

航空工程建设

AERO-INDUSTRY ENGINEERING CONSTRUCTION

2020年第5期 总第151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

武汉生物制品研究所有限责任公司百白破联合疫苗车间工程项目

项目名称：武汉生物制品研究所有限责任公司百白破联合疫苗车间工程项目

建设单位：武汉生物制品研究所有限责任公司

设计单位：航空工业规划医药工程设计研究院

该项目地位于武汉生物制品研究所黄金桥生产基地内，百白破联合疫苗车间项目布置于生产基地内现有轮状疫苗楼西侧的预留建设用地上，占地面积7000余m²，地上3层，地下1层，总建筑面积为3万余m²。以中国2010版GMP为标准，主要建设内容为：百白破原液车间、分装车间、包装车间及配套的公用工程设施，设计产能为吸附无细胞百白破联合疫苗7000万支/年、白破二联苗2000万支/年，破伤风疫苗200万支/年，项目报批总投资近7亿元。该项目为我公司在医药领域首个真正意义的EPC总承包工程。

厂区内现有建筑物年代跨度比较大，建筑风格多样，新建车间以“现代大方、简洁明快”为主调，既要体现出自身的特点，又要融合到整个厂区的大环境中。厂房整体上造型方整，简单实用，最大程度地满足功能需求。立面采用竖向线条，简洁大方的同时，又营造出韵律感。材质上以复合金属板幕墙和玻璃幕墙相结合，营造出极致的现代建筑形象。新建车间以浅灰色为主色调，与厂区内现有的主要建筑物的色彩协调统一。根据保证生产、方便工作、合理利用土地的原则，结合地块位置、形状，最大程度地适应自然环境进行设计，合理布置新建车间，致力于营造“人文”、“自然”与“活力”的整体意向。



国务院发文：简化优化各类跨地区工程建设项目审批

近日，国务院办公厅印发《关于加快推进政务服务“跨省通办”的指导意见》，明确路线图、时间表，其中，推动企业等各类市场主体登记注册和涉企经营许可等事项“跨省通办”，简化优化各类跨地区投资项目审批、工程建设项目审批等流程手续列入重点任务。

《指导意见》提出了140项全国高频政务服务“跨省通办”事项清单。2020年底前，实现市场主体登记注册、职业资格证书核验等第一批58项事项“跨省通办”。2021年底前，基本实现工业产品生产许可证等74项高频政务服务事项“跨省通办”。下一步加快实现社会保险参保缴费记录查询等8项事项“跨省通办”，同步建立清单化管理制度和更新机制，逐步纳入其他办事事项。

近年来，各地大力推进“互联网+政务服务”改革，实现了省、市、县域内政务服务相关事项“一网通办”。改革创新不停顿，政务服务不止步。加快推进实现政务服务“跨省通办”，是在“一网通办”基础上的大提升、大进步。

(信息来源：《建筑时报》)

中国新设3个自贸区

日前，国务院印发《中国（北京）、（湖南）、（安徽）自由贸易试验区总体方案》和《中国（浙江）自由贸易试验区扩展区域方案》（以下统称《方案》）。

《方案》指出，在北京、湖南、安徽设立自由贸易试验区，扩展浙江自由贸易试验区区域，是党中央、国务院作出的重大决策，是新时代推进改革开放的重要战略举措。要以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，全面贯彻党的十九大和十九届二中、三中、四中全会精神，坚持新发展理念，坚持高质量发展，以供给侧结构性改革为主线，主动服务和融入国家重大战略，建设更高水平开放型经济新体制，以

开放促改革、促发展、促创新，把自贸试验区建设成为新时代改革开放新高地。

《方案》提出，赋予自贸试验区更大改革自主权，深入开展差别化探索，加大开放力度。《方案》明确了各有侧重的改革试点任务。

北京自贸试验区围绕助力建设具有全球影响力的科技创新中心，加快打造服务业扩大开放先行区、数字经济试验区，着力构建京津冀协同发展的高水平对外开放平台，提出了营造国际一流创新创业生态、创新服务贸易管理、探索建设国际信息产业和数字贸易港等方面的具体举措。

湖南自贸试验区围绕打造世界级先进制造业集群、联通长江经济带和粤港澳大湾区的国际投资贸易走廊、中非经贸深度合作先行区和内陆开放新高地，提出了打造高端装备制造业基地、实现湘粤港澳服务业联动发展、建设中非经贸深度合作先行区等方面的具体举措。

安徽自贸试验区围绕推动科技创新和实体经济发展深度融合，加快推进科技创新策源地建设、先进制造业和战略性新兴产业集聚发展，推动长三角区域一体化发展，形成内陆开放新高地，提出了推进科技金融创新、促进科技成果转化、培育布局未来产业等方面的具体举措。

浙江自贸试验区扩展区域围绕打造以油气为核心的大宗商品资源配置基地、新型国际贸易中心、国际航运和物流枢纽、数字经济展示示范区和先进制造业集聚区，提出了进一步提升贸易便利化水平、推进投资自由化便利化、推动金融创新服务实体经济等方面的具体举措。

《方案》强调，要牢固树立总体国家安全观，强化底线思维和风险意识，切实加强自贸试验区风险防控体系建设，维护国家和社会安全，牢牢守住不发生区域性系统性风险底线。各地方要完善工作机制，加强地方立法，强化主体责任，建立完善自贸试验区制度创新容错机制，统筹推进新冠肺炎疫情防控和自贸试验区高质量发展工作。各地方、各有关部门要依法及时下放相关管理权限，确保各项改革举措落地实施。要加强试点任务的总结评估，形成更多可复制可推广的改革经验。

(信息来源：《建筑时报》)

成都绿叶维信生物医药有限公司血脂康研发生产基地项目

建设地点：四川省成都市

设计单位：航空工业规划医药工程设计研究院

建设情况：建设中

建筑面积：14万m²

本项目位于四川省成都生物城，主要用于血脂康胶囊的生产。设计内容包括发酵车间，制剂车间，成品库，中试大楼，食堂宿舍，提取车间，工程楼，化学品库等建筑，总建筑面积约14万m²。整个车间工艺布置完全按照GMP的原则进行布置，功能分区明确，人流、物流走向合理，有效防止了生产过程中的交叉污染，为生产高质量的

产品提供了可靠的保证。

园区立面风格源于“德系后现代极简主义”，突出园区的工业感。立面采用竖向线条，利用竖向通高窗户整合开窗及百叶，将内部需要的采光，进风，排风等功能集于一身，立面干净，整齐，严谨。同时，由于中试组团，宿舍组团，生产组团各自对外界的开窗需求不同，立面形式稍做调整，开窗比例的调整使3个组团呈现出整体风格一致但各有不同。中试大楼是整个园区的中枢，是园区最具有代表性的建筑，同时，中试楼对采光需求较高，所以立面整体以通透灵动为主。在主入口采用落地的玻璃幕墙，5层通高的中庭，无论身处建筑内部还是外部都能感受到很强的视觉冲击力。该建筑设计同时满足工业建筑绿色2星标准和预制装配式要求。





新建多糖蛋白结合疫苗生产车间项目

建设地点：甘肃省兰州市

设计单位：航空工业规划医药工程设计研究院

建设情况：建设中

建筑面积：6.3万m²

新建多糖疫苗车间项目是国药中生、甘肃省兰州市2020年重大项目。项目总投资约18亿元，总建筑面积约6.3万m²，年产量达约7000万剂多糖疫苗，项目建成后将成为我国最大、最先进的单体疫苗生产厂房。

厂房分为地上和地下两部分，其中地下1层为地下车库

及设备用房区，地上主体部分共3层，为肺炎疫苗生产区、流脑疫苗生产区、伤寒和REPA生产区。根据各产品的设计产能要求和生产要求，整个车间分为南区 and 北区两个功能分区，分别对应3条原液生产线（含预留），既方便灵活生产，又考虑了后期扩大产能的可能。各生产车间功能完整并严格分开，避免相互影响。厂房造型方正，简单实用，去除不必要的装饰信息，整体关系流畅现代。玻璃幕墙宽度恰整合1层入口，方便各类功能空间的设备进出，建筑整体关系更加明快干净。立面设计充分考虑内部功能，竖向线条干净整洁，富有力量感，现代感，不易积灰。主入口区域大玻璃造型，塑造宽敞明亮通透的主入口形象，生产区域更注重高效、节能、环保。

民海生物新型疫苗国际化产业基地建设项目

建设地点：北京市

设计单位：航空工业规划医药工程设计研究院

建设情况：建设中

建筑面积：19万m²

民海生物新型疫苗国际化产业基地建设项目位于北京市大兴区中关村科技园区大兴生物医药产业基地。项目建设内容分为4个功能分区：研发区、生产仓储区、生活区以及辅助生产区，包括1号研发中试车间、2号研发技术车间、3号综合服务楼、4号实验动物房、5号危废及危险品库、6号污水处理站、7号锅炉房、8号疫苗生产楼、9号包装及仓储

楼、10号菌苗生产楼、11号预留生产车间、12号地下室、13号门房及车棚、14和15号门房，总建筑面积约19万m²，项目总投资24亿元。项目建成后可用于生产百白破灭活脊髓灰质炎和b型流感嗜血杆菌联合疫苗、肺炎球菌结合疫苗、麻腮风联合减毒活疫苗、麻腮风水痘联合减毒活疫苗、冻干水痘减毒活疫苗等，产能达到约8000万剂/年。

该项目总平面设计采用方格网的脉络，通过对场地尺度的切分，形成满足工艺生产要求的合理体块。在局部区域通过建筑物尺度的合并与分解，形成一定的空间变化节奏，使整个厂区布局形成统一与变化相辅相成的肌理；另外，场地中间地带留白，形成中心景观区域，设计满足生产研发需求的同时，以人为本，极大地提升了整个厂区环境的体验度，可以充分感受到自然和人文亲密接触后的浑然天成。





中国生物研究院亦庄二期项目

建设地点：北京市

设计单位：航空工业规划医药工程设计研究院

建设情况：设计完成

建筑面积：6.6万m²

国药中生生物技术研究院有限公司位于北京经济技术开发区，本次二期项目新建地上建筑主要为2号综合测试楼、3号综合保障楼、4号联合转化楼、5号科研辅助楼，总建筑面积约6.6万m²。综合测试楼包括型仪器分析测试中心、中试工艺研发中心、清洗中心、基因工程蛋白质疫苗技术平台、病毒性疫苗技术平台、蛋白质药物开发平台、

新型佐剂研发平台、病毒载体疫苗平台、免疫治疗技术平台、细菌性疫苗技术平台、昆虫细胞表达技术平台等技术平台，工艺技术先进。该项目建成后，将促进我国生物技术研发能力达到国际一流水平。

为满足工艺要求，本项目厂区及生产厂房均根据人、物流分开原则，将主要入口分开布置，避免人、物流的交叉混乱，流向清楚，疏散方向明确，交通便捷。立面设计采用竖向长条窗为主，点缀部分玻璃幕墙，既考虑了建筑的整体布置、又与周围厂房的立面统一，同时结合现代研发实验楼、工业厂房的特点，力求简洁、朴实，突出了建筑的体量，具有鲜明的建筑个性及现代感，并体现了综合建筑的体量和美感，真正实现了建筑设计经济、安全、适用、美观的原则。

标准名称：智能建筑工程质量检测及验收标准

标准编号: DB37/T 5166-2020
发布日期: 2020-06-28
实施日期: 2020-10-01
公告号: 鲁建标字〔2020〕15号
发布部门: 山东省住房和城乡建设厅,山东省市场监督管理局

标准名称: 建筑施工现场管理标准

标准编号: DB37/T 5164-2020
发布日期: 2020-06-28
实施日期: 2020-10-01
公告号: 鲁建标字〔2020〕14号
发布部门: 山东省住房和城乡建设厅,山东省市场监督管理局

标准名称: 公共建筑节能(绿色建筑)设计标准

标准编号: DBJ50-052-2020
发布日期: 2020-07-01
实施日期: 2020-09-01
公告号: 渝建标〔2020〕23号
发布部门: 重庆市住房和城乡建设委员会

标准名称: 绿色建筑评价标准

标准编号: DG/TJ08-2090-2020
发布日期: 2020-03-30
实施日期: 2020-07-01
主要起草单位: 上海市建筑科学研究院(集团)有限公司,上海市建筑建材业市场管理总站
发布部门: 上海市住房和城乡建设管理委员会

标准名称: 重庆市建筑内部装修工程施工图消防设计文件技术审查要点

发布日期: 2020-07-14
实施日期: 2020-09-01
公告号: 渝建消防〔2020〕4号
发布部门: 重庆市住房和城乡建设委员会

标准名称: 居住建筑节能65%(绿色建筑)设计标准

标准编号: DBJ50-071-2020
发布日期: 2020-07-01
实施日期: 2020-09-01
公告号: 渝建标〔2020〕24号
发布部门: 重庆市住房和城乡建设委员会

标准名称: 装配式建筑评价标准

标准编号: DG/TJ08-2198-2019
发布日期: 2019-11-22
实施日期: 2020-04-01
主要起草单位: 上海市房地产科学研究院
发布部门: 上海市住房和城乡建设管理委员会

标准名称: 实验室挥发性有机物污染防治技术规范

标准编号: DB11/T 1736-2020
发布日期: 2020-06-28
实施日期: 2020-10-01
发布部门: 北京市质量技术监督局

标准名称: 广东省建筑物移动通信基础设施技术规范

标准编号: DBJ/T 15-190-2020
发布日期: 2020-06-30
实施日期: 2020-09-01
公告号: 粤建公告〔2020〕43号
发布部门: 广东省住房和城乡建设厅

标准名称: 天津市逆作法地下工程技术规程

标准编号: DB/T29-278-2020
发布日期: 2020-06-28
实施日期: 2020-09-01
公告号: 津住建设〔2020〕26号
发布部门: 天津市住房和城乡建设委员会

(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 2020年10月
印数 1500册
电话 (010)62038235
传真 (010)62038297
封面 武汉生物制品研究所有限责任公司
 百白破联合疫苗车间工程项目

CONTENTS

目录 2020年第5期 总第151期

航空能力建设

- 02 一种电传系统用光纤陀螺仪自检测方式 周强
 06 省级应急救援航空体系建设规划编制探讨
 郭琪 常秀娟 王天璞

研究与探讨

- 12 某172m超大跨度煤棚结构设计分析
 王明珠 刘鑫刚 赵亚硕 刘邦宁 张国军
 18 建设工程竣工结算问题与建议 张珍兰
 21 关于低影响开发技术的几点思考 杜慧英
 20 机场消防救援应答时间的影响因素分析
 李大帅 陈洁如 王锋
 30 某疫苗车间给水排水及消防系统改造设计探讨
 吴文熙 王艳 郑长华
 35 适用于数据中心的多台并列直配柴油发电机中性点接地及保护配置
 赵亮亮 高凤荣
 40 燃油试验厂房电气设计要点 蓝娟
 43 大型航空食品与地面服务厂区规划研究
 ——以大兴新机场东航航空食品与地面服务厂区为例
 张竞竞 王浩 赵硕
 46 基于旅客心理的航站楼餐饮设施规划要点 张竞竞
 49 数据中心间接蒸发制冷技术及大温差高温冷水技术
 赵磊 范强
 54 覆土立式油罐的设计要点 周恒 郝骞
 58 噪声高隔声量墙体设计中应注意的问题分析 张卫才

一种电传系统用光纤陀螺仪 自检测方式

■ 周强 [工艺]

摘要: 机械速率陀螺仪故障率高严重制约电传飞控系统可靠性提高,可采用光纤陀螺仪替代,从而利于提高飞控系统可靠性。本文针对高机动性飞机电传飞控系统角速度传感器的应用特点,提出了一种高故障覆盖率的光纤陀螺仪自检测方式。本文分析了光纤陀螺仪的工作原理和自检测特点,并根据光纤陀螺仪在飞机上的使用和维护的不同阶段,讨论了自检测(BIT)模式。该方式光纤陀螺仪BIT的故障检测率的预计值不小于98%。

关键词: 自检测; 光纤陀螺仪; BIT; 电传系统; 飞控系统

高机动性飞机常设计为静不稳定的,需要飞行控制系统主动控制实现增稳^[1]。速率陀螺仪作为电传飞行控制系统反馈回路中敏感飞机角速率的传感器,应用成熟,性能稳定。现役高机动性飞机均采用机械式速率陀螺仪,但机械速率陀螺存在故障率高、寿命短的缺点,已经成为制约现代飞控系统发展的重要因素。近年来,光电陀螺仪发展迅速,已经开始在各领域替代机械陀螺^[2]。光纤陀螺仪作为新一代角速率传感器,具有可靠性高、寿命长、动态范围大等一系列优点,用其替代机械速率陀螺应用于电传飞控系统是一大发展方向。

应用于电传飞控系统的速率陀螺仪为飞机重要度A类设备,关系飞机的安全,需要具有较高的自检测能力。国内当前高机动性飞机应用的速率陀螺仪大部分基于SU-27俄制机械式液浮速率陀螺设计,其采用电传给定激励信号,速率陀螺仪输出给定范围的信号,其原理简单,检测覆盖率高,技术成熟。如若将光纤陀螺仪应用于电传飞

控系统势必需要设计出合理可用的自检测方案。

当前光纤陀螺仪应用在电传系统(飞控系统内回路)的研究较少,在测试性方面尚无应用案例。本文拟从光纤陀螺仪工作原理出发结合机械式速率陀螺仪自检测特点提出一种高效的光纤陀螺仪自检测方式。

1 光纤陀螺仪的工作原理

以三轴一体光纤陀螺仪为例,光源发出的光经过 1×3 耦合器后被分为3束,分别为X、Y、Z3个轴的光路提供光功率。每一束光经过 2×2 耦合器后,在Y波导内起偏、分束进入光纤环的两端。当有角速度输入时,光纤环内两束光之间产生光程差,在Y波导内干涉形成相位差 ϕ_s ,经探测器转换为梳状波电信号,经过放大和A/D采集相邻两个半周期信号,前半个周期的数字量减去后半周期的数字量,得到一个数字解调信号。一方面将该数字量由输出通路经D/A转换_输出和二阶滤波处理后形成与输入角速度成正比的电压信号;另一方面用来直接产生数字阶梯波的阶梯高,然后数字阶梯波与方波偏置调制信号数字叠加,通过

作者简介:周强,男,工程师,2017年毕业于清华大学控制工程专业,现就职于航空工业规划机载事业部。

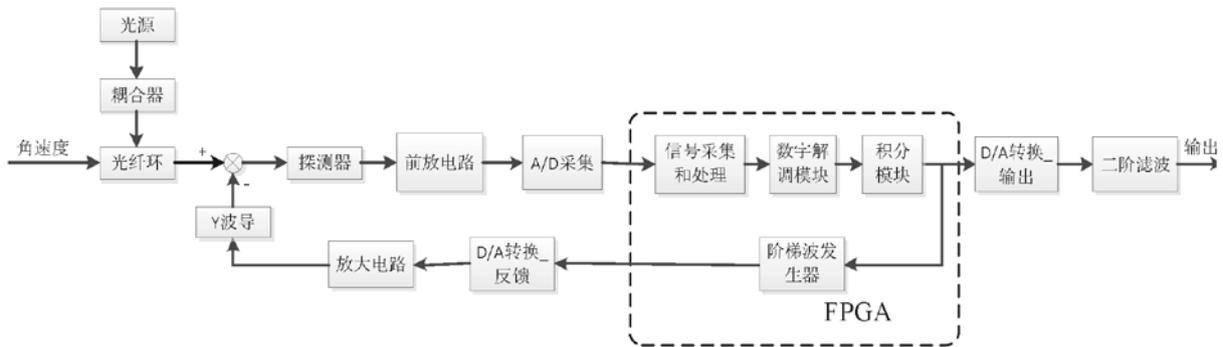


图1 光纤陀螺工作方块图

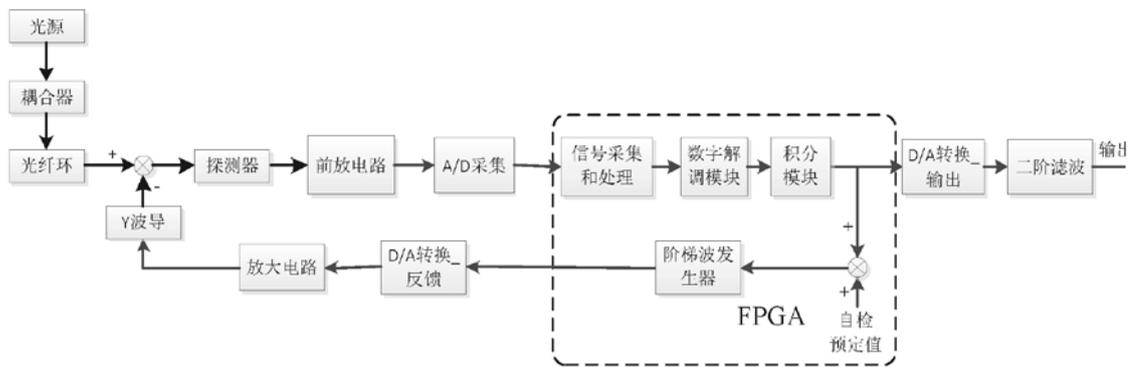


图2 光纤陀螺仪自检方块图

D/A转换_反馈以及放大电路合成模拟电压信号施加到Y波导上进行光路调制，产生反馈相位 ϕ_f ，使 ϕ_f 和 ϕ_s 之差趋近于零，构成闭环反馈^[3]。信号解调和闭环反馈通过FPGA实现，工作方框图如图1所示。

