

航空工程建设

AERO-INDUSTRY ENGINEERING CONSTRUCTION

2021年第1期 总第153期



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

内部资料 免费交流
准印证号：京内资准字9920-L0337号

贵阳奥林匹克体育中心

项目名称：贵阳奥林匹克体育中心

设计单位：建筑设计研究院

贵阳奥林匹克体育中心位于贵阳市观山湖区，由建筑设计研究院设计的一期主体育场项目于2011年竣工，本次设计内容为二期主体育馆项目，该项目位于整个用地的北侧。

主体育馆总建筑面积：130300m²，建筑高度：43.7m（建筑最高点），建筑层数：比赛大厅和热身馆为单层、配套服务用房3层。座位数：11341座。

体育馆比赛场地的最大尺寸为41.2m×71.8m，可以满足承办全国综合性体育赛事和国际单项体育赛事的需求。考虑到赛时、赛后利用的广泛性，主体育馆设计为多功能性比赛场馆，按照甲级特大型体育馆标准设计，可承办篮球、排球、手球、羽毛球、乒乓球、体操（搭台）、冰球、短道速滑等项目的比赛和训练，并预留冰、篮快速转换的条件，满足未来冰上比赛及演唱会等多种用途的快速转换需求。

考虑到后期运营的多样灵活性，将热身馆的场地尺寸设计为68m×120m，可以满足多种体育项目的训练需求，在赛时可作为热身训练场地，赛后可提供多种全民健身活动，并具有展览、会议、文艺演出等多种功能。

配套服务设施相对独立设置，游离于主馆及热身馆之外，同时结合地形建设地下车库。

在造型设计方面，将比赛馆设计为一个完整的圆形体量，银色金属菱形穿孔铝板从立面到屋顶设计为连续的、富于流动感的曲线形态，与用地环境中山体的自然曲线景观协调、呼应。



北理工重庆创新中心项目

建设地点：重庆市
方案、初设设计单位：重庆市设计研究院
施工图设计单位：建筑设计研究院
建设情况：建设中
总建筑面积：29.13万m²

北理工重庆创新中心项目用地共计4块，分为地块一——科研园、地块二——科研实验园、地块三——科技创新园、地块四——公寓式酒店。项目总建筑面积约29.13万m²，其中地上建筑面积约19.3万m²，地下建筑面积9.83万m²，建筑类型涵盖科研办公室、科研实验室、创新实验室、教育办公、多功能会议、图书馆等。

地上建筑除1~8#楼外，全部进行装配式设计。地块一（除1~8#楼）、地块二、地块三，地上建筑为钢框架全装配式结构体系，楼板采用钢筋桁架楼承板；地块四装配式结

构系统的竖向构件采用高精度模板施工工艺，水平构件采用双向预制叠合板；非承重围护墙选用蒸压加气砼精确砌块、围护墙选用自保温，保温、隔热一体化；非砌筑内隔墙选用ALC条板墙、拟采用内隔墙与管线一体化、全装修技术、设备管线采用管线分离等技术。各单体楼栋装配率自评价均大于50%。

本项目为中航建投建筑设计研究院以往项目中装配式设计面积最大的项目。项目预计2021年底交付使用，项目各专业共投入人力约40人，在紧张的周期中，按时、按量完成了项目两个地块的施工图设计，同时已启动剩余的地块施工图设计工作，预计在春节前完成全部施工图的设计。项目的各个专业负责人均为具有注册执业资格的工程师，并在施工图设计同期开展了BIM设计，在指导现场施工的同时，也对全专业的设计进行了复核。

目前，北理工重庆创新中心项目正在紧张的建设中，项目是北京理工大学和重庆两江新区管委会共建的新型研发机构，将成为北理工在北京本部以外最大的综合性外派科学学术机构。





援布基纳法索博博——迪乌拉索医院项目

建设地点：布基纳法索博博市
施工图设计单位：建筑设计研究院
建设情况：施工图阶段
(预计2024年交付使用)
总建筑面积：4.3万^m²

援布基纳法索博博——迪乌拉索医院项目作为两国复交后的第一个援建项目，是两国复交之后重要可视化成果。本项目定位为布基纳法索最高级别的国家级综合教学医院，共500床位。除了服务博博市外，能够覆盖布基纳法索整个西南地区及科特迪瓦、加纳等国北部地区。

项目主要包含综合楼（包含门急诊及行政办公楼、病

房楼、医技楼、后勤楼及连廊）、传染病房楼、专家公寓楼、教学楼及学员宿舍、配套用房（含太平间、制氧机房、垃圾焚烧站、污水处理机房、33KV配电室及门卫室）。主要医疗功能包括：10间手术室（手术中心7间，分娩科1间，急诊手术室2间），ICU15床，NICU10床，EICU5床，透析中心25床（其中透析大厅22床，隔离透析3床）。主要大型医疗设备包含：1台MRI，2台DR，1台X光机，1台CT，1台DSA。

设计契合援外设计8项指导原则，面对当地现有的基础条件，结合专业先进的医疗工艺技术及因地制宜的设计手段系统性布局，建成后将成为布方集医疗、教学、应急、救援为一体的国家级综合教学医院；项目能极大缓解当地医疗基础设施严重匮乏的现状，加强布方医疗卫生领域的基础建设，充分发挥我国的援助效果，展现大国形象。

兰州奥体中心BIM项目

建设地点：甘肃省兰州市

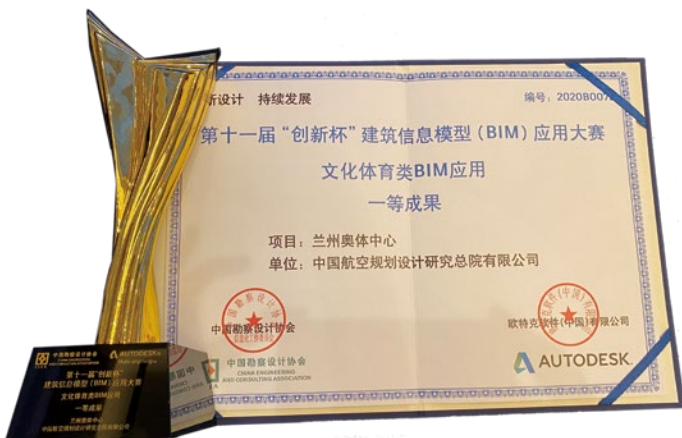
施工图设计单位：建筑设计研究院

建设情况：施工中
(2022年8月投入使用)

总建筑面积：46.4万m²

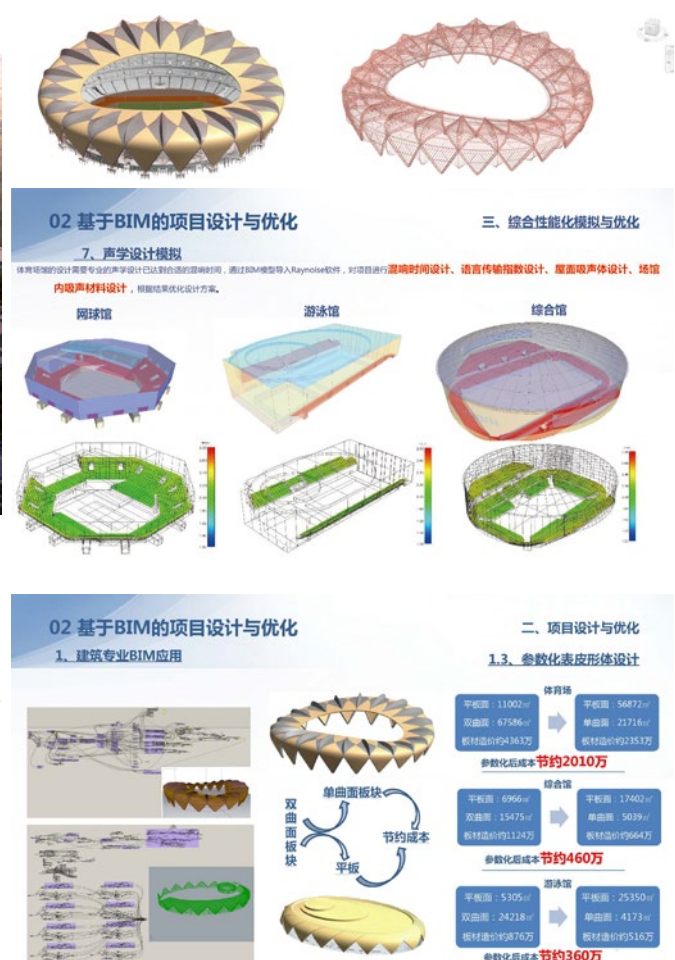
兰州奥体中心项目位于兰州市，总投资54.14亿元，建设内容包括：60000座体育场，8000座综合馆、3000座游泳馆、3000座网球馆、运动员公寓与体育产业用房、室外平台、热身场、室外运动场地及相关辅助用房等。建成后，这里将成为中国省会城市中最后新建的一座大型奥体中心，并将举办2022年甘肃省运动会，受到了社会各界的高度关注。

本项目为群体建筑，项目组采用本地台式机、BIM云桌面平台和VPN访问等方式开展多专业、多人员、多地点间的灵活集成化协同设计，并制定项目级设计标准、项目样板及构件库，在公司项目共享模型库对项目进行集中管理，保证模型的规范化、标准化。



体育建筑是一种特殊的标志性建筑类型，造型特异、规模庞大，设计难度及完成度要求高，BIM设计针对项目特点做出了创造性的自主开发与探索，其中包括自主开发优化程序编写看台视线设计、外幕墙造型的参数化有理化分析、利用程序有序排布异型空间中的机电管线、异型钢结构模型开创性的信息载入、采用正则表达式提取有效数据、运用动力学原理进行雨水模拟设计、虚拟现实技术的全过程运用等。此外，基于BIM模型提供的文件，设计中做了大量的综合性能化模拟与分析，包括建筑声、光、热工环境、消防、夜景效果、结构分析等，所有的创新应用及性能化分析辅助了整个设计过程，在大大提高设计质量和效率的同时，也使得设计成果更加的安全、节能、高效。后期设计师与施工方基于BIM设计模型做深度的应用互动，共同对项目进行质量管理，施工中的修改和洽商都存储于BIM智慧集成平台上，双方对模型进行及时更新和维护，保证数据信息符合现场的真实状态。

兰州奥体中心的BIM技术应用满足了业主对全生命周期BIM实施的需求，利用BIM技术打造了一个智慧、科技、绿色的大型奥体中心运动场馆。



标准名称: 广东省公共建筑节能设计标准

标准编号: DBJ 15-51-2020
发布日期: 2020-09-28
实施日期: 2021-02-01
公告号: 粤建公告〔2020〕64号
发布部门: 广东省住房和城乡建设厅

标准名称: 四川省抗震设防超限高层民用建筑工程界定标准

标准编号: DB51/T5058-2020
发布日期: 2020-09-23
实施日期: 2021-01-01
主要起草单位: 四川省建筑设计研究院有限公司
发布部门: 四川省住房和城乡建设厅

标准名称: 四川省既有建筑增设电梯工程技术标准

标准编号: DBJ51/T033-2020
发布日期: 2020-09-23
实施日期: 2021-01-01
主要起草单位: 四川省建筑设计研究院有限公司
发布部门: 四川省住房和城乡建设厅

标准名称: 变电站消防技术规程

标准编号: DBJ53/T-30-2020
发布日期: 2020-09-18
实施日期: 2020-12-01
公告号: 云建科(2020)124号
发布部门: 云南省住房和城乡建设厅

标准名称: 海绵城市低影响开发雨水工程施工与验收规范

标准编号: DB61/T 1363-2020
发布日期: 2020-09-15
实施日期: 2020-10-15
公告号: 陕市监通告〔2020〕44号
发布部门: 陕西省市场监督管理局

标准名称: 政府投资办公建筑室内装修材料空气污染控制标准

标准编号: SJG 81-2020
发布日期: 2020-09-15
实施日期: 2020-11-01
公告号: 深建标(2020)7号
发布部门: 深圳市住房和建设局

标准名称: 海绵城市透水铺装设计规范

标准编号: DB61/T 1364-2020
发布日期: 2020-09-15
实施日期: 2020-10-15
公告号: 陕市监通告〔2020〕44号
发布部门: 陕西省市场监督管理局

标准名称: 海绵城市低影响开发雨水系统技术规范

标准编号: DB61/T 1362-2020
发布日期: 2020-09-15
实施日期: 2020-10-15
公告号: 陕市监通告〔2020〕44号
发布部门: 陕西省市场监督管理局

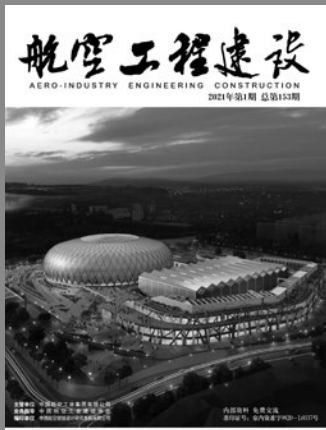
标准名称: 公交场站规划用地及建设标准

标准编号: DG/TJ08-2057-2020
发布日期: 2020-09-15
实施日期: 2021-03-01
公告号: 沪建标定〔2020〕496号
发布部门: 上海市住房和城乡建设管理委员会

标准名称: 建筑反射隔热涂料应用技术规程

标准编号: T/CECS 750-2020
发布日期: 2020-08-25
实施日期: 2021-01-01
公告号: 第685号
发布部门: 中国工程建设标准化协会

(来源“国家工程建设标准化信息网”)



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

顾问委员会

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

编辑委员会

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

总编 沈金龙
 主编 陈海风
 执行主编 王蕊
 责任编辑 范蕊
 出版 《航空工程建设》编辑部
 地址 北京德外大街12号
 邮编 100120
 E-mail hkgejs@avic-apc.com
 印刷单位 北京华美昌信印刷设计有限公司
 发送对象 公司内部及本系统内部
 印刷日期 2021年02月
 印数 1500册
 电话 (010)62038235
 传真 (010)62038297
 封面 贵阳奥林匹克体育中心

CONTENTS

目录 2021年第1期 总第153期

航空能力建设

02 着眼智能作战装备需求,优化国防科技工业能力布局 佟京昊

研究与探讨

06 成都淮州新城国际会展中心抗震性能化设计

谢军 贾雨萌 樊钦鑫 刘宇轩

14 垃圾焚烧项目污泥干化除臭系统设计研究 徐佳佳 陆新生

18 基于EPC视角的锂离子电池建设项目施工管理策划研究

张运锋

24 机场水泥混凝土加铺层设计 杨博 殷小棠

28 低压柴油发电机应急备用供电系统典型方案探讨 蓝娟

34 火炸药爆炸危险场所防雷设计 郝鹏超

39 A级数据中心供电电源的计算选型探讨 王焯 李茜

43 排气扩压器开孔率对试车台气动性能的影响研究

梁靓 孙正伟 曹海峰

47 涡轮动力模拟器总体性能计算分析 赵云洋 刘睿

51 行星轮系振动特性分析 高兆庆 李威 高玉峰 高如超

55 基于EXCEL的真空计算程序开发的实例应用 王晓东

工程设计

60 某援外疾控中心PCR实验室通风空调系统设计

安玉双 孟凡兵

着眼智能作战装备需求， 优化国防科技工业能力布局

■ 佟京昊 [工艺]

摘要： 文本阐述了智能化作战装备体系革新的现实需求，通过探讨我国国防科技工业在调整自身构建新一代智能化武器装备体系中所面临的巨大挑战，指出人工智能武器作战装备体系发展在国防科技工业发展中的必要性。

关键词： 人工智能；自动化武器装备；智能武器

2020年7月以来，中亚地区两个小国——阿塞拜疆与亚美尼亚爆发了激烈的军事冲突。值得注意的是，在冲突中参战双方大量使用了无人机进行作战。阿塞拜疆方面更是多次公布无人机攻击亚美尼亚军事目标的视频，向世界展示了传统装甲部队和据点防御在无人机的攻击下显得多么脆弱。不久之后的11月27日，伊朗最顶尖的核科学家法赫里扎德，在卫队的簇拥下，被一挺人工智能控制的机关枪暗杀，机关枪通过面部识别，枪口只对准法赫里扎德，就连在他身边仅距离十几厘米的妻子也毫发无伤。以人工智能技术为核心的无人化作战，已经不再只停留于科幻小说和电影情节中，而正在迅速地成为现实。而这一无法回避的现实，也为我国国防科技工业今后能力建设指明了优化布局的方向。

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

1 智能化作战对装备体系革新的现实需求

人工智能英文缩写为AI，是作为计算机科学的一个分支逐步发展起来的，目前已逐步成为一个独立的学科分支，无论在理论和实践上都已自成一个系统。人工智能是一门新兴学科，属于自然科学和社会科学的交叉。除了计算机科学以外，人工智能还涉及信息论、控制论、自动化、仿生学、生物学、心理学、数理逻辑、语言学、医学和哲学等多门学科。人工智能学科研究的主要内容包括：知识表示、自动推理和搜索方法、机器学习和知识获取、知识处理系统、自然语言理解、计算机视觉、智能机器人、自动程序设计等多个方面。

人工智能技术并非是最近才提出来的技术，而是提出于上世纪50年代，历经数年发展。近几年，由于人工智能通过深度学习技术的进展取得了重大突破，使其现实应用显示出了巨大空间。

在之前的计算机和自动化时代，机器可以执行人的指令，甚至按照人教给其的逻辑进行一系列复杂的操作。这一阶段，机器解决问题的方法依赖于人类对问题的认识，以人类赋予的逻辑和思路解决问题。而发展到深入学习阶段，机器解决问题思路来源于对于大量数据或反复模拟结果研究的自我深度学习，这使得计算机有可能认识到人类未曾认识到的事物各要素之间的复杂逻辑关系，进而使机器具备人类未曾具备的解决问题或者做出决策的能力。这无疑使得计算机和人工智能的应用边界和潜力大大得到了拓展。

而军事领域作为对前沿先进技术最为敏感的领域，自然与人共智能技术的融合最为深入。美国防部在2019年2月发布了《美国防部2018人工智能战略概要》；美国政府于2019年7月发公布了《国家人工智能战略》（修改稿）；同年12月，美国国会研究服务处又发布了《人工智能与国家安全》研究报告。重要文件相继颁布的背后，凸显的是美军对人工智能的高度重视。

目前，美军已将人工智能置于其保持全球霸权地位的战略核心，并正在围绕这一技术建设全新的武器装备体系，进而颠覆传统作战模式。

近年来，美国五角大楼与海军、空军先后公布了各自的无人系统路线图。美空军实验室和克雷托斯无人机系统公司联合研发的XQ-58A战斗无人机、波音公司的“忠诚僚机”项目都在快速推进，前者已完成首飞，后者刚刚完成滑行测试，并将首飞。笔者在《信息化战场环境对装备体系化发展的影响》（《国防科技工业》2015年第6期）和《未来集群智能战争对我国武器装备体系建设的要求和挑战》（《国防科技工业》2019年第6期）中指出，基于新一代信息技术、物理信息系统和自动控制技术的第二代“体系化”武器装备和以新一代人工智能技术为核心的人机协同、集群智能、辅助决策的第三代“体系化”武器装备体系已经全面走进战场或正在形成战斗能力。

特别是自动化武器装备自主协同并非是高不可攀的技术，智能武器装备也无需具备接近人的智能才能直接成为战争的主角。事实上，自然界里类似蚂蚁、蜜蜂之类的无智商集群生物，也都进化出了复杂的集群行为模式，并足以支撑种群间大规模的战争需要。只要以这种基于“共识主动性”的行为模式为研究方向，通过大量模拟仿真运算，就可以让人工智能通过深度学习总结出

适合各种自主协同武器的协同作战行为方式，从而形成以“自组网、自协调、去中心”为特点的机器集群自主协同作战能力。

新一代人工智能技术快速进步和颠覆性影响，是当前国防科技工业发展必须正视，不能回避的现实技术背景。目前，我国整体处于百年未有之大变局，面临着“中等收入陷阱”、“修昔底德陷阱”、“塔西陀陷阱”等多重考验，内外部压力重重，迫切需要形成强大可靠的先进国防能力为国家进一步发展保驾护航。

2 智能装备体系建设对我国国防科技工业的巨大挑战

我国国防科技工业自建国以来，传统上由兵器、船舶、航空、航天、核、电子六大行业的国有企业为主体构成。几十年来，虽然管理序列屡经调整，但是行业构成和发展模式基本没有变化。特别是在多机械部时期形成的六大行业相互分割的管理体制，无论从管理角度，还是利益分配角度，都促使各行业会立足于自我配套，人为破坏了配套专业自身发展的专业化分工规律，降低了非整体设计技术专业在武器装备发展上的发言权。此外，各传统军工企业一直依赖于军方主动提出武器装备发展需求，普遍缺乏对世纪战争战法演进的跟踪研究，导致不能预判技术环境变化对战争的影响，很难从技术对战争影响的角度提出新的装备需求。这些问题的存在最终导致我国国防科技工业从能力布局上对于智能化作战装备体系建设普遍缺乏相应的准备，急需优化调整。而在当前条件下构建新一代智能作战装备体系，尚面临如下挑战：

首先，我国国防科技工业从建设之初就是按照机械化时代，武器装备以机械工业为主体构建的，并建成了复杂庞大的专业分工配套体系，只不过在这一既有体系中，人工智能专业作为一个全新专业是缺失的。而随着技术环境的快速变化，目前人工智能技术已经成为下一代武器装备体系构成的核心专业，对于这种变化各军工集团都始料未及。

其次，我国人工智能技术发展主要是受商业应用驱动，在发展上呈现较明显的“倒金字塔”结构，繁荣的多是利用开源程序，针对应用市场进行开发的领域，越靠近人工智能底层算法核心

的企业越少，人才越缺乏。在此环境下，部分军工企业虽然也开展了一些人工智能项目，但普遍是从应用入手。不是利用开源程序，就是在关键技术领域假手于人，缺乏人工智能专业的核心能力和科学完整的技术发展构架。因此，摆脱不了头疼医疼，脚疼医脚，零敲碎打式的发展模式，无法从体系角度实现智能武器装备体系的构建工作。

最后，由于我国人工智能核心技术人员极度缺乏，人工智能行业发展又势头迅猛，因此，掌握一些关键技术的人工智能专业技术人员成全国互联网和IT企业争夺的关键人才，人员平均薪资水平远超过一般国防科技工业技术人员。这使得受工资总额限制的军工国有企业很难大规模组建新的人工智能专业技术团队，即使组建了团队，由于企业内部过大的收入差距，也会导致各专业合作和人员稳定出现较大的问题。这是现行国有军工企业在组建高新专业时面临的一个关键性问题。

3 优化国防科技工业能力布局，构建一体化的国家战略体系和能力

综上所述，以新一代人工智能技术快速进步为特点的技术环境变化将对战争形式产生深远而广泛的影响。而我国现行以国有军工机械工业为主体的国防科技工业在履行调整自身构建新一代智能化武器装备体系面临巨大挑战。

关于如何破解上述问题，建设高效健康，能满足未来战争装备需要的国防科技工业。习近平总书记屡次提及，并在党的十九大报告中明确指出“构建一体化的国家战略体系和能力”就是关键所在。2017年6月，习近平总书记于在中央军民融合发展委员会第一次全体会议发表重要讲话，提出“加快形成全要素、多领域、高效益的军民融合深度发展格局，逐步构建军民一体化的国家战略体系和能力。”同年10月，在党的十九大报告中，习近平总书记更加明确提出：“深化国防科技工业改革，形成军民融合深度发展格局，构建一体化的国家战略体系和能力。”明确了“构建一体化的国家战略体系和能力”是国防科技工业改革和发展的根本要求。在2020年10月29日中国共产党第十九届中央委员会第五次全体会议通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》中除了再次强调“构建一体化的国家战略体系和

能力”外更是明确指出“加快机械化信息化智能化融合发展”、“加快武器装备现代化，聚力国防科技自主创新、原始创新，加速战略性前沿性颠覆性技术发展，加速武器装备升级换代和智能化武器装备发展。”“优化国防科技工业布局，加快标准化通用化进程。”这些论述，系统指明了今后我国国防科技工业的建设方向，也是我国依靠自主创新构建先进的智能化武器装备体系的必由之路。

人工智能技术作为当前最具应用前景的颠覆性技术，其本身并无军、民或其他应用属性。在技术发展上，人为将之以应用区分，并由不同主体各自发展，并不利于技术的发展和技术的健康。目前，我国在人工智能技术发展和军事应用布局上，已经落后于世界主要军事强国，更需要利用全国可利用的力量共同构建面向未来作战的智能化装备体系。可以说，形成健康的人工智能武器作战装备体系发展方式，就是国防科技工业和武器装备发展体制改革的根本目标所在。

这需要进一步有序整合我国底层算法、基础芯片等人工智能基础领域的技术力量迅速提升和巩固我国人工智能技术发展基础；需要军方研究机构强化智能作战仿真模拟研究，建立基于机器学习的智能装备战法开发与迭代机制，并尽早推动通用化标准化进程，使更多的企业可以参与其中；更需要全社会各种不同体制、不同类型的装备企业和相关配套企业，强化自主创新，构建多元化的装备体系，参与到智能武器装备体系中来。

成都淮州新城国际会展中心 抗震性能化设计

■ 谢军 贾雨萌 樊钦鑫 刘宇轩 [结构]

摘要: 成都淮州新城国际会展中心结构主体由桁架体系、屋面网格及下部框架支撑（BRB防屈曲约束支撑）体系组成，中庭屋面应用了单层网壳。结构存在楼板开大洞、穿层柱、扭转不规则等超限内容，为复杂超限钢结构。本文根据结构的受力特点，对不同的结构部位提出了相应的抗震性能化目标，并通过抗震性能化设计和合理的抗震措施，确保结构具有足够的抗震能力，满足抗震设防要求。

关键词: 超限钢结构；性能化设计；关键构件；BRB

1 工程概况

淮州新城国际会展中心位于成都市金堂县，建筑面积4.5万 m^2 ，建筑高度35m。建筑功能主要是展厅、办公会议、航空博物馆等；无地下室，地上一共5层，屋面为轻质铝板和玻璃幕墙屋面。建筑效果如图1所示。



图1 建筑效果图

会展中心设计使用年限50年，建筑结构的安全等级二级，建筑抗震设防类别丙类（设计容纳人数3000人），地基基础设计等级甲级。抗震设防烈度7，设计基本地震加速度0.1g，设计地震分

组第三组，建筑场地类别II类，钢结构的抗震等级为四级。基本风压0.3 kN/m^2 ，月平均最高温度34 $^{\circ}\text{C}$ ，月平均最低温度-1 $^{\circ}\text{C}$ 。

1.1 结构体系

淮州新城国际会展中心基础采用独立柱基、条形基础，下部采用钢框架—支撑结构体系；屋盖采用主次钢桁架，并通过三道环向桁架连接形成整体空间结构（主桁架以框架柱为支承条件，次桁架以环桁架为支承条件），桁架之间通过屋面网格形成整体。为增加结构整体抗侧效率，提高抗震性能，在楼梯间位置设置防屈曲支撑（BRB）。中庭屋面采用跨度40m，矢跨比为1/5.4的单层网壳。结构体系组成详见图2~图4。

1.2 结构超限情况

根据《四川省抗震设防超限高层建筑工程界定标准》DB51/T5058-2014，住建部《超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点》^[1]（建质[2015]67号）规定，经初步判断，本建筑需抗震设防专项审查内容及主要超限情况详见表1。

2 抗震性能化目标

2.1 结构性能目标

本工程结构体系相对复杂，故主要根据《建

作者简介：谢军，男，工程师，2014年毕业于中国航空规划设计研究总院有限公司结构工程专业，现就职于中航建设建筑设计研究院。

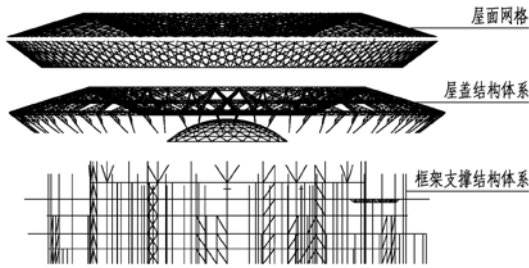


图2 结构整体模型

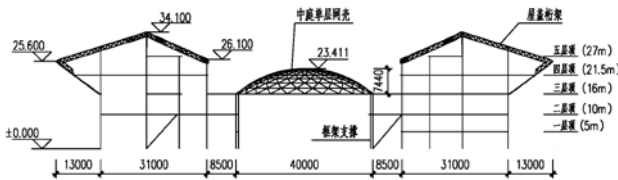


图3 典型结构剖面图

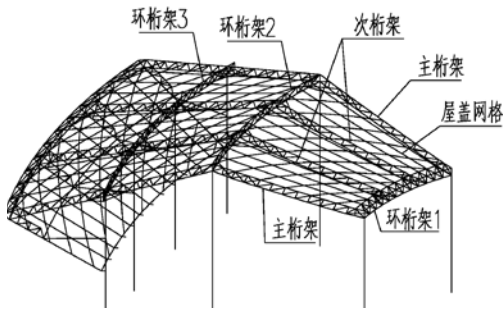
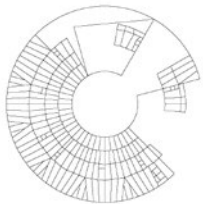
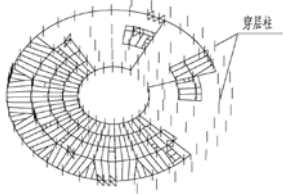


图4 典型屋盖结构单元

表1 结构超限内容

超限项	超限位置
有效楼板宽度小于楼层典型宽度的50%	 <p>结构一层</p>
位移比大于1.2	结构一层 (1.26)、二层 (1.24)
穿层柱	 <p>结构一、三层均存在穿层柱</p>

筑抗震设计规范》进行抗震性能化设计。《建筑抗震设计规范》^[3]将结构抗震性能目标分为1、2、3、4四种，整个结构不同部位的构件、竖向构件和水平构件可以选择不同的性能，然后确定对应抗震性能要求的抗震承载力、变形能力和构造的抗震等级。

综合考虑抗震设防类别、设防烈度、场地条件、结构超限程度等因素，确定结构的性能目标为性能3（即小震弹性，中震不屈服，大震中等破坏），具体构件指标见表2。

2.2 关键构件

关键性构件及节点确定基本原则：

(1) 通过增加承载力保证结构预定传力路径的构件和节点；

(2) 关键传力部位；

(3) 薄弱部位。

依据此原则，本工程的关键构件为：穿层柱、与屋盖桁架连接框架柱、屋盖与框架柱连接桁架弦杆和腹杆、复杂关键节点。

3 设防地震性能化设计

本节通过对设防地震下结构关键构件的性能化设计，介绍性能化设计的主要思路和实现方法。应用MIDAS软件建立结构三维杆系有限元模型进行计算分析。其中，弹性设计时采用公式

