开力度，推进守信联合激励和失信联合惩戒，建立监督约束建筑业企业的新机制。（摘自《中国建设报》）

深化投融资体制改革意见发布 畅通投资项目融资渠道

据中共中央和国务院今日授权新华社发布的《中共中央 国务院关于深化投融资体制改革的意见》(以下简称“意见”)。意见明确，要创新融资机制，畅通投资项目融资渠道，大力发展直接融资，充分发挥政策性、开发性金融机构的积极作用。

意见要求，创新融资机制，畅通投资项目融资渠道。一是大力发展直接融资。依托多层次资本市场体系，拓宽投资项目融资渠道，支持有真实经济活动支撑的资产证券化，盘活存量资产，优化金融资源配置，更好地服务投资兴业。二是充分发挥政策性、开发性金融机构积极作用。在国家批准的业务范围内，政策性、开发性金融机构要加大对城镇棚户

区改造、生态环保、城乡基础设施建设、科技创新等重大项目和工程的资金支持力度。根据宏观调控需要，支持政策性、开发性金融机构发行金融债券专项用于支持重点项目建设。三是完善保险资金等机构资金对项目建设的投资机制。在风险可控的前提下，逐步放宽保险资金投资范围，创新资金运用方式。鼓励通过债权、股权、资产支持等多种方式，支持重大基础设施、重大民生工程、新型城镇化等领域的项目建设。四是加快构建更加开放的投融资体制。创新有利于深化对外合作的投融资机制，加强金融机构协调配合，用好各类资金，为国内企业走出去和重点合作项目提供更多投融资支持。（摘自“中国网财经频道”）

中共中央 国务院 中央军委印发《关于经济建设和国防建设融合发展的意见》

近日，中共中央、国务院、中央军委印发了《关于经济建设和国防建设融合发展的意见》（以下简称《意见》）。《意见》着眼国家安全和发展战略全局，明确了新形势下军民融合发展的总体思路、重点任务、政策措施，是统筹推进经济建设和国防建设的纲领性文件。

新形势下军民融合发展主要目标是：形成全要素、多领域、高效益的军民深度融合发展格局，使经济建设为国防建设提供更加雄厚的物质基础，国防建设为经济建设提供更加坚强的安全保障。到2020年，经济建设和国防建设融合发展的体制机制更加成熟定型，政策法规体系进一步完善，重点领域融合取得重大进展，先进技术、产业产品、基础设施等军民共用协调性进一步增强，基本形成军民深度融合发展的基础领域资源共享体系、中国特色先进国防科技工业体系、军民科技协同创新体系、军事人才培养体系、军队保障社会化体系、国防动员体系。

《意见》提出要加强产业领域统筹，建设中国特色先进国防科技工业体系。深化国防科技工业体制改革，进一步打破行业封闭，立足国民经济基础，突出核心能力，放开一般能力，推进社会化大协作，推进军工企业专业化重组。扩大引入社会资本，积极稳妥推进混合所有制改革试点。加快引导优势民营企业进入武器装备科研生产和维修领域，健全信息发布机制和渠道，构建公平竞争的政策环境。推动军工技术向国民经济领域的转移转化，实现产业化发展。积极参与发展战略性新兴产业和高技术产业。（摘自“中国政府网”）

国务院办公厅印发《关于促进通用航空业发展的指导意见》

国务院办公厅日前印发《关于促进通用航空业发展的指导意见》（以下简称《意见》），对进一步促进通用航空业发展作出部署。

《意见》指出，通用航空业是以通用航空飞行活动为核心，涵盖通用航空器研发制造、市场运营、综合保

障以及延伸服务等全产业链的战略性新兴产业体系，产业链条长、服务领域广、带动作用强。要充分发挥市场机制作用，加大改革创新力度，突出通用航空交通服务功能，大力培育通用航空市场，加快构建基础设施网络，促进产业转型升级，提升空管保障能力，努力建成布局合理、便利快捷、制造先进、安全规范、应用广泛、军民兼顾的通用航空体系。

《意见》突出通用航空问题导向，提出了培育通用航空市场、加快通用机场建设、促进产业转型升级、扩大低空空域开放、强化全程安全监管五个方面重点任务。《意见》提出，到2020年，建成500个以上通用机场，基本实现地级以上城市拥有通用机场或兼顾通用航空服务的运输机场，覆盖农产品主产区、主要林区、50%以上的5A级旅游景区。（摘自“中国政府网”）

工业和信息化部召开2016年全国智能制造试点示范经验交流会

7月24日，全国智能制造试点示范经验交流会在广东东莞召开。工业和信息化部党组书记、部长苗圩出席会议并作重要讲话。

苗圩表示，要深刻认识推进智能制造的艰巨性和紧迫性。智能制造是制造业发展的重大趋势，是推进制造业供给侧结构性改革的重要体现，是构建新型制造体系的必然选择，也是促进制造业向中高端迈进、建设制造强国的重要举措。与工业发达国家相比，我国在推进智能制造发展方面还有较大差距，一些突出问题迫切需要解决，推进智能制造既艰巨、又紧迫，必须牢牢把握这一主攻方向，采取更有力的措施，推动信息技术与制造技术深度融合，促进制造业转型升级、跨越发展。

苗圩强调，要从推动制造业实现大发展的目标出发，高度重视试点示范工作，加强协同配合，发挥好智能制造试点示范的引领、推广、带动作用。并着力抓好三个方面工作：一是要加强政策扶持，推进试点工作不断深入；二是要加强统筹协调，推动试点工作多出实效；三是要加大宣传力度，促进典型经验在更大范围内推广。（摘自“工信部网站”）

国务院印发《“十三五”国家科技创新规划》

经李克强总理签批，国务院近日印发《“十三五”国家科技创新规划》(以下简称《规划》)，明确提出了未来五年国家科技创新的指导思想、总体要求、战略任务和改革举措。

《规划》描绘了未来五年科技创新发展的蓝图，确立了“十三五”科技创新的总体目标。国家科技实力和创新能力大幅跃升，国家综合创新能力世界排名进入前15位，迈进创新型国家行列；创新驱动发展成效显著，与2015年相比，科技进步贡献率从55.3%提高到60%，知识密集型服务业增加值占国内生产总值的比例从15.6%提高到20%；科技创新能力显著增强，通过《专利合作条约》(PCT)途径提交的专利申请量比2015年翻一番，研发投入强度达到2.5%。

《规划》围绕支撑国家重大战略，充分发挥科技创新在推动产业迈向中高端、增添发展新动能、拓展发展新空间、提高发展质量和效益中的核心引领作用，重点强化六方面的任务部署。一是围绕构筑国家先发优势，加强兼顾当前和长远的重大战略布局。二是围绕增强原始创新能力，培育重要战略创新力量。三是围绕拓展创新发展空间，统筹国内国际两个大局。四是围绕推进大众创业万众创新，构建良好创新创业生态。五是围绕破除束缚创新和成果转化的制度障碍，全面深化科技体制改革。六是围绕夯实创新的群众和社会基础，加强科普和创新文化建设。(摘自“中国政府网”)

中航工业智能制造关键技术与PTC/GE物联网解决方案研讨会近期召开

7月20~21日，中航工业科技与信息化部、智能制造创新中心(由中航工业制造所与信息技术中心共同承建)联合中航工业昌飞、PTC(美国参数技术公司)/GE技术团队在江西景德镇召开智能制造关键技术与PTC/GE物联网解决方案研讨会。作为智能制造创新中心成立后组织的首次大型研讨会，会议从智能制造规划及方法论、智能制造创新示范和验证能力体验中心建设、PTC/GE智能制造解决方案、最佳实践体验等方面进行了深入研讨。

在方法论和规划层面，中航工业信息技术中心总架构师程燕介绍了智能制造总体架构和业务模型框架，分析了工作方法以及发展愿景；中航工业信息技术中心副总工程师王立书对智能互联的现状、关键技术及建设思路进行了介绍。在技术解决方案方面，PTC公司PLM全球副总裁Francois对国内外智能制造的最新现状进行了分析，介绍了基于“物联网+应用平台”的智能制造技术框架，引入物联网、大数据分析、增强现实等新技术，提出了创新研发、卓越制造、敏捷服务、智慧管理的一整套APP方案。PTC/GE专家分别从研发、制造、服务、管理等四个方面详细介绍了相应的技术方案和案例。

经过深入研讨，与会领导和专家对智能制造的国内外进展、集团规划、可落地的技术方案有了更清晰地理解和认识，为中航工业进一步落实智能制造推进计划奠定了技术基础。(摘自《中国航空报》)

中航工业连续8年入榜《财富》世界500强

近期，2016年《财富》世界500强企业排行榜单揭晓。中国航空工业集团公司(以下简称“中航工业”)以602.52亿美元的营业收入连续第8年入榜，排名第143位。入榜名次较2015年前进16位，比2009年首次入选前进283位。这是中航工业自2009年以来连续第8年进入世界500强榜单。

在世界500强的航天与防务行业分榜单中，中航工业位居第6位。该分榜单上榜企业共15家，其中，中美各6家，欧洲3家。受到外部经济不景气的影响，中航工业2015年营业收入虽减少了3.3%，但远低于世界500强总营业收入11.5%的减幅。中国上榜110家(包含香港、台湾地区)，数量上居全球第二位，仅次于美国(134家)。

据了解，《财富》世界500强排行榜一直是衡量全球大型公司的最著名、最权威的榜单，被誉为“终极榜单”，由《财富》杂志每年发布一次。今年，上榜500家公司的总营业收入为27.6万亿美元，净利润之和为1.48万亿美元，同比分别下降11.5%和11.3%。入围门槛为209.2亿美元，比去年的237.2亿美元下降11.8%。去年榜单最后一名的营业收入在今年可以排到第449位。(摘自“中国航空新闻网”)



徐州观音机场T2航站楼二期 扩建工程项目

建设地点：江苏徐州

BIM咨询单位：中航规划信息工程研究院

用地面积：约40万m²
(含未来发展用地，不含飞行区用地)

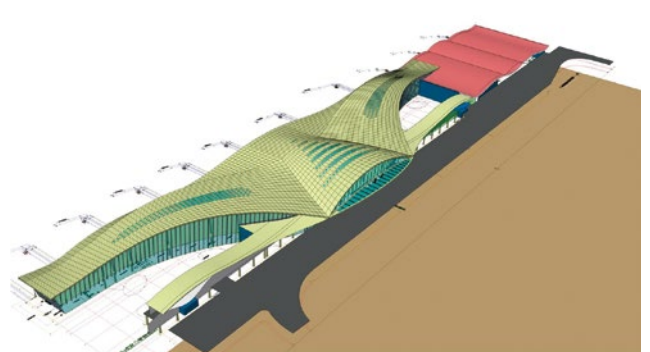
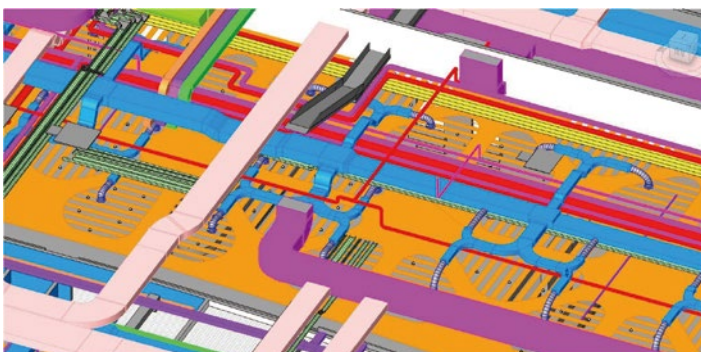
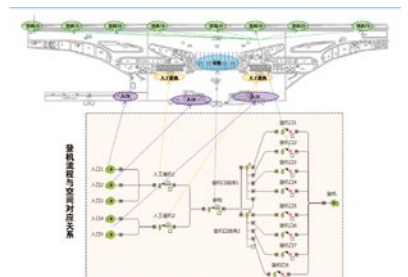
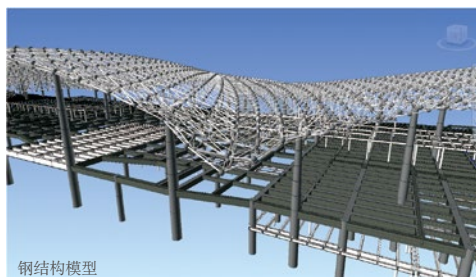
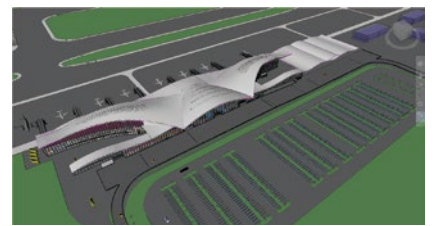
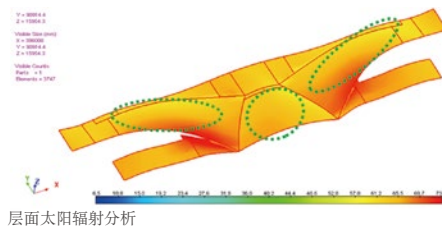
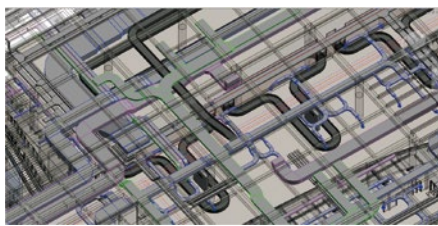
总建筑面积：5.9万m²

徐州观音机场扩建工程为江苏省重点工程，该项目综合地域、人文、功能、技术、艺术等有机元素，与传统的经济、适用、美观的设计理念一脉相承，追求新老和谐共生；共创全新、高效、智慧、人性化、绿色一体化航站楼。项目选型来自航站楼、空侧交通、陆侧交通、时间性的复杂的四维考量，以港城一体化及综合交通枢纽打造。

项目在设计阶段面临建筑、结构立体曲面造型复杂、机电专业配合曲线造型布局困难等难点。为了保证项目质量，VDC中心与设计人员实施了基于BIM的协同设计模式，以优化设计流程为导向建立面向三维设计的协同平台，实现从方案到施工图的无缝数据传递和专业融合，提高设计

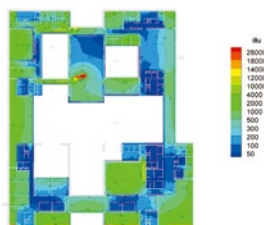
效率与质量。

徐州观音机场基于BIM的项目设计与优化，不仅通过碰撞检查、管线综合等工作提高了设计质量，还通过气象数据分析、能耗仿真、CFD性能优化、屋顶表面辐射及温度分析、人流可视化仿真、消防性能分析、结构分析等手段实现了项目的综合性能优化，并以土建4D管理系统、机电设备4D管理系统、机电设备运维信息管理设计为依托，搭建了基于BIM的全周期管理系统。通过BIM技术实现大型复杂航站楼项目全周期设计优化，并实现对项目风险、成本、时间等因素的有效管控，为运营管理和新模式项目运作模式提供数据支持。

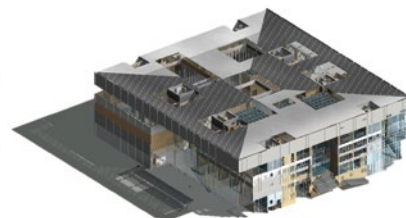
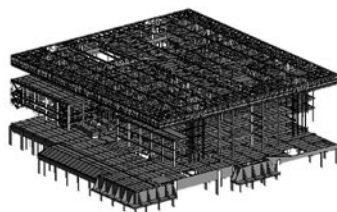




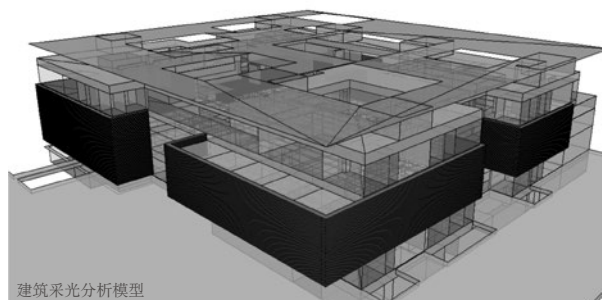
建筑室内温度分析



建筑室内采光分析



建筑模型



建筑采光分析模型



济宁群众艺术馆·高地公园

建设地点：山东济宁

BIM咨询单位：中航规划信息工程研究院

总建筑面积：3.2万m²

建筑结构形式：钢框架-混凝土剪力墙结构

群众艺术馆是一个容纳艺术创作、培训、制作、观演、展示和群众活动等功能的群众文化场所。建筑设计立意“游于艺”，来源于“至圣”孔子的思想，取自于《论语》。（注：《论语·述而》“志于道，据于德，依于仁，游于艺。”）在建筑空间的营造上，基于“活力环”的空间架构，努力形成具有多重功能的活力场所，让群众能够自由自在地“游于艺”，体会到先贤心目中的理想境界，建立起某种时空乃至文化上的“穿越”。

设计通过“活力环”衔接“主次通廊、四个区块、四组平台”，形成建筑空间框架。主次通廊是贯通建筑内部公共空间与周边景观的中庭空间、视线通廊，包括东西向主通廊和南北向次通廊。

立面造型设计强调外在形式与内在逻辑的一致性，结合内部空间与功能构成，形成虚实对比、简洁大方的现代风格。外墙设计概念来源于济宁国家级非物质文化遗产—鲁锦，尝试营造类似于“鲁锦”手工编制的质感，体现地方文化特色。鲁锦是以鲁西南地区为中心的山东民间传统纯棉手工纺织物，因其历史悠久、古朴典雅、织工精致、粗中有细，具有浓郁的乡土气息和鲜明的地方特色。建筑立面设计研究鲁锦的织造工艺，借助其通过“经纬相交、通经断纬”织技衍生出多种纹样肌理的手法，在建筑表皮创造一系列类似于传统手工编织的质感，达到“粗犷中见精细，浑厚中见艳丽”的整体效果，与鲁锦产生形象上的呼应。

顺鑫研发基地项目的结构形式为框架-剪力墙结构，外装饰为玻璃幕墙和石材幕墙。该项目支护土方工程浩繁，护桩帷幕桩多达1000根，土方量高达30万方，冠梁长达650m，土钉墙1500m²，如何在两个月之内完成土护降所有工作任务是项目管理的重中之重。

信息院VDC团队接受建设方委托，针对上述重点，建立完整的土护降BIM模型，并根据总承包方提供的施工方案进行施工模拟。在模拟过程中，不断对施工区域划分及施工先后顺序、施工场地布置、车辆进出路线、出土坡道位置、塔吊安装顺序等进行优化、调整，再优化，再调整，最终得到最合理的管控方案。建设方按照方案实施管控，最终实现了既定的工期目标，为项目后期实施打下了坚实的基础。同时，中航BIM团队还通过新型技术手段对地上楼层进行净高分析、安全分析等。

顺鑫研发基地项目

建设地点：北京顺义

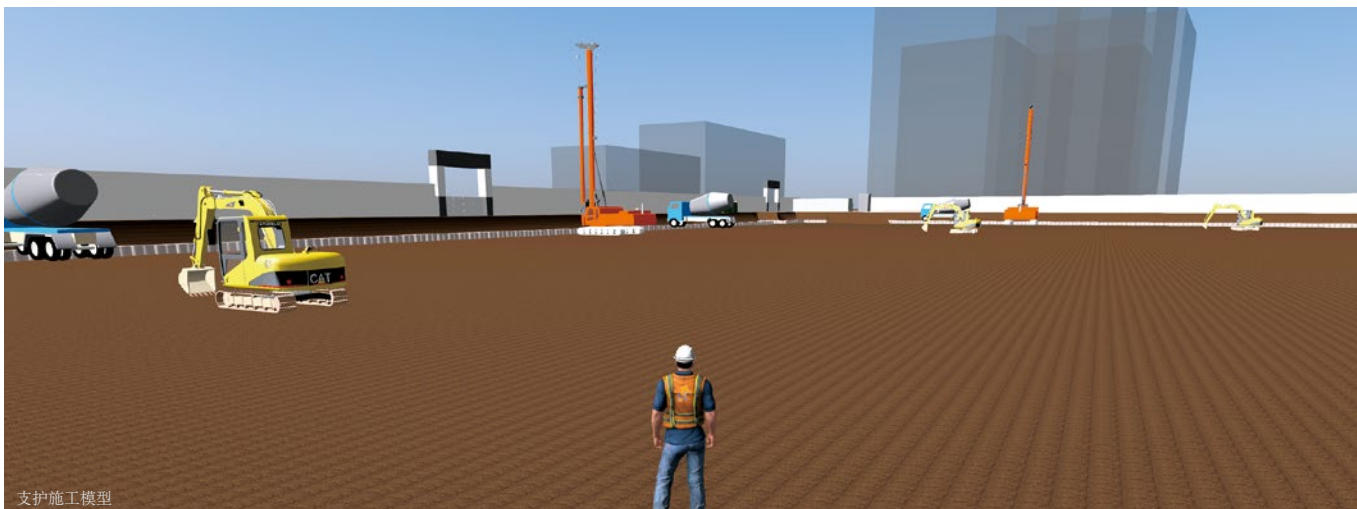
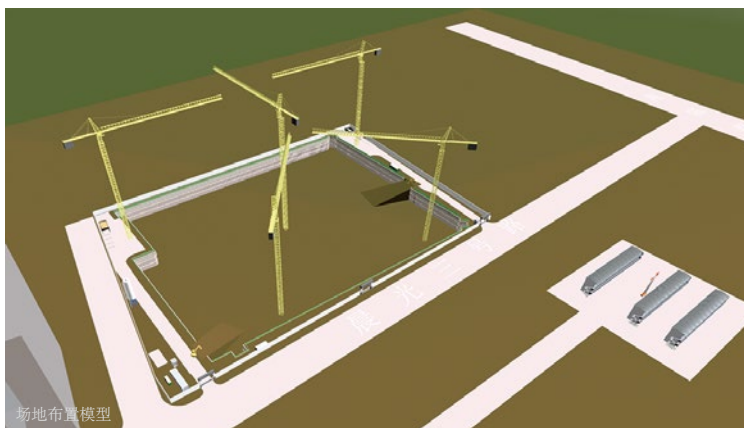
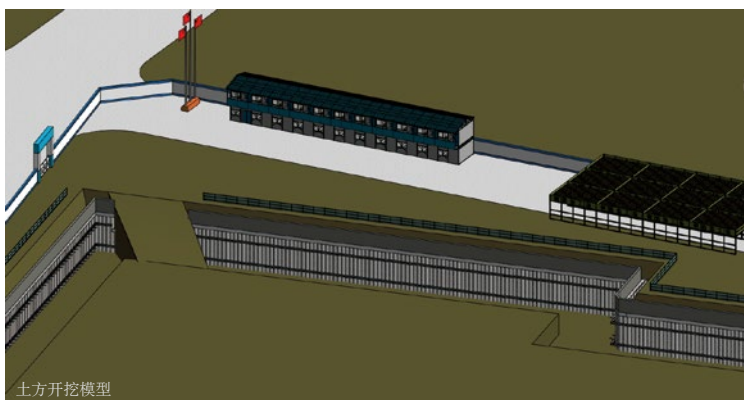
BIM咨询单位：中航规划信息工程研究院

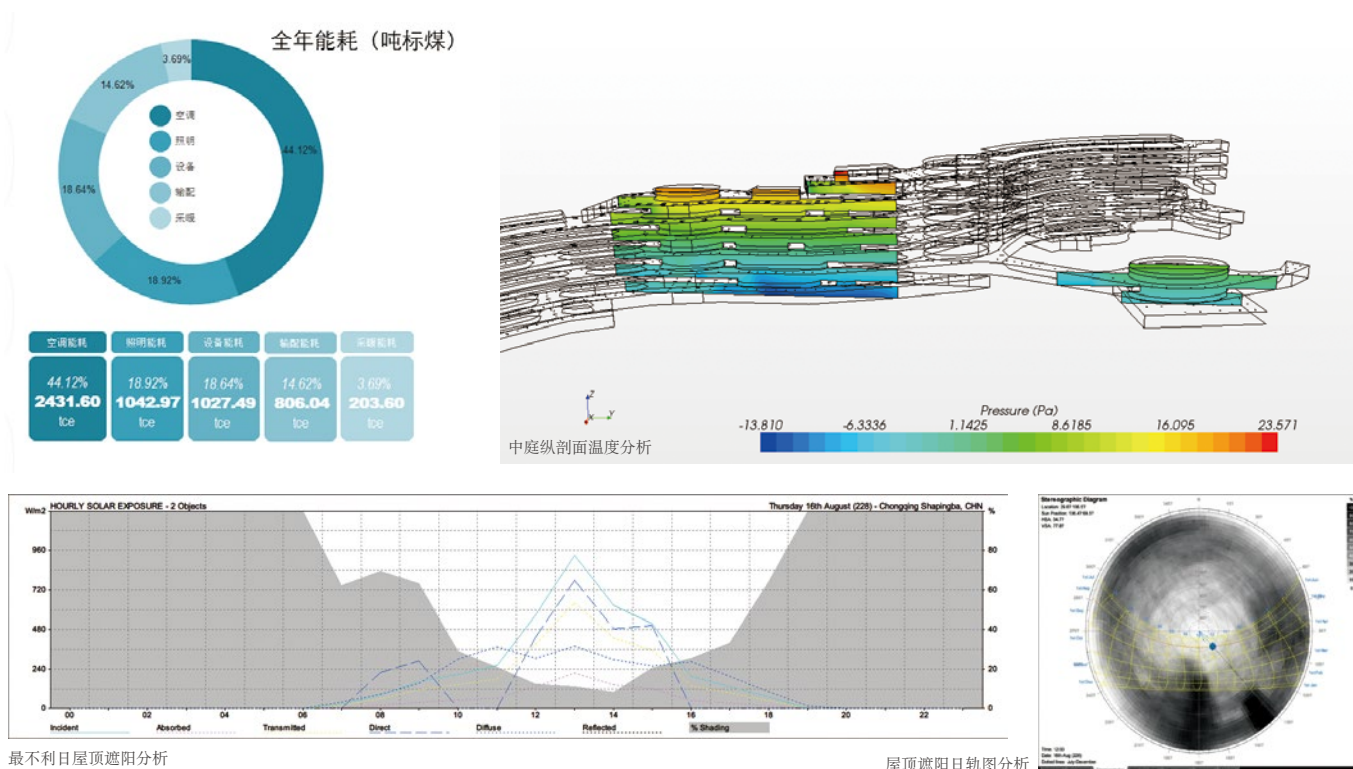
用地面积：3.1万m²

总建筑面积：3.6万m²

设计阶段：施工图设计

建筑结构形式：钢结构





龙湖时代天街二期商业项目位于重庆市渝中区大坪商圈，作为时代天街一期的后续项目，与一期紧邻。为了能达到充分提升商业效应、聚集人气和有效利用土地的目的，本项目通过一条贯穿整个用地，长达270m的大型中庭将商业、餐饮、娱乐、书城等功能串联起来。此中庭的面积达到26000m²，其中不仅有人员、设备和照明等大量内热源，同时屋顶设计了2000m²的天窗，夏季直接进入室内的大量太阳辐射将进一步增加空调系统的负荷。为解决中庭夏季过热的问题，设计团队针对项目特点及设计情况，对中庭的舒适度进行模拟预测和优化。

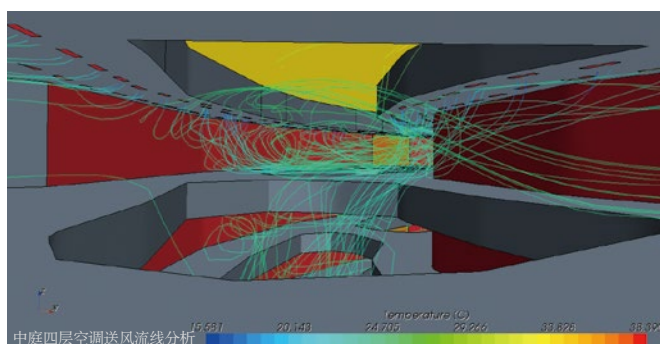
根据高大商业空间舒适度分析的要求确定最佳模拟参数和边界条件，包括最不利时间、室内设计参数、空调系统参数、室内外各种热扰；

按照设计方案建立三维数字模型，采用计算流体力学技术展开室内气流模拟，预测夏季最不利条件下，中庭的舒适度、气流组织是否满足要求，并找出可能出现的问题；

结合室内舒适度、遮阳及采光分析给出最优化遮阳建议，以充分提高中庭的舒适度；

针对优化后的设计进行模拟验证，以保证使用效果。

根据模拟分析，设计团队对项目中的暖通设计进行了调整，从模拟结果来看，调整取得了良好效果。基于计算流体力学技术的动态模拟不仅能精确地分析室内舒适度，还可以作为传统空调负荷计算的有力助手，共同应对复杂的商业综合体中庭设计，避免极端情况下可能出现的问题。



龙湖时代天街二期 中庭舒适度优化顾问项目

建设地点：重庆渝中

BIM咨询单位：中航规划信息工程研究院

总建筑面积：24.5万m²

住房和城乡建设部关于发布行业标准《人造板材幕墙工程技术规范》的公告

现批准《人造板材幕墙工程技术规范》为行业标准，编号为JGJ336-2016，自2016年12月1日起实施。其中，第5.5.1条为强制性条文，必须严格执行。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《塑料门窗设计及组装技术规程》的公告

现批准《塑料门窗设计及组装技术规程》为行业标准，编号为JGJ362-2016，自2016年12月1日起实施。其中，第3.4.2条为强制性条文，必须严格执行。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《建筑抗震设计规范》局部修订的公告

现批准《建筑抗震设计规范》GB50011-2010局部修订的条文，自2016年8月1日起实施。经此次修改的原条文同时废止。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《城乡建设用地竖向规划规范》的公告

现批准《城乡建设用地竖向规划规范》为行业标准，编号为CJJ83-2016，自2016年8月1日起实施。其中，第3.0.7、4.0.7、7.0.5、7.0.6条为强制性条文，必须严格执行。原《城市用地竖向规划规范》CJJ83-99同时废止。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《超大面积混凝土地面无缝施工技术规范》的公告

现批准《超大面积混凝土地面无缝施工技术规范》为国家标准，编号为GB/T51025-2016，自2017年2月1日起实施。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《城市防洪规划规范》的公告

现批准《城市防洪规划规范》为国家标准，编号为GB51079-2016，自2017年2月1日起实施。其中，第4.0.1、4.0.4、7.0.4、7.0.5条为强制性条文，必须严格执行。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《城市停车规划规范》的公告

现批准《城市停车规划规范》为国家标准，编号为GB/T51149-2016，自2017年2月1日起实施。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《绿色博览建筑评价标准》的公告

现批准《绿色博览建筑评价标准》为国家标准，编号为GB/T51148-2016，自2017年2月1日起实施。

住房和城乡建设部关于发布行业产品标准《陶粒加气混凝土砌块》的公告

现批准《陶粒加气混凝土砌块》为建筑工业行业产品标准，编号为JG/T504-2016，自2016年12月1日起实施。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《组合结构设计规范》的公告

现批准《组合结构设计规范》为行业标准，编号JGJ138-2016，自2016年12月1日起实施。其中，第3.1.5、3.2.3、4.3.8条为强制性条文，必须严格执行。原《型钢混凝土组合结构技术规程》JGJ138-2001同时废止。

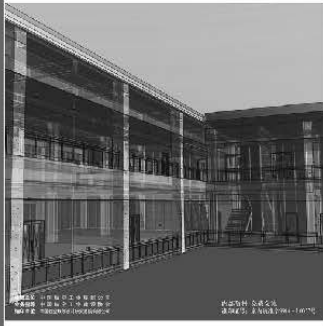
住房和城乡建设部关于发布行业标准《建筑同层排水工程技术规程》的公告

现批准《建筑同层排水工程技术规程》为行业标准，编号为CJJ232-2016，自2016年12月1日起实施。其中，第3.1.9、4.1.6条为强制性条文，必须严格执行。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《航空工业工程设计规范》的公告

现批准《航空工业工程设计规范》为国家标准，编号为GB51170-2016，自2016年12月1日起实施。其中，第8.4.5、8.7.3、9.4.2、11.3.10条为强制性条文，必须严格执行。

(来源“国家工程建设标准化信息网”)



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

顾问委员会

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

编辑委员会

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

总编 陆国杰
主编 陈海风
执行主编 王蕊
责任编辑 李楠
出版 《航空工程建设》编辑部
地址 北京德外大街12号
邮编 100120
E-mail hkgcjs@avic-apc.com
印刷单位 北京奇麟印刷有限责任公司分公司
发送对象 公司内部及本系统内部
印刷日期 2016年8月
印数 1500册
电话 (010)62038276 62038235
传真 (010)62038297
封面 蒙内标铁路项目第8标段
内罗毕火车站

CONTENTS

目录 2016年第4期 总第126期

航空能力建设

- 02 航空配餐楼的物流特点及设计要点 李 箬 刘 烁
07 发动机模拟装置热力耦合分析 周保珍 郗 方 陈 果
11 低空旅游产业规划要点 陈文洁
14 “文化+体验”主导下的航空主题公园及度假区规划研究
——以珠海航空文化博览中心投标方案为例 张 楠 张琳琳

研究与探讨

- 21 中药提取车间工艺设计浅析 张媛媛 伍雅欣
25 脊髓灰质炎灭活疫苗原液生产车间工艺布置设计要点分析
张瑞超 张媛媛
29 垃圾焚烧发电工程循环水余热利用研究 陆新生 黄求诚
33 基于ANSYS的热压罐齿法兰应力分析
陈 果 刘建华 周保珍
38 复合材料成形热压罐设备尾部保温结构优化研究
马 瑞 刘建华
41 疏水阀后余压凝结水管径计算 赵一娥 邢志涛
45 LED灯谐波电流浅析 晏浚博 黄 浩

工程设计

- 49 某大型模式动物生产厂房工艺设计 高 灿 李 红 杨 勇
53 通辽图书馆超限结构抗震设计
崔巨宏 王德刚 金来建 刘 茵
61 固体制剂生产厂房洁净空调设计 卢 琳 董秀芳

航空配餐楼的物流特点及设计要点

■ 李琴 刘烁 [工艺]