3个光回路的光纤环分别固定在基座的XY平面、YZ平面、XZ平面上，可以实现对飞机俯仰、倾斜、偏航3个方向角速度测量。

2 自检功能设计原理

结合电传飞控系统用机械式速率陀螺仪自检的经验，提出设计了光纤陀螺按预定指令自激励的检测功能，通过自检使能信号启动FPGA预设的定量激励值，使光纤环中的光相位变化，实现了对光纤陀螺的光路和闭环控制的性能检测。

当飞机在地面时，光纤陀螺上电启动，此时飞机3个轴向无角速度输入，光纤陀螺探测器输出梳状波，工作点稳定在 $\pm \pi/2$ 相位上，陀螺角速度输出为零。光纤陀螺仪接到“地面自检信号”时，FPGA自检模块产生一固定台阶量（预

定的角速度测试给定值）叠加到调制波上，增加一个固定的相移 ϕ_z ，光纤陀螺输出相应的角速度，如图2所示。

其具有两个特征：

- (1) 输出波形呈梳状波信号；
- (2) 加入给定激励（自检预定值）后可使调制方波产生相移，而使输出波形呈现自检状态。

如图3所示。

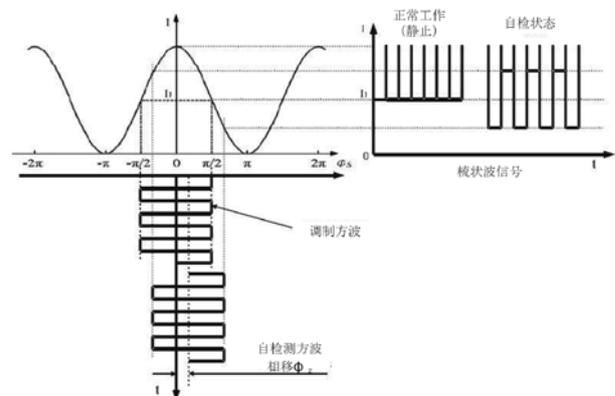


图3 自检原理及梳状波信号特征图

3 自检测测试流程分析

3.1 BIT (自检测) 工作方式

根据光纤陀螺仪在飞机上的使用和维护的不同阶段, 设计有4种BIT模式: 上电自检测PUBIT、地面外加激励自检测(飞行前自检测PBIT), 空中实时自监控(飞行中自检测IFBIT) 和维护自测试(MBIT)。

(1) 上电自检测 (PUBIT): 上电后, 对供电电源进行检测, 对模拟量输出进行回绕测试, 对光路梳状波进行检测, 由FPGA实现故障逻辑判断, 并输出工作状态;

(2) 飞行前自检测 (PBIT): 飞行前电传系统启动BIT, 光纤陀螺仪接到电传系统PBIT指令后, 除了对供电电源进行检测、输出DA进行回绕测试、光路梳状波进行检测以外。由FPGA内自检测模块设定“给定”的角速度值, 通过DA施加在Y波导、光纤环上, 再通过耦合器、探测器、AD转换, 采集解调后输出, 电传系统采集光纤陀螺仪的输出值与预定值进行比较, 定量判断陀螺仪的功能和性能;

(3) 飞行中自检测 (IFBIT): 飞行中光纤陀螺仪对自身的运行状态进行监控, 主要有供电电源进行检测, 对输出DA进行回绕测试, 对光路梳状波进行检测, 由FPGA实现故障逻辑判断, 并输出工作状态;

(4) 维护自检测 (MBIT): 维护人员可以通过地面设备对光纤陀螺仪进行启动测试, 也可以监控其工作状态, 方便进行测试和故障隔离, 其测试内容与PBIT相同。

3.2 测试性架构

在FMECA基础上开展测试性设计分析, 综合

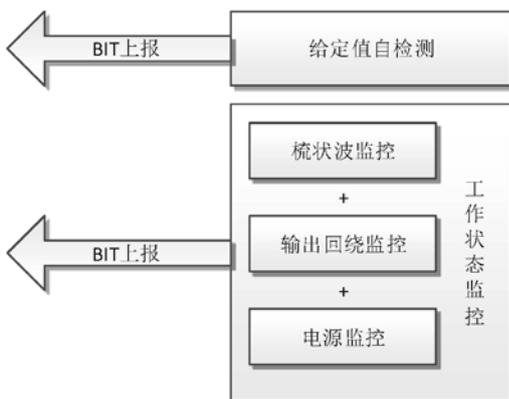


图4 光纤陀螺仪测试性架构

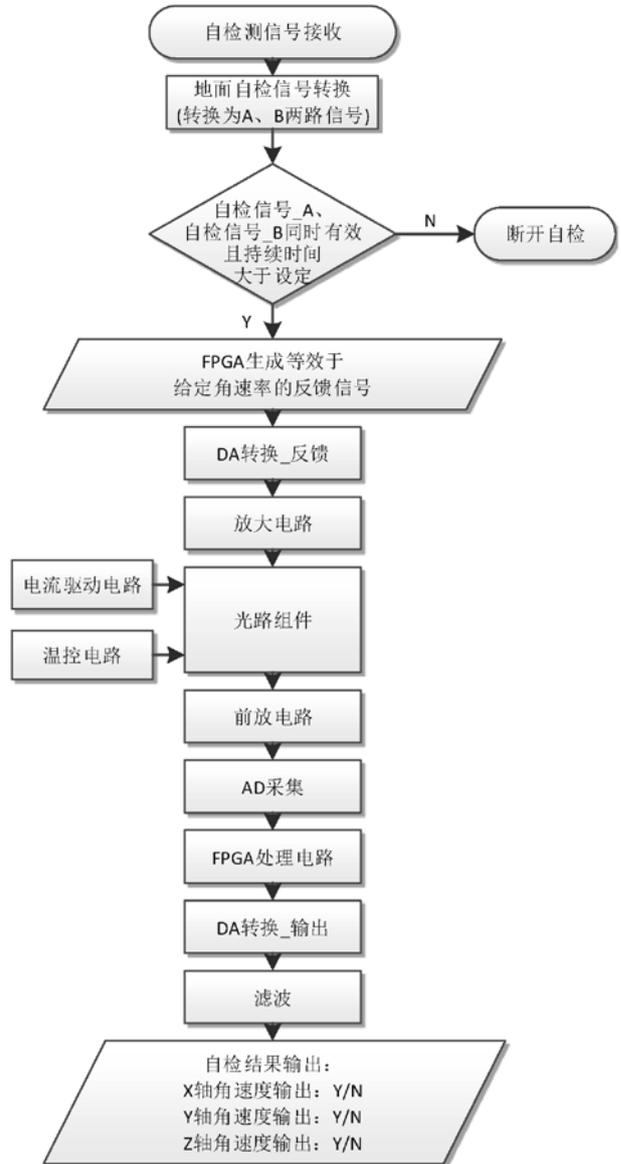


图5 给定值自检测流程图

规划对各等级故障模式的监控和处理方案, 设置了给定值自检测、梳状波监控、输出回绕监控以及电源监控4类自检测项目, 并将自检结果上报给电传计算机。光纤陀螺仪测试性架构如图4所示。

3.3 测试流程

(1) 给定值自检测测试流程

当光纤陀螺仪接收到飞管计算机发出的自检指令时, 地面自检信号转换电路将其转换为两路可供FPGA识别的自检指令(自检信号_A、自检信号_B), FPGA对接收到的自检指令进行判断, 当自检信号_A和自检信号_B同时有效且持续时间大于TBDms时, 光纤陀螺仪启动给定值自

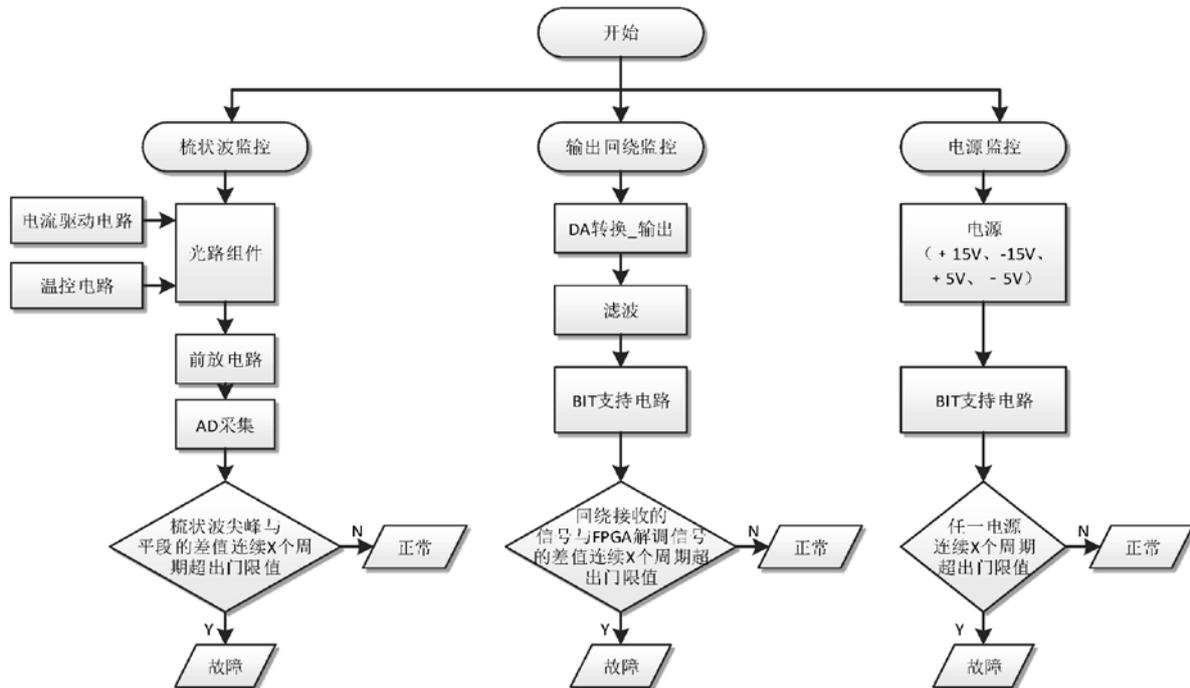


图6 工作状态监控流程图

测，否则断开给定值自检测。给定值自检测测试流程如图5所示。

(2) 工作状态监控测试流程

工作状态监控设置了梳状波监控、输出回绕监控以及电源监控3类自检测项目。FPGA综合3类自检测项目的状态信号，输出工作状态监控信号。

工作状态监控测试流程如图6所示。

(3) 测试性结果

经详细的测试性分析采用本自检测方案的光纤陀螺仪预计结果如下：

- PUBIT故障检测率的预计值 $\geq 90\%$ ；
- PBIT故障检测率的预计值 $\geq 98\%$ ；
- IFBIT的故障检测率的预计值 $\geq 90\%$ ；
- MBIT故障检测率的预计值 $\geq 98\%$ ；
- 4种BIT的故障检测率的预计值 $\geq 98\%$ 。

4 结论

以上讨论了应用于电传系统的光纤速率陀螺仪的检测原理和测试流程和实现方式，其技术特点是巧妙的参考了机械速率陀螺仪闭环自检测的方式，设计了光纤陀螺仪外加激励检测的方式，并结合光纤陀螺的特点设计了梳状波监控、输出

回绕监控以及电源监控3类自检测项目，可以有效地从功能、性能上对陀螺仪实现自检测，并且经测试性分析其故障覆盖率高。通过具体的工程应用，可使电传飞控系统的可靠性得到保障，提高飞机安全性。

参考文献

- [1] 高金源,焦宗夏,张平.飞机电传操纵系统与主动控制技术[M].北京:北京航空航天大学出版社,2005.
- [2] Bennett S M,Dyott R,Allen D,Brunner J,Kidwell R and Miller R. Fiber Optic Rate Gyros as Replacements for Mechanical Gyros[J].American Inst of Aeronautics & Astronautics, 1998.
- [3] 王妍,张春熹.数字闭环光纤陀螺动态特性测试研究[J].北京航空航天大学学报,2004,30(9): 818-821页.

省级应急救援航空体系建设 规划编制探讨

■ 郭琪 常秀娟 王天璞 [规划]

摘要: 随着社会经济发展, 人民对于生命健康安全的要求日渐提高, 航空应急救援已经成为了热点领域之一。本文分析了对包括体系规划、基地布局规划等在内的航空应急救援相关的各类规划的, 介绍了应急救援航空体系规划的编制经验, 以供学习和探讨。

关键词: 航空应急救援; 体系规划; 政策建议

0 引言

我国是世界上自然灾害最严重的少数几个国家之一, 自然灾害种类多, 发生频率高, 灾情严重。随着社会经济发展, 人民对于生命健康安全的要求也日渐提高。众多因素叠加, 为解决日渐增长的社会救援需求, 航空应急救援开始进入大众视野。航空应急救援作为一个新兴的应急救援手段, 具有快速、高效、受地理空间限制少等优势, 具有不可替代的重要作用。

1 航空应急救援环境与形势

1.1 航空应急救援概述

航空应急救援作为应急救援的方式之一, 是社会保障体系的重要组成部分, 也是通用航空产业的重要组成部分。航空应急救援特指依靠航空器、机

载专业救援装备等航空技术装备和机场地面保障、空中交通管理服务等航空技术手段实施应急救援的行为。

国际上通常将航空应急救援按任务类型分为4类: 自然灾害救援、事故灾害救援、公共卫生事件救援与公共安全事件救援, 航空应急救援在各个领域当中均可发挥重要作用。

以近期频发的各类灾害事故及公共卫生事件为例, 根据救援任务需要可实施包括消防救援、物资投送、人员转移、消毒喷洒、无人机空中巡查、空中远程体温检测等在内的多种应急救援作业, 可以充分参与到各类灾害事故及疫情防控当中, 保障人民群众生命财产安全。

1.2 航空应急救援的优势及重要性

发展航空应急救援是国家综合实力及社会经济发展的重要标志。与其他应急救援方式相比, 航空应急救援科技含量高, 具有响应速度快、机动能力强、救援范围广、救援效果好等特点, 拥有其他应急救援手段无可比拟的优势。航空应急救援为应急

作者简介: 郭琪, 男, 高级工程师, 2006年毕业于北京工业大学建筑设计及其理论专业, 现就职于中航建设综合规划研究院。

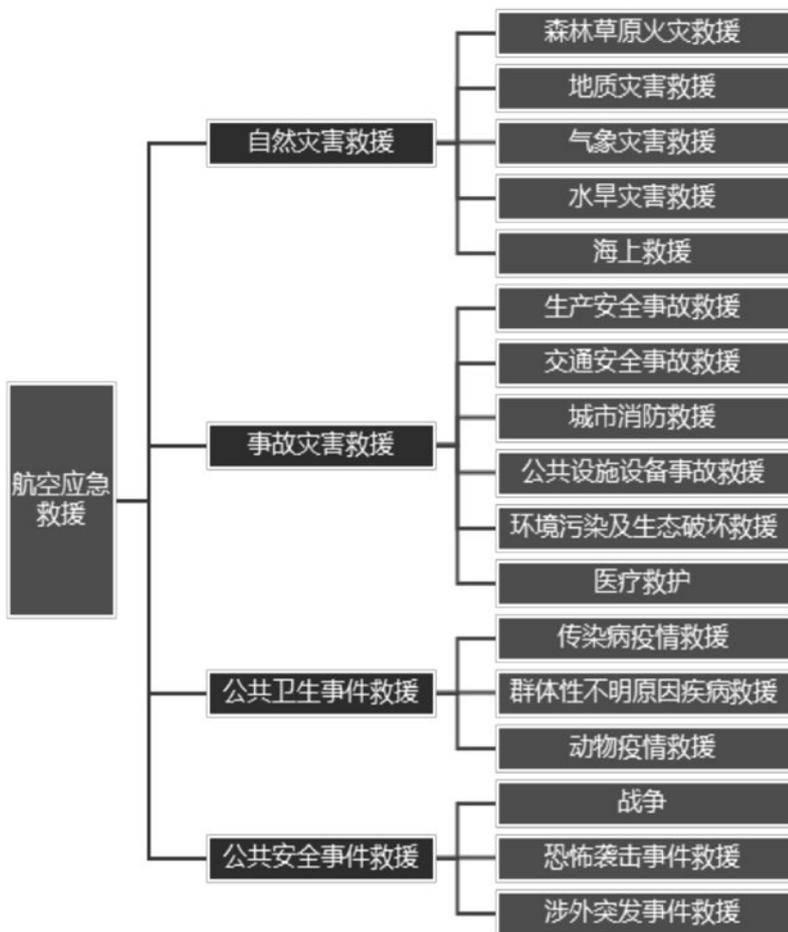


图 航空应急救援分类

救援的实施提供了更高层次的响应平台，应用前景广阔，已受到各国政府的高度重视，成为许多国家普遍采用的应急救援手段。航空应急救援事业的发展，不仅能够有效提高国家处理突发事件与灾害的能力，维护社会安定，保障人民生命财产安全；亦能提升国家航空器及相关装备的研发实力，增强国家军事安全储备力量。

2 航空应急救援国内外发展现状

2.1 国际航空应急救援发展

随着社会进步和经济发展，航空应急救援已成为诸多国家应急救援体系的重要组成部分，其快速的反应能力可在抗灾、救援等工作中发挥巨大作用。美国、德国、日本、俄罗斯等国家已形成了适应本国经济社会发展现状的应急救援航空体系，具备了相配套的应急救援能力，制定了完善的保

表 外国航空应急救援发展现状及运行模式

国家	发展现状	运营模式			
		国家组建机队直接参与救援	政府购买通航企业救援服务	通航企业救援	非政府组织参与救援
美国	可用直升机超过1万架 机场1.9万个 人口覆盖度84.5%	✓	✓	✓	✓
日本	可用直升机超过1000架 响应时间20分钟 年救护人数2.4万人	✓	✓	✓	✓
瑞士	直升机13架，救护用固定翼飞机3架 响应时间15分钟 全国10个基地		✓		✓
德国	可用直升机超过300架 响应时间15分钟 年救护任务10万余次	✓	✓		✓
俄罗斯	可用直升机超过400架 完全由政府组建 隶属于紧急状态部	✓			

障制度，配备了先进、齐全的航空救援设备。

2.2 我国航空应急救援发展

总体而言，航空应急救援在我国的开展起步相对较晚，基础保障能力也相对较弱，但基于我国国情及国家发展形势，具有相当的制度优越性及比较优势，可以迅速在全国范围进行推广开展，具有良好的发展前景与市场需求。

国家高度重视应急救援体系建设，顶层规划体系正在逐步完善。2018年3月，国务院机构改革方案提出组建应急管理部，将原来分散在国家安全生产监督管理总局、国务院办公厅、公安部（消防）等11个部门的13个应急管理职能进行职能整合，提升应急保障水平。2019年10月，应急管理部分发《应急救援航空体系建设方案》，明确了相关单位的任务分工和时间节点，划定了航空应急救援任务范围，提出了应急救援航空体系建设发展目标。同年11月，习近平总书记在中央政治局第十九次集体学习时强调，充分发挥我国应急管理体系特色和优势，积极推进我国应急管理体系和能力现代化。习总书记指出，要加强航空应急救援能力建设，完善应急救援空域保障机制。同时强调“总体国家安全观坚持以人民安全为宗旨”、“把抢救生命作为首要任务，科学施救减少伤亡”。

我国航空应急救援现已形成国家力量为主、民间力量为辅的国家救援与企业救援相结合的运行模式。航空救援队伍中的国家力量包括军队（空军、陆航、海航、武警部队）、警用航空、专业救援队等；民间力量包括通用航空企业、非政府组织等，现已形成了一定规模的救援装备与基础保障设施，但相较于美国等发达国家，注册通用航空器数量及颁证通航机场数量均相对不足，全国范围的应急救援保障能力有所欠缺。

航空应急救援在我国全国各地均有各类探索性开展。从应急救援作业类型角度而言，我国现有航空应急救援作业的开展主要集中于森林消防救援、海上救援、道路交通事故救援、医学救援等方面。其中森林消防救援作业重点由各地航空护林站承担，由国家及地方财政提供保障支持；海上救援作业开展重点由交通运输部各救助飞行队承担，有国家级地方财政提供保障支持；道路交通事故救援及医学救援重点由各通航公司及保险公司多方合作，并与本地相关医疗机构建立定点合作关系进行开展，资金来源除保险负担范围外主要由用户自行承担，目前全国已有多省市有所探索性开展，如京津

冀、山东省、河南省等地区。

低空空域管理模式制约航空救援响应效率。低空空域是开展航空应急救援活动的主阵地，其开放程度是关乎航空应急救援能力提升的关键。按照国家现行空域管理体制，空域由空管委统一领导，航路内由民航提供管制指挥，航路外由军航负责管制指挥，此种空域管理模式无法满足通用航空空域使用灵活、多样的要求。此外，我国所有空域均属于管制空域，各类飞行必须经批准方可实施，而空域使用审批程序复杂，保障职责分工不明确，严重制约航空应急救援行动响应效率，低空空域管理模式有待进一步改革。