(1)，不屈服设计时采用公式 (2)，

$$\gamma_G S_{GE} + \gamma_E S_{Ek}(I_2, \zeta) \leq R / \gamma_{RE} \quad (1)$$

$$S_{GE} + S_{Ek}(I, \zeta) \leq R_k \quad (2)$$

式中： S_{GE} —重力荷载代表值的效应； S_{Ek} —地震作用（设防或罕遇）标准值的效应； γ_G —重力荷载分项系数； γ_E —地震作用分项系数； I_2 —表示设防地震动； I —表示设防或罕遇地震动； ζ —考虑部分次要构件进入塑形的刚度降低； R —截面承载力设计值； R_k —截面承载力标准值，材料强度标准值计算； γ_{RE} —承载力抗震调整系数。

3.1 穿层柱设防地震弹性验算

穿层柱的计算长度大，刚度小，软件计算的地震力小，但从结构的多道防线角度考虑，穿层柱易在内力重分配过程中形成薄弱部位，故设定其设防地震的性能目标为截面弹性。

经公式 (1) 计算，穿层柱在设防地震作用下的轴压比控制在0.5以下，计算最大应力比为

表2 主要构件抗震性能目标

抗震设防水准		多遇地震	设防地震	罕遇地震
性能目标定位描述		完好无损	基本完好、轻微破坏	轻微~中度损坏
计算方法		反应谱、 时程分析法	反应谱	反应谱、时程分析法
层间位移角		1/250	/	1/50
关键构件 (含节点)	穿层柱	弹性	弹性	允许部分构件进入塑性，轻微损伤； 抗剪不屈服
	与屋盖桁架连接的 框架柱	弹性	弹性	允许部分构件进入塑性，轻微损伤； 抗剪不屈服
	屋盖与框架柱连 接的	弹性	弹性	允许部分构件进入塑性，轻微损伤； 抗剪不屈服
	桁架弦杆、腹杆			允许部分构件进入塑性，轻微损伤； 抗剪不屈服
	关键节点	弹性	弹性	允许部分构件进入塑性，轻微损伤； 抗剪不屈服
	与支撑连接框架 梁、框架柱	弹性	抗剪、拉弯不屈服，压弯 允许屈服（采用 BRB）	允许进入塑性，中度损坏； 抗剪不屈服
	其他框架柱	弹性	抗剪、拉压弯不屈服	允许构件进入塑性，轻度~中度损伤； 大震可屈服，并满足抗剪截面
其它屋盖桁架及网格	弹性	抗剪、拉压弯不屈服	允许构件进入塑性，轻度~中度损伤； 大震可屈服，并满足抗剪截面	
框架梁	弹性	允许部分构件屈服，但仍 具有足够竖向承载能力	允许构件进入塑性，轻度~中度损伤，不倒塌； 大震可屈服，并满足抗剪截面	

0.69，满足弹性性能目标，具有适当的安全储备，主要控制位置见图5、图6，具体结果见表3。

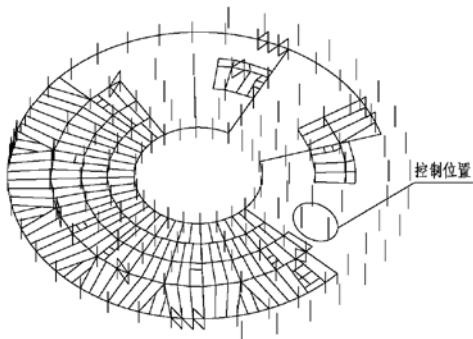


图5 一层穿层柱最不利内力控制位置图

3.2 其他框架柱设防地震不屈服验算

经公式(2)计算，在设防地震作用下，其他框架柱的最大应力比为0.83，能够达到截面不屈

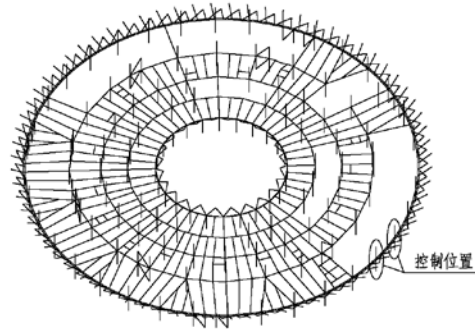


图6 三层穿层柱最不利内力控制位置图

服的性能目标，具体结果见表4。

3.3 与屋盖桁架连接框架柱、屋盖与框架柱连接桁架弦杆和腹杆的设防地震弹性验算

在设防烈度地震作用下，与框架柱连接的屋面钢结构桁架弦杆、腹杆(图7)的受力较大，承

表3 典型穿层柱设防地震性能指标

楼层	一层穿层柱	一层穿层柱
截面	矩形钢管 600×600×30×30	圆钢管600×30
性能目标	抗剪、拉压弯弹性	
长细比	62	65
轴压比	0.24	0.18
宽厚比	18	22
最大应力比	0.69	0.54
楼层	三层穿层柱	三层穿层柱
截面	圆钢管700×35	圆钢管700×35
性能目标	抗剪、拉压弯弹性	
长细比	45.6	42
轴压比	0.13	0.10
宽(径)厚比	20	20
最大应力比	0.61	0.41

表4 典型其他框架柱中震性能指标

楼层	一层框架柱	二层框架柱
截面	圆钢管600×30	圆钢管600×30
性能目标	抗剪、拉压弯不屈服	
长细比	17	21
轴压比	0.46	0.27
宽厚比	22	22
最大应力比	0.83	0.45

担着传递屋顶水平地震力和增加整体结构刚度的作用，破坏后果较为严重，故设定其设防地震的性能目标为截面弹性。

经公式(1)计算，构件应力比(考虑抗震承载力调整系数后)满足中震弹性控制要求，最大值为0.999，具体结果见图8。

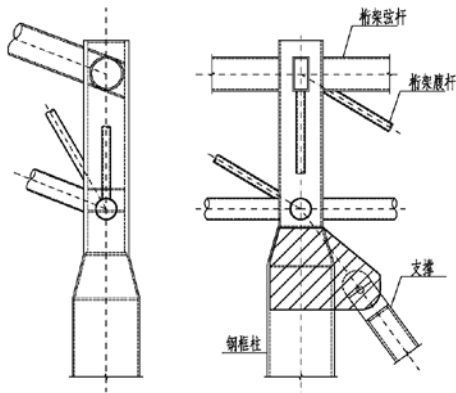


图7 与屋盖桁架连接框架柱、屋盖与框架柱连接桁架弦杆和腹杆

3.4 与支撑连接框架梁、框架柱中震不屈服验算

在设防烈度地震作用下，对于钢框架——中心支撑，支撑为结构主要的耗能构件，在中震

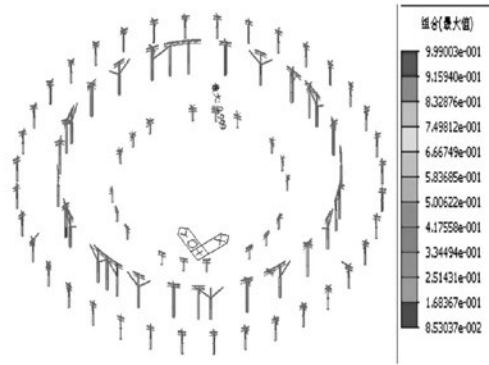


图8 与屋盖连接关键构件设防地震作用下杆件应力比

下屈服，为增强耗能采用BRB屈曲约束支撑，同时应确保与支撑相连的框架梁、框架柱中震不屈服，能够提供足够的刚度。按照公式(2)计算，支撑及其子框架的应力比结果见图9。图中显示，支撑的应力比大于1，达到了屈服状态，而与其连接的子框架应力比最大值为0.7，可以确保BRB支撑在耗能时的结构整体安全性。

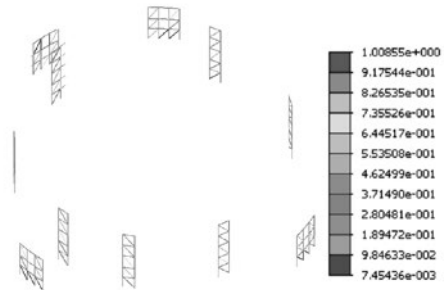


图9 与支撑连接框架梁、框架柱中震不屈服应力比

3.5 关键节点中震弹性验算

本工程屋盖及中庭单层网壳为大跨钢结构，其钢结构节点存在多管相贯情况，构造形式及应力分布较为复杂，部分节点采用铸钢节点，为实现“强节点、弱构件”的设计要求，对结构重要节点进行了有限元应力分析，保证中震弹性的性能目标。

应用solidworks进行节点三维建模，使用ANSYS16.0进行计算分析。铸钢节点有限元分析采用solid92四面体单元，钢材采用双线性随动强化模型，材料性能按《铸钢节点应用技术规程》CECS235:2008取值， $f_y=300\text{MPa}$ ， $f_u=480\text{MPa}$ ， $E=2.06 \times 10^5\text{MPa}$ ，泊松比取0.3。单元网格采用自由划分，计算准则采用多线性随动强化和von Mises屈服准则。

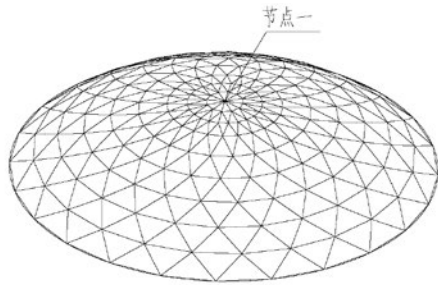
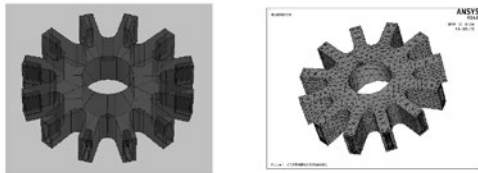


图10 节点一位置示意



(a)节点构造透视图 (b)节点网格划分

图11 节点一模型

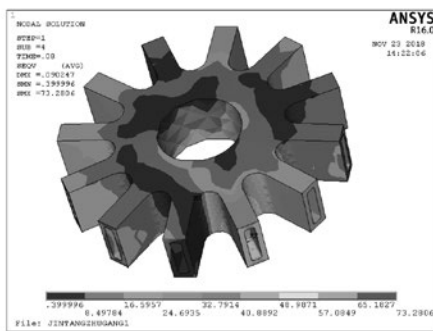


图12 设计荷载作用下节点的应力 (MPa)

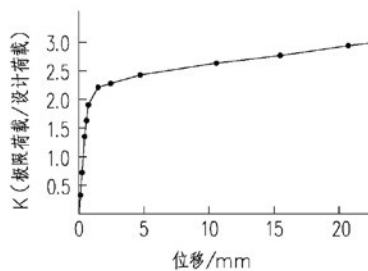


图13 节点一荷载位移曲线图

3.5.1 节点一

节点一位于中庭单层网壳顶部(图10),与12根截面相同的矩形钢管(200×80×6×6)相交,如果采用常规相贯节点,则会形成大量锐角焊缝,很难保证连接质量。为此,将节点一制作成齿轮状的铸钢节点,12个齿轮分别于12个杆件连接,不但可以方便施工,同时还可以有效避免

应力集中。铸钢节点自重较大且位置不利,为减小节点自重,节点一中心开直径300的圆孔。图11为节点一的三维模型及有限元网格划分。

图12为节点一在设防地震作用下(公式(1))的应力状态,最大应力为73MPa,出现在支管与环形铸钢交接处,节点处于弹性状态,满足设防目标。图13为节点一的荷载位移曲线图,从结果上看,节点一失效时的极限荷载约为设计荷载的2.3倍,具有足够的安全储备。

3.5.2 节点二

节点二位于屋盖主桁架悬挑端的转折处(图14),8个结构杆件相贯,且杆件间的夹角较小,为确保施工可靠性,避免应力集中,设计成铸钢节点。图15为节点二的三维模型及有限元网格划分。

节点二在设防地震作用下(公式(1))的应力状态见图16,最大应力为88MPa,最大应力出现在2、3、4号支管与7、8交接处外围,设计中应保证此处倒角变化平缓,减少应力集中的不利影响。

图17为节点二的荷载位移曲线图,从结果上看,节点二失效时的极限荷载约为设计荷载的2倍,具有足够的安全储备。

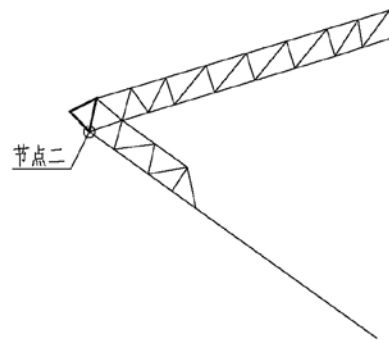
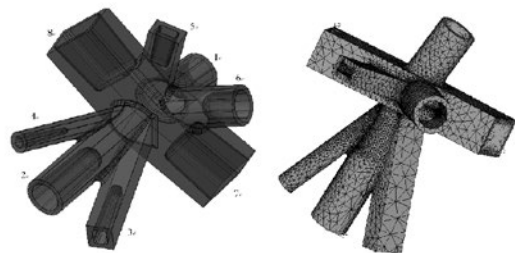


图14 节点二位置示意



(a)节点构造透视图 (b)节点网格划分

图15 节点二模型

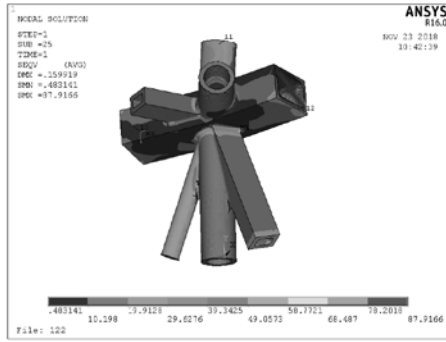


图16 设计荷载作用下节点的应力 (MPa)

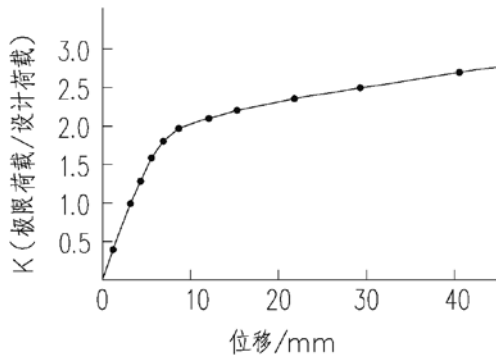


图17 节点二荷载位移曲线图

4 罕遇地震性能化设计

4.1 等效弹性罕遇地震抗剪不屈服验算

为方便设计,先通过等效弹性方法对关键构件在罕遇地震下的受力状态进行分析。采用MIDAS三维杆系模型,考虑BRB支撑已经进入耗能状态,且部分框架梁出现屈服,将结构在等效弹性分析时的阻尼比设置为0.05。根据性能化设计目标,关键构件应满足在罕遇地震作用下抗剪不屈服(公式(2))的抗震性能化要求,杆件应力比结果详见图18和图19。其中,穿层柱截面的最大剪切应力比为0.2,与支撑连接框架、与框架柱连接桁架的最大剪切应力比为0.72,可满足不屈服控制要求。

4.2 罕遇地震弹塑性时程分析

基于表1的罕遇地震性能目标,本节进行了罕遇地震作用下结构动力弹塑性时程分析,重点通过对结构整体指标和构件性能两个方面来评判结构的可靠性。结构整体指标主要为罕遇地震弹塑性层间位移角、基底剪力,构件性能评估指标包括构件塑性发展的区域、损伤程度等,从而在找

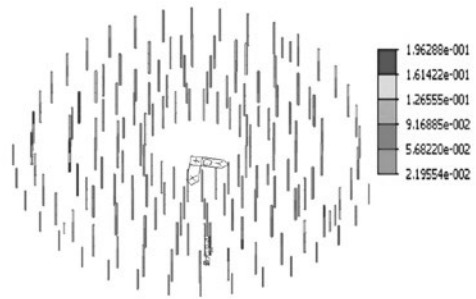


图18 穿层柱罕遇地震不屈服剪应力比

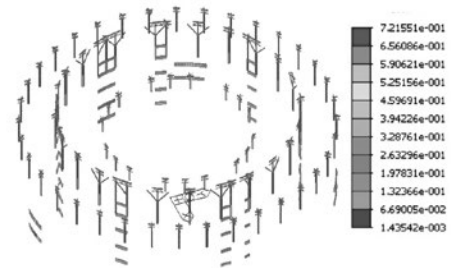


图19 与支撑连接框架、与框架柱连接桁架罕遇地震不屈服剪应力比

出结构薄弱部位的同时,对结构采取加强措施。

采用Sausage软件进行罕遇地震的弹塑性分析,其主要振型的周期同MIDAS软件的计算结果基本吻合,相差3%左右,详见表5。钢材的非线性材料模型采用双线性随动硬化模型(图20),在循环过程中,无刚度退化,考虑了包辛格效应。钢材的强屈比设定为1.2,极限应力所对应的极限塑性应变为0.025。在循环过程中,无刚度退化。

表5 Midas与Sausage模型周期对比

振型	周期 (s) \Midas	周期 (s) \Sausage
1	1.425	1.464
2	1.408	1.422
3	1.097	1.065

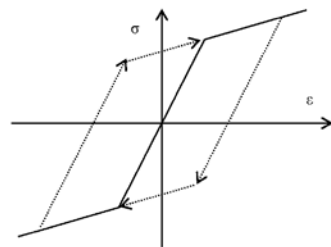
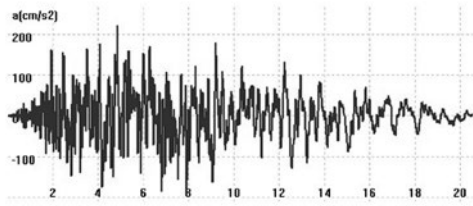
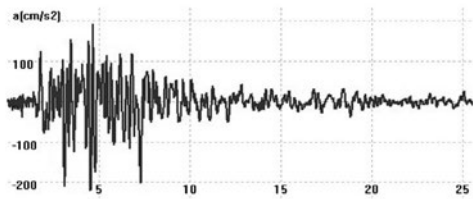


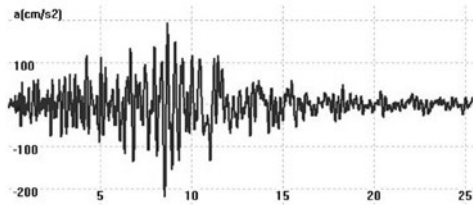
图20 钢材的动力硬化模型



(a)人工波 (RH2TG040)

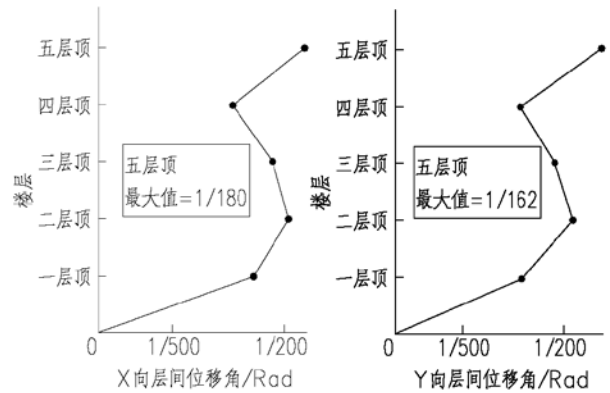


(b)天然波1 (TH1TG040)

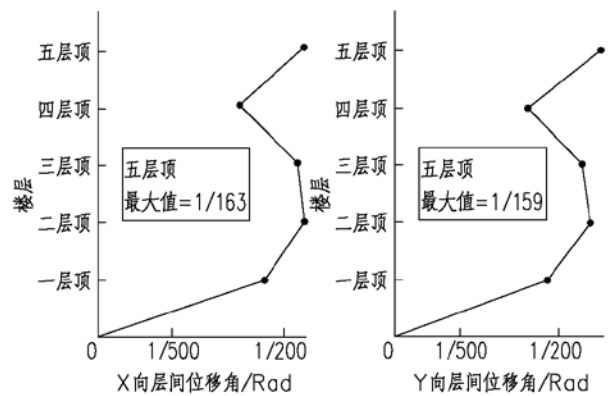


(c)天然波2 (TH4TG040)

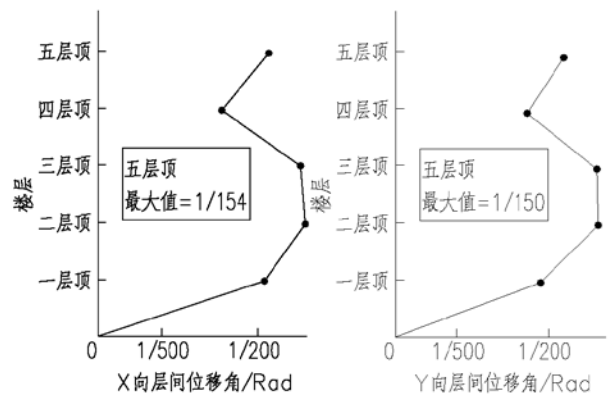
图21 地震波时程曲线



(a)人工波弹性层间位移角



(b)天然波1弹性层间位移角



(c)天然波2弹性层间位移角

图22 楼层最不利弹性层间位移角

表6 楼层最大弹塑性层间位移角

地震波	X方向最大层间位移角	Y方向最大层间位移角
人工波	1/180	1/162
天然波1	1/163	1/159
天然波2	1/154	1/150

本工程结构动力弹塑性时程分析采用特征周期 $T_g=0.4s$ 的两条天然波 (TH1TG040、TH4TG040) 和一条人工波分别进行主次双向地震作用计算, 双向地震作用下结构地震响应主次方向比值比施加为 1: 0.85。地震波持续时间均大于10s, 大于结构基本周期5倍。加速度峰值均为220gal, 结构阻尼比0.04。地震波时程曲线如图21所示。

4.2.1 弹塑性层间剪力、层间位移角

在罕遇地震作用下结构最大弹塑性层间位移角沿楼层的分布曲如图22所示。

各组地震波作用下楼层最大弹塑性层间位移角见表6所示, 从表中可以看出, 塔楼最大弹塑性层间位移角均小于性能指标限值1/50, 满足大震

不倒的性能目标要求。

表7统计了动力弹塑性时程基底剪力与等效大震弹性基底剪力、小震反应谱基底剪力的比值。从表中可以看出, 动力弹塑性时程基底剪力与等效大震弹性基底剪力数值十分接近, 说明等效大

表7 基底剪力对比结果

剪力对比		动力弹塑性时程基底剪力与等效大震弹性基底剪力比值	动力弹塑性时程基底剪力与小震反应谱基底剪力比值
人工波	X向	68862/74045=93%	68862/12944=5.32
	Y向	69095/75930=91%	69095/13263=5.21
天然波1	X向	67956/75507=90%	67956/12944=5.25
	Y向	70029/76118=92%	70029/13263=5.28
天然波2	X向	66920/71957=93%	66920/12944=5.17
	Y向	71620/75390=95%	71620/13263=5.40

震的计算结果有效；弹塑性时程分析基底剪力为小震反应谱基底剪力5~5.4倍，处于合理范围，说明结构在确保整体刚度的同时，部分构件进入塑性、刚度退化从而增大了结构的阻尼比，使得地震作用减小。

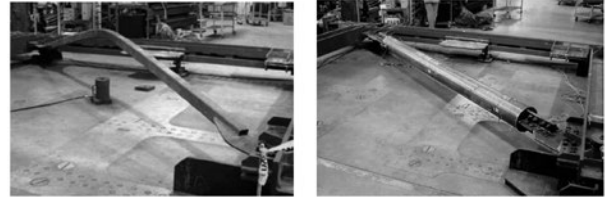
4.2.2 BRB支撑罕遇地震的耗能分析

本项目的BRB支撑采用耗能型防屈曲支撑，其布置一方面要结合建筑的使用功能，另一方面要起到调整结构的扭转位移比的作用。项目中共设置了63个BRB支撑，其数量分布、承担的剪力详见表8，从表中可以出，支撑分担的剪力占比在8.2%~31.3%不等，设置支撑后可以将扭转位移比从1.41降低到1.26。

表8 楼BRB耗能附加阻尼比

位置	数量	支撑承担的剪力占总楼层总剪力的比值 (%)	设置支撑的层位移比	未设支撑的层位移比
			最大值	最大值
一层	19	31.3	1.26	1.41
二层	15	28	1.24	1.32
三层	15	29.2	1.2	1.31
四层	7	11.8	1.16	1.37
五层	7	8.2	1.14	1.4

耗能型BRB支撑在多遇地震作用下保持弹



(a)普通支撑受压屈曲

(b)BRB支撑受压稳定

图23 普通支撑与BRB支撑的工作状态

性，为结构提供抗侧刚度，而在罕遇地震作用下无论受拉还是受压均能实现全截面充分屈服从而耗散地震能量，并不会出现支撑构件的整体屈曲或局部屈曲破坏。图23展示了普通支撑与BRB支撑的工作状态区别。

图24为典型BRB支撑在罕遇地震时程分析时的滞回曲线，形态较为饱满，耗能状态良好。图25为罕遇地震时程作用下，结构整体的能量分布曲线，其最下部曲线所围合的面积为BRB支撑耗散的能量，并可依据公式(3)计算出BRB提供的附加阻尼，结果详见表9。

$$\xi_a = \sum_j W_{c,j} / (4\pi W_s) \quad (3)$$

式中： ξ_a — BRB提供的附加阻尼比；

$W_{c,j}$ — 第j个BRB支撑在结构预期层间位移往复一周所消耗的能量；

W_s — 结构在预期位移下的总应变能。

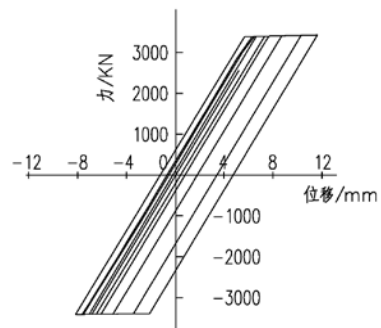


图24 罕遇地震下典型BRB滞回曲线

4.2.3 与支撑相连的框架柱抗震性能

罕遇地震工况下与支撑相连的框架柱的最不利损伤情况如图26所示，框架柱大部分无损伤，少数框架柱根部轻微损坏，满足框架梁柱的性能目标高于支撑的设计要求，从而能够确保支撑发挥其耗能作用。

表9 楼BRB耗能附加阻尼比

地震波	作用方向	BRB附加阻尼比 (%)	结构弹塑性阻尼比 (%)	总阻尼比 (%)
人工波	X	0.3	0.1	4.4
	Y	0.4	0.1	4.5
天然波1	X	1.0	0.1	5.1
	Y	1.0	0.2	5.2
天然波2	X	0.6	0.1	4.7
	Y	0.5	0.1	4.6

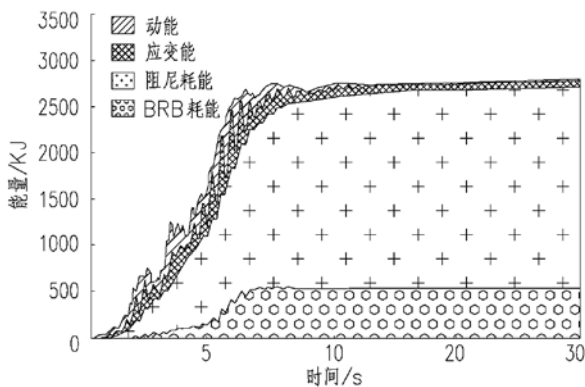


图25 罕遇地震下结构能量曲线

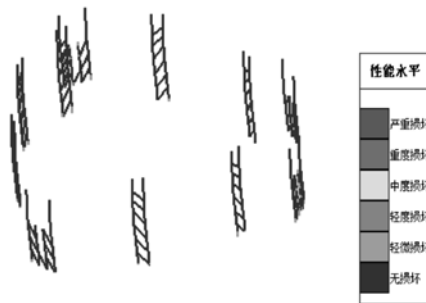


图26 框架柱塑形损伤状态

4.2.4 普通支撑和框架梁的抗震性能

普通支撑大部分发生屈服，可充分耗能；部分框架梁端部发生轻微和中度损伤，可提供部分耗能，并满足强柱弱梁的设计要求。

5 结论

(1) 成都金堂会展中心建筑造型复杂、结构形式多样，由屋盖桁架体系、屋面网格及下部框架支撑结构组成，中庭屋面采用了单层网壳，并

在楼梯间设置BRB防屈曲支撑。

(2) 结构存在有效楼板宽度小于相应楼层典型宽度的50%、位移比大于1.2，及局部穿层柱等超限项，为不规则建筑，需要进行抗震性能化设计。

(3) 结构的性能化设计，是根据工程的抗震设防类别、设防烈度、场地条件、结构超限程度等因素确定结构的抗震性能目标，明确结构整体及各构件（关键构件，其他构件等）的抗震性能指标，并通过结构在各个设防水准地震作用下的详细计算分析，及构造措施，确保结构抗震设计的安全合理，满足既定设防目标。根据本项目的特点，将穿层柱、与屋盖桁架连接的框架柱、与框架柱连接的桁架杆件及复杂的关键节点设置为关键构件，并设置相应的抗震性能化目标。

(4) 依据公式(1)、公式(2)，采用MIDAS计算软件对设防地震和等效罕遇地震作用下的构件性能目标进行验算。

(5) 采用ANSYS有限元分析软件对关键节点进行精确化分析，明确其受力特点，并确保其具有足够的承载能力。

(6) 采用Sausage软件进行罕遇地震动力弹塑性时程分析，通过结构的整体指标及构件的塑形发展状态判断结构的损伤程度，使其满足相应的性能目标。

(7) RBR屈曲约束支撑的合理布置，一方面可以在多遇地震作用时提供结构刚度，降低结构扭转位移比，另一方面可以在罕遇地震作用时提供有效的耗能，通过公式(3)可以计算出BRB提供的附加阻尼。

参考文献

- [1] 超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点[R].20150521
- [2] GB50017-2017 钢结构设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2017.
- [3] GB50011-2010 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中华人民共和国住房和城乡建设部.2010

垃圾焚烧项目 污泥干化除臭系统设计研究

■ 徐佳佳 陆新生 [给排水]

摘要: 本文基于污泥干化臭气产生来源分析,从可能发生气味逸散的途径入手,将臭气来源分为污泥干化过程中产生的内源性臭气、外部环境逸散带来的外源性臭气。文本以万兴污泥干化与协同焚烧处置项目为例,设计针对性的控制措施,达到减少臭气逸散,保护人群安全健康的目的。

关键词: 污泥干化;臭气来源;内源性臭气控制;外源性臭气控制

成都市万兴环保发电厂污泥干化及协同焚烧处置项目建设在已投运的万兴环保发电厂内。万兴环保发电厂是成都市重点的城市固废处理中心,同时,也是市政府宣传及科教的重要基地。污泥干化项目是业内鲜有在已投运的发电厂实施技改的先锋案例,成都市政府及各单位对该项目高度重视。该项目新建污泥干化生产线,日处理湿污泥400t/d(含水80%),经干化后的污泥约133t/d(含水约40%),送入现有的万兴环保发电厂垃圾焚烧系统与生活垃圾协同焚烧,干化后污泥掺烧比率约为5.54%。

在污泥干化以及运输车辆出入厂房过程中,不可避免产生臭气外溢问题。由于发电厂为市政府重点关注的重点项目,臭气外溢及其控制是业主方重点关注的的关键性问题。本文针对污泥产生臭气来源进行分析,在空间上分别从污泥厂房及输送和外部环境控制两个方面进行有效控制。