摘要: 本文阐述了航空配餐楼的主要特点、内部物流链及关键设计要点,对航空配餐楼的工艺流程、食品加工及机供品链、冷链与物品链特点等进行了总结,并对设计中的关键因素进行了初步研究探讨。

关键词: 航空配餐楼; 工艺流程; 物流特点; 规划设计

国际航空业一直把机上配餐服务质量视为评选优秀航空公司的重要指标之一。航空配餐楼作为为航班提供机上餐饮及机上用品的食品工业厂房,是食品加工和食品冷链物流配送的有机结合体,具有功能繁杂、工艺流程控制严格、食品质量卫生要求高等特点,而且其生产产品有明显的地域性、时域性。

近年来,随着航空食品业的发展,航空餐的销售额保持着较高增速,航空配餐楼规划建设越来越受到各机场和航空公司的重视。因此,加强对航空配餐楼特点及设计方法研究有着更广泛的实用意义。

1 航空配餐楼的主要特点

航空配餐楼的主要产品,是为民航航班上供应的点心餐、正餐等等,其种类包括中餐、西餐,以及日本餐、穆斯林餐、头等舱及特殊餐等。此外,机上用品以及机舱特色服务所需物品

的供给,也是配餐楼的重要服务内容之一。

航空配餐楼最主要的特点是将食品加工和食品物流相结合,按照各航空公司要求的食谱,将食品原材料加工成餐食成品后,与机舱用品统一配送至指定的航班上,并负责处理从航班上回收的餐车、餐具等物品。由于服务对象主要是航班乘客等特定人群,航空配餐楼与一般的食品加工厂房有着明显差异,具体表现在以下方面:

1.1 工艺流程及其功能模块的固定性

各航空公司的航空餐种类繁多,按照食品加工属性一般分为三类:热餐、冷餐和西点。加工流程通常包括食品原料的验收、入库、加工、摆盘装车、暂存、配送等环节。机舱服务用品在配餐楼内通常也经过验收、入库、配备装车、配送等环节。而从航班上回收的污染餐车、餐具,一般经过回收、清洗、暂存、配备装车、配送等环节。可以说,航空配餐楼内部的工艺流程具有相对固定性,可划分为食品加工、机舱服务用品配备、回收填补作业等三大模块,其中食品加工模块可划分为热厨加工、冷厨加工、饼房加工三个子模块,见图1。不同的配餐楼,实际上就是根据该特点与已知限定条件,将各模块进行平面与竖向的空间组合。

作者简介:李琴,女,高级工程师,2008年毕业于中国农业大学食品科学与工程专业,现就职于中南规划民航工程设计研究院。

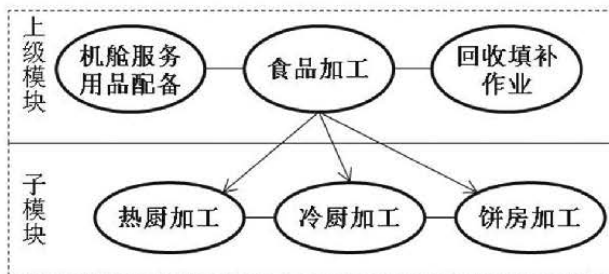


图1 航空配餐楼的功能模块图

1.2 工艺流程的多样性和复杂性

航空配餐楼内各功能模块的组合，受细部工艺流程的制约。细部工艺流程一般包括原料入库流线、热厨加工流线、冷厨加工流线、饼房加工流线、机供品配发流线、总摆配发流线、餐车与餐具回收清洗流线、垃圾流线、生产员工流线、行政办公流线等。此外，根据具体需求，某些配餐楼可能会在热厨加工流线中细分出头等餐、穆斯林餐、日本餐等特殊餐食流线；在机供品配发流线中细分出海关免税监管用品配发流线；有试餐需求的航空公司需要考虑增加试餐流线，有制作员工餐需求的配餐企业需增加员工就餐流线等。

这些流线之间既相互独立又可能相互联系。“相互独立”是指配餐楼内有严格的卫生要求，各区域按照洁净等级分为高洁净区、一般洁净区、非控制区和污染区等。并且，需做到餐食、机供品分开；生、熟分开；冷、热、饼分开；各流线之间简洁、明确、不倒流、不交叉。

“相互联系”是指餐车、餐具回收清洗后，需要与冷厨间、热摆间、总摆间等通过洁净通道联系，总摆间需与试餐准备间相联系，员工厨房若建在配餐楼内需要与原料库及垃圾处理间能相互联系等。

从这个意义上来说，航空配餐楼内部的工艺流程是极其复杂的，任何一个细部流线的调整都有可能牵一发而动全身，使得各功能模块重新组合。

1.3 高要求的时效性

航空配餐楼生产的餐食需根据每日的航班信息做出快速反应，这也是其特殊性之一。航空配餐楼一般在当日生产次日的机上餐食，由于旅客信息在航班出发前一个小时内才相对固定，所以需根据经验按一定的百分比留有余量，若当日旅客人数或餐食种类临时出现很大变动，则立即生产加餐。同时，从飞机上回收的餐车餐具必须及时清洗暂存待用，满足总摆配备的要求。航空

配餐的时效性，对厨房设备的加工效率、工人的熟练程度、收发货站台的作业能力、出港暂存能力、各部门的匹配性等也提出了较高要求，在设计中需充分考虑。

1.4 确保食品质量的安全性

航空食品安全是保障航程，尤其是中远程路线的机组人员和乘客安全的基础，因此在整个生产车间工艺设计过程中要以保证航空食品安全为主要前提。航空配餐企业的质量保证能力和食品安全控制水平，已成为航空公司选择航空食品加工配送单位的重要条件之一。

航空配餐企业使用的卫生规范是民航总局1995年颁布的《航空食品卫生规范》MH7004.2-95、《航空食品卫生标准》MH7004.1-95，它们从食品卫生管理、建筑布局、卫生设施以及航空食品的卫生指标等方面均给出了明确要求。但随着航空食品安全日益受到重视，这些规范已不能完全满足民航业对航空食品安全的高标准严要求。近年来，很多航空食品生产企业在实施分级管理的基础上，都加入了HACCP（危害分析与关键控制点）管理体系认证这一有力手段，来控制食品安全卫生。2013年5月24日，国家卫生和计划生育委员会发布了《食品安全国家标准—食品生产通用卫生规范》（GB14881-2013），该标准于2014年6月1日实施。中国航空运输协会航空食品委员会明确指出：航空食品生产企业、供应企业等均须遵照该标准进行生产。

2 航空配餐楼内部的物流系统

航空配餐楼设计的核心技术在于其内部的物流系统，主要包括食品加工及机供品链、冷链和物品链三个方面。其中，食品加工及机供品链、物品链都有相应的标准化物流载体，而冷链则以环境温度的控制作为载体，贯穿各环节的冷库、冷过渡间及冷加工间。

2.1 食品加工及机供品的工艺流程链

食品加工及机供品的工艺流程链贯穿整个配餐楼见图2。

2.2 冷链

航空配餐楼采用冷链物流，使食品从原料进货、存储、加工和半成品、成品的暂存、装摆、发货等各个环节，始终处于保证食品安全的冷链状态。同时，通过将足够的各类冷库设计在生产区域

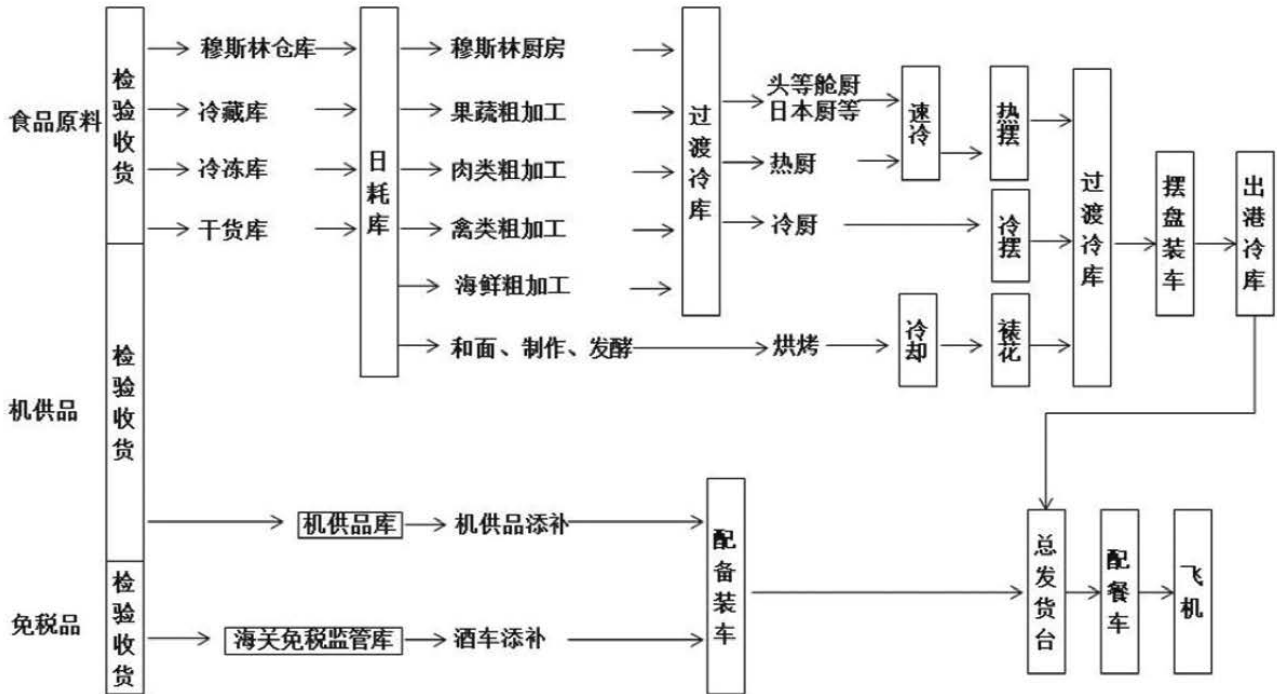


图2 航空配餐楼内部的食物加工及机供品工艺流程链流程图

边界，以便于工人按照生产规范对产品进行温度控制管理。航空配餐楼内的冷链控制流程见图3。

2.3 物品链

这里的“物品链”主要是指随餐食和机供品上飞机的餐车和餐具。餐车装载餐食和机供品，餐具是指除一次性使用后需要回收清洗再利用的餐盘、刀叉、杯具等用品。餐车餐具在航空配餐楼形成一个循环链，是物流系统的一个部分。配餐楼的物品链（餐车、餐具）见图4。

2.4 物流载体及其标准化

航空配餐楼的物流载体，采用国际上通行的航空配餐设备尺寸标准，即GN和EN标准。这使得从机舱小车一直到食品加工设备、存储设备等，都使用同样的GN标准，大大方便了使用和管理。例如，GN2/1小车从组合汽锅中加工完后，可直接推入GN2/1的速冷冰箱中，避免了更换食品容器及输送设备。在配送过程中，配餐车辆也有标准规格，使整个航空食品生产配送链更加高效、便捷。

3 航空配餐楼的设计要点

3.1 基础数据的收集与处理

基础数据的收集与处理，是航空配餐楼设计

前期一项非常重要的工作，它影响企业的投资成本和经济规模效益，并可最终影响企业的投资回收期 and 盈利能力。基础数据的收集包括：航食企业现状与需求、餐食种类、各类餐食占比、航班数量、国内外航班比例、机型比例、生产能力测算、人员构成、面积分配、运输车比例等。这些基础数据是设计航空配餐楼规模、占地面积、各功能模块面积配比、收发货口数量、生产辅助功能区等的设计基础。

3.2 工艺流程的构型

航空配餐楼的工艺流程构型是配餐楼平面设计的基础，最常规的主体工艺流程按发货和回收口的方位关系可分为U型、L型、直线型三种。对于一个外形规则的矩形配餐楼，发货和回收口设置在同边为U型，设置在相邻边为L型，设置在对边为直线型。工艺流程的构型是航空配餐楼平面设计阶段最先需要确定的，是各功能模块进行空间组合的基础，不同的工艺流程构型可使得配餐楼内部的布局完全不同。同时，在基础数据测试阶段计算出的收发货口的数量，将和工艺流程构型一起决定配餐楼的外形尺寸。在工艺流程和外形尺寸确定后，再进行模块与细部流程的设计。

3.3 实施HACCP管理体系

航空配餐业不同于一般的食品加工企业，其

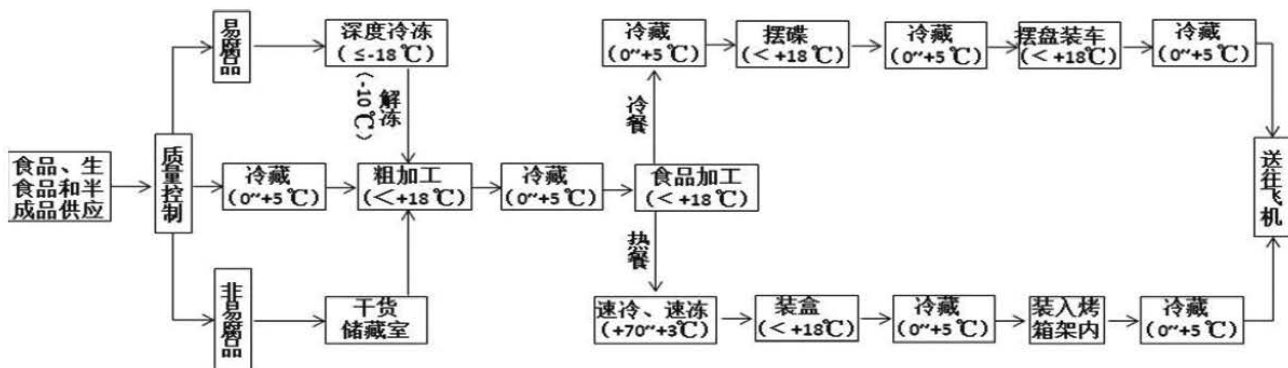


图3 航空配餐楼食品冷链温度控制图

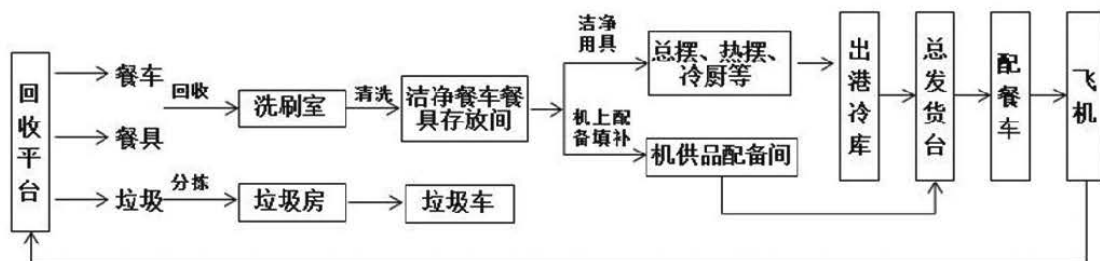


图4 航空配餐楼的物品链流程图

高风险性要求航空公司把食品的质量安全问题放在首位。HACCP（危害分析与关键控制点）是一个国际公认的、以科学为基础的食品安全体系。HACCP体系的应用是以GMP（良好的操作规范，Good Manufacturing Practice）和SSOP（卫生标准操作程序，Sanitation Standard Operating Procedure）为基础的，并要有危害及预防的预案。我国航空食品生产公司管理要适应达到国际先进的安全卫生质量控制标准要求，应基于航空食品生产企业行业卫生规范和卫生标准，以及中国航空运输协会航空食品委员会的最新卫生标准的要求，加强HACCP体系的实施应用。

根据航空食品特点，在HACCP体系的应用中需要重点关注以下几个关键点：①源头控制：对原材料进货把关，采购货品需要100%合格，货品要符合国家相关质量标准并在入库生产前进行各指标的鉴定；②环节控制：做好全程冷链各环节温度控制，对各区域温度进行实时监测，定期抽查测试；③流通控制：人流、食品流、机供品流、餐车餐具流、垃圾流等需要有合理的流线，并且没有交叉污染，洁污分区明确，消毒程序严格；④国家质量标准控制：严格执行现行航食企业最新的卫生规范和卫生标准，如虫害、水质、紫外消毒等均需按标准进行相应的设施设计；⑤

管理控制：结合HACCP管理体系，制定企业内部对食品生产质量的控制规范，按批次留样，定期对食品进行抽检。

3.4 冷链物流是航空配餐楼设计的技术保障

早有专家提出：中式餐饮采用低温加工、贮藏和流通的方法，是现代食品工业化生产的必由之路。近十年来，全球冷冻、冷藏配餐业的持续增长，充分显示了低温食品的发展潜力。

不少航食企业的原料都选择进口原料，并且大部分原料在使用前都要经过严格而且繁琐的清洗消毒过程。以冷荤中的熟制品为例，各种荤素肠片占冷盘原料的50%以上，又是直接入口的食品，在卫生、检验、生产、运输、拆装、配制上要求苛刻。例如，肠片在原料接收前必须进行相关的理化及微生物检测，肠片在接收后必须冷冻（ $-18^{\circ}\text{C} \sim -32^{\circ}\text{C}$ ）储存，生产后立即冷藏运输且温度应控制在 -18°C 以下。由此可见，全程冷链在航空食品物流中发挥着重要作用。

在航空配餐楼内生产过程各方面的控制中，温度是一个关键控制点。例如，北京首都机场航空配餐楼共设有48座冷库，总规模近4000 m^2 。食品从原料到可食成品的过程有6道冰库来控制把关，各环节包括：原材料→贮存冰库（冷冻、冷藏）→预清洗后半成品冰库→加工后的成品库

→出港冰库→配餐车冰库→飞机上冰库（餐车干冰库）。同时，热厨房还配有20分钟内从95℃降到-5℃的快速冷库，以保证食品的感官性质和食品安全。

3.5 设备选型

设备选型是航空配餐楼工艺设计的核心要点之一，工艺设备选型、数量配置应满足航空食品生产需求。航空配餐楼内的工艺设备，按照使用功能大体上可分为以下几类：①食品加工设备：包括各类餐食加工所用的初级加工设备、厨房设备等；②物流设备：包括在原料收货入库时使用的各类叉车、运载工具、各食品加工线中的物料传递容器、摆盘传送线等；③清洗设备：包括各类餐车餐具的清洗线，目前的配餐楼多采用全自动连续清洗传输线以提高清洗效率和质量；④存储设备：包括冷库与常温库中的各类货架和加工间内的小型存储柜等；⑤小型不锈钢辅助设备：包括配餐楼内各种规格的不锈钢工作台、不锈钢洗槽等；⑥垃圾处理设备：某些大型的配餐楼可能会选用真空垃圾系统等垃圾处理设备，这种设备虽然初期投资较大，但具有先进性、卫生性和便捷高效性。

3.6 建立航空食品物流信息系统

航空配餐加工是动态的生产过程，时效性要求高，产品的数量与种类随航班、人员不同而变化。餐食数量和临时加餐通过计算机网络传至生产调度室，再通知各个加工部门进行相应的生产加工，同时建立航班餐食预测系统，许多加工设备也通过计算机接口完成数据的统计与控制，信息获取的及时性和可靠性对于装机配送有举足轻重的作用。

尽管航空配餐对配餐楼内部的物流信息系统要求较高，但由于我国航空配餐业起步较晚，到目前为止，大多数国内配餐楼还没有建立起一个完善的航空食品物流综合管理平台，在进出港作业交接、内部物流信息传递等重要环节仍然采用人工记录方式，并附带纸质的物流清单等，这不但降低了物流数据的准确性，也降低了物流业务的工作效率。近年来，将RFID（无线射频识别）技术引入航空配餐企业成了一种发展趋势。这种技术为航空食品物流的智能化、信息化、无纸化提供了成功解决方案，提升了航空物流管理水平，以信息化的手段为航空物流工作有组织、有次序、高效率地进行提供技术保证。

4 结束语

相对发达国家来说，我国的航空配餐业起步较晚，目前航空配餐生产厂房的市场总量不大，但是随着我国民航业高速发展，航空食品需求量不断增加是必然趋势。特别是近两三年来，在全球航空配餐市场增速只有2%~3%的情况下，中国航空食品市场增速保持在10%左右。

航空配餐逐步走向工业化，对产品的多样性、特色性、质量安全性等越来越重视。同时，航空食品企业也开始规模化整合，对生产和管理的自动化、集中化、信息化、网络化等要求越来越高。配餐楼内使用先进的物流信息系统、自动化程度高的机械设备、食品原料的统一采购和规模化生产、降低劳动力成本等将是未来发展的趋势。

发动机模拟装置热力耦合分析

■ 周保珍 鄢方 陈果 [设备]

摘要: 发动机模拟装置用于试车台与气源站联合调试初始阶段发动机的模拟调试,以验证核心机的进排气与空气动力学性能。本文介绍了发动机模拟装置的作用与功能,根据核心机的尺寸及安装要求,进行了发动机模拟装置的三维建模,根据发动机的使用工况,通过有限元软件,分析了高温、压力等外载荷作用下,该模拟装置的强度、刚度与温度分布,结果表明该装置应力与变形量均满足使用要求,对结构的设计和优化提供了受力参考。

关键词: 发动机模拟; 应力; 变形量; 温度分布

0 引言

发动机模拟装置由前段、阀门段和排气段组成,主要结构件采用碳钢制造,长度和发动机核心机轴向长度基本一致。核心机试车台与气源站联合调试的初始阶段使用发动机模拟装置进行调试,试验的目的是验证核心机试车台进气系统的控制性能、空气动力学性能。

发动机模拟装置结构件应具备足够的强度和刚度,保证在其各进气状态下不发生变形和破坏,并能承受开关阀门产生的气动载荷,该装置最高的工作温度为450K,设计分析需考虑一定的温度裕度和内部通过加湿气体时对相关零部件的影响。

1 发动机模拟装置三维模型

根据发动机核心机的几何外形尺寸确定模拟装置的尺寸,核心机基本轴向长度尺寸见图1,主要包括钢结构壳体外形、连接吊耳与倾角调节

装置,根据现有的支撑固定架尺寸预留安装孔与调节座,三维模型见图2;发动机主安装节通过轴承连接至支撑固定架上,见图3;发动机辅助安装节通过铰接连杆安装至支撑固定架上,见图4;后段筒体增加固定支撑,通过调节螺栓调整筒体位置,见图5。

2 有限元网格划分

筒体与连接板均选用Q345B材料,球轴承材料为45钢,蝶阀为外购件。材料弹性模量 $E=210000\text{MPa}$,泊松比 $\mu=0.3$ 。安全系数取1.5,则室温状态时,许用应力230MPa;129.5°高温时,许用应力126MPa。材料属性见表1。

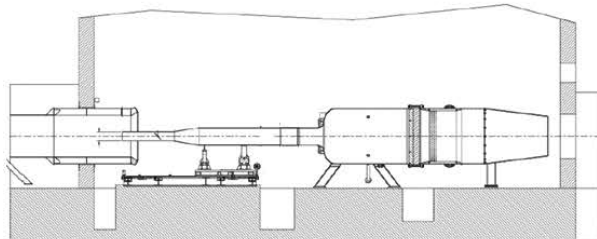


图1 模拟发动机外观尺寸图

作者简介:周保珍,女,助理工程师,2008年毕业于江南大学机械设计与自动化专业,现就职于中葡工程集成设备有限公司。

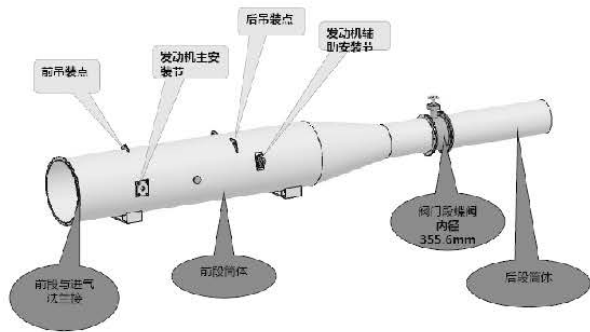


图2 发动机模拟装置三维模型图

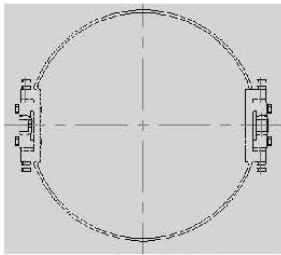


图3 主安装调节

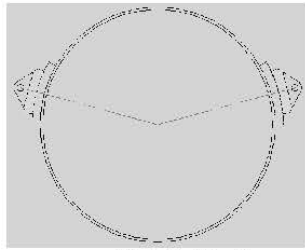


图4 辅助安装调节

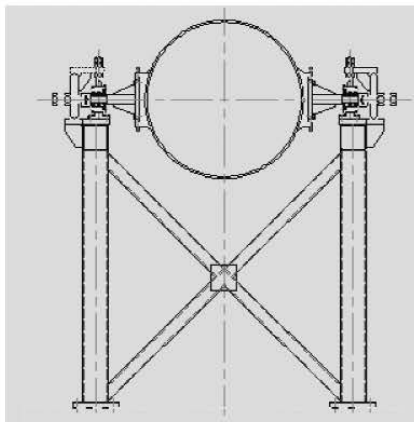


图5 后段固定支撑与调节座

对发动机模拟装置进行有限元分析，前处理用软件Hypermesh，求解器选用abaqus，薄板件抽壳后划分四边形为主的壳单元，连接轴承位置划分六面体为主的实体单元，螺栓划分实体单元见图6~图8。

由于无主支撑梁，考虑约束位置热膨胀的影响，与支撑梁连接的轴承孔、耳板位置增加连接轴。坐标轴：X方向水平向右，Z方向竖直向上。

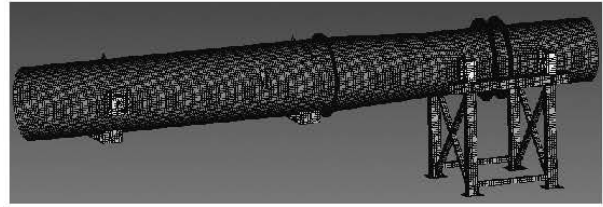


图6 有限元网格模型

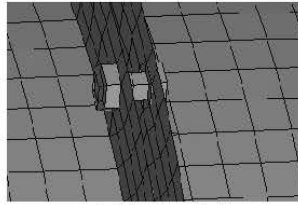


图7 螺栓位置实体单元

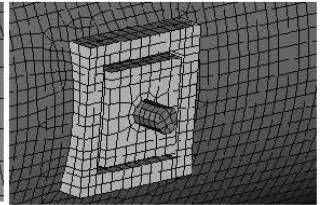


图8 轴承位置实体网格

3 约束、载荷与分析步设置

根据发动机模拟装置的三维模型及与固定支撑架的连接方式，有限元前处理设置约束见下图9、图10，主要加的约束包括：

(1) 后端支撑架底端面，三个面仅约束Z方向移动自由度，令一个面约束XYZ方向转动自由度，其余自由度释放；

(2) 主安装调节轴承连接位置，一侧释放Y方向转动自由度，令一侧释放Y方向移动与转动自由度，约束其余方向自由度；

(3) 辅助安装调节耳板位置，仅约束Z方向移动自由度，其余自由度释放；

(4) 后端支撑架，滚子与钢板面设置接触，螺栓与滚轴设置接触。

发动机模拟装置的载荷包括：结构自重、进气压强与温度。自重仅需要设置竖直向下的重力加速度 9806mm/s^2 ，压强参考厂家提供的核心机主要工作状态点载荷表提取最大压强值 228.1KPa 。此压强下的温度载荷为 402.5K ，即 129.5°C ，温度载荷需设置热辐射与热对流参数，具体设置如下：

(1) 在Abaqus模型属性中设置绝对零度与Stefan-Boltzmann常数，见图11；

表1 材料Q345许用应力表

板厚t (mm)	Q345屈服强度极限				
	室温	20~100℃	150℃	200℃	425℃
$t \leq 16$	345 MPa	189 MPa	189 MPa	183MPa	167MPa
$16 < t \leq 35$	325 MPa	185 MPa	183MPa	170MPa	157MPa

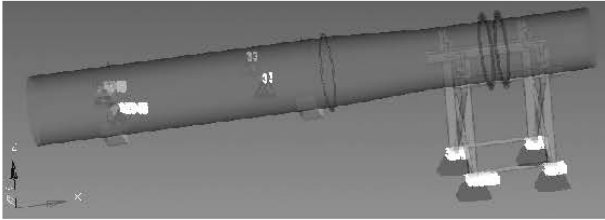


图9 约束设置, 连接轴承、侧孔、支撑座位置设置约束

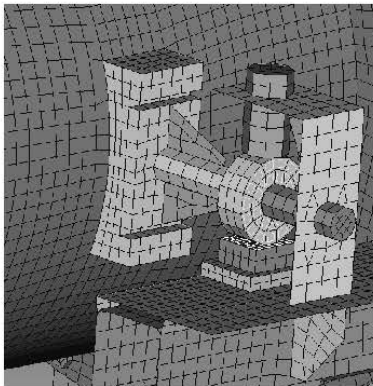
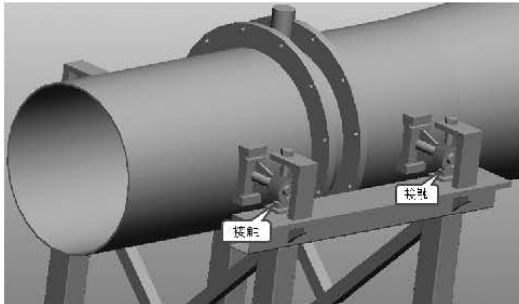


图10 轴承与固定块接触

(2) 分析步中增加温度位移耦合分析步;

(3) 在约束界面, 壳体内表面增加初始温度 129.5℃, 见图12;

(4) 在相互作用界面, 设置与外界环境间的热辐射与热对流参数, 见图13、图14。

分析步包括两个: 第一个分析步为重力与压强载荷, 第二个分析步在第一个分析步基础上增加温度位移耦合分析步, 响应设置为稳态。以上设置完成后, 新建分析任务, 进入分析状态。

4 分析结果评估

受额外增加的主安装调节位置连接轴约束的影响, 调整轴承位置受挤压, Mises应力偏大外, 满足挤压强度要求, 筒体与支撑架Mises应力均<90MPa, 见图17; 模拟装置最大变形量 6.58mm, 见图18, 模拟装置强度与刚度均满足使



图11 模型属性设置



图12 初始温度设置



图13 表面热交换条件



图14 表面辐射设置

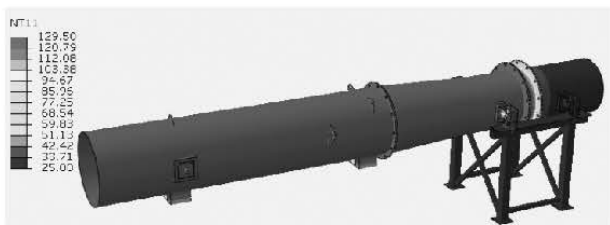


图15 温度传递图

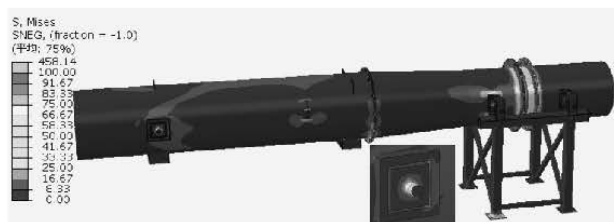


图16 等效Mises应力, 最大458.14MPa

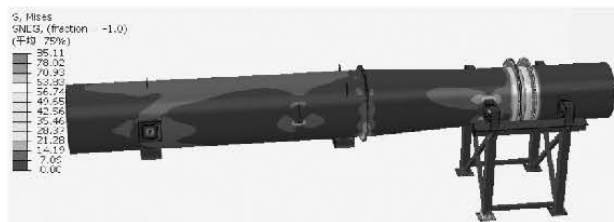


图17 筒体及支撑架等效Mises应力, 最大85MPa

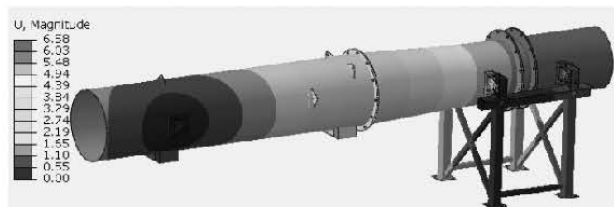


图18 总变形量, 最大变形量6.58mm

用要求; 温度分布见图15所示, 由图可见温度分布状态, 高温区域主要在筒体附近。

5 结论

根据以上对发动机模拟装置的建模与有限元分析, 校核了结构的强度与刚度, 在最大温度与压强载荷下, 蝶阀闭合状态, 结构强度与刚度均满足材料许用应力与安全系数要求。后段固定支撑架Mises应力较小, 可适当减薄钢板厚度或简化支撑结构。

参考文献

- [1] 石亦平, 周玉蓉. abaqus有限元分析实例详解. 机械工业出版社[M], 2004.
- [2] 王竹溪. 热力学(第二版). 北京工业出版社[M], 2000.