3 应急救援航空体系规划重点内容

应急救援航空体系规划是应急救援体系中十分重要的组成部分，又具有显著的航空作业特点，根据笔者所在公司团队在规划实践中的探索，一个相对完善的省级应急救援航空体系规划应重点包含以下部分：组织领导体系规划、基础设施网络规划、救援管理体系规划、技术装备规划以及人才队伍规划等，同时根据地方特色情况，可针对重点项目、重点基地以及重点任务进行相应的规划编制。

3.1 组织领导体系规划

构建航空应急救援管理的领导负责制。应急救援任务突发性强，需要完善的自上而下的响应机制，在应急救援航空体系规划编制当中，建议以地方政府或委托应急管理部门为规划编制主体，以地方最高行政领导为航空应急救援工作领导小组组长，部署相关工作，协调解决有关重大事项。以省级应急救援航空体系规划编制为例，规划需确定各市县部门在全省应急救援航空体系中的职责分工与功能定位，推动形成自上而下全面推进全省应急管理体系建设。此外，依据统筹协调、充分融合的工作思路，省内各应急管理部门及有关业务部门应积极推动航空应急救援相关信息的共享与协同，共同推进省内航空应急管理体系的健康发展。

构建“多方协作”的航空应急救援协调机制。依托航空应急救援工作领导小组，推动形成常态化的航空应急救援核心力量、军队支援力量、后备社会力量等“多方协作”的航空应急资源协调机制，实现航空应急救援的统一部署、统一指挥、统一调度和快速响应。一是强化航空应急救援信息管理。开展全省统一的多种航空救援力量的信息化建设，

实现省内可供调配的航空器、配套装备及人员储备力量等状态信息的实时获取。二是不断完善航空应急救援多力量作战协同的预案编制。根据山东省航空应急救援需求特点与救援力量配备情况,针对不同救援类型、不同救援等级,在预案阶段明确不同救援力量的进入时序、救援重点和协作内容等。三是加强多种力量协同参与的航空应急救援系统演练。通过组织实操性的救援训练和演练,不断提升各种力量相关人员的协同效能,从而全面提高全省航空应急救援的“多兵种”作战技能。

3.2 基础设施网络规划

(1) 航空应急救援基地管理体系

搭建全省航空应急救援基地体系,根据应急处理响应需要,可设立航空应急救援中心基地、区域航空应急救援基地、直升机应急起降点三大管理层级,形成“中心基地—区域基地—应急起降点”的航空应急救援基地三大管理层级。

航空应急救援中心基地:覆盖省内各类应急救援需求,建设成为省内航空应急救援网络中心节点。统筹协调省内各类可用救援资源,包括应急机队、应急人员、医疗机构、应急物资等应对救援任务的各个方面,发挥全省的航空应急指挥调度作用。

区域航空应急救援基地:在科学、协调、统筹等原则的指导下,在全省范围内,重点依托已有基础设施,包括通用机场、应急基地、物资储备库等,本着资源利用最大化原则,根据航空应急救援需求设置次一级应急基地,重点覆盖周边重点城市与地区的航空应急救援需求。同时与临近的专业应急救援中心形成联动,并根据基地重点航空应急需求配备相应的设备物资,接受航空应急救援中心基地调配,为执行救援任务的直升机提供地面保障等服务。

应急救援起降点:根据省内各市县区航空应急救援需求,在区域航空应急基地覆盖能力相对较弱的地区设置直升机应急起降点,做好应急救援空地衔接的最后1公里,以实现航空应急救援在全省范围的全覆盖与常态化运营,满足全省航空应急救援需求。

(2) 确定航空应急救援基础设施网络布局及职能分工

首先,根据国家应急救援管理相关规划要求,参照国际航空应急救援响应时间,结合本地应急救援响应要求,确定全省航空应急救援响应时间及服

务范围等指标。其中航空应急救援响应时间为救援任务正式执行前的全流程准备时间,包括飞行准备时间及飞行时间。根据将选用机型的具体要求,飞行准备时间一般为30~50分钟。综合考虑国家有关规定要求以及我国通用航空飞行程序及相关条件,确定飞行时间及覆盖半径要求。

其次,根据省域面积以及已确定的相关指标,依据相关理论测算应急救援基地在全省布局的理论数量,在理论计算的基础上,综合考虑救援需求分布现状、基础设施分布、未来发展等现实情况,确定全省航空应急救援基地的分布。同时,根据全省各类应急救援需求的地理分布,对各地航空应急救援基地职能分工进行分别规划。

3.3 救援管理体系规划

建立高效的指挥响应体系。构建“垂直领导,水平管理”的航空应急救援指挥体系,由上至下构建“省应急管理厅指挥中心—航空应急救援中心—区域航空应急基地—应急救援起降点”四级航空应急救援指挥结构,并针对不同事故类型制定相应的应急预案管理、指挥响应流程。通过协同交通运输、消防、公安等部门以及其他社会组织等航空应急力量,实现不同力量之间的协同运行、互联互通。

建立动态的监测管理体系。充分利用大数据等技术手段,搭建基于大数据平台的灾害监测预警体系。在将各类灾害监测设备与物联网和通信技术的集成的基础上,构建灾害监测、分析、预报、预警和应急服务于一体的信息化、智能化和可视化服务平台,实现灾前、灾中、灾后全生命周期动态管理,全面提升相关单位对突发灾害的分析、预警、处置和服务的能力,为应急救援决策管理和社会服务提供技术保障。重点包括监测设备管理、监测数据管理、动态监测系统、三维展示系统、视频会商系统等子系统。

建立健全的安全防护体系。针对航空应急救援作业特点,在严格执行民航标准规范的基础上,保障救援飞行安全,同时针对医疗救助、搜寻救援、抢险救灾等紧急情况下的飞行计划申请绿色通道。制定确保救援作业安全及人员防护安全的应急管理措施,严格落实救援操作规范和应急预案流程,确保救援工作的安全顺利开展。针对救援任务类型与防护要求等级,制定防护器具配备标准,保障航空应急救援人员的生命健康安全以确保救援任务顺利开展。

建立合理的灾后评估体系。为更好的巩固救灾成果，健全应急救援航空体系，规划构建航空应急救援灾后评估体系，重点内容可包括灾害损失评估、灾后人员心理评估、救援实施后评估等。

3.4 技术装备规划

合理化构建救援机队。完善“直升机为主体，多型航空器配合”的机队配置，基于实现航空应急救援覆盖全省的任务要求，建设与需求相匹配的航空应急救援机队。机队以机动灵活的直升机为主体，在各救援基地按需配置，覆盖各类应急救援需求；充分发挥无人机操控简单、时效性高、可深入危险地区的优势，为各等级救援基地灵活配置旋翼及固定翼无人机；同时在必要的地区及基地按需配备固定翼救援飞机、水上飞机等。

针对性配备救援设备。以“按需配置，成本集约，定期检修，适时更新”的原则，为每架直升机配备对应的救援设备与设施。依据救援机队数量、类型、功能及布局，配备与管理救援装备；设备配置以满足功能为指导，坚持优化成本，集约使用；定期对全省航空救援设备进行维护和检修以保障设备的有效性；同时注重对新型设备的发展趋势进行定期追踪，按照实际使用需求适时对设备进行更新与补充。

前瞻性引入新型救援技术。以前瞻性、探索性、引领性为原则，将基于5G网络的通信传输技术、遥感探测技术、无人系统应用、基于VR技术的救援模拟训练等前沿性技术应用于应急救援体系建设，以科技引领塑造全国应急救援先行先试典范，打造行业示范标杆。

3.5 人才队伍规划

构建完善的救援机队人员队伍体系，保证机队人员能够覆盖各类应急救援任务需求，可针对救援机组人员、特勤救援人员、专业技术人员与可动员的社会人员4个方面对救援机队开展建设。

救援机组人员是保证直升机顺利开展救援飞行作业的主体，主要包括飞行员、航务人员与机务人员，机组人员相互配合共同完成飞行任务。建立高效的机组人员任务处理机制，明确职责分工，形成有效的配合机制，确保能够快速高效应对各种飞行任务。

特勤救援人员是机组外实施应急救援的主体力量，开展森林消防、抗洪抢险、物资转运、人员救生等作业。特勤救援人员应熟练掌握索降、绞车救援、救灾设备使用等专业技能。通过大量训练形成

专业化、多元化的救灾能力，大力提升实战能力，并能够有效配合其他救援力量，形成空地一体化立体救援网络。

专业技术人员负责为救援任务提供专业技术支撑，协助救援机组完成救援作业，主要包括无人机驾驶员、情报信息技术员、通信保障员、心理辅导员等。其中，无人机驾驶员负责操纵无人机完成侦查、巡逻等任务；情报信息技术员通过遥感等监查手段完成灾害信息获取等工作；通信保障员负责救援现场通信网络搭建保障工作；心理辅导员负责对救灾人员进行心理干预。建议在中心基地组建完善的专业技术队伍，并设立专业技术培训机构，带动各地专业技术人员技能提升。

可动员的社会人员是常态化救援队伍外的社会救援力量，在必要时响应救援动员，补充增强航空应急救援力量。支持具备航空应急救援能力的通航公司发展，扶持民间的航空应急救援队伍，必要时动员社会力量参与应急救援。设立专门的对接机构，与相应社会力量加强沟通，建立动员机制，实现精诚合作，加强联合培训，从而进一步壮大救援队伍。

4 政策建议

4.1 加强政府组织与管理体系建设

将航空应急救援纳入常态化应急管理体系，建立健全统一领导、分类管理、分级负责、属地责任的航空应急管理体制。以省航空应急救援中心基地为核心，进一步加强各级、各类航空应急基地与机构建设，不断加强全省应急事件的日常信息资源监测预警与分析、事故与灾情快速响应处置、灾后评估与重建等全流程的能力建设。结合省内森林消防、气象灾害、交通事故等常见灾害及事故类型，划分灾情任务特征与事故等级，形成针对不同灾种、不同等级的航空应急救援预案，融入全省应急救援预案体系建设，定期开展预警演练与演习。

4.2 建立多方综合协同的工作机制

由省级主管部门牵头搭建统一协作平台，建立由省航空应急救援中心基地牵头主导、统一指挥，军方、其他部门之间多方联动、密切配合的协调联动机制，积极推进机队、人员、空域、基础设施等资源整合与信息共享。与国家空管委、民航局协商建立平灾结合、高效、便捷的柔性空域审批与使用机制，在事故、灾情发生时，开辟空域审批与

使用绿色通道,提升航空应急救援行动响应效率。与交通运输、民航等相关部门签署联动协议,当重特大事故、灾情发生时,实现对海上救助飞行等力量的快速协调调用。联合省卫健委等部门完善航空救援流程及操作规范,在有条件的医疗机构开展航空救援试点,培养航空救援医护力量,共同编制部门联合行动预案,定期开展联合演练,提升协同联动水平。

4.3 充分吸纳社会化组织与力量

充分利用大中型企业、通用航空运营公司、公益性应急救援组织等社会化力量,将其纳入统一的指挥管理体系,提升与专业航空救援力量联动配合的默契程度,确保形成相互协调、互为补充、同向合力的救援体系。当灾害事故发生时,由省航空应急救援中心基地统一协调能力,实现随时随地就近救援。

研究制定动员和鼓励志愿者参与应急救援工作的办法,加强对志愿者队伍的招募、组织和培训,建立与高等院校专业院校直接对接、吸纳优秀人才,丰富航空应急救援人才体系。完善航空应急救援人才待遇及奖励机制,采取专门政策,明确其社会地位、福利待遇、权利义务等,吸引更多优秀人才加入。

4.4 强化资金保障与模式创新

创新资金保障机制,引导多元化资金投入。有效利用社会捐赠、政企合作、政府购买服务、专业托管、补偿征用等多种方式提供资金保障,按照急用先行的基本原则,完善航空应急救援基地的基础设施建设、机队规模建设和救援人员编制扩充,保障航空应急救援能力建设。

5 结语

在应急救援体系日新月异的发展过程中,航空应急救援正逐渐成为重要的组成部分,其快速的反应能力发挥着越来越巨大的作用,通达人民最需要的地方。而应急救援航空体系规划的编制也正在发挥着不可替代的重要作用,规划需在对规划地区进行充分调查分析的基础上,科学合理的提出符合本地情况的规划,并与本地应急救援规划、应急预案体系、其他上位规划做好衔接,力求前瞻导向、先进适用,充分协调已有资源并进行统筹利用,以提高核心应急救援能力、社会保障能力为第一要务,并为未来发展预留合理的空间。

参考文献

- [1] 闫鹏,杨帅,张强.航空应急救援专业化力量建设的战略性思考[J].中国应急,2019(1).
- [2] 王战权,孙瑜.江苏省交通空中应急救援网络布局规划研究[J].现代交通技术,2011(6).
- [3] 曹海峰.国家航空应急救援体系构建:框架与路径[J].中国公共安全(学术版),2014(4).
- [4] 高小强,张致源.我国航空救援现状与发展思考[J].现代管理科学,2010(6).
- [5] 吕新.国外航空应急救援体系发展及经验借鉴[J].通用航空,2015(4).

某172m超大跨度煤棚 结构设计分析

■ 王明珠 刘鑫刚 赵亚硕 刘邦宁 张国军 [结构]

摘要: 以某超大跨度煤棚为例,对新型预应力钢桁架结构体系进行分析。结构跨度172m,纵向长度351m(南侧305m),总高度约55.2m。通过结构体系设计至结构静力分析,稳定计算等验证预应力钢桁架结构体系的有效性,并采用不同预拉力大小对结构支座反力、内力、位移进行对比分析,并给出新型预应力钢桁架结构体系的几点设计建议。

关键词: 大跨空间结构;预应力拱桁架;结构选型;预应力拉索

1 引言

近年来,大跨度空间结构正向更大跨度,更低用钢量发展^[1]。因此,新技术的应用显得尤为必要。目前新结构形式、新设计方法以及新材料已开始广泛应用于大跨空间结构。预应力钢结构体系是现代结构中的新体系和新技术,通过科学合理引入自平衡的预应力构件,创造出结构力学高效的现代建筑结构体系。索的应用使得预应力大跨度空间结构刚度更大,重量更轻,支座反力更小,支座和安装也更加方便^[2-4]。随着我国经济的发展,对环境保护的要求也日益增加,为满足环保要求,采用封闭煤场十分必要^[5],由于封闭煤场对于跨度和净空要求较高,因此采用预应力大跨度钢结构更加经济合理。本文以某超大跨度封闭煤棚为例,来研究预应力钢结构在大跨度钢结构中的应用。

2 工程概况

本项目为煤场封闭改造项目,煤场内有一条斗轮机,煤场内堆煤高度最高为25m。建设场地约59600m²。建设规模为:纵向长度351m×跨度172m,煤场南北轴线之间距离172m;东西长度:北侧为351m,南侧为305m,建筑总高度约55.2m。封闭煤厂建筑总高度及室内净空应满足斗轮机安全正常运行,同时满足及煤堆上推煤机和臂长10m的挖掘机的使用要求,煤棚结构距离挖掘机最远悬臂端部不小于2m。

煤场封闭采用沿纵向长度方向两边落地,跨中不设支承柱的大跨度拱形建筑,拱形钢结构屋盖采用大跨度拱形预应力钢结构方案。主结构采用四边形拱形桁架共11榀,主桁架最薄处厚度为5.9m,最厚处厚度为8.3m,桁架上为6m,下弦宽度为4m。桁架下部设置预应力张弦索,通过V型撑杆与主桁架连接,张弦索最大垂高11.8m,张弦索与钢桁架共同作用,形成多阶次预应力结构体系。两端山墙

作者简介:王明珠,男,高级工程师,2007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,现就职于航空工业规划结构工程创新研究院。

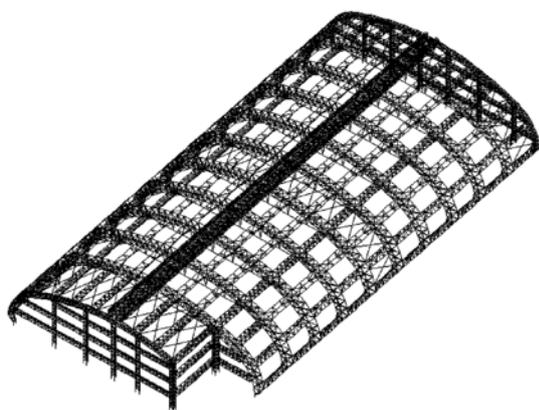


图1 整体结构三维示意图

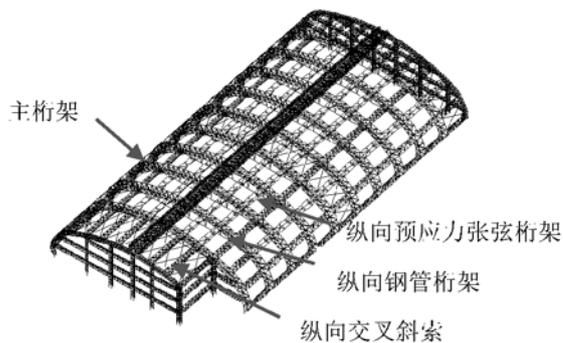
结构采用空间钢管相贯桁架结构。整体结构三维示意图如图1所示。

3 结构体系选取

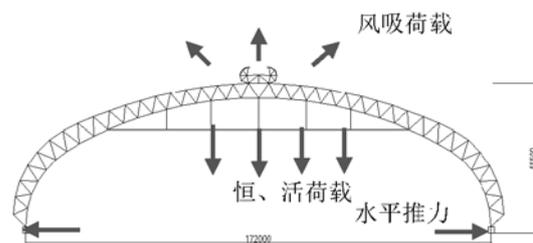
主结构采用拱形预应力钢管桁架结构，在跨中110m范围内设置预应力张弦桁架，通过预应力张弦索作用，降低钢结构内力峰值，调整结构内力合理分布，增加结构刚度，节省材料用量。两端山墙采用三角形空间竖向桁架，同时设置水平向稳定桁架，保证结构的整体稳定性。

主桁架间距30m，可减小由于大面积的堆载产生的基础沉降不均匀对支座附近的节点和杆件的影响，且有利于温度应力的释放。

整体结构纵向抗侧力系统由纵向空间钢管桁架、纵向预应力空间张弦桁架、屋面斜撑、落地山墙结构、主拱桁架、连续刚性次梁等几部分组成。通过纵向风荷载、地震作用分析及结构整体稳定安全性能分析，并结合屋面维护结构的布置要求，合理优化布置。于结构两端边跨设置12道纵向空间钢管桁架，桁架间布置拉索，通过上述结构与主拱桁架组成面外刚度较大的抗侧力系统。两端抗侧力系统通过空间钢管桁架与中部11榀主拱桁架连接，纵向桁架分布密集，纵向桁架上、下弦分别与主拱桁架上、下弦有效连接，形成主拱结构与纵向桁架结构刚接（纵向钢管桁架）、半刚接（纵向预应力张弦桁架）方式，具备足够的抗弯刚度，保证纵向传力通畅、主拱桁架和整体结构的平面外刚度及稳定性能。每榀主拱桁架及山墙桁架沿结构纵向均采用多弦杆落地约束（刚接），也可增强结构纵向刚度。另外，屋面刚性次梁连续布置在纵向桁架上



(a) 结构体系布置



(b) 结构体系受力原理

图2 结构体系布置及受力原理

弦，可进一步增强结构整体刚度及稳定性能。针对本工程跨度较大，主桁架下弦两点落地，落地点采用万向球铰支座（抗拉球型钢支座），使主桁架与基础铰接，节省基础用量。

4 结构设计输入

本工程桁架结构设计按50年一遇基本风压： 0.45kN/m^2 ，地面粗糙类别B类。考虑到本工程为超大跨度钢结构工程为风荷载敏感建筑，因此，对基本风压进行适当放大，按100年一遇基本风压 0.50kN/m^2 取值。

50年一遇基本雪压为 0.40kN/m^2 ，本工程为雪荷载的敏感结构，采用100年重现期雪压为 0.45kN/m^2 。积雪分布情况分别按全跨积雪的均匀分布、不均匀分布和半跨积雪的均匀分布按最不利情况采用。

根据《建筑结构荷载规范》GB 50009—2012图E.6.4、E.6.5全国基本气温分布图，基本气温最高为 37°C ，最低为 -4°C 。设计要求钢结构合拢温度为 $10\sim 20^\circ\text{C}$ ，设计计算考虑升温 27°C ，降温 27°C ，满

足国家《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012的要求，同时也考虑到当地极端温度的影响。

本工程安全等级二级；建筑抗震设防类别为重点设防类，抗震设防烈度为6度，建筑场地类别为Ⅲ类，设计分组第二组。

5 结构基本特性分析

(1) 结构自振特性

采用MIDAS对本结构的自振特性进行分析，结构前4阶自振周期分别为 $T_1=1.29s$ ， $T_2=1.14s$ ， $T_3=0.98s$ ， $T_4=0.84s$ ，本结构前三阶模态如图3所示。