1 臭气产生来源分析

1.1 内源性臭气

污泥干化的一般过程为湿污泥经过厂区地磅房称重后,进入湿污泥接收仓,由螺杆泵送至湿污泥缓存仓,再经缓存仓底部的湿污泥输送泵输送至污泥干化机进行干化^[1]。在干化机内利用蒸汽间接加热湿污泥,将湿污泥含水率降至40%以下后,经干污泥缓存仓暂存,利用运输车或刮板机等设备送至垃圾焚烧炉进行最终焚烧。

在污泥干化过程中,由于热分解作用,不稳定的有机物易分解产生酸性恶臭气体,比如含硫气体 H_2S , SO_2 , COS , CS_2 , CH_3SH 等、含氮气体 NH_3 , HCN , NO_x 等,及其他挥发性有机物^[2]。结合项目具体情况,在污泥干化过程中可能产生的臭气来源如下:

- (1) 污泥干化过程中产生的不凝气体(高浓度臭气);
- (2) 输送干污泥时,刮板机模块连接处泄露;
- (3) 湿污泥接收时臭气自缓存间、储仓泄露;

作者简介:徐佳佳,女,助理工程师,2019年毕业于北京师范大学环境科学专业,现就职于航空工业规划市政工程设计研究院。

(4) 污泥储存、生产中泄漏至室内；

(5) 湿污泥接收时物料遗撒。

这部分臭气是污泥干化过程中产生的内源性臭气，具有含湿度高、含尘量高、浓度高的特点。

1.2 外源性臭气

除污泥干化受热分解产生内源性臭气，还应考虑在运输车运送污泥进出干化厂房所导致的臭气外溢。这部分臭气浓度相对较低，但在环境中扩散面积大，无法集中收集处理^[3]。未经处理的臭气直接向室外厂区逸散，将对整个厂区的运营人员、参观人员、操作人员等都产生较大的危害，影响厂区整体运维环境。因此，有必要在设计之初考虑外源性臭气的合理控制。

目前臭气的排放标准应遵循《恶臭污染物排放标准》(GB 14554-93)，标准中提出对恶臭污染物厂界标准值是对无组织排放源的限值，要求恶臭气体在处理满足二级新建标准，具体如表1所示。

表1 恶臭污染物厂界标准值

序号	控制项目	二级 (新扩改建)
1	氨 (mg/m ³)	1.5
2	三甲胺 (mg/m ³)	0.08
3	硫化氢 (mg/m ³)	0.06
4	甲硫醇 (mg/m ³)	0.007
5	甲硫醚 (mg/m ³)	0.07
6	二甲二硫 (mg/m ³)	0.06
7	二硫化碳 (mg/m ³)	3.0
8	苯乙烯 (mg/m ³)	5.0
9	臭气浓度	20 (无量纲)

集中处理的恶臭污染物排放量执行《恶臭污染物排放标准》(GB 14554-93)的规定，以15m排气筒高度对应排放标准值如表2所示。

除上述必须执行的标准外，应根据项目所处地区不同，再结合当地的相关规范及标准严格控制臭气的排放。

2 内源性臭气控制方案

内源性恶臭气体的释放主要与污泥干化温

表2 恶臭污染物排放标准值 (kg/h)

序号	控制项目	排放量
1	硫化氢	0.33
2	甲硫醇	0.04
3	甲硫醚	0.33
4	二甲二硫醚	0.43
5	二硫化碳	1.5
6	氨	4.9
7	三甲胺	0.54
8	苯乙烯	6.5
9	臭气浓度	2000 (无量纲)

度、时间、污泥含水率有关^[4]。针对污泥干化过程中可能在厂房内部逸散的臭气来源，本章节可分为干化机尾气中的高浓度臭气处理、厂房内设备及管道逸散的臭气单独处理、减少臭气向厂外溢散等提出相应措施。

2.1 干化机尾气中的高浓度臭气处理

干化机产生的不凝气体浓度较高，经过干化厂房内的旋风除尘器除尘、冷凝器冷却，由臭气风机抽送至垃圾接收池，与垃圾池内的空气混合，并最终通过一次风机将混合气体送入焚烧炉内焚烧处理。

在进行干化机尾气中臭气集中收集与处置的过程中，处理后的高浓度臭气经离心风机、室内排风经高压管道轴流风机统一送入垃圾池处理。输送管道考虑防腐及密封性，应着重注意臭气输送过程的防泄漏，输送管道宜全程选用不锈钢材质，并采用焊接连接。同时考虑负压输送，可在垃圾池侧增设引风机。

2.2 设备及管道逸散的臭气单独处理

厂房内设备及管道逸散的臭气包含H₂S、NH₃、硫醇类、硫醚类等，针对不同的泄露或遗撒源头，分别设计如下针对性措施：

(1) 刮板机每隔一段距离设吸风口，同高浓度臭气管道相连，保持刮板机内负压运行。

(2) 在湿污泥接受仓顶部设置收集罩，设置局部排风，卸车时与卸料门同时启动，保持卸料门处气流有序，防止泄露。

(3) 设置全室排风，使室内保持负压，排风

设置专用管线，并集中统一处理。

(4) 对于湿污泥接收时物料遗撒的问题，可设地面冲洗，并在每次接收后进行。卸料间地面冲洗水同其他生产废水一同净化处理。

厂区内设备及管道逸散的臭气由吸风管道进行负压收集，并进入独立的除臭系统进行处理，达标后，经排气筒集中排放。目前常用的集中单独臭气处理工艺包括酸碱洗涤塔、植物液喷淋/洗涤系统、生物滤池、活性炭吸附、高能紫外线光能光解、低温等离子工艺等。考虑到逸散的臭气成分较为复杂，为保证臭气处理能力稳定达标，本设计方案应用生物滤池和活性炭吸附组，酸碱洗涤和活性炭组工艺组合来处理逸散的臭气。

2.3 减少臭气外溢措施

为更好地减少污泥干化厂房的臭气外溢至室外，在设计门窗时提高其密闭性要求，并要求配有密封垫或胶条。在干污泥储存间、污泥缓存池以及污泥干化间选用气密性达国标六级标准的硬质卷帘门，在门窗不常开闭的基础上，可以起到良好的臭气隔绝效果。对气味较重的污泥卸料间，选用气密性可达国标八级的快速硬质卷帘门。在保证吸风负压的同时，卷帘门迅速开关，尽可能减少内源性臭气的外溢。

3 外源性臭气控制方案

以人流与厂区分隔和减少臭气向外逸散，两种思路导向设计方案一：厂区内分区遮蔽；方案二：景观墙及喷淋液除臭设计，以达到控制臭气、美化厂区、减少人体感官不适的目的。

3.1 厂区内分区遮蔽方案及其优缺点分析

对物流通道封闭（包括污泥干化厂房/地磅房/污泥车进出口/坡道栈桥）的方案，可减少臭气逸散至室外危害人群健康。

采用钢结构形式对可能产生异味的建构筑物进行封闭，避免臭气的无组织逸散，隔绝臭气效果较好，可减少人流通行时产生的不适感。

但遮蔽方案需同时保证消防通道的合理性，环形消防通道需满足规范。须注意围护结构不可阻挡厂区入口，以免影响消防出入口。另外，污泥厂房周边空间有限，不仅需要足够空间供外部增加一个封闭结构，而且地磅房区域及污泥干化厂房进口处的跨度大，需要设置柱子支撑结构，但其位置不可占用道路，阻挡厂区内人流或物流

的通行。同时，若设置钢结构遮蔽整个污泥干化厂房会导致厂房内通风散热受到较大影响。

3.2 景观墙与喷淋液除臭方案及其优缺点分析

可以利用厂房周边空余区域，设置景观墙和花池来遮挡和美化干化厂房。由于道路和边坡之间的距离小，空间不够种植高大的乔木，因此采用景观墙与花池结合的形式。设计长135m、高2.4m、厚240mm的景观墙，外贴劈离砖饰面。花池采用清水砖砌筑，高0.45m，长135m，外贴劈离砖饰面。中间种植香味宜人的花，面积70m²。

另外，对重点区域配置喷淋液喷洒装置，喷淋装置自上向下均匀喷洒。臭气自下向上运动，与自上向下均匀喷洒的溶液吸收剂不断接触，气液两相充分接触传质，使臭气中以氨为主的有害气体污染物得到吸收净化^[5]。本方案选择植物液喷淋系统，植物液无毒、安全、可生物降解，在达到较好除臭效果的同时，不会带来二次污染^[6]。沿着屋架或坡道等布置植物液喷洒管道，植物液经过喷淋主机的柱塞泵送至管道下方的植物液雾化喷头。喷头喷出的植物液可在一定空间内雾化，在可能散发臭气的路由上方形成液状薄雾，臭气被液状薄雾层包裹并反应，可有效去除臭气。

具体布置方案如下：

(1) 景观墙上设置植物液喷洒，喷淋流量为225L/h，扬程约30m，设置30个喷头。

(2) 污泥干化厂房卸料大厅内，设置喷淋液喷洒，约60个喷淋液喷头；厂房东侧大门外墙设植物液喷洒30m。喷淋流量为245L/h，扬程约30m。

(3) 自物流入口至上料坡道外墙设植物液喷洒管道约200m，喷淋流量为340L/h，兼顾停车等候区。

(4) 主厂房内污泥卸料门处及上料坡道设植物液喷洒约150m，喷淋流量约255L/h。

本设计方案有一定吸附隔绝臭气的效果。选用吸附能力强和香气较重的花卉，并配合喷洒植物液，可对外溢的臭气进行二次去除。同时，植物喷洒液兼顾清新空气的作用，还提升了厂区整体美化效果。景观墙具有高度的观赏性和宣传性，结合花池可较大程度上丰富园区整体风貌，增强园区美观性。在污泥车可能经过的物流沿途增加补充植物液喷淋设施，在保证大厅内吸风负压的同时，多一层喷淋液防护，可较好的减少臭气外溢可能。另外具有价格优势，施工及种植难

度小,并且在红线内不存在征地等问题。

本方案有3条主要弊端。一是花池需维护费用,景观墙和花池需要定期清理,花灌木需要人工养护。二是需要考虑植物液长期运行存在的运行费用,植物液本身成本较高,一方面需控制好换气量和气液比以减少植物液消耗;另一方面,建议分时段定时喷射以避免不必要的损耗。最后本方案无法实现人流与厂区实质性分隔。参观车辆仍需从原有人流道路进入厂区,且景观墙高度不足以完全遮挡污泥干化厂房。

4 结论

(1) 污泥干化厂房臭气的主要来源,一是由于干化过程中热分解所产生的内源性臭气,二是车辆进出厂房,车辆及厂房内部臭气逸散至厂区所带来的外源性臭气。

(2) 针对内源性臭气,控制的关键在于在保证负压的同时,设置除尘器、收集罩、吸风管路等,进行臭气的集中收集与处置。另外对门窗应有相应的气密性要求、起闭速度要求等,在保证吸风负压的同时,卷帘门迅速开关,可减少臭气外溢。

(3) 针对外源性臭气,以人流与厂区分隔和减少臭气向外无组织逸散,两种思路为导向设计厂区部分遮蔽、景观墙与喷淋液方案,可达到控制臭气、美化厂区、减少人体感官不适的目的。

(4) 建议从运行管理上加强管理。一是加强污泥运输车辆的管控。鉴于本项目污泥处理量不大,可采用集中供料形式,污泥进料集中在夜间时段;参观人员集中区域时段不进污泥,避免卷帘门频繁开闭,可有效防止臭气扩散。二是对人员培训加强管理。污泥干化项目属于新类型的环保项目,因此要重视专业人员的培训,尤其是卷帘门切勿长期开启,避免臭气外溢到室外,可有效降低周围的臭气浓度,保证周围环境质量。

参考文献

- [1] 孙小燕,孔洋,卜亚明.垃圾焚烧厂污泥干化除臭系统的优化探讨[J].能源环境保护,2020,034(001):68-72.
- [2] 王泉斌,成珊,黄经春,等.污泥干化臭气控制方法对比试验研究[J].华中科技大学学报(自然科学版),2017(45):77.

[3] 翁焕新,章金骏,刘瓚,等.污泥干化过程氨的释放与控制[J].中国环境科学,2011.

[4] 周杰,吴敏,牛明星,等.污泥干化过程恶臭气体释放的研究进展[J].中国给水排水,2015(04).

[5] 李春萍,张凯,熊运贵,等.污泥热干化过程中的恶臭释放与控制[J].环境工程,2014(S1):593-596.

[6] 彭明江,邱诚.污水处理厂植物液除臭技术工程试验研究[J].成都工业学院学报,2017,20(2):21-24.

基于EPC视角的锂离子电池建设项目 施工管理策划研究

■ 张运锋 [工程管理]

摘要: 本文通过简述锂电池生产工艺及其生产环境,概括项目建设具有规模大,工艺管线错综复杂,参建承包商众多,施工任务重,工期紧等特点,依据施工管理策划的要求,分别从施工组织、质量管理、进度管理三方面易出现问题或管理薄弱处重点分析研究,总结得出应将统筹临建设施规划、做好合同交底、严控洁净实验室环境施工质量、利用BIM综合管线排布、构架信息沟通平台等列为施工管理策划重点,从而避免在施工过程中因组织不利造成返工、窝工等从而使得成本增加、工期延误,对类似工程有一定的指导意义。

关键词: EPC; 锂电池; 施工管理; 施工策划

0 引言

在过去的20余年中,国内锂离子电池技术及相关产业得到巨大进步,但是尚未形成成熟的生产工艺。随着国家十三五规划对新能源大力推广,新能源电动汽车急剧扩张,带动着锂离子动力电池生产企业的迅速发展,较多企业新涉足此行业,为快速取得市场占有率,获得行业话语权,锂电池建设项目呈现投资多、产能大、建设规模大、建设工期紧、建设标准高、边改边建等特点,为应对上述项目建设特点,避免造成投资浪费,赢得抢占市场先机,投资企业在项目建设上多数采用EPC工程总承包模式。那么EPC总承包单位有针对性的编制科学合理的施工管理策划重点是哪些,正是本文要论述的。

作者简介:张运锋,男,高级工程师,2006年毕业于河北建筑工程学院工程管理专业,现就职于航空工业规划机载工程事业部。

1 锂电池相关技术现状与项目特点

1.1 锂电池生产相关技术现状

1.1.1 结构形式

锂离子电池构成主要由正极、负极、非水电解质和隔膜四部分组成,其结构形式不同,材料不同,但生产工艺相似。虽工艺相似,但生产设备配置差异很大,比如:目前市场占有率较高的磷酸铁锂电池和三元锂电池,虽然两种型号电池正极原材料差异较大,但是生产工艺流程相似,可是二者的工艺参数需求差异非常大,如果将磷酸铁锂全面更换为三元材料,那么生产线上大部分设备都需要更换。

1.1.2 锂电池制造工艺

锂电池的生产工艺复杂,主要生产工艺流程可分为前、中、后三段。

前段工序:主要是电极制作搅拌涂布阶段,

主要设备：真空搅拌机、涂布机、辊压机等；

中段工序：主要是电芯合成卷绕注液阶段，主要设备：模切机、卷绕机、叠片机、注液机等；

后段工序：主要是化成封装包装检测阶段，主要设备：化成设备、定容检测设备、仓储物流自动化设备等。

除此之外，电池组的生产还需要Pack自动化设备。

1.2 锂电池建设项目特点

1.2.1 建筑规模大，施工任务重

锂电池每条流水生产线设备上百台套，加之其生产环境为有一定洁净度要求，锂电洁净厂房生产设备及空调等辅助设备较多，辅助性用房较多，因此锂电洁净厂房整体建筑面积比较大。

1.2.2 工艺管道错杂复杂、专业间交叉作业多、参建分包商多

由于锂材料的特殊化学性，锂电池生产车间低湿洁净环境要求高，工艺技术复杂，配套专业涉及280℃的高温导热油，冷冻水，纯水、防排烟、空调通风、新风、压缩空气、氮气、供电母线、网络系统、安防、消防报警、工业废水等；

参建分包商多达百余家，各专业工序先后顺序、专业管线空间交叉、厂房施工与工艺设备安装水平、垂直交叉作业，且各包商之间因各自利益，默契配合协调性差。

1.2.3 锂电池生产环境要求严苛

由于锂金属的化学特性非常活泼，使其加工、保存和使用过程对环境要求非常高，比如：正负极投料间、涂布间、辊切间、干燥前电池暂存间和入炉间等小环境，相对湿度 $\leq 20\%$ 。高温静置间和化成间设置低露点除湿空调系统，露点温度 $\leq -30\text{℃}$ ；二次注液间设备小环境设置洁净低露点除湿空调系统，露点温度 $\leq -50\text{℃}$ 。涂布辊切、一次注液、二次注液、化成等工序要求房间洁净度达到10万级。

尤其在锂电池生产过程中，其生产工艺中的封口、注

液工序操作的电芯、壳体均已通过干燥处理，因此对车间内空气中的水分极其敏感，一旦房间内空气中水分含量过高被电池吸收，会造成电池鼓胀、漏液等诸多问题。因此，锂电池厂房对防水工程施工质量要求较高。

1.2.4 锂电池生产工艺不成熟、工艺条件不断变化

正如引言所述，锂电池在我国发展20余年，其工艺条件相对不成熟，因此在项目建设期间工艺参数变化频繁，不断调整设备型号及工艺设计布局，相应的建筑平面布置、结构荷载、电气负荷、通风风量、动力等专业修改频繁，正是边改边拆。

1.2.5 建设进度要求高

投资方为抢占产品市场，通常将建设工期压缩到极致，甚至定额工期两年，实际要求一年建成投产。同时，又因锂电池生产工艺不成熟、工艺条件不断变化、更新，项目边改边拆的特点，因此对项目建设进度要求很高。

1.3 某已建锂离子动力电池项目概况

本文作者曾参与某已建成投产使用的锂离子动力电池项目建设规模、资源投入主要数据如表1~表4所示。

表1 某锂电池项目建设规模主要数据

序号	项目	单位	主要指标	备注
1	年产锂离子动力电池	亿瓦时	25	
2	总投资	万元	202000	
3	本项目工艺设备总数	台、套	451	
4	建筑面积	m ²	128936	

表2 变压器安装情况汇总表

序号	变配电所服务的部门	变压器台数、容量	备注
1	1号电池生产厂房	4*2000kVA	1T1~1T4#变
2	2号电池生产厂房	4*2000kVA+4*1600kVA	1T5~1T12#变
3	3号电池生产厂房	4*2000kVA+4*1600kVA	1T13~1T20#变
4	综合站房	1250+1000kVA	1T21~1T22#变
5	合计	39050KVA	

表3 主要动力介质耗量汇总表

序号	车间名称	压缩空气(m ³ /min)	抽真空量(m ³ /min)	天然气(m ³ /h)	氮气(m ³ /h)	备注
1	1号电池生产厂(一)	16.81	9.7		201	
2	2号电池生产厂(二)	57.32			13.28	
4	3号电池生产厂(三)	69.56	4.8		1	
5	综合站房(制冷站房)			940		
7	5号导热油泵房			2300		
8	综合站房(制氮站)	18				
9	合计	161.69	14.5	3240	215.28	

表4 某锂电池项目主要施工资源投入

序号	项目/资源名称	主要指标/数量
1	工期	330天
2	涉及专业	土建、市政、绿化、燃气、幕墙、防水、电气(变配电、强电、弱电)、通风、给排水、消防、洁净工程、锅炉、压力容器等专业
3	主要参与单位	总承包、专业分包、设备搬运公司、建安设备安装单位和工艺设备厂家等共计120余家
4	高峰期施工人数	2240余人
5	大中型常用施工设备	塔吊、各型起重机、各型压路机、各型挖掘机、叉车、各型重型运输车辆等百余台、套

2 项目策划的要求

项目策划应结合上述锂电池项目自身独具特点,根据项目合同工期、质量以及工程总承包自身企业管理的要求,分析项目可能存风险以及采取的应对措施,策划项目各项管理原则、措施的关键点。

2.1 承包范围及分工、项目目标

首先要查看合同承包范围,分工,项目质量、安全、进度、费用目标等。

2.2 施工管理策划主要内容

施工管理策划核心内容:施工组织原则,施工质量计划,施工安全,职业健康和环境保护计划,施工进度计划,施工费用计划,施工技术管理计划,施工技术方案要求,资源供应计划,施工准备工作要求。

3 项目风险分析

经过深入了解锂电建设项目的特点,投资方对项目各项指标要求,确定项目施工策划核心,

结合本人参建的锂电建设项目经验,总结施工管理过程中在施工组织、质量管理、进度管理三方面易出现问题或管理薄弱进行重点分析与研究。

3.1 施工组织风险

专业分包商多,施工人员多,进场材料和堆放场占用面积大、建安和工艺设备进场、搬运、吊装及安装频繁持续时间长,同一时间内同一工作面各专业平行、垂直交叉作业多,各专业管线综合布线相互平行、交叉影响等,这些都存在一定的人员组织、材料和设备组织、机械施工组织、工序先后组织等风险。如:临时用电规划不周全,施工期间造成负荷不足;临时道路无序管理,经常被堆放材料或者混凝土浇筑时混凝土泵车影响厂区内交通等;诸如以上事项如果组织不利,将相互之间影响扩大,造成人员窝工,材料和设备无法组织进场以及机械设备闲置,最终会导致的工期延误。

3.2 施工质量风险

由于锂金属的化学特性非常活泼,而且电池在生产时对低湿洁净环境要求高,如果项目施工

质量有缺陷,也将对电池产品的质量产生影响,如:洁净室耐磨地面开裂易产尘影响室内环境洁净度,空调设备或风管出现施工质量问题造成生产环境温湿度达不满足电池工艺生产条件,生产车间防水质量出现问题可能导致严重生产安全事故,以上种种质量问题都会导致电池成品质量问题或发生安全生产事故。

3.3 施工进度风险

为满足合同工期目标,项目建设过程中,一是采取各种非常规手段(早拆模、提前投入使用等非常规方式),二是分段流水,同时加大人材机等资源投入,见缝插针施工,三是找出关键线路,重点控制关键工作。各专业各工序之间势必环环相扣,紧密相连,一旦任何中间环节脱节,则工期不可控,而在建设过程中往往会出现各种不可控因素,因此,工期进度风险仍然存在。

4 施工管理策划重点及应对措施

4.1 施工组织策划

工程建设规模、参建单位、施工人员以及各专业交叉复杂性等因素都是施工组织策划主要考虑重点,结合项目特点,根据类似工程经验,主要通过整体规划、统筹安排、统一标准,实现施工组织井然有序,做到忙而不乱,使施工现场整洁安全高效。

4.1.1 厂区临建规划

根据项目标段和合同工作包划分情况,整体规划临时设施,主要考虑:各总分包生活区、办公区、现场材料堆放区(材料进场根据施工需要分批次进场)、安全文明卫生责任区,塔吊安装位置,工艺设备临时堆放区(考虑占地面积、场地硬化、照明、监控、安保、消防等),厂区道路要保证正常通行,确保塔吊基础,临时一级、二级配电箱,室外设备搬运通道,室外基础及道路施工相互间不冲突等。

4.1.2 临时用电和临时用水策划

由于各总分包单位用电点位及计量复杂,根据各阶段用电情况,估算用电总负荷,在设计之初充分考虑后期用电量和负荷,在各总、分配电箱设有足够数量的备用电源、回路,开关等。临时用电策划采用临电管理组织机构和临时用电配电管理层级,即:工程总承包负责临时用电全面管理,施工总承包单位负责组织临时用电方案

实施和维护,各分承包服从临时用电管理规章制度,安全用电。

临时用水管理采用临时用电类似的管理模式。

4.1.3 厂区临时道路策划

在施工高峰期,同一条道路、同一时间段内有不同类型车辆占用道路,比如:同一道路上会出现混凝土浇筑泵车、设备吊运的起重机、运输工程材料的重型货车、清洗道路的洒水车、穿越道路管沟开挖等,若没有统一指挥很容易造成交通堵塞,因此根据各单位报备的厂区道路占用情况统筹规划,统一调度,实时公布,相互知悉,及时调整工作安排,避免因此而产生人员窝工和机械闲置。

4.1.4 设备进场策划

设备进场前设备进场计划,设备基础复核工作,设备进场洞口是否与室外设备基础冲突,搬运通道预留及通道楼地面荷载是否满足搬运要求,设备运输车辆场内运输路线和卸车场地路基条件和作业半径是否满足要求均要复核完成等。

建安和工艺设备在进场后一般不能立即开始安装,都会在存放在临时堆放场,待具备安装条件时再进行搬运安装,因此要策划从整机设备或配件现场组装,设备/配件数量、设备重量、存放周期、防火防盗等方面考虑,设备进场后的存放、安全、搬运等的管理。

某项目设计了3层的锂电池生产厂房,每层设置不同的锂电池生产工序,由于各楼层的工艺设备到场时间不同,各层工艺设备所需要的土建结构条件和机电管线排布情况也不相同,这就给各楼层之间的工艺设备进场规划和交叉施工协调带来很大难度。

措施:针对3层厂房的特点,通过前期详细合理的策划工作(如:根据设备到场时间,规划设备堆场、设备运输线路和搬运方式),制定每台工艺设备的进场搬运计划,确保各楼层各工序工艺设备进场安装工作有序开展;超大超重设备搬运方案在结构设计时予以考虑。

4.1.5 合同交底策划

合同包界范围划分不合理或工作内容交叉重复或界面划分不清或工作内容漏项,如果出现上述情况,各承分包商之间因利益冲突会相互推诿,导致延误工期。因此,务必在工程实施前,各单位进场后立即组织合同交底,使各承分包商清晰、熟知本单位合同工作内容,分析、梳理各单位

工作界面划分,通过会议洽商方式合理划分包界范围,减少包商之间界面交叉,预判可能出现的纠纷,在交底洽商时明确责任主体。避免出现施工过程中因一项工作相互扯皮、推拖而延误工期。

因同一材料、设备可能是不同的总分包单位采购,若没有统一标准要求,会出现材料、设备虽满足使用要求,但不利于维修保养和厂家售后服务,且规格大小、颜色等五花八门,整体美观性差。在工作界面划分时,要求各总分包单位采购材料/设备在满足设计要求的情况下要尽量统一规格型号、工艺参数、颜色、品牌等,尤其涉及外观观感效果的材料/设备。如:某电池项目中门有防火隔声门、防火卷帘门、密封门、提升门、钢制门、木门等类型,门型多,种类多,数量总计约1500樘,应对同一种类门型统一品牌、统一颜色、统一编号标准,为竣工钥匙移交以及竣工后维修提供方便。

4.1.6 信息沟通策划

项目实施阶段的各方面信息比较庞大而繁琐,因其需要参建承分包商之间信息要对称,要求统一服从指挥、各司其职具有良好团队协作精神,这就需要构建信息沟通的平台,主要有:组织进场的管理交底、建立微信工作群、召开电话会议、专题会等形式,其目的是统一目标,统一调配项目公共资源、协调各方步伐一致,明确各方责任、权利和义务。

管理交底和进场须知,通过管理交底明确各项规章制度,利用进场须知速查表,明确各总分方应提供资料(方案、计划)、日报表(日报、周报、月报)、各项检查(安全检查、质量检查、进度检查)、来往函件、各种会议、移交记录的格式、时间以及接收人等,使各方迅速了解相关内容,也统一各方信息的标准及兼容性。

根据工程协调会议制度和不同的施工阶段,采用不同的会议形式,做到结合现场,务实求真,不搞形式主义。譬如:工艺设备密集进场、安装及调试阶段,每天早上8点组织业主工艺技术人员、生产制造部门、建设管理部门、工艺设备供应商、搬运商、二次配施工单位等召开工艺设备晨会。

4.2 质量管理策划

通过走访和调研大量洁净厂房工程实例,得知洁净室楼面开裂、洁净室内温湿度、室内防渗漏、综合管线排布对室内洁净度和生产条件有

着较大的影响。

洁净室楼面及地面开裂、龟裂的现象普遍存在。应从结构楼板参数、工期、楼面提前施加荷载及施工过程中质量控制松散等方面综合考虑,采取增加板楼配筋和厚度、合理安排楼地面施工工序、加强裂缝质量管控措施等。

洁净室内温湿度管理策划重点,一是净化空调系统风管与部件制作环境要足够清洁,二是安装净化空调系统及附件的作业人员穿无尘服、使用不易产尘的工具、保证安装环境在洁净的状态下,重点关注是三通阀门安装位置与质量,三是保证风管连接处密封严密不漏风且美观,系统漏风量满足规范和设计要求。

屋面、墙面渗漏:屋面新增洞口或者防水施工质量引起的渗漏。建议从设计方面增强防水措施,如:变电所等重要设备站房的屋面或楼面上方增加液态防水涂料层;防水工程施工选用专业化的作业队伍;屋面后开洞要有专项方案。

工艺设备安装平面基准线和水平高程控制点经常被破坏,影响设备安装精度。施工总包单位负责向分包单位提供永久性的、统一的各楼层的标高线和控制线。

洁净区吊顶内管线错综复杂,施工期间和后期维修难以定位。根据建筑和结构图纸将洁净区吊顶上方框架柱或梁上喷涂或悬挂柱位号。

4.3 进度管理策划

根据建筑材料特性、施工工序要求、国家规范和标准等等相关要求,有些施工工序客观上必然是关键工作,如:土建工作完成才能机电安装,而模板拆除和后浇带是制约土建完成的重要节点等,因此分析找出这类工作并提前做好策划是规避工期延误最好的办法。

根据工期要求,列出主要里程碑节点,倒排工期计划,从试生产具备条件开始倒推,先满足通风、给水、压缩空气、电气(强弱电)、能源、动力等单系统调试,然而这些具体调试是先完成安装,安装前提是相对应土建房间应完工,那些安装与土建共同交叉点即是关键工作,通过倒排找出关键线路和关键工作,重点策划如何加强这类工作的管控。

项目工期短、规模大、施工难度大、专业多、工艺条件变化修改多,使得项目的总体控制经常偏离计划。

一是做好统筹管理方案,策划考核激励制

度、建立协调机制、统筹各包商之间工序交叉作业协调、综合运用现代化管理技术、利用BIM技术合理规划空间综合排布等。

二是主厂房根据图纸伸缩缝分布情况，组织分段流水施工，初步规划每个流水段面积。

三是后浇带耗时最长（主体结构浇筑42天后，后浇带才可以浇筑），建议用改为膨胀加强带与主体结构同时施工，缩短总工期。

四是支撑体系建议采用易拆卸早拆支撑体系，缩短大跨度支撑体系拆模时间。

各变配电所、动力站房等设备用房建筑专业施工、收尾及移交进度，直接影响建安设备进场安装和工艺设备调试的时间；因此重点将变配电所、动力站房等设备用房列为关键工作，重点项目管控。另外，当项目进入收尾阶段时，各专业收尾一定要干净利落，此时很多设备已开始调试，实施洁净管控，作业面洁净度有更高的要求，此时任何一项施工都将通过层层审批和做好洁净防护，大大降低工效，影响总体工期。

4.3.1 BIM综合管线排布

利用BIM可视性强、可提前预判管线冲突的优点，对走廊、洁净定吊顶上方管线进行统筹的综合管线排布，应考虑各管线组织施工的先后顺序；在计算共架荷载时将所有管线荷载全部考虑在内，避免遗漏而已安装共架荷载不足再重复做支吊架；重点考虑两个标段接驳处同一管线的管径、位置、标高，接驳方式是否匹配等。