低空旅游产业规划要点

■ 陈文洁 [工艺]

摘要： 低空旅游的健康快速发展，需要合理、前瞻的发展规划为依托，本文认为低空旅游产业的发展规划应以理性规划、创新为导向、充分依托于当地旅游资源为原则，重点从空间规划、基础设施规划、旅游产品的设计、以及人才队伍培养等进行发展规划。

关键词： 低空旅游；设施规划；产品设计

0 前言

随着人们生活节奏的加快、物质生活水平的提高，走马观花式、拥挤不堪的出游形式不再能满足人们的需求，人们开始追求更加高端的、刺激的、舒适的出游形式。

我国低空空域的逐渐放开带来的低空旅游市场的发展，正顺应这一时代新要求。同时，各地政府、企业也预感到这一市场的发展前景，纷纷启动发展规划工作，希望通过尽早启动通航基础设施建设，在未来的低空旅游大市场中占有一席之地。

1 低空旅游的内涵

根据《关于深化我国低空空域管理改革的意见》，低空空域分为管制空域、监视空域和报告空域，原则上为垂直范围为真高1000m以下区域。

本文的低空旅游产业主要是指在垂直范围1000m以下的报告空域内及其相应地面区域完成的与低空飞行相关的一系列旅游项目，包括飞行表演、航空体育运动、航空摄影、航空展会与航空博物馆等。

2 低空旅游发展现状

目前在国内，从传统的历史遗留到丰富的自然景观，再到现在各地都在大力营造的主题公园，

旅游行业的各个层面都开发的红红火火，但航空旅游的发展还处于初级起步阶段。这主要是由于国内通航产业发展缓慢以及低空空域管制未曾放开。

随着国内低空飞行政策的逐步开放，航空旅游市场商机可能会出现爆发性增长。在旅游开发上，由于管辖和审批手续的繁琐等原因，低空飞行的旅游开发也一直停滞不前。一旦市场放开和完善，包括水上飞机、滑翔伞、城市航空观光等项目将大大增加。

在国外的旅游行业中，飞行相关的收入大概能占到整体收入份额的67%。2009年，欧洲有800多万人飞过滑翔伞，十几个航空休闲运动基地每年的平均客流量超过200万人次。而我国的航空游览在通用航空飞行小时中所占比例极小，发展空间相当巨大。目前国内多个省市已经展开低空旅游试点，例如北京、陕西等地，三亚更是出台了专门的《低空旅游发展专项规划》，可见各地对航空旅游产业的重视。

据悉，目前国内典型的固定翼低空旅游航线有爱飞客航空俱乐部开通的“珠海—阳江—罗定”、“荆门—荆州—宜昌”航线。直升机航空旅游项目有“空中游长城”、“海洋节空中旅游”、“直升机看青岛”等。

近年，我国航空旅游发展主要有以下几种形式：一是私人航空器旅游，它主要针对高端消费人群，这些人拥有自己的飞机（公务机、直升机、轻型飞机）；二是租赁类航空旅游，主要采用通用航空公司运营模式，国内较为典型的是海航集团旗下北京首都航空直升机有限公司，该公

作者简介：陈文洁，女，助理工程师，2013年毕业于中国民航大学，现就职于中航规划民航工程设计研究院。

司以北京八达岭机场为基地,向公众提供“空中游览长城”产品;三是飞行背包类航空器,为大众在景区空旷地,提供飞行体验;四是利用动力伞、三角翼、热气球等航空器进行低空旅游。

3 低空旅游市场分析

(1) 市场政策环境分析

低空空域逐渐开放,各地政府、企业均对低空旅游市场表现出了很强的发展兴趣,国家也相继出台了一些支持政策以保证低空旅游市场的健康有序发展。

2009年,《国务院关于加快发展旅游业的意见》中提出“推动旅游产品多样化,开展各具特色的农业观光和体验性旅游活动”。2013年,民航局出台《放宽私用飞行驾照获取标准》,降低了私照的获取门槛,即有利于保障通航旅游事业的核心人才储备,也有利于刺激人们进行低空体验培训旅游的积极性,促进低空旅游的发展。2014年,《国务院关于促进旅游业改革发展的若干意见》中明确提出“积极发展邮轮游艇旅游、低空飞行旅游”。低空旅游作为新兴旅游产品,首次被纳入国家部门的重点支持的旅游产品。2015年1月,《〈国务院关于促进旅游业改革发展的若干意见〉任务分解表》中规定,2015年6月底前,国家发改委、民航局、交通部等部门要出台涉及邮轮游艇旅游、低空飞行旅游的具体措施。顶层设计出台,必然会带动我国低空旅游产业发展的碧海蓝天。

(2) 市场需求分析

2015年我国人均GDP约8000美元,已经具备发展通航产业的必要消费支撑条件,低空旅游将成为继海洋旅游之外又一新兴高端旅游类型。

美国2015年人口3.2亿人,GDP约为17.87万亿美元,人均GDP约为55900美元,参加空中旅游人数为200万人次,占总人口比重约为0.6%。低空旅游经济贡献为6.25亿美元。

同样作为旅游大国,中国2015年人口为13.75亿,GDP为10.42万亿美元,人均GDP约8000美元。当前中国经济正处于快速发展期,航空旅游文化也在风靡全国,假设随着技术水平、经济实力的不断提升,2025年中国低空旅游频率可接近于2015年美国的低空旅游频率,那么,2025年我国低空旅游人数可达到800万人次,假设人均消费300美元,将有望产生24亿美元的直接市场需求规模。

4 规划原则

(1) 理性规划

低空旅游产业的发展需要完善的基础设施,包括起降设施、必要的空域及空管设施、配套服务设施、安全保障设施、航空器、飞行员及其他专业人才。前期投入巨大,因此应理性规划,适宜以政府为主导进行集中规划,避免遍地开花,造成大量的基础设施重复投资。

(2) 以创新为导向

在产品开发过程中,以创新为导向,包括新产品开发模式、管理模式、宣传销售渠道等。

(3) 充分依托于当地旅游资源

低空旅游产业规划应充分依托于地区现有的旅游资源,利用不同的地域、地貌、文化等特点,进行相应的旅游产品开发。例如,沿海地区多风光迤邐,岛屿众多,适合开发水上飞机、空中观光、不同岛屿旅游通勤、热气球、跳伞等旅游项目。西北地区地域开拓、民俗文化丰富,适宜开发空中观光、通勤旅游、飞行表演、航空博览会、跳伞等旅游项目。

5 低空旅游产业的规划重点

(1) 空间规划

要飞起来,首先要有空域。因此低空旅游产业规划的首要工作,也是至关重要的工作是规划部门要联合当地空军、空管局、民航地区管理局、地方政府等组织机构对规划区域的空域进行协商、统一规划,特别是要明确禁飞区域,才能保证后续工作的有序进行。

(2) 基础设施规划

航空器要上天,除了空域,还需要必要的地面设施。地面设施根据航空器种类不同而不同,以通航飞机为例,包括飞行区、飞行地面服务设施、游客接待中心、后勤保障设施。

不同的航空器适宜于不同的旅游项目。直升机可以悬停、飞行速度调节性大,常用于空中观光项目中。沿海或者规划区域湖泊的地区,常会规划水上飞机项目。根据地势、地貌的特征相应的会规划跳伞、热气球、滑翔伞等航空运动项目。

不同航空器需要地面设施不尽相同,固定翼飞机就需要相应的跑道、滑行道设施及其他必要基础设施,直升机要求有直升机坪、直升机地面

服务区、航行服务区等必要设施，水上飞机项目要求有水上机场、地面服务设施、飞行服务保障设施等，航空运动项目要求有必要的场地即可。

(3) 机型选择 (见图1)

一般低空观光旅游选用的航空器为固定翼或者直升机。两类机型比较，直升机由于可以垂直起飞降落不用大面积机场、超低空飞行、悬停、向后飞行等突出优点，更受运营商们的青睐。

根据低空旅游的特点，机型一般应选择座级在2座~7座之间的轻型直升机，同时综合考虑机型安全性、可维护性、经济性等指标。目前，国内使用较多的直升机型有：R44、R22、贝尔407、施瓦泽300C、探索者MD902等。

(4) 旅游产品设计

政府机构在旅游产品的设计中承担的角色为产业发展方向的牵引和指导，把握旅游产品的主要发展方向，通过引进多家专业旅游航空公司，打造地区航空旅游总部基地，实现产业的积聚效应。

低空旅游项目的主要类型有空中观光、飞行表演、空中交通、运动娱乐、驾驶体验、航拍摄影等。

空中观光有着地面观光无法拥有的视觉冲击和视觉享受。飞行表演是以惊险的特技和美妙的

队形演绎的一出又一出航空大戏，是最能打动人心、最受大众欢迎的航空文化形式。驾驶体验是指搭乘各种航空器在空中体验飞行的乐趣。

空中交通主要用于地面交通不便，或者地面交通时间较长的景区，即可以缩减游客的交通时间，还可以增加人们在路途中的飞行体验。

运动娱乐是一种深受大众喜欢的旅游形式。有跳伞、热气球、滑翔伞、航模等多种形式。跳伞被誉为勇敢者的游戏，包括体育竞技、休闲娱乐、极限运动等多种形式。热气球在中国起步较晚，是由《福布斯》杂志主编福布斯先生访问中国时，在八达岭长城脚下驾驶热气球表演引起巨大轰动后，在中国逐渐展开的一项娱乐运动项目。滑翔伞则是目前世界上最流行的滑翔运动器具。

(5) 人才培养

目前，中国正处于通用航空发展初期，面临人才培养体系不完善，人才培养市场不健全等诸多问题，低空旅游领域的飞行员培训也尚未出台相应的规范，因此在低空旅游产业规划中应重视人才培养计划，保证飞行人员的专业技能水平，确保飞行安全。

国内主要空中游景点及直升机机型

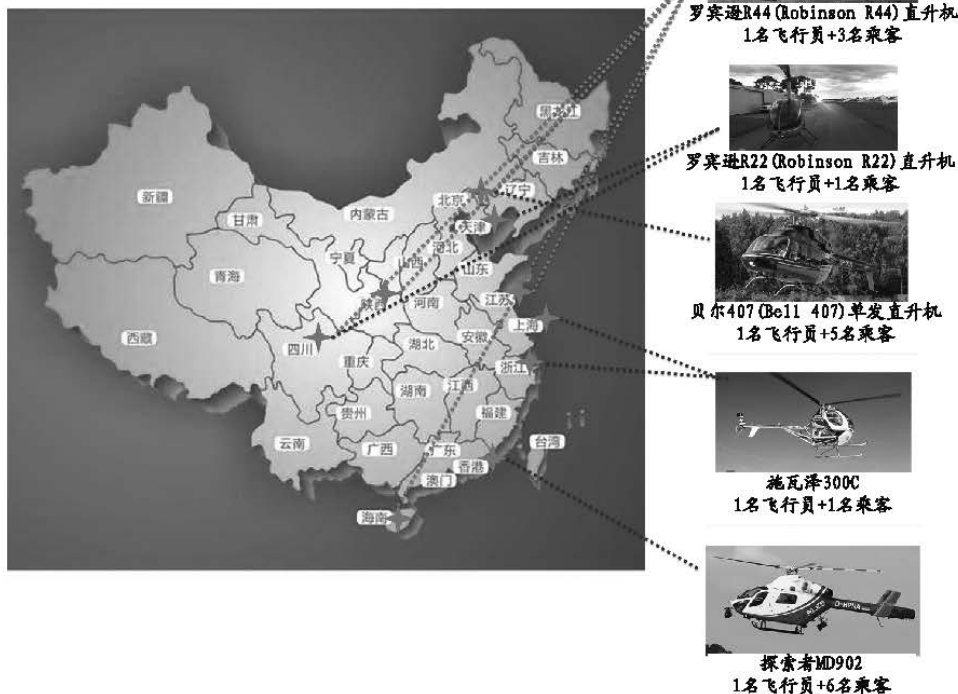


图1 国内主要空中游景点及直升机机型

6 结论

在政府政策激励以及市场需求扩张的双重驱动下，低空旅游这一新兴旅游业态必将步入快速发展阶段。各级地方政府、企业在低空旅游产业规划中，应坚持理性规划原则，以创新为导向，充分依托于当地旅游资源，实现合理规划，实现低空旅游产业的快速发展。

“文化+体验”主导下的航空主题 公园及度假区规划研究

——以珠海航空文化博览中心投标方案为例

■ 张楠 张琳琳 [规划]

摘要: 主题的文化性和体验性开发是主题度假区得以持续发展的根本条件。珠海航空文化博览中心投标方案以深度挖掘“文化+体验”为理念,从深耕主题文化、追求个性体验、营造主题环境、延展产业链条4个方面对航空文化主题度假区进行一定的探索,以期对类似项目提供借鉴。

关键词: 航空文化; 体验; 旅游度假区

0 引言

近年,国内文化旅游产业发展一路高歌。主题公园及度假区也随着上海迪士尼开园纳客,杭州宋城、广州长隆、珠海长隆等人气火爆而迎来了新的发展浪潮。与此同时,在体验经济时代背景下,游客对于主题类旅游产品的情感需求逐步提升,从早期单纯的娱乐性转向追求文化性和体验性的更高需求。

这种需求催生了主题类旅游产品向深度、广度的进一步开发。旅游业也在构建旅游产品竞争力上,围绕体验经济视角,深度挖掘旅游文化,营造体验氛围,积极构建复合型、多样化旅游产品体系^[1]。我们承担并在中航工业多个航空主题公园项目的研究过程中发现,文化是主题公园得以持续发展的灵魂,而获得体验是感受灵魂的重要渠道和手段。因此,本文将珠海航空文化博览中心投标项目为例,以文化和体验为出发点,对航空文化主题公园及度假区的发展提出策略。

1 问题评判:国内航空主题旅游产品现状与问题

近年,主题公园热开启国内休闲旅游新模式,主题众多百花齐放,但以航空为特色的大型航空主题公园仍属空白。

目前国内以航空为主题的旅游产品多以博物馆、科技馆、文化公园为载体,如阎良航空科技馆、中国航空博物馆、沈飞航空博览园等。大多以青少年游客为主且多以学校爱国主义教育等活动形式开展,多数时间门庭冷落。展出内容以陈列、展板等传统的展示形式为主,缺少互动环节,文化表达形式单一、娱乐体验性明显不足。另有如雪野航空体育公园等以航空运动及空中飞行体验为主要形式,这一类产品相对高端,虽有一定的体验和互动性,由于目标人群小众,收费较高,影响力小。

航空主题旅游尚未普及,究其原因在于产品缺乏整合,产品的单一性无法激发游客持续消费欲望,没有形成完整的旅游产品链条,而缺少持续竞争力和发展驱动力。

由此,我们开始了以主题公园为核心项目,

作者简介:张楠,女,工程师,2010年毕业于沈阳建筑大学城市规划与设计专业,现就职于中航规划综合规划设计研究院。

整合飞行体验等特色资源,集“文化+体验”于一体的航空旅游度假区的规划实践。

2 思考探索:探寻“文化+体验”的航空旅游度假区发展思路

2.1 “文化与体验”融合的经典借鉴

迪士尼,堪称以文化带动旅游产业发展的经典案例。大多的国内游客也多是从小认识迪士尼动画片开始而认识迪斯尼主题公园和度假区的。从宏观上讲,迪士尼长久的生命力正是源于对文化资产的珍视和培养,才成为有别于其他主题度假区的耀眼之星,这也是国内主题度假区难以望其项背的根本原因^[2]。

而运用的色彩、魔幻、刺激、娱乐等因素与游乐园的特性融合在一起,使游乐形态以一种舞台化和戏剧性的行式表现出来,乐园中的各个游乐项目都有了主题情节的暗示和贯穿,游客参与其中,自身也成为了游乐项目中的角色^[3]。同时这个将文化由创意变为现实的娱乐体验,更多依靠高新科技手段。

2.2 航空主题“文化+体验”的规划策略

借鉴迪斯尼经典旅游产品的模式,主要为:融合文化创意和科技创新,关注游客的体验,融入主题环境的细节打造,多元产业延展等特点。

2.2.1 深耕主题,以航空文化为主线

航空主题公园的航空文化特性是内在灵魂,与文化发展的完美融合将是其得以不断吸引游客的制胜法宝。

(1)故事线的牵引性。主题旅游需要有一系列故事情节来进行演绎,在故事的开始给游客一个旅游动机,或在游览过程中赋予游客一个角色,帮助其完成整个旅游体验的过程^[4]。故事线的设计可在游乐中附带教育和科普作用,并不断在故事中激发游客的想象和思考。使游客在故事情节的吸引下游览主题场景,参与主题活动。

(2)文化拓展和延伸性。航空文化是一个宽泛的概念,所有相关航天、飞行文化也都可纳入进来,丰富主题。另外,主题公园所在地的地方文化注入也将使整个项目更接地气、更具地域特色。

2.2.2 追求体验,以航空科技为载体

(1)以深度体验为中心:旅游产品的深度开发要满足不同旅游者的需求,能够突破浅层次的观光体验,为旅游者提供个性化服务,让旅游者从

不同感官刺激中获得丰富的体验^[1]。航空主题,表面听起来更为男性化和军事化。在产品选择和体验中可多关注女性消费者和带小孩的家庭消费群体,增加舒缓、欢快的节奏。

(2)高科技模拟体验与真实体验相结合:航空文化特殊的科技属性,使得科技成为航空主题体验的重要媒介。通过故事和场景的串联,运用现代科技模拟各种飞行或驾驶场景,开发虚拟技术全方位多维度的VR体验等。同时可利用通用航空器带来更深一步的真实空中冒险、刺激、个性化的飞行体验等。

2.2.3 营造环境,以主题氛围为背景

与游客心理上产生情感的链接,通过感官刺激强化游客印象。

塑造航空主题环境,把建筑环境、景观环境进行主题化、情境化和戏剧化处理,构成特殊的航空主题场景,并通过主题形象的打造和主题活动的融入,使游客与主题场景之间进行互动,形成全方位、立体化的旅游体验。

2.2.4 延展产业,以完整产业链为创新模式

单一游乐功能的主题公园早已不适应体验经济时代的发展,将休闲、度假、娱乐和体验融为一体,为游客提供多方位、多层次的体验,建设“整个家庭”都可以在这里愉快地度过的场所,才能形成规模效应。

不仅如此,我国最新的主题度假区,也呈现出主题文化产业与主题度假区共同发展,即主题度假区+文化产业的发展模式特点。

3 规划实践:珠海航空文化博览中心规划研究

3.1 项目概况

珠海航空文化博览中心位于珠海市西部生态新城,介于航空城与横琴之间。由坭湾门水道、港珠澳大桥延长线、金湾路和规划金岛路延长线围合的近6.5km²。项目一期航空主题公园组团约100ha,见图1。珠海航空文化博览中心未来将与长隆海洋王国、华纳主题公园共享主题公园集聚效应。

项目依托珠海海洋资源与航空产业基础,融合海洋文化,打造全国首个以航空文化为主题,以文化传播为目标,集参与性、体验性为一体的世界级航空文化旅游目的地。

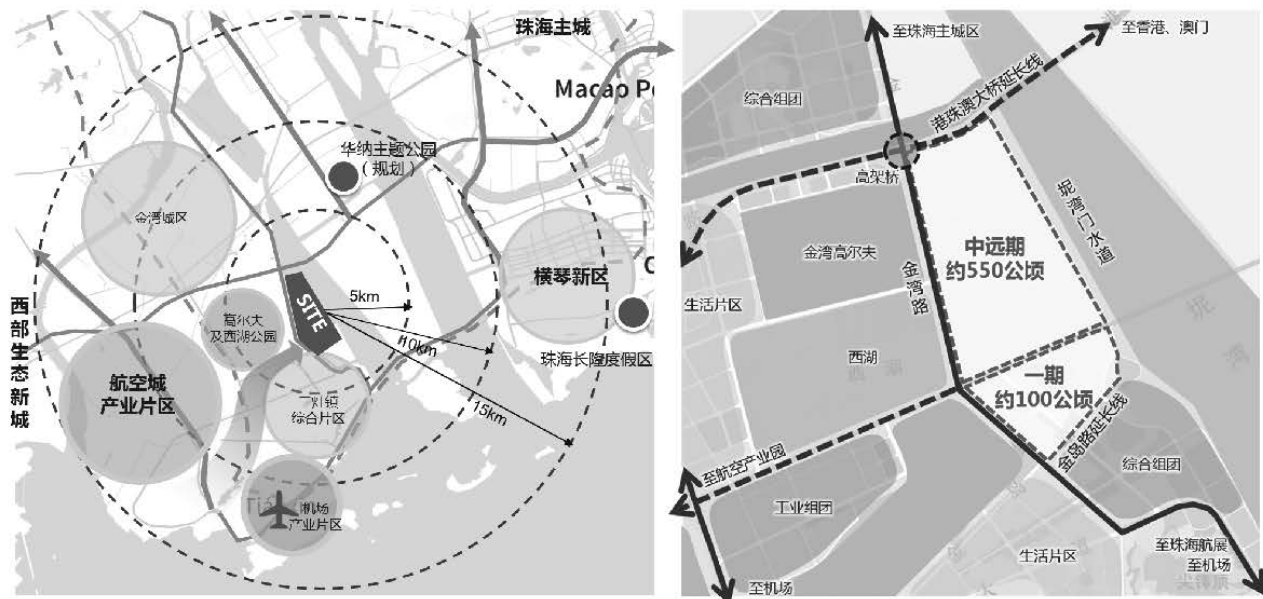


图1 区位图

珠海航空文化博览中心项目在功能上是以航空文化为主线，以科技为依托，以航空主题公园项目为核心引爆点，包含主题酒店群、航空特色秀场、创意产业基地及航空主题社区的大型综合航空旅游度假区。

3.2 规划理念

珠海航空文化博览中心项目首先满足中航工业传播航空文化，培养航空粉丝，提供体验航空魅力平台的根本目标。其次注重航空文化的挖掘和传递，并与体验项目实现深度融合，营造航空主题氛围，最终打造多元产品链条满足游客在度假区旅游的一站式需求。

3.3 深耕主题的航空文化表达

3.3.1 故事线的编制与贯通

珠海项目投标方案中故事线以航空和航海文化为蓝本，原创独立的IP，以卡通动漫人物“深蓝兄弟”的人物设计，与象征航空事业七个品质——勇敢、友好、忠诚、希望、信任、坚持、美丽结合，赋予游戏故事情节。故事线人物设计丰满、情结塑造跌宕起伏，七个品质分别对应公园七个游乐区主题，紧密结合并贯穿始末。同时将IP深度利用到公园中的游戏、消费品中，围绕IP打造实景娱乐场景。

游客以“深蓝兄弟”的角色分别来到七个游乐区，通过参与游乐项目，身临其境感受故事性和体验航空文化与科技带来的新奇、科技、智趣、快乐的感受。

3.3.2 多元文化的拓展延伸

航空文化本身是一个非常具有丰富性的主题，珠海独有的海洋文化与海洋资源使珠海航空文化博览中心的主题性更加丰满立体。

项目以航空文化为基础，向外延伸至航天文化，如体验项目中的太空发射、太空骑行、穿越黑洞等；对接本土文化，深海历险、重游麦哲伦航线，深海寻宝等项目也都与航空主题建立起良好的联动。航空、航天、海洋文化通过主题故事线的串联顺畅而自然。

3.4 追求体验的主题产品策划

3.4.1 以目标人群需求出发

珠海航空文化博览中心除了传统主题公园共有的家庭消费群体及普通消费者，更在航空主题上拥有自己的群体，包括航空粉丝和爱好者、科技发烧友、求知欲望强烈的青少年群体及航空专业人士和高净值人群等。

产品设计力求从不同游客群体特征和需求出发，争取最广泛的游客，提供更专业的体验。

3.4.2 多层次的体验产品

(1)寓教于乐型：项目重要的文化宣传载体既航空博物馆。通过航空器真机展示、名人蜡像馆等主题展区，从动态展示、静态展示及亲身体验等多角度，让游客在一系列的感官刺激和心灵震撼后获得精神满足和知识积累。

(2)高科技互动型：运用最先进的声、光、电及自动控制技术，结合数字科技和国际顶级骑

乘设备, 打造动感、刺激的航空主题娱乐体验王国。如模拟直升机营救、模拟空中对战、无人机操控体验、5D电影、6D吊挂飞行等。同时将互联网技术运用到产品设计之中, 如VR过山车的“虚实互动”, 提高游客的体验感和参与度。

(3) 娱乐赛事型: 模型拼装体验、航模赛事、无人机竞赛等航空主题活动, 突出航空文化核心优势。

(4) 儿童游乐型: 针对儿童身心特点, 营造童话般世界, 激发儿童对航空的热爱, 如艾维兄弟拟人化的卡通形象及卡通故事来演绎主题, 并注重儿童与家长的互动。

(5) 主题表演及体验: 尽显航空本身科技优势, 项目中策划风洞表演、全息科幻光影表演、战机中庭秀、无人机特效演出以及水上飞机飞行体验等。在这里, 飞行体验与主题公园的结合, 既实现游客资源共享又满足了产品的深度体验。

3.5 营造主题空间的氛围环境

3.5.1 功能分区强化主题体验

项目由航空文化博览和航空休闲度假两大功能板块组成。从度假区层面可细化为五大公园、四大酒店、三大基地、两大社区、一个中心的15个功能组团, 见图2。

五大公园: 航空博物馆、航空主题公园、“极客”飞行公园、“欢乐港湾”水公园、房车假日公园。

假日公园。以航空博物馆和航空主题公园为一期开发核心项目。四大酒店: 航空文化主题酒店、航空世界度假村、飞行主题酒店、七星级主题度假酒店, 为度假区提供全面配套服务。三大基地: 创客基地、水上飞行基地、水上运动基地, 是度假区的创意产业板块, 进一步丰富项目休闲体验层级。两大社区: 水上飞行社区和游艇社区, 结合水上飞机和游艇俱乐部引入高端社区, 将丰富城市生活引入度假区, 集聚人气。一个中心: 云之城飞行演艺中心, 以飞行表演为主题的旅游演艺秀场, 环绕其周边为购物街、步道、酒吧、餐厅等各类滨水休闲、活动场所, 是度假区另一活力核心。15个功能组团从不同产业功能出发全方位演绎航空文化度假胜地。

3.5.2 空间布局营造空间体验

项目度假区层面形成以一期航空主题公园和二期云之城演艺中心两个核心吸引物为中心的双核环布局结构。组团商业及酒店、娱乐配套环中心核圈层布局, 见图3。

一期主题公园组团, 以中心广场为空间核心组织整个公园布局, 围绕中心广场各主题场馆环绕展开, 并与广场有直接快速的交通联系, 且各场馆间联系紧密。在中心广场设置标志性主题建筑, 处于整个公园的视觉焦点, 见图4。

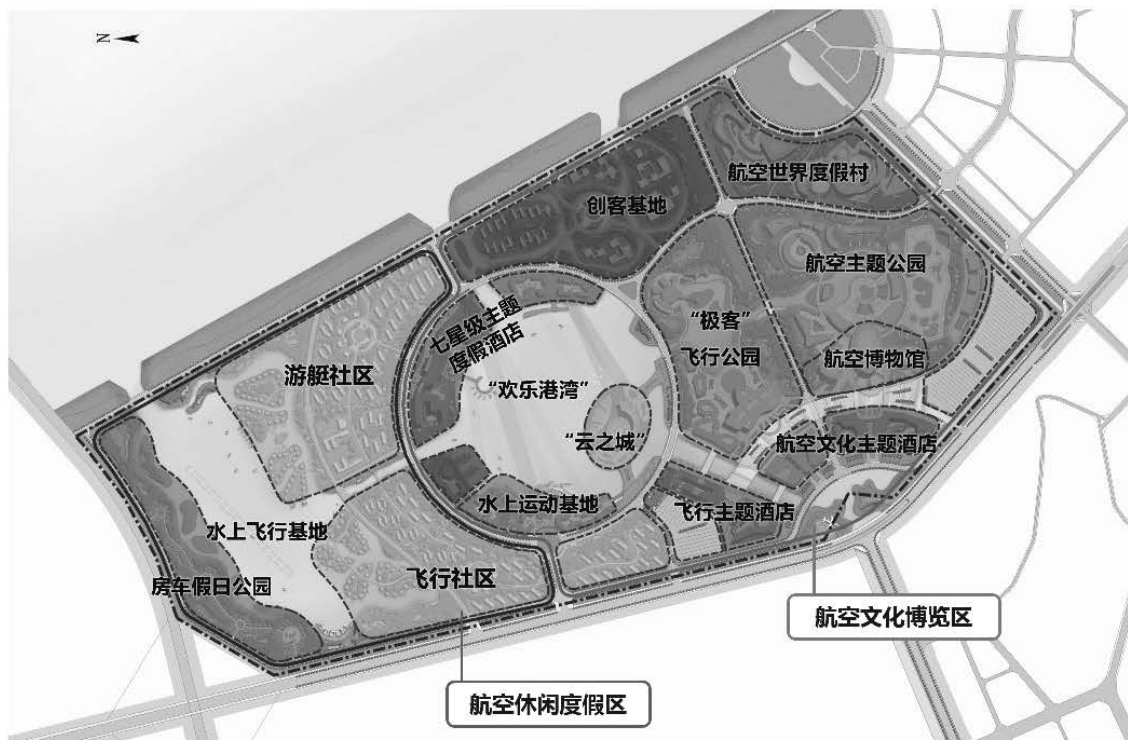


图2 功能分区



图3 双核布局

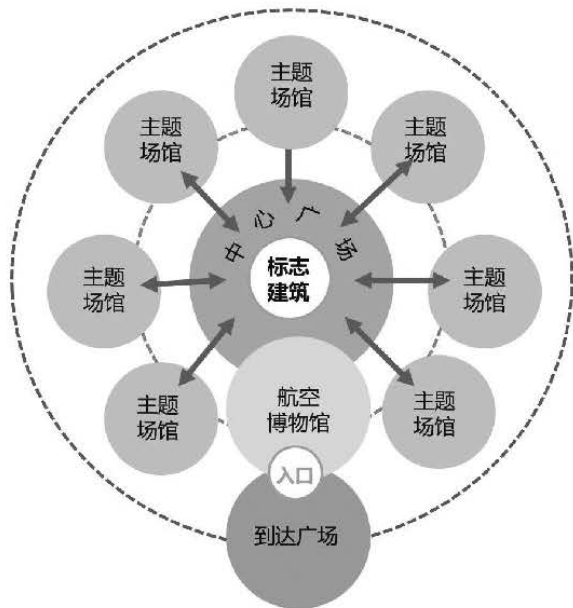


图4 主题公园布局

3.5.3 交通游线调节节奏体验

(1)以专线快轨实现组团快速联通。项目以高架的轨道交通——航空主题专线（快轨）对接城市轻轨系统并串联博览区内各主要节点。园区内500m以上步行距离均可乘坐轨道交通出行。既避免了园区拥堵，更多丰富了度假区游览体验方式和游览视角。

(2)以水上游览丰富体验视角。通过内海联通

各主要体验的功能区，以游船或快艇形式创造水上游览航线，增加体验乐趣。

(3)以步行流线调节体验节奏。合理组织游客从停车场及换乘站至主题区的游览流线，流线经过酒店及商业进入园区，从公园周边开始就进入了游览模式，见图5。公园内部以放射+环形游线组织，既达到快速疏散人流，又不走回头路起点与重点重合。

3.5.4 主题元素烘托情境体验

(1)入口区及标志物：以未来飞行器形象点名主题，开启游客对主题公园的第一印象，同时中心广场是一个高耸的科技感十足的星塔酒店，象征展翅飞向太空。星塔酒店作为标志物使游客精神为之一振并迅速进入“角色”，同时在游览过程中给予游客不断方位提示与引导作用，见图6。

(2)主题建筑：建筑外观结合主题情境，体现高科技现代化建筑形象并辅以航空特色元素符号。

(3)场景与色彩：场景中通过色彩反复强调故事性。如7个航空事业品质，不同品质特征在色彩学角度也对应了不同颜色。如红色象征勇敢，其勇敢品质所在主题区便以红色为主题颜色，通过色彩对人的视觉刺激，反复强调和烘托勇敢主题。

同时航空、航天器模型及真机室外展示，景观铺装、小品、家具、指示牌等也都借助航空主题元素烘托情境。主题吉祥物，如艾维兄弟，一个贴



图5 交通游线图

近航空主题的优秀飞行员形象，一个则呼应航海主题的经验丰富的船长形象，反复强化主题氛围。

3.6 延展度假区的多元产业链

珠海航空文化博览中心，借鉴迪士尼发展模式，除具备传统度假区吃、住、行、游、娱、购的旅游六要素外，将产业链向房地产、航空创意产业、高端服务业、文化艺术等产业延伸，从而形成完整的旅游产业价值链，增强其影响力和带动力，推动航空旅游产业的可持续发展，见图7。

4 结语

“文化+体验”主导下的航空文化主题公园及度假区规划，首先对航空文化进行深入理解和挖掘，从目标人群需求分析入手，策划多层次体验

产品，通过强化功能分区、空间布局、交通流线和主题情境等手段营造主题体验空间。并完善度假区旅游配套，延展文化产业链条，实现航空旅游度假区的健康可持续发展。

参考文献

- [1] 何波. 体验经济视角下风景区旅游产品深度开发研究[J]. 旅游管理研究, 2016(1):54.
- [2] 应博华. 迪士尼与中国主题度假区的发展[J]. 园林, 2013 (9) : 42-46.
- [3] 于秋阳, 徐亚征. 论迪士尼科技与文化融合发展及其启示[J]. 经济问题探索. 2012 (6) :41-46.
- [4] 赵欣. 主题旅游度假区规划研究——以盘锦红海滩旅游度假区为例[D]. 北京: 北方工业大学, 2014.