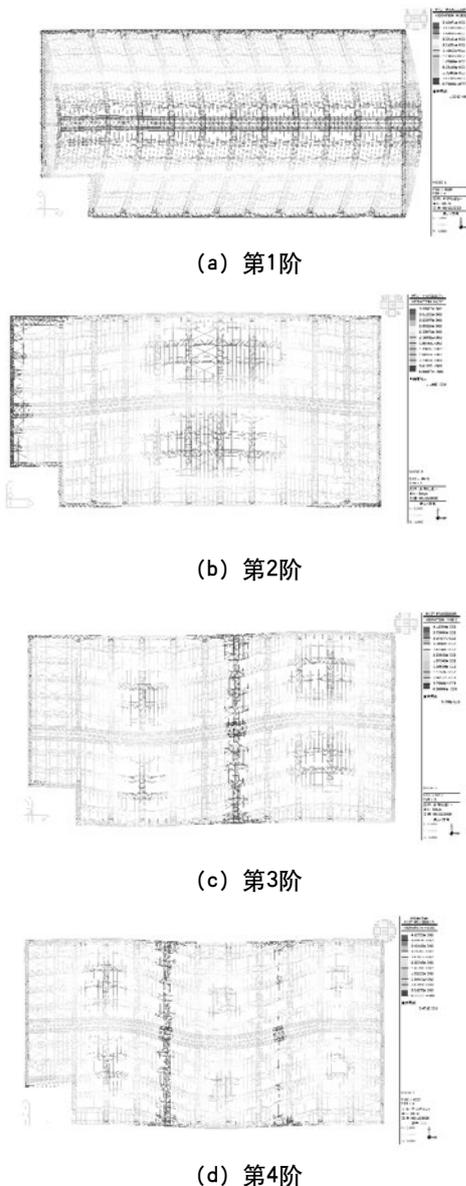


图3 结构前4阶振型

(2) 结构静力分析结果

设计采用MIDAS程序进行结构体系计算分析，力学模型考虑结构几何非线性，并进行结构刚度，构件强度验算设计。

1) 杆件应力比控制在0.9以下，长细比按照规范要求控制。结果显示最大应力比约为0.9，支座部位钢结构杆件应力比在0.85以内；

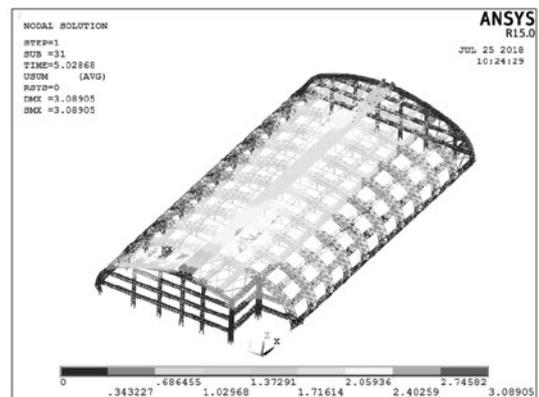
2) 预应力索设计最大应力不超过索抗拉强度1670MPa的0.4倍，本项目中索最大应力为601MPa，满足设计要求；

3) 结构挠度：竖向荷载作用下控制屋面挠度 $<1/300$ ，水平荷载作用下控制屋面相对水平位移为 $1/150$ 。在使用荷载（1.0恒载+1.0活载+1.0预应力）作用下结构最大变形发生在跨中部位，其最大竖向相对变形值433mm，为跨度的 $433/172000=1/397<1/300$ ；钢结构在沿跨度向风荷载作用下最大水平变形为286mm，为结构高度的 $286/55200=1/194<1/150$ 。钢结构在沿纵向风荷载作用下最大水平变形为301mm，为结构高度的 $301/55200=1/184<1/150$ 。

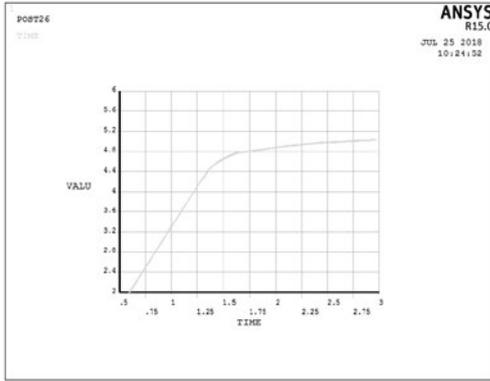
4) 结构用钢量：上部结构用钢量2757t，不包含节点单位面积用钢量 $44.58kg/m^2$ 。

(3) 结构整体稳定分析

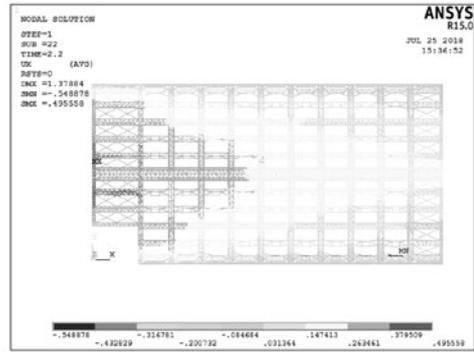
整体稳定屈曲值控制标准：参照《空间网格结构技术规程》JGJ7-2010，当按弹性全过程分析时，结构稳定承载力安全系数为4.2；当按弹塑性全过程分析时，结构稳定承载力安全系数为2.0。经计算，取跨度的 $1/300$ 作为初始几何缺陷时，在弹性几何非线性全过程分析下，结构稳定承载力系数为： $4.8>4.2$ ；在几何和材料双非线性弹塑性全过程分析下，结构稳定承载力系数为： $2.4>2.0$ ，且大变形失稳状态时的变形为跨度的 $1/132<1/50$ ，满足规范及性能化设计目标要求。



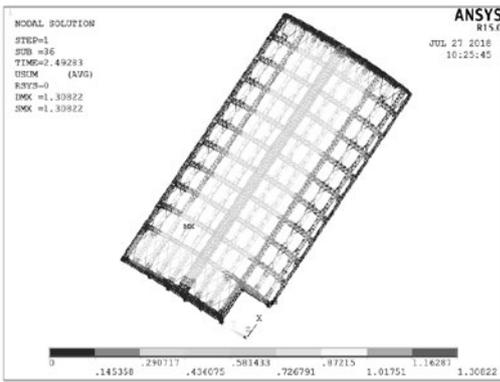
几何非线性结构失稳变形形态



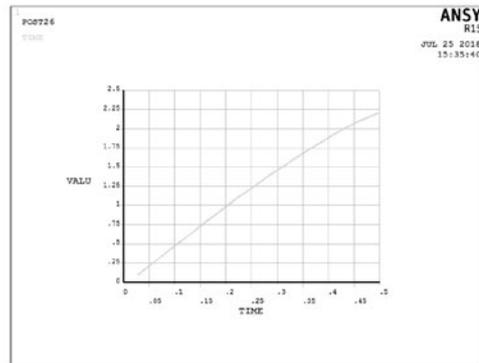
几何非线性结构荷载变形曲线



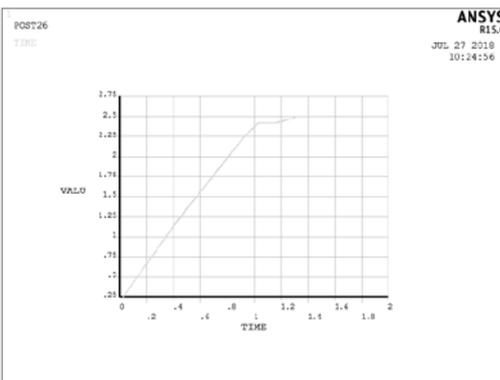
X向风荷载作用结构失稳变形形态



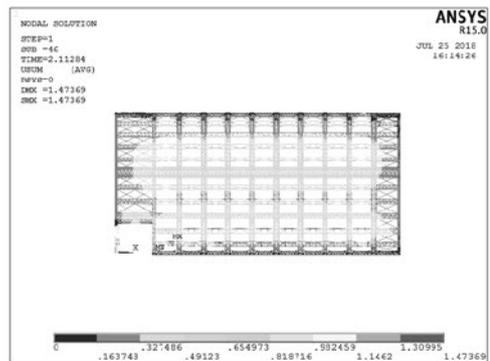
双非线性结构失稳变形形态



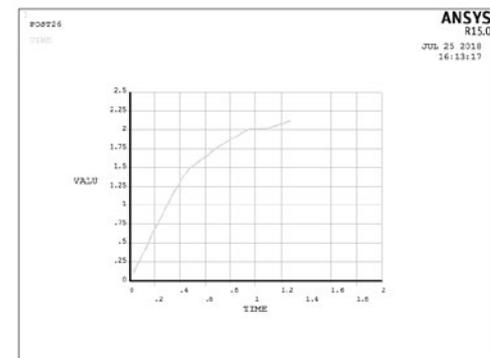
X向风荷载作用结构荷载变形曲线



双非线性结构荷载变形曲线



Y向风荷载作用结构失稳变形形态



Y向风荷载作用结构荷载变形曲线

图4 结构整体稳定分析

(4) 基于承载能力的风荷载全过程结构安全性能分析

本工程为大跨度钢结构工程，属于对风荷载敏感结构，本工程基本风压 0.50kN/m^2 。采用ANSYS软件，在风荷载作用下，对整体结构进行几何、材料双非线性风荷载作用全过程安全性能计算分析。在X向及Y向风荷载作用下结构稳定承载力系数均在2以上。

图5 基于承载能力的风荷载全过程结构安全性能分析

表1 3种预拉力方案各部位索预拉力

	主索 (kN)	索桁架斜 (kN)	索桁架 (kN)	交叉索 (kN)
1倍预拉力	1400	300	100	100
1.5倍预拉力	2100	450	150	150
0.5倍预拉力	700	150	50	50

(5) 多遇地震弹性和罕遇地震弹塑性分析

多遇地震下结构的一般杆件应力比控制在0.9以下, 支座附近杆件应力比控制在0.85以下, 结构处于弹性状态。

罕遇地震作用下, 结构没有出现塑性铰, 说明罕遇地震作用下, 构件仍处于弹性阶段。罕遇地震作用下, 钢结构最大水平变形为81mm, 为高度的 $1/685 < 1/50$, 钢结构最大竖向变形为79mm, 为高度的 $1/703$, 钢结构没有达到倒塌极限状态。说明, 本预应力钢结构体系在罕遇地震作用下, 仍具有良好的抗震性能。

6 拉索预应力对结构影响分析

本结构主桁架拉索预拉力采用1400kN, 索桁架斜索预拉力采用300kN, 索桁架水平索预拉力100kN, 交叉索预拉力100kN。通过对比3种预拉力方案并分析不同预拉力大小对结构的影响。3种方案预拉力见表1。

(1) 预拉力对支座反力影响

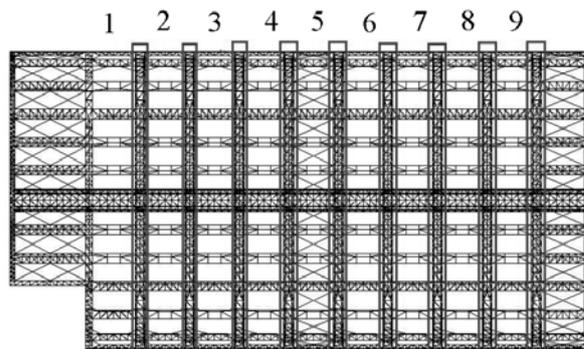
提取以下9个支座在1.0倍恒荷载+1.0倍活荷载+1.0倍预拉力荷载下的水平推力, 将3种预拉力方案支座水平推力进行对比, 由图6可明显得到, 随着预应力的增加, 支座处水平推力逐渐减小。

(2) 预拉力对弦杆轴力影响

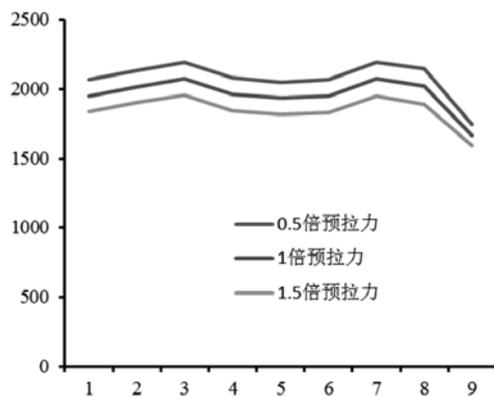
本文选取结构中某一跨主桁架的弦杆并提取弦杆在1.0倍恒荷载+1.0倍活荷载+1.0倍预拉力荷载下的弦杆轴力。如图7所示, 在3种预拉力荷载下, 随着预拉力的增加, 上弦杆趋于受压, 下弦杆趋于受拉。在1倍预拉力和1.5倍预拉力作用下, 下弦杆全部受压, 在0.5倍预拉力作用下, 跨中出现拉力, 且随着预拉力的增加, 下弦杆轴力更趋于均衡。

(3) 预拉力对结构位移影响

本文提取结构在1.0倍恒荷载+1.0倍活荷载



(a) 支座编号及提取支座反力位置

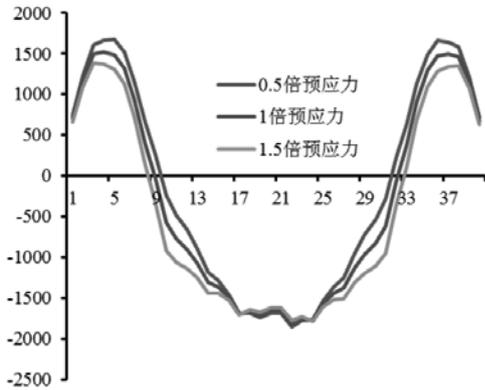


(b) 不同预拉力下支座水平推力计算结果

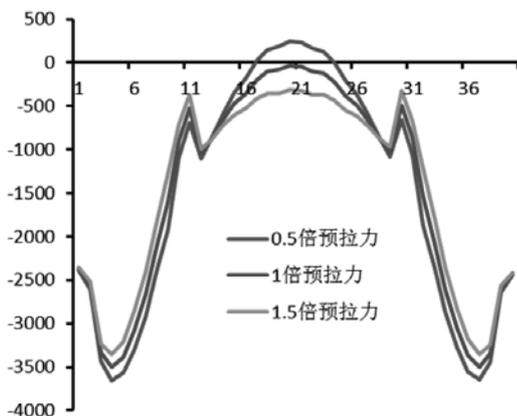
图6 结构支座处水平推力对比

+1.0倍预拉力荷载下结构竖向位移, 结构在0.5倍预拉力、1倍预拉力和1.5倍预拉力下竖向位移分别为422.89mm、347.59mm、300.30mm, 可见在这3种预拉力作用下随着预拉力的增加, 结构竖向位移逐渐减小。

由以上在不同预拉力下结构支座反力、弦杆轴力以及结构整体位移的对比可知预应力的施加可有效减少支座反力, 使杆件受力更均匀, 且可有效减小竖向荷载下结构位移, 但是预应力施加值应结合受力、位移及用钢量综合确定。



(a) 上弦杆轴力



(b) 下弦杆轴力

图7 不同预拉力工况弦杆轴力

参考文献

- [1] 董石麟, 邢栋, 赵阳. 现代大跨空间结构在中国的应用与发展. 空间结构. 2012, 18(1): 3-16.
- [2] 董石麟. 预应力大跨度空间钢结构的应用与展望. 空间结构. 2001(04): 3-14.
- [3] 葛家琪, 刘邦宁, 王树, 张国军, 张曼生, 黄季阳, 刘鑫刚. 预应力全索系整体张拉结构设计研究[J]. 建筑结构学报, 2019, 40(11): 73-80.
- [4] 葛家琪, 张爱林, 杨维国, 张国军, 王树, 张玲. 基于性能的大跨度钢结构设计研究[J]. 建筑结构学报, 2011, 32(12): 29-36.
- [5] 赵曦辉, 吴碧野. 索拱桁架在大跨度干煤棚结构中的应用. 建筑结构. 2016(S1): 519-522.

7 结论及建议

本论文通过对某172m超大跨度煤棚结构体系设计及分析, 得出以下结论:

(1) 通过在主桁架下部设置预应力张弦索, 采用V型撑杆与主桁架连接, 张弦索与钢桁架共同作用, 构纵向采用预应力空间张弦桁架、屋面斜撑, 形成多阶次预应力结构体系, 保证结构具有足够的刚度, 降低用钢量。

(2) 大跨度钢结构对竖向及风荷载下作用下稳定性较为敏感, 应进行竖向荷载下整体稳定性及水平荷载下几何非线性及材料非线性分析。

(3) 通过合理布置预应力索, 可以增加结构刚度, 减小结构变形, 有效削减结构的内力峰值, 减小结构杆件在各工况下结构杆件内力, 预应力值的选取应当综合内力、变形及用钢量确定。

建设工程竣工结算 问题与建议

■ 张珍兰 [工程造价]

摘要: 本文探析了当前建设工程竣工结算工作中存在的问题,并结合建设工程竣工结算工作经验,提出解决当前竣工结算工作中存在的问题的几点建议,规范竣工结算工作,保证建筑企业的经济效益。

关键词: 建设工程;竣工结算;结算审核

1 引言

建设工程竣工结算是指建设工程竣工验收后,施工单位与建设单位依据合同、工程竣工资料、国家及地方相关法律法规确定最终工程造价的过程和行为。竣工结算的最终工程造价是建设单位与施工单位交易的最终价格,是确定双方企业经济效益的关键要点。建设工程竣工结算是项目建设的最后一个环节,也是控制工程成本的最后一道关,所以做好建设工程竣工结算是考核项目建设的重要指标,是提升企业经济效益,维护企业和国家利益的关键工作之一。

2 当前建设工程竣工结算的主要问题

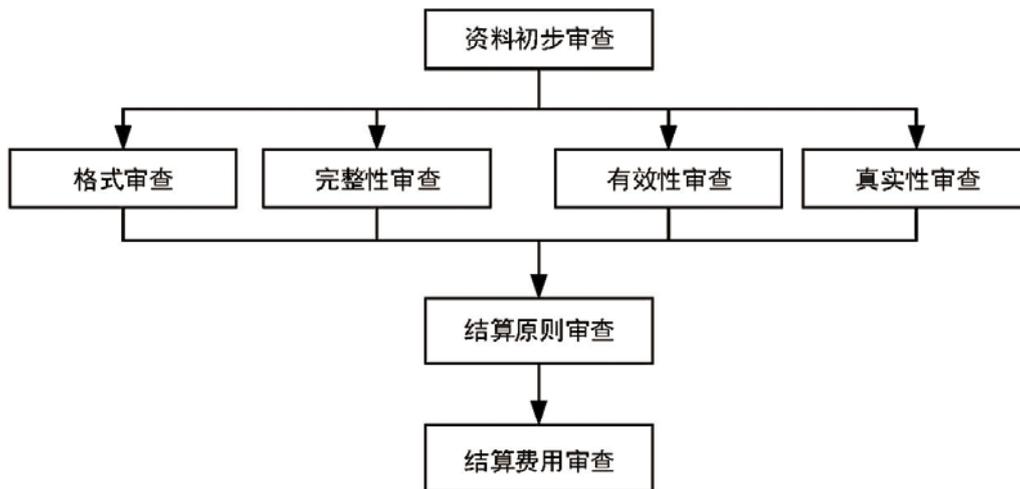
项目建设的周期长、复杂性、多专业、投资高等特点决定了建设工程竣工结算的复杂性、多

专业、难度高等特点,又因关系各参建企业经济利益等因素,当前建设工程竣工结算主要存在以下问题:

(1) 申报竣工结算资料不规范。因施工过程管理不严谨,或项目参建人员素质参差不齐等原因,施工单位申报的竣工结算资料不规范,或者资料不完整,或者资料签字盖章不齐全,或者资料描述内容不清楚,不满足工程造价计量计价要求。不规范的结算资料给建设工程竣工结算造成了许多障碍与争议,严重影响了竣工结算的进度与准确性。

(2) 申报竣工结算的逻辑混乱。有的施工单位商务人员执业素质过低,申报结算书仅考虑申报结算总价,未曾考虑结算原则和逻辑,仅参考心中的结算总价对结算内容七拼八凑,或存在多处重复申报费用,或某些项目多报费用,或某些项目少报费用。此类商务人员在后期与建设单位的商务人员或建设单位聘请的咨询人员核对结算过程中,往往核对不到心中的结算总价,甚至无法从中盈利,从而导致结算僵持。

作者简介:张珍兰,女,高级工程师,2018年毕业于清华大学工程管理专业,现就职于航空工业规划动力工程设计研究院。



结算审查流程图

(3) 工作进展过缓。或因上述两个问题导致结算工作进展过缓，也或因因为结算审核人员对现场情况不了解，工作能力不高导致结算工作进展过缓；或因因为建设单位聘请的结算审核单位因未达到其审减额收益目的等原因故意放缓结算工作进展。

3 规范建设工程竣工结算的建议

为了解决上述当前建设工程竣工结算的主要问题，建议从下以几点规范竣工结算工作。

3.1 建设单位应在竣工结算工作启动前做好竣工结算策划工作

向各施工单位明确竣工结算原则，统一竣工结算逻辑；明确竣工结算申报时间节点要求；明确竣工结算审核时间要求及审核配合时间要求；明确竣工结算资料及文件格式、内容标准要求，其中关于竣工结算资料的首要标准是所描述内容可计量计价。

3.2 收到竣工结算资料先做竣工结算资料初步审查

竣工结算资料的初步审查包括格式审查、完整性审查、有效性审查、真实性审查和一致性审查。格式审查是审查竣工结算资料的内容及格式要求是否与竣工结算策划的要求相符。完整性审查是审核竣工结算资料是否完整，特别是减项内容是否少报、漏报。有的施工单位在初步与审核人员核对结算后觉得所得结算结果少于意向总价，便以补报资料等形式希望增加费用。因后补报资料的时间距施工当期时间较长，现场施工管理人员有可能记不清楚，在施工单位的各种攻势下，现场施工管理人