4.3.2 利用已建建筑复核拟建建筑

厂区内拟建建筑与已建建筑有关联时，一定要符合已建建筑的轴线和标高与拟建建筑的位移与偏差。室外基础和建筑物基础施工时，要考虑在建筑物3m范围内其下部有无已建室外管线、检查井等，是否与管线、检查井相冲突。

5 结语

综上所述，本文从施工组织、质量管理、进度管理三方面易出现问题或管理薄弱处重点分析与研究，罗列出一些施工管理策划重点，但项目的复杂程度、项目独具特点、施工单位组织管理水平等也深深影响着策划重点，所以本文未全面囊括项目管理策划的方方面面，然而通过本文的研究可以为类似项目借鉴提供思路和方法。

因此，项目建设前期应通过深入了解、认真

剖析项目特点，学习总结类似项目策划和施工经验，结合本单位施工管理水平，制定详细而周全的项目管理策划，所谓运筹帷幄之中，决胜千里之外即是如此。

参考文献

- [1] 建设工程总承包管理规范 (GB/T50358-2017), 中国建筑业出版社2017
- [2] 李桂文. 施工现场临时用电管控重点及标准化流程研究报告, 中国航空规划设计研究总院有限公司 (技1904-18), 2019
- [3] 质量、环境、职业健康安全管理体系 (CAPDI-0-SC-2019, 版次: A), 中国航空规划设计研究总院有限公司, 2019

机场水泥混凝土加铺层设计

■ 杨博 殷小棠 [机场场道岩土]

摘要: 本文以老机场的改扩建为切入点,分析了机场道面的素混凝土加铺层设计要点。针对旧水泥混凝土道面参数的测试、加铺层结构形式的选择和加铺层厚度计算方法进行分析,最后以某机场加铺层厚度计算为例,明确机场道面加铺层厚度计算方法,对机场的道面结构设计具有重要意义,也将从技术方法层面上促进民航事业的发展。

关键词: 水泥混凝土;加铺层;道面厚度计算

“十三五”期间,我国民航机场建设规模大、速度快、投资高、效果好、支撑实。中国民航按照适度超前的原则,大力提升大型机场的容量,增强中小型机场保障能力,新建成一批支线机场、通用机场。预计“十三五”末,全国运输机场数量将增至241个,完成新建、迁建机场43个。

随着民用航空的迅猛发展,一些早期修建的机场跑道道面开始出现各种病害,直接导致道面使用性能下降,影响飞机的起飞、降落安全性。因此必须对损坏的道面进行道面结构补强和道面功能修复,以此来延长机场道面的使用寿命,确保飞机的运行安全。

在机场的改扩建过程中,由于旧混凝土道面的使用寿命已到,道面发生严重损坏,或者由于机型变化使用荷载增大,原有道面已不适应新机

种的使用要求时,就需要对道面进行加铺。加铺道面由于材料的不同可分为素混凝土加铺层,钢筋混凝土加铺层和沥青混凝土加铺层等。本文针对素混凝土加铺层进行讨论。

1 旧水泥混凝土道面参数

在对旧水泥混凝土道面进行全面评价的基础上,确定旧道面的状况分级,提供板厚、弯拉强度和弯拉弹性模量,基层顶面的当量回弹模量,以及旧道面板接缝类型、构造和传荷系数等。

(1) 旧水泥混凝土板的计算厚度应取现场钻取的圆柱体试件高度的平均值,并根据旧道面状况评定等级确定其厚度折减系数 C ,具体取值如表1。

(2) 旧水泥混凝土弯拉强度 R_w ,应根据现场钻取的圆柱体试件的劈裂抗拉强度,按式(1)确定。

$$R_w = 0.621R_p + 2.64 \quad (1)$$

作者简介:杨博,男,助理工程师,2019年毕业于东南大学交通运输工程专业,现就职于中航建设机场规划设计研究院。

表1 旧道面板厚度折减系数C建议值

道面状况	优	良	中	可	差
厚度折减系数C	1.0~0.95	0.95~0.90	0.90~0.85	0.85~0.75	0.75~0.65

$$R_p = R_w - 1.04s \quad (2)$$

式中： R_w ——旧水泥混凝土弯拉强度标准值，MPa；

R_p ——旧水泥混凝土圆柱体劈裂抗拉强度标准值，MPa；

R_p ——旧水泥混凝土圆柱体劈裂抗拉强度测定值的均值，MPa；

s ——旧水泥混凝土圆柱体劈裂抗拉强度测定值的标准值，MPa；

(3) 旧水泥混凝土弯拉弹性模量 E_c ，可按式(3)确定。

$$E_c = \frac{1 \times 10^4}{0.0915 + \frac{0.9634}{R_w}} \quad (3)$$

(4) 基层顶面的当量回弹模量 E_t 是一个条件变量，它不仅与土基和基层的性状有关，而且还受水泥混凝土板厚 h ，弯拉弹性模量 E_c 及季节等诸多因素有关，目前尚没有简单的确定方法。可采用在不同道面分区进行板顶加载实测回弹弯沉值进行反算的方法，求出 E_s 值。

基层顶面的计算回弹模量 E_s ，按式(4)确定。

$$E_s = nE_t \quad (4)$$

式中： n ——模量增大系数，取值范围为1.5~2.0。

2 加铺层结构形式选择

按照加铺层与旧水泥混凝土道面之间结合程度的不同，加铺层可分为隔离式、直接式和结合式3种结构形式。

(1) 隔离式加铺层

在旧水泥混凝土道面铺设隔离层后再铺筑加厚道面。在进行隔离式加铺层的应力分析时，假定上下两板之间为光滑接触，上下板都可以发挥其承载作用。

如果旧道面结构损坏比较严重，道面的状况分级为“可”、“差”时；或者旧道面的接缝布

置不规则，分块不合理时；或者新、旧道面坡度线不一致需要进行调整时，均应采用隔离式加铺层。隔离式加铺层

的厚度不宜小于16cm。

隔离层材料应采用油毡、沥青砂、细粒式沥青混凝土等刚度系数大，稳定性较高的沥青类材料，不宜采用砂、石屑等松散型粒状材料作隔离层。

(2) 直接式（部分结合式）加铺层

加铺层直接铺筑在洁净的旧水泥混凝土道面上。此时上下两层道面板之间既有一定的黏结力和摩阻力作用，而又不完全结合，上下板具有部分整体强度。因此，直接式加铺层的厚度比隔离式薄，其厚度不宜小于12cm。

如果旧水泥混凝土道面的状况分级为“良”、“中”，虽有结构缺陷但可以修复，旧道面板分块尺寸和接缝布置合理，新旧水泥混凝土道面的坡度一致，宜采用直接式（部分结合式）加铺层。加铺层铺筑前应对旧道面进行仔细清洗，清除旧水泥混凝土板上的油污、橡胶污染物和边角剥落碎块，清除接缝内的杂物并予以封缝。新旧水泥混凝土板的分块尺寸、接缝位置应完全一致。

(3) 结合式加铺层

加铺层和旧水泥混凝土道面结合成一个整体，上下两块板共同发挥整体强度作用。如果旧水泥混凝土道面的状况分级为“优”时，虽存在的结构缺陷但可以修复，新旧水泥混凝土道面的坡度一致，旧水泥混凝土板分块尺寸和接缝布置合理，宜采用结合式加铺层。为保证充分粘结，应对旧水泥混凝土道面表面进行凿毛并仔细清洗，修复边角剥落碎块，清除接缝内的杂物并予以封缝。宜在洁净的旧水泥混凝土板表面涂以水泥净浆或水泥胶浆或环氧树脂水泥净浆等黏结剂。新旧水泥混凝土板的分块尺寸、接缝位置应完全一致。

3 加铺层厚度计算方法

我国机场水泥混凝土加铺层厚度计算方法是利用新建道面厚度的计算方法实现加铺层厚度的计算，即按旧道面的基础结构进行新建道面厚度计算，将旧道面考虑损坏状况进行折减后，在考

考虑新、旧道面结合的状况基础上予以减少,得到了加铺道面的计算厚度。民航机场加铺层的计算采用美陆军工程兵的计算公式,加铺层结构型式采用部分结合式和隔离式两种。

(1) 部分结合式

当旧混凝土道面的状况等级为优,且加铺层的接缝布置均与旧道面一致时,可采用部分结合式加铺层。部分结合式加铺层厚度,按式(5)计算确定,但其最小厚度,当飞行区指标为II为C、D、E、F时,不宜小于20cm。

$$h_c = \sqrt[1.4]{h_f^{1.4} - Ch_e^{1.4}} \quad (5)$$

式中: h_c ——加铺层厚度, mm;

h_f ——与加铺层设计强度相同的当量单层混凝土板厚, mm;

h_e ——旧混凝土板厚, mm;

C ——旧混凝土板厚度折减系数,按表选用。

(2) 隔离式

当旧混凝土道面的状况等级为良、中、差级,或接缝布置、道面坡度与加铺层不一致时,应采用隔离式加铺层。隔离式加铺层的厚度,按式(6)计算确定,但其最小厚度,当飞行区指标II为C、D时,不宜小于22cm;当飞行区指标II为E、F时,不宜小于24cm。

$$h_c = \sqrt{h_f^2 - Ch_e^2} \quad (6)$$

4 样例分析

某机场位于公路自然区划II的区域,为4C类支线机场。机场旧水泥混凝土道面计算厚度为 $h_1=20\text{cm}$,水泥混凝土设计弯拉强度为

$R_w=5\text{MPa}$,弹性模量 $E_1=3.5 \times 10^4\text{MPa}$,泊松比为0.15,基层顶面当量回弹模量 $k_j=100\text{MPa}$,道面状况为“良”。由于使用机型的变化,欲对该道面采用隔离式加铺,加铺结构采用素混凝土层。加铺层水泥混凝土弯拉设计强度为 $\sigma_s=5.0\text{MPa}$,弯拉弹性模量 $E_2=3.6 \times 10^4\text{MPa}$ 。加厚道面板的尺寸为 $5\text{m} \times 5\text{m}$,道面板纵缝为企口缝,横缝为假缝,接缝传荷系数 $T_w=0.65$ 。机场的吞吐量及机型参数如表3所示。

表3 吞吐量及机型参数

机型		B737-800	ERJ-145
设计机型计算重量	G	774.2kN	217kN
轮胎充气压力	q	1.47MPa	0.9MPa
主起落架荷载分配系数	p	0.95	0.922
主起落架构型	n_c	2	2
	n_w	2	1
设计年限内飞机年平均运行次数	N_s	9000	2500

该机场为4C类机场,根据使用经验,初估板厚为360mm。

(1) B737-800

$$\text{飞机主起落架上的轮载: } P_t = \frac{Gp}{n_c n_w} = 183.87\text{kN}$$

飞机主起落架一个轮印的长度 L_t 和宽度 W_t :

$$L_t = \sqrt{\frac{P_t \times 10^4}{5.227q}} = 489.19\text{mm}, W_t = 0.6L_t = 293.51\text{mm}$$

$$\begin{aligned} \text{道面的刚度半径为: } l_p &= \sqrt[4]{\frac{E_2 h^3 \times 10^3}{12(1-\mu_c^2)k_j}} \\ &= 1093.9\text{mm} \end{aligned}$$

根据主起落架横纵向轮间距,在板边弯矩影

表2 旧道面状况等级和旧水泥混凝土板厚折减系数C

旧道面混凝土板的损坏情况	旧道面状况等级	C
道面混凝土板完整,无构造裂缝, $PCI \geq 85$	优	1.0
板面、板角或接缝处有初期裂缝,并处于不发展状态,可修复, $70 \leq PCI < 85$	良	0.75
部分板面、板角或接缝处于破坏状态,并有发展趋势,但板大部分处于良好状态, $55 \leq PCI < 70$	中	0.5
大部分板出现结构性破坏,难以继续使用, $PCI < 55$	差	0.35

注: PCI为道面状况指数,根据道面检测成果确定。

响图上按比例绘制主起落架轮印, 求出在轮印范围内的小格数之和 N_b 。

查影响图得: $N_b=505$

$$\begin{aligned} \text{板边弯矩: } M_e &= ql_p^2 N_b \times 10^{-10} \\ &= 0.089 MN \cdot m / m \end{aligned}$$

$$\text{板边应力: } \sigma_e = \frac{6M_e}{h^2} \times 10^6 = 4.11 MPa$$

应力折减系数 β 取0.25, 则板边计算应力:

$$\sigma_p = (1-\beta)\sigma_e = 3.08 MPa$$

飞机的容许作用次数:

$$N_e = 10^{(14.048-15.117\sigma_p/f_{cm})} = 52794.94$$

设计年限内飞机累计作用次数, 通行宽度T区 2.3m。

$$n_e = \frac{0.75n_w W_t}{1000T} N_s t = 51683.50$$

则 $n_e / N_e = 0.98$

(2) ERJ-145

$$\text{飞机主起落架上的轮载: } P_t = \frac{Gp}{n_c n_w} = 100.04 kN$$

飞机主起落架一个轮印的长度 L_t 和宽度 W_t :

$$L_t = \sqrt{\frac{P_t \times 10^4}{5.227q}} = 531.32 mm, W_t = 0.6L_t = 318.79 mm$$

$$\begin{aligned} \text{道面的刚度半径为: } l_p &= \sqrt[4]{\frac{E_2 h^3 \times 10^3}{12(1-\mu_c^2)k_j}} \\ &= 1093.9 mm \end{aligned}$$

根据主起落架横纵向轮间距, 在板边弯矩影响图上按比例绘制主起落架轮印, 求出在轮印范围内的小格数之和 N_b 。

查影响图得: $N_b=283$

$$\begin{aligned} \text{板边弯矩: } M_e &= ql_p^2 N_b \times 10^{-10} \\ &= 0.031 MN \cdot m / m \end{aligned}$$

$$\text{板边应力: } \sigma_e = \frac{6M_e}{h^2} \times 10^6 = 1.41 MPa$$

应力折减系数 β 取0.25, 则板边计算应力:

$$\sigma_p = (1-\beta)\sigma_e = 1.06 MPa$$

$$\begin{aligned} \text{飞机的容许作用次数: } N_e &= 10^{(14.048-15.117\sigma_p/f_{cm})} \\ &= 7.1 \times 10^{10} \end{aligned}$$

设计年限内飞机累计作用次数, 通行宽度T区 2.3m。

$$n_e = \frac{0.75n_w W_t}{1000T} N_s t = 6766.73$$

则 $n_e / N_e = 9.6 \times 10^{-8}$

经计算每种飞机的累计作用次数与容许作用次数比值的总和在0.8~1.1之间, 初估板厚285mm满足使用要求。

本机场采用隔离式加铺层进行整修, 旧道面状况为“良”, 折减系数选为0.75, 将各参数带入公式中计算。

$$h_c = \sqrt{h_f^2 - Ch_e^2} = \sqrt{36^2 - 0.75 \times 20^2} = 32 cm$$

经采用民用机场道面厚度计算方法, 计算得素水泥混凝土加铺层厚度为25cm。

5 结语

随着航空事业的发展, 对机场基础设施的要求越来越高, 机场道面是保障飞机运行的关键设施之一。由于旧混凝土道面的使用寿命已到, 道面发生严重损坏, 或者由于机型变化使用荷载增大, 原有道面已不适应新机种的使用要求时, 就需要对道面进行加铺。在水泥混凝土加铺层的设计中, 需要同时考虑加铺层的使用需求和工程造价, 得到最优的设计方案。

参考文献

- [1] 国际民用航空组织. 《国际民用航空公约附件十四》. 2006
- [2] 中华人民共和国行业标准. 《民用机场水泥混凝土道面设计规范》(MH_T 5004-2010). 2010
- [3] 冷培义. 机场道面设计[M]. 人民交通出版社, 2007.

低压柴油发电机应急备用供电系统 典型方案探讨

■ 蓝娟 [电气]

摘要: 柴油发电机组在保障供电可靠性上起到重要作用, 应用在各类工业民用项目中, 本文总结归纳项目中常见应急备用供电系统典型方案, 为同类设计提供参考。

关键词: 柴油发电机组; 备用电源; 供电方案

0 引言

随着时代发展, 在生命科学、数据中心、科研建设等工程项目中, 对电源的可靠性有越来越高的要求。设计者应从用户需求、投资控制、方案合理等方向出发, 确定经济、合理、可靠的设计方案。本文总结归纳了几种典型设计方案, 并给出两个项目案例供大家参考。

1 柴油发电机组

柴油发电机组的功率定额是在额定频率、功率因数 $\cos\phi$ 为0.8下用kW标示的功率。定额功率的种类有持续功率(COP)、基本功率(PR)、限时运行功率(LTP)、应急备用功

率(ESP)。运行周期在24h内的允许平均输出功率(P_{pp})应不大于70%的基本功率。

柴油发电机容量计算可参考《工业与民用供配电设计手册》第四版中第2.6.3.2节计算长期连续运行所需要的功率, 按不大于70%~80%的基本功率, 选择柴油发电机组的额定功率。验证柴油发电机短时过载能力, 发动机短时过负荷系数大于可取1.5。校验柴油发电机母线电压降。

柴油发电机组运行功率低于额定功率50%时, 油耗会变大, 燃油不充分也会升高柴油发电机组故障, 较少机组使用寿命, 故不建议柴油发电机组长期低负载工作。

柴油发电机组性能等级分为G1、G2、G3、G4四级。工程应根据具体负荷特性来确定柴油发电机组的等级。

G1: 连接的负载只规定其基本电压和频率参数, 适用于照明和其他简单的电气负载;

作者简介: 蓝娟, 女, 高级工程师, 2007年毕业于哈尔滨工业大学电机与电器专业, 现就职于航空工业规划技术发展中心。

G2: 电压特性与公用电力系统有相同要求, 当负载发生变化时, 允许暂时电压或频率的偏差, 适用于照明、水泵、风机等;

G3: 连接的设备对发电机组的电压、频率和波形有严格要求, 适用于电信负载和晶闸管控制的设备;

G4: 连接的设备对发电机组的电压、频率和波形有特别严格的要求, 适用于数据处理和计算机系统。

关于柴油发电机组电压等级的选择应结合项目供电系统方案、应急电源负荷计算及配电距离等综合考虑。对于负荷相对集中的单体项目, 根据项目负荷计算需要设置柴油发电机, 可采用低压柴油发电机组做系统备用或应急照明电源。对于一个厂区, 应急电源需求位置分散, 集中设计应急电源可减少机组成本, 但低压供电距离过长又增加低压线缆成本, 若采用10kV柴油发电机组在10kV供电电源侧作应急电源可减少低压电缆的使用量。下文会结合项目情况, 介绍不同电压等级柴油发电机组选择及设计方案。

强调持续运行时间的负荷, 可采用UPS或EPS作为应急电源。

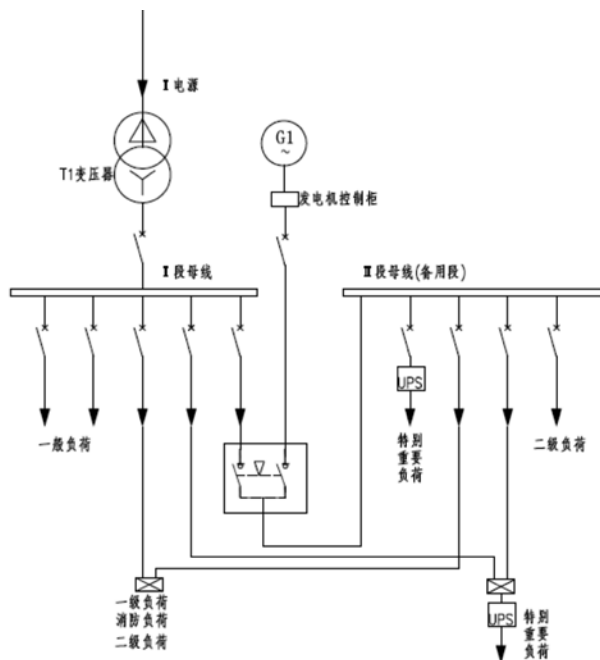


图1 一路市电+柴油发电机备用供电系统

2 典型方案

在不同市政条件下, 柴油发电机组作为备用电源或应急电源的设置情况可分为如下几种典型情况。

用户用电负荷等级有一级负荷, 但市政只有一路电源, 或第二路电源不满足一级负荷要求时, 需要设置柴油发电机组作为自备电源, 如图1所示可以保证一级负荷供电的可靠性。

该工程中若还含有少量特别重要负荷, 且不

用户用电负荷最高等级为一级负荷中特别重要负荷, 且市政电源满足双重电源要求, 满足一级负荷供电需求, 设置柴油发电机组作为应急电源保障特别重要负荷用电。该类项目特点是用电设备中含有大量一级负荷中特别重要负荷(如甲级综合医院、数据中心、金融大厦、特种行业保障性电源), 且采用UPS、EPS电源难以满足持续时间或投资成本过高时, 采用柴油发电机组作为应急电源, 供电系统如图2所示。

一级负荷、二级负荷及三级负荷均应分配

表1 柴油发电机设置情况分类

最高负荷等级 市政电源条件	一级负荷中特别重要负荷	一级负荷	二级负荷
市政一路电源供电	工作电源: 市电 备用电源: 柴发 应急电源: 柴发或EPS、UPS	工作电源: 市电 备用电源: 柴发	工作电源: 市电 备用电源: 柴发
市政双重电源供电	工作电源: 市电1 备用电源: 市电2 应急电源: 柴发或EPS、UPS	工作电源: 市电1 备用电源: 市电2	工作电源: 市电1 备用电源: 市电2
市政两回路供电 电源不独立	工作电源: 市电 备用电源: 柴发 应急电源: 柴发或EPS、UPS	工作电源: 市电 备用电源: 柴发	工作电源: 市电1 备用电源: 市电2

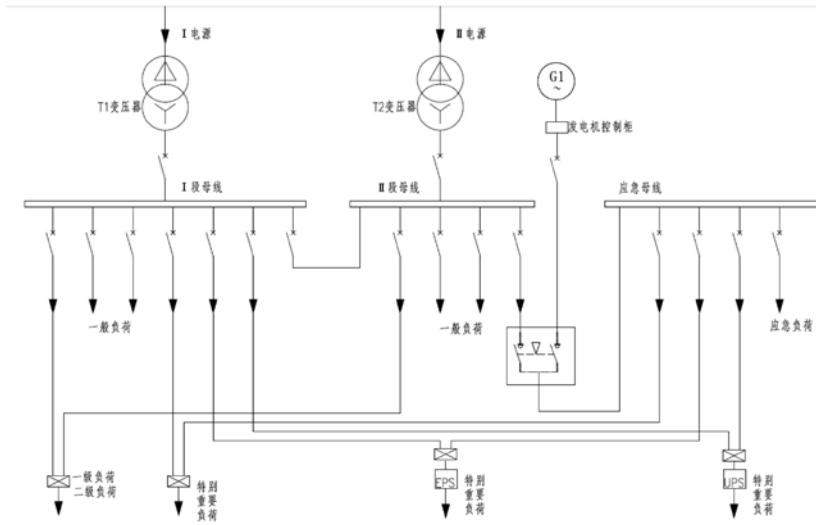


图2 两回市电+柴油发电机应急供电系统

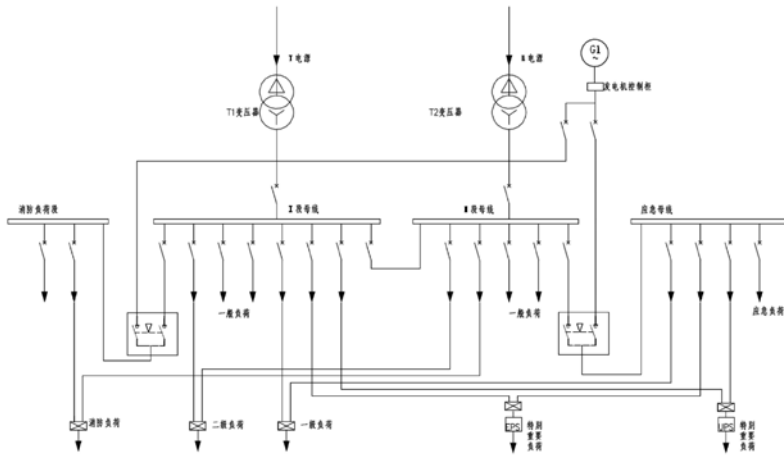


图3 两路不独立市电+柴油发电机应急供电系统

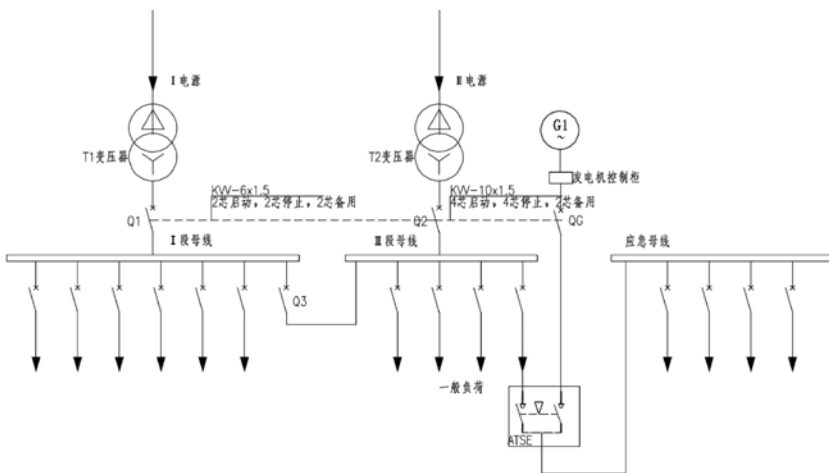


图4 柴油机启动电气示意图

在双重电源的供电系统中，由于消防用电设备最高负荷等级为一级，所以消防负荷电源也可引自双重电源。

不同负荷对允许停电时间是有要求，为弥补柴油机电源切换所需要的时间，可根据负荷需求采用UPS或EPS。不间断电源设备UPS适用于允许中断供电时间为毫秒级的负荷，逆变应急电源EPS适用于中断供电时间为0.25s以上的负荷。

用户用电负荷最高等级为一级负荷中特别重要负荷，且市政两回电源供电，但不独立，设置柴油发电机组作为备用电源如图3所示。该情况下，二级负荷引自双路市电就可以，一级负荷需要引自市政电源及备用电源，特别重要负荷仍需再设置应急电源。应急电源的选择由柴油机、EPS电源、UPS电源，此情况下需综合允许断电时间，投资等要求合理选择应急电源。

图3给出消防负荷与备用负荷分开母线供电的方案，满足消防救援要求，且消防负荷备用电源受非消防负荷故障的影响小。

工程项目在选择柴油发电机供电系统方案时，首先应根据规范及建设方使用需求，确定负荷等级，并对各级负荷进行负荷计算，然后向甲方或供电部门沟通电源情况，最后根据负荷计算、工艺需求及建设投资费用选择合适的方案。

柴油发电机组的选址协同项目变电站位置，宜紧邻该项目的变配电站即靠近负荷中心，同时考虑柴油发电机组排烟、排气是否可行，可结合立面造型设置通风井等；其次柴油发电机房的位置要考虑柴油发电机运行时产生的噪音和振动，避免设置于需要

表2 消防负荷统计计算表

负荷分类	安装功率	计算系数			计算功率		
		Kx	Cosf	Tgf	Pj	Qj	Sj
连续运转电机	645	0.85	0.8	0.75	548	411	
电梯	156	0.6	0.8	0.75	94	70	
照明	66	0.9	0.9	0.48	59	29	
总计	867				701	510	
计入参差系数 K=0.9					631	459	780
柴油发电机 (KW)	800						
负荷率	79%						

表3 备用电源负荷统计计算表

负荷分类	安装功率	计算系数			计算功率		
		Kx	Cosf	Tgf	Pj	Qj	Sj
连续运转电机	226	0.85	0.8	0.75	192	144	
电梯	52	0.6	0.8	0.75	31	23	
机房电源	150	0.8	0.8	0.75	120	90	
水泵	242	0.8	0.8	0.75	194	145	
科研办公	200	0.8	0.9	0.48	160	77	
总计	870				697	480	
计入参差系数 K=0.9					627	432	762
柴油发电机 (KW)	800						
负荷率	78%						

保持安静的场所附近。

3 某科研建筑应急电源设计案例

某科研保障大楼，总建筑面积为157420m²，其中1号科研楼为23层，建筑面积为64231m²，建筑最高处为100m；2号科研楼为11层，建筑面积为42033m²，建筑最高处为49.9m，地下建筑为4层，地下建筑面积50868m²。该建筑为一类高层建

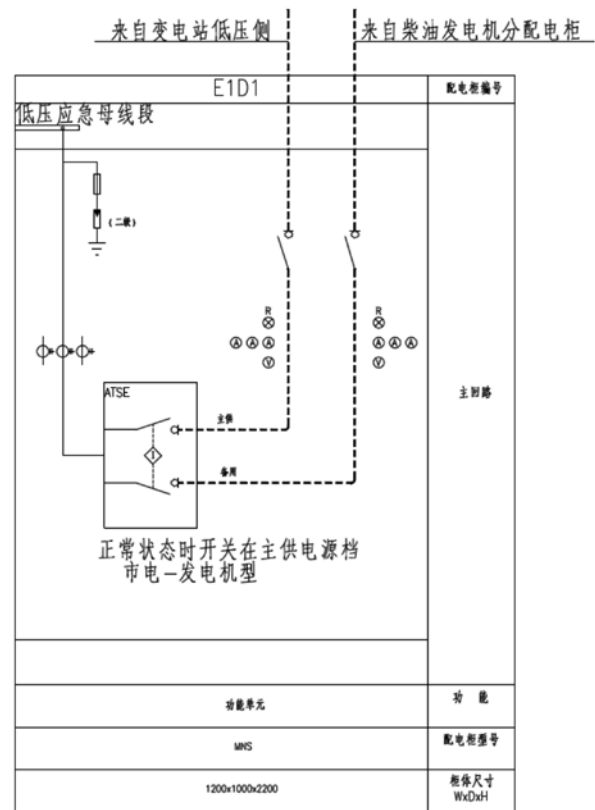


图5 市电柴油机转化配电柜示意图

筑，其中走道照明、值班照明、警卫照明、障碍照明用电、主要业务和计算机系统用电、安防系统用电、电子信息设备机房用电、客梯用电、排污泵、生活水泵、部分科研设备、消防负荷用电为一级负荷。

消防负荷与非消防负荷不同时使用，负荷计算时分开计算，负荷计算表如表2、表3所示。

在火灾情况下，切除非消防负荷，故消防电源与非消防电源不同时使用，柴油发电机组容量仅需保证两者之间最大的需量来选择。

一级负荷需要两重电源，但市政能保证两路电源供电并不能保证双重10kV。为保证一级负荷用电本项目采用方案3系统图，消防负荷与应急母线分母线供电，保证消防情况下一建切非消。

应急发电机组的启动信号应取自市电电源主开关的辅助触点，不应取自电压继电器的触点，因为继电器有可能误动作。故实际项目中往往先将失压信号发送给主进线开关，主进线开关动作后，辅助触点联动柴油发电机组。系统图可参考图4。