图6 标志建筑——星塔酒店



图7 总体鸟瞰图

中药提取车间工艺设计浅析

■ 张媛媛 伍雅欣 [工艺]

摘要: 本文以某中药提取车间为例,介绍了中药提取采用的不同生产工艺及醇提法生产工艺的优点,阐述了醇提法生产工艺流程及物料衡算,根据醇提法中药提取生产工艺的自身特点,分析了中药提取车间平面布局、工艺管道布置、以及设计过程中的具体问题及解决方案,同时提出了一些提取车间设计的创新点:首次采用降板技术,将提取投料层和操作层合并,即解决了投料不方便问题,又减少建筑面积,节约投资;对于出渣间的污染问题也提出了解决措施,有效避免了交叉污染。

关键词: 中药提取;布局;管道布置

0 引言

中药提取是中药生产的重要环节,车间的设计除了应当满足药品生产的需要外,还应考虑中药所具有的特殊性,提取车间设计的优劣,对整个中药制药厂的生产至关重要。

中药提取车间的工艺设计应严格按照《药品生产质量管理规范》以及《医药工业洁净厂房设计规范》的要求进行,同时应满足环保、消防、节能、职业安全卫生等法律法规的要求。设计时应充分考虑对甲类建筑防爆的要求,合理规划提取车间与制剂车间的相互位置及联系。

中药提取车间按功能通常分为提取操作区(主要进行提取、浓缩等操作)、出渣区(主要负责药渣的收集、处理与转运)、喷雾干燥或喷干制粒区(主要进行浸膏处理操作)等,工艺平面布局应按照生产流程和操作程序,做到人、物流合理、顺畅,尽量缩短物料的路线传递,避免往返交叉,考虑生产的机械化、密闭化及自动化,尽量减少人员操作,尽可能降低对产品的污染风险。在设计前应详细了解整个生产工艺流

程,进行物料衡算及设备选型,只有具备以上条件才能使车间的工艺设计更加合理。

1 生产工艺流程及物料衡算

中药提取是从原药材中分离有效成分的单元操作,选用适当的溶媒和提取方法,通过浸提、浓缩、分离等基本操作,从原料药中将有效的成分提取出来,常用的提取方法较多,不同方法适用于不同类型或不同性质化学成分中药的浸提。常用的提取方法有:水提法、醇提法、酶解或抑制酶解法、化学处理法、超临界萃取法、超声萃取法、微波辅助萃取法等。目前工业化生产最为成熟的工艺主要为水提和醇提工艺,由于醇提法具有效率高,操作简单,成本低,便于回收等优点,为许多厂家所采用。

图1为某中药产品的提取工艺流程框图。此工艺采用醇提法进行,生产过程中使用的酒精需要回收并循环使用,其具体工艺流程为:首先将原药材进行预处理后,投入到提取罐中,加入一定量酒精回流提取,然后收集提取液;提取液再经过浓缩器进行浓缩,将浓缩液进行喷雾干燥后即制成中间体。

物料衡算是设备选型的依据,决定生产空间

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

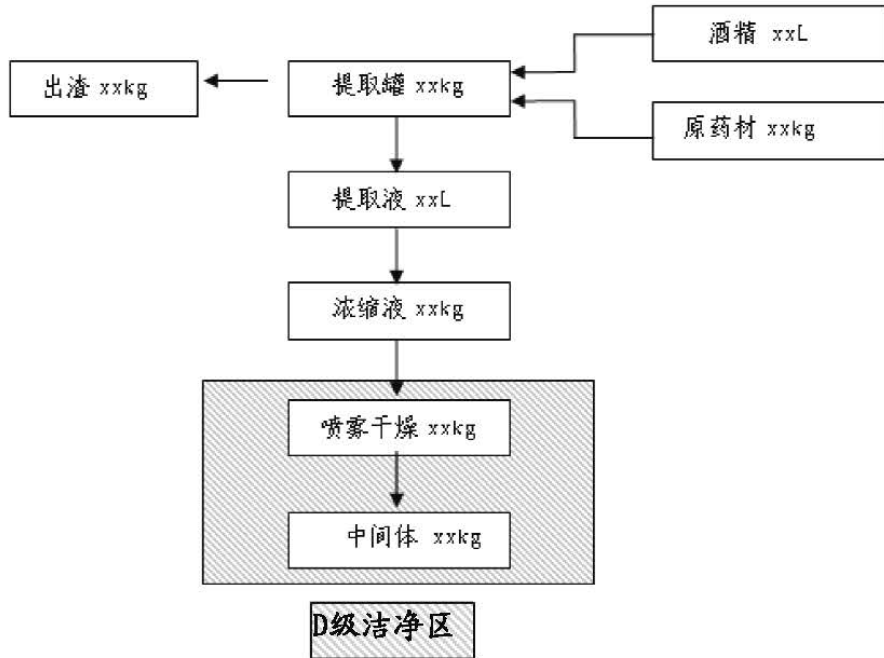


图1 某中药产品提取工艺流程框图(一批量)

大小,在物料衡算基础上进行合理生产安排,是防止多品种生产时交叉污染的基本手段之一。进行物料衡算之前首先应了解车间的年生产任务,生产班制、每班工作时间以及年生产时间等,根据计算可以得出此工艺原材料消耗量以及每个阶段中间品的产量,最后选择合适生产能力的设备(提取罐、浓缩设备、干燥设备等)进行匹配。

2 工艺平面布局设计

以某中药提取车间为例,根据提取车间自身特点,将车间平面设计成矩形形式,这样便于工艺设备的合理布置,便于安排通道及出入口,且能提供较多自然采光和自然通风的墙面。

(1)垂直布局设计,节省占地面积,合理利用空间

从整体布局上考虑,以提取罐为中心,采用垂直布局模式,将整个车间分为三层(局部有四层),一层主要由酒精回收间、出渣间以及公用工程房间组成,二层主要为前处理间、提取操作间及生产辅助间,三层为喷雾干燥区(D级洁净区),主要进行浸膏处理操作。

提取车间所使用的酒精回收装置尺寸较大,高度较高,因此将酒精回收单元分三层布置,一层布置酒精回收釜,二层布置酒精储罐,二层夹层布

置冷凝器、冷却器等。在提取与出渣的设计上也采用垂直布局的方式,将提取操作区与出渣区分层布置,一方面保证出渣口的高度,便于药渣清除和转运,另一方面减少出渣操作对整个生产区的污染,提取车间平面布局及人、物流图见图2。

(2)人、物流分开设置,避免交叉污染

图2中人流主入口设在西侧,人员经换鞋、更衣后进入一层生产区,或通过楼梯进入二、三层生产区,进入洁净生产区的人员需要更换洁净服后进入洁净区。物流主入口设在东侧,靠近前处理区,原药材通过货梯运至二层切断、净制、挑拣间进行前处理,然后至提取操作间进行提取,提取液经浓缩、喷雾干燥后制成中间体。如此将人流、物流分开设置,有利于避免造成污染和混淆。

3 工艺管道布置

提取车间工艺管道包括提取罐料液自循环管道,提取液输送管道,浓缩液输送管道,酒精输送管道等。

提取车间的工艺管道布置也是在符合GMP要求的前提下进行设计。管道设计可以采用明敷,以减少投资,并有利于安装、操作和检修。设计时尽量做到管线短捷,管道必须有交叉和拐

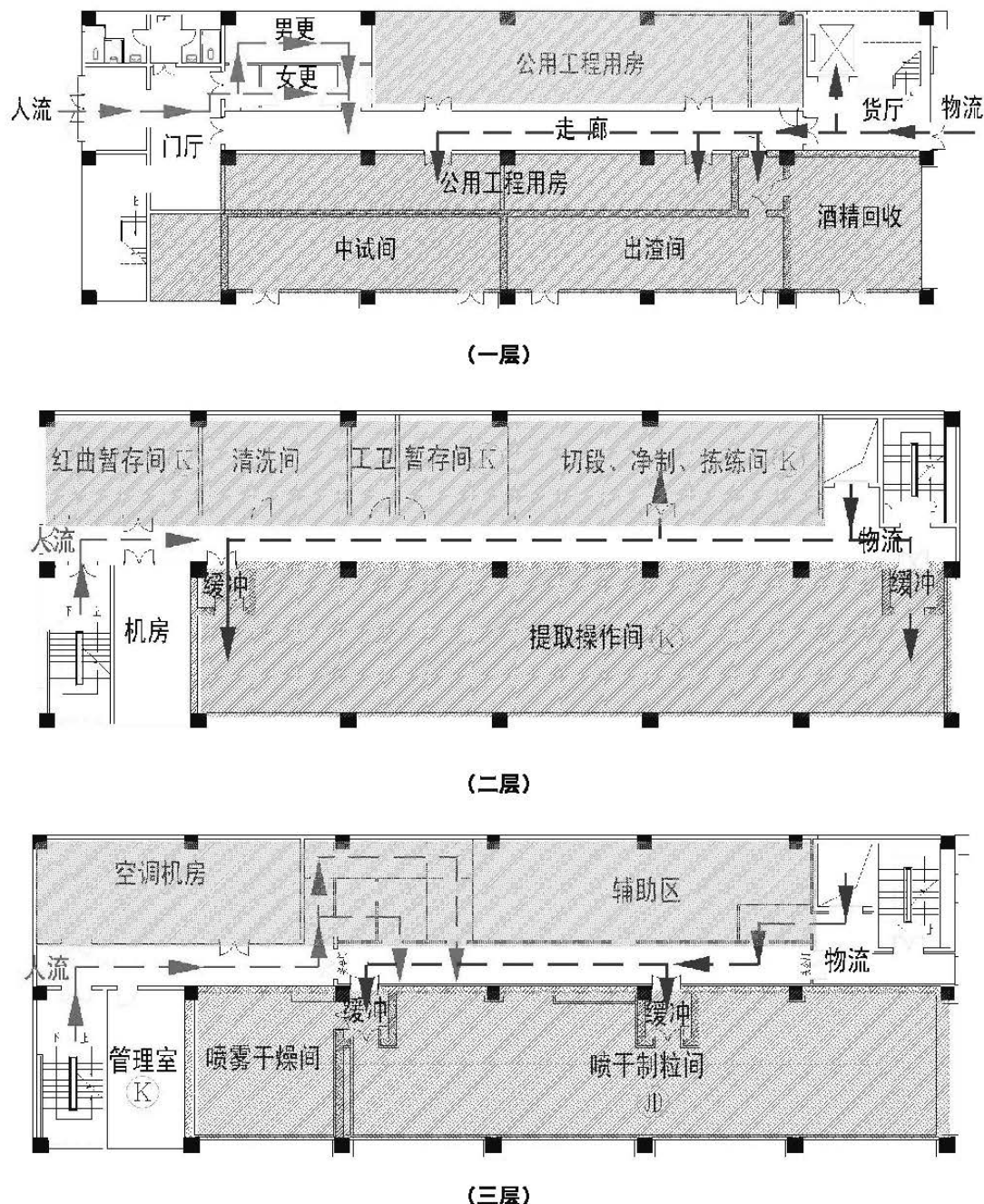


图2 提取车间平面布局及人、物流图

弯时，应避免产生死角和盲管等。图3为某提取车间的管道布置图，提取设备、泵、以及储罐分别沿南北两侧墙布置，中间留出运输通道和操作空间，其工艺管道大多沿墙、地面或楼面进行敷设，多条管路集中布置，并平行敷设，做到整齐，美观，易操作。管道上标注有管道等级、管道号、标高、物料名称等。不同管道的相互位置，管道与墙壁、管道与管道之间的距离均参照化工管道相关设计规范进行确定。

4 具体问题及解决方案探讨

4.1 投料操作不方便

提取操作间的常规做法是将提取罐罐耳挂在楼板上，投料口高出地面的高度给投料操作带来困难，需要搭建钢平台作为投料层，每次进行提取操作前，操作人员先上至钢平台，再将物料投入提取罐，这种做法的缺点是操作不方便，且操作周期长。

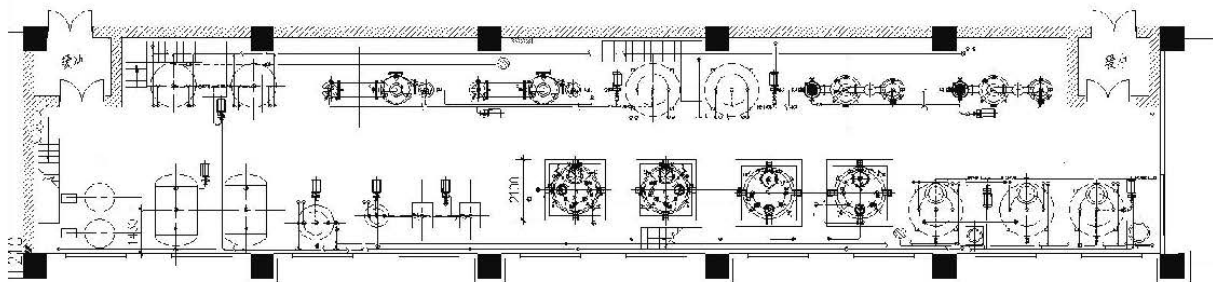


图3 某提取车间工艺管道布置图

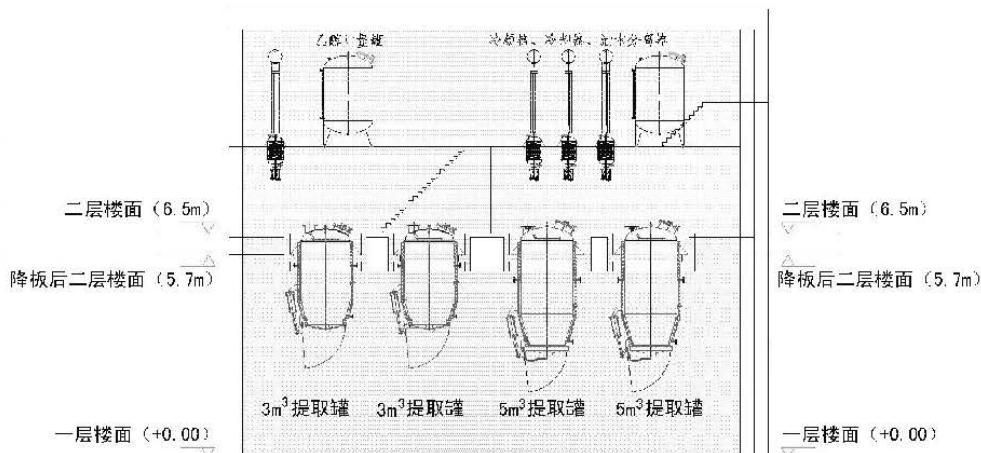


图4 提车操作间局部降板示意图

为了解决上述问题,设计时考虑将提取操作间局部做降板,使提取罐投料口处基本与地面平齐,这样操作人员可直接将物料投入其中(见图4)。改进后的操作层兼顾了两种功能,即投料和操作可以同时进行,这样使操作更加快捷,效率得到提高。

4.2 出渣间污染

中药提取后药渣排放是中药提取车间的一大难题。2010版GMP中指出,“中药提取后的药渣如需暂存、处理时,应当有专用区域”。为了更好地避免出渣间的污染问题,设计时应注意以下几点:

(1) 出渣间与其他功能间最大限度隔离,直接对外开门,将其对生产区的污染风险降至最低;

(2) 出渣间不再设计贮渣功能,药渣卸下后立即运走,每次出渣后立即进行全面彻底清洗。借助药渣压缩设备,将药渣卸到料斗内,由压缩机挤压至原体积的二分之一,挤压所产生的污水由排污管道排入污水管,这样不仅避免了药渣和药渣滴水造成的二次污染,同时由于药渣体积压缩而大幅降低了运输费用;

(3) 出渣间的墙面、地面宜采用瓷器类物质贴面,即可便于清洗,又能避免提供霉菌附着基;

(4) 在满足出渣口能打开以及方便除渣车进出的前提下,出渣高度尽可能降低,避免飞溅的渣水造成二次污染。

5 结语

中药提取生产工艺的不断改进以及国家相关规范的不断更新,对中药提取车间的设计提出了更高要求。本文在2010版GMP基础上,总结了某提取车间的设计心得,提出了具体设计时对相关问题的解决措施。

参考文献

- [1] 《药品生产质量管理规范》(2010年修订)。
- [2] 《医药工业洁净厂房设计规范》GB50457-2008。
- [3] 中药制药技术及工艺汇编。
- [4] 化工管路设计手册。

脊髓灰质炎灭活疫苗原液生产车间 工艺布置设计要点分析

■ 张瑞超 张媛媛 [工艺]

摘要: 医药工业洁净厂房是疫苗生产的硬件基础,在医药厂房设计中,工艺专业是主导专业,起着非常重要的作用。本文以某脊髓灰质炎灭活疫苗原液生产车间为例,主要从工艺流程、平面布局 and 有毒区控制等方面对车间的工艺布置设计进行了分析。

关键词: 脊髓灰质炎;灭活疫苗;工艺布置;GMP

1 概述

脊髓灰质炎(以下简称脊灰)是由3种脊髓灰质炎病毒血清型(I、II、III型)所致的急性传染病,病毒主要侵犯人体脊髓灰质前角的灰、白质部分,对灰质造成永久性损害,使这些神经支配的肌肉无力,出现肢体弛缓性麻痹。好发于婴幼儿,故又称小儿麻痹症。本病可防难治,一旦引起肢体麻痹易成为终生残疾,甚至危及生命。世界卫生组织(WHO)多年来始终致力于在全球范围内消除脊髓灰质炎,疫苗在其中发挥的作用重大,是不可或缺的工具。与此同时,国内市场与国际市场的逐步接轨,生产出符合WHO GMP要求的脊灰灭活疫苗,也对其生产车间的设计提出了更高的要求。

医药洁净厂房是疫苗生产的硬件基础,在GMP认证检查中至关重要。只有设计出科学合理的厂房,才能保证药品的质量。工艺专业是厂房设计的主导专业,在整个厂房设计中尤为重要。

本文将以其脊灰灭活疫苗原液生产车间为例,在符合WHO GMP的基础上,分析此类车间的工艺设计理念和工艺布局要点。

2 脊灰灭活疫苗原液车间的工艺布置分析

新版GMP明确指出:为降低污染和交叉污染的风险,厂房、生产设施和设备应当根据所生产药品的特性、工艺流程及相应洁净度级别要求合理设计、布局和使用。这就要求车间工艺布置遵循以下特点:平面布局合理、严格划分区域、防止交叉污染、方便生产操作。另外,工艺布置还需满足环保、消防、节能、职业安全卫生等法律法规的要求。

下面以其脊灰灭活疫苗原液生产车间为例,从以下几个方面对其工艺布置进行分析。

2.1 生产工艺流程

本脊灰灭活疫苗所用毒株为I、II、III型Sabin株,减毒效果经过多年验证。疫苗以Vero细胞为基质,对3个血清型病毒进行培养、纯化、灭活和配比,最终得到疫苗原液。其生产工艺流程简述如下:首先在细胞培养室进行工作种子(Vero细胞)接种,然后以三级生物反应器进行

作者简介:张瑞超,男,助理工程师,2014年毕业于天津大学制药工程专业,现就职于中衡规划医药工程设计研究院。

细胞基质和单个血清型病毒的培养，培养至一定天数后，将细胞液通过管道转移至病毒室的生物反应器内进行毒种接种；培养至一定天数后，收获沉降微载体，上清液通过蠕动泵输送至澄清设备，经过三级过滤后转至缓冲罐，分别进行两次超滤浓缩，再经超离、稀释、层析后进入纯化2室进行纯化浓缩；在灭活1室进行两阶段灭活、孵化，经无菌过滤后转移至灭活2室，待检验合格后得到合格单价原液，置2~8℃保存。工艺流程框图见图1。



图1 脊灰灭活疫苗原液生产工艺流程框图

2.2 主要工艺设备

本脊灰灭活疫苗生产过程涉及的主要工艺设备包括生物反应器系统、配液系统以及废液灭活系统等。

2.2.1 生物反应器系统

相比于转瓶培养技术，微载体技术是利用片状或球状微载体使细胞贴在其表面，在生物反应器中进行的一种新兴的大规模细胞培养技术。高密度的微载体大大增加了细胞培养的表面积，从而实现产能的扩大，其兼具悬浮培养和贴壁培养的优点。生物反应器系统通常涉及CIP模块、SIP模块、存储模块等，管路连接复杂，对操作人员要求较高。虽然微载体在使用过程中会受一些因素限制，但使用生物反应器系统进行微载体细胞大规模扩增已具有明显优势，如培养过程系统化、自动化、不易被污染等。

2.2.2 配液系统

配液系统多采用磁力搅拌式的全自动配液罐，可实现全自动配液与传输，配置在线自动过滤器完整性测试系统，易于清洗、消毒和灭菌，可在线显示和记录配液罐灭菌过程数据，防止差

错和交叉污染。每个配液罐均独立配置自动称重、温度、液位显示装置、过滤装置、PH测量和自动控制CIP/SIP系统，自带加热保温功能，并采用可靠性强的总线自动控制系统。在进行工艺设计时，需根据生产车间年生产能力进行物料核算，选择合理数量和规格的配液罐与之匹配，以满足生产要求。

2.2.3 废液灭活系统

疫苗生产前半部分工序都为活毒工序，因此在生产和清洗当中必定会产生活毒废水，活毒废水应采用集中收集，用废液灭活罐系统处理后排放。由于利用重力流收集，一般废液灭活罐系统都设置在地下层或较低一层。废液灭活处理流程为：含活毒废液收集—蒸汽加热灭活—保温确保灭活效果—冷却—排液—污水处理。废液灭活系统的设计需要注意以下几点：①系统需要实现全自动控制；②应根据所生产疫苗的类型确定保温温度，以达到彻底灭活效果；③排液一般需降到40℃以后排放至污水处理站处理；④灭活罐是压力容器，要保证系统的机械安全性；⑤系统要保证生物安全性；⑥根据活毒废水量，可以设置单罐或组合罐以满足处理流程需要。

2.3 平面布局

根据整个厂区的人流和物流走向，将本车间的人流入口设置在厂房的南侧，物流入口设置在厂房的北侧。本车间位于生产主楼的四层，按生产工艺和使用功能可划分为细胞区、病毒区、清洗区以及QC实验区4个区域，见图2。在工艺布局时应合理搭配上述几个区，要做到有毒区与无毒区严格分开设置。每一工作区设置独立的人、物流出入口，并同其他区域严格分开，其中有毒区设置退更，人员经淋浴后退出。

细胞区为无毒区（洁净级别为C级，局部A级），设置单独的人流入口，主要由细胞培养室、配液室、溶液分装室、称量室、2~8℃暂存室及缓冲液暂存室等组成。病毒区为有毒区（洁净级别为C级，局部A级），设置单独的人流入口和淋浴退更，根据不同生产阶段和操作顺序主要分为病毒室、纯化室、灭活室等功能房间。清洗区为无毒区（洁净级别为D级），负责所有容器具及洁净服的清洗、准备和灭菌等工作，为整个生产车间服务。QC实验区为潜在有毒区（洁净级别为C级），为原液生产过程提供质量检测服务。

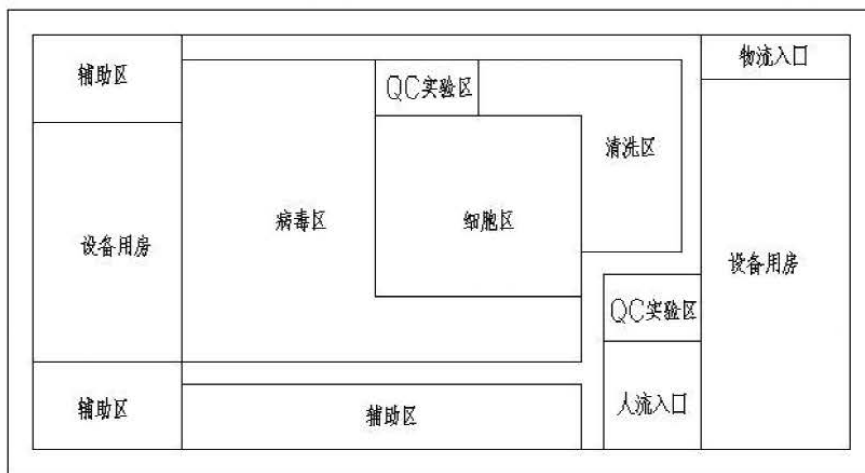


图2 青灰灭活疫苗原液生产车间平面布局图

2.4 人物流流线

新版GMP多次强调了避免混淆及交叉污染的问题，因此厂房设计在工艺布局上应满足整个生产厂房的人、物流与厂区的人、物流方向一致，考虑将人、洁物、污物分开，有毒区和无毒区的人、物流各自有净化通道，生产流程顺畅合理。

人流：在生产主楼南侧单独设置门厅，作为本车间人流入口，人员从门厅进入，经换鞋、更衣后通过楼梯上至四层，生产区人员再经更衣、穿CNC服后进入生产控制区。为避免交叉污染，车间各洁净生产区分别设置独立人流通道，人员需经下一步净化更衣程序进入各自生产区域。对于有毒区，更衣采用单向控制，即人员通过不同的通道进入和退出，且有毒区人员需经淋浴后方可退出至CNC走廊。

物流：物料经车间北侧中部的货梯运至四层，经物流缓冲进入CNC区域，分别经缓冲进入各洁净生产区。物料进、出路线分别设置可尽量避免物料交叉，有效降低物料在运输过程中交叉污染的风险。

退出物流：厂房污物出口设在厂房西北侧。有毒区污物需在废弃物处理室经过清洗、灭菌后方可传出有毒区至退出走廊，其余无毒区污物通过缓冲进入退出走廊。需要循环使用的物品通过退出走廊进入清洗间，经过清洗、灭菌后回流至使用区域，其余通过退出走廊和电梯运至第一层污物厅，然后运送至厂区指定地点处理。

2.5 有毒区控制

由于本车间病毒区为有毒区，在设计时应从

人物流流线、空调及压差控制和活毒废水等方面考虑有毒区的控制问题。

有毒区人员更衣采用单向控制，即人员通过不同的通道进入和退出，且有毒区人员需经淋浴后方可退出至CNC走廊，以避免人员退出时衣服上所带的微粒和微生物污染更衣区，或者生产操作时产生的有害物质通过更衣区外溢。有毒区人流流线见图3。有毒区物料都由无毒区经过缓冲进入，并且无毒区压差最高，有毒区压差最低，保证气流从无毒区流向缓冲、从缓冲流向有毒区；有毒区污物经灭菌后传出，需要循环使用的物品经过清洗灭菌后回流至有毒区，其余退出至第一层污物厅。

净化空调系统的主要目的是确保疫苗制品的环境空气品质和防止交叉污染，因此其系统的划分尤为重要。在本车间中，有毒区和无毒区的空调系统要严格分开。病毒区为有毒区，QC实验区为潜在有毒区，分别设置一套空调系统。有毒区的回风口处设置高效过滤器，排风采用带高效过滤器的风机箱，排风经双级高效过滤后排放，排风机设置于屋面高空排放。安装在回风口处的高效过滤器自带检漏装置。为防止有毒区空气外泄，有毒区压差设置为绝对负压，并且有毒区内从气锁到走廊，从走廊到各生产房间，房间压力逐步降低，形成负压陷阱。

有毒区每天产生大量的活毒废水，为保障生物安全，防止有毒区的活毒废水逸出有毒区，在生产主楼第一层设置生物废水间，将有毒区的排水管道分别接入生物废水间的灭活罐，活毒废水

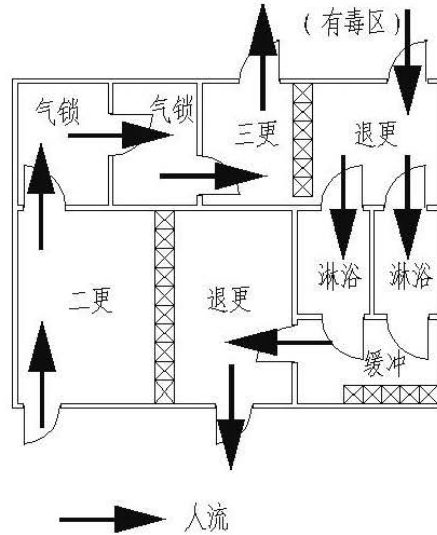


图3 有毒区人流流线

经灭菌处理后方可同其他废水排入厂区污水处理站进行后续处理。

3 结语

综上所述，脊灰灭活疫苗原液生产车间平面布局相对复杂，设备数量多，另外需要考虑生物安全性。因此在进行本车间设计时，不仅要满足工艺流程、生物安全规范、WHO GMP规范的要求，还需要合理进行有毒区、无毒区划分，设计好人流和物流流线以及对有毒区进行控制。另外，为设计

出合理的满足需求的高品质疫苗原液生产车间，设计过程中要与建筑、结构、设备、电气、自控等专业密切配合，满足各专业设计规范的要求，保证最终产品的质量。最后，医药产品与人类生命健康有着密切关系，因此在设计过程中还应不断优化设计方案，更好地保证产品质量。

参考文献

- [1] GB 50457-2008 医药工业洁净厂房设计规范.
- [2] 王军志. 疫苗的质量控制与评价. 北京:人民卫生出版社, 2013.

垃圾焚烧发电工程循环水 余热利用研究

■ 陆新生 黄求诚 [给排水]

摘要: 在国家大力倡导节能减排政策的今天,如何高效经济回收利用垃圾焚烧发电工程循环冷却水低温余热是非常值得研究的课题,高效回收利用循环水余热需研究解决以下两个关键问题,一是选择能充分利用垃圾焚烧发电工程废弃热或汽轮机低压抽汽为驱动源的高效低成本热泵;二是余热利用用途问题,热泵回收循环水余热如何利用,是关系到循环水余热利用实用价值的根本问题。本文对垃圾焚烧发电工程循环水余热利用中的热泵机组选型和余热用途进行拓展研究,找到适合此类工程热泵机组,并拓展余热利用的广度。

关键词: 循环水;余热利用;吸收式热泵;节能

0 引言

在国家大力倡导节能减排政策的大背景下,垃圾焚烧发电工程的余热资源正引起越来越多的关注,其输入燃料总热量的25%左右转变为电能,而75%以上的热量通过锅炉排烟和汽轮机凝汽器的循环水散失到环境中,其中60%以上通过循环水散热至环境中。选择经济合理且技术可行的循环水余热利用方案,不仅可以为业主提供更绿色节能的工程产品,消除垃圾焚烧发电工程余热利用中障碍和认识误区,而且可在工程咨询的技术改进中找到创新点,进而为赢得市场先机打下基础。

通过研究并将研究成果应用于垃圾焚烧发电工程中,将研究成果转化为生产力,不仅可以全面提升该类工程绿色设计水平以及整体设计水平,同时也可为主业赢得良好的经济、环境、社会效益,为企业树立节能环保标杆形象奠定基础。研究并解决垃圾焚烧发电工程循环水余热利用中关键技术问题,也为今后类似工程余热利用指明方向并提供技术支持,避免出现原则性错

误。本研究重点放在余热回收利用的热泵机组的选型和余热利用用途的拓展研究两个方面。

1 循环水的特点及余热利用的现状

垃圾焚烧发电工程循环水与目前其他常用的低温热源相比,具有显著的优势:蕴含的热量巨大,温度适中且水量稳定、水质好,与地表水、城市污水相比,不会因腐蚀、阻塞等因素影响传热效果,环保效果显著,利用余热可减少冷却塔向环境的散热和水分蒸发,降低此类工程对周边环境的热湿污染。当前,此类工程其输入燃料总热量的60%以上能量通过凝汽器循环水散失到环境中,同时带来环境污染。

垃圾焚烧发电工程大多数采用纯冷凝式发电机组,余热锅炉产生的蒸汽全部用于汽轮机发电,汽轮机热效率与汽轮机容量和进汽参数成正比,垃圾焚烧发电工程由于垃圾成分和焚烧特点,进汽主蒸汽温度和压力都受到腐蚀方面的限制而不宜过高,垃圾焚烧发电工程垃圾热值的18~22%转变成为电能,60%以上热值通过循环冷却散失环境中,以 $2 \times 500\text{t/d} + 20\text{MW}$ 为例,其循环冷却水量为 $6000\text{m}^3/\text{h}$,循环冷却水的温升为

作者简介:陆新生,男,高级工程师,1987年毕业于东南大学环境工程专业,现就职于中航规划市政工程设计研究院。

8℃,该温升所蕴含的热量为55.8MW。

一般而言,人们对垃圾焚烧发电工程影响环境的因素关注较多,大多关注其烟气中污染物对环境的二次污染,即随烟气向大气中排放的粉尘、酸性气体、重金属和有机剧毒污染物(二噁英等),而对循环冷却水所含巨大热量排至大气环境关注不足,垃圾焚烧发电工程循环水余热利用几乎属于空白状态,究其原因主要是对其重视关注不足和有限的余热用途。

2 采用吸收式热泵回收循环水余热研究

由于垃圾焚烧发电工程的发电效率在18~22%左右,即发电效率在1/5左右,而压缩式热泵的能效系数在4.5左右,如采用由电能驱动的压缩式热泵机组回收循环水余热,由于压缩式热泵机组消耗的电能远比节省蒸汽对应的电能要大得多,压缩式热泵机组所消耗的电能对应蒸汽量用于汽水换热完全可满足厂区附属建筑的采暖负荷要求,故采用电能驱动的压缩式热泵机组回收循环水余热方案不可行,本方案重点考虑采用吸收式热泵回收循环水余热。

吸收式热泵通过消耗部分饱和蒸汽,回收循环水余热能量,然后将蒸汽热量和循环水余热能量转化为用户所需热量,吸收式热泵的制热系数永远大于1,吸收式热泵的制热系数一般在1.7~1.9之间,相当于该机组的制热效率为170%~190%,远高于传统锅炉等供热方式70%~90%的制热效率。

以北方某垃圾焚烧发电工程为例,工程规模为2×400t/d垃圾焚烧炉配套1台15MW凝汽式汽轮发电机组,冬季循环冷却水流量4000m³/h,循环冷却水温度34/24℃,循环冷却水带走的热量为46.5MW,约占汽轮机进汽总能量的75%,发电部分占总能量25%。

2.1 研究思路

(1) 采用吸收式热泵机组回收循环冷却水余热,主要用于附属建筑采暖,采暖面积3万m²,采暖热负荷2MW。

(2) 吸收式热泵方案同传统汽水换热采暖机组方案进行技术经济比较。

(3) 采用吸收式热泵机组回收循环冷却水余热,以节省蒸汽量多发电带来的效益为基准,计算收回多投资部分的年限,进行投资回收期计算。

2.2 余热回收利用方案

采用吸收式热泵机组,利用高品质的余热锅炉

蒸汽做为驱动源,将循环冷却水中低品位的热量转化为较高品质的热量,实现利用余热供厂区附属建筑采暖的目的。根据垃圾焚烧发电工程循环冷却水参数34/24℃、水流量4000m³/h,设计回收循环冷却水中的热量890kW(流量76.5m³/h、温差10℃),将温度为50℃流量为68.8m³/h热网水经吸收式热泵机组加热后,热网水温度升高至75℃后,供给各热用户,消耗0.6MPa饱和蒸汽1.68t/h,折合1110kW热量。吸收式热泵机组主要技术参数见表1。

2.3 工艺流程描述

循环水流程:将15MW抽凝机组的循环冷却水在凝汽器出口管上引出DN150管道,将流量为76.5m³/h循环冷却水送入吸收式热泵作为余热热源,通过吸收式热泵回收余热后,循环水温度降低,再经循环水加压水泵送至冷却塔底部。