员有可能不能严格把关，从而在后补资料上签字，此类后补资料与现场的一致性可疑，作为结算依据有可能会造成结算结果偏差。为了规避此类风险，可以要求施工单位在申报竣工结算前对所有竣工资料连续编号，并且在限定时间内胶装成册，胶装成册后不得再补充资料（同一份资料因描述不清楚需要修订的除外）。有效性审查是指竣工资料有效签字盖章的审查，缺少有效签字盖章的不得作为结算依据。真实性审查是审查资料的真实性，是否存在伪造的情况。一致性审查是审查结算资料所示内容与现场是否一致，是否存偷工减料或施工漏项等情况。值得注意的是，竣工结算资料初步审查工作不应当仅由结算审核人员来做，而应当综合监理单位相关人员及建设单位施工现场管理人员分别审查的意见作为竣工结算资料初步审查的最终意见。

3.3 竣工结算审核的第二步应是结算原则审查

结算原则审查即要重点审查工程合同。工程合同是建设项目竣工结算的重要依据之一，在审核工程费用之前应该重点审查合同，重点查看以下内容：

(1) 合同形式，是固定总价还是固定单价，如果是固定单价合同，是否存在以“项”为单位的项目，此类项目在合同相关条款是如何约定结算方式的，是否为单项固定价格，即结算不作调整。需要注意的是，即使是固定总价合同或单项固定价格的，也应当确认是否存在未施工项，未施工项应当扣减对应费用；

(2) 合同价格组成及包含内容；

(3) 是否存在暂估价，如存在暂估价，则应

该在结算中据实调整；

(4) 措施费用的结算方式，不同建设单位的合同往往对措施费用结算方式约定不同，有的甚至固定包死，对此类合同约定的斟酌其合理性及合规性，例如依据现有法规，安全文明施工费是不可作竞争费用，故安全文明施工费不应当固定包死，而因据实结算；

(5) 工程变更费用的结算方式；

(6) 人材机市场价格浮动的结算方式；

(7) 其他项目费用的结算方式。

以上结算原则在合同中有约定的，依据合同约定执行，合同中没有约定的，依据当前国家及地方相关法律法规执行。

3.4 根据竣工结算内容选用合适的工程造价审核方法

工程造价审核方法包括全面审核法、重点审核法、经验审核法、分解对比审核法。无论采用哪种方法，都应当先依据合同的结算原则对工程资料进行定性分析，再依据结算原则对工程造价进行定量计价。定量计价包括工程量复核、单价审核和费率审核。

3.5 做好竣工结算时间节点管理

在竣工结算策划阶段做好时间节点策划，并在后期实施过程中跟踪落实。竣工结算工作参与方多，工作也较为复杂，任何一方工作不按节点来都会放缓整体的结算进展。从管理权威性的角度，应由建设单位专职人员负责结算各项工作节点的跟踪落实，并负责调解结算过程中遇到的各类争议问题，保证竣工结算工作整体进展可控性。

3.6 建设单位委托第三方造价咨询公司审核竣工结算

若建设单位委托第三方造价咨询公司审核竣工结算，应当参考当地造价协会关于工程造价咨询收费的指导价，签订较为合理的工程造价咨询合同，而不应当过分压低工程造价咨询合同的基本收费，让造价咨询单位依靠审减工程造价的效益收费来维持正常经营管理。同时，工程造价合同也应当对结算审核时间进行约定，并根据合同约定对其工作时间进行跟踪管理。在合理的工程造价咨询合同的支持下，造价咨询单位的审核人员才能秉持公正公平的原则审核竣工结算。

4 结束语

根据国家统计局2020年2月28日发布的《中华人民共和国2019年国民经济和社会发展统计公

报》，全年国内生产总值990865亿元，比上年增加6.1%。全年社会建筑业增加值70904亿元，占比比上年增长5.6%。建筑业增加值占全年国内生产总值的7.2%^[5]，可见建筑业在我国当前经济稳定增长中仍非常重要。通过规范竣工结算工作，减少竣工结算争议，提高竣工结算效率，才能保障建筑企业利益，维持我国建筑业经济健康增长。

参考文献

- [1] 孙凌志, 杭晓亚, 孟尚臻. 建设工程价款过程结算研究[J]. 建筑经济, 2015 (9): 61-63.
- [2] 闫中军, 王后恩. 工程结算中常见问题及对策建议[J]. 建筑经济, 2011(11): 35-37.
- [3] 陈亮. 建设工程结算审核的难点与规范建议[J]. 工程经济, 2018(2): 15-17.
- [4] 孙翌婷. 工程结算审核存在的问题及对策[J]. 山西建筑, 2018(8): 222-224.
- [5] 国家统计局. 中华人民共和国2019年国民经济和社会发展统计公报.

关于低影响开发技术的 几点思考

■ 杜慧英 [总图]

摘要: 本文从海绵城市的设计出发,通过探讨海绵城市理念的发展和实践的推进,就海绵城市技术的核心技术之低影响开发技术(LID)若干措施提出了几点思考,供学习借鉴。

关键词: 低影响开发技术;海面城市设计

城市化发展是人类发展的必然趋势。随着我国经济、技术的携手发展,综合国力不断提升,国民需求也不断增多,城市发展日新月异,市政工程新旧更替,在城市发展过程中,城市发展理念也在不断适应新的环境和需求,不断发展。

近年来,海绵城市设计理念不断结合我国国情,在实践中不断发展。如《海绵城市建设技术指南》中所说,“我国的海绵城市设计最初是强调从源头控制径流,但随着低影响开发理念及其技术的不断发展,加之我国城市发展和基础设施建设过程中面临的市内涝、径流污染、水资源短缺、用地紧张等突出问题的复杂性,在我国,低影响开发的含义已延伸至源头、中途和末端不同尺度的控制措施。低影响开发技术的核心是维持场地开发前后水文特征不变,包括径流总量、峰值流量、峰现时间等。从水文循环角度,要维持径流总量不变,就要采取渗透、储存等方式,实现开发后一定量的径流

量不外排;要维持峰值流量不变,就要采取渗透、储存、调节等措施削减峰值、延缓峰值时间。

发达国家人口少,一般土地开发强度较低,绿化率较高,在场地源头有充足空间来消纳场地开发后径流的增量(总量和峰值)。而我国大多数城市土地开发强度普遍较大,仅在场地采用分散式源头削减措施,难以实现开发前后径流总量和峰值流量等维持基本不变,所以还必须借助于中途、末端等综合措施,来实现开发后水文特征接近于开发前的目标。”

应城市化建设的需求,工程建设必不可少,但在建设过程中,本着生态优先的原则,不断完善我们的建设标准和要求。

我国幅员辽阔,大自然特点纷繁复杂,南北地域降水量差很大,土地渗透能力迥异,各地的工程建设都带着减少对大自然的影响这一初衷摸索适合于本地发展的建设要求,系统地考虑本地自然降水、地表水、地下水分布特征,协调水循环系统各个环节,兼顾其负责性和长期性,以发展的眼光进

作者简介:杜慧英,女,高级工程师,2001年毕业于西安建筑科技大学总图设计与运输工程专业,现就职于航空工业规划动力工程设计研究院。

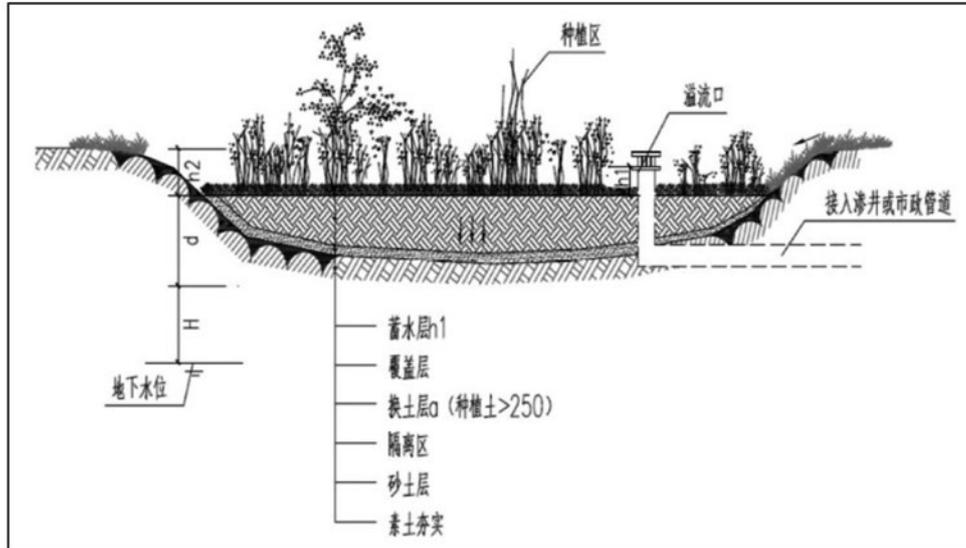


图1 下沉绿地构造示意图

行城市系统化规划，恢复着城市化建设中大自然和人类共生的良好“弹性”。在这个过程中，通过渗、滞、蓄、净、用、排等多种技术，实现城市良性水文循环，提高对径流雨水的渗透、调蓄、净化、利用和排放能力，维持或恢复城市的“海绵”功能。

利用新的高科技材料，减少对大自然的污染和影响，提高土地利用率。目前我国已经取得显著成果的措施有透水铺装、下沉式绿地、生态滞留措施等，但如何结合地域特点采取不同的措施，还有待在实践中的经验积累。

1 透水铺装的应用

随着新的科技材料的应用，越来越多的透水材料运用于广场铺装、人行道铺装，甚至行车道路区域，在土壤通透性较好的地区提高径流雨水的渗透方面效果显著，但对于地下水位较高的南方区域和土壤透水性较差的北方区域效果较差。另外，在工业企业建设项目中，道路荷载要求往往有特殊要求，道路安全又取决于路基的稳定性，因此，在需要通行重型车辆的工业类项目中，是否适宜采取透水性材料作为道路构造呢？笔者认为，透水材料的运用不仅

应该考虑工程所在区域的自然条件和土壤情况，也应考虑透水区域的功能要求，不宜盲目追求透水铺装率。

2 下沉绿地的设置

在建筑物周围普遍要求设置下沉绿地是否适当，有待商榷。在土壤渗透性差的区域，建筑物周围设置下沉绿地，往往使地面雨水集中于绿地区域而无法排除，而周边透水铺装区域的渗透雨水同时加重了土壤含水负担，导致绿地植被因泡水而死亡，从而加重了后期维护费用。同时，由于积水的存在，容易滋生虫害，一定程度上也会影响人们的感受性。除去对绿地的影响，对于建筑物散水功能也有一定破坏，易导致散水下部垫层松动，从而导致建筑物基础被侵蚀，甚至导致建筑物不均匀沉降，尤其在湿陷性黄土区域。笔者认为，下沉绿地的设置除考虑工程所在区域的

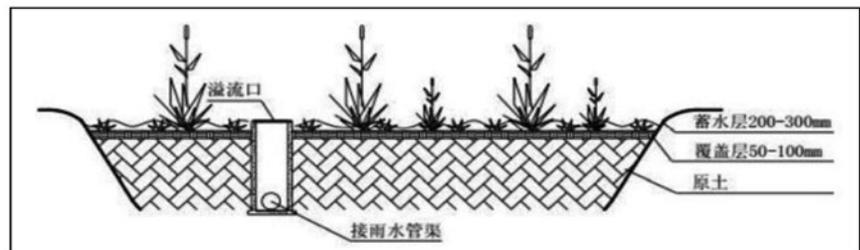


图2 简易型生物滞留设施构造示意图

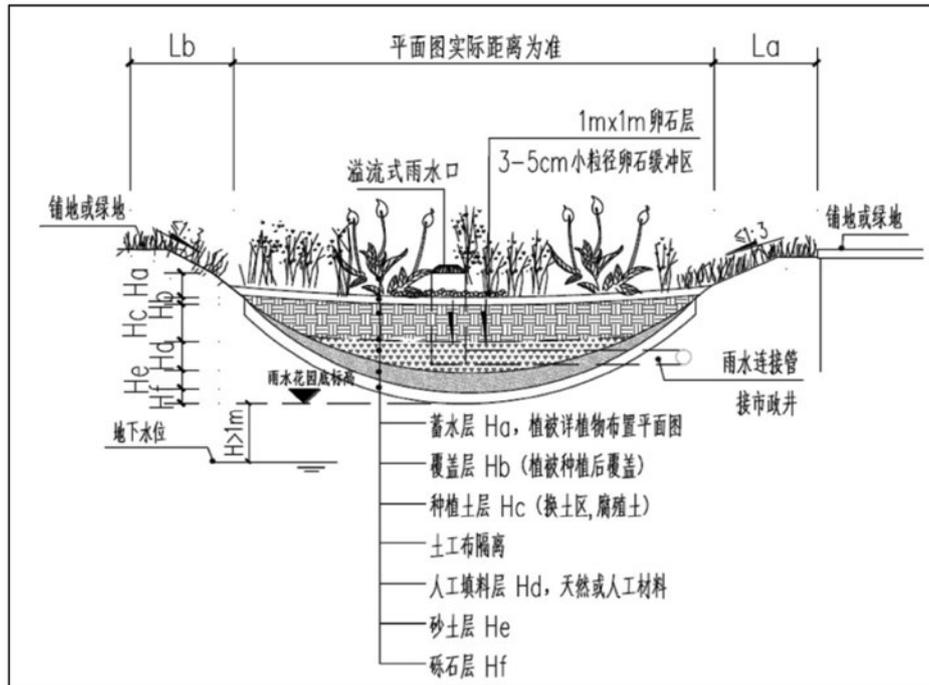


图3 复杂型生物滞留设施构造示意图

自然条件和土壤情况外，宜集中设置于集中绿地区域，不宜设置于建筑物周围的带状绿地区域，不宜盲目追求下沉绿地率。

关于生态滞留措施的设置，目前很多地方要求根据建筑面积进行设置，量化标准是否科学暂且不提。生态滞留措施的初衷是好的，但是生态滞留措施中植物需要定期更换，屋顶绿植需要定期维护和清理，这些都需要不少的人力成本和经济成本，无形中会增加企业的负担。

究竟如何找到更多适合各区域特征的低影响开发技术，有待在实践中，留心、用心，希望未来的洪涝灾害可以逐年减少，生活环境越来越好。

参考文献

- [1] 《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建》（试行）
- [2] 张耀华,张旭.低影响开发技术研究进展.城市建筑2020
- [3] 蒋华强,蒋鹤遥.浅谈海绵城市设计理念.2018
- [4] 原振华,段汉明,谢培琦.海绵城市理念在城市道路绿化景观设计中的应用[J].美与时代(城市版),2018
- [5] 李波浪.海绵城市理念在城市道路设计中的应用研究[J].城市建设理论研究(电子版),

2018

- [6] 高伟.海绵城市理念在城市道路设计中的应用研究[J].工程建设与设计,2016
- [7] 姜宁宁,康洪强.海绵城市理念在市政道路设计中的应用研究[J].山西建筑,2018
- [8] 谈旭辉.“海绵城市”在市政道路设计中的应用分析[J].科技与创新,2017

机场消防救援应答时间的影响因素分析

■ 李大帅 陈洁如 王锋 [给排水]

摘要: 本文通过对比中国、国际民航组织与美国规范的相关规定,结合实际事故案例分析了应答时间的由来以及影响因素,指出在我国大力发展四型机场、建设民航强国的同时,亟需更好地规范行业发展。

关键词: 应答时间;消防车;四型机场

1 引言

2020年4月1日,国际航空运输协会(IATA)发布了《2019航空运输安全报告》(以下简称《安全报告》),《安全报告》显示,2019年45.4亿旅客安全飞行了4680

万架次,发生了53起事故,其中有8起致命事故造成了240人死亡。8起事故中6起是客运飞机,死亡人数占总人数的97%,飞行中失控和硬着陆导致的死亡人数最多。从《安全报告》中可以看出:虽然航空安全程度在不断提高,但一旦发生事故就可能造成群死群伤,严重威胁乘员的生命安全。机场范围内的救援与消防主要目的,是在机场或机场紧邻地区内发生航空器事故或事件的情况下拯救生命。航空器火情的显著特点是在很短时间对直接接触的人员的生命构成严重危害,因此在最短时间内处理机场或机场紧邻地区发生的航空器事故是消防救援的首要任务。

作者简介:李大帅,男,工程师,2010年毕业于武汉理工大学给排水专业,现就职于中航建设机场规划设计研究院。

表1 近年来航空器事故的统计^[1]

	2019年	2018年	5年平均 值 (2014-2018)
事故总数	53	62	63.2
致命事故	8起致命事故,死亡人数造成240人	11起致命事故,死亡523人	每年8.2次致命事故,每年平均303.4人死亡

2 应答时间、范围及灭火剂使用

对于机场救援过程的描述,最重要的一个概念应答时间(Response time),但不同国家对应答时间的定义及要求各不相同。由于在本文引用的文献中应答时间又被翻译成响应时间,为避免歧义,Response time 在本文中统一翻译为应答时间。

我国《民用航空运输机场飞行区消防设施》MH/T 7015-2007(以下简称《消防设施》)中规定:从消防服务机构接到的首次呼救至应答救援的第一辆(或几辆)车到达并按规定喷射率的至少50%施放灭火泡沫混合液的时间^[2]。

《国际民用航空公约 附件14-机场》(以下简称《附件14》)中规定:救援与消防服务的工作

目标必须是在最佳能见度和地面条件下，在不超过3分钟的应答时间内到达每条运行跑道的任意一点，并做了两条建议：建议在不超过2分钟的应答时间内到达每条运行跑道的任意一点以及建议在不超过3分钟的应答时间内到达机场活动区的任何其他部分^[3]。

美国规范《Standard for Aircraft Rescue and Fire-Fighting Services at Airports》(以下简称 NFPA 403) 中则首先定义了一个快速响应区域(RRA): 一个以跑道起止点两侧各延长500m为长边，以跑道中心线两侧各150m为短边的矩形，但不能超过机场的用地红线，然后对应答时间做了如下规定:

(1) 应答时间: 是指从发出警报到第一架消防车到达飞机事故/事故征候现场并处于(可)喷射灭火剂的位置的总时间;

(2) 首辆(批)到达的消防车到达运行跑道上任意一点并开始喷射灭火剂的应答时间应在发出警报后的3分钟内;

(3) 首辆(批)消防车利用改善道面到达机场的快速响应区域内任意一点的应答时间应为警报发出后的4分钟内;

(4) 首辆(批)到达的消防车利用改善道面到达乘客登机区的应答时间应在发出警报后的4分钟内;

(5) 在NFPA 403的附录中提到: 首批响应的消防车的目标在2分钟的应答时间内到达每条运行跑道的任意一点并开始喷射灭火剂且在3分钟的应答时间内到达快速响应区域内任意一点并开始喷射灭火剂^[4]。

美国除了NFPA 403以外，美国另外一本规范《Part 139—Certification of Airports》(以下简称 139部) 也对应答时间做了与NFPA 403不同的规定，139部规定: 自警报发出起3分钟内，至少一辆飞机救

援所需要的消防车必须到达航空公司飞机服务的最远跑道的中点，或移动区域(注: 机场用于飞机起飞、降落和滑行的部分，以及停机坪) 其他类似距离的指定地点，并开始喷射灭火剂^[5]。

综合以上不同规定，对不同的规范在最佳能见度和地面条件下对于应答时间和范围可以总结成表2。

通过上表比较发现，不同国家与组织之间对应答时间、消防车保护的覆盖范围与灭火剂喷射率做出的规定不完全相同。我国现行的规范《消防设施》更贴近于《附件14》的规定，但并没有将更快的应答时间以及相同时间内更大的保护范围作为更高目标。美国不同规范对于应答时间的严格程度不一，NFPA 403在同《附件14》做出了相同的规定后，又单独制定了一个快速响应区域。而139部的规定相对宽松，仅需要到达最远跑道的中部或相似距离的制定地点即可。

分析不同规范对应答时间规定不同的原因，可以归为以下3点。

表2 应答时间、范围及灭火剂使用的规定统计表

规范名称	应答时间(分钟)	应答时间所覆盖的范围	喷射灭火剂情况
《消防设施》	3	机场飞行区	达到规定喷射率的50%
《附件14》规定	3	运行跑道的任意一点	达到规定喷射率的50%
《附件14》建议	3	机场活动区的任何其他部分	
	2	运行跑道的任意一点	开始喷射灭火剂
NFPA 403 规定	4	快速响应区域的任意一点	
	3	运行跑道的任意一点	
NFPA 403 建议	2	运行跑道的任意一点	
139部	3	最远跑道的中点	