双路市电同时供电，两段母线中间设联络开

表4 柴油发电机组负荷统计计算表

负荷分类	安装功率(kW)													计算系数			计算功率		
	101	102	104	105	106	108	109	111	112	室外设施	室外设施	景观照明	总计	Kx	Cosf	Tgf	Pj	Qj	Sj
连续运转电机	50			1	1	430	5	8	69	360			924	0.8	0.85	0.62	739	458	
短时运转电机	75	180				15	2	2			100		374	0.12	0.6	1.33	45	60	
压缩机										300			300	0.7	0.85	0.62	210	130	
分体空调	175		80	30	5	88	4		2	40			424	0.6	0.8	0.75	254	191	
电梯	75												75	0.15	0.6	1.33	11	15	
电热						9							9	0.65	1	0	6	0	
逆变电源										360			360	0.2	0.85	0.62	72	45	
照明	200	240	2	12	1	45	3	3	3	90		150	749	0.9	0.9	0.48	674	326	
IT类	133	30	15	15	15	35	2	2		10	50		307	0.6	0.85	0.62	184	114	
办公插座	250	50	74	5	2	23	9	10	6	20			449	0.3	0.8	0.75	135	101	
工艺其他										200			200	0.2	0.7	1.02	40	41	
总计	958	500	171	63	24	645	25	25	80	1380	150	150	4171				2371	1481	2795
计入参差系数K=0.7																	1659	1037	1957
计入损耗	$\Delta P_t=0.01S_c; \Delta Q_t=0.05S_c$																1679	1135	
柴油发电机装机功率	常用功率1200kWx2=2400kW																		
负荷率	70%																		

关，当一路市电断电后，联络开关闭合，为另一端母线供电。当两路市电均断开后，启动柴油发电机，收到启动信号延时0~10s，自动启动柴油发电机组，柴油发电机组一般在15s内达到额定转速、电压、频率。柴油发电机组应设有自动启动装置，当市电恢复3~5min后，双电源转换开关动作，恢复市电供电。

市电与应急电源转换可参看图5，以保证重要负荷的正常运行，柴油发电机组必须与原供电系统的同序运行。双电源转换开关在接到市电失压或断路器跳闸信号后，自动转换到柴油机供电回路，应

选择市电-发电机型ATSE双电源转换开关。

4 工业厂区应急电源设计案例

在工业厂区建设项目中，根据供电保障性要求，为满足厂区一级负荷以及用户供电保障性的需求，需设置柴油发电机组其供电范围主要包括厂区全部IT系统、消防设备（含消防供水设备、防排烟设备、消防自动报警系统、消防应急照明等）、安全防范系统、安全照明、危险品库用电、停机坪照明用电，以及保障厂区生产基本运

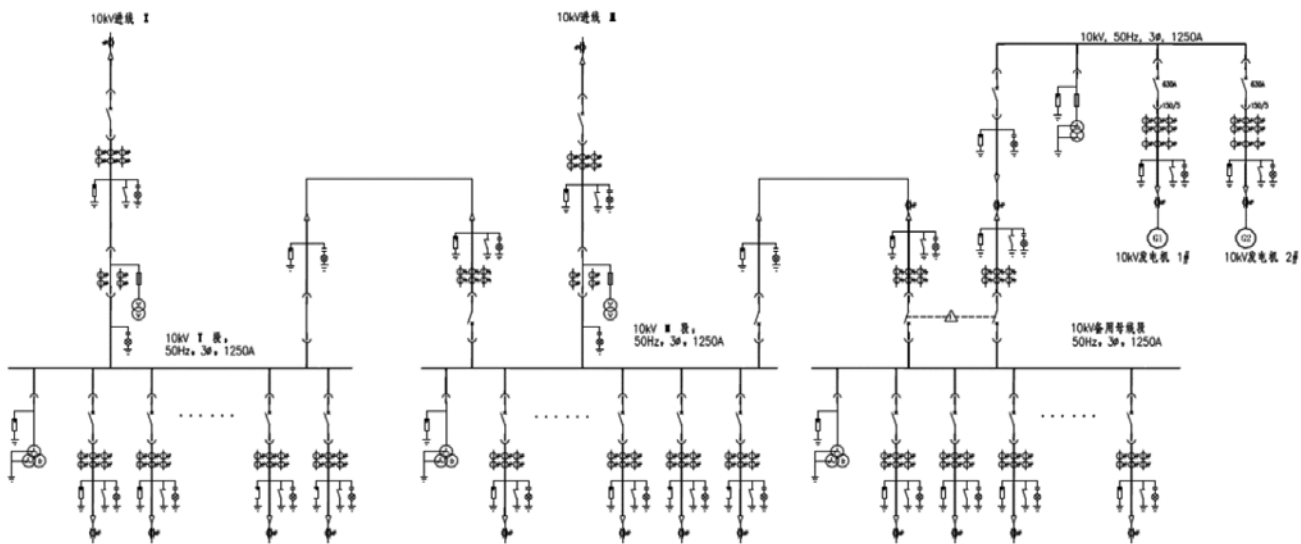


图6 厂区保障电源10kV配电网络图

行所需的部分动力、照明供电等。

以某项目为例，厂区所有保障性电源负荷计算如下，用电设备安装功率约41711kW，计算有功功率1679kW，详见柴油发电机组负荷统计如表4所示。

为满足厂区一级负荷以及用户对电源保障性的需求，10kV中心配电室内设置应急母线段及自备柴油发电机房一座，安装两台常用功率为1200kW，备用功率为1320kW，输出电压为10kV的快速启动型柴油发电机组，通过与市电Ⅱ段母线的连锁切换断路器为应急母线段供电。系统图如图6所示。

应急母线段平时通过一只真空断路器由市电Ⅱ段母线供电，当市电Ⅱ段因故停电时，该断路器自动分断，发电机组短延时后自动逐台启动，自动并机工作，通过另一只真空断路器为应急母线段供电，完成这一过程不应超过30s。两只真空断路器采用智能切换模块控制并设置电气连锁，当其中一只真空断路器闭合时另一只不能合闸，避免向市电网倒送电。

双机运行方式下，两台机组在并联投入供电5~20min（可调）后，若实际负荷小于20%（可调）总额定负荷，机组控制器能发出“减机指令”，其中一台（可任意设置）自动解列，断开并机断路器，经延时运行后自动停机。当减机一台机组供电时，若负荷接近额定容量的75%（可调），机组控制器能发出“增机指令”，另一台

机组自启动，经自动同步调整后自动并机，并机后自动均衡负荷，不平衡度应不大于10%。

5 结束语

柴油发电机作为应急电源和备用电源，为保障供电可靠性，在工程设计中被广泛使用。本文从应用的必要性和应用场景进行论述，总结归纳几类典型的供电系统方案，为设计者根据负荷定性，负荷计算、工艺需求及建设投资费用选择合适的方案提供参考。

参考文献

- [1] GB50016—2018《建筑设计防火规范》[S]北京：中国计划出版社，2018。
- [2] GB50053—2013《20kV及以下变电所设计规范》[S]北京：中国计划出版社，2014。
- [3]《工业与民用配电设计手册》（第四版）.中国电力出版社。
- [4] GB50052—2009《供配电系统设计规范》[S]北京：中国计划出版社，2009。
- [5] 陆先海.柴油发电机房的有效设计.建筑电气,2017,12:17-23.
- [6] 陶云飞.工程设计中选用柴油发电机的条件分析.建筑设备控制与管理,2017,11:41-46.

火炸药爆炸危险场所防雷设计

■ 郝鹏超 [电气]

摘要: 本文对火炸药爆炸危险环境防雷设计进行介绍,使对火炸药爆炸危险环境的防雷设计,特别是一类防雷的设计有所了解,便于设计者在遇到相类似建筑物进行防雷设计时有所参考。

关键词: 火炸药场所;一类防雷;滚球法

0 引言

火炸药爆炸危险场所为特殊危险场所,是生产、贮存火药、炸药、弹药、引信及火工品的厂房及仓库。此类建筑一旦爆炸将造成巨大破坏还可能造成人身伤亡,因此在进行此类建筑设计时,必须认真贯彻“安全第一、预防为主”的方针,预防事故发生,减少事故损失。

由于火炸药爆炸危险场所的特殊性,在对相关建筑设计时,要格外重视。本文结合相关规范,以具体火炸药库房为实例,对火炸药爆炸危险场所的防雷设计进行介绍。

1 规范的选用

对于火炸药危险场所的设计,目前可参考的规范如下:

《地下及覆土火炸药仓库设计规范》

作者简介:郝鹏超,男,高级工程师,2002年毕业于天津大学电气工程及其自动化专业,现就职于航空工业规划飞机工程事业部。

GB50154-2009;

《火炸药生产厂房设计规范》GB51009-2014;

《火药、炸药、弹药、引信及火工品工厂设计安全规范》兵总质【1990】2号;

《小量火药、炸药及其制品危险性建筑设计安全规范》WJ 2470-97。

上述规范的适用范围不同,应根据工程的性质、用途及爆炸危险品的种类、储量,参考相应的规范进行设计。上述规范适用范围见表1。

2 确定防雷类别

根据生产分类及工作性质确定爆炸危险建筑适用于上述那本规范。上述规范都对生产、贮存不同危险物质建筑的防雷类别有明确的规定。例如《小量火药、炸药及其制品危险性建筑设计安全规范》WJ 2470-97中常见建筑的防雷类别见表2。

不同的规范、标准对防雷设计要求略有不同,但总的来说,火炸药危险场所的防雷类别和

表1 规范适用范围

规范名称	适用范围
《地下及覆土火炸药仓库设计规范》	适用于地下及覆土火药、炸药仓库，以及转运站、站台库的新建、改建、扩建和技术改造的工程设计。不适用于存储火药、炸药的天然地下仓库、地面仓库及火药、炸药厂生产区内覆土工序转手库的工程设计。
《火炸药生产厂房设计规范》	适用于工业火炸药生产厂房的新建、扩建和改建设计。
《火药、炸药、弹药、引信及火工品工厂设计安全规范》兵总质【1990】2号	适用于本规范所列的生产分类以及第十四章所列各种靶场和试验场的新建、扩建及改建工程设计。（由于场所较多，就不一一列举）
《小量火药、炸药及其制品危险性建筑设计安全规范》WJ 2470-97	适用于研究所、院校、试验场及工厂新建、扩建及改建的小量火药、炸药及其制品的各种危险性建（构）筑物的设计。

表2 常见建筑防雷类别

生产分类	工作间（或建筑物）名称	危险场所电气类别	防雷类别
火工品（如火帽、底火、雷管、拉火管、曳光管、传火具、点火具等）	炸药准备、曳光剂混合、筛选、造粒、火工品的装药压药装配滚光筛选	F1	一类
	引火要配置、引火药头制造	F2	一类
	火工品的检验、编批、包装、转手库	F2	一类
存房间（库）	各种火药（包括硝化纤维素）、炸药、黑火药、烟火药及其药块、药柱、药包、发射药管、发射药包的存放间（库）	F0	一类
	各种杀伤爆破榴弹、迫弹、火箭弹、穿甲弹、破甲弹、战术导弹、制导炮弹、手榴弹、地雷、航空炸弹、特种手榴弹、特种炮弹、特种航弹、火箭发动机、药筒、各种火工品、导火索、导爆索等存房间（库）	F1	一类
	硝基胍、各种枪弹的存房间（库）	F2	二类
	硝酸铵、硝酸钾、硝酸钠氯酸钾、氧化剂等的仓库	F2	二类

所保护的建筑物的危险场所电气类别有关。危险场所电气类别如上表所示分为以下3个区：

F0区——连续或长时存在火炸药及其粉尘的场所；

F1区——有可能存在火炸药及其粉尘的场所；

F2区——存在火灾危险而爆炸危险性极小的火药、炸药、氧化剂及其粉尘的场所。（《火药、炸药、弹药、引信及火工品工厂设计安全规范》危险场所电气类别划分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类）

建筑物的危险场所电气类别的划分是防雷设计，包括其他电气系统设计的重要依据，因此设计时要明确建筑物的危险场所电气类别。

3 防雷设计

从表2可以看出，爆炸危险场所的防雷类别

根据不同使用性质，分别采取一类、二类防雷措施。二类防雷按照常规做法，在屋面设置接闪网格即可，本文主要针对一类防雷进行介绍。一类防雷主要是确定独立接闪针（或接闪线塔）的位置、高度、数量及杆塔、基础的选型。

3.1 接闪杆塔位置的确定

首先，确定独立接闪针或架空接闪线（网）的杆塔至被保护建筑物之间的距离。根据国标《建筑物防雷设计规范》中独立接闪针和架空接闪线（网）的杆塔至被保护建筑物之间的距离应符合下列公式的要求，但不得小于3m：

$$(1) \text{ 地上部分: 当 } h_x < 5R_i \text{ 时,}$$

$$S_{a1} \geq 0.4(R_i + 0.1h_x)$$

$$\text{当 } h_x \geq 5R_i \text{ 时,}$$

$$S_{a1} \geq 0.1(R_i + h_x)$$

$$(2) \text{ 地下部分 } S_{e1} \geq 0.4R_i$$

式中 S_{a1} ——空气中距离, m ;
 S_{e1} ——地中距离, m ;
 R_1 ——独立接闪针或架空接闪线(网)支柱处接地装置的冲击接地电阻, Ω ;
 h_x ——被保护物或计算点的高度, m。

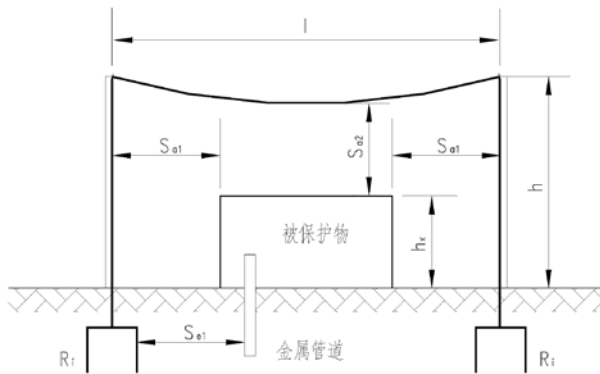


图1 防雷装置至被保护物的距离

上述公式的计算结果是接闪杆塔与被保护建筑物的最小距离要求, 接闪杆塔的位置不仅要满足此要求, 同时还要查看总图, 考虑建筑周边道路及土围堤的位置关系, 如果不注意, 杆塔基础有可能设置在道路上。

3.2 采用接闪针保护

接闪针的高度利用滚球法计算, 根据建筑的高度来确定接闪针的高度。当接闪针高度 h 小于或等于滚球半径 h_r 时, 单支接闪针的保护范围应按下列方法确定, 接闪针在 h_x 高度的平面上和在地面上的保护半径, 按下式求得:

$$r_x = \sqrt{h(2h_r - h)} - \sqrt{h_x(2h_r - h_x)} \quad (1)$$

式中 r_x ——接闪针在 h_x 高度的平面上的保护半径, m;

h_r ——滚球半径, m;

h_x ——被保护物的高度, m。

如果单支接闪针不能满足保护要求, 那就需要考虑设置双支接闪针, 双支等高接闪针的保护范围, 在接闪针高度 h 小于或等于滚球半径 h_r 的情况下, 分两种情况考虑:

(1) 当两支接闪针的距离 $D \geq 2\sqrt{h(2h_r - h)}$ 时, 应各按单支接闪针所规定的方法确定;

(2) 当 $D < 2\sqrt{h(2h_r - h)}$ 时, 按规范《建筑物防雷设计规范》要求计算。

如果双支接闪针还不能满足保护要求, 那就需要考虑采用接闪线塔进行保护。为什么不采用更

多的接闪针进行保护而采用接闪线塔进行保护, 在下文工程案例中会有说明。

3.3 采用接闪线塔保护

单支接闪线在 h_x 高度的平面上的保护宽度 b_x , 按下式求得:

$$b_x = \sqrt{h(2h_r - h)} - \sqrt{h_x(2h_r - h_x)} \quad (2)$$

式中 b_x ——接闪线在 h_x 高度的平面上的保护宽度, m;

h ——接闪线的高度, m;

h_r ——滚球半径, m;

h_x ——被保护物的高度, m。

可以看出此公式和单支接闪针在 h_x 高度的平面上保护半径公式相同, 可以简单认为, 接闪线就是在接闪线的方向上设置了无数支接闪针。上述公式所得是接闪线最低点的高度, 杆塔的高度还要加上接闪线的弧垂高度, 根据国家标准图15D501可以查到不同长度的接闪线的最大弧垂, 见表3。

表3 接闪线最大弧垂

跨距 (m)	40	60	80	120	160	200
最大弧垂 (m)	1.6	2.4	3.2	4.8	6.0	8.0

同时选择接闪线时需要注意, 按照标准图集接闪线采用 $\phi = 7.8\text{mm}$ 镀锌钢绞线, 但根据规范GB50057-2010《建筑物防雷设计规范》, 当接闪器为热镀锌钢绞线时, 最小截面为 50mm^2 , 换算为直径 $\phi = 7.98\text{mm}$, 因此建议设计者选择不小于 $\phi = 8\text{mm}$ 的热镀锌钢绞线作为接闪线。

3.4 杆塔及基础型式的确定

接闪针、架空接闪线塔的杆塔型式及基础型式要根据杆塔高度及工程所在地的风压、地基承载力进行选择。杆塔高度根据上文计算得出, 风压及地基承载力这两个参数一般结构专业都会有, 根据这两个参数对照国家标准图15D501进行选择。

4 工程案例

现在以某火炸药库房为案例进行防雷设计介绍。本库房为单层混凝土结构, 长为48m, 宽为12m, 高为7.5m。库房贮存物品为各类弹药, 每个储存间内同时存放药量最大为50kg, 建筑危险等级为Ax级。本弹药库设计参考规范为中国兵器

工业总公司部标准《小量火药、炸药及其制品危险性建筑设计安全规范》WJ 2470-97。根据表2,本弹药库危险场所电气类别为F1,防雷类别为一类防雷,因此需要设置独立接闪针或接闪线塔进行保护。

根据规范要求及上文公式计算,接闪针或接闪线(网)的杆塔可设置在距库房四周外沿大于4.3m的位置。但根据总图位置,库房周围有道路及灌溉渠,因此杆塔需避开道路及灌溉渠。本弹药库总图见图2。

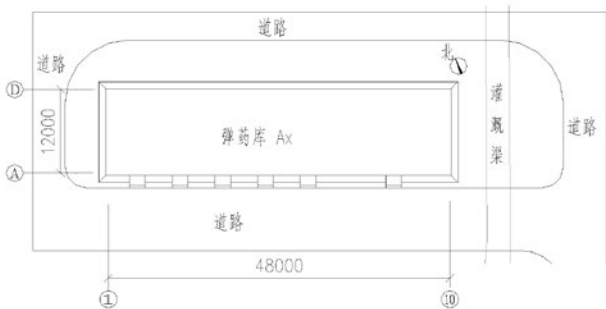


图2 库房总图

由于道路及灌溉渠内侧间距不能满足规范要求,需将杆塔向两侧外移,设置在道路及灌溉渠外侧。杆塔基础位置距建筑位置见图3。

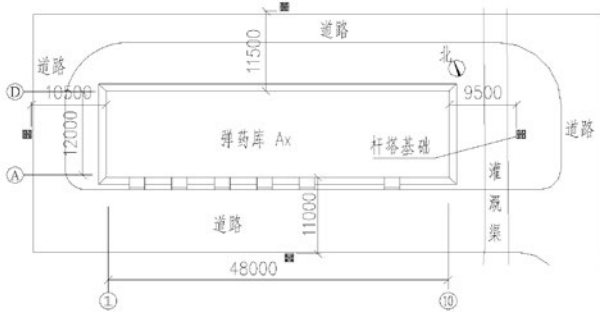


图3 杆塔基础位置

接闪针(或线塔)基础位置确定之后,就要计算接闪针(或线塔)的高度,首先考虑用独立接闪针进行保护,滚球半径 $h_r=30\text{m}$,建筑物高度 $h_x=7.5\text{m}$,根据接闪针高度 $h<30\text{m}$ 时公式有解,当 $h=30\text{m}$,保护半径 r_x 有最大值为 10.15m 。即在 7.5m 的高度,单支接闪针的最大保护范围为 10.15m ,单支接闪针的保护范围见图4。

从图中可以看出,单支最高 30m 的接闪针,

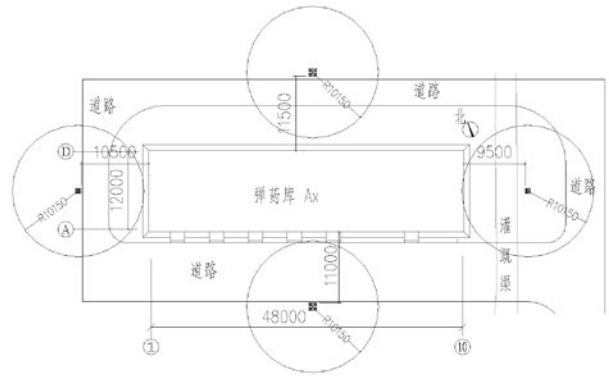


图4 单根接闪针保护范围

无论放置在什么位置都无法对弹药库进行有效保护。那就考虑采用双支接闪针进行保护,如果接闪针分别设置在东西两侧,接闪针按最高 30m 计算,按上文公式 $2\sqrt{h(2h_r-h)}$ 计算为 60m ,两支接闪针间距为 69m ,大于此值,因此设在东西两侧接闪针的保护范围按单支接闪针保护范围计算。从图中可以看出,设置在东西两侧的多支接闪针不能对建筑有效保护。如果放置在南北两侧,两支接闪针间距为 36m ,小于 60m ,因此设置在南北两侧接闪针保护范围按规范《建筑物防雷设计规范》计算,双支接闪针保护范围见图5阴影部分。

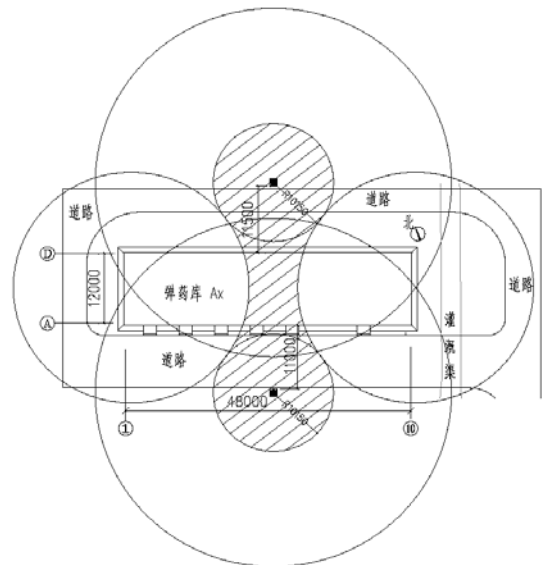


图5 双支接闪针保护范围

从图中可以看出,双支 30m 高的接闪针无论如何都无法对弹药库进行完全保护,至少需要4支及以上接闪针进行保护(本文不再详细计算),

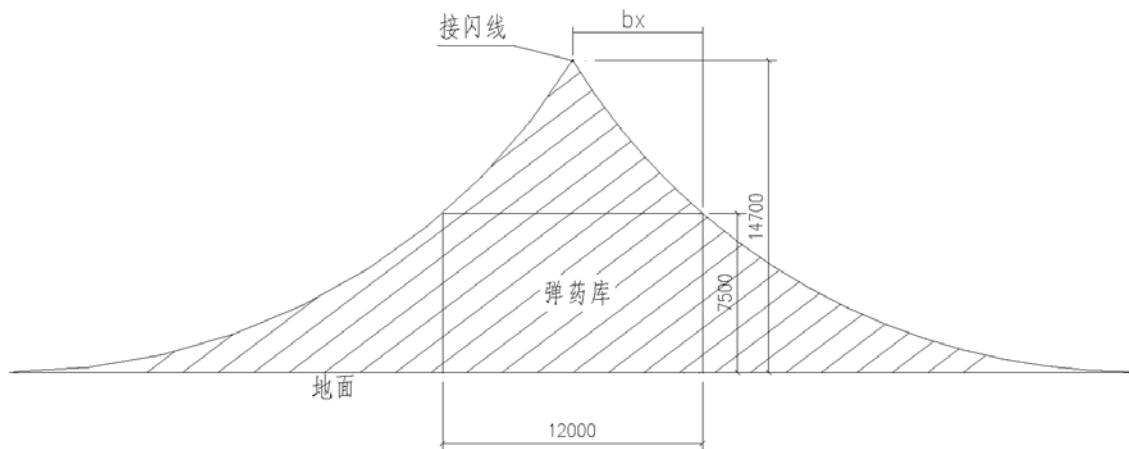


图6 接闪线保护范围 ($h=14.7\text{m}$ 时)

所以对于本弹药库采用接闪线塔更为合理。

接闪线塔一般沿建筑的长度方向设置，这样同样高度的接闪线，对建筑物的保护范围最大。接闪线塔位置和前文接闪针杆塔位置一致。将本弹药库参数带入公式（取 $h_r=30\text{m}$ ， $b_x=6\text{m}$ ），求解方程得出 $h=14.7\text{m}$ ，即接闪线在 14.7m 的高度上可以将弹药库完全保护。接闪线剖面保护范围见图6阴影部分。

14.7m 是接闪线最低点的高度，本弹药库接闪线塔跨距为 69m ，查表3，最大弧垂按 3.2m 考虑，因此接闪线杆塔的最低高度应该为接闪线的最低点高度 14.7m 加上最大弧垂的高度 3.2m ，为 17.9m ，可以选择 20m 高的接闪线塔。

最后确定杆塔及基础型式，本工程地基承载力特征值为 140kPa ，基本风压为 0.3kN/m ，因为杆塔总高度为 20m ，所以按标准图15D501，接闪线杆塔选用GFW1-1型，基础选用JA-4型。

通过上述分析计算，最终本弹药库采用 20m 高接闪线塔进行保护，杆塔设置在东西两侧，左侧距弹药库 10.5m ，右侧距弹药库 9.5m 。杆塔选用GFW1-1型，基础选用JA-4型，接闪线采用 $\phi=8\text{mm}$ 的热镀锌钢绞线。

5 结语

火炸药危险场所的防雷设计，首先要明确适用规范，并确定爆炸危险场所电气类别，这是防雷设计的先决条件，不同规范对危险场所电气类别的划分及防雷要求还是略有不同。同时根据以

上分析计算，利用接闪线比利用接闪针对弹药库进行保护，不仅杆塔的高度大大降低，而且数量上也大大减少，设计计算上也较为简单。因此当被保护的建筑物较高较长时，优先选用接闪线对建筑进行防直击雷保护比较合理。

参考文献

- [1] 《建筑物防雷设计规范》GB50057-2010
- [2] 《建筑物防雷设施安装》15D501
- [3] 《地下及覆土火炸药仓库设计规范》GB50154-2009
- [4] 《火炸药生产厂房设计设计规范》GB51009-2014
- [5] 《小量火药、炸药及其制品危险性建筑设计安全规范》WJ 2470-97
- [6] 《火药、炸药、弹药、引信及火工品工厂设计安全规范》兵总质【1990】2号

A级数据中心 供电电源的计算选型探讨

■ 王焯 李茜 (电气)

摘要: 现阶段, 数据中心的建设越来越多。为保证数据中心能够节能高效的运作, 要求对供配电系统有一个严谨且合理的设计。本文通过对某A级数据中心的供配电系统设计进行分析, 对供电电源的计算选型进行总结, 希望能为今后数据中心的配电设计提供参考。

关键词: 数据中心; 供配电; UPS及电池; 柴油发电机组

0 引言

GB50174-2017《数据中心设计规范》将数据中心分为A、B、C三级。根据数据中心的使用性质、数据丢失或网络中断在经济或社会上造成的损失或影响程度确定所属级别。

本文以某基地数据中心机房为例进行分析总结。该数据中心主要功能分区为IT机房、发电机房、变配电室、UPS配电室、电池室、冷水机房等区域。作为整个使用单位的核心设施, 由于其涉及的计算或通信规模较大, 一旦运行中断, 将造成重大的经济损失, 因此按A级数据中心进行供配电设计。

根据规范要求, A级数据中心应由双重电源供电, 并应设置备用电源。变压器按2N配置, 备用电源可采用独立于正常电源的柴油发电机组, 按N+X(X=1~N)配置。电子信息设备宜由不间断电源供电, 当使用柴油发电机组作为备用电源

时, 不间断电源系统电池最少备用时间为15min。

1 负荷分级与负荷计算

机房电力负荷分级如下:

一级负荷中特别重要负荷: IT设备(包括服务器、交换机等)、IT机房区行间制冷空调设备、冷冻水循环泵等, 此类负荷在双路市电电源+柴油发电机基础上, 增加了UPS电源回路保障;

一级负荷: 冷水机组及相关设施、电气支持区精密空调、消防负荷(排烟、应急照明等)、IT机房新风机组、IT机房及支持区照明等, 此类负荷由双路市电电源+柴油发电机电源供电;

二级负荷: 辅助区照明、动力、维修插座等; 此类负荷由双路市电电源供电。

负荷计算表如表1所示。根据负荷计算结果, 选择2台2000kVA的变压器为IT设备供电, 另外选择2台1600kVA的变压器为辅助设备供电。配电室设低压静电电容器补偿装置, 补偿后变压器的10kV侧功率因数达到0.9以上。同时低压配电系统设有源电力滤波器, 通过采集负荷电流, 动态消除谐波。

作者简介: 王焯, 女, 工程师, 2015年毕业于哈尔滨工业大学电气工程专业, 现就职于中航建投民航工程设计研究院。

表1 负荷计算表

负荷名称	设备功率	需要系数	功率因数	有功功率	无功功率	视在功率
	kW	Kx	Cos	kW	kvar	kVA
IT设备						
一层IT设备	754	1	0.8	754	565	
二层IT设备	754	1	0.8	754	565	
总计	1508			1508	1130	1884
辅助设备						
行间空调	409	0.8	0.8	327	245	
支持区精密空调	142	0.8	0.8	114	85	
备用照明	21	0.9	0.9	19	9	
变配电室空调	44	0.8	0.8	35	26	
插座	25	0.8	0.8	20	15	
机房新风机组	130	0.8	0.8	104	78	
排风	18	0.8	0.8	14	11	
冷冻水泵	44	0.8	0.8	35	26	
冷却水泵	185	0.8	0.8	148	111	
冷却机组	302	0.8	0.8	242	181	
总计	1320			1058	787	1319

2 供配电系统

数据中心采用10kV供电系统，10kV主接线采用分段单母线，正常运行时，母联断路器断开运行，两路10kV电源分别向两段母线供电。当一路10kV电源停电时，母联断路器手动（或自动）投入运行，由第二路电源向两段母线供电，每路电

源均可带起全部重要负荷。10kV母线以放射式向各台变压器供电。变压器采用2N配置，每台变压器的负荷率不大于50%，当一台变压器故障时，另一台变压器可带起全部重要负荷。0.4kV母线采用分段单母线。每两段0.4kV母线设母联断路器，断路器宜自投。当两段10kV母线失去市电后，柴油发电机自启动，发电机并机成功后，向变电所10kV母线供电。

柴油机启动需要时间，由于IT负载不能接受短时断电，所以在切换时间内，需要配置UPS作为不间断电源维持生产数据设备工作。此外，将IT机房区行间制冷空调和冷冻水循环泵接入UPS，可以帮助维持适当的制冷气流，防止IT设备热排风直接循环回到IT设备进风口，有效地减缓初次温升的峰值。