采暖热网水流程:新建一条DN150的热网水管线引至热泵机房内,通过吸收式热泵机组将50℃热网水加热至75℃后,再输送到厂区各建筑采暖进水。

蒸汽流程:从汽轮机抽汽管上用DN65的管道引出压力0.6MPa温度为200℃的过热蒸汽1.68t/h送至热泵机房,蒸汽经减温减压器后作为吸收式热泵驱动能源。吸收式热泵回收循环水余热流程见图1。

2.4 传统的汽水换热采暖方案

厂区建采暖换热站,满足厂区2MW采暖负荷的要求,将压力为0.4MPa过热蒸汽抽汽送至采暖

表1 吸收式热泵机组主要技术参数表

吸收式热泵机组技术参数			
机组型号		SG-204-34/24-50/75-9	
机组容量		2MW	
采暖热水侧	进口温度	℃	50
	出口温度	℃	75
	流量	m ³ /h	68.8
	压力损失	kPa	75
	热量	MW	2
循环水余热水侧	进口温度	℃	34
	出口温度	℃	24
	流量	m ³ /h	76.5
	压力损失	kPa	77
	热量	MW	0.89
蒸汽	压力	MPa	0.6
	消耗量	t/h	1.68
	热量	MW	1.11

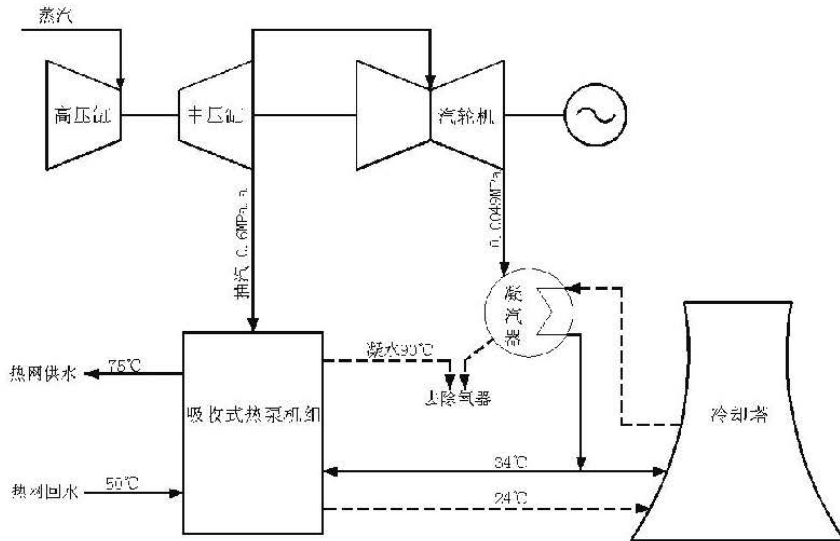


图1 吸收式热泵回收循环水余热工艺流程图

汽水换热站，将热网水由50℃加热到75℃。消耗过热蒸汽3t/h，对应的发电量为217KWh。

2.5 两个供热方案经济性对比（见表2）

2.6 小结

(1) 通过技术经济比较，采用吸收式热泵机组回收循环水余热用于厂区附属建筑采暖方案可行。

(2) 吸收式热泵机组相对于传统的汽水换热机组用汽量少，节约部分的蒸汽可以多发电带来的经济效益，通过4~5年可回收吸收式热泵机组比汽水换热机组多投资部分。

(3) 在项目投资比较充裕并且周围有较大采

表2 经济性对比表(单位: 万元)

项目	吸收式热泵回收余热供热	汽水换热机组供热
一、投资		
热源投资	70.00	35.00
热泵机房投资	40.00	35.00
合计	110.00	70.00
增加投资部分	40	
二、运行费用		
电费	4.10	2.70
抽蒸汽影响发电费用	19.30	30.5
合计	23.40	33.20
热泵相对汽水换热多发电收益	9.80	
静态投资回收期		
增加投资回收期	5.0	

暖负荷的垃圾焚烧发电工程，可以考虑吸收式热泵回收循环冷却水余热用于建筑采暖。

3 循环水余热拓展利用研究

垃圾焚烧发电工程根据环评要求的最小卫生防护距离为300m，这就意味着项目周边无居民区，另外由于利用水源热泵提高其出水温度有限，远距离供周边居民采暖，从经济上不合理。

由于北方地区垃圾焚烧发电工程周边可能存在蔬菜花卉温室大棚等，回收此类工程循环水余热用于蔬菜花卉温室大棚方案成为可能，此方案如能经济合理实施，不仅可以提高蔬菜花卉温室大棚的农业生产效率，有利于农民增收，而且还可以缓解工程建设过程中业主与周围群众的矛盾，有利于项目顺利实施。

此方案如能经济合理实施，不仅可以提高蔬菜花卉温室大棚的农业生产效率，有利于农民增收，而且还可以缓解工程建设过程中业主与周围群众的矛盾，有利于项目顺利实施。

3.1 研究思路

以北方某实际工程为例，采用吸收式热泵机组，回收其循环冷却水中余热用于蔬菜花卉温室大棚采暖，并对投资运行费用和收益进行技术经济比较，给出经济运行的收费标准及采用该方案的边界条件。

3.2 蔬菜花卉大棚特点

我国北方，农业生产无霜期短，每年从10月到来年4月不宜种植生产，时间长达半年之久，蔬菜花卉温室内加温供暖费用占农业成本比例较大。因此，选择性能可靠、稳定、经济适用的热源就显得尤为重要。

相对于居民集中供热管道长、投资大、热量损失大，利用此类工程相邻的大面积农村土地建设温室生态大棚进行优质花卉或无公害农产品种植，既可减少供热系统的投资，也可以减少输送过程热量的损失。建设温室生态大棚是工程资源与现代农业科技生产的完美结合。

3.3 余热回收用于蔬菜花卉大棚技术经济分析

以北方某垃圾焚烧发电工程为例，工程规模为2×600t/d垃圾焚烧炉+2×12MW凝汽式汽轮发电机组，采用水冷方式，冬季循环冷却水流量5000m³/h，冬季循环冷却水温度18/8℃，循环冷却水对应的热量：46.5MW，采用吸收式热泵技

术回收循环水余热用于蔬菜花卉温室大棚的采暖,可以很大程度节省蔬菜花卉温室大棚对热源的投资和运行费用。以提供2MW采暖负荷为例,供4万m²(60ha),蔬菜大棚采暖负荷50W/m²,吸收式热泵机组主要技术参数见表3,吸收式热泵机组投资及运行费用见表4。

表3 吸收式热泵机组主要技术参数表

吸收式热泵机组技术参数			
机组型号	SG-204-18/8-50/75-9		
机组容量	MW	2	
热水侧	进口温度	℃	50
	出口温度	℃	75
	流量	m ³ /h	68.8
	压力损失	kPa	75
余热水侧	进口温度	℃	18
	出口温度	℃	8
	流量	m ³ /h	76.5
	压力损失	kPa	77
蒸汽	压力	MPa.a	0.6
	消耗量	t/h	1.68

表4 吸收式热泵机组投资及运行费用表

项 目	吸收式热泵回收余热供热
一、投资(万元)	
热源投资	70
热泵机房投资	30
合计	100
二、运行费用(万元)	
电 费	4.1
抽蒸汽影响发电费用	19.3
合计	23.4

3.4 运行费用

年运行费用23.4万元,按8年收回投资,年总费用35.9万元。

若按照温室大棚采暖指标50W/m²来计算,该部分余热回收可供温室生态大棚面积为4万m²,约合60ha,可供应100m×20m的大棚20个,如果温室大棚采暖费标准在9元/m²/年,一般温室采暖费占温室运行成本的40%,年收入每亩在1.5万元的温室大棚可以考虑利用热泵回收循环水余热。

据初步统计,目前蔬菜花卉温室大棚大多数

采用热风炉供热采暖,平均每亩地的收益在1.5万元到4万元不等,而温室大棚有相当一部分投资用在了热风炉等供热设施。初步统计,采用廉价天然气供热,10000m²的供热投入达50万人民币。若利用循环水余热作为温室生态大棚的固定热源,其产生的经济效益是显而易见的。

4 研究结论

(1) 垃圾焚烧发电工程循环水作为热泵机组的低温热源,从水量、水温、水质等条件分析,具有得天独厚的显著优点,是热泵机组最为理想的低温热源。

(2) 通过采用吸收式热泵对循环水余热利用研究,得出如下结论:

a) 采用吸收式热泵机组回收循环水余热用于厂区附属建筑采暖方案可行。

b) 吸收式热泵机组相对于传统的汽水换热机组用汽量少,节省下来的蒸汽可以多发电带来的经济效益,通过4~5年可回收吸收式热泵机组增加的投资。

c) 在项目投资比较充裕并且周围有较大采暖负荷或者需要成为节能示范工程的垃圾焚烧发电工程,可以考虑吸收式热泵回收循环冷却水余热用于采暖。

(3) 通过对循环水余热利用用途的拓展研究,得出如下结论:在北方花卉或蔬菜温室大棚符合下列条件,即当地蔬菜花卉大棚,如果温室大棚采暖费标准在9元/m²/年,一般温室采暖费占温室运行成本的40%,年收入每亩在1.5万元的温室大棚可以考虑利用吸收式热泵回收循环水余热进行采暖。

参考文献

- [1] 冉春雨. 电工程冷却水余热用于住宅供热的探讨. 环境工程, 2007, 27卷.
- [2] 郭小丹等. 热泵回收电工程循环水余热利用问题研究现代电力, 2010, 4.
- [3] 王宝玉等. 热泵技术回收电工程循环水余热的研究. 现代电力 2011, 4.
- [4] 李岩等. 电工程循环水余热利用技术综述. 建筑科学 2010, 10.
- [5] 马孔强. 循环冷却水余热回收供热节能分析. 热力发电 2013, 6.

基于ANSYS的热压罐齿法兰 应力分析

■ 陈果 刘建华 周保珍 [设备]

摘要: 为了改善大型压力容器承压部件的受力情况,优化承压部件的机械结构,本文应用有限元分析软件ANSYS对热压罐齿法兰结构进行应力分析,然后根据应力结果进行应力分类校核,根据校核结果再优化设计。通过分析计算结果,优化了齿法兰结构,相对于常规设计结构,齿法兰整体尺寸大大减小,同时也满足分析设计标准的强度要求,对罐体齿法兰的强度校核及优化设计提供了可靠的依据。

关键词: 热压罐; 齿法兰; ANSYS; 应力分析

0 前言

热压罐装置是复合材料制件生产和科研的关键设备之一,主要用于金属或非金属复合材料制造过程中的胶结固化和固化成形,热压罐作为复合材料成型的主要专用加工设备,市场对热压罐需求量不断增加,对热压罐的各种规格尺寸和技术性能指标要求也越来越高。热压罐的罐门机构是热压罐装置的核心部件之一,该机构是热压罐装置的运动部件,因此该机构设计复杂,承载压力大,机构稳定性要求高。随着热压罐装置向大型化发展,其设计温度和压力也逐步提高,进而导致热压罐装置的罐门机构重量和尺寸大大增加,对整个热压罐的结构、制造周期和成本都有非常大的影响。因此,在对热压罐装置的罐门机构进行结构设计和强度计算时,若采用常规方法进行计算,计算结果使得罐门结构的轴向尺寸和径向尺寸均较大,经济性较差,故需要采用分析设计方法,即用有限元计算方法进行计算。本文应用有限元分析软件ANSYS对某台

热压罐罐门的齿法兰结构进行应力分析,使齿法兰的结构更优化,尺寸更紧凑,减轻罐门重量,降低制造成本。

1 结构参数和材料属性

本文选择热压罐筒体内径为2000mm的具有24个啮齿的齿啮式快开门进行分析设计,该快开门齿啮式卡箍见图1。设计基本条件和材料性能参数见表1、表2。

考虑腐蚀余量为1mm,故罐建模内径为2002mm,壁厚35mm。因模型具有对称性,故采用实体单元Solid 185建立1/48模型。分析构件包括:封头法兰、封头、转环、筒体法兰、筒体等。此设备运行时载荷有周期性。在设计寿命为20年内,进行8000次压力循环。

2 有限元分析

2.1 模型

设备模型及网格划分见图2~图4。为提高精度和分析的精确性,采用六面体对模型划分网格。设备的单元数总计为632270个,节点数为

作者简介:陈果,男,助理工程师,2013年毕业于北京化工大学工程力学专业,现就职于中顺工程集成设备有限公司。

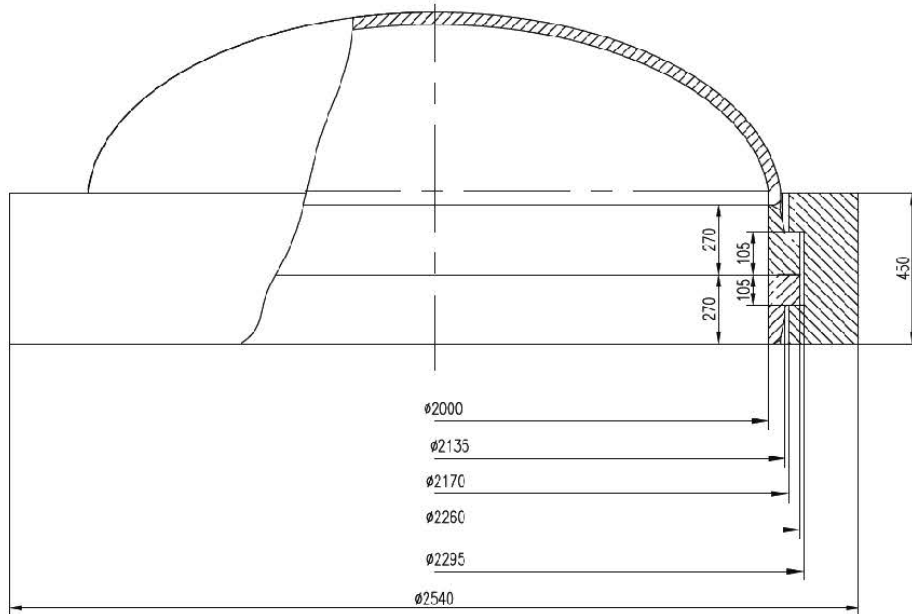


图1 快开门齿啮式卡箍

671480个。经过增减单元数量对比，得到该模型满足计算精度要求。此模型建模方位：

- X=与设备径向方向重合
- +Y=与设备轴线重合
- +Z=根据右手坐标系

2.2 载荷与位移边界条件

在周期循环中，分析设备最苛刻条件下应力

状态，对有限元模型进行位移约束与加载，并按照JB/T4732标准中的相关规定，对过热压罐设备进行应力评定。

(1) 机械载荷

筒体、封头、齿法兰和密封槽内表面施加设计内压力： $P=4.25\text{MPa}$ 。

(2) 位移边界条件

直角坐标系转换柱坐标系后，筒体底部施加限制Y方向（轴向）和Z方向（环向）的约束。在剖分面两侧加周期约束。

(3) 接触条件

筒体法兰齿下表面和转环下齿上表面接触为滑动接触，摩擦系数设为0.2。封头齿法兰上表面和下垫块下表面接触为滑动接触，摩擦系数设为0.2。下垫块上表面和上垫块下表面接触为滑动接触，摩擦系数设为0.2。转环上齿下表面和上垫块圈上表面接触为滑动接触，摩擦系数设为0.2。具体加载形式见图5、图6。

表1 基本设计参数

设计参数	设计温度 (°C)	250
	设计压力 (MPa)	4.25
主体尺寸 (mm)	筒体内径	2000
	法兰外径	2260
	转环外径	2540

表2 材料参数表

设备部件	材料	温度	设计应力强度	弹性模量	泊松比
筒体、封头	15CrMoR	250°C	$S_m=150\text{MPa}$	$E_t=187000\text{MPa}$	$\mu=0.3$
筒体法兰、封头法兰	15CrMoIV		$S_m=143\text{MPa}$	$E_t=187000\text{MPa}$	
转环	16MnIV		$S_m=137\text{MPa}$	$E_t=194000\text{MPa}$	

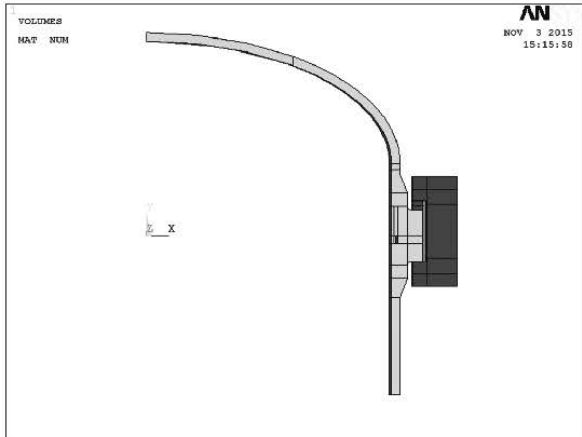


图2 热压罐几何模型（主视）

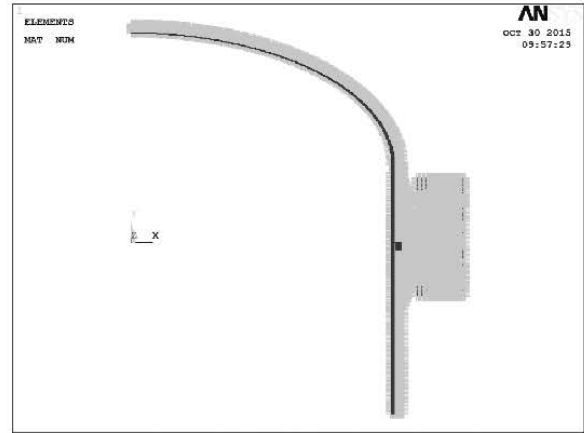


图5 约束及载荷图

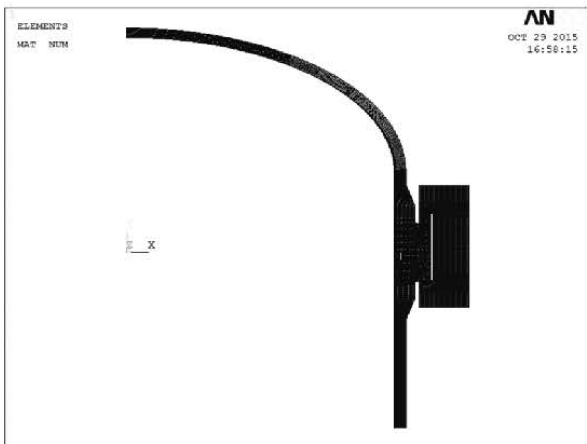


图3 热压罐几何模型网格划分

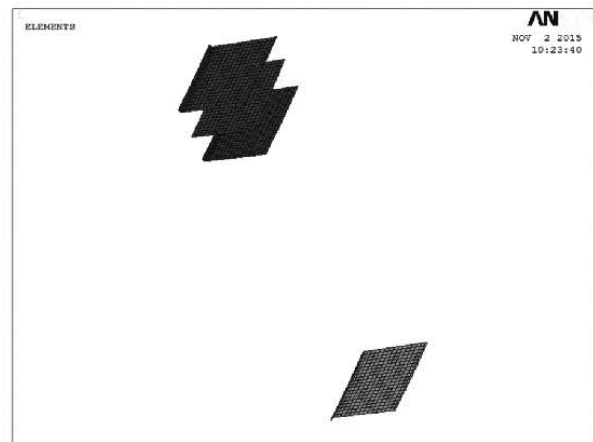


图6 接触对



图4 热压罐几何模型局部网格划分

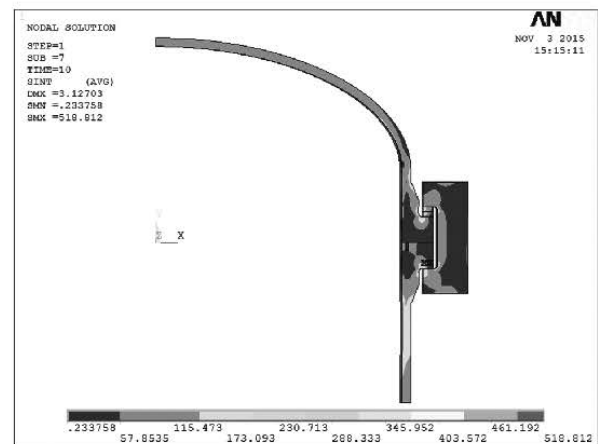


图7 设备整体应力强度云图

2.3 设备应力评定

根据以上条件进行ANSYS分析,设备整体应力云图见图7、图8。

应力强度最大值出现在筒体法兰齿与转环齿

接触处,最大值为518.812MPa,在封头法兰锥段小端变径处、封头法兰齿根部倒角、转环齿根部倒角、筒体法兰齿根部倒角、筒体法兰锥段小端变径处出现应力集中。针对设备结构特点及应力

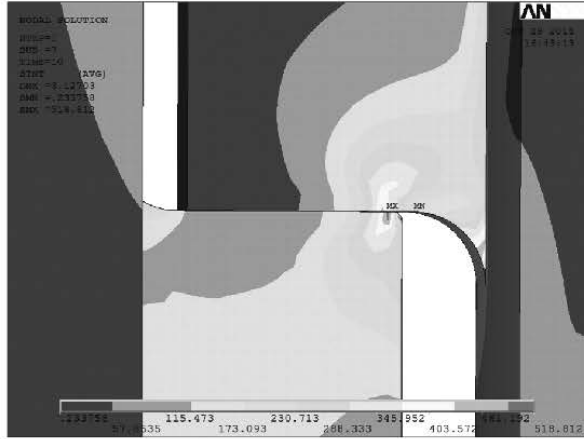


图8 设备局部应力强度云图

强度分布云图, 选取以下6处危险点进行应力强度评定(只列出筒体法兰齿与转环齿接触区域应力评定结果): ①筒体法兰齿与转环齿接触区域; ②封头法兰锥段小端变径区域; ③封头法兰齿根部倒角区域; ④转环齿根部倒角区域; ⑤筒体法兰齿根部倒角区域; ⑥筒体法兰锥段小端变径区域。

2.3.1 筒体法兰齿与转环齿接触区域应力评定

筒体法兰齿与转环齿接触局部应力云图见图9, 转环齿接触路径图见图10, 应力评定结果见表3。

2.4 疲劳校核

在设计压力 ($P_c=4.25\text{MPa}$) 下, 热压罐上最大点的峰值应力强度SV为518.812MPa (图9), 故在操作工况(0~4.0MPa)下, 按下式可求得交变应力强度幅:

$$S_{alt} = 0.5 \times (4 - 0) \times 518.812 / 4.25 = 244.15\text{MPa}$$

按JB4732中节C2.2计算, 应力最大点在转环上, 故按转环材料计算:

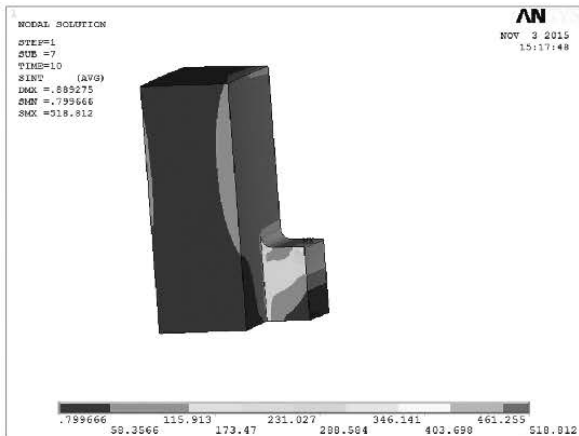


图9 筒体法兰齿与转环齿接触应力强度云图

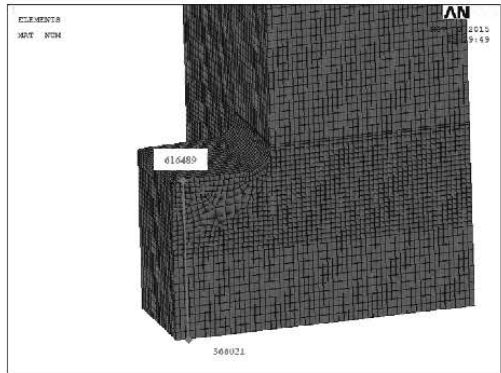
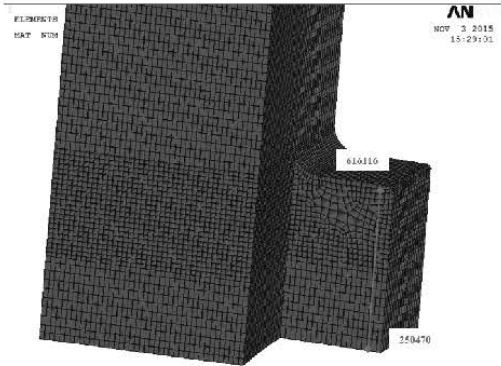


图10 转环齿接触路径图

注: 云图中应力值为各类应力叠加之后的总应力值。节点250470~616116 路径为筒体法兰齿与转环齿接触处转环齿厚P101; 节点366021~616489 路径为筒体法兰齿与转环齿接触处转环对称面齿厚P102。

$$S_{alt}' = S_{alt} \times E/E_2$$

$$= 244.15 \times 210000 / 194000 = 264.28\text{MPa}$$

查JB4732-1995《钢制压力容器—分析设计标准》(2005年确认)“附录C中表C-1”可知:

$$N_i = 5000 \quad S_i = 331\text{MPa}$$

$$N_j = 10000 \quad S_j = 262\text{MPa}$$

根据表中公式可计算出在 $S_{alt}' = 264.28\text{MPa}$

下的许用循环次数如下:

$$\begin{aligned} N_1 &= N_i \times (N_i / N_j)^{[\text{Log}(S_i/S) / \text{Log}(S_i/S_j)]} \\ &= 5000 \times (1 \times 10^4 / 5 \times 10^3)^{[\text{Log}(331/264.28) / \text{Log}(331/262)]} \\ &= 9746 \end{aligned}$$

$N_1 = 9746$ 次, $n_1 < N_1$ 满足要求;

2.5 水压试验 (水压试验压力5.313MPa)

考虑到检修, 每两年进行一次水压试验, $n_2 = 10$ 次

$$S_{alt} = 0.5 \times (5.313 - 0) \times 518.812 / 4.25 = 324.29\text{MPa};$$

$$S_{alt}' = 324.29 \times 210000 / 194000 = 351.03 \text{MPa};$$

查JB4732-1995《钢制压力容器—分析设计标准》(2005年确认)“附录C中表C-1”可知:

表3 热压罐应力分析转环齿接触应力强度评定汇总

	$S_I (P_m)$ 整体薄膜		$S_{II} (P_L)$ 局部薄膜		$S_m (P_L+P_b)$ 局部薄膜加弯曲		$S_{IV} (P_L+P_b+Q)$ 一次加二次应力		评定
	计算值	许用值 S_m^t	计算值	许用值 $1.5KS_m^t$	计算值	许用值 $1.5KS_m^t$	计算值	许用值 $3KS_m^t$	
P101	—	—	125.4	205.5	—	—	315.2	411	满足
P102	—	—	121.2	205.5	—	—	306.4	411	满足

注: 1. 根据JB/T4732应力分类校核, 考虑到应力强度集中在边缘处, 产生二次应力, 故P101局部薄膜加弯曲应力判定为一次加二次应力, 按 $3KS_m^t$ 评定; 考虑到应力强度集中在边缘处, 产生二次应力, 故P102局部薄膜加弯曲应力判定为一次加二次应力, 按 $3KS_m^t$ 评定, 其中最大值见图9。
2. 根据第三应力强度理论, 最大应力强度值为应力线性化结果中SINT的最大值。

$$N_1=2000 \quad S_1=441\text{MPa}$$

$$N_j=5000 \quad S_j=331\text{MPa}$$

根据表中公式可计算出在 $S_{alt}^1=351.03\text{MPa}$ 下的许用循环次数如下:

$$\begin{aligned} N_2 &= N_j \times (N_j / N_i)^{[\text{Log}(S_j/S) \text{Log}(S_i/S_j)]} \\ &= 2000 \times (5 \times 10^3 / 2 \times 10^3)^{[\text{Log}(441/351.03) / \text{Log}(441/331)]} \\ &= 4144 \end{aligned}$$

$$N_2=4144 \text{ 次}, n_2 < N_2 \text{ 满足要求};$$

2.6 累计系数U

$$U_1=n_1/N_1=8000/9746=0.82$$

$$U_2=n_2/N_2=10/4144=0.002$$

$$U=U_1+U_2=0.82+0.002=0.822 < 1.0,$$

根据标准中“C2.4.6累积使用系数U不得大于1.0”, 当前设备的累积使用系数 $U=0.822 < 1.0$, 故满足疲劳强度的要求。

3 结论

(1) 在载荷最苛刻条件下, 封头法兰锥段小端变径处、封头法兰齿根部倒角、转环齿根部倒角、筒体法兰齿根部倒角、筒体法兰锥段小端变径处应力评定全部通过。详见2.3。

(2) 根据2.4、2.5、2.6分析计算可知, 热压罐设计满足疲劳寿命, 许用循环次数超过8000次。

(3) 本文应用分析设计方法对热压罐齿法结构进行应力分析, 得到了满足分析设计强度要求的齿法结构, 对罐体齿法结构的强度校核及优化设计提供了有一定的指导意义。

参考文献

- [1] 涂文锋, 胡兆吉, 裘雪玲, 张俊, 黄志栋. 齿啮式快开盖压力容器的有限元分析及强度评定[J]. 化工装备技术, 2005, 26 (3): 40-43.
- [2] 郑津洋, 苏文献, 徐平, 刘爱平. 基于整体有限元应力分析的齿啮式快开压力容器设计[J]. 压力容器, 2003, 20 (7): 20-24.
- [3] TSG R0004-2009, 固定式压力容器安全技术监察规程[S].
- [4] JB 4732- TSG R0004-2005, 钢制压力容器—分析设计标准[S].