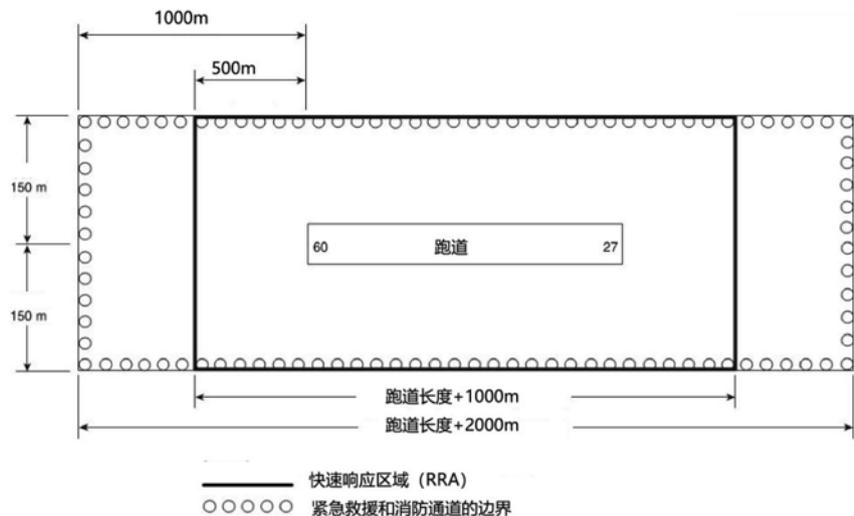


图1 NFPA403 规定的快速响应区域和紧急救援的边界

(1)我国规范制定时间比较早,在当时世界民航强国相比,在安全保障能力、运行效率和管理水平等方面有一定差距,提出更高的目标相当于提高机场建设的门槛,对民航事业发展不利;

(2)《附件14》服务的是世界各国,不同国家的经济技术水平天差地别,所以以规定和目标的形式提出了不同的要求,意在满足消防救援的基本要求的前提下,有能力的国家或地区能尽可能地提高消防保障水平;

(3)从1969年起,美国对机场消防救援的方方面面做了大量的研究工作,其中的成果之一是总结了机场区域内飞机事故高发的地点,并在这个研究基础上制定了快速响应区域,并提出了2分钟内到达运行跑道的任意一点的目标。139部主要适用于通用机场,消防救援的要求相应较低。

从以上原因可以看出,消防救援服务的保障水平与国家的发展水平密切相关。随着国家经济水平的不断上升,消防救援的目标也不断提升,总体发展趋势是消防车在警报发出后更短的时间内到达更大的范围。

从灭火剂使用情况上看,《消防设施》和《附件14》上规定应答时间内,泡沫喷射率应达到规定值得50%,然而在实际操作中似乎很难精确测量在哪一个时间点灭火剂的喷射率能达到规范要求。在飞行区消防的设计过程中,常规做法是假定一个喷射时间,认为在这个时间内灭火剂的喷射率能达到规范要求,然而这个时间缺乏规范的支持,难于有说服力。NFPA 403级139部均规定在应答时间内开始喷射灭火剂即可。在计算救援时间时,泡沫喷射时间。

3 应答时间的确立以及影响因素

消防救援的主要目的是拯救生命,航空器火情能在短时间内造成大量伤亡的特点决定了应答时间不可能是一个很长的时间,理想的应答时间为0秒,即在事故发生的一瞬间消防救援工作已经开始,但这很难做到。因此,应该寻找到一个合理的应答时间作为消防救援工作的目标,这个目标既要能最大可能的保护乘员的生命安全,又要能在不同国家和地区,不同消防级别的机场都有可能做到。

首先要确定在火灾时机上乘员可能的生存时间。1969年盖尔在联邦航空局威廉休斯技术中心对飞机机身完整性进行了火灾实验^[6]。测试内容是将

40ft长,不锈钢覆盖的商用喷气式飞机机身置于3个10ft宽、30ft长的填充JP-4型航空煤油矩形油池上,点火燃烧并测试各种数据。研究发现,当风速在10~12mile/h之间时,机身的温度会在燃料点火后40秒内达到880°F(471°C),这个温度足以烧穿铝制机身蒙皮。在点火后116秒内,机身逆风侧温度达到900°F(482°C)。美国NFPA 403技术委员会前成员汤姆·林德曼做出了总结:当飞机发生燃油泄漏火灾时,铝皮将在大约1分钟内烧穿。如果机身完好无损,机身侧壁隔热层在火灾初期能保持舱内的生存温度,直到窗户熔化,这个过程时长约3分钟,然后座舱温度迅速升高并超过的人类可以生存的温度^[7]。

可以认为,在飞机机身完整的前提下,飞机暴露在燃油火灾时机内乘员最长的生存时间为3分钟,所以国际上普遍将应答时间定为3分钟。

这个理论可以得到实际案例的支持。2007年8月20日,一架B737-800客机降落在日本那霸机场,飞机停止后1分钟左右发生了燃油泄漏并起火,机上有110名乘客和8名机组人员。根据日本运输安全委员会2009年8月28日发布的编号为AA2009-17《航空事故调查报告》(以下简称《事故报告》),乘员紧急疏散的时间从火灾发生时开始计算为3分钟27秒,机上所有118名乘员均成功逃生。飞机副驾驶是最后一名逃脱者,他使用紧急绳索从驾驶舱右窗逃生,由于飞机右翼发生爆炸副驾驶坠落受伤。这次事故机内的乘员生存时间超过了3分钟,副驾驶逃脱时飞机发生了严重爆炸,对他的生存造成了较大的威胁。所以,可以近似认为本次事故中乘员的最大生存时间为3分钟27秒。

如果火灾发生时机身完整性被破坏,火灾会迅速在飞机内蔓延,机上乘员的生存时间可能小于1分钟。2019年5月5日,一架SSJ100型客机在莫斯科谢列梅捷沃机场紧急降落起火,由于飞机多次着陆,最后一次着陆时,大约5g的着陆荷载完全摧毁了主起落架并造成了机身破损。根据俄罗斯联邦调查委员会在2020年4月15日公布的现场事故视频,飞机在紧急降落乘员疏散的时间为55秒,尚不能确认乘员的最长生存时间,但在疏散开始后的55秒后不再有乘员从飞机上逃生,飞机上78名乘客中的41名乘客遇难。可以近似认为,机舱破裂后机上乘员的生存时间为1分钟。乘员疏散完毕后,消防车才赶到并开始灭火。

从以上两起典型案例可以得到一个共同点,在

消防救援人员达到之前,机场乘员要么已经自行疏散,要么就已经死亡,消防救援服务并没有起到拯救乘员生命的作用。日本那霸机场火灾应答时间长达3分钟58秒,其中消防车在车库门前等待指挥的时间长达1分钟30秒,在随后的2分钟8秒内行驶了1860m到达事故地点^[8]。乘员疏散完毕后2分钟6秒后消防车才抵达事故地点。假设消防车没有等待1分钟30秒,应答时间从将会缩短至2分钟28秒,在这个假设的时间点上,乘员仍旧自行疏散完毕。

从《事故报告》的内容来看,从飞机起火到塔台发现火灾的1分多钟时间是消防救援不能及时赶到事故现场的重要因素,接警后的指挥混乱致使消防车空等1分30秒是另外一个重要因素。

在极端情况下,燃油火灾发生的同时机舱破裂,乘员的最长生存时间为1分钟,所以理想的应答时间应该是飞机起火内1分钟,如果这个目标难以实现的话,参考那霸机场发现火灾的时间1分钟及最长生存时间3分27秒,应答时间的目标应为2分钟。

我国现行规范《消防设施》规定应答时间为3分钟,建议修改成2分钟,以符合消防救援的实际需要。

4 机场设计中影响应答时间的因素分析

(1) 消防车性能

现行国家规范体系中缺失了机场消防车规范技术标准。在所有消防车类别中,机场消防车的性能具有特殊地位,在《消防车:通用技术标准》GB 7956.1-2014中规定了消防车最高车速和0~60km/h加速时间^[9],但机场消防车除外。对于机场消防车

性能参数做出规定的规范仅《民用航空运输机场消防站装备配备》MH/T 7002-2006(以下简称《装备配备》),《装备配备》中规定了4种消防车:快速调度车、主力消防车、重型消防车以及中型消防车。其中,对快速调度车、主力消防车的起步加速度和最高速度做出了具体规定,没有规定制动时间。《装备配备》对于重型消防车及中型消防车没有提出速度方面的要求,这两种消防车的定义最后在《消防车消防性能要求和试验方法》GB 7956-1998中出现,随着此规范的作废,这两种消防车在所有规范中均无技术参数要求。市场上中型、重型消防车种类繁多,性能各异,这给机场消防救援设计,采购和运营带来了很多不确定性。

《装备配备》在2006年正式实施,距今已经14年。在这14年中,消防车相关技术也在不断发展,《装备配备》中对于消防车加速性能的要求在目前看来也稍显落后。美国规范体系中消防车性能规范主要是美国消防协会(National Fire Protection Association,简称NFPA)制定的第414部《航空器救援与消防车辆标准(Standard for Aircraft Rescue and Fire-Fighting Vehicles)》(以下简称NFPA 414),在这本规范中对不同水箱容量的机场消防车的各项指标做出了详细规定,表4摘录了一些与动力性能有关的参数。

从表4可以看出,对于机场消防车,不论是最高速度还是最大加速时间,NFPA 414的规定都要比《装备配备》要求严格而详细,从国外消防车参数来说也确实能够做到NFPA 414所要求的性能。

制定机场消防车的规范对机场消防救援知识体系有着重大的意义,建议及时制定相关规范并颁布实施。

表3 日本那霸机场火灾关键时间统计表

序号	阶段名称	时间	每阶段历时 (s)
1	飞机起火时间点	10:32:53	0
2	塔台发现火情时间点	10:33:58	65
3	接警时间	10:33:58~10:35:15	77
4	指挥人员调度消防车时间	10:33:58~10:34:27	29
5	消防车出库时间	10:34:47	20
6	消防车在车库门前等待时间	10:36:17	90
7	消防车行驶到事故地点并喷射灭火剂时间	10:38:25	128
8	报告中应答时间计算	10:34:27~10:38:25	238
9	从火灾发生到开始灭火时间计算	10:32:53~10:38:25	392
10	从火灾发生到乘员疏散完毕时间计算	10:32:53~10:36:20	207

表4 NFPA414中规定的消防车的最低可用性^[10]

性能参数	最低可用性		
	454L ≤ V ≤ 1999L	1999L < V ≤ 6000L	V > 6000L
0~80.5km/h最大加速时间 (s)	30	25	35
最高车速 (km/h)	≥113	≥113	≥113
33km/h制动距离 (m)	≤11	≤11	≤12
64km/h制动距离 (m)	≤40	≤40	≤49
初速度64km/h时应急制动距离 (m)	≤88	≤88	≤88
侧倾稳定性(°)	≥30	≥30	≥30
转弯半径30m的稳定速度 (km/h)	≥40	≥35.5	≥35.5
麋鹿测试(避障)速度(km/h)	≥40	≥40	≥40
46m 半径“J”转弯速度(km/h)	≥48	≥48	≥48

(2) 消防站的选址

消防站的选址是影响应答时间的重要因素。消防车水箱内存有大量的水,在转弯时容易发生倾覆,故在选择消防站的位置时,首先要考虑消防车在尽量少转弯的情况下到达飞行区的任意一点。一般情况下,消防车的运动可以简化成匀加速—匀速—匀减速运动。图2模拟了最高时速110km/h的主力消防车在直路段的行驶情况。图3模拟了消防车行驶380m后需要转弯一次的速度变化情况。可以明显看出,车辆性能相当的情况下,在相同的时间内增加一次转弯,车辆行驶的距离明显变短。

(3) 消防人员技能提升

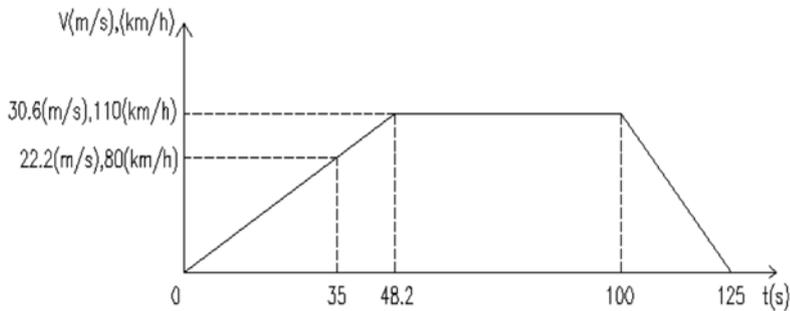


图2 消防车在直路段行驶速度变化情况

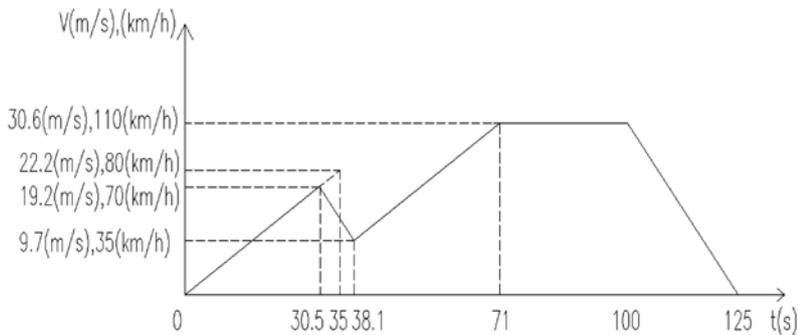


图3 消防车一次转弯行驶速度变化情况

从《事故报告》来看,对于消防车从接警到出库时间日本在2007年就已经能做到20秒。我国民航局文件在2012年6月印发的《民用航空运输机场消防站管理规定》中规定:机场消防站执勤人员听到出动信号后,应迅速出动,消防车从接警到驶离车库时间不得超过1分钟^[11]。笔者近年来在国内一些机场调查结果表明,我国部分民用运输机场出动时间在45秒到1分钟之间,这与国外存在较大差距,消防人员技能提升也是减少应答时间的一个重要手段。

(4) 资源最大化利用

《事故报告》在消防救援方面给出的最大经验就是资源最大化利用在应急消防救援中起着至关重要的作用。在这起事故中,存在着大量的混乱场景:滑行的JTA602飞机与2号消防车相互干扰;2号消防车两次呼叫塔台才得到明确的指示;5、6号消防车快速出库后在车库门口停留了90秒,接警时间长达77秒等等,这一系列的混乱造成了应急消防救援的不及时。

实战火灾不同于演习,演习目标是明确的,消防车接警后会立即出动,机场各部门也相互配合。而在实战火灾为突发的,甚至是毫无征兆的,在短时间内会制造大量的混乱。我国目前在大力发展四型机场,在《中国民航四型机场建设行动纲要》(2020—2025年)中提到:“健全应急工作制度,理顺应急工作管理体制,强化工作机制,完善应急预案,补齐应急处置

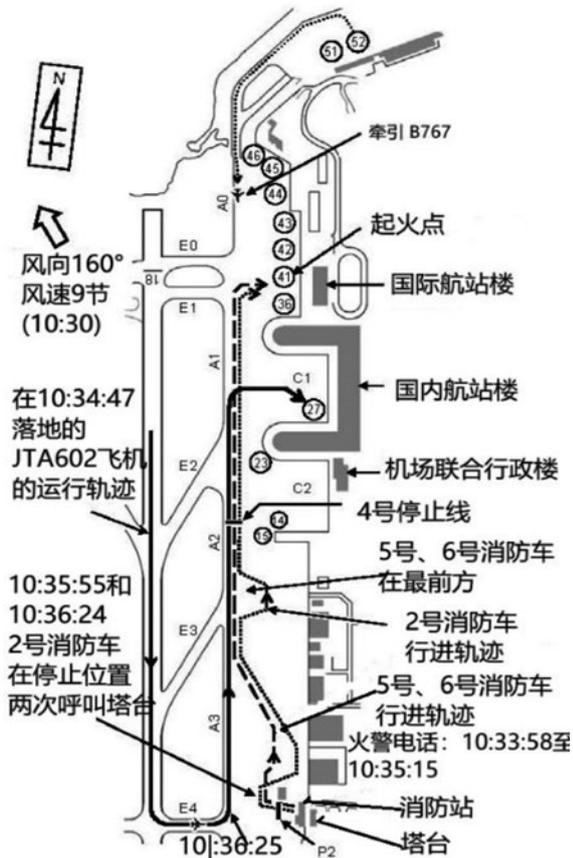


图4 日本那霸机场事故时间消防车及飞机的行进路径^[8]

短板,全面构建与行业特点相适应的机场应急管理体系,提高在事故灾难、自然灾害及公共卫生、社会安全等不安全事件发生时的应急处置能力^[12]。”无论是健全工作制度,还是晚上应急预案都是在实现资源最大化整合,使应急消防救援不再是消防部门一个部门的工作,避免在实战过程中发生不必要的混乱。

5 结语

应答时间在机场消防设计中是需要着重解决的问题,本文通过对比中国、国际民航组织与美国规范的相关规定,结合实际事故案例分析了应答时间的由来以及影响因素。在我国现行规范体系中,存在着较多模糊地带亟待完善。

在我国全面建设四型机场的背景下,需要完善消防救援领域的理论基础研究,补齐规范的短板,从而更好的规范行业发展。

参考文献

- [1] International Air Transport Association, "Safety Report 2019" Issued April 2020, Edition 56;
- [2] 《民用航空运输机场飞行区消防设施》MH/T 7015—2007;
- [3] 国际民用航空组织(ICAO),《国际民用航空公约附件14—机场》,第1卷,第八版,国际民用航空组织,2018年7月;
- [4] National Fire Protection Association, "Standard for Aircraft Rescue and Fire-Fighting Services at Airports," NFPA 403, 2018;
- [5] U.S. Federal Register, "Part 139—Certification of Airports", Amendment No. 139-26 Code of federal regulations February 10, 2004;
- [6] Geyer, G.B., Effect of Ground Crash Fire on Aircraft Fuselage Integrity, "Report No NA-69-37(Replaced RD-69-46), U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, December 1969;
- [7] Lindemann, T, "Aircraft Fire Fighting in Three Minutes or Less," Industrial Fire World, Vol. 5, No. 1, January—March 1990, pp. 6, 22—24;
- [8] 日本运输安全委员会,《航空事故调查报告》AA2009—17, 2019年8月28日;
- [9] 《消防车:通用技术标准》GB 7956.1—2014;
- [10] Standard for Aircraft Rescue and Fire-Fighting Vehicles;
- [11] 《民用航空运输机场消防站管理规定》民航发[2012]58号;
- [12] 《中国民航四型机场建设行动纲要》(2020—2035年)。

某疫苗车间给水排水及消防系统改造设计探讨

■ 吴文熙 王艳 郑长华 [给排水]

摘要: 给水排水和消防体系的设计和建设实施与整个洁净厂房的生产安全及工作便利息息相关。本文以某疫苗车间项目改造为例,对比原通用厂房设计思路,分析了医药工业洁净厂房改扩建前设计需注意的问题,避免工艺改造中给水排水和消防系统设计出现较大的调整,造成经济损失。

关键词: 医药工业; 洁净厂房; 给水排水设计; 消防设计

0 引言

近年来,随着人们对健康问题的日益重视,药物的品种多样性和需求量均在逐渐增加^[1],医药工业洁净厂房的环境、设备等配套要求也更加严格。为了满足最新的GMP认证,此类厂房的改扩建工程不断增多。一方面,水既作为稀释剂、溶剂及药品的主要成分,又是清洗设备的主要用品,在制药工业中消耗较大,同时生产过程中会产生有毒有害废水,因此,医药工业洁净厂房的给水排水设计十分重要^[2]。另一方面,由于工艺及洁净的要求,医药工业洁净厂房存在较多狭窄曲折的通道和密闭空间,对火灾时消防设备的快速响应和消防员无死角扑救工作要求很高,故消防系统的设计需考虑较多因素^[3]。

本文以某疫苗车间项目改造为例,结合规范,对比原通用厂房设计思路,分析医药工业洁净厂房改扩建前设计需注意的问题,避免工艺改

造中给水排水及消防系统设计出现较大的调整,造成经济损失。

1 项目概况

1.1 建筑概况

本项目位于北京市昌平区,为疫苗车间改造项目,建筑类别为高层丙类厂房,耐火等级一级,原建筑分为南区 and 北区。南区主体部分室外设计地面至结构板顶最低点高度26.3m,地上4层,地下2层。此次改造范围包括原建筑南区1~3层的局部,新增水痘原液车间、分包装车间以及配套设备站房等,改造区域建筑面积为11258m²。

1.2 设计范围

本次设计主要包含改造区内部给水工程、排水工程及消防给水工程。给水工程包括生产、生活给水系统,纯化水系统,注射水系统以及循环冷却水系统;排水工程为生产废水系统;消防给水工程包括消火栓给水系统、自动喷水灭火系统及建筑灭火器配置。未改造部分和未涉及系统以原设计方

作者简介: 吴文熙,男,助理工程师,2018年毕业于北京建筑大学建筑与土木工程专业,现就职于航空工业规划医药工程设计研究院。

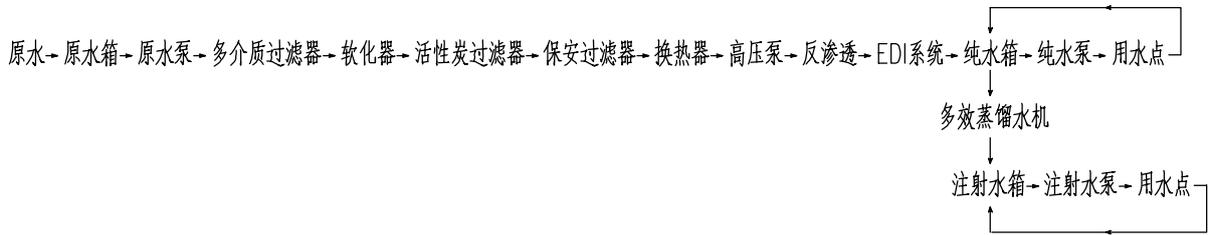


图2 纯化水、注射水给水系统主要流程图

506.65m³/d（包含制备纯化水、注射水所需水量232.02m³/d和冷却塔补水水量235.68m³/d）。预留生产给水系统出口管径和水压均满足改造需求，但考虑到生产给水系统加压设备需安全可靠，根据北京市相关规定，医药厂房不宜采用无负压装置加压供水，需对生产给水加压设备进行改造。经考察发现，市政供水压力不稳定，而工艺设备对