供配电单线图分别如图1所示。

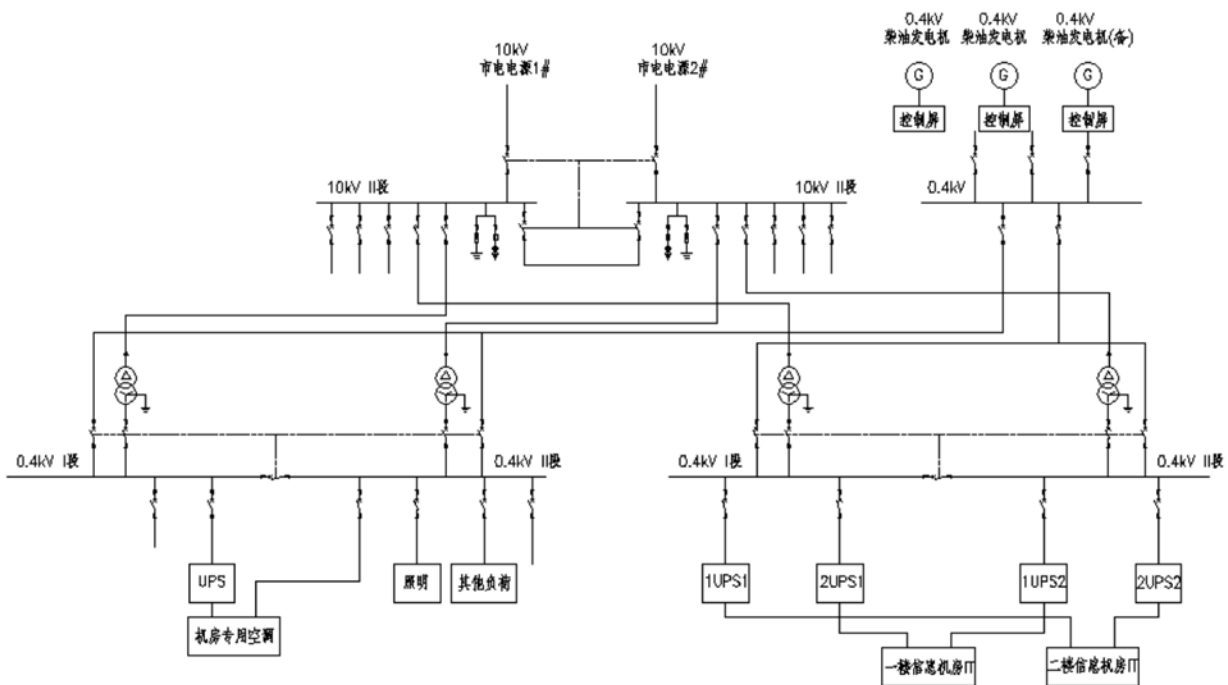


图1 供配电单线图

3 UPS的选择及电池容量计算

在线互动式UPS和在线式UPS均具有很好的交流稳压功能,考虑到在线互动式UPS的连续运行效率在96%~98%之间,而在线式UPS的连续运行效率在85%~92%之间,增加了额外的制冷成本,本项目选用在线互动式UPS。

UPS采用2N配电架构,两路电源平时各带50%的用电设备,当一路电源失电时,由另一路电源带全部负荷。

根据《数据中心设计规范》GB50174-2017第8.1.7条:确定不间断电源系统的基本容量时应留有余量。不间断电源系统的基本容量可按下式计算:

$$E \geq 1.2P;$$

E——不间断电源系统的基本容量(kW/kA);

P——电子信息设备的计算负荷(kW/kVA)。

控制UPS的负载率是因为服务器运行功耗是不平稳的,存在用电功耗的波动,而UPS的过载能力比较差,从安全可靠的角度预留余量。UPS长期运行过载能力为105%,过载125%时只能维持10min,过载150%时仅30s。通常要求UPS满载时的负载率控制在90%,半载时的负载率为45%。

对于IT设备,一层机房安装功率共计754kW,二层机房安装功率共计754kW,每层负载采用两台UPS供电,每台UPS 1000kVA,每块

UPS后挂电池组,后备电池为754kW,持续供电时间为15min。

后备时间的核算,采用恒功率计算法,认为在电池放电期间UPS输出的额定功率不变,电池采用施耐德APC12V-230AH电池,恒功率放电数据如表2所示。

电池需提供的直流总功率=负载功率/逆变器效率=745kW/0.98=760204W。

选用12V电池,42只/组:每组单体电池个数=42×6=252CELL,其中6表示12V电池为6个单体。

查密封免维护铅酸电池的“恒功率放电数据”表(见表2),选择15min放电终止电压1.70V,每只电池直流功率为666 W/CELL:

电池组数=直流总功率/(单体个数×每只电池直流功率)=760204W/(252cell×666w)=4.5组。

因此,UPS配置5组12V-230AH电池可以满足745kW负载后备15min的要求。

对于需要UPS供电的辅助设备,安装功率共计453kW,同时使用系数0.9,计算功率408kW,采用一路UPS供电,UPS 500kVA,每块UPS后挂电池组,后备电池为408kW,持续供电时间为15min,配置3组12V-230AH电池。

4 柴油发电机组的选择

后备柴油发电机的容量应包括UPS的基本容量、空调和制冷设备的基本容量、应急照明及关系到生命安全等需要的负荷容量。

影响发电机的带载能力的因素有:用电设备的输入THDI、发电机带阶跃性负载的能力、发电机带电容性负载的能力。发电机的额定输出功率是在下述检测条件下所检测到的技术参数:负载的输入电流谐波的THDI=0、负载的相移功率因数 $\cos\Phi=0.8$ (感性)、在后接负载的加载量很小的条件下,从0逐渐增大到其额定值时所获得的。而数据中心的IT设备、变频空调、LED灯具等属于非线性负载,服务器等IT设备的负载特性呈容性,以及空调、水泵启动过程中产生的浪涌电流,都会使发电机的带载能力明显下降。因此,在设计数据中心机房的发电机供电系统时,应在能确保发电机安全带载的前提下,尽量地降低发电机的设计容量配比。

本项目选用的是用带电容性负载能力强、带阶跃性负载能力强的PRP基本功率机组。对于

表2 APC12V-230AH 恒功率放电表

恒功率放电-Watts Per Cell(25℃)									
EPV	15	20	30	40	50	60	90	120	150
1.60	677	573	469	388	335	296	213	172	147
1.65	673	570	466	386	333	294	212	171	146
1.70	666	564	462	383	331	291	210	169	145
1.75	658	558	459	381	328	288	208	168	144
1.80	649	552	455	378	325	284	205	166	143
1.85	638	545	446	364	316s	276	200	161	140

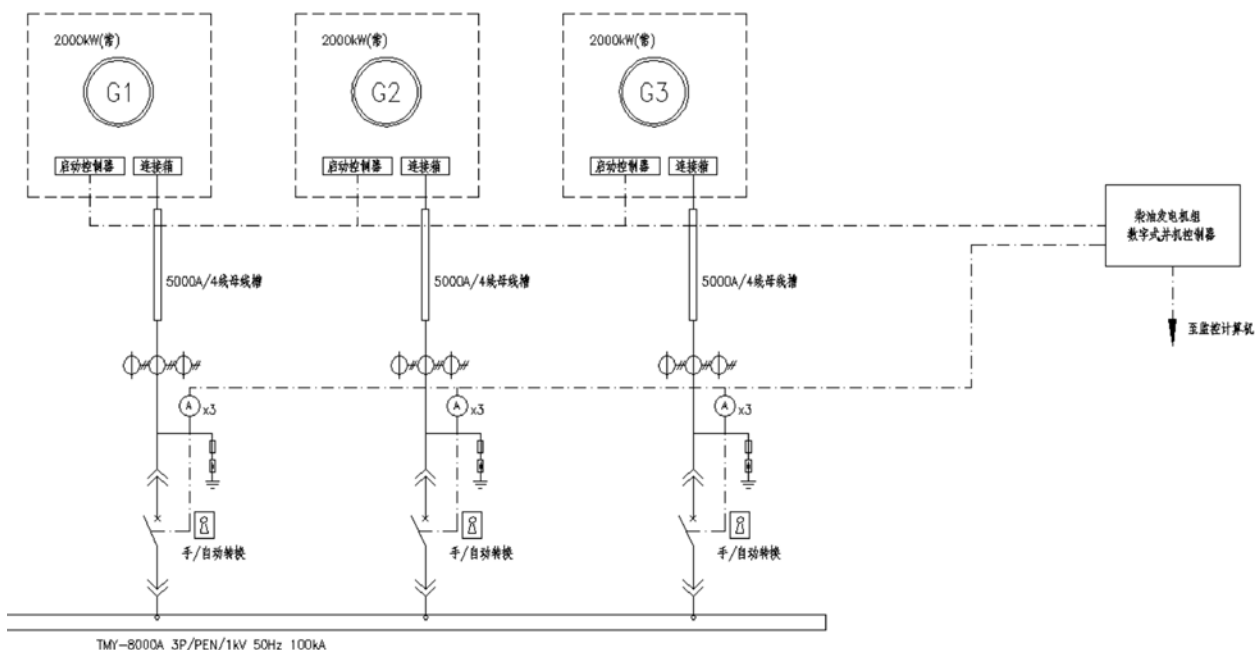


图2 柴油机并机原理图

PRP型发电机而言,不允许长期满载运行,它的平均带载率应按 $\leq 70\%$ 计算。经计算,柴油机所带功率为 $1320+1508=2828\text{kW}$,采用3台 2000kW 0.4kV 柴油发电机,设置一个 15m^3 的油罐,后备时间不低于 12h ,为N+1供电系统。

柴油发电机房设机组处于自动备用状态,按(2+1)模式并机运行,如图2所示。机组的启动信号发出后,3台发电机同时启动。第一台机组暖机后自动闭合其断路器并向转换开关供电;第二台机组暖机后自动与已投入机组同步并闭合其断路器;当两台机组同时向转换开关供电时,转换开关才将机组投向负载,同时负载检测器决定是否需两台机组同时并联运行,如果主机组出现故障,则备用机组会自动启动并转向负载。通过并机的运行方式,可以弱化谐波的影响,有利于机组的稳定运行。

5 结论

供配电系统是数据中心重要的基础设施,应在数据中心对供电可靠性要求的基础上,合理地设计供配电系统的结构和电源的选择,使数据中心更加安全、可靠、节能,运行更加高效。

参考文献

- [1] GB 50174-2017《数据中心设计规范》[S]
- [2] GB/T 2820.1-2009《往复式内燃机驱动的交流发电机组》[S]
- [3] 18DX009《数据中心工程设计与安装》[S]
- [4] 工业与民用供配电设计手册(第四版).北京:中国电力出版社,2017[M]
- [5] 施耐德电气白皮书,2013[M]

排气扩压器开孔率对试车台气动性能的影响研究

■ 梁靛 孙正伟 曹海峰 [动力]

摘要: 为了研究不同开孔率的排气扩压器对于试车台气动性能的影响,以某试车台作为研究对象,采用开孔率分别为25%、30%和35%的排气扩压器进行了全尺寸数值计算研究。计算表明,随着排气扩压器开孔率的增大,试车台引射系数增加,试车间内速度增加,速度不均匀度降低。

关键词: 排气扩压器;开孔率;试车台;数值计算

1 引言

CFD(计算流体力学)是目前对航空试验设备进行性能评估的有效方法之一,评定试车台性能不需要再依托试验进行,可以利用CFD进行性能评估,使得试车台的设计更加节约成本,节省时间。本文利用CFD计算方法,针对某型发动机,对不同排气扩压器开孔率的计算模型进行了仿真计算和分析。

2 计算模型

对流场及影响流场的关键设备进行准确建模是保证计算结果准确可靠的前提,而对计算模型进行适当的调整及简化也是提高计算效率的重要手段。在对几何模型的构造过程中,保留了进气系统、发动机、发动机台架、固定平台、排气系统以及土建结构的大部分几何特征,忽略了对流场影响较小的试车台部件。

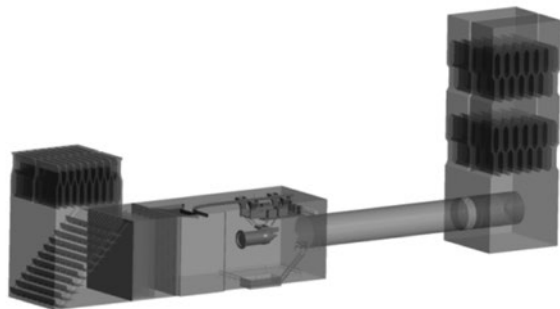


图1 计算模型

模型计算域有两个进口和两个出口。由于仿真计算不对发动机内部流动进行模拟,因此发动机的进口为出口条件,发动机的出口为进口条件。引射筒直径为6m,长约30m,发动机的轴线与试验间、引射筒的中心线重合,计算模型如图1所示。

3 计算方法

3.1 网格划分

网格的划分全部在商业软件ICEM19.0中进

作者简介:梁靛,女,助理工程师,2019年毕业于西北工业大学工艺设计专业,现就职于中航工程集成设备有限公司。

计算模型关键尺寸表

项目	尺寸
进气塔高度	20m
进气塔截面尺寸	12m × 12m
试车间截面尺寸	12m × 12m
发动机中心线标高	6m
引射筒中心线标高	6m
引射筒直径	6m
排气塔截面尺寸	12.32m × 12.32m
排气塔高度	34m
导流片数量	13片
导流片尾部角度	2°
引射筒开孔率	25%、30%、35%

行,所有部位网格的划分使用结构化网格划分,在进行进排气塔和水平消音装置部分的网格划分时,将其按照几何特征拆分成小块进行划分,最后将网格阵列拼接完成。

进气塔网格总数约为430万,网格质量在0.6以上;水平消音装置的网格总数为180万,质量在0.6以上;排气塔网格数量为530万,质量在0.6以上;引射筒部分的网格采用分块划分的方式,引射段和减速扩压段分别划分,减速扩压段有小孔,小孔单独划分,然后将其沿周向阵列,小孔的下表面通过interface面与引射筒内表面连接,上表面通过interface面与引射筒外表面连接,引射筒表面的网格加密,使其表面网格大小与扩压孔均匀过渡,最终引射筒的网格数量为2400万,网格质量在0.6以上;试车段网格由15块结构网格拼接而成,网格数1550万,网格质量大于0.4,不存在负网格。整流网部分根据其固有周期性特点进行拼接而成,网孔均为规则方形,所得网格质量为1,数量约1000万。

本次数值模拟在近壁边界层加密处理(近壁第一层网格距离4mm),导流片采用周期对称划分,网格数量2000万,近壁加密处理(近壁第一层网格距离4mm),保证计算的 $Y^+ < 300$, Y^+ 较大的地方出现在试车间内台架附近。

最终的整体网格数量为8090万,整体网格质量在0.4以上。

3.2 湍流模型

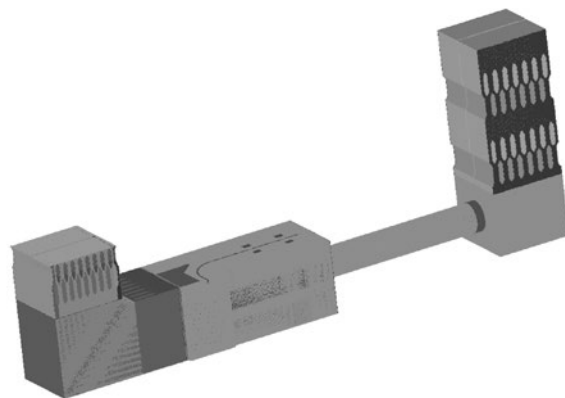


图2 某型发动机试车台整体网格

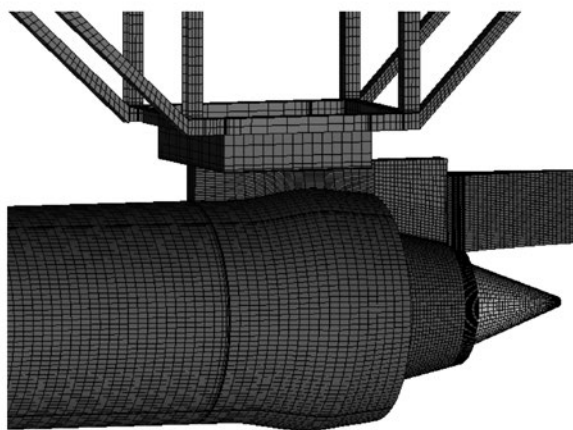


图3 发动机处局部网格



图4 引射筒设备模型

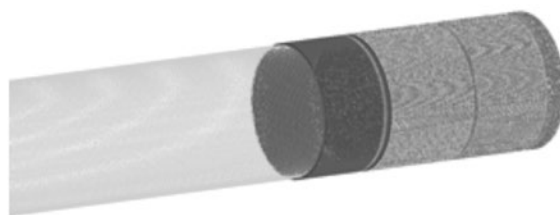


图5 引射筒整体网格

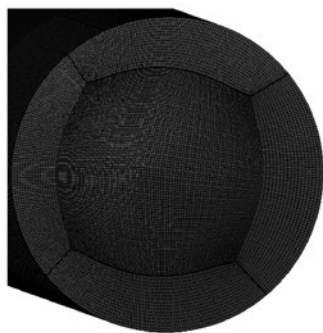


图6 引射筒尾锥处网格



图7 开孔扩压器壁面小孔网格

湍流模型选择 Realizable $K-\epsilon$ 模型。该模型的鲁棒性较好, 普遍适用于实际工程运算, 能用于预测中等强度的旋流, 实际使用也已经证明该模型被有效的应用于各种不同类型的流动模型, 包括旋转均匀剪切流、包含有射流和混合流的自由流动、管道内流动、边界层流动, 以及带有分离的流动等^[1,2]。对比 Realizable $K-\epsilon$ 模型, Standard $K-\epsilon$ 模型应用多, 计算量适中, 有较多的数据积累和比较高的精度, 但是对于曲率较大等复杂流动模拟效果欠佳, 由此选择 Realizable $K-\epsilon$ 模型为本次数值模拟的湍流模型。

3.3 边界条件

根据发动机试车状态下的具体参数对试车台进行边界条件的设置。数值模拟中存在多个进口和出口, 使边界条件设置能够准确模拟真实试车环境是至关重要的。边界条件的设置上, 忽略发动机内部流动, 只设置发动机入口及尾喷管出口来限制发动机的边界条件, 以此来模拟发动机的工作状态^[1], 具体的设置方式如下:

进气塔进口: 压力进口边界条件, 大气压力 101325Pa, 常温 303.2K;

排气塔出口: 压力出口边界条件, 大气压力 101325Pa, 常温 303.2K;

发动机进口: 压力出口边界条件, 给定气压力出口边界条件为低于大气压力 500Pa;

发动机风扇出口: 质量进口边界条件, 约

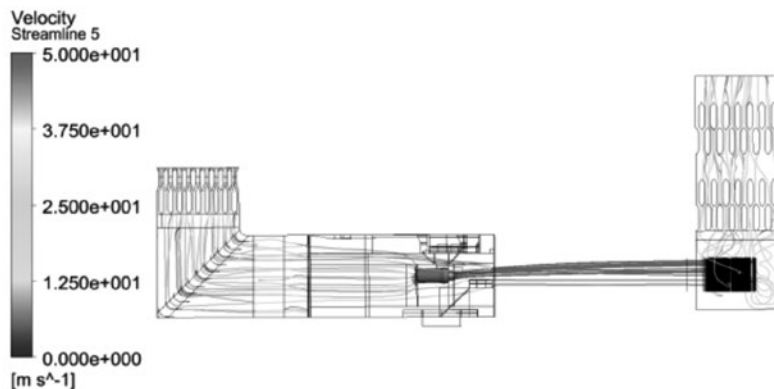


图8 整体流场

470kg/s;

发动机内涵道出口: 质量进口边界条件, 约 43kg/s。

4 数值结果分析

4.1 试车台整体流场分析

在3种开孔率条件下, 试车台内流场均稳定通畅, 由进气塔进入的气流均能够有效的从排气塔排出, 此外观察引射筒入口处的速度矢量图发现, 引射气流沿顺流方向流动并未出现返流及分离的现象, 满足试车间内无回流要求。

4.2 试车台引射比对比分析

图9所示为试车台引射比与开孔率之间的关系。仿真结果表明, 在其他条件保持不变的情况下, 随着开孔率的增加, 试车台引射比逐渐增加。这与实际是相符的, 因为开孔率增加, 引射

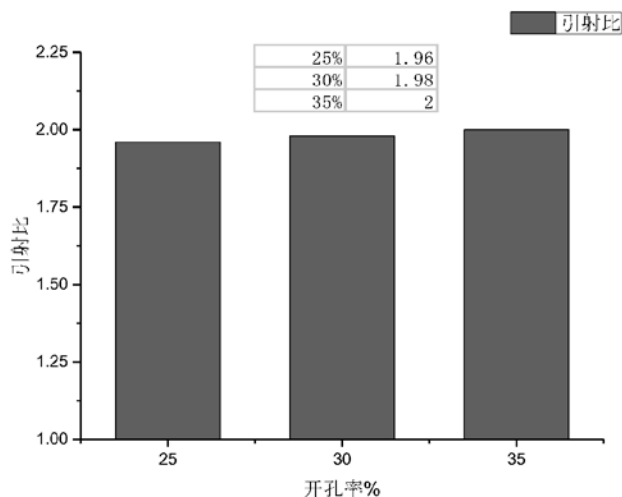


图9 引射比随开孔率的变化

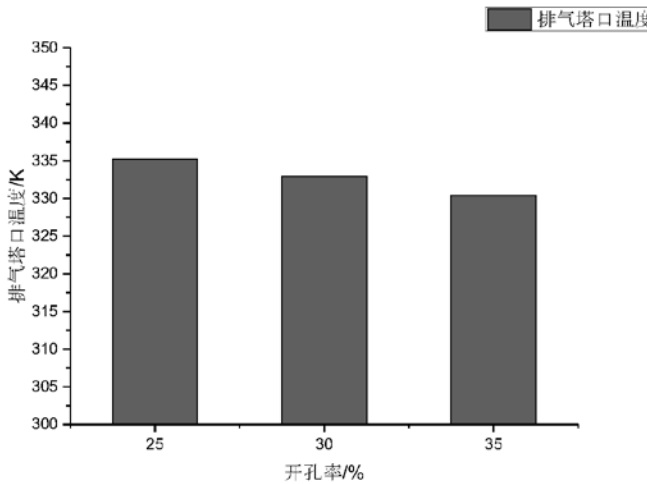


图10 排气塔口温度随开孔率变化柱状图

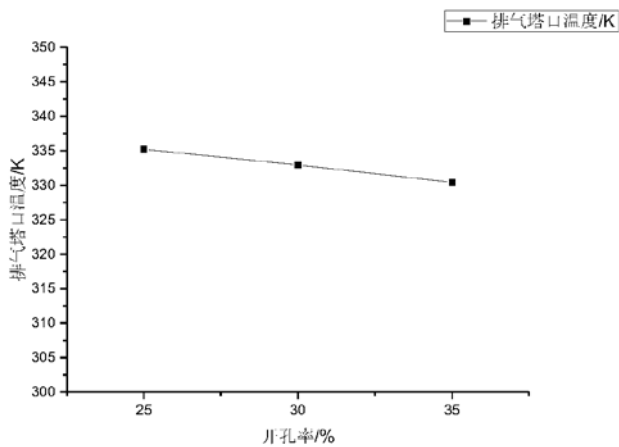


图11 排气塔口温度随开孔率变化线形图

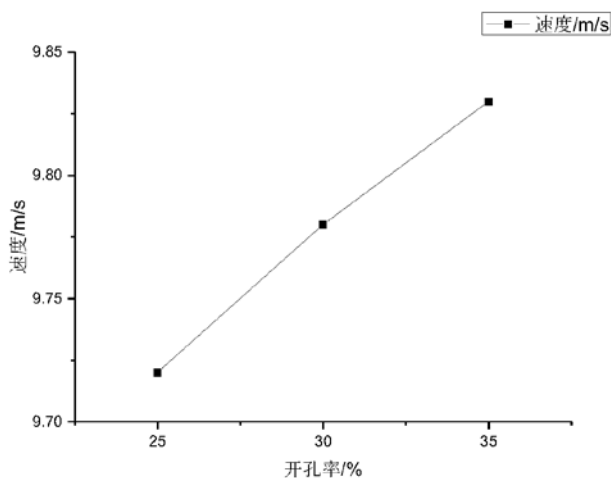


图12 试车间内速度随开孔率变化情况

筒段的流阻减小，进入试车台内的空气量会增大，从而使得引射比增加。

4.3 排气塔口温度随开孔率的变化

图10和图11所示为排气塔口温度随开孔率的变化情况。计算结果表明，随着开孔率的增加，排气塔口的温度呈线性降低的趋势，这是因为随着引射量的增加，发动机尾部喷射出的高温气流与引射的低温气流掺混后的温度也随之降低。开孔率每增加5%，排气塔口的温度降低3K。

4.4 试车间内速度的对比

图12所示为试车间内速度随开孔率的变化情况。计算结果表明，速度随开孔率的变化呈线性关系，随着开孔率的增加，速度逐渐增加。因此，虽然开孔率的增加对于排气温度的降低有好处，但会使得试车间内的速度增加，因此开孔率的选取还需要在满足试车间内速度要求规范的基础和满足引射比要求的前提下综合考量。

5 结论

本次数值模拟是在其他结构尺寸不变、且仅改变排气扩压器的引射比条件下，进行的全尺寸数值仿真模拟，分析了不同开孔率对于试车台内引射比、排气塔口温度、试车间内流速的影响。

通过研究，得到以下结论：

- (1) 随着引射筒开孔扩压器开孔率的增加，试车台引射系数增加；
- (2) 随着开孔扩压器开孔率的增加，排气塔口温度降低；
- (3) 开孔扩压器开孔率的增大，必然带来试车间内流速增加，因此开孔扩压器的开孔率需要综合试车间内速度和试车台引射比进行全面考虑进行选取。

参考文献

- [1] 赵彬，王毅. 室内航空发动机进气流场流量测量数值模拟研究 [J]. 计测技术, 2017, 37(3): 29 - 33.
- [2] 杨智远，张钊，江国和. 低速柴油机 SCR 系统吹灰装置喷孔效应有限元分析 [J]. 舰船科学技术, 2018(7).

涡轮动力模拟器 总体性能计算分析

■ 赵云洋 刘睿 [动力]

摘要: 现代高速飞机的动力装置对飞机性能的影响显著, 涡轮动力模拟试验技术是研究动力装置/飞机一体化设计的有效手段。为准确评估典型涡轮动力模拟器的总体性能, 本文选取了一系列各国家典型型号模拟器作为研究对象, 采用建立数学计算模型的方法对其总体性能进行计算分析, 并针对各典型涡轮动力模拟器进行性能指标核验, 结果显示本文提出的涡轮动力模拟器总体性能计算模型合理准确。

关键词: 涡轮动力模拟器; 总体性能; 计算分析模型

1 引言

现代飞机的动力装置多数以涡轮喷气或涡轮风扇发动机为核心。发动机的进气与排气根据不同的机体机翼、发动机一体化布局其气动特性有着不同的影响。现代航空发动机由于其推力要求的增加, 涵道比进一步增大, 导致发动机直径增加, 使得短舱、进气道阻力、发动机对飞机的相互作用等问题更为突出。对于目前吊挂式且大涵道的发动机而言, 这种干扰尤为巨大, 其干扰阻力可达总阻力的3%, 这对飞机的经济性有重要影响, 例如如果空客A300的阻力减少0.5%, 在一小时巡航航程中将减少40升的燃油消耗。动力模拟试验是分析动力装置对飞机气动特性影响的有效手段。涡轮喷气式飞机发动机的典型动力模拟装置主要为涡轮动力模拟器(Turbine Power Simulator)和引射式动力模拟器。

涡轮动力模拟技术可较大程度上模拟发动机喷流和进气口流动, 包括短舱进气与尾部喷流

之间的相互作用。除了无法模拟内涵排气核心气流的高温燃气、只可模拟全尺寸实际进气流量的80%~90%外, 其他所有特性都与真实发动机相似。对于大涵道比涡轮发动机而言, 内涵气流在发动机进/排气总气流中的比重较小, 并且核心高温气流都被外涵气流所包围, 故内涵高温气流对进/排气总气流及其相互作用的影响较小, 并且, 随着现代航空发动机的涵道比愈加增大, 这种影响将进一步减小。综上所述, 涡轮动力模拟是目前航空发动机进/排气模拟最合理与先进的手段, 随着大涵道比发动机在全世界的广泛应用, 尤其是现代民用飞机的大涵道比发动机, 动力装置对飞机性能的影响更为显著。为获取真实的飞机—发动机一体化气动特性, 有必要对涡轮动力模拟器的总体性能进行准确的分析计算, 为未来模拟器的设计提供参考数据。

为准确评估典型涡轮动力模拟器的总体性能, 本文选取了一系列各国家典型型号涡轮动力模拟器作为研究对象, 采用建立数学计算模型的方法对其总体性能进行计算分析, 对比了计算结果与真实工况的性能参数。研究成果可为涡轮动力模拟器总体性能参数计算提供有效的计算分析模型。

作者简介: 赵云洋, 男, 助理工程师, 2019年毕业于北京航空航天大学工程热物理专业, 现就职于中航工程集成设备有限公司。

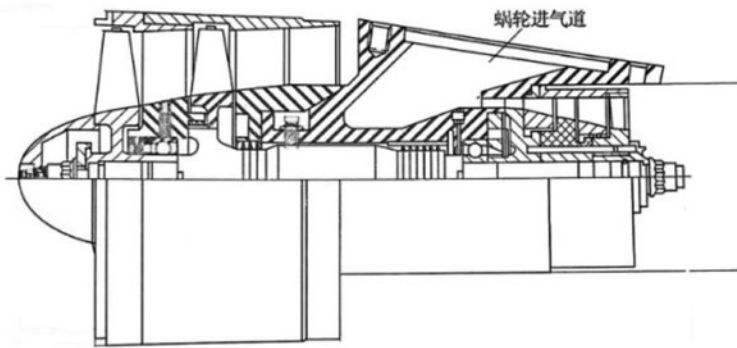


图1 美国TDI441型涡轮动力模拟器结构图

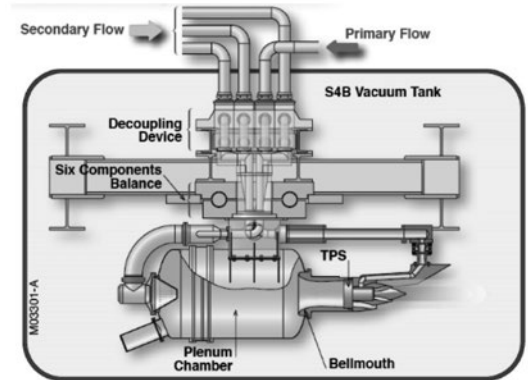


图2 ONERA公司模拟实验结构示意图

2 研究情况

20世纪60年代初期，美国首先开始了以引射器动力模拟装置为主的装置研制，美国TDI公司（TECH DEVELOPMENT INC）联合美国GE公司（General Electric Company）研制出世界第一台涡轮动力模拟器。德国—荷兰风洞群（DNW）在TDI公司的帮助下研制出了几款涡轮动力模拟器并投入飞机动力模拟试验。60年代中期，美国、德、法、荷兰等国都建立了相关的试验设备，并开展风洞试验对涡轮动力模拟器的气动特性进行研究^[1-4]。至今为止，美国TDI公司、法国Airthechnologies公司、乌克兰安东诺夫设计局都具备了系列型号的动力模拟器。每个涡轮动力模拟器型号都是针对特定操作点和具有特定尺寸的特定发动机而设计的，其中的驱动涡轮设计是基于特定涡轮发动机的工况点。各公司生产及使用的不同涡轮动力模拟器种类，主要是根据所需要模拟的不同发动机型号的进行区分，其区别大致包含几点：风扇级数和尺寸、涡轮级数和尺寸、驱动空气进入管道排布方式等。动力模拟风洞实验所占比重逐渐增加，据统计国外动力模拟风洞试验