复合材料成形热压罐设备尾部保温结构优化研究

■ 马瑞 刘建华 [设备]

摘要: 随着科技进步和制造工艺技术的日新月异,碳纤维复合材料越来越多的进入到民用航空、汽车工业及诸多与人们生活息息相关的领域中。热压罐作为高性能碳纤维复合材料成型工艺中必不可少的工艺设备之一,其高效节能升级成为了提高碳纤维复合材料生产效率降低成本的必要途径之一。本文通过对国内外同类热压罐设备的技术及结构研究、结合现有热压罐经验问题总结,通过三维建模模拟,着重对热压罐尾部保温结构进行了优化设计。通过改进冷却器结构布局以及增加尾部导风筒装置,通过项目实地验证,有效地降低了设备尾部的表面温度,使得热压罐设备的能源利用效率得到了进一步提升。

关键词: 热压罐;保温;结构优化;复合材料工艺设备

1 复合材料成形热压罐设备应用概况及保温问题

随着科学技术发展与产品应用需求对于材料要求的日益提高,以碳纤维加强树脂为代表的复合材料逐渐进入人们的日常生活。碳纤维加强树脂(下称碳纤维)作为新型复合材料之中综合性能较突出的一种,不再局限于应用在航空航天等领域,开始更多地应用到汽车、船舶和体育运动等领域中,应用碳纤维成为未来这些领域技术创新的新方向。

热压罐作为高规格碳纤维材料成型固化工艺所必需的设备,也有着广阔的发展前景。然而

热压罐成形工艺本身造成该设备的耗能巨大,根据工艺要求,6×15m热压罐仅加热功率就可达3000kW以上,成为复合材料生产线中绝对的耗能大户。目前广泛应用的热压罐设备普遍采用内保温结构,运行中热压罐表面温度要求不高出环境温度30℃,用以维持合理的设备表面散热量及满足操作安全需要。

然而,伴随碳纤维材料的广泛使用,对热压罐设备大型化、高参数化要求成为了实现保温效果需要攻克的首要难题。目前大型热压罐参数普遍采用2.5Mpa、300℃以上的温度压力参数,对于传统压力参数下保温结构很难保证保温效果的实现,特别是在加热器集中布置的热压罐尾部更是尤为凸显。根据新形势下的工艺发展需要,热压罐设备急需优化尾部保温结构,以确保设备的尾部能量耗散保持在合理水平同时确保相关操作人员对设备的安全使用。

作者简介:马瑞,男,助理工程师,2014年毕业于华北电力大学动力机械及其自动化专业,现就职于中航工程集成设备有限公司。

2 热压罐尾部高温原因分析

传统热压罐结构如图1所示,设备采用以加热器加热罐内加压气体由风机旋转叶轮实现罐内气体的强制循环流动来保证罐内温度均匀性。由于改种加热器布置的原因,导致加热集中于设备尾部封头处,使得该处的保温面临极大的挑战。同时由于亦冷却器安装于设备尾部,使得在循环风道内不可避免地出现了不对称的管路阻碍,这对罐内气体循环造成了一定影响。通过对已有热压罐设备调试及使用过程中对罐壁温度的测量数据的研究,发现热压罐表面温度最高点往往出现在尾部罐顶 45° 方向上,该现象表明冷却器方形的结构与风道的圆形所产生的形状突变,亦对罐内气体循环造成了相当的阻滞作用。

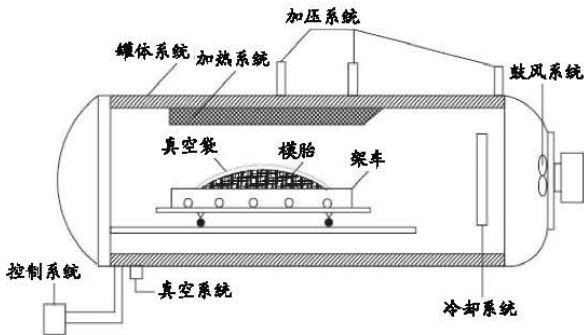


图1 热压罐结构示意图

综上,影响热压罐尾部保温的主要因素可以总结为循环风道中不对称管路与尾部风循环结构形状突变所带来的对罐内气体的流动阻滞作用。伴随着设备压力参数的提升,罐内气体粘度将升高,使得该阻滞作用更为明显;同时更高的管内温度,使得单单增加保温层厚度与容重已经不能经济有效地确保保温效果。热压罐要适应市场及节能的新需求就必须对其尾部保温结构进行优化改良。

3 研究结构优化解决保温耗能问题

对于影响热压罐尾部保温的两大因素,需要通过现有尾部结构进行优化设计改良。

首先,对于循环风道内不对称管路对流动的影响,可以采用优化冷却器结构及管路的方法得以解决。在设计冷却器时,对其水循环管路进行对称设计,使得管路轴线能够处于罐体中心平面上(见图2)。这种结构能够在不改变现有冷却器结构的基础上,最大程度地减少管路对于气体流动的影响,同时由于热压罐设备的大型化需求,该种冷却器结构更易实现,制造加工安装成本未有增加。

对于尾部风循环结构形状突变所带来的对罐内气体的流动阻滞作用的消除,研究中采用

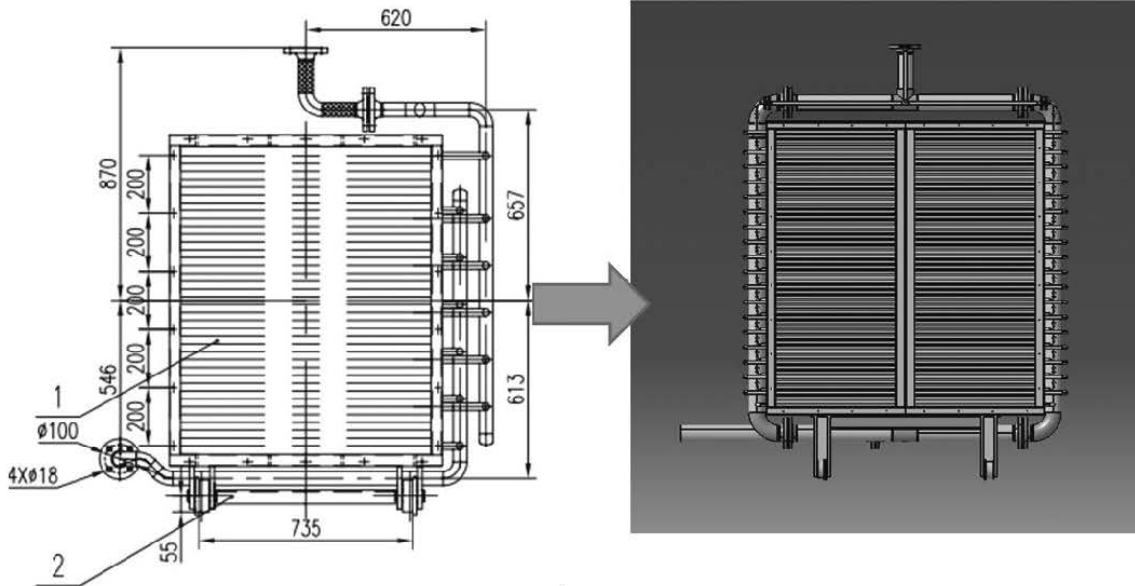


图2 冷却器结构改进示意图

增设导风装置的方法加以消除(见图3)。增设的导风装置需要在原有尾部结构基础上对原圆形热压罐导风筒进行延长,使之能够覆盖到冷却器形状突变的部分,将冷却器及其小车统一包入到导风装置内部。由于加长了风道的长度,原有的导风筒无法满足现有结构的需求,故在导风装置上增加锥段与原有导风结构接合,使得气体循环流通顺畅并形成形状渐变的流通通路,从而进一步减小了流通阻力。该导风结构的增加使得气体在热压罐尾部的流动阻力大大减小,基本杜绝了热量在尾部由于结构上的变化产生的热量聚集现象。

将研究得到的导风装置结构运用于在施的 $5 \times 13\text{m}$ 热压罐项目中,通过运用三维辅助设计等手段,对导风装置进行了人体工程学分析,对构件进行了拆分优化,降低了导风装置的制造安装难度,使之能够融入现有热压罐尾部结构之中。通过在现场项目对该结构的实际验证,该结构能够有效降低热压罐尾部的温度集中,使得罐体尾部外表面温度均匀且不超温,有效地解决了大型高参数热压罐对尾部保温所带来的难题,为热压罐设备的进一步高参数化扫平了道路。

4 结论

通过对热压罐市场发展方向的分析,发现现有设备设计所存在的不足之处;通过对现场调试反馈的数据及现象,深入分析内在的原因;通过引入先进的计算机辅助设计手段,优化设计结构的加工制造安装难度,有效且及时地应对了大型高参数热压罐对尾部保温所带来的挑战,并在实践中验证了该导风装置的可行性与先进性,得到了现场调试人员与用户的一致好评。在今后的结构设计中应发扬这种产学研相结合的优化创新思路,积极发现问题、认真分析问题、活用工具解决问题,这样才能不断提高设计水平,为热压罐设备乃至其他设备的创新优化提供源源动力。

参考文献

- [1] 贾云超,关志东,李兴,邵严,晏冬秀.热压罐温度场分析与影响因素研究.航空制造技术.2016年第1/2期,2016.
- [2] 张纪奎,关志东,郦正能.热固性复合材料固化过程中温度场的三维有限元分析.复合材料学报.第23卷第2期4月,2006.

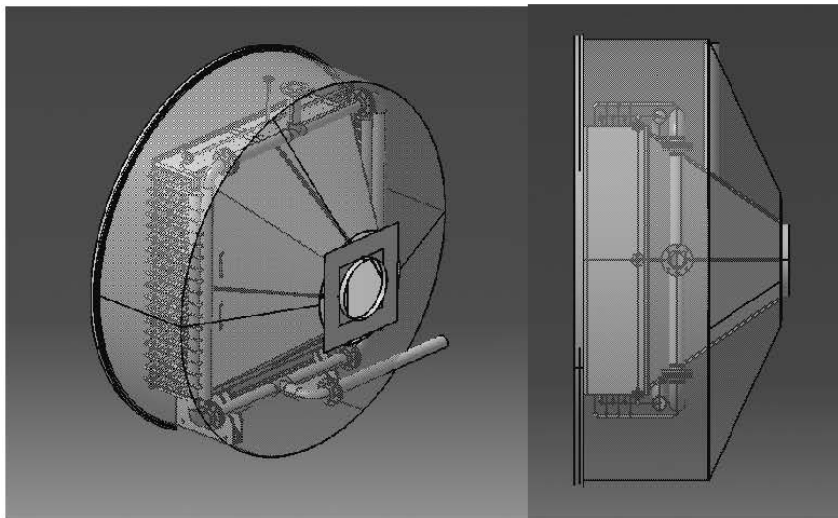


图3 冷却器导风装置示意图

疏水阀后余压凝结水管径计算

■ 赵一娥 邢志涛 [动力]

摘要: 工程中疏水阀后凝结水管径的正确选取至关重要,本文分析了疏水阀后凝结水管路的水力工况,汇总整理了几种疏水阀后余压凝结水管径的计算方法,说明了每种方法的计算及推导过程,对比分析了不同方法的适用范围。

关键词: 余压凝结水;管径;计算

0 引言

在蒸汽输送管路中,疏水阀位于用汽设备后或管道低点,用于排除蒸汽管路系统中的凝结水、空气及不凝性气体。在余压凝结水回水管路中,凝结水依靠疏水阀的出口压力(即余压)输送入凝结水箱。当凝结水管径过小时,流速过大,管路沿程压力损失增加,且可能产生管道振动、水击等现象;当凝结水管径过大时,热损失增加,经济性下降,因此凝结水管径的正确选取至关重要。

国内外关于凝结水管径的计算方法较多,这些方法各有不同的简化、假设和适用范围。本文汇总几种常见的计算方法,并进行对比,从中推荐几种疏水阀后余压凝结水管径的计算方法。

1 凝结水管路的水力工况分析

蒸汽进入用热设备后,放出汽化潜热凝结为水,经疏水阀排至凝结水管路。疏水阀通常为间歇性工作,导致管路中凝结水的流动状态复杂,压力变化剧烈。因此,需要对凝结水管路中各段

压力状况及凝结水状态进行分析,以确定各管段的合理管径。

凝结水管路中通常是凝结水-蒸汽两相流动(有时混有一定量的空气)。受凝结水-蒸汽流量比例、工作条件等的影响,凝结水管路中的两相流动可能呈现不同的流动状态,主要有以下几种:

(1) 乳状混合物

蒸汽和细滴状的水充满管道截面,呈现为白色的乳状物。当流速很高和凝结水大量汽化时才会出现这种现象。

(2) 水膜状

在管道截面中部,有蒸汽挟带少量水滴快速流动,在管壁表面上形成一层薄的水膜,此水膜沿管壁作回转前进的流动。

(3) 汽水分层

当凝结水干管的管径大而流速小时可能出现这种现象。蒸汽流速较小时,汽水分界面比较平静,而当蒸汽速度较高时,凝结水水面会起波浪。

(4) 汽水充塞

在直径不大的凝结水管中,由于积水或者疏水器间歇动作,使得凝结水和蒸汽间隔充满管断面。

(5) 汽泡状

在汽水充塞流动时,如果管道中蒸汽量减少,便出现汽泡状流动。

在进行凝结水管路的水力计算时,通常根据

作者简介:赵一娥,女,助理工程师,2014年毕业于哈尔滨工业大学动力专业,现就职于中商规划医药工程设计研究院。

流动状态的不同,将凝结水管路分为满管流动和非满管流动两类,采用不同的方法进行计算。

当管道全部断面被凝结水或乳状的汽水混合物充满时,属于满管流动。满管流动管路的管径可以根据水力计算的结果确定。

管道横断面不全是水或均匀分布的汽水混合物,而是汽与水分层或分段流动时属于非满管流动管路。对于非满管流动的管路,通常使用根据经验和实验结果制成的管道输送能力表,按管段所承担的热负荷适当选取管径,不再进行细致的水力计算。

2 疏水阀后余压凝结水管径计算方法

假设所有的凝结水都变成闪蒸汽,回收管路的口径应按蒸汽管道进行计算,管道口径就会过大,虽然这能满足凝结水的排放,但费用将远远超过实际需要。

如果回收管道按水管进行计算,所选口径就会过小。因为即使少量的闪蒸汽所占据的管内体积也会很大,导致背压上升,阻碍凝结水的排放。

只有同时考虑闪蒸汽及凝结水的量才能正确计算回收管道的口径。理论上,在计算时应同时考虑管路中流动的两相介质才能得出正确的数值。但在实际操作中有一定的难度,而且在大多数情况下也无需这样的计算。

2.1 余压凝结水水力计算

凝结水回收系统中,疏水阀出口压力突然降低会闪蒸出部分蒸汽,并且带压凝结水在回送途中由于阻力降低,会不断二次汽化,加上疏水阀的漏汽,背压凝结水管必然是汽水两相流动。两相流动具有单相流动中不存在的许多复杂因素,目前,在凝结水回收系统的水力计算中,认为这种余压回水方式的流态属于乳状混合物充满管道截面流动,因而这段管径的确定是相当麻烦的,一方面要知道该管段的资用压力,另一方面还要知道凝结水的状态。凝结水管路水力计算方法步骤如下:

(1) 余压回水管路的资用压力为:

$$\Delta p = (p_2 - p_3) - H\rho g \quad \text{Pa} \quad (2-1)$$

式中: p_2 —凝结水管始端表压力,即疏水阀的凝结水出口表压力(Pa);

p_3 —凝结水管末端表压力,即二次蒸发器或

凝结水箱内的凝结水表压力(Pa);

H —疏水阀后凝结水提升高度(m),提升高度一般不宜大于5m;

ρ —凝结水的密度, kg/m^3 ;

g —重力加速度,为 $9.81\text{m}/\text{s}^2$ 。

疏水器的出口表压力 p_2 ,应当是疏水器的进口表压力 p_1 减去疏水器的工作压差,但在设计余压回水管路时,一般不宜采用疏水器的最小工作压差,否则,管路的设计管径偏小,不利于排水,因此,为安全起见,一般取:

$$p_2 = 0.5p_1 \quad (2-2)$$

同样理由,为了安全运行,凝结水管末端表压力 p_3 ,也应取二次蒸发器或凝结水箱内可能出现的最高表压力。对开式凝结水回收系统,表压力 $p_3=0$ 。

在余压回水管路中,由于压力不断降低,凝结水沿途将不断汽化,因此其密度变化非常大(始末两端的密度甚至相差百倍以上),理论上讲,应以始末两端密度的平均值作为水力计算的依据,但在工程实践中,一般选用管路中凝结水密度的最小值(管路末端的凝结水密度)计算管径,这样确定的管径,对于正常运行工况来说有一定的富裕度,而对于疏水器漏汽的不利工况来说,则可以及时排除凝结水,比较安全。凝结水密度 ρ_x 可根据平均密度公式^[1]计算,也可查询余压凝结水管道汽水混合物密度表^[2]得到。

(2) 余压回水管路的允许比摩阻:

$$R_{p,j} = \frac{\Delta p}{(1 + \alpha_j) \sum l} \quad \text{Pa}/\text{m} \quad (2-3)$$

式中: α_j —局部阻力当量长度占余压回水管路总长度的比例系数。对室内余压回水管道,取 $\alpha_j=0.25$;对室外余压凝结水管网,可查询相关表格中的数据。

(3) 将计算的允许比摩阻 $R_{p,j}$ 换算为与余压凝结水管道管径计算图^[2]中等效的允许比摩阻 R_0 ,根据凝结水流量和 R_0 ,查余压凝结水管道管径计算图,选取管径 D 和相应的比摩阻 R 及流速 v (该表的编制条件为: $\rho_0=10\text{kg}/\text{m}^3$, $K=0.5\text{mm}$)。

$$R_0 = \frac{\rho_x}{\rho_0} R_{p,j} \quad \text{Pa}/\text{m}$$

(4) 在采用余压凝结水管道管径计算图进行余压凝结水管道水力计算时,由于凝结水管道的汽水混合物密度和管壁的绝对粗糙度,不可能刚

好与采用的余压凝结水管道管径计算图中所规定的介质密度和管壁的绝对粗糙度K相同,因此,应对查表得出的比摩阻R和流速v予以修正,得到实际的比摩阻 R_{sh} 和 v_{sh} 。

$$R_{sh} = \frac{\rho_0}{\rho_x} R \quad \text{Pa/m} < R_{p,j}$$

$$v_{sh} = \frac{\rho_0}{\rho_x} v \quad \text{m/s}$$

(5) 实际比摩阻 R_{sh} 接近并小于假定的允许比摩阻 $R_{p,j}$,则所选的管径比较安全,计算结束。

主干线所有管段依次进行水力计算后,即可用分支线与主干线交点处的凝结水压力,作为分支线的末端凝结水压力,按主干线水力计算的步骤和方法进行水力计算,不再赘述。

最后应说明的是,按上述方法计算得出的余压回水管径,对正常运行工况来说是偏大的,但许多余压回水管路的运行情况表明,疏水阀或其旁通管的漏汽难以避免,有时其漏汽率甚至达到惊人的地步,因此,适当增加余压回水管径是必要的。

2.2 阻力计算法

经济比摩阻是综合考虑管网和泵站的投资、运行电耗及热损失费用得出的最佳管道设计比摩阻值。它是热力网主干线(包括环状管网的环线)设计的合理依据。经济比摩阻应根据工程具体条件由计算确定。

相关规范^[3]中给出凝结水管网的动力消耗、投资之间的关系与热水热力网基本相近,因不需考虑水力稳定性问题,推荐比摩阻值可比热水管略大,一般主干管经济比压降宜为50~100Pa/m,支管不宜超过300Pa/m。

相关规范^[4]中给出项目中凝结水管道可根据最大凝结水流量和经济比压降计算干管管径,计算公式为:

$$\Delta h = 6.88 \times 10^{12} G^2 / (\rho D^{5.25})$$

式中: Δh —比压降, Pa/m;

G—凝结水计算流量, t/h;

D—管道内径, mm;

ρ —计算管段汽水混合物的平均密度, kg/m³。

因此,可根据经济比压降的范围确定出实际管径的范围。

2.3 闪蒸蒸汽流速计算法

疏水阀下游管道的输送介质是相同的压力和温度下的凝结水和闪蒸蒸汽,属于两相流,水

和蒸汽的混合物特性与两者比例有关,根据凝结水管路两侧的压力可计算或查图1^[5](单位质量凝结水中闪蒸蒸汽比例),得到闪蒸蒸汽和凝结水的质量比。由于蒸汽的比容远大于水,疏水阀后的排放管内蒸汽比水占用的空间要大得多,需要按照合理的蒸汽流速来确定管径。如管道内充满蒸汽,蒸汽的流速比含有较多凝结水的管道中蒸汽的流速快得多,因此湿蒸汽流速应选低一些(15~20m/s),通常使用的管道都是按标准口径进行制造的,也就是说虽然在计算时忽略了凝结水的流量,实际管道本身已经考虑了安全系数,足以弥补忽略的凝结水流量。

计算蒸汽凝结水管径的步骤:

(1) 确定进入凝结水回收管的蒸汽压力及凝结水背压;

(2) 确定流经蒸汽疏水阀凝结水的质量流量;

(3) 确定连接至回收管上的每个疏水阀由降压产生的闪蒸蒸汽的百分比(可通过计算或相关表格查询);

(4) 通过凝结水的流量和产生闪蒸蒸汽百分比,计算闪蒸蒸汽的流量;

(5) 重复以上步骤,求出闪蒸蒸汽的总流量;

(6) 确定回收管道闪蒸蒸汽合理流速;

(7) 可通过闪蒸蒸汽总量和流速,查动力管道手册蒸汽管道管径计算表选择管径,也可以

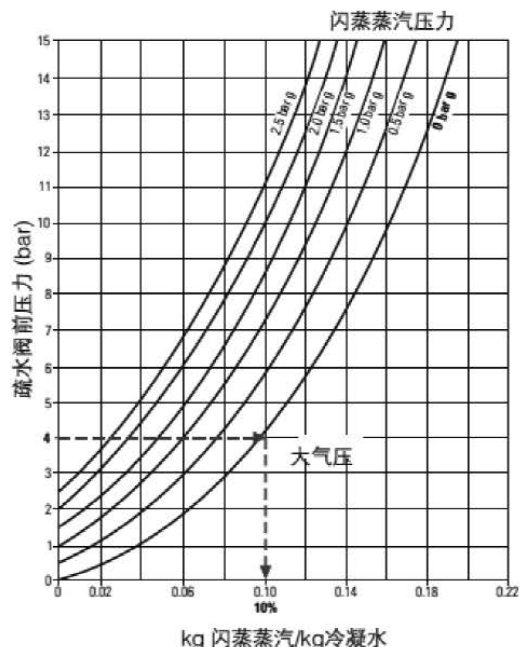


图1 单位质量冷凝水中闪蒸蒸汽比例

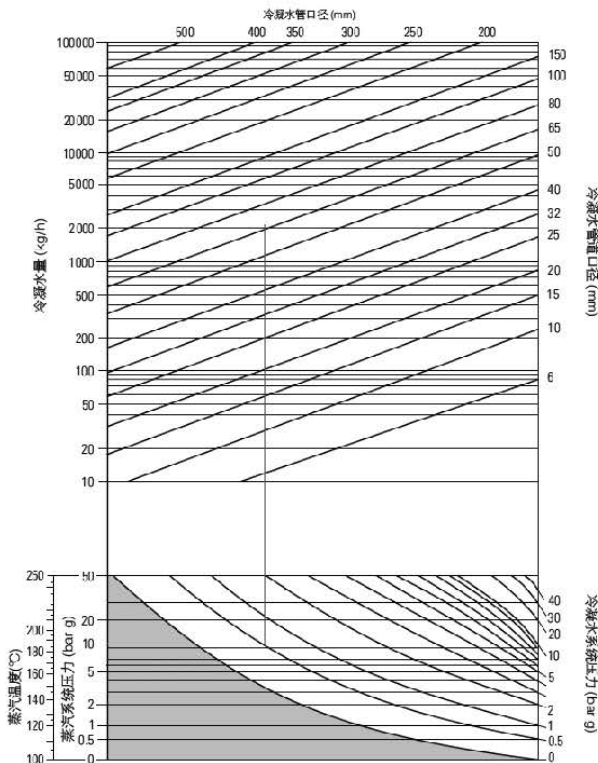


图2 冷凝水管道选型图

通过下列冷冷凝水管道选型图^[5] (见图2), 根据蒸汽压力、凝结水背压及凝结水质量流量选择管径。如果管道长度超过100m, 还应考虑压降。

凝结水管道选型图的使用方法: 先找到蒸汽压力点, 作水平线和凝结水背压线相交 (图2下部) 从该点引垂线和凝结水流量线相交。如果疏水阀后排放管为下降管即非满溢管, 则选择交点以下较小的口径; 如果为提升管即满溢管则选择交点以上较大的口径。

3 实例分析

现有余压凝结水管路, 蒸汽疏水阀20台, 疏水阀入口蒸汽压力10barg, 每台疏水阀疏水量为100Kg/h, 疏水接入凝结水回收装置, 背压为0.5barg。现分别根据本文总结的三种方法进行计算。

(1) 由于未给定管路长度, 因此经济比摩阻无法计算, 可先选出管径, 根据规范给出的摩阻范围和经济流速对其进行验证。由凝结水管道起终点压力, 查《动力管道设计手册》汽水混合物密度表, 得到管内汽水混合物密度 ρ 约为 $6.68\text{kg}/\text{m}^3$, 再查余压凝结水管径计算图, 当凝结水流量为 $2\text{t}/\text{h}$, 取 $\text{DN}=80\text{mm}$ 时, 流速

$v=10.2\text{m}/\text{s}$, $R=220\text{Pa}/\text{m}$ 。

经介质密度修正, 实际值为:

$v'=15.3\text{m}/\text{s}$ $R'=329\text{Pa}/\text{m}$

管径选择合理。

(2) 查《动力管道设计手册》可知, 余压凝结水汽混合物密度 ρ 约为 $6.68\text{kg}/\text{m}^3$, 对凝结水分支总管规范要求 Δh 宜小于 $300\text{Pa}/\text{m}$ 。算出 D 应大于 79mm , 凝结水管径应取 80mm 。

(3) 凝结水由 10barg 降到 0.5barg 时的闪蒸百分比为 14.11% ; 闪蒸汽总量为:
 $20 \times 100 \times 14.11\% = 282.2\text{kg}/\text{h}$;

合理流速为 $20\text{m}/\text{s}$; 查表: 管径应为 80mm 。

或者根据冷凝水管道选型图, 该凝结水分支总排放管为提升管, 因此选交点以上管径, 即可直接得出管径为 80mm 。

4 结论

通过对比分析, 第一种方法由于计算相对复杂, 且精度不高, 不推荐使用; 第二、三种方法相对简便, 根据余压凝结水管路起终点压力及凝结水量查询冷凝水管道选型图, 就可直接得出合适的冷凝水管径, 方便快捷, 准确度较高, 可大大提高设计效率, 因此推荐使用。

参考文献

- [1] 龚光彩. 流体输配管网[M]. 北京: 机械工业出版社, 2013.
- [2] 施振球. 动力管道设计手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [3] CJJ 34-2010, 城镇供热管网设计规范[S].
- [4] GB/T50812-2013, 化工厂蒸汽凝结水系统设计规范[S].
- [5] 斯派莎克产品手册.

LED灯谐波电流浅析

■ 晏浚博 黄浩 (电气)

摘要: LED灯作为新一代光源,其使用量越来越大,产生的谐波电流对电能质量的影响也越来越大。本文为了了解LED灯的谐波电流情况,按照标准实验要求,测量几种主要品牌的LED灯所在回路的谐波电流及其他参数,通过试验测量得出,由于LED灯的谐波电流没有标准限制,市场上不同品牌、不同型号的LED灯谐波电流差异性很大,建议选择LED灯时需参照紧凑型荧光灯的谐波限制进行选择。

关键词: LED灯;电能质量;谐波

0 引言

近几年,LED灯得到厂家的大力推广,其在民用建筑照明系统中的使用量也急剧增长。LED灯具有良好发展前景和照明优势,尽管它有耗电少、体积小等特点,其技术也越来越成熟,可是随着使用量的增多,其对电能质量的影响也不容忽视,甚至可能对所在电力配电系统有着严重影响。笔者在市场上选了几个网上购买量较大的照明品牌,并从中选了几种主要规格的LED灯,测量其所在回路的电能质量。

1 谐波

谐波是通过傅里叶级数对周期性的正弦交流量进行分解,得到整数倍的大于基波频率的各次分量,通常被称为高次谐波。基波是指其频率与工频相同的分量(在我国电网中是用50Hz作为基波频率)。在电力系统上,对周期性非正弦电量进行傅立叶级数分解,得够到与电网基波频率相

同的分量,这部分电量被称之为基波,除此之外还能得到一系列大于电网基波频率的分量,这部分电量被称之为谐波。

至今傅立叶等人提出的谐波分析方法还在被广泛采用。

$$f(\omega t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t)$$

式中:

$$a_0 = \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} f(\omega t) d(\omega t)$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cos n\omega t d(\omega t) (n=1, 2, 3 \dots)$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \sin n\omega t d(\omega t) (n=1, 2, 3 \dots)$$

2 照明设备谐波参照标准

目前没有LED灯谐波限值的相关规范,所以在测量单个LED灯的谐波并进行分析时,只能参照标准GB17625.1-2012《电磁兼容限值谐波电流发射限值(设备每相输入电流≤16A)》。

该标准将设备分为A、B、C、D四类,未规定为B、C、D类的设备均视为A类设备,B类包括便携式工具、不属于专用设备的电弧焊设备,C类

作者简介:晏浚博,男,助理工程师,2014年毕业于北京建筑大学建筑与土木工程(建筑电气方向)专业,现就职于中咨规划医药工程设计研究院。

包括照明设备，D类包括功率不大于600W的电视接收机、个人计算机和计算机显示器。标准中对应照明设备的条款有：

(1) 照明设备

照明设备指的是具有通过白炽灯、发光二极管、放电灯产生光的基本功能（可以具有调节、分配、光辐射等功能的）设备。它们包括：①灯和灯具；②具有照明功能且照明功能为主要功能的多功能设备中的照明部分；③在放电灯里面的独立式镇流器和连接白炽灯的独立变压器；④具有红外线(IR)（或有紫外线(UV)）的辐射装置；⑤用于广告标识的照明灯；⑥白炽灯以外的灯调光器。

照明设备不包括：①连接白炽灯的灯调光器；②装在照明不是主要用途如：投影仪、复印机等设备内或用来指示的照明装置。

(2) C类设备的限值

a) 有功输入功率大于25W

对于有功输入功率大于25W的照明灯具，其谐波电流不应超过表2给出的对应限值。表1的限制值适用于带内置式调光器（或壳式调光器）的白炽灯灯具。对于那些带壳式调光器、独立式调光器或者是内置式调光器的放电灯，则适用于以下的要求：①在状态为最大负荷情况下灯的谐波电流不应超过表2中对应的限值；②调光装置在任意调光位置时的谐波电流都不应超过最大负荷条件下允许的电流值；③设备应按照附录C中照明设备的试验条件进行试验。

b) 有功输入功率小于等于25W

对于有功功率小于等于25W的放电灯，其谐波电流应至少符合以下两个要求中的一个：①谐波电流不超过表3第2栏中的每瓦允许的最大谐波电流限值；②3次谐波电流畸变率不应超过86%，5次谐波不超过61%。

3 LED灯的试验及数据分析

3.1 试验器材

笔者为了尽可能降低电源和测量工具对测量结果的影响，选择了UPS作为电源，Fluke 1760作为测量工具，试验测量等效电路图如图1。测量电源的电能质量见表4。电源满足GB 17625.1-2003的试验电源要求，可以用此电源进行试验。

3.2 试验数据分析

(1) 不同品牌不同型号的LED灯之间比较

表1 A类设备的限值

谐波次数n	最大允许电流 (A)
奇次谐波	
3	2.3
5	1.14
7	0.77
9	0.4
11	0.33
13	0.21
$15 \leq n \leq 39$	$0.15 \times 15/n$
偶次谐波	
2	1.08
4	0.43
6	0.3
$8 \leq n \leq 40$	$0.23 \times 8/n$

表2 C类设备的限值

谐波次数n	基波频率下输入电流百分数表示的最大允许谐波电流 (%)
2	2
3	30λ
5	10
7	7
9	5
$11 \leq n \leq 39$ (仅有奇次谐波)	3

λ 是电路功率因数

表3 D类设备的限值

谐波次数n	每瓦允许的最大谐波电流 (mA/w)	最大允许谐波电流 (A)
3	3.4	2.3
5	1.9	1.14
7	1.0	0.77
9	0.5	0.40
11	0.35	0.33
$13 \leq n \leq 39$ (仅有奇次谐波)	$3.85/n$	(见表1)

将不同品牌不同类型的LED灯分别单独用UPS供电，对所在回路进行电能质量测量。测量回路负载为带变压器的LED灯带时，用厂商规定的一个变压器所能带的LED灯带最长米数作为回路负载，检测其回路的电能质量。测量220V灯带时，按厂商决定的最长米数作为回路负载，检测其回路电能质量，得到的LED灯基本参数见表5。

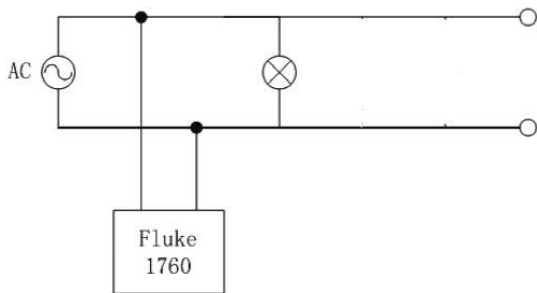


图1 试验等效电路图

由表5可以看出，不同品牌的LED灯的谐波大小不一样，品牌C的直管LED灯总谐波畸变率比较小，远远低于其他的型号，只有26.33%。品牌A的6W和品牌C的9W的LED灯总谐波畸变率很大，均超过130%。

结论1：可以看出LED灯的产品差异性较大，不同品牌之间的LED灯产生的谐波差距很大，同一品牌不同类型的LED灯产生的谐波差距也会很大。

(2) 将这些品牌不同型号的LED灯与参考标准进行比较

市场不规范是因为没有LED灯的谐波相关标准，目前只能采用GB 17625.1的D类设备限值作参考，LED灯的相关参数及D类设备限制值见表6和图2。

从表6和图2可以看出，品牌A的6W/E27螺口灯，品牌C的9W/E27螺口灯以及品牌C的灯带的各次数谐波均超出GB 17625.1的对应谐波次数限值，但是其余的品牌的规格灯的各次谐波均满足标准的限制值。

表4 电源相关参数

Urms [V]	Urms 最大 [V]	Urms 最小 [V]	PF	CosPhi	f平均	f最大	f最小
219.72	219.97	219.44	0.99995	1	50.007	50.014	49.981
Urms h02[%]	Urms h03[%]	Urms h04[%]	Urms h05[%]	Urms h06[%]	Urms h07[%]	Urms h08[%]	Urms h09[%]
0.1876	0.8746	0.1413	0.3426	0.0525	0.2781	0.0360	0.1992
Urms h10[%]	Urms h11[%]	Urms h12[%]	Urms h13[%]	Urms h14[%]	Urms h15[%]	Urms h16[%]	Urms h17[%]
0.0309	0.0984	0.0370	0.0765	0.0296	0.0646	0.0129	0.0586
Urms h18[%]	Urms h19[%]	Urms h20[%]	Urms h21[%]	Urms h22[%]	Urms h23[%]	Urms h24[%]	Urms h25[%]
0.0114	0.0576	0.0308	0.0579	0.0222	0.0448	0.0174	0.0488
Urms h26[%]	Urms h27[%]	Urms h28[%]	Urms h29[%]	Urms h30[%]	Urms h31[%]	Urms h32[%]	Urms h33[%]
0.0407	0.0465	0.0541	0.0331	0.0514	0.0329	0.0592	0.0359
Urms h34 [%]	Urms h35[%]	Urms h36[%]	Urms h37[%]	Urms h38[%]	Urms h39[%]	Urms h40[%]	
0.0657	0.0272	0.0692	0.0272	0.0644	0.0130	0.0785	

表5 LED灯的基本参数

灯的规格	Irms [A]	P [W]	Qh [VAr]	S [VA]	PF	THD I [%]
LED灯品牌A, 6W/E27	0.0573	6.55	-0.57	12.607	0.5196	135.03
LED灯品牌B, 5.5W/E27	0.0369	6.18	-2.39	8.128	0.7607	52.66
LED灯品牌B, 9W/E27	0.0528	9.55	-2.48	11.615	0.8226	52.80
LED灯品牌B, 11W/E27	0.0628	11.50	-2.55	13.819	0.8325	54.93
LED灯品牌C, 9W/E27	0.0640	8.01	-0.76	13.976	0.5729	134.36
直管LED灯品牌C, 21W/T8	0.0963	19.59	-5.14	21.189	0.9245	26.33
LED灯带品牌C, 50W/5m	0.3065	37.59	-2.89	67.270	0.5588	142

表6 LED灯的谐波值与标准限值

灯规格/限制值	h03	h05	h07	h09	h11	h13
D类设备限制值	3.4000	1.9000	1.0000	0.5000	0.3500	0.2962
LED灯品牌A, 6W/E27	4.1226	3.6513	3.0220	2.2924	1.5648	0.9417
LED灯品牌B, 5.5w/E27	2.0122	1.0747	0.4291	0.3039	0.3670	0.3513
LED灯品牌B, 9w/E27	2.0866	1.0702	0.3873	0.1359	0.2309	0.2543
LED灯品牌B, 11w/E27	2.2144	1.0928	0.3655	0.1055	0.1522	0.1302
LED灯品牌C, 9W/E27	4.0633	3.3711	2.4986	1.5916	0.8294	0.4322
LED灯直管品牌C, 21W/T8	1.0861	0.4394	0.1745	0.0989	0.0806	0.0525
LED灯带品牌C, 50W/5m	4.2543	3.5660	2.7072	1.8363	1.0979	0.5764
灯规格/限制值	h15	h17	h19	h21	h23	h25
D类设备限制值	0.2567	0.2265	0.2026	0.1833	0.1674	0.1540
LED灯品牌A, 6W/E27	0.5184	0.4606	0.5562	0.5981	0.5391	0.4180
LED灯品牌B, 5.5w/E27	0.2892	0.2042	0.1243	0.0750	0.0591	0.0507
LED灯品牌B, 9w/E27	0.2189	0.1518	0.0909	0.0587	0.0463	0.0358
LED灯品牌B, 11w/E27	0.0971	0.0792	0.0734	0.0834	0.1006	0.1008
LED灯品牌C, 9W/E27	0.4779	0.5276	0.4481	0.3079	0.2285	0.2472
LED灯直管品牌C, 21W/T8	0.0483	0.0466	0.0279	0.0335	0.0193	0.0232
LED灯带品牌C, 50W/5m	0.2952	0.2166	0.2287	0.2504	0.2417	0.1826

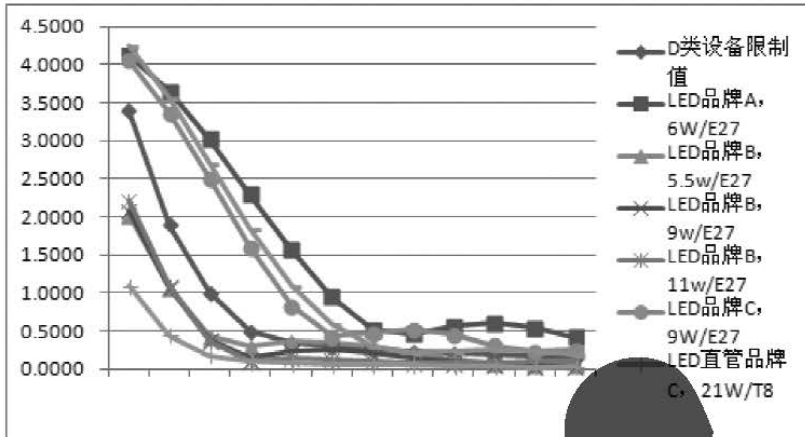


图2 LED灯谐波值与标准限值

结论2: 可以看出参照现有的标准, 有很多LED灯的谐波是达不到标准的, 这些产品在市场上大量使用会影响配电系统的电能质量。

4 结论

(1) 目前市场上LED灯产品的差异性较大, 其对配电系统电能质量的影响有几倍的差距, 虽然LED灯的功率较小, 但是大面积使用LED灯的时候, 质量好的LED灯与质量差的LED灯对配电

系统的影响是成倍放大的。

(2) 目前LED灯对电能质量的影响并没有相关标准, 有一些品牌的一些型号的LED灯对配电系统的电能质量影响满足参考标准GB 17625.1, 符合该标准的LED灯使用时可以参照合格的紧凑型荧光灯使用, 不符合的LED灯使用时需要谨慎。

笔者建议挑选LED灯时要选择成熟的LED灯品牌及其型号, 避免为了美观和表面的节电, 使实际用电量增大对电能质量造成影响,

也希望相关部门能够尽快制定标准, 对市场上的LED灯进行严格监管。

参考文献

- [1] 李炳华. 建筑电气节能技术及设计指南[S]. 中国建筑工业出版社, 2011.
- [2] GB17625.1-2012. 电磁兼容限值谐波电流发射限值(设备每相输入电流 $\leq 16A$)标准[S], 2012.