水压的要求较高，因此改造区域内生产给水不宜市政直供，1~3层均采用水箱水泵联合供水方案。为方便后期成本费用的核算，本次改造在厂房生产给水管道入口处设水表计量，动力站房给水、冷却塔补水、空调机房用水同样设置水表计量，制水间设电磁流量计单独计量。参考《建筑给水排水设计规范》GB 50015-2003（2009年版）中当给水管道系统上接有害有毒设备时应设置倒流防止器的规定^[4]，每层有毒区给水管道入口处均设置倒流防止器，避免有毒区工艺设备给水倒流污染整个系统。

2.2 纯化水、注射水给水系统

本次改造新增纯化水、注射水给水系统。为方便制水设备运输、安装和检修，制水间设在厂房一层靠外墙处。经核算，该房间层高6.5m满足需求，楼板结构需加固至均布荷载3T/m²，原自然通风改为机械通风，换气次数按照8~12次/h考虑。由于房间无降板，设备放置处需做高度100mm的基础承台以便设计排水沟。设备安装时需先将部分外墙凿开，待设备调试完成后再行砌筑。制水间的平面布置见图1。

纯化水制备的主要流程为单级反渗透加EDI，出水电阻率大于5MΩ·cm，注射水由纯化水经多效蒸馏水机制取。纯化水和注射水的产水量分别为12m³/h和5m³/h。整套系统为循环系统，保持一定的流速以防微生物繁殖及毒素积累，同时设置抽样检查接口，方便随时抽查水质情况，其主

表1 生产废水排放方案

废水种类	无毒区	有毒区
清洗废水	市政管网	先排至废液灭活间，处理后排至污水处理机房
工艺废水	污水处理机房	
高温废水（含有压）	室外降温池	
酸碱废水	先排至酸碱中和池，处理后排至污水处理机房	

要流程见图2。

由于厂房每层工艺用水点较多，且洁净区分为有毒区和无毒区，为有效保证水质不受其他系统的污染，同时考虑到经济性和可靠性，方便维护和检修。纯化水分配系统按照楼层划分为3套，1~3层水量依次为6m³/h、12m³/h和12m³/h，总用水量为128.9m³/d（包含制备注射水所需水量75.90m³/d）；注射水参考楼层和有毒、无毒区域分为5套，水量依次为3m³/h（1层）、11m³/h（2层无毒区）、12m³/h（2层有毒区）、11m³/h（3层无毒区）和12m³/h（3层有毒区），总用水量为66.00m³/d。

每个循环管路配备一台双端板结构卫生型壳管式换热器，主要用于管路巴氏消毒。每套分配系统管道总长度小于400m，循环回水流速不小于1.0m/s，使水处于“湍流状态”下流动，在不增加管道阻力与动力消耗的条件下，避免系统发生微生物污染的意外情况^[5]。

2.3 循环冷却水系统

为保障工艺用水点的水温满足使用需求，工艺设备和废液灭活设备能够在特定温度范围内正常运行，同时兼顾安全性和稳定性，本厂房内共设3套循环冷却水系统，补水量为4.14m³/h。

3套系统均包含屋面冷却塔一台和循环冷却水泵两台（一用一备）。系统一供有毒废水降温使用，水量为29.16m³/h，水泵位于地下2层废液灭活

间；系统二供低温注射用水点和制水间储罐降温使用，水量为 $119.65\text{m}^3/\text{h}$ ，水泵位于1层循环冷却水泵房；系统三供工艺设备降温用降温使用，水量为 $58.05\text{m}^3/\text{h}$ ，水泵位于1层循环冷却水泵房。为防止水质污染及结垢，每套循环冷却水系统设置滤元网式自清洗过滤器一台。

经核算，原屋面荷载不满足设备需求，应进行加固；且循环冷却水穿屋面管道未提前预留套管，故需重新开洞并修补防水层。

2.4 生产、生活排水系统

由于制药工艺的复杂性，其过程中生产的排水种类大致分为有毒排水和无毒排水，二者均包括清洗废水、工艺废水和高温废水。其中，无毒区还涉及酸碱废水的排放。

根据环评要求，经针对性处理后不同类别的废水方可排至市政管网。结合现场各工艺排水点的分布情况以及处理设备所在位置，排放方案见表1。

环评中规定屋面排污水不能进入雨水系统，因此屋面冷却塔排水与贴屋面敷设的废水管相接，单独排至污水处理机房，处理后进市政排水管网。

原设计中预留的废液灭活间和污水处理站房均在厂房东角。为保证工艺排水点按照标准坡度排入处理站房且不影响该层的层高，部分较长的管道需布置多根立管阶梯式排布，并躲开工艺降板区域。原设计中套管数量和位置均无法满足生产废水排放要求，此次设计需新增套管。考虑到地下1层东侧均为电气房间，东南侧为汽车坡道，标高变化较大，套管只能集中设置在西侧和西南侧来确保标高与室外管网顺利接驳。套管位置的局限性造成很多工艺排水点无法就近排出，增加了排水管道的长度，且存在排水不畅的风险。

2.5 消防系统

(1) 消防水源及消防设施

本工程水源为市政自来水，供水水质符合国家生活饮用水标准。原设计在地下2层设消防水泵房和消防蓄水池，在水泵房内设两台消火栓给水系统加压泵（一用一备）和3台自动喷水灭火系统加压泵（两用一备）。因为市政给水管网在生活用水量达到最大时仍能满足室外消防给水设计流量，故消防水池仅供室内消火栓和自动喷水灭火系统用水，有效容积 1080m^3 。

根据规范要求，在厂房屋面设有屋顶消防水箱，贮存火灾初期用水量，有效容积为 18m^3 ，并分别设消火栓系统和自动喷水灭火系统增压稳压装置

各一套^[6]。当消防系统增压稳压泵出口电接点压力表值为 0.22MPa （消火栓）、 0.15MPa （自喷）时稳压泵开启；当消防系统增压稳压泵出口电接点压力表值为 0.27MPa （消火栓）、 0.21MPa （自喷）时稳压泵停止。

经核算，原消防水池、高位水箱有效容积，消防水泵和稳压设备参数及控制等均满足本次改造要求。

(2) 室外消火栓系统

本建筑按高层丙类厂房设计，室外消防水量 40L/s ，火灾延续时间 3h ，均由室外市政管网供给。管道沿建筑周围环状敷设，管径为 $\text{DN}200$ ，环状管网上设置室外地下式消火栓。

(3) 室内消火栓系统

本建筑按高层丙类厂房设计，室内消火栓采用临时高压给水系统。水量为 30L/s ，火灾延续时间 3h ，由室内用消火栓管网供给。消火栓系统原设计采用竖向成环布置，共设置3套地下式消防水泵结合器，每套流量为 $10\sim 15\text{L/s}$ 。

由于工艺需求的增加，原竖向成环的立管和消火栓严重影响新的房间布局，除极少数布置在建筑外墙处的消火栓和两根立管外，其他消火栓和立管均需进行拆除。为满足《消防给水及消火栓系统技术规范》GB 50974-2014中保证室内任何一处均有两支水枪同时到达的消火栓布置要求^[6]，考虑位置明显、拿取方便、尽量放置在公共区域或者洁净走廊等诸类因素，针对工艺改造后厂房洁净区设计存在较多密闭房间和狭窄走廊的特点，消火栓密度需增加，横向成环的布置方案更加符合洁净厂房的使用需求。因为原竖向成环立管的拆除，4层的消火栓无法独立成环，需与改造后的系统重新连接，核算后供水压力也满足要求。

(4) 自动喷水灭火系统

按照规范《自动喷水灭火系统设计规范》GB 50084-2017设计，除不宜用水扑救的场所外，厂房设置自动喷水灭火系统^[7]。地上区域均为湿式系统，按照中危险级II级设计。该系统共设置5套地下式消防水泵结合器，每套流量为 $10\sim 15\text{L/s}$ 。

根据《洁净厂房设计规范》GB 50073-2013和《医药工业洁净厂房设计标准》GB 50457-2019中关于洁净厂房内设贵重仪器的房间需采用预作用式自动喷水灭火系统的规定^{[8][9]}，考虑到工艺改造后2~8冷库的新增和洁净区误喷的风险，厂房改造区域内自动喷水灭火系统均由湿式改为预作用式，地

下2层报警阀间内的报警阀也相应更换。

(5) 建筑灭火器配置

参考《建筑灭火器配置设计规范》GB 50140-2005 的要求, 厂房除电气房间外全部选用磷酸铵盐干粉灭火器, 每个消火栓箱处设置两具MF/ABC4手提式磷酸铵盐干粉灭火器, 电气房间选用二氧化碳灭火器^[10]。

3 项目前期的通用厂房设计要点

结合此项目的现状和改造情况, 医药工业洁净厂房项目前期的通用厂房设计, 需考虑以下几点:

(1) 给水系统预留生产支管接口时, 需充分考虑预留区的水量和水压, 选择合适的接口管径和给水加压泵; 考虑到安全可靠的特点, 生产给水系统加压设备不宜选用无负压装置。

(2) 排水系统预留出户套管应尽量充足, 套管位置需结合车道位置、降板区域和污水处理站房位置等因素考虑; 地下室需预留集水坑位置。

(3) 消火栓系统尽量采用横向成环的设计, 以避免改造某一层而影响其他层消火栓正常使用情况。

(4) 自动喷水灭火系统需预留预作用式报警阀和管道接口, 供改造区域的冷库和设有贵重仪器的房间使用。

(5) 设计中需提前考虑各工艺站房使用需求: 站房的位置是否便于设备运输、安装和检修; 站房和屋面冷却塔荷载是否满足设备运行要求; 站房是否需要降板来满足排水沟的深度要求; 污水处理设备或站房的位置是否方便厂房排水管的引入, 出水管与厂区管网的接驳。

虽然通用厂房中给水排水和消防系统的实际设计内容不多, 但是设计者仍需充分考虑工艺改造后各设备站房的特点与生产车间的水量等因素, 及时与建筑、结构等相关专业沟通, 避免后期深化设计时造成不必要的损失。

4 结语

医药工业洁净厂房的生产安全性、最终产品质量以及人员安全与给水排水系统和消防系统息息相关。基于此, 在面面对此类改扩建项目时, 设计师需认真执行相关规范, 结合国内外成功经验, 对各类系统进行合理的选型和布置。另外, 在面面对此类项

目前期的通用厂房设计时, 设计师也应兼顾工艺特点, 全面考虑, 尽量避免后期改造时工程的拆改和调整。

参考文献

- [1] 史智国, 等. 医药工业洁净厂房给排水及消防设计. 山西建筑, 2017, 43(2):121~122
- [2] 国家食品药品监督管理局药品认证管理中心. 药品GMP指南-厂房设施与设备[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2011:105-116, 139-140.
- [3] 郭洪涛, 等. 医药工业洁净厂房给排水及消防设计探讨. 住宅与房地产, 2019(22):97
- [4] GB 50015-2003建筑给水排水设计规范, 2009
- [5] GB 50913-2013 医药工艺用水系统设计规范, 2013
- [6] GB 50974-2014 消防给水及消火栓系统技术规范, 2014
- [7] GB 50084-2017 自动喷水灭火系统设计规范, 2017
- [8] GB 50073-2013 洁净厂房设计规范, 2013
- [9] GB 50457-2019 医药工业洁净厂房设计标准, 2019
- [10] GB 50140-2005 建筑灭火器配置设计规范, 2005

适用于数据中心的多台并列直配柴油发电机中性点接地及保护配置

■ 赵亮亮 高凤荣 [电气]

摘要: 本文的阐述基于一个由多台并列柴油发电机、高压电缆、降压变压器和高压电机构成的微电网系统。该微电网系统适用于数据中心、机场、采矿区或采油平台等场合。众所周知,发电机接地电容电流若超过限值很容易损害发电机定子绝缘。为此,本文介绍了一种柴油发电机中性点接地方案及微电网保护的配置方案,本文分析了该中性点接地形式、保护配置和主要保护的整定计算,并且此方案已在项目中实施运行并取得了良好运行结果。

关键词: 数据中心;微电网;柴油发电机;中性点高阻接地;接地保护

某铜矿区按照分离、浮选、冶炼和辅助工艺等不同的功能,可分为原矿区、破碎区、主工作区(浮选和冶炼)、脱水区、辅助区和电厂区。在每一个区设置了1~2台降压变压器,在主工作区安装2台高压同步电机。矿区距离城市很远无法从当地电网获得电能,因此在矿区内设置了由柴油发电机构成的电厂,再通过聚乙烯电缆向电机或变压器供电。

1 电气主接线

矿区生产线的运行时间是350天和每年的检修期为15天。依据负荷的统计数据 and 输送功率的损失,运行期最大负荷是8358kW和最小负荷是7706kW。而检修期,照明、消防泵和维修所用的负荷大约是600kW,考虑到柴油发电机在海拔1700m和40℃气象条件下降容,因此选择了8台额定功率为1600kW的柴油发电机,7用1备。

8台发电机分别连接到10.5kV母线 I 和母线 II 上,各功能区的变压器也分配到母线 I 和母线 II 上,正常运行时分段开关闭合,特殊情况时断开,如图1所示。

该微电网方案选用了高电阻接地方式,并没有选择低电阻接地、消弧线圈接地、接地变压器接地和不接地等其他接地方式,是因为当单相接地故障发生时,高电阻始终保持了一个较小的故障电流,可以减少定子绝缘的损坏。

图2是图1的简化,表示了一个2台发电机、3条电缆馈线以及一台发电机中性点通过电阻接地的微电网系统,其中2号馈线L1相发生单相接地故障。单相接地故障电流由通过发电机中性点的电阻电流和来自发电机、变压器、电缆和其他设备的电容电流构成。

在图1的微电网中,电缆总线长度大约为4.21km,在10.5kV段每km通过 $3 \times 70\text{m}^2$ 聚乙烯电缆的相接地电容电流为0.9A,考虑由发电机和变压器的提供20%附加电容,所以该系统的电容电流是4.5A。

$$I_c = 4.21 \times 0.9 \times 1.2 = 4.5 \quad (1)$$

微电网中电缆的增加是无法避免的,中性点通常使用消弧线圈或电阻器来削弱故障时电容电流的影响,同时零序保护的定值也很容易做到。倘若所有的发电机通过消弧线圈或电阻器接地,随着运行发电机台数的变化相接地故障电流也发生变化。

因此首先规定:“不管它是通过消弧线圈还是电阻器接地,运行的发电机中仅有一台中性

作者简介:赵亮亮,研究员,2004年毕业于天津大学电力系统及其自动化专业,现就职于航空工业规划市政工程设计研究院。

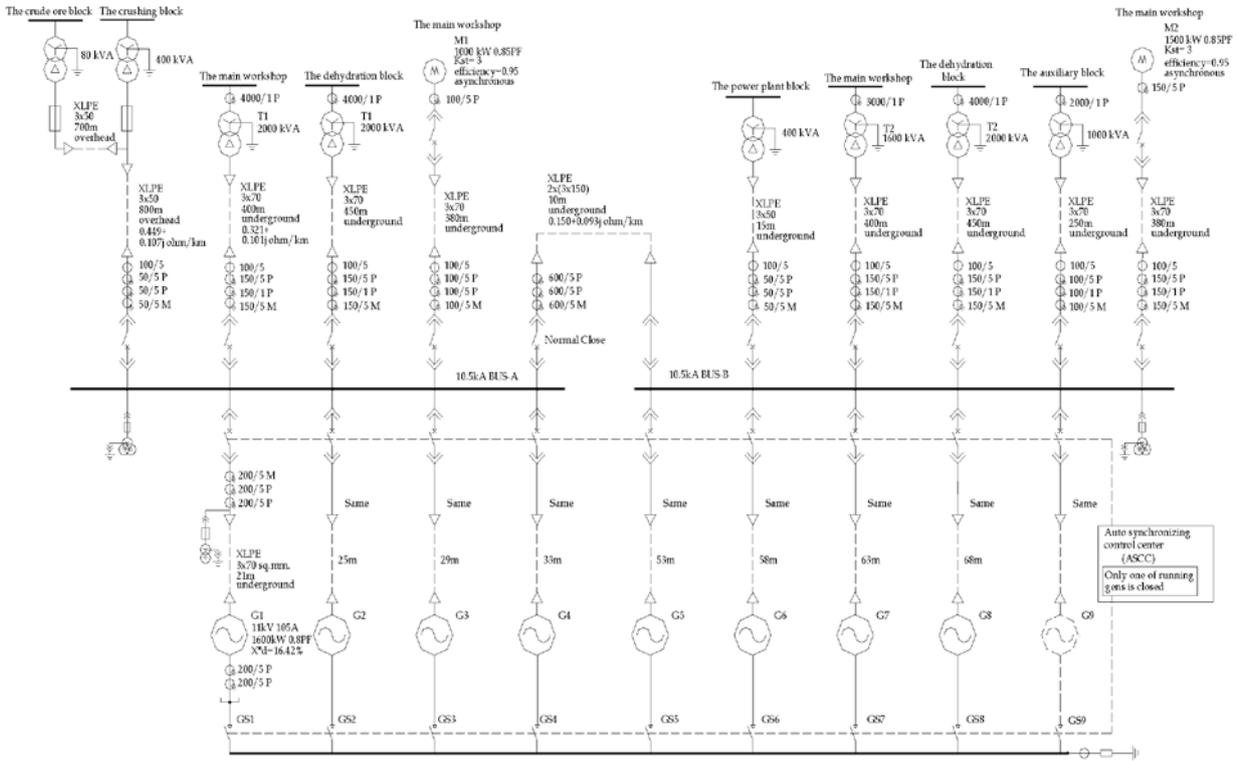


图1 主接线图

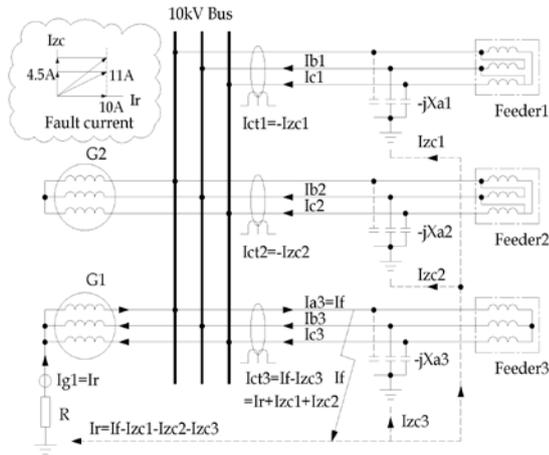


图2 中性接地方法和故障电流

点接地”。最终为什么选择电阻器接地，原因有两个：第一个是为避免发电机的定子绝缘发生损害，发电机允许的电容性接地故障电流的限制。第二个是随着电缆数量的增加，采用消弧线圈过补偿的系统电容电流容易逼近电感电流而产生并联谐振；采用消弧线圈欠补偿的系统使得消弧线

圈削弱电容电流的能力下降。相比之下，系统采用电阻接地时，只要电阻达到一个合理的值使得电阻电流在接地故障电流起主要作用，就很容易处理零序保护的设置并保持电弧接地故障维持再较小的水平上。

图2的云图为故障电流的向量图。显然，一旦电阻电流设定在10A时，就能够计算中性点的接地电阻值，如式2。

$$R = V_{an} I_r = 10.5/1.732/10 = 606\Omega \quad (2)$$

V_{an} 表示相电压； I_r 表示电阻电流；R表示中性电阻

除了接地电阻（NGR）设置为606Ω以外，为了保证运行的发电机中仅一台发电机接地，实践中通过发电机控制中心系统自动控制中性点侧电动隔离开关来实现这一目标。

2 保护配置

如图3所示，微网中的主要保护配置遵循以下保护功能：

- (1) 对发电机的保护方案：高频（81H）、

低频 (81L)、低电压 (27)、高电压 (59)、负序 (46)、差动 (87G)、逆功率 (32P)、定时限过电流 (50/51)、反时限过电流 (50/51)、接地过电流 (50/51N) 和非电量保护。

(2) 对1000kVA以上的变压器的保护方案: 差动 (87T)、过电流 (50/51)、接地过电流 (50/51GN) 和非电量保护。

(3) 对1000kVA以下的变压器的保护包括: 过电流 (50/51)、接地电流 (50/51N) 和非电量保护。

(4) 对高压电动机的保护方案: 过电流 (50/51)、接地电流 (50/51GN) 和非电量保护。

(5) 对母线和分段断路器的保护方案: 差动电流 (87B)。

运行的发电机中, 接地过电流 (50/51NN) 保护由发电机控制中心 (ASCC) 控制的中性点电动隔离开关的辅助常开触点通过NGR的CT获得检测电流, 其他运行的不接地的发电机通过该隔离开关的辅助常闭接点闭锁CT不获得检测电流。也就是说, 尽管所有的发电机做了接地过电流保护, 仅继电器检测的故障电流在到达设定的时间后发电机发出跳机命令。