已占风洞试验数量的1/3左右。表1为各国家具备的涡轮动力模拟器的典型型号参数。

国内动力模拟试验技术的开展较晚。20世纪80年代，中国航空工业空气动力研究院开始引射器动力装置的研制和引射器有关的风洞试验研究。2000年，中国航空工业空气动力研究院和中国气动研究和发展中心分别从美国、德国和法国引进了涡轮动力模拟器与相应的试验设备，从此国内的动力模拟试验也发展到了涡轮动力模拟阶段^[5-7]。

3 总体性能计算与分析

本文以TDI公司的系列涡轮动力模拟器的气动形式为参考，为方便总体性能计算，对涡喷发动机气动原理进行绘制，涡喷发动机模型气动原理图4。

依据该原理图，模拟器的各截面定义如图5所示。

各个截面编号说明如表2所示，主要包括自由来流截面、进气道出口截面、风扇进口截面、风扇出口截面、外涵出口截面、燃烧室出口/涡轮进口截面、涡轮出口截面、内涵尾喷管出口、外涵

表1 各国典型涡轮动力模拟器参数

国家	美国TDI	法国AEF				法国AEF	法国ONERA		乌克兰安东诺夫		德国DLR
型号	441	1300	1400	1410	1500	0136A	VHBR1	VHBR2	AT1	QM11	DA7100
风扇直径mm	127	107	231	410	127	87.5	104	180	88	128	180.3
风扇压比	1.55	1.55	1.75	1.75	1.75	1.75	1.7	1.7	1.25	1.39	1.75
风扇流量kg/s	2.11	0.64	6.08	19.2	1.84	0.9	1.2	3.7	1	1.65	1
涡轮驱动空气压力MPa	3	3.1	1.7	1.7	1.7	3.3	3.3	1.9	0.8	0.8	
涡轮驱动空气温度℃	16	16	66	66	66						
涡轮流量kg/s	0.91	0.31	3.04	9.53	0.92	0.5	0.64	1.9	0.45	0.75	
涵道比	1.7	1.7	2	2.01	2		1.87	1.95	2.22	2.2	

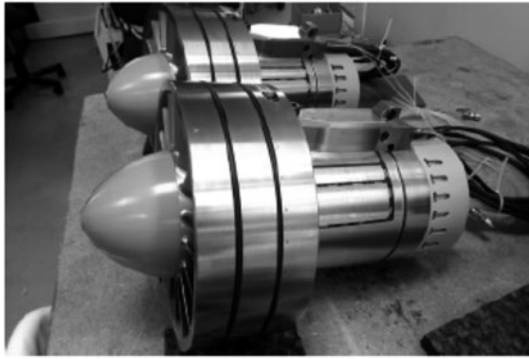


图3 国内试验用涡轮动力模拟器示意图

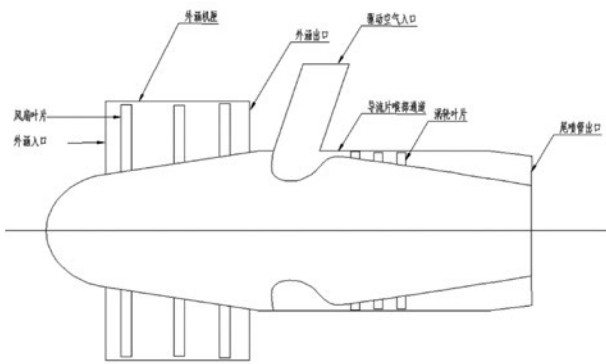


图4 模型气动原理图

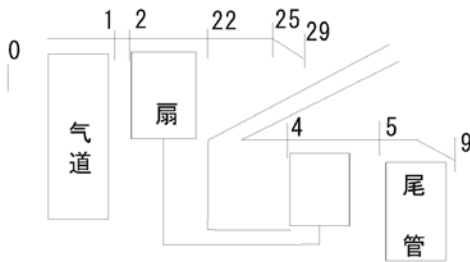


图5 模型截面定义

尾喷管出口。

模拟器计算模型中气动热力符号如表3所示，主要包括总温、总压、总焓、定亚比热、静温、静压、焓函数、气体常数。

计算模型中其他符号定义如表4所示，主要包括速度、马赫数、流量、面积、转速、总压恢复系数、效率、压比、比热比。

在仿真计算中，通常使用变比热计算方法。在变比热计算方法中空气和燃气的焓H，焓函数φ，定压比热CP都是温度和油气比的函数。根据美国公布的燃气性质表，纯空气和纯油气的焓H，焓函数φ，定压比热CP用温度的多项式来拟合。本模型只用到纯空气的变比热模型，计算公式如下。

表2 各个截面编号说明

标号	意义
0	自由来流截面
1	进气道出口截面
2	风扇进口截面
22	风扇出口截面
25	外涵出口截面
4	涡轮进口截面
5	涡轮出口截面
9	内涵尾喷管出口
29	外涵尾喷管出口

表3 气动参数符号

符号	意义	符号	意义
T	总温	Ts	静温
P	总压	Ps	静压
H	总焓	φ	焓函数
Cp	定压比热	R	气体常数

表4 符号定义

符号	意义	符号	意义
V	速度	n	转速
Ma	马赫数	σ	总压恢复系数
W	流量	η	效率
A	面积	π	压比
		k	比热比

3.1 纯空气

$$Cp_a = a_0 + a_1T + a_2T^2 + \dots + a_7T^7$$

$$H_a = b_0 + b_1T + b_2T^2 + \dots + b_8T^8 \quad (1)$$

$$\phi_a = c_0 + c_1T + c_2T^2 + \dots + c_7T^7 + c \ln T$$

运用部件法计算模拟器的性能时，通常是已知一个部件进口气流参数和这个部件本身的参数，根据气动热力学公式计算出这个部件出口的参数。从前到后依次计算各个部件。各部件的计算方法如下：

3.2 进气道

$$T_2 = T_0 \quad (2)$$

$$P_2 = P_0 * \sigma_i$$

σi为进气道总压恢复系数，通常根据飞行马赫数用特性图或经验公式得到。

3.3 风扇

$$P_{22} = P_2 * \pi_f \quad (3)$$

$$T_{22} = T_2 * (\pi_f^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1) / \eta_f + T_2$$

风扇的压比, 换算流量和效率在设计点计算时是给定的, 在非设计点计算时是通过特性图插值得到。

3.4 涡轮

$$\begin{aligned} T_5 &= T_4 - T_4 * (1 - \pi_T^{-\frac{\kappa-1}{\kappa}}) * \eta_T \\ P_5 &= P_4 / \pi_f \end{aligned} \quad (4)$$

设计点涡轮计算时, 涡轮的进口总温和总压已知, 由之前算好的压气机功算出涡轮功, 再算出单位焓降, 最后由效率求出涡轮落压比。

3.5 外涵道

$$\begin{aligned} T_{25} &= T_{22} \\ P_{25} &= P_{22} * \sigma_D \end{aligned} \quad (5)$$

气流流经外涵道时, 总温不变, 总压有损失。设计点时给定总压恢复系数, 非设计点时总压恢复系数与换算流量有关, 一般总压损失与换算流量的二次方成正比。

3.6 尾喷管

$$\begin{aligned} \frac{T_7}{T_{S_9}} &= \left(\frac{P_7}{P_{S_9}}\right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} \\ V_{9,i} &= \sqrt{2 * (H_7 - H_{S_9})} \\ V_9 &= \varphi * V_{9i} \end{aligned} \quad (6)$$

喷管一般采用收敛型喷管, 按完全膨胀计算尾喷管出口面积。外涵喷管的计算方法与内涵喷管相同。

根据此计算模型对TDI1400型号的涡轮动力模拟器进行性能参数对比, 对比结果如表5。

由以上计算结果对比可知, 通过本文提出的动力模拟器总体性能计算方法, 可准确计算动力模拟器涡轮、外涵道、尾喷管等部件的总体性能, 计算值与实际工况值的偏差在1%以内。

4 结论

使用涡轮动力模拟器来研究动力装置对飞机性能的影响更为准确, 为获取真实的飞机—发动机一体化气动特性, 本文提出涡轮动力模拟器的总体性能计算模型, 结果显示本计算模型计算值与真实工况值偏差在1%以内, 计算方法合理准确, 可方便地计算出对应型号涡轮动力模拟器的各关键部件性能参数。

表5 参数对比

部件	参数	TDI1400 工况参数	TDI1400 计算值
风扇	级数	1	1
	压比	1.7	1.7
	流量kg/s	4	4
	效率	0.796	0.8
涡轮	级数	2	2
	涡轮驱动空气温度K	333	333
	流量kg/s	2	2
	供气压力MPa	1.6	1.6
	涡轮出口压力MPa	0.19	0.192
	涵道比	2	2
	落压比	8.42	8.33
涡轮出口温度K	211	214	

参考文献

- [1] Kooi J , Haij L D , Hegen G . Engine Simulation with Turbofan Propulsion Simulators in the German—Dutch Wind Tunnels (Invited)[C]// 22nd AIAA Aerodynamic Measurement Technology and Ground Testing Conference. 2002.
- [2] Kooi J , Kiock R , Slauerhoff J . Tools for the experimental study of the integration of ultra—high bypass engines on transport aircraft[C]// Plasmadynamics & Lasers Conference. 2013.
- [3] RK Rowe, Nozzle performance calibration and turbomachinery operational analysis of Turbo—Powered Simulators (TPS) for the NASA—Langley EET propulsion airframe integration investigation[C]// AIRCRAFT PROPULSION AND POWER. 2013.
- [4] Laban M , Soemarwoto B , Kooi J . Reshaping Engine Nacelles for Testing in Wind Tunnels with Turbofan Propulsion Simulators[C]// 41st AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit. 2005.
- [5] 陶洋, 刘光远, 张兆, 等. 高速风洞带动力模拟试验TPS短舱唇口设计[J]. 航空动力学报, 2013(05):126—130.
- [6] 凌茂芙. 民用飞机带动力模拟器(TPS)风洞实验技术研究[J]. 民用飞机设计与研究, 1997, 04:46—50.
- [7] 李聪, 徐铁军. 引射器和TPS校准及试验研究[J]. 实验流体力学, 2006(01):17—22.

行星轮系振动特性分析

■ 高兆庆 李威 高玉峰 高如超 [动力]

摘要: 通过模态分析方法,分析了行星轮系自由振动时的固有振动特性,并对比了多级行星轮系和单级行星轮系固有频率差异;归纳总结了行星轮系3种固有振型,并得出多级行星轮系相比单级行星轮系,共振频率减小,更易产生共振,为以后行星轮系及多级行星轮系的设计和实际应用提供依据。

关键词: 行星轮系;模态分析;固有振型;固有频率

1 引言

行星轮系统由于其体积小,传动比大等优点,在工程中得到了广泛的应用,但随着行星轮系统级数的增加,也带来了新的问题,即是否会引起共振,这是实际应用过程中密切关心的问题^[1]。本文通过利用模态分析方法对行星轮系固有特性的研究,掌握了行星齿轮传动系统固有振型类别及固有频率^[2],并以两级行星轮系统为例,与其中一级行星轮的固有特性进行比较,研究多级行星轮系统的固有特性,有利于确定行之有效的减振方法,对行星齿轮传动系统的实际应用以及故障诊断提供依据^[3]。

2 模态分析原理

模态分析将线性定常系统的振动微分方程组中的物理坐标变为模态坐标,将振动微分方程组变形成为以模态坐标及模态参数为特征量的方程。方程中的特征值和特征向量分别对应着结构的固

有频率和固有振型^[4]。

通用线性结构自由振动的控制方程如下:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F(t)\} \quad (1)$$

式中, [M]是结构质量矩阵; [C]是结构阻尼矩阵; [K]是结构刚度矩阵; {F(t)}是随时间变化的载荷函数; {u}、{\dot{u}}、{\ddot{u}}分别是节点位移、速度和加速度矢量。

模态分析中,设定F(t)=0,且阻尼矩阵[C]是忽略不计的。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = \{0\} \quad (2)$$

假设结构为线性的,那么[M]、[C]保持是常数,则自由振动为简谐运动:

$$\begin{aligned} \{u\} &= \{\varphi\}_i \sin(\omega_i t + \theta_i) \\ \{\ddot{u}\} &= -\omega_i^2 \{\varphi\}_i \sin(\omega_i t + \theta_i) \end{aligned} \quad (3)$$

将结构运动的位移和加速度方程{u}、{\ddot{u}},即方程(3),代入方程(2)中,可得:

$$[K] - \omega^2 [M] \{\varphi\}_i = \{0\} \quad (4)$$

对方程(4),有两种情况可以考虑,一种是{\varphi}_i=0,表明结构不存在振动,不符合实际分析情况;另一种情况:

$$\det([K] - \omega^2 [M]) = 0 \quad (5)$$

这是特征值问题,可以解出n个方程的根

作者简介:高兆庆,男,助理工程师,2019年毕业于北京科技大学机械工程专业,现就职于中航工程集成设备有限公司。

$(\omega_1^2, \omega_2^2, \omega_3^2 \dots \dots, \omega_n^2)$ ，它是结构振动的自然圆频率 (rad/s)，可得出自然频率 $f_i = \omega_i / 2\pi$ 。对于每一个根 (特征值)，都对应着一个特征向量 $(\{\varphi\}_1, \{\varphi\}_2, \{\varphi\}_3 \dots \dots, \{\varphi\}_n)$ ，特征向量 $\{\varphi\}_i$ 表示结构振动的振型，即结构以频率 f_i 振动时的形状。

利用三维建模软件，建立需分析的行星轮系，将建立完成的齿轮啮合三维模型导入 Workbench 中进行模态分析，模态分析的过程如图1。

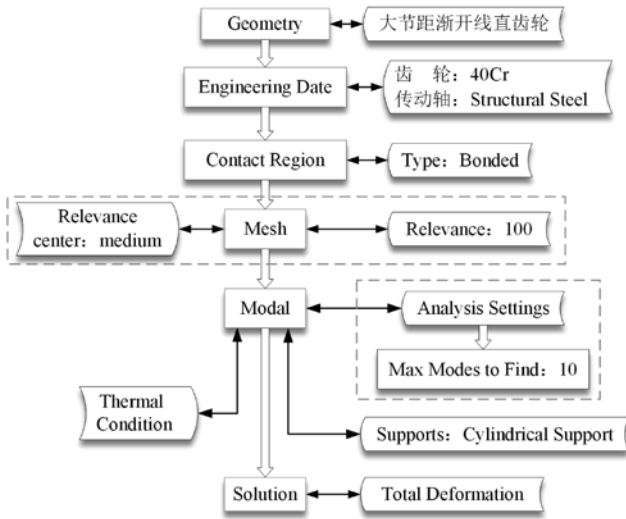


图1 模态分析流程及相关参数设置

如图1所示，可知模态分析流程包括几何模型的建立、材料特性参数的设置，约束副的添加，网格的划分，温度场的添加，求解参数的设置几个步骤。因为模态分析的对象是无限维的，其模态具有无穷阶，但是对其运动起主导作用的只是前几阶模态，所以取计算结果的前十阶模态分析，用以代表齿轮传动系统的振动形态。

3 行星轮系固有振型分析

确定行星轮系几何参数如表1所示。

表1 行星轮系几何参数

构件	齿数	模数	齿宽 (mm)	压力角 (°)	齿顶高系数
太阳轮	27	4	20	20	1
行星轮	18	4	20	20	1
内齿圈	72	4	20	20	1

利用有限元模态分析方法，经过计算，得到行星轮系前十阶固有振型如图2所示，为方便观察

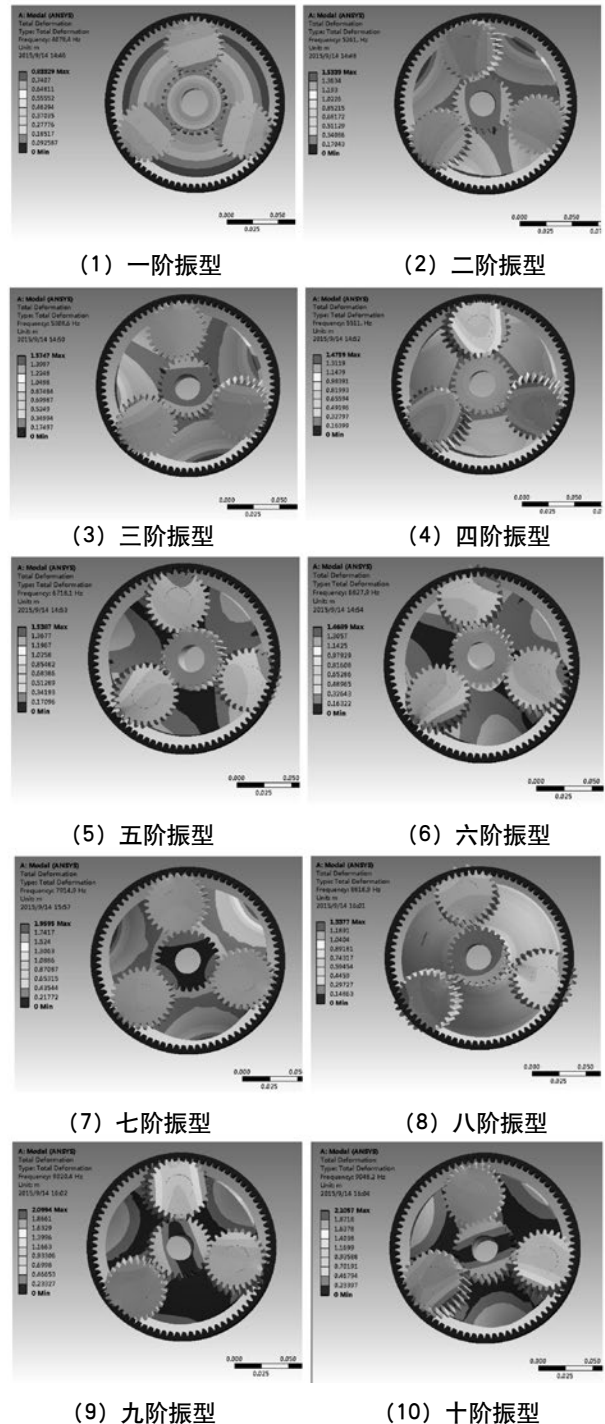


图2 行星轮系前十阶固有振型

将主动轮输入轴隐藏。

采用归纳法，观察系统的振型，可得到主要振型有3种，分别为太阳轮，行星轮，系杆同时发

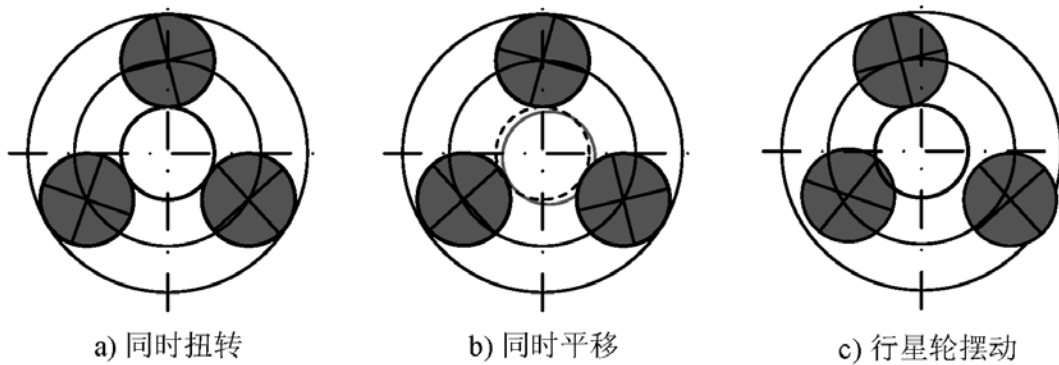


图3 行星轮系3类振型示意简图

表2 行星轮系前十阶固有振型分类

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
频率(Hz)	4078	5261	5309	5511	6718	6828	7915	8819	9020	9048
振型	b	a	a	b	c	a	a	a	a	a

表3 两级行星轮系统前十阶固有频率表

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
频率(Hz)	194	369	613	633	728	756	823	1206	1237	1292

表4 第一级行星轮系统前十阶固有频率表

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
频率(Hz)	631	659	804	810	1295	1331	1579	1737	1753	2496

表5 第二级行星轮系统前十阶固有频率表

阶数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
频率(Hz)	823	1096	1141	1288	1520	1620	1858	1870	1925	1947

生扭转振动；太阳轮，行星轮，系杆同时发生摆动；太阳轮不发生振动，只有行星轮，系杆发生摆动，归纳出的三种振型示意简图如图3所示。

根据归纳出的3种振型，与图2所示的行星轮系前十阶固有振型相对照，进行分类，结果如表2所示。

根据固有振型分类表，有助于初步分析行星轮系振动特性，根据系统用途避免相关振型下的固有频率，以避免产生共振，也可根据所产生的共振形式与振型的对比，寻找发生共振的频率，从而进行诊断。

4 两级行星轮系振动特性分析

利用上述有限元模态分析方法，计算得到两级行星轮系统前十阶固有频率（表3所示），然后将两级系统中的第一级行星轮和第二级行星轮分别提取出来，分别得到其前十阶固有频率（表4和表5所示）。

将两级行星轮系统与单级行星轮系前十阶固有频率相比较如图4所示。

可以看出两级行星轮的前十阶各阶频率要明显小于第一级和第二级分别的前十阶固有频

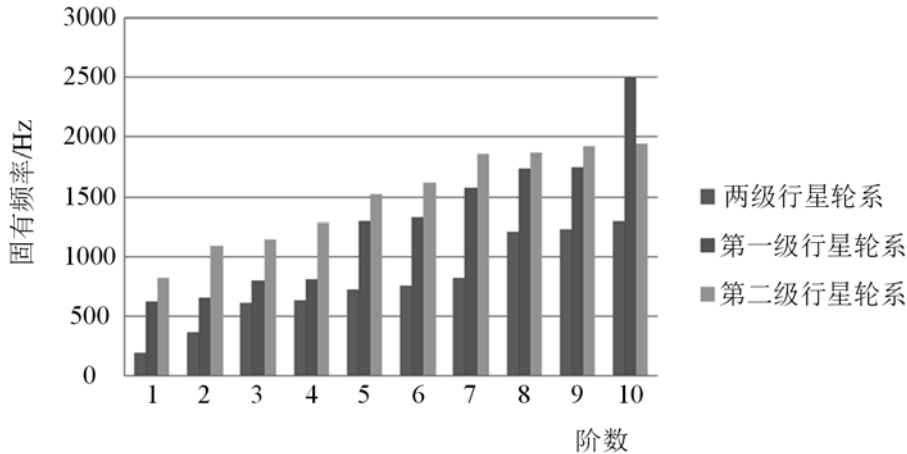


图4 两级与单级行星轮系前十阶固有频率对比

率。对于行星轮系传动系统来说，级数越多，系统固有频率会越小。对于单级行星轮系其固有频率一般在几千甚至上万，一般很难达到与之发生共振的频率。但对于多级行星轮系，由于级数增加，系统共振频率减小，使用过程中易发生共振现象，所以在设计过程中，应避免系统的固有频率，以免产生共振。

5 结论

本文以机械动力学理论为基础，通过有限元模态分析方法，对单级与多级行星轮系传动系统进行振动特性分析，得到的结论主要有以下3点：

(1) 通过对单级行星轮系振动特性分析，对系统固有频率及对应固有振型分析，归纳出3种基本固有振型；

(2) 多级行星轮系前十阶固有频率变化趋势与各单级行星轮系前十阶固有频率变化趋势相同；

(3) 对于多级行星轮系来说，当系统级数越多，对应系统固有频率越低，越易产生共振，在多级行星轮系的设计中，应注意避免与其固有频率发生共振。

参考文献

- [1] 李润方,王建军. 齿轮系统动力学—振动、冲击、噪声[M]. 北京:科学出版社,1997
- [2] 张建云,阮忠唐,丘大谋. 2K-H行星齿轮减速器的动态特性分析[J]. 西安公路交通大学学报,1991,17(1):83-86

[3] 潜波,巫世晶,周广明,李洪武,胡培林,李永军. 行星齿轮传动系统动力学特性研究[J]. 系统仿真学报,2009,20(21):6608-6625.

[4] 周立峰,朱如鹏. 基于ANSYS 的直齿圆柱行星齿轮系统的模态分析[J]. 机械工程师. 2009,1:67-68.

[5] 齿轮手册编委会. 齿轮手册(上册)[M]. 北京:机械工业出版社,1990.

[6] 饶振纲. 行星齿轮传动设计[M],北京:化学工业出版社,2003

[7] 张策,王世宁,宋逸民. 行星传动基本参数选择理论的再认识[J]. 天津大学学报,2005,38(4):283-287

[8] 沈允文,邵长键. 利用行星架附加阻尼的行星齿轮系统减振研究[J]. 机械传动,1999,23 (4):29-32.

基于EXCEL的 真空计算程序开发的实例应用

■ 王晓东 [动力]

摘要: 针对公司目前在真空系统设计方面缺乏辅助设计的计算工具,本文在理论上采用日常办公方便易得的EXCEL表进行真空系统计算程序开发,并结合工程案例,对计算程序的使用及真空系统的设计进行详细说明,旨在方便设计者使用及提高设计效率和准确性,同时,也提供了通过利用EXCEL编写计算程序来解决工程复杂计算问题的一种思路。

关键词: 真空设计; EXCEL; 计算程序; 工程案例

0 前言

随着现代工业发展,真空技术已广泛运用于航空、航天、电子、医疗等部门。针对公司承接业务,真空系统涉及的工艺包括真空机加工、真空包装、真空镀膜、真空吸尘及真空干燥等。目前,公司尚未找到合适的真空计算软件用于辅助各实体单位所承接业务真空系统的设计,主要还是依靠人工计算及经验进行设计。但随着市场发展及公司业务扩展,对于设计的周期及准确性提出更高的要求,通过人工计算不仅费时费力,而且准确性难以得到保证,因此,利用计算机辅助设计来代替人工计算是十分有必要的。考虑EXCEL程序的易得性及广泛性,笔者利用EXCEL表编制真空计算程序,旨在方便设计者使用及提高设计效率和准确性。目前所涉及的真空系统中真空管道普遍采用普通圆管,因此,本计算程序主要针对普通圆管进行编制,对于采用其他形式管道,有待后期进一步开发。

1 真空系统的计算理论依据

真空系统设计计算的主要内容有3个部分,即流态判别、流导计算以及真空抽速及真空泵台数计算。气体的流态不同会导致管道的流导不同,而流导又会影响真空系统抽气时间及其他相关参数。所以真空系统的计算步骤是先判别流态,而后计算流导,在这两步的基础上完成其他相关参数的计算。本文计算的理论依据主要参见张以忱等著的《真空系统设计》与刘玉魁主编的《真空工程设计》等,不是本文重点要说明的,本文不展开论述。

2 EXCEL表计算程序开发思路

在真空系统设计计算中,涉及到流导的判别、流导、泵的抽速等参数,而不同条件下各参数是变化的,在计算过程中,涉及的一些复杂公式仅靠人工计算或是借助计算器是无法计算得,而且计算过程中人为错误是无法避免的,也会消耗大量计算时间。如果利用EXCEL丰富的函数库将设计公式编辑到单元格中,从而实现参数计算

作者简介: 王晓东,男,高级工程师,2013年毕业于天津大学供热、供燃气、通风及空调工程专业,现就职于航空工业规划飞机工程事业部。

自动化，消除人工计算的差错，提高了设计精度和效率，把设计人员从繁复的计算中解脱出来，减少设计周期及成本，提高设计质量。

针对公司涉及真空系统设计业务，总结真空系统设计计算步骤如下：

(1) 根据真空室体积、工作压力、抽气时间等已知条件，确定真空室所需的有效抽速；

(2) 粗算真空泵的抽速 S ，结合选型原则，选择合适的真空泵类型，初步选定真空系统方案；

(3) 根据厂房总体布置、各真空使用点分布及真空泵产品安装要求等情况，规划真空泵间位置，根据最终确认的真空泵间位置，绘制真空系统布置平面图，根据厂房管线综合要求，初绘真空系统管系图，在管系示意图上将管道长度、管道附件、腔体真空要求示意清楚，划分管段并逐段编号，编号按照由远及近，由分支到主管的原则进行，最终形成制真空系统计算展开图；

(4) 确定各管段规格、流导及真空管网总流导；

(5) 精算真空泵的抽速，选择真空泵的详细型号及计算真空泵所需台数。

结合真空设计计算步骤，笔者利用EXCEL表编制真空系统计算程序，力求界面简洁，计算准确，方便使用。本文将通过实际工程案例对利用所编制的计算程序辅助真空系统的设计进行阐述，达到对真空计算程序的直观了解及对真空系统设计的认识。

3 工程实例应用

为了更直接了解并应用所编制的计算程序，以公司某一个厂所的一数控厂房内的真空系统设计为例，对该EXCEL表真空计算程序加以说明。

该数控加工制造厂房共有8台数控机床需要

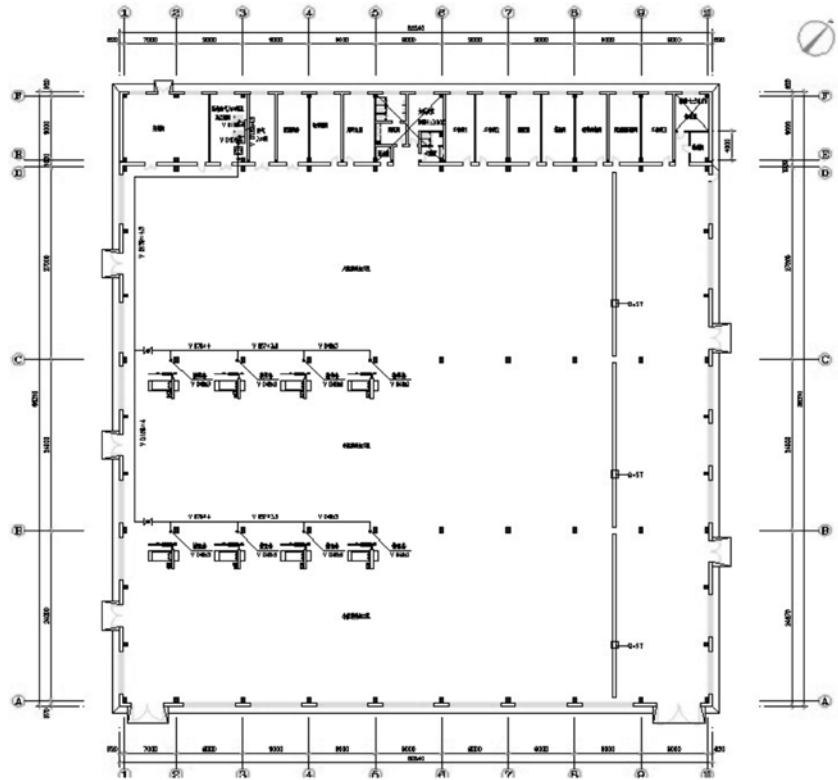


图1 真空系统管道平面示意图

二、已知末端体积和时间要求,选泵				
1	同时抽气容积	V	m ³	3.6
2	抽气时间	t1	min	0.5
3	抽气开始时绝对压力	P1	MPa	0.1
4	抽气终了绝对压力	P2	MPa	0.08
5	真空系统要求总有效抽速	Se	m ³ /s	0.027
6	粗选泵采用抽速损失系数	Ks		1.4
7	粗算泵抽速	S	m ³ /s	0.037