某大型模式动物生产厂房 工艺设计

■ 高灿 李红 杨勇 [工艺]

摘要: 基因组改造疾病模型动物是当前国际生物医学研究的热点,也是人类疾病病理研究及新药动物实验的重要材料,市场需求量巨大。本文结合实际项目分析了大型模式动物生产厂房设计原则与特点,并探讨了集中送风式隔离饲养器与IVC笼架应用的优点。

关键词: 模式动物;独立通风笼具;双走廊;屏障环境;隔离饲养器

0 引言

围绕疾病开展的基础研究是社会发展的需要,有助于改善人类健康,加快新药研发速度、降低新药研发成本,同时国家自然科学基金委员会大力支持并推动了模式生物在基础研究中的应用^[1]。常用于医学基础研究的模式动物包括大鼠、小鼠、果蝇、线虫等,其中小鼠是医学研究中最重要模式动物,许多疾病的动物模型都是小鼠模型,因此对特定疾病的小鼠模型需求量增长迅速。由于这类通过基因改造的小鼠模型生命力差而价值高,对动物生产厂房提出了更高的要求。

本文将结合我院设计的某大型模式动物生产厂房项目,着重从厂房设施、平面布局及饲养设备方面介绍这类厂房的设计特点,与业界同行共同探讨。

1 项目介绍

该项目通过转基因模型、基因剔除/敲入模型、诱变模型等方法制备具有自主知识产权的特

定疾病的大小鼠模型,最大设计年生产量280万只。该项目建筑总面积40000m²,其中动物生产车间25000m²,实验中心11000m²。针对不同种类小鼠生产厂房设置SPF饲养区和隔离器饲养区。

1.1 总图方案

本项目依据生产工艺流程及地块情况对整个厂区进行了合理的总体规划。整个地块分为:生产区、行政生活区、辅助设施区及预留区4个功能区,总体功能分区合理、明确、流程顺畅。其中人流主入口位于地块西北侧,物流主入口位于东南侧。动物生产厂房布置于地块上风向,同时远离交通主干道,避免噪声干扰及减少粉尘污染。项目总图方案见图1。

在动物生产厂房、实验中心及生活区之间设置中心绿化区,既满足绿化面积要求又可实现功能分区的划分,并体现人文的设计理念。结合模式动物生产中基因敲除、胚胎移植等实验中心与动物生产厂房的密切关系、人物流交往频繁,该项目采用两个连廊将动物生产厂房与实验中心联系在一起,便于彼此间的联系,实现工艺流程的顺畅。

1.2 动物生产厂房工艺方案

该项目规划饲养量较大,各类模式大小鼠月生产量达28万只,笼具、笼架、饮水瓶、垫料饲

作者简介:高灿,男,助理工程师,2014年毕业于天津大学制药工程专业,现就职于中航规划医药工程研究院。

料日处理量巨大。工艺布置考虑将清洗准备中心集中设置于一层，二至四层为饲养区。清洗后器具通过专用电梯运送至各层，进入饲养区的各类物品均经过高压灭菌。各层污物通过专用电梯返回一层经过清洗回用或外运。公用工程集中布置于地下一层，以一层清洗中心为间隔，将噪声干扰降到最低。各层洁净饲养区的空调系统分布于各层两侧，实现空调风管最短，并能便于实现分区控制，降低能耗。动物生产厂房示意图见图2。

2 工艺布置特点

传统动物房布局要求：①动物实验区的设施应与饲养区分开设置；②不同品种、品系的实验动物以及不同来源的动物不应再同一间饲养，应该分设不同的饲养间；③应考虑预留一定数量的备用房间，以便假期轮流对房间进行消毒处理；④实验室应设观察小室，以避免用药后的动物受到外界环境的干扰；⑤带烈性传染性、致癌、使用剧毒物质的实验动物，均应在负压隔离设施或与外界绝对隔离防护的设备内操作。此类设施、设备须具有特殊的传递系统，确保在动态传递过程中与外界绝对隔离。排气和废物须经过无害化处理。

近年来随着生物医药的迅速发展以及疾病基础研究的深入，对特定疾病的模式动物需求量增

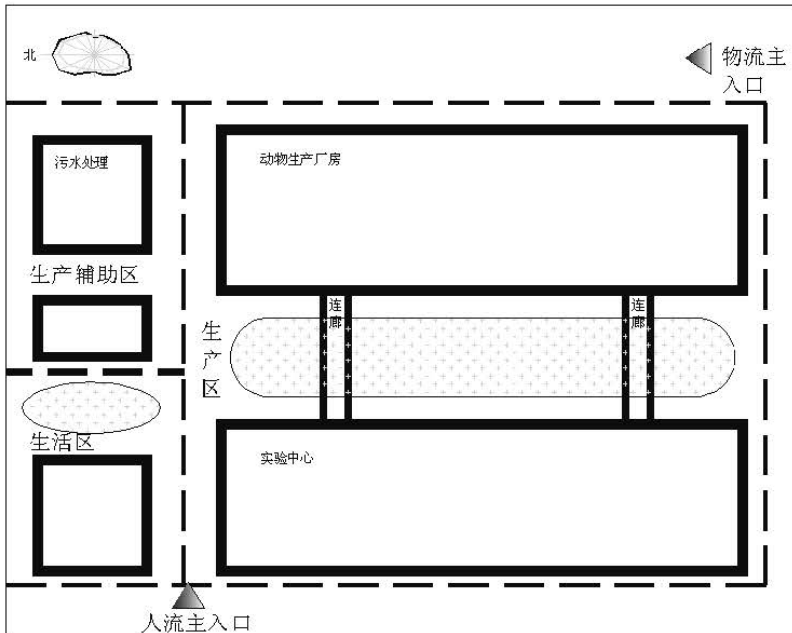


图1 项目总图方案



图2 动物生产厂房示意图

长迅速，这就对大型模式动物生产厂房布置提出了新的要求。在满足规范的要求下，该类模式动物生产厂房布置特点有以下几方面特点。

2.1 环境要求

依据《实验动物环境及设施》、《实验动物设施建筑技术规范》实验动物环境设施分为普通环境设施、屏障环境设施和隔离环境设施。由于模式动物的特殊性，其开放饲养的环境设施应为屏障环境或隔离环境。屏障环境或隔离环境具体参数见表1。

2.2 “单向流”、“双走廊”理念

为了最大限度地避免人物交叉污染的可能性，人员及物品为单向流，动物生产区平面布局采用双走廊方式，有利于防止疾病传播，避免动物之间的干扰及交叉感染。

该项目中人员电梯及人员更衣辅助区设置在厂房南侧，物流电梯及灭菌设施位于厂房北侧，厂房中间为洁净走廊，两侧为污物走廊。人员通过污物走廊南侧的退更退出饲养区，实现人员单向流动，物料通过灭菌后进入饲养区，污物通过污物走廊北侧污物气锁退出饲养区，并通过污物电梯运至一层清洗中心。动物生产厂房标准层平面布置图见图3。

2.3 动物隔离观察

针对模式动物的生命特征，为了防止外来动物对模式动物的污染及疾病传播，需要设置单独的隔离饲养区进行一段时间的隔离饲养观察。隔离饲养区设置单独的人物流出入口，外来动物通过污物电梯运至各层，由动物传递窗进入隔离饲养间，合格之后的动物通过另一个动物传递窗传入饲

表1 屏障环境或隔离环境具体参数(大鼠、小鼠)^[2]

项目	屏障环境	隔离环境
温度(℃)	20~26	20~26
相对湿度(%)	40~70	40~70
最小换气次数(次/h)	15	—
与相通房间最小静压差(Pa)	10	50
沉降菌最大平均浓度(个/0.5h, Φ90mm平皿)	3	无检出

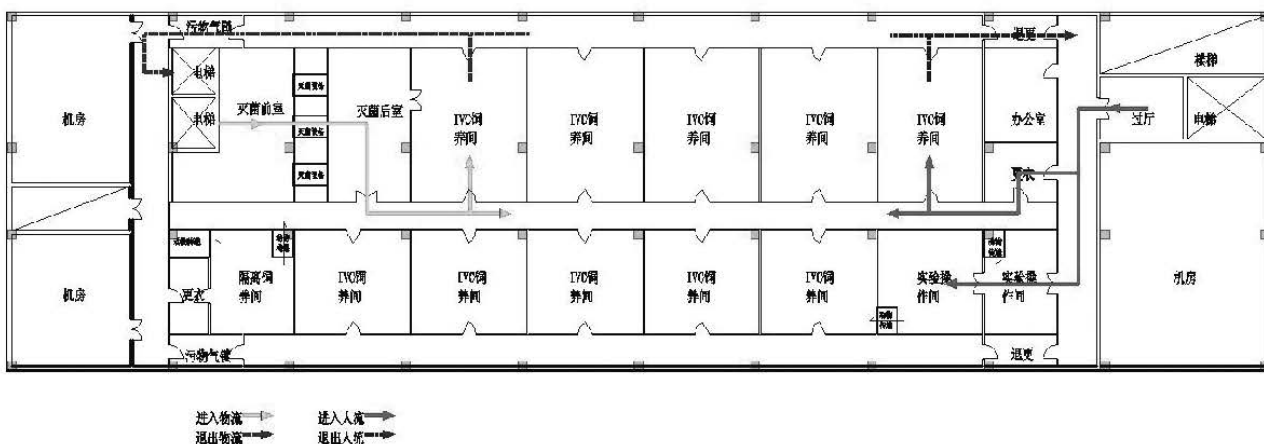


图3 动物生产厂房标准层平面布置图

养区。这种布置最大程度降低了隔离饲养区发生污染时对模式动物饲养区的影响。

2.4 实验区与动物生产区联系

模式动物生产过程中需要胚胎移植、胚胎注射等操作，这些要求就使得模式动物生产厂房有别于传统大型动物生产车间。传统动物房需要将动物生产区与动物实验区分开设置。

该项目中将与动物生产操作关系较小的基因敲除等动物实验室设置于实验中心，实验中心通过连廊与动物生产车间联系，将与动物生产联系密切的胚胎移植等操作间设置与动物生产厂房南侧。这种布局既能减少动物实验对动物生产的影响，又能方便生产操作，满足模式动物生产要求。

3 工艺设备

3.1 IVC设备使用

IVC独立通风笼架适用于清洁级以上动物的饲养，能够为动物提供相对独立的饲养环境。IVC

独立通风笼架为非标设备，一般根据用户需求定制设备。

IVC由主机、笼架和笼盒三部分组成，是屏障级小型啮齿类动物净化通气常用的饲养设备，具有气流平稳、噪声较小等特点，能够为动物提供相对密闭的生活环境^[3]。模式动物为SPF级动物，IVC能够满足模式动物饲养要求。

IVC的通风系统分为独立送风与集中送风两种形式，针对大型模式动物生产厂房采用集中送风形式优势较为明显：每层空调机房中设置单独的空调机组为本层IVC提供新风，通过风管直接送到每个IVC笼具，新风经过IVC笼架的高效过滤器后由分配管送至每个笼盒。排风通过高效过滤器之后集中收集、除味排放。

集中送风IVC形式较从房间吸排风的IVC能够降低因局部动物感染而对该房间其他动物的风险，实现模式动物饲养“双保护”（房间环境与笼盒内环境），同时也能增加房间压差的稳定性。IVC独立通风笼架图见图4。

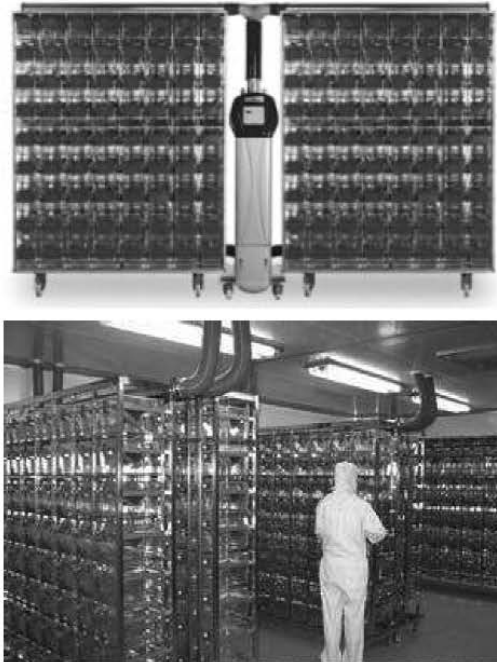


图4 IVC独立通风笼架



图5 隔离饲养器

3.2 隔离饲养器使用

隔离饲养器适用于SPF级动物，悉生、无菌或感染动物的饲养。隔离饲养器隔离器室、传递系统、操作系统、进出风过滤系统、风机、架体等组成。隔离饲养器根据材质和形式可以分为两类：①软质隔离器：主体空间大小可随通风而变化；②硬质隔离器：主体空间大小应不随通风而变化。隔离饲养器同IVC独立通风笼具属于非标设备，一般根据实验动物饲育品种、动物实验的要求确定隔离器的尺寸。

本项目中对于有特殊要求的模式动物可采用隔离饲养器饲养，其送排风理念与前述理念相似，均采用集中送排风形式。能够降低感染风险。隔离饲养器见图5。

4 问题与思考

由于IVC及隔离饲养器采用集中送风形式，并有单独空调机组供风，在饲养量稳定的情况下，通过调节送风量及风压可以实现笼盒内满足屏障环境要求，在这种情况下IVC的背景环境可以适当降低以实现节能。但是对于这种降低房间环境要求的做法，还没有相关的具体规定和要求，同时各地动管办（动管会）对这种做法尚未形成统一意见。因此该方法需要进一步深入研究、谈论与验证。

5 总结

针对模式动物饲养量逐渐增大的趋势，本文结合具体实际项目谈论了大型模式动物生产厂房总体规划、工艺布局特点及集中送风系统的IVC和隔离饲养器的使用条件及优点，并对集中送风系统的IVC和隔离饲养器背景环境要求提出了思考。

(1) 模式动物既有较高的经济价值，又存在某些生存缺陷，应在IVC笼架或隔离器中进行饲养繁殖。

(2) 集中送风系统的IVC和隔离器形式适用于大型高规格饲养情况，能够极大地降低交叉感染的风险，但当饲养量变化范围较大，集中送风系统的空调系统变化范围成为重要限制因素。

参考文献

- [1] 江虎军, 冯锋, 等. 模式动物与人类疾病的动物模型[J]. 生命科学, 2011(3): 234-238.
- [2] 《实验动物 环境及设施》(GB-14925-2010), 中国标准出版社, 2011.
- [3] 元翠玲, 李明, 等. IVC实验动物房的建设及管理[J]. 临床和实验 医学杂志, 2010(4): 564-565.

通辽图书馆超限结构抗震设计

■ 崔巨宏 王德刚 金来建 刘茵 [结构]

摘要: 通辽图书馆项目存在楼板局部不连续、侧向刚度不规则、扭转不规则、尺寸突变、局部不规则等多项不规则,属超限工程。针对超限特点,本文采用两个不同计算软件进行多遇地震、设防烈度地震和罕遇地震的对比计算分析,并基于性能化抗震设计,根据构件的重要性提出不同的性能化目标,提出相应的可采取的加强措施。

关键词: 超限;不规则;动力弹塑性分析;抗震性能化

1 工程概况

通辽图书馆(见图1)位于内蒙古通辽市新城区文化休闲商务区,哲里木大桥北,建国北路以东,柳荫路以南。通辽图书馆主要是集阅览、会议区、办公、研究及培训等功能的综合性建筑。本工程主体建筑总平面尺寸约 $170\text{m}\times 110\text{m}$,建筑面积 38150m^2 ,结构屋面高度 36m ,无地下室。

本工程主体建筑主要分为3个体块,北侧宽度约 24m 的长条形的办公区;南侧为形似眼睛的阅览区;二者之间为长条形的中庭。

主体结构设计使用年限为50年,建筑结构安全等级为二级,抗震设防烈度为7度,设计基本地震加速度值为 0.1g ,地震分组为第一组,本工程的抗震设防类别为标准设防类。根据通辽市工程地震站于2014年1月提供的《通辽市图书馆工程场地地震安全性评价报告》,本工程场地50年超越概率10%的水平地震动峰值加速度为 0.1g ,相当于地震设防烈度VII度。建筑场地类别为III类,特征周期 $T_g=0.45\text{s}$ 。工程主体结构设置一道抗震缝,分为南北两个结构单元,北侧办公区为一个结构单元,建筑面积约 $1.4\text{万}\text{m}^2$,结构形

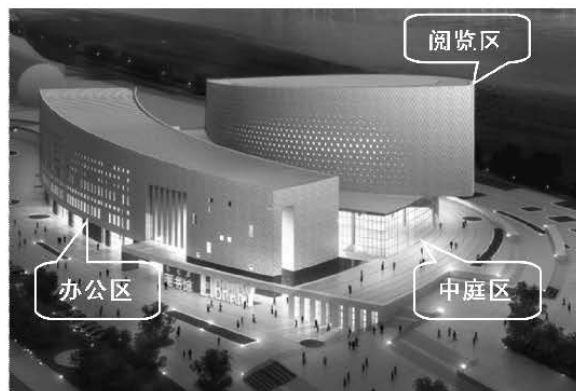


图1 建筑物效果图

式采用钢筋混凝土框架结构,基础形式为独立柱基;南侧阅览区和中庭为一个结构单元(见图2)建筑面积约 $2.4\text{万}\text{m}^2$,结构形式采用钢筋混凝土框架剪力墙结构,基础形式为独立柱基和墙下条基。本文重点介绍较复杂的南侧结构单元的分析 and 性能化设计。

2 结构体系及超限特点

2.1 混凝土结构体系

南侧结构单元建筑面积约 $2.4\text{万}\text{m}^2$,阅览区共6层,每层层高 6m ,主要结构屋面高度 36m ;中庭共3层,屋面标高为 $15.9\sim 24.58\text{m}$,局部为通高空

作者简介:崔巨宏,男,高级工程师,2002年毕业于同济大学土木工程专业,现就职于中新规划建筑设计研究院。

间。柱网随建筑形体变化，柱间距主要为9m，局部为通高空间主体混凝土结构结合建筑物楼、电梯间设置剪力墙（见图2）。

2.2 钢结构体系

4~6层通高空间的外维护幕墙及采光屋面采用钢结构，为保证建筑功能及菱形窗格的视觉效果，南北幕墙采用斜向钢网格结构，网片高度为22~26m，菱形网格边长约4m，顶部通过钢梁或钢桁架与主体结构相连。北侧钢网格结构支撑在入口中庭屋面框架梁上；南侧钢网格结构悬挂在屋面的悬挑钢桁架下方，最大悬挑程度约10.6m，利用斜向钢网格作为拉杆，拉住4层的局部楼面（见图3~图6）。

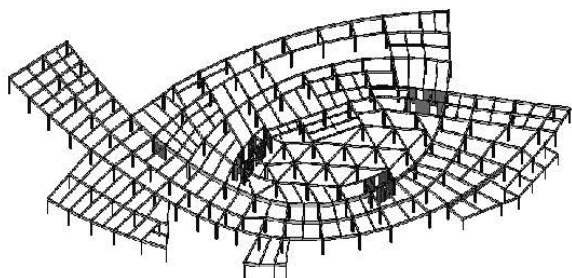


图2 一层结构布置透视图

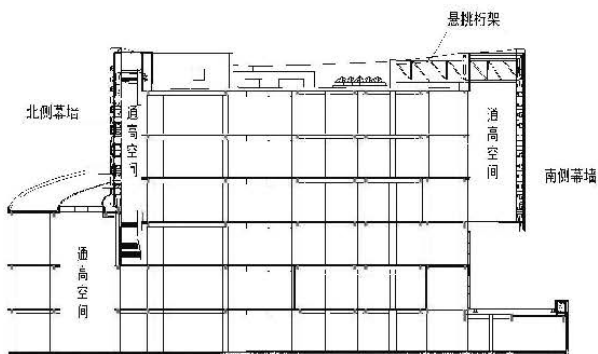


图3 建筑剖面图

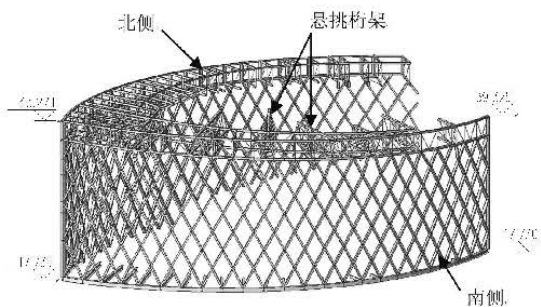


图4 主要钢结构模型

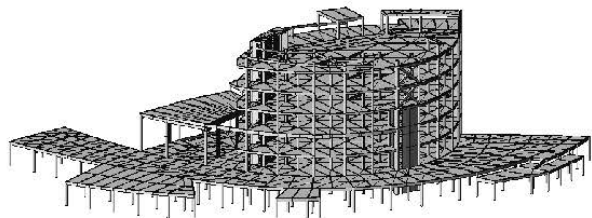


图5 主体混凝土模型

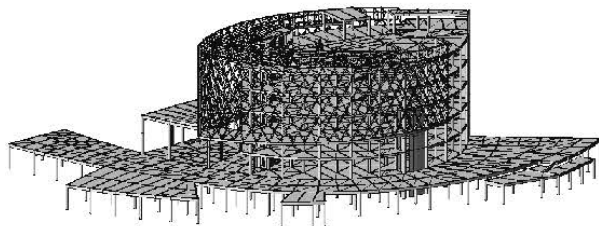


图6 整体结构模型

3 结构超限情况与设防目标

根据工程特点，主体结构的超限特点包括以下几点：

(1) 楼板局部不连续：入口中庭部位为通高空间，楼板局部不连续，X向有效楼板宽度小于该楼层楼板典型宽度50%（见图10）；

(2) 侧向刚度不规则：入口中庭屋面标高为15.9m~24.58m，主要结构屋面标高36m，局部收进的水平向尺寸为29%，大于相邻下层的25%；

(3) 扭转不规则：在规定水平地震力作用下，部分楼层考虑偶然偏心的扭转位移比大于1.2，但均小于1.4；

(4) 尺寸突变：屋面悬挑钢桁架水平最大外挑尺寸10.6m，大于4m；

(5) 局部不规则：局部存在穿层柱，个别构件错层、转换。

综上所述，本工程属于复杂超限项目，根据以上特点，按《高层建筑混凝土结构技术规程》（JGJ3-2010）第3.11节“结构抗震性能设计”的规定，本工程的抗震性能目标定为C级。确定如下抗震性能设计目标：

(1) 主体结构在多遇地震作用下，满足现行规范、规程弹性设计要求，结构完好、无损坏；在罕遇地震作用下不倒塌，楼层弹塑性位移角满足规范、规程要求，破坏形式及构件进入塑性的部位和顺序合理；

(2) 穿层柱在设防地震作用下处于弹性;

(3) 悬挑钢桁架在设防地震作用下处于弹性, 钢桁架与主体结构的连接节点在罕遇地震作用下不屈服;

(4) 南、北侧钢网架结构及支撑北侧钢网架结构的混凝土框架在设防地震作用下处于弹性;

(5) 底部加强区剪力墙在罕遇地震作用下允许进入塑性, 并控制变形。

4 结构分析

4.1 多遇地震分析

采用Pmsap、Midas程序以振型分解反应谱法进行多遇地震下的抗震验算, 各项指标计算结果见表1, 两程序各项控制指标基本一致, 且均满足现行规范、规程的要求。

表1 两软件计算各项指标对比

		Midas		Pmsap	
周期 (s)	T1	1.2154		1.2520	
	T2	0.9578		1.0652	
	Tt	0.9277		0.9177	
Tt/T1		0.763		0.732	
		X向	Y向	X向	Y向
总质量 (t)		43187.53		42458.50	
基底剪力 (kN)		13950.6	11206.7	12546.4	11413.7
最小剪重比		3.2%	2.6%	2.95%	2.69%
最大层移角 (所在层号)		1/1715 (3)	1/1308 (3)	1/ 1291 (2)	1/ 1330 (3)
振型数		45		40	
振型参与 系数		99.88%	99.88%	94.3%	96.2%

4.2 多遇地震下的弹性时程分析

根据“高规”第4.3.4条要求, 采用Pmsap软件和Midas软件分别进行多遇地震下的弹性时程分析, 根据规范要求选取两条天然波一条人工波进行计算。Midas中选用1952, Taft Lincoln School、1994,cpc_74两条天然波和一条人工波。

由于Pmsap程序不能导入波数据文件, 在Pmsap进行时程分析时, 选用其软件自带的两条天然波和一条人工波进行计算。主方向、次方向和Z向输入地震峰值加速度按1:0.85:0.65进行调整。

两软件的计算结果均可满足规范要求。以Pmsap计算结果为例, 3条波的平均谱与规范谱的对比如图7所示, 在主要周期振型点上, 平均谱与规范谱的相差不大于20%, 满足规范在统计意义上相符的规定。表2中为Pmsap程序中三条地震波时程分析与反应谱分析的对比结果, 每条时程曲线计算所得的结构底部剪力均大于振型分解反应谱法计算结果的65%, 多条时程曲线计算所得结构底部剪力的平均值均大于振型分解反应谱法计算结果的80%, 满足规范要求。采用时程分析法结构基底总剪力、结构位移等结构动力响应平均峰值与振型分解反应谱法计算结果基本接近。

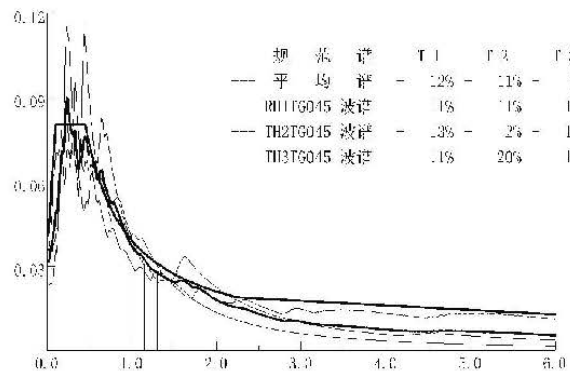


图7 规范谱与平均谱的对比值

根据分析结果, Pmsap计算时, 在其中一条天然波作用下, X向楼层剪力在5、6层地震剪力有所增加, 分别是规范谱作用下的1.092倍和1.127倍, Y向楼层剪力在6层地震剪力有所增加, 是规范谱作用下的1.057倍, 施工图阶段, 设计时采用振型分解反应谱法, 根据弹性时程分析结果, 对5、6楼层地震作用进行调整, 确保按时程法计算结果的包络值与振型分解反应谱法计算结果的较大值进行构件设计, 保证结构的整体安全。

4.3 设防地震分析

采用Pmsap软件和Midas软件进行了设防地震作用下的弹性反应谱分析。通过Pmsap多遇地震反应谱与中震弹性反应谱比较, 中震弹性基底剪力是多遇地震的3.5倍左右, 层间位移角增大3倍, 且小于2倍弹性位移限值, 可认为设防地震作

表2 PMSAP程序弹性时程分析与规范反应谱计算结果比值

层号	X向				Y向			
	天然波1	天然波2	人工波	平均值	天然波1	天然波2	人工波	平均值
6	90.00%	112.70%	101.90%	101.53%	63.30%	105.68%	79.60%	82.86%
5	87.10%	109.20%	99.20%	98.50%	65.50%	98.72%	78.10%	80.77%
4	83.70%	99.60%	97.70%	93.67%	71.50%	75.12%	75.10%	73.91%
3	73.90%	81.00%	92.20%	82.37%	69.60%	66.96%	96.60%	77.72%
2	72.50%	62.20%	84.30%	73.00%	65.30%	69.12%	100.70%	78.37%
1	83.80%	74.60%	84.60%	81.00%	67.40%	80.72%	95.10%	81.07%

用下，结构轻微损坏，宏观指标满足“高规”中性能水准C级的目标。最大位移比也有所增加。通过Midas和Pmsap两种软件进行中震弹性分析，基底剪力，剪重比，层间位移角，所在层号及最大位移比均相差不多。

4.4 罕遇地震下的弹塑性时程分析

结构丧失稳定以致倒塌是由于重力作用在有过大侧向变形后结构的几何状态所引起的（“P-Δ”效应）。因此，达到防倒塌设计目标的中心思想是限制结构的最大层间位移角在规定的限值，抗震规范规定应对罕遇地震作用下结构的弹塑性最大层间位移角进行了验算并要求限制结构的最大层间位移角在1/100以内（对框架-剪力墙结构）。同时限制结构的最大弹塑性层间位移角还不足以保证达到防倒塌的抗震设计目的，结构构件的破坏（以结构构件的弹塑性变形来衡量）也必须被限制在可接受的规定限值以内，以保证结构构件仍有能力承受地震结束后作用在结构上的重力荷载。通过考察塑性铰的分布与状态对结构抗震性能进行评估，进而确定结构的加强措施。

为验证大震不倒的抗震设防目标，采用Midas Gen软件进行整体模型罕遇地震下的动力弹塑性时程分析。建立分析模型时，梁、柱、连梁采用塑性铰模型，其中钢筋混凝土和型钢混凝土构件采用了修正武田三折线模型，钢结构构件则采用了标准双折线滞回模型。剪力墙采用“等代薄壁柱+刚臂”简化线单元模拟（见图8）。

如表3所示，简化模型与原模型周期接近，前3阶振型也基本一致，说明简化模型与原模型动力特性接近，采用“等代薄壁柱+刚臂”的简化方法

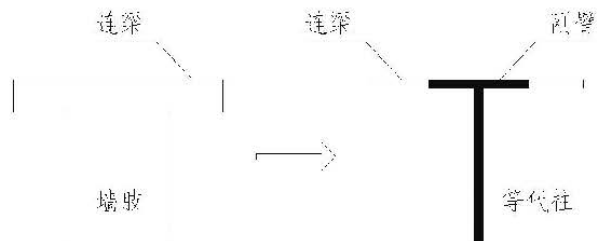


图8 剪力墙等代示意图

可以用作结构动力弹塑性分析。大震弹塑性时程分析选用的3条地震波及输入方式与多遇地震弹性时程分析时相同，水平加速度峰值按抗震规范的规定，采用220gal，轮换X、Y主方向进行了总计6个工况的大震作用下弹塑性分析，并与大震和小震反应谱分析的计算结果进行了对比。

4.4.1 基底剪力

表4中统计了3条地震波大震弹塑性时程作用下，地震作用主方向的基底剪力及其与小震反应谱、大震反应谱的基底剪力的比较结果。可以看出，由于结构在罕遇地震作用下混凝土发生损伤乃至破坏，出现塑性变形，结构的侧向刚度随之减弱，由于结构塑性的发展和损伤的累积造成结构内部更大的阻尼，同时刚度退化使结构本身周期变长，地震反应降低且出现明显滞后，罕遇地震作用下弹塑性分析的基底剪力比弹性分析的基底剪力小30%左右，为小震反应谱分析的5倍左右。

4.4.2 层间位移角

表5中统计了3条地震波大震弹塑性时程作用下，最大层间位移角的计算结果。结构在罕遇地震作用下动力弹塑性时程分析结构X向平均层间位移为1/224，出现在2层，Y向最大层间位移角为