图2 有效抽速 S_e 计算表

真空供应，每台设备的真空室的体积600L，同时使用系数为0.75，要求在半分钟内达到0.08MPa（绝对压力）。厂房真空管道平面示意图如图1所示。利用计算程序确定真空系统管路的管径以及选择真空泵。

(1) 计算真空系统抽气口处要求的总有效抽速 S_e 。

同时抽气容积： $V=600 \times 8 \times 0.753600L=3.6m^3$

将同时抽气容积 V 、腔体初始压力 P_1 、抽气终了压力 P_2 及抽气时间 t_1 输入计算表内，如图2所示。

由计算程序可得 $S_e=0.027m^3/s=97.2m^3/h$ ，真空泵入口到真空室之间的管路未采用捕集器，取 $K_s=1.4$ 输入计算程序，得到粗算泵抽速

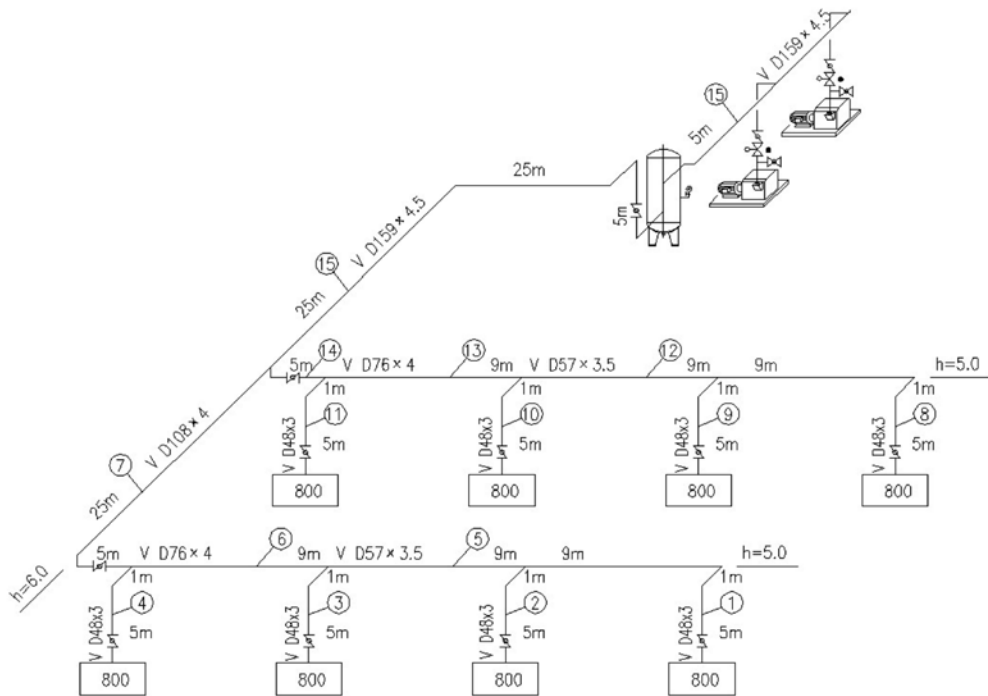


图3 真空系统计算展开图

$S=0.037\text{m}^3/\text{s}$ ，考虑到本厂房数控机床真空无特殊要求，所抽气体为普通空气，根据泵选型原则，拟定选用莱宝厂家的SV型的旋片真空泵。

(2) 绘制计算展开图。根据厂房各设备及真空泵间位置，合理规划真空管路走向，绘制真空系统管道平面示意图，根据厂房的综合管线情况，绘制真空系统管系示意图，进而绘制计算展开图，如图3所示，图上小圆圈内数字表示管段号。

(3) 真空管网流导计算

1) 确定接设备各支管的规格及流导

初定接各使用点支管规格，根据工程经验，可选择大于设备本身接口尺寸或者根据控制气体流速来确定。因各支管真空室大小及真空要求均相同，假定接各使用点真空管道支管规格为 $D48 \times 3$ ，即 $d_1=d_2=d_3=d_4=d_8=d_9=d_{10}=d_{11}=0.042\text{m}$ ，导管内的介质为 20°C 的空气。

以管段1计算为例，将管段号、真空室要求压力、气体种类、温度、导管直径、管长参数输入计算程序，详见图4。

通过程序自动计算，得到管段1的流导数据，单管段主要数据会自动在“单管段汇总数据”中显示，如图5所示。将得到管段1对应参数，复制到“实际管段数据汇总”中，如图6所示。

2) 根据串、并联计算方法确定其余各管段的

序号	名称	符号	单位	结果
管段流导计算				
1	管段编号			1
2	真空室要求达到压力（绝对压力）	P	Pa	80000
3	管道内气体平均压力	\bar{P}	Pa	80000
4	气体种类			空气
5	温度	T	K	293.00
6	玻耳兹曼常数	k	J/K	$1.38\text{E}-23$
7	气体分子有效直径	σ	m	$3.50\text{E}-10$
8	肖伦特常数	C	K	112
9	在 0°C 、一个大气压下气体内摩擦系数	$\eta_{0, \text{atm}}$	$\text{Pa}\cdot\text{s}$	$1.72\text{E}-05$
10	气体的内摩擦系数	η	$\text{Pa}\cdot\text{s}$	$1.82\text{E}-05$
11	导管直径	D	m	0.042
12	管长	L	m	15
13	气体分子的平均自由程	λ	m	$9.29\text{E}-08$
14	努克森	$\frac{\lambda}{D}$		$2.21\text{E}-06$
15	流态类型			黏滞流
16	L/D	L/D		357.14
17	管道类型判断			长管道
18	管道流导	C	m^3/s	22.38
19	流导倒数	$1/C$		0.045

图4 “管段流导计算”示意图

管道规格及流导

以确定管段5的管道规格为例，管段1与管段2并联后与管段5串联，将管段1与管段2对应数据复制到“中间管计算”程序中并联管路部分，并将

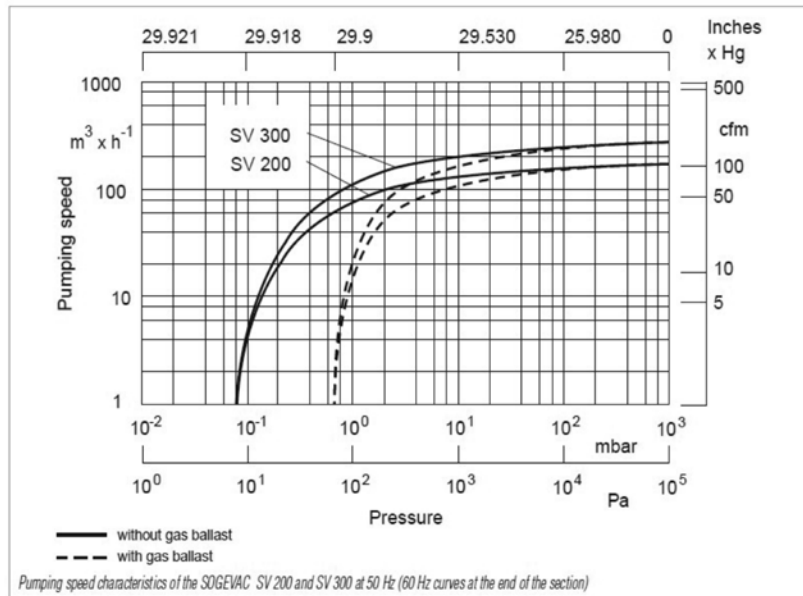


图11 莱宝真空泵SV 200抽速特性曲线示意图

工作压力0.08MPa（绝对压力）下，真空泵要求的抽速为289.22m³/h。根据工程经验，选择莱宝旋片真空泵，型号为SV200的真空泵，查询真空泵厂家给的样本资料，真空泵的压力—抽速特性曲线如图11所示，可知SV200真空泵在工作压力0.08MPa（绝对压力）下抽气速率基本与额定抽气速率一致，保持在180m³/h，由计算表可知，选择2台莱宝SV200真空泵即可满足要求。

4 结论

(1) 本文结合工程实例，利用所编制的真空计算程序辅助设计，并对计算过程及计算程序的使用进行详细描述，通俗易懂。同时，利用所编制的计算程序，可以快速进行整个真空管网设计计算，提供了通过利用EXCEL编写计算程序来解决工程复杂计算问题的一种思路。

(2) 所编制的计算程序也可以用来对已设计的真空系统进行验证，根据现有管网资料计算总流导，验证所选的真空泵能力是否满足要求。

(3) 笔者所编制的计算程序主要是针对日常业务中普遍遇到的“粗真空+黏滞流+普通圆管”情况进行编制，存在一定的局限性，但基本满足日常业务中所遇到的真空系统的设计计算。对于不常见的高真空、分子流及其他形式管道的真空系统，其计算程序有待进一步开发。

(4) 本文尚未将局部阻力引进到流导计算中，主要是未找到真空系统适合的局部阻力当量长度数据，将通过查阅相关文献进行研究，以期能弥补这部分的不足，从而引进局部阻力计算，使计算程序计算更加精确。

参考文献

- [1] 张以忱等.真空系统设计[M].冶金工业出版社,2013.
- [2] 刘玉魁等.真空工程设计[M].化学工业出版社,2016.

某援外疾控中心 PCR实验室通风空调系统设计

■ 安玉双 孟凡兵 [暖通]

摘要: 前全球公共卫生问题凸显, PCR实验室的建设方兴未艾。本文通过对援外项目中PCR实验室的工艺流程、平面四分区布置、通风空调系统形式进行分析, 利用设计合理的气流组织及各区域间压力梯度的控制, 保证气流单向流动, 防止气溶胶污染, 以保证实验安全可靠运行。

关键词: PCR实验室; 压力梯度; 气流组织

0 引言

目前, 全球公共卫生问题凸显, 除了新型冠状病毒继续蔓延外, 艾滋病、禽流感、埃博拉、中东呼吸综合症等传染性疾病接踵而至。这既引起了世界性恐慌, 也影响到社会稳定与经济发展。在重大传染病疫情面前, 没有哪个国家能够单独应对或者独善其身。只有全球联合起来, 共同应对, 只有帮助发生疫情的国家有效控制疫情, 才能有效防范疫情的国家传播, 其他国家才能免受其害。因此, 公共卫生援外是构成人类健康命运共同体的重要措施。公共卫生援外, 旨在帮助支持和帮助发展中国家, 特别是最不发达国家避免传染病等疾病危害, 减少贫困、改善民生。

本项目是我国援毛里塔尼亚国家公共卫生研究院扩建和升级改造项目, 充分体现我国以积极的姿态参与国际发展合作, 发挥出建设性作用, 同时推动构建人类命运共同体的大国外交大局,

发挥责任大国作用, 贡献中国力量, 增进人类健康福祉。

1 工程概况

本工程建设地点在毛里塔尼亚首都努瓦克肖特市, 总建筑面积为8222.1m², 主要包括: 实验区、公共卫生服务区、行政办公区、仓储区、其他附属配套功能区等设施。其中, 办公、教学布置于用地北侧, 实验室布置于南侧, 处于下风向, 并方便未来扩建。垃圾焚烧室布置于西南侧的下风向, 其中PCR实验室位于实验区3层。

PCR实验室又称基因扩增实验室^[1], 其特点是将微量的DNA通过扩增大量增加。PCR是分子生物学研究和实验的常规方法, 广泛应用于生物学各个领域, 例如: 检测艾滋病、乙型肝炎、禽流感、癌基因的检测和诊断, DNA指纹、个体识别、亲子鉴定及法医物证, 动、植物检疫, 动物及其衍生产品检测, 动物饲料、化妆品、食品卫生检测, 转基因作物与转基因微生物检测等。

作者简介: 安玉双, 女, 高级工程师, 2003年毕业于石家庄铁道大学建筑环境与设备工程专业, 现就职于中航建设建筑设计研究院。

本项目设置的PCR实验室，符合二级生物安全实验室标准，主要用于肺结核疾病的检测。参照规范《疾控预防控制中心建设技术规范》GB50881-2013、《临床基因扩增检验实验室基本设置标准》进行设计。

2 工艺流程

(1) PCR实验室平面分区

本项目采用组合式PCR实验室，根据实验工艺流程，考虑各功能的隔离与层次，配套使用的便利和洁污流线清晰，实验室设置在实验区3层。根据《疾病预防控制中心建筑技术规范》GB50881-2013第10.1.6条要求，设置4个分区^[2]，如图1所示，包括试剂储存和准备区、样品制备区、核酸扩增区、产物分析区，同时各区在入口处分别设置缓冲间，通过走廊连接。

试剂储存和准备区：储存试剂的制备、试剂的分装盒扩增反应混合液的准备，以及离心管、吸头等消耗品的储存和准备，用于配置做实验的各类试剂，这个试剂可以用在后续分区房间。

样本制备区：核酸（RNA、DNA）提取、储存及其加入至扩增反应管。样本提取的方式具体

根据样本种类确定。本项目在本区域内设置A2型生物安全柜。

核酸扩增区：CDNA合成、DNA扩增及检测。即对提取出来的DNA加入试剂后放大。

产物分析区：扩增片段的进一步分析确定，如杂交、酶切电泳、变性高效液相分析、测序等。即对放大的DNA进行分析，针对不同的实验要求，选择不同的分析方法，进而选择不同的分析设备。

每个区设置缓冲间的作用为更换工作服、工作鞋及维持空气流向。

(2) PCR实验室工艺流程及要求

人员和物品进入各个工作区域工作时，必须严格遵守单方向顺序原则，即从试剂储存和准备区（第一区）→样品制备区（第二区）→核酸扩增区（第三区）→产物分析区（第四区），严禁误入和逆向进入各工作区，保证实验顺序不可逆，即下游实验步骤不影响上游及外环境，避免交叉污染风险。

1) 人流流线

工作人员进入实验室路线：PCR走廊→缓冲间→某一实验区；

工作人员退出实验室路线：某一实验区→缓冲间→PCR走廊；

人员的单向流动可以降低因人员的流动带来的交叉污染风险。

2) 物流流线

实验室物流流线同样遵守单一流向制度，实验物品必须经过双扉互锁传递窗进行传递，这种物品有组织的单线传递可以降低物品的差错和混淆的风险。

3) 各区压力要求

PCR实验室压力梯度要求：试剂储存和准备区>样本制备区>核酸扩增区>产物分析区，各区相对于大气的压力值依次为：+15Pa、-10Pa、-10Pa、-15Pa。DNA在扩增和分析区扩大的时候，会扩大很多倍，一般为几百万倍，因此泄露一点

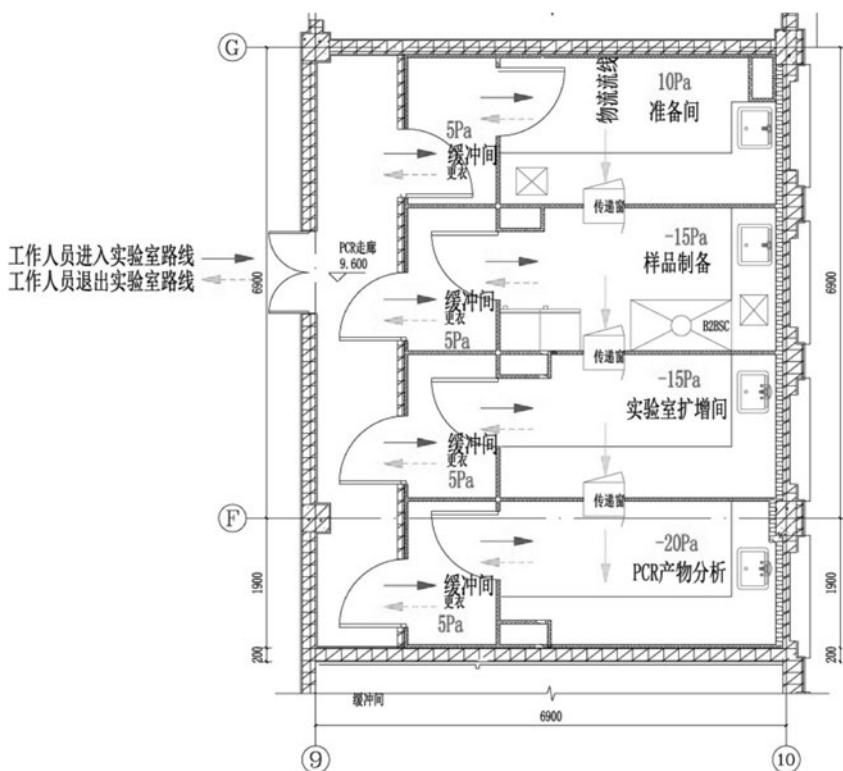


图1 PCR实验室平面及工艺布置图

就会污染样本，那么样本制备后面所做的实验就会是之前的样本污染物，造成检测结果不准，这是压差控制的核心。因此，通过在各区设置缓冲间来控制，起到很好的隔断作用。本项目各区临室压差如图1所示。

4) 洁净度及温湿度要求

对于PCR实验室，其温湿度的控制，主要从两方面考虑，一方面从实验工艺的要求考虑，个别实验程序对于实验仪器、试剂要求严格，需要恒温恒湿控制；另一方面，洁净区的换气次数远大于常规实验室，需要考虑实验人员舒适性要求。综合以上两方面要求，根据工艺条件对温湿度及洁净度要求确定PCR实验室合适的温度和湿度，具体参数如表1所示。

3 通风空调系统

(1) 室外设计参数

毛里塔尼亚北部为撒哈拉气候，首都努瓦克肖特西濒大西洋，位于毛西部广阔的沙漠地带，仅隔一条狭窄的沿海沙丘与大西洋相望，距海岸5km。本项目距离首都约19km。考察组搜集到当地气象资料整理如下：（2014~2018年之间的数据统计而得）累年极端最高温度46.10℃，累年最热月为9、10月，平均温度约37.5℃，每年9~12月多风沙天气，盐蚀比较严重。

根据上述气象资料，确定努瓦克肖特市通风与空气调节室外计算参数。

通风室外计算温度：twf=39.99℃

空调室外计算干球温度：twg=42.06℃

(2) 风量计算

由于PCR实验室在加样操作过程中可能产

生气溶胶，为避免气溶胶扩散出去对外界造成污染，同时为了避免各房间之间通过风管系统交叉污染，本项目采用直膨式净化全新风系统。新风经热湿处理及过滤处理后送入室内，室内送风口设置高效过滤器。考虑当地风沙天气严重，为保护室内高效过滤送风口，机组设置三级过滤处理，分别为初效G4、中效F6、高中效F9。

PCR实验室风量根据下列要求计算确定：实验室洁净等级、实验室压力梯度及实验室设备通风。其中，实验室洁净等级与实验室设备通风量决定了实验室的基础风量，可以根据相关规范以及设备风量确定。而实验室的压力梯度则决定了实验室进、排风量的差值。实验室的压力梯度通过以下3种方式构成实验室风量差：

1) 通过缝隙渗透的风量Q1：

$$Q_1 = 3600EF_1V = 3600EF_1 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (1)$$

式中F₁—缝隙面积，m²；

E—流量系数，通常取0.2~0.5；

V—漏风风速，m/s；

ΔP—压力梯度，Pa；

ρ—空气密度，通常取1.2kg/m³。

2) 开、关门引入的漏风量Q2：

$$Q_2 = tBEF_2V = tBEF_2 \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} \quad (2)$$

式中F₂—门开启面积，m²；

t—开门一次的时间，s/次；

B—开门次数，次/h。

3) 开、关传递窗引入的漏风量Q3：

表1 室内设计参数

PCR实验室							
房间名称	净化度级别	雨季温度	相对湿度	旱季温度	相对湿度	新风量	噪声
		°C	%	°C	%	m ³ /h.人	dB(A)
试剂储存和准备区	9级	18~27	30~70	18~24	30~70	40	≤60
样品制备区	9级	18~27	30~70	18~24	30~70	40	≤60
核酸扩增区	9级	18~27	30~70	18~24	30~70	40	≤60
产物分析区	9级	18~27	30~70	18~24	30~70	40	≤60
缓冲间	9级	18~27	30~70	18~24	30~70	40	≤60

备注：本表中的噪声不包括生物安全柜的噪声，对于设有生物安全柜的房间，最大不应超过68dB(A)。

表2 计算过程表

PCR实验室-XJ															
房间名称	净化级别	临室压差	面积	高度	换气次数	实际换气次数	换气送风量	A2生物安全柜(A2型)风量	总送风量	修正	Q1-缝隙漏风量	Q2-开关门漏风量	Q3-传递窗漏风量	房间排风量	修正
		PA	m ²	m	n ⁻¹	n ⁻¹	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
试剂准备区	J9	10	8.6	2.6	30	34	671		671	750	134	34	1	582	600
缓冲间	J9	5	2.8	2.6	50	48	364		364	350	93	24	0	233	235
样品制备区	J9	-15	8.6	2.6	30	34	671	500	671	750	179	41	1	971	1000
缓冲间	J9	5	2.8	2.6	50	48	364		364	350	93	24	0	233	235
扩增区	J9	-15	8.6	2.6	30	34	671		671	750	168	41	1	960	1000
缓冲间	J9	5	2.8	2.6	50	48	364		364	350	93	24	0	233	235
产物分析区	J9	-20	8.6	2.6	30	34	671		671	750	168	41	1	960	1000
缓冲间	J9	5	2.8	2.6	50	48	364		364	350	93	24	0	233	235
									总送风量	4139	4400			3212	4540

$Q_3=0.5V_1B$ (3)

式中V1—传递窗内部容积, m³。

因此, 压差渗透风量 $\Delta V=Q_1+Q_2+Q_3$ (4)

根据风量守恒可知: V送风- $\Delta V=V$ 排风 (5)

本项目PCR实验室送风量根据房间内有、无工艺设置排风(生物安全柜), 两种方式计算: 当房间无工艺设备排风时, 根据净化级别确定, 换气次数为12~15次/h计算得出房间送风量; 当房间有工艺设备(如生物安全柜)排风时, 比较设备排风量与满足换气次数所需确定送风量。

根据公式(5)得出房间排风量。根据以上公示计算, 计算过程如表2所示。

本项目新风送风量为4400m³/h, 排风量为4540m³/h。通风计算风量对新风机组、排风机组及风口进行选型。

(3) 气流组织

实验室气流组织一般采用上送下排、上送上排式, 对于存在危险气溶胶房间, 上供下排气流组织对于污染物的控制优于上供上排气流组织。当不具备条件时, 比如大动物实验室, 房间下部卫生条件比较差, 需要经常清洗, 不具备下排风的条件时选择送上排气流组织。

本项目PCR实验室空调系统采用上送下排式的非单向流送风方式, 详见图2所示。房间上部送风口均匀布置, 且与生物安全柜操作面或其他有气溶胶操作地点的正上方保持一定距离; 房间下部利用室内排风夹道上设置的排风口排风, 排风口底部距地面0.1m, 排风夹道需设置于室内被污染风险最高的区域, 排风口前面不应有障碍物遮挡。为避免对室外环境造成污染, 排风经过高效过滤器处理后高空排放, 室外排风口设置锥形风帽, 与风压风向无关并自带防雨防虫装置。

(4) 空调自控原理图及压差控制分析

根据PCR实验室的工艺布局, 本项目PCR实验室空调系统原理图如图3所示。

1) 温湿度控制

雨季: 调节表冷器及电再热器, 控制房间温度、湿度。

旱季: 调节氟盘管段, 以控制送风的温度, 调节电热式加湿器, 以控制送风的湿度。

2) 压力控制

a. 送风为定风量送风。以房间为单元, 在各

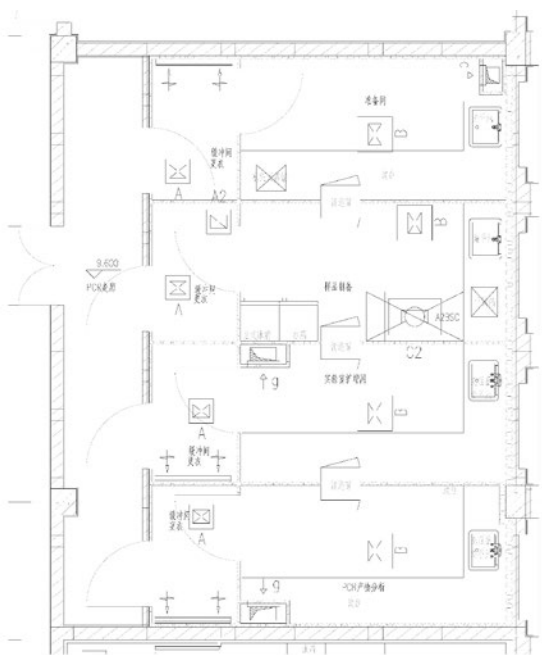


图2 PCR实验室风口布置平面图

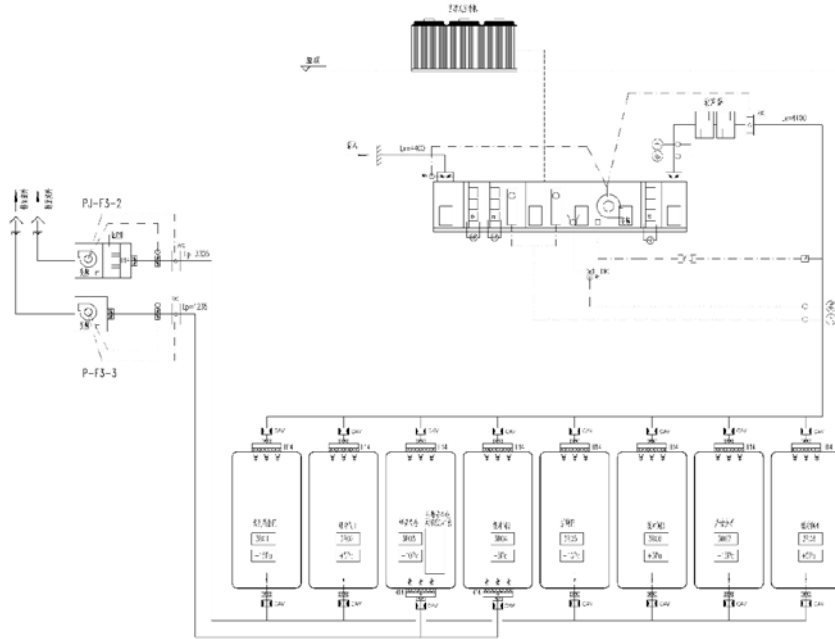


图3 空调系统原理图

房间送风总管上设置定风量阀，保证送风量恒定不变，调试时根据检测风量进行整定。

b. 排风为定风量排风。采用定风量阀，在各房间排风支管上设置定风量阀，保证该区域排风量恒定不变，调试时根据检测房间相对压差调节排风支管上手自动调节阀，保证房间相对压差稳定。

c. 送风机设变频器，调试时首先满足各房间内的设计风量，确定送风机运行频率，同时监测总管静压值。

d. 排风机设变频器，调试时先满足各房间的压差要求，确定排风总管压力值为设定值，系统运行时根据系统排风总管上的压力传感器进行调整，以满足系统排风量要求。

3) 连锁控制：

- a. 新风阀与送风机连锁。
- b. 排风机入口的排风电动阀与排风机连锁。
- c. 空调房间排风机与送风机连锁。

4) 开机顺序：排风电动阀——排风机——新风电动阀——送风机；停机顺序与开机相反。

4 结论

综上所述，PCR实验室根据单一流向顺序原则，设计合理的平面布置及工艺流程，通过设置定风量阀对房间的送、排风量进行控制，使房间按照工艺设计要求建立相应的压力梯度，从而防

止污染物的进入或扩散，使整个PCR实验过程中试剂和样本免受气溶胶污染，并且降低扩增产物对人员和环境的污染，保证操作对象、实验人员及室外环境均处于安全状态。

参考文献

- [1] 中华人民共和国卫生部. 临床基因扩增检验实验室基本设置标准: 发[2002]10号文附件
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 疾病预防控制中心建设技术规范: GB50881-2013[S]. 北京. 中国建筑工业出版社, 2013: 7

建筑设计研究院

建筑设计研究院（以下简称“建筑院”）是公司在民用建筑领域的专业技术团队，具备民用建筑领域的规划、咨询、设计、总承包的全过程服务能力，业务领域涵盖科技博览、文化教育、酒店办公、体育健身、医疗养老、地产人居等。

建筑院现有多个专业化高端咨询设计和项目管理人才团队。截止目前，建筑院共有技术人员140余人，人员涵盖11个专业，分别为总图、建筑、景观、室内、结构、给排水、暖通、强电、弱电、技术经济及项目管理，其中具有国家执业注册资格60余人，中级及以上职称人员数量达到总人数的80%。

通过数十年的技术积淀和深入研究，建筑院形成了一套集技术研发、技术应用和技术推广为一体的核心技术体系，包括如超高层结构抗震超限技术、绿色建筑技术、预应力钢结构技术、结构基础隔震技术、结构减震技术等一系列实用新型技术，参编《博物馆建筑设计规范》等多项国家设计规范及国家标准图集。已承接的项目有国家科技传播中心、兰州奥体中心、北京科学中心、成都博物馆、中国国家话剧院、中国杭州低碳科技馆、河南艺术中心、内蒙古科技馆及演艺中心、中关村国家自主创新示范区展示中心、中航资本大厦、贵阳奥体中心等，这些建筑精品如凝固的艺术在当地熠熠生辉。同时，建筑院紧随国家“一带一路”的发展战略，近年来，承接多项国家对外援助项目，如莫桑比克赛赛机场、毛里塔尼亚政府办公楼、毛里塔尼亚国家公共卫生研究院、尼泊尔加德满都杜巴中学等，积极为我国的对外援助事业贡献力量。

建筑院始终秉持“航空报国、航空强国”的使命和价值观，以客户为导向，以设计创意为牵引，以技术创新为根基，秉承专业化设计和精细化管理理念，将持续以“提供客户满意的产品和服务”为己任，用实力和智慧为客户创造更高的价值，为社会奉献更多的建筑精品。



2021年第1期（总第153期）
2021年2月出版



贵阳奥林匹克体育中心