表3 简化模型与原模型周期结果对比

模态数	原模型周期 (s)	简化模型周期 (s)	偏差
1	1.2154	1.3220	8.8%
2	0.9578	1.0623	7.5%
3	0.9277	1.0398	12.1%

服状态, 均未发生3级屈服, 表明剪力墙开裂或进入塑性铰, 且具有一定变形能力的储备。

综合考虑结构位移响应、构件出铰状态和构件屈服状态, 在罕遇地震下的本工程具有明显的强度和变形能力安全储备, 认为抗震性能优于大震不倒的抗震设计目标。

施工图设计中, 1~4层剪力墙按底部加强区

表4 大震动力弹塑性基底剪力计算结果对比

地震波		Taft Lincoln School波		cpc_74波		人工波	
		X主方向	Y主方向	X主方向	Y主方向	X主方向	Y主方向
大震弹塑性时程分析基底剪力(KN)		65630	55770	78270	87040	69650	63700
与大震反应谱对比(KN)	剪力	98141	78693	98141	78693	98141	78693
	比值	66.8%	70.9%	79.7%	110.6%	71.0%	80.9%
与小震反应谱对比(KN)	剪力	13950.6	11206.7	13950.6	11206.7	13950.6	11206.7
	比值	4.7	5.0	5.6	7.8	5.0	5.7

表5 大震层间位移角统计

地震波	Taft 波		cpc_74波		人工波	
	X向	Y向	X向	Y向	X向	Y向
位移角(层号)	1/263 (3)	1/214 (3)	1/250 (2)	1/132 (3)	1/224 (2)	1/194 (2)

1/132, 出现在3层, 均满足《高规》规定的弹塑性层间位移角1/100的要求。

4.4.3 主要结构构件的损伤

弹性反应谱分析结果与弹塑性分析结构相比, 后者体现了结构在地震作用中构件塑性发展导致结构刚度退化, 结构阻尼增大, 地震反应减小。以Taft波Y向地震作用的情况为例, 如图9、10所示, 罕遇地震作用下, 结构的连梁先出铰屈服, 大部分剪力墙随后刚度降低出铰屈服, 结构主要墙肢出现1~3级塑性铰, 个别墙肢进入4、5级塑性铰, 说明剪力墙构件在安全极限内, 框架开始承担部分剪力墙传来的剪力出铰屈服, 少部分框架梁、柱构件产生1~2级塑性铰屈服, 表示本结构将双重抗侧力结构的优势充分发挥, 剪力墙起到第一道防线抵抗大震的作用, 框架具有足够的承载力和延性。结构主要墙肢处于1、2级屈

设计, 提高底部加强区墙体竖向分布钢筋配筋率至0.5%, 墙体约束边缘构件纵向钢筋配筋率提高至1.4%; 提高底部加强区之上墙体竖向分布钢筋配筋率至0.3%, 墙体约束边缘构件纵向钢筋配筋率提高至1%, 提高大震下结构延性; 出现4、5级塑性铰的墙肢, 提高该墙体竖向分布钢筋配筋率至0.6%, 墙体约束边缘构件纵向钢筋配筋率提高至1.6%。

4.5 局部不连续楼板分析

如图11所示, 2层顶板存在局部不连续楼板, X向有效楼板宽度为46%, 在地震分析时采用指定弹性楼板进行分析计算。在中震作用下, 2层顶板应力计算见图12, 其中Y向楼板应力较大, 洞口角部有应力集中现象, 在Y向地震作用下, Y向最大正应力为1.6866Mpa。按裂缝控制等级二级, 采用混凝土轴心抗拉强度标准值作为控制薄弱部位

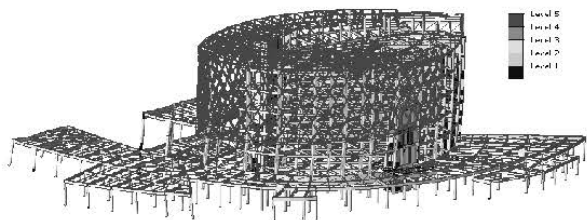


图9 Taft Y向大震时出铰情况

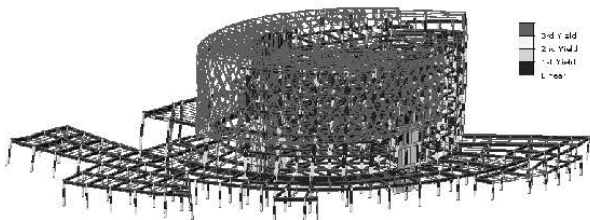


图10 Taft波Y向大震结束时屈服状态

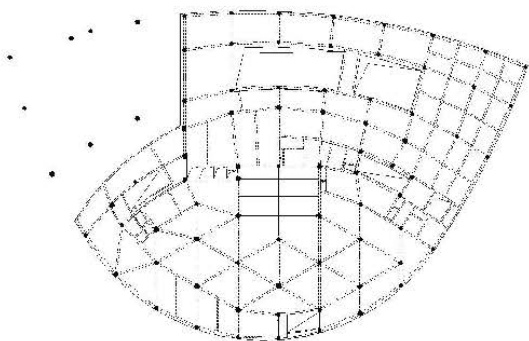


图11 二层顶板平面图

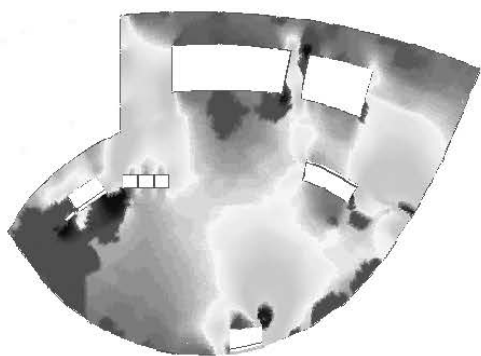


图12 二层顶板应力图

连接楼板混凝土开裂的指标，主拉应力标准值均小于C30混凝土的抗拉强度标准值2.01Mpa，说明在中震作用下，楼板不会产生裂缝，满足裂缝控制等级二级的要求。施工图设计中，加强洞周边

梁抗扭钢筋以及箍筋，有效宽度小于50%相关部位的楼板及与其相连的楼板，根据中震作用下楼板的应力，按弹性设计配筋，并适当加大，以保证地震作用下，楼板有足够的刚度，传递地震水平作用。

5 钢结构设计

5.1 钢结构对主体结构刚度的影响

本工程建筑立面为完整的石材幕墙，斜向设置菱形窗格，为保证视觉效果，南北幕墙采用斜向钢网格结构。在风荷载、温度荷载等外加活荷载作用下，为保证幕墙结构具有良好的刚度，避免因局部变形过大引起石材破损、脱落造成安全隐患，幕墙内的斜向钢网格结构与主体结构的连接节点均采用不动铰连接。钢网格结构在平面内拥有巨大的刚度，虽然阅览区的通高空间将钢网格结构与阅览区的楼板分开，但仍通过支撑北侧钢网的框架梁、悬挂南侧钢网的屋面悬挑桁架等构件参与到主体结构的刚度中。

如表6所示，将完整模型和纯混凝土结构模型（不含钢结构及其质量）多遇地震作用下与刚度有关的各项计算指标进行了对比，根据“高规”3.5.2条关于侧向刚度的定义计算，与纯混凝土模型相比，完整模型的X向侧向刚度增加28%，Y向增加14%。

表6 Pmsap中与刚度有关的参数统计

		完整模型	纯混凝土模型
第一周期 (s)		1.2520	1.1786
总质量 (t)		42458.5	40188.6
基底剪力 (kN)	X向	12546.4	10776.0
	Y向	11413.7	10315.8
屋面板位移 (mm)	X向	14.16	15.62
	Y向	18.63	18.01

为保证结构在设防地震和罕遇地震作用下的结构体系不发生改变，防止钢网格结构失效退出工作，主要钢结构及与其相连的主体结构构件是需加强的关键构件，有必要进行设防地震和罕遇地震作用下的专门分析并加强。

5.2 钢结构在多遇地震和设防地震下的分析

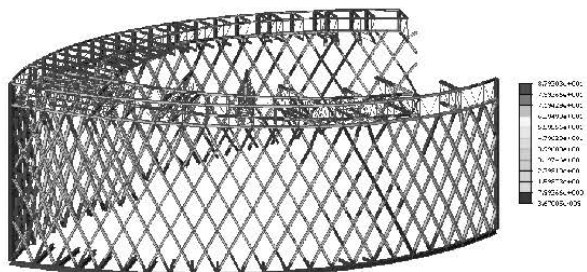
钢结构在多遇地震和设防地震X向作用下单工况的应力如图12所示,其中钢网格结构和悬挑钢桁架在多遇地震作用下应力基本为30~50Mpa,在设防地震作用下应力基本为40~80Mpa,与多遇地震相比,在设防地震作用下,钢结构杆件应力增加约20~30Mpa。施工图设计中,控制钢结构在多遇地震包络及静力包络(恒载、活载、风、雪、温度)下应力比不超过0.85;在设防地震包络下,控制悬挑钢桁架上下弦杆、悬挂钢网片主要杆件抗震承载力满足弹性设计要求,应力比不超过1.0。由于在多遇地震反应谱设计时,钢结构部分绝大部分构件是静力控制应力,考虑中震弹性后,应力比有所增大,但用钢量增加不多,仅个别构件截面略有增加。钢网格结构采用450mm高的焊接工字钢,强轴垂直于弧形立面,悬挑长度较大的钢桁架结合建筑形体,采用3m高的三角形桁架。

在设防(单工况)作用下,中庭顶部北侧斜向钢网格及其下方框架部分杆件的剪力及弯矩见图13,支撑斜向钢网格的框架,钢网片悬挑区域根部出现应力集中,最大单工况剪力约1400kN,剪力包络值为3177kN,最大单工况弯矩约为1500kNm,最大弯矩包络值为2744kNm,均位于悬挑根部的框架柱上。施工图设计中,该榀框架根据中震计算结果,按中震弹性设计。支撑钢网格的框架梁均按“高规”10.2.4条中转换梁进行设计,并提高抗震等级一级,由三级提高到二级。为加强支撑斜向钢网格的框架的抗侧刚度,该部位所有框架柱均采用钢管混凝土柱。出现应力集中的框架柱,采用直径1200mm的钢管混凝土柱,钢管为直径600mm,壁厚40mm的圆钢管。与钢网格结构相连的框架梁,截面为450×1000×30的方钢管。

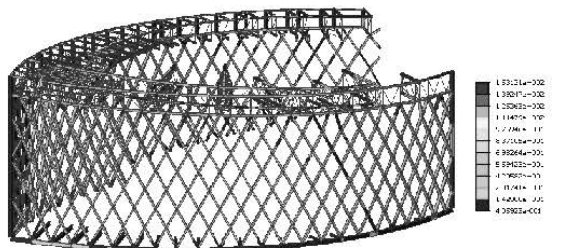
5.3 钢结构罕遇地震下的弹塑性时程分析

以Cpc波X向作用时为例,中庭顶部北侧斜向钢网格及其下方框架部分杆件的出铰情况见图14,钢网格结构和悬挑钢桁架结构均不产生塑性铰;支撑钢网格的框架,在罕遇地震作用下,仅个别构件产生1、2级塑性铰,综合三条波的计算结果,可以认为整体基本不产生塑性铰,在大震作用下,可以有效支撑钢网格结构。

以悬挑10.6m的桁架为例(见图15),与中震相比,大震(单工况)时节点处桁架各杆轴力约为中震时的2倍,按照节点强于杆件的原则,悬挂南侧钢

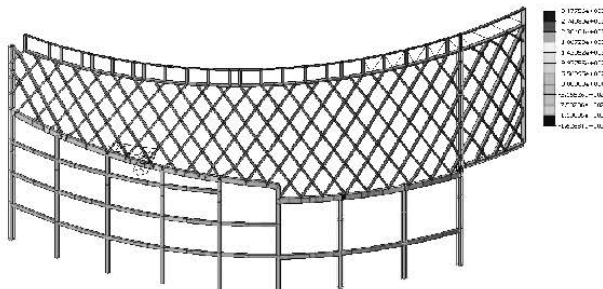


(a) 多遇地震下钢结构应力图

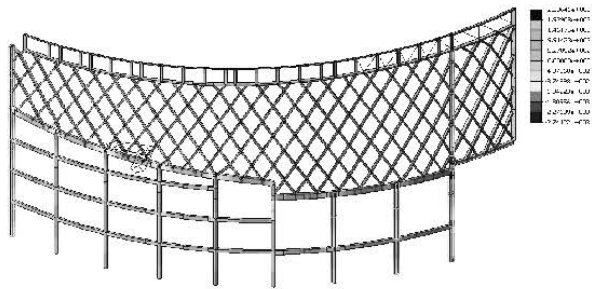


(b) 设防地震下钢结构应力图

图12 设防地震作用下钢结构应力



(a) 支撑钢网片部位构件剪力



(b) 支撑钢网片部位构件弯矩

图13 支撑钢网片部位构件应力

网格结构的悬挑桁架与主体结构的节点,按照“中震弹性”和“大震不屈服”包络设计。为加强桁架与主体结构的整体性,该桁架相连的出屋面框架柱均采用钢管混凝土柱,柱截面根据桁架荷载按“中震弹性”和“大震不屈服”包络设计,桁架下弦与钢管柱的钢牛腿焊接,桁架与框架柱的节点见图15。

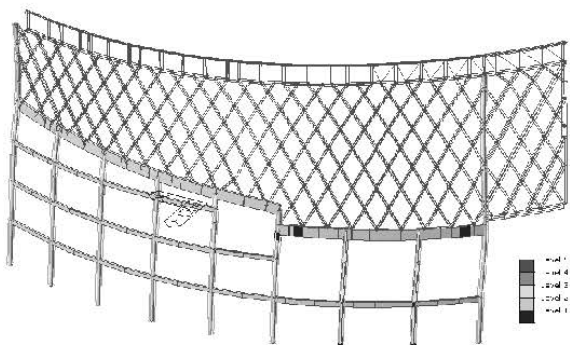


图14 支撑钢网片部位构件出铰状态

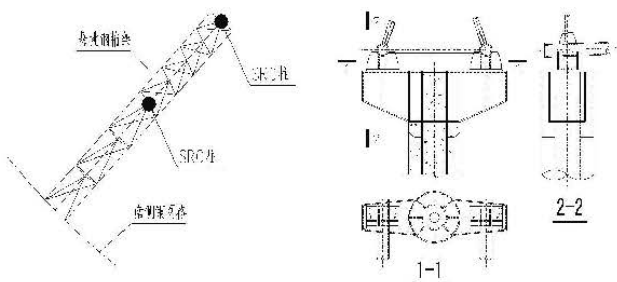


图15 悬挑桁架与钢柱的节点

6 加强措施

针对本工程特点,根据分析计算结果和结构所要满足的性能目标,采取了以下抗震加强措施:

(1) 计入扭转影响,计算双向水平地震作用。加强周边梁抗扭钢筋以及箍筋,周边柱箍筋全长加密。

(2) 楼板局部不连续、大开洞处采用弹性楼板进行分析,板厚根据地震力增厚,板钢筋双层双向贯通布置,楼板的最小配筋率为0.25%,加强洞边梁抗扭钢筋以及箍筋。

(3) 悬挑桁架、竖向钢网格结构、支撑悬挑桁架的框架柱、支撑钢网片的框架等部位,专门进行分析,按中震弹性控制。

(4) 悬挑钢桁架与框架柱的节点按中震弹性和大震不屈服包络设计。

(5) 1~4层剪力墙按底部加强区设计,提高底部加强区墙体竖向分布钢筋配筋率至0.5%,墙体约束边缘构件纵向钢筋配筋率提高至1.4%;提高底部加强区之上墙体竖向分布钢筋配筋率至0.3%,墙体约束边缘构件纵向钢筋配筋率提高至1.0%,提高大震下结构延性;出现4、5级塑性铰的墙肢,提高该墙体竖向分布钢筋配筋率至0.6%,墙体约束边缘

构件纵向钢筋配筋率提高至1.6%。

(6) 入口中庭屋面收进部位,提高框架柱的抗震等级一级(由三级提高到二级)。

(7) 提高穿层柱的抗震等级一级(由三级提高到二级);穿层柱根据中震计算结果,取正常柱的剪力值,作用于穿层柱,算出弯矩值,然后再按偏心受压柱计算配筋。

(8) 提高柱的纵向钢筋最小配筋率由0.6%至0.8%,最小配箍特征值比“高规”表6.4.7的数值增大0.02。

(9) 一层裙房局部外伸较长,根据纯框架结构确定抗震等级(三级),提高柱的纵向钢筋最小配筋率由0.6%至1.0%,最小配箍特征值比“高规”表6.4.7的数值增大0.04。

(10) 加强主体混凝土结构与钢结构相连部位,与竖向钢网格及悬挑钢桁架相连的框架柱均采用钢管混凝土柱;支撑钢网格的框架梁按转换梁设计。

(11) 为加强支撑斜向钢网格的框架的抗侧刚度,该部位所有框架柱均采用钢管混凝土柱。

7 结论

本工程存在楼板局部不连续、侧向刚度不规则、扭转不规则、尺寸突变、局部不规则等多项不规则,钢结构造型复杂,属于超限工程。根据结构超限特点,将抗震性能目标定位C级,有针对性地预设结构的抗震性能目标。采用Midas和Pmsap软件,进行了多遇地震反应谱分析、多遇地震下的弹性时程分析、设防地震反应谱分析、罕遇地震下的弹塑性时程分析,论证了整体结构的各项抗震性能指标均满足“抗规”和“高规”的要求,结构的抗震性能可以达到预设的抗震性能目标。根据工程的超限特点,对关键构件、节点专门分析并采取相应加强措施。

参考文献

- [1] 《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3-2010)。
- [2] 《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010)。
- [3] 《通辽图书馆超限高层建筑工程抗震设防专项审查可行性报告》中国航空规划建设发展有限公司,2014。
- [4] 《MIDAS Building 非线性分析》北京迈达斯技术有限公司,2013。

固体制剂生产厂房洁净空调设计

■ 卢琳 董秀芳 (暖通)

摘要: 固体制剂生产过程中,常会散发各种粉尘及有害物质,因此对洁净设计有特殊要求。本文以某固体制剂厂房为例,阐述洁净空调设计基本过程与设计原则;结合固体制剂厂房粉尘产生的特点,确定系统划分方案、空气处理过程;分析在风系统设计中,考虑除尘环节的回风利用时,应对工艺及设备的操作和运行情况进行综合评价,以确定采用回风利用方案是否经济合理并达到有效的节能效果。对固体制剂洁净空调优化设计具备一定参考价值。

关键词: 洁净空调系统;固体制剂;除尘回风利用

1 工程概况

本工程为北京某固体制剂生产厂房。建筑面积15132.7m²,地下一层,地上三层。生产火灾危险类别为丙类。

厂房空调冷源采用风冷螺杆冷水机组,机组放置在屋面上,冷媒参数为7/12℃。热源为来自厂区锅炉房的85/60℃热水。空调系统的加湿采用蒸汽,蒸汽由动力专业提供至空调机房,动力专业在空调机房减压至0.2Mpa。

2 洁净空调系统设计

2.1 空调系统分区

根据工艺提供的各房间的洁净等级,房间功能,工艺流程等条件设置系统分区。图1根据《医药工业洁净厂房设计规范》及固体制剂的生产工艺流程特殊温湿度的特点和要求,确保制品的生产环境、空气品质,防止交叉污染,将不同洁净级别的空调系统分开,本厂房二层洁净区共分为5套系统。

2.2 空调设计参数

2.2.1 室外设计参数

该固体制剂厂位于北京地区,属于寒冷地区,其空气调节室外设计参数见表1。

2.2.2 室内设计参数

根据洁净厂房设计原则确定洁净区设计参数,见表2。

2.3 洁净室冷负荷计算

本工程中,由于洁净区域处于建筑的内区,全年受外围护结构热传导的影响微乎其微,所以夏季与冬季冷负荷等同考虑。又由于各洁净室温度差异很小,内围护结构的热传导量极小。所以房间冷负荷的大小主要取决于房间内照明,工艺设备电动、电热及热容器的冷负荷。

1)其中灯具冷负荷计算参考《实用供热空调设计手册》^[2](第二版)表20.8.1,并考虑洁净厂房300LZ照度的要求,本工程取25W/m²。

2)电热工艺设备的散热量 q_s (W)可按下列式计算:

$$q_s = n_1 \times n_2 \times n_3 \times n_4 \times N$$

式中:

n_1 —同时使用系数,一般为0.5~1.0;

n_2 —安装系数,一般可取0.7~0.9;

作者简介:卢琳,女,助理工程师,2014年毕业于哈尔滨工业大学供热供燃气、通风及空调工程专业,现就职于中新规划医药工程院。

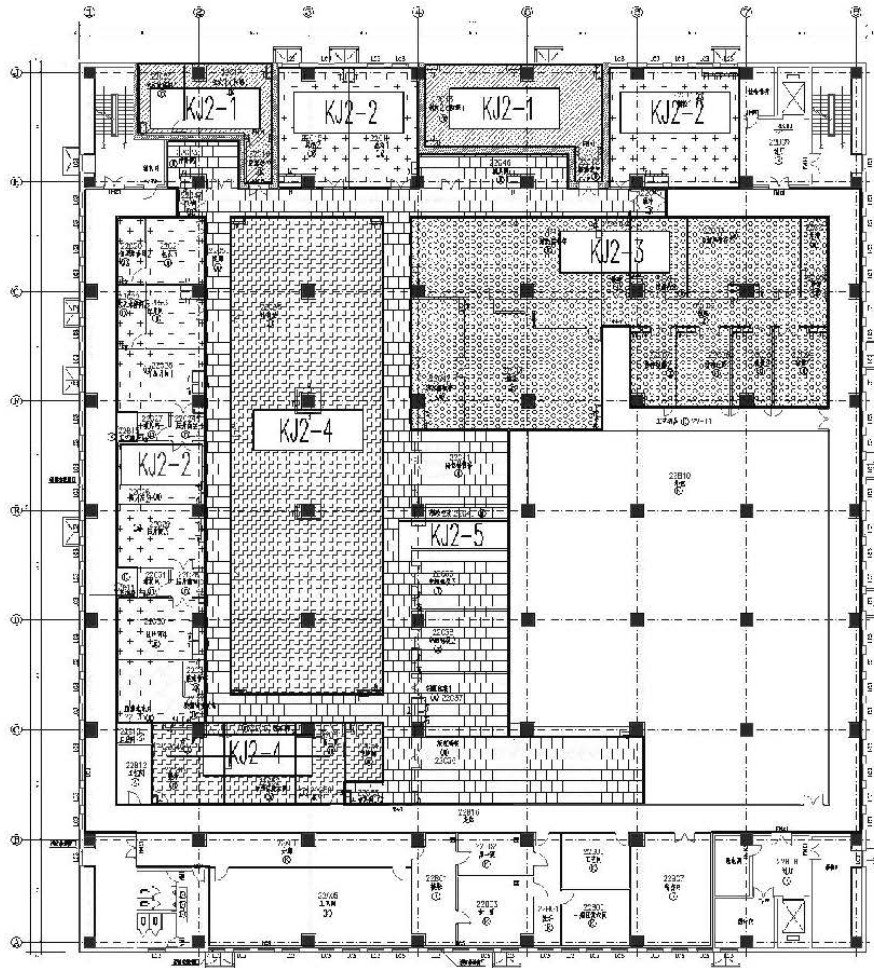


图1 二层洁净空调分区图

表1 室外设计参数

	室外计算干球温度/℃	室外计算湿球温度/℃	室外计算相对湿度/%
夏季	33.5	26.4	
冬季	-9.9		44

表3 通风保温系数

保温情况	有局部排风时	无局部排风时
设备有保温	0.3~0.4	0.6~0.7
设备无保温	0.4~0.6	0.8~1.0

表2 洁净空调系统的划分及室内设计参数

洁净级别	温度/℃		相对湿度/%	
	夏季	冬季	夏季	冬季
D级	24	20	55	55

n_3 —负荷系数，一般为0.4~0.5，

n_4 —通风保温系数，见表3，

N —电热设备的总安装功率，W。

结合本工程，取 $n_1 \times n_2 \times n_3 \times n_4 = 0.6$ 。特别注意的是，房间内如果设置百级层流罩类似发热量大的设备，可以调整系数至1.0。

3) 电动工艺设备散热量 q_s (W) 可按下列式计算：

$$q_s = n_1 \times n_2 \times n_3 \times N$$

结合本工程，取 $n1 \times n2 \times n3 = 0.3$ 。

4)热容器散热量 Q_s 可按《空气调节手册》(第二版)^[1]中工业炉的散热量计算方法进行计算：

$$Q_s = \alpha w(t_w - t_n)F$$

式中：

Q_s —工业炉散热量 (W) ；

αw —外表面散热系数，当室内风速为0.2~0.3m/s时可取11.63W/·℃

t_w —炉外表面温度 (℃)

t_n —室内温度 (℃)

F —炉体外表面温度 (℃)

对于发热罐体设备较多的工艺房间，工艺设备冷负荷量不容忽视，所以计算时应与工艺专业积极配合，了解房间内工艺设备的生产流程，发热机制，表面温度及排风要求。力求准确反映各房间内冷负荷状况，避免漏项。

2.4 风量计算

2.4.1 新风量及送风量的确定

洁净室的新鲜空气量应取下列两项中的最大值：

(1) 补偿室内排风量和保持室内正压值所需新鲜空气量之和；

(2) 保证供给室内每人每小时的新鲜空气量不小于40m³。

一般从节能的角度出发，没特殊工艺要求的洁净空调系统的新风量维持在15~20%。

洁净室的送风量应取下列三项中的最大值：

(1) 满足空气洁净度等级要求的送风量；

(2) 根据热、湿负荷计算确定的送风量；

(3) 上述满足要求的新风量。

2.4.2 压差风量的确定

洁净区室内正压设计按GMP要求，洁净区与

非洁净区之间、相邻不同级别房间之间的压差不小于10Pa，相同洁净度等级不同功能区域（操作间）之间保持适当的压差梯度。本项目中压差风量采用换气次数法确定。

2.5 计算汇总及处理方案

根据系统划分计算结果见表4，一典型洁净区KJ2-2的空气处理流程图见图2。

3 固体制剂厂房特点及节能优化分析

3.1 固体制剂厂房特点

在药品生产过程中，如固体物料的粉碎、称量、配料、混合、制粒、压片、包衣、灌装等生产工序或房间，常会散发各种粉尘、有害物质等，为了防止通过空气循环造成物药的交叉污染，送入房间的空气应全部排出。在固体物料的生产中，因大部分生产工序均有粉尘散发，所以净化空调系统需要较大的新风比，甚至高达60%~70%，能耗很大。若能对空调回风中的粉尘等物质进行充分和有效的处理，使之不再因此造成交叉感染，利用回风也就成为了可能。

3.2 除尘回风优化分析

图3、图4为某固体制剂车间对回风中粉尘处理后利用的事例，由于减少了净化空调的新风比，明显降低了经常运行费，也降低了初步投资费用。

在图1和图2所示回风经处理后利用的方案中，由于回风系统增加了中、高效空气过滤器，运行中虽节省了冷、热负荷，但增加了更换过滤器的费用，也增加了系统阻力，是否经济合理，应做技术经济比较而定。如工艺设备状况差，操

表4 二层洁净空调风量汇总

系统编号	送风量 (m ³ /h)	新风量 (m ³ /h)	回风量 (m ³ /h)	排风量 (m ³ /h)	压力平衡风量 (m ³ /h)	新风比 (%)
kJ2-1	11930	11930	0	12130	-200	100
kJ2-2	35330	8200	27130	8500	-200	23
kJ2-3	26640	5600	20040	5200	400	20
kJ2-4	25650	5090	20560	4090	200	20
kJ2-5	33410	6300	27110	7500	100	20
汇总	132960	37120	94840	37420	300	-

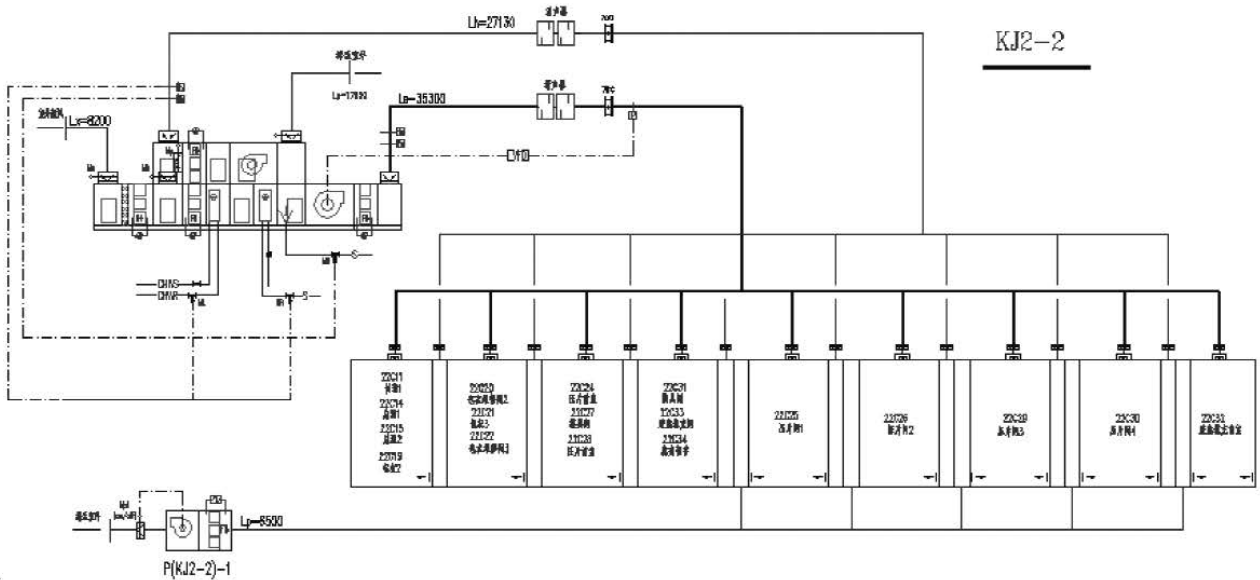


图2 KJ2-2的空气处理流程图

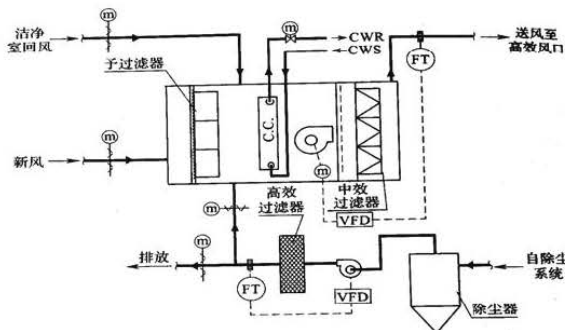


图3 空气处理流程

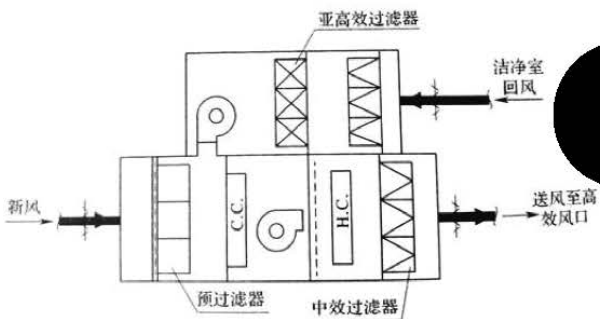


图4 空气处理流程

作中粉尘散发大，则空气过滤器寿命短，所增加的费用可能会超过直排风的运行费，所以要对工艺及设备的操作和运行情况进行综合考虑，以确定采用回风利用方案是否经济合理。

4 结语

洁净空调相对于普通空调系统，管线复杂，风量、负荷更大，还需要与工艺、建筑、给排水、电气专业之间紧密配合，因此在设计中需要着重注意的问题有：

(1) 应根据相关规范手册，结合工程实际情况合理选择洁净室相关参数和技术指标，为后面的计算打好基础。

(2) 了解各种工艺设备的工作原理，工艺流程，合理计算设备的冷负荷。

(3) 净化空气调节系统应合理利用回风。但固体制剂厂房要对工艺及设备的操作和运行情况进行综合考虑，以确定采用回风利用方案是否经济合理。

参考文献

- [1] GB 50073-2013. 洁净厂房设计规范[S].
- [2] 许钟麟，沈晋明著. 空气洁净技术应用. 中国建筑工业出版社，1989.
- [3] 许钟麟著. 药厂洁净室设计、运行与GMP认证. 同济大学出版社，2002.
- [4] 中国医药工程设计协会. 医药工业洁净厂房设计规范.GB 50457-2008.

中国航空规划设计研究总院有限公司 信息工程研究院

信息工程研究院隶属于中国航空规划建设发展有限公司，下设建筑信息设计中心（VDC）、咨询解决方案中心（ISC）、运维安全中心（OSC）。信息工程研究院致力于信息技术在建筑设计领域的研发及实践，提升公司的信息化建设水平及应用效果，量身打造行业的信息化解决方案。

信息工程研究院建筑信息设计中心（VDC）致力于全生命周期中先进数字化集成技术的研发及应用，关注研究与全面实践，坚持可持续设计建造的技术发展路线；VDC中心有完善的BIM实施团队和研究团队，高度重视科研与生产相结合，近年来先后结合课题研究完成了中航规划绿色建筑专家系统、BIM族库管理系统、三维协同设计平台等项目。

信息工程研究院咨询解决方案中心（ISC）致力于成为“智慧城市规划建设管理的信息咨询服务供应商”，将建筑规划、设计、建设、运营、管理、科技与IT技术等全方位整合，协助城市及全球各类机构应对城市发展问题，提供技术领先的全链解决方案。

信息工程研究院运维安全中心（OSC）是公司IT运维与安全以及信息系统建设的支撑部门。作为中航规划应用系统、IT基础设施的建设实施部门，运维安全中心积累了大量的企业信息化建设经验，形成了大量行业解决方案，在信息系统层面支撑了中航规划业务半径的延伸，提升了跨地区跨地域的管理能力。



2016年第4期（总第126期）
2016年8月出版



蒙内标轨铁路项目第8标段内罗毕火车南站