3 故障电流的计算

在电力系统中, 过电流保护的配置需要根据保护定值和时间两个方面进行整定。在本微电网中, 故障电流的计算需要以下前提和假设。

(1) 考虑电网中电缆的电阻;

(2) 两相超瞬态电流是三相超瞬态电流的0.866倍是: $I''_{k2} = 0.866 I''_{k3}$;

(3) 当故障发生在远离发电机时, 在两相稳态故障电流是三相稳态故障电流的0.866倍, $I_{k2} = 0.866 * I_{k3}^{[2]}$;

(4) 运行中的电动机在故障发生时会对故障点提供一定的反馈电流。

此外, 保护整定计算需要计算最大、最小运行方式的故障电流。当最大与最小故障电流有比较大的差异时, 由于灵敏度和保护范围没有达到要求, 因此很难计算保护设置值。例如该微电网就是一个很好的例子, 从1到8的发电机有8种运行方式。

当一台发电机运转时, 仅2000kVA及以下的变压器可能被使用。发电机出口的三相故障电流的

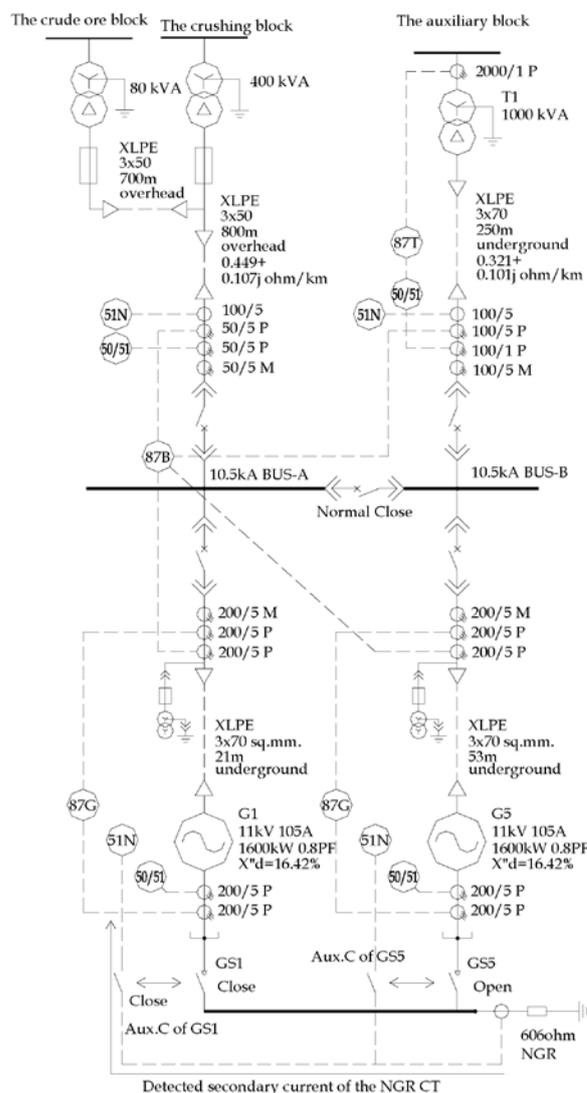


图3 保护配置

初始值为639A, 1000kVA及以上的变压器的瞬时过电流保护在如此小的故障电流下不能满足灵敏度的需求, 因此替代过电流保护, 选择的差动电流保护作为主保护, 以便提高主保护的灵敏度。

在辅助区的1000kVA变压器的基本参数参考表1。表2中柴油发电机厂提供的发电机出口的短路电流的按衰减时间0.00s、0.02s~0.9s分别给出, 例如在0.00s为639A, 在0.02s为593A, 在0.9s为226A。

T表示衰减时间; G_{en} 表示一个出口的3-相短路电流; MVA表示短路功率; Z_{LG} 表示发电机母线间的电缆阻值; M1和M2分表示故障发生时电动机1和2的反馈电流。 I_{fit} 表示母线故障位置的三相

表1 辅助区的变压器的技术参数

Item	Value	Unit	Comments
S	1000	kVA	
VCTR	D, yn11	-	
IrateH	55.0	A	Primary side of T
IrateL	1443.4	A	Secondary side of T
InH	0.5499	A	CT secondary
Iref	0.7217	A	CT secondary
I ^{''} 1k3min	638.5	A	

表2 最小故障电流下的短路电流 (1台发电机运行时)

T	Gen	MVA	ZLG	M1	M2	I _{flt}
0.00	639	11.62	0.0071	0	0	638.5
0.02	593	10.78	0.0071	0	0	592.6
0.04	560	10.18	0.0071	0	0	559.6
0.10	500	9.09	0.0071	0	0	499.7
0.20	441	8.02	0.0071	0	0	440.8
0.40	356	6.47	0.0071	0	0	355.9
0.90	226	4.11	0.0071	0	0	225.9

故障电流。

从表1、表2看，差动电流的瞬时值的计算方法：

$$I_{diff} \gg = (5 \sim 6) \times I_{ref} = 5 \times 0.7217 = 3.61 \quad (3)$$

I_{ref} 是指在变压器低侧边的电流互感器的二次电流参考值。

然而，由于 K_m 小于安全值，所以它的灵敏度是不够的。

$$\begin{aligned} K_m &= (I''_{1k2min} / n_{1diff}) / I_{diff} \gg \\ &= (0.866 \times I''_{1k3min} / n_{1diff}) / I_{diff} \gg \\ &= (0.866 \times 638.52 / 100) / 3.7 = 1.49 < 2.0 \end{aligned} \quad (4)$$

I''_{1k2min} 和 I''_{1k3min} 是指在变压器馈线出口处的瞬时两相故障电流和瞬时三相故障电流； n_{diff} 是指差动电流保护高压侧的CT比值。

同样当一台发电机运行时，T型接线分别原矿区80kVA变压器和碎块区400kVA变压器的瞬时过电流保护也不能满足灵敏度的要求。通过计算，瞬时过电流保护灵敏度为1.04小于灵敏度1.5要求。而过电流保护灵敏度为3.92大于灵敏度1.5的要求。从而得出结论，当1台发电机向变压器供电运行时，应该尽量避免这种主保护灵敏度低的运行方式。

根据发电厂提供的发电机数据，在电压下降5%、功率因数为0.4的发电机空载启动能力为531kVA。启动1000kw的电机需要这样5台运行的发电机，所以2台发电机运行时，高压电机不能

启动，在故障发生时也不能向故障点提供反馈电流。当8台电动机运行时电机则可以提供。

例如，从电厂到破碎区、再到原矿区变压器的电缆敷设距离为1.5km，采用了T型接线，如图1所示。表3和表4分别是最小、最大运行方式下的故障短路电流。表5是轴头线的基本参数。

表3 最小故障短路电流 (2台发电机运行)

T	Gen	M1	M2	I_f	Z_L	I_{fp}	Z_T	I_{fs}	I_{fs}'
0.00	639	0	0	1276	0.37	1186	11.0	9857	376
0.02	593	0	0	1184	0.37	1106	11.0	9637	367
0.04	560	0	0	1118	0.37	1049	11.0	9465	361
0.10	500	0	0	998	0.37	943	11.0	9112	347
0.20	441	0	0	881	0.37	837	11.0	8708	332
0.40	356	0	0	711	0.37	682	11.0	7991	304
0.90	226	0	0	451	0.37	440	11.0	6413	244

表4 最大故障短路电流 (8台发电机运行)

T	Gen	M1	M2	I_f	Z_L	I_{fp}	Z_T	I_{fs}	I_{fs}'
0.00	639	204	306	5592	0.37	4188	11.0	12643	482
0.02	593	204	306	5229	0.37	3981	11.0	12551	478
0.04	560	204	306	4967	0.37	3827	11.0	12477	475
0.10	500	204	306	4492	0.37	3539	11.0	12320	469
0.20	441	204	306	4024	0.37	3241	11.0	12130	462
0.40	356	204	306	3349	0.37	2788	11.0	11762	448
0.90	226	204	306	2315	0.37	2032	11.0	10786	411

接表2， Z_L 表示母线至变压器之间的阻抗； Z_T 表示变压器的阻抗； I_{fp} 和 I_{fs} 分别表示变压器一次侧和二次侧的故障电流值， I_{fs} 表示二次侧转换到一次侧的故障电流值；在最大最小运行方式下， I_{fs} 分别由 I''_{3k3max} 和 I_{3k3} 表示。

表5 是T型接线的基本参数

Item	Value	Unit
NAME	The crushing block	
I_{rateH}	21.99	A
I_{rateL}	577.37	A
NAME	The crude oil block	
I_{rateH}	4.40	A
I_{rateL}	115.47	A
I_{maxL}	26.39	A
I_{nH}	2.64	A
I''_{1k3min}	1276	A
I_{3k3min}	244	A
I''_{3k3max}	482	A

从公式5~8中,相过电流保护的计算设置值在确定时间有可靠的灵敏度,在CT的二次侧的设置是53A(0s),3.5A(0.5S)。

$$I_{dtoc1} = K_{rel} K_c I''_{3k3gmax} / n_{1ph} = 53A$$

$$K_m = I''_{1k2min} / I_{dtoc1} / n_{1ph} = 2.09 > 1.5$$

$$I_{dtoc2} = K_{rel} K_c K_{ol} I''_{maxL} / (K_{rel} n_{1ph}) = 3.5A$$

$$K_m = I_{3k2min} / (I_{dtoc2} n_{1ph}) = 6.05 > 1.5$$

过电流保护配合主要通过协调上下级保护的电流和时间的整定值来进行。首先,整定电流的协调。上下级保护装置电流整定值是源于故障电流随着电源点和故障点之间的阻抗值的不同而改变,设置适当的整定值即能到达运行时不动作而故障发生接近整定电流值时能切断故障。其次,脱扣时间的协调。在一定的时间点上,系统中的每一个保护都能检测到故障电流而开始启动,通过控制不同的整定时间,能确保接近故障的断路器首先断开而排除故障电流。第三,综合电流和时间的协调。例如:所有变压器或电动机馈线出口的接地过电流设置值均为4A(0.4s),发电机和母线分段开关的设置值是6A(0.6s)。所有过电流保护均设置为定时限过电流保护,10.5kV母线上游和下游之间保护配合主要为馈线侧时间为0.6s和发电侧时间为0.8s。

在微电网的调试中,保护装置的整定值必须正确。因为在建设过程中或多或少会产生各种人为错误,微电网一旦带电并向故障的设备送电,相关的保护必须能够迅速地检测并通过断路器切断它,以便保护设备和人身安全。例如:在调试过程中,主工作区的第2台变压器第一次送电发生了故障,差动保护动作跳闸。后来发现是因为主工作区的第1台变压器已经送电完成,而第2台变压器的布置与第一台成对称布置,施工人员错误的将L3相导体认为是接地线接入变压器二次侧的N排上。正是保护定值设置正确,才避免了设备的损坏。

4 结论

对于由多台直配发电机、电缆、降压变压器和电动机组成的微电网,本文中对接地实施方面和保护配置做了如下总结。

(1) 本文介绍的多台并列柴油发电机构成的微电网系统适用于数据中心、机场、采矿区或采油平台等。

(2) 在微电网中,为了降低弧光接地故障,高电阻接地是一种可行的有效的解决办法。

(3) 通过发电机控制系统的控制,在每个发电机中性点设有一个电动隔离开关,能保证运行发电机中仅有一台发电机通过高电阻接地。

(4) 以上两条是非常重要的,在这种前提下,保护配置方案和设置都是很容易做的。

参考文献

- [1] IEEE Guide for Generator Ground Protection, ANSI C37.101-1993
- [2] China Aviation Planning Design Institute, Handbook of industrial and civil distribution power design, The third edition 2005.10 152-153
- [3] AREVA Group. Network protection & automation guide. The third edition 2002.06 288-289
- [4] Alan L. Sheldrake. Handbook of electrical engineering for practitioners in the oil, gas and petrochemical industry. (In Chinese by Sun hongcheng, Ma xin, Wang tonghao), 2006.1 259-260.
- [5] Marek Fulczyk, Joachim Bertsch. Ground-fault currents in unit-connected generators with different elements grounding neutral. IEEE transactions on energy converseon, Vol.17, No.1, March 2002 66.
- [6] Zhang qixue, Wang weijian, Wang xiangheng Proper selection of neutral grounding resistor of the large-sized hydro-generator in Three Gorges Power Plant. Vol33 No15 Aug. 1, 2005 5-8
- [7] David Muray, John Dickin, Robert Hanna, Tom Morin. High resistance grounding-avoiding unnecessary pitfalls.PCIC-2007-4 7.
- [8] John P.Nelson, Pankaj K. Sen. High resistance grounding of low voltage systems; a standard for the petroleum and chemical industry. PCIC-96-03, 25.
- [9] Yin jiangang, Peng feng, Wang weijian. Rational selection of generator neutral grounding scheme. Vol.2 No.4 Dec. 2001 67-90.

燃油试验厂房电气设计要点

■ 蓝娟 [电气]

摘要: 本文对飞机燃油试验厂房电气系统进行了介绍,结合已完成的多个施工图设计,将燃油系统实验室的主要供配电、电气防爆、中频配电、直流配电、接地防雷设计要点进行阐述,有利于对此类建筑项目的进一步研究。

关键词: 燃油试验;电气防爆;中频配电;直流配电;防雷接地

1 燃油供电设计要求

飞机燃油试验厂房是飞机设计过程中重要的专用试验室之一,根据飞机燃油系统试验的功能,厂房的工艺布局一般分为试验大厅及附楼。飞机燃油试验厂房其电气系统有以下3个特点:

(1) 试验大厅为本项目燃油试验间和试验大厅划分为爆炸性气体危险区域2区,危险介质主要为航空煤油;

(2) 液压泵间、真空泵间、循环水泵、引气模拟间等为大功率集中设备机房,也是该类厂房的主要用电负荷;

(3) 试验设备对特种电源的需求,如400Hz中频电源,和28.5V直流电源。

2 燃油试验厂房供电系统

2.1 变电站设计

经过负荷计算,合理选择变压器容量及台数。根据燃油实验室的工艺特点变电站应靠近负荷中心,如真空泵间、液压泵间。真空泵间、液压泵

间为工艺设备房间,设计仅供电至该房间内即可。

2.2 功率因数补偿和谐波治理

在变配电所低压侧集中设置调谐型功率因数补偿装置,补偿后的功率因数达到0.9以上。功率因数补偿装置采用智9能型控制器,各组电容器自动循环投切(可转换为手动方式),设定(1)、(2)组保持投入作为基本补偿。

主要谐波源有特种电源等电力电子设备。真空泵间、液压泵间为工艺设备房间,设计仅供电至该房间内即可,需与工艺沟通是否采用变频控制等谐波源设备。

谐波治理根据项目具体情况可采用就地治理,和在变电站内集中治理。

2.3 电能计量

为便于实现能耗管理,供电系统设计上将照明负荷、空调负荷、风机负荷、水泵负荷以及办公照明插座等分回路供电,分类计量。

对于液压泵间、真空泵间、循环水泵、引气模拟间、等大功率集中设备机房,供电方式为变电站直接放射式供电,于变电站低压出线单元处装设多功能监控仪表进行电能计量;对于各层照明及办公插座等分散负荷,供电方式为变电站引出干线链式供电,于每层配电盘处装设多功能监控仪表进行电能计量。

作者简介:蓝娟,女,高级工程师,2006年毕业于哈尔滨工业大学电机与电气专业,现就职于航空工业规划技术发展中心。

本工程采用远传多功能监控仪表,并设计能源计量与智能管理系统,提高能耗管理水平。

3 燃油试验厂房配电系统

按照《爆炸危险环境电力装置设计规范》的有关要求,本项目燃油试验间和试验大厅划分为爆炸性气体危险区域2区:危险介质主要为航空煤油,区域内爆炸性气体混合物的组别为dIIA级T3组。

3.1 特种电源系统设计

3.1.1 中频(400Hz)电源容量的选择

以某燃油试验厂房为例,所带负荷为电机。考虑电动机的启动冲击,电源容量应满足试验工况中最恶劣的情况,多台电机同时启动。对于直接启动方式下中频电源容量的选择应为,各台电动机功率之和且不下于最大启动容量。

3.1.2 中频电源保护开关的选择

中频电源容量的选择是为了保证电机正常启动,中频电源后的保护开关整定值不应以中频电源的容量来整定,而是应以保护电机来设置。盲目按电源满载运行设定保护开关,既起不到保护作用,也无故将配电电缆放大很多造成浪费。

例如某项目中频电机台数共4台,分别为33kW两台,12kW一台,5kW一台,工艺专业给出启动电流为平时运行的4倍。计算如下:中频电源容量=33kW×4+33kW+12kW+5kW=182kW,故选择200kW容量中频电源。

中频电源开关的选择应注意,由于频率更高,引起更高损耗。在相同电流下,中频电流对于磁脱扣线圈上产生的磁效应明显高于工频电流,应对断路器保护动作电流进行修正或校验。结合断路器选型资料,对于热脱扣器修正系数K1,63A以下为0.95,80A以下为0.9。对于磁脱扣器的修正系数K2为1.6,校验电机的电流应躲开断路器动作电流,否则放大断路器磁脱扣动作值。

实例NSX100, TM16N,在50Hz时保护动作整定值为:Ir=16A, Im=63A。在400Hz是设定值为:Ir=16×0.95=15A, Im=40A。

3.1.3 中频电缆的选择

中频电缆截面积选择,可按50Hz时的载流量乘以校正系统kf,其值参考《工业与民用供配电设计手册(第四版)》第858页,表9.3-50选择。

3.1.4 28.5V直流系统的线缆选择

因28.5V直流系统,电压低,电流大,需考

虑线路敷设过长引起的电压偏差,计算公式如下:电压降简化计算公式:

$$\Delta u = \frac{2\rho_{\theta} \times P \times L}{U \times S} \quad (1)$$

电压降百分数简化计算公式:

$$u\% = \frac{\Delta u}{U} \times 100 = \frac{2\rho_{\theta} \times P \times L}{U^2 \times S} \times 100 \quad (2)$$

式(1)、式(2)为负载等效集中设置到线路末端的理想状态。

式中: P—线路功率(W);
L—线路长度(m);
U—标称电压(V);
S—线路截面(mm²);
 ρ_{θ} —工作温度 θ ℃时导线电阻率。

注:直流电阻计算公式依据《工业与民用供配电设计手册(第四版)》第861页。

式中,绞入系数 $C_j=1$,电阻温度系数 $\alpha=0.004$,

$\rho_{20}=0.0172$ ($\Omega \cdot \text{mm}^2$)/m,实际工作温度 $\theta=70$ ℃时,

铜导线电阻率 $\rho_{70}=0.02064$ ($\Omega \cdot \text{mm}^2$)/m。

3.2 试验大厅

试验大厅设置中心配电柜,按照工艺需求分别安装于用电设备附近。

事故风机的控制实现门里门外控制。

爆炸危险区域内电气设备防护组别的确定和安装应符合《爆炸危险环境电力装置设计规范》的有关规定。防爆房间内导体引向配电装置和用电设备接头部件前的管段处、直径50mm以上钢管距引入的接线箱450mm以内处、直径50mm以上钢管每距15m处以及防爆房间与相邻的其他危险环境或正常环境之间做隔离密封,密封内部用纤维做填充层的底层或者隔层,填充有效厚度必须大于钢管内径。供隔离密封用的连接部件,不应作为导线的连接或分线用。

4 燃油试验厂房接地、等电位联结、防静电及防雷设计

4.1 接地

防雷接地、保护接地、工作接地等各种接地系统共用接地装置,接地电阻不得大于1 Ω 。利用混凝土桩、柱基及基础梁内选定的两根水平主钢筋(埋深不小于0.5m)贯通焊接作为接地体,做法

参考国家标准图《接地装置安装》14D50/24页。

变电站、强弱电竖井、电子信息机房、消防控制室、各设备机房内均设置接地端子排，做法参考国家标准图《接地装置安装》14D504/42~43。

变电站接地端子排采用两根扁钢与接地体连接；电子信息机房接地端子排采用不小于 95mm^2 多股铜绞线与接地体连接；消防控制室接地端子排采用不小于 25mm^2 多股铜绞线与接地体连接。

每根通长敷设的金属物体，如电梯轨道、金属管道、吊车轨道、玻璃幕墙主龙骨等，其两端均应与接地装置可靠连接，长度超过30m时，每间隔不大于30m应再与接地干线连接。金属管道法兰连接时应采用专用跨接线跨接。

4.2 等电位联结

本建筑实施总等电位联结，利用基础梁内环形贯通焊接的接地主钢筋作为等电位联结干线，变电站、设备机房、电气竖井、管道井、生产车间等场所设置等电位联结端子箱，将建筑物配电系统保护干线，设备金属外壳、进出干管、电缆金属外皮、建筑物金属构件等进行等电位联结，参考国家标准图《等电位联结安装》15D502/13~17。

4.3 防静电设计

爆炸性气体危险场所入口处设置人体静电导放装置，要求与接地干线可靠连接；防爆房间内排除、输送有燃烧或爆炸危险气体的管道均应按做静电接地措施。在爆炸危险环境的电气设备的金属外壳、金属构架、安装在已接地金属结构上的设备、金属配线管及其配件、电缆保护管、电缆的金属护套等非带电的裸露金属部分，均应接地。引入爆炸危险环境的金属管道、配线的钢管、电缆的铠装及金属外壳，必须在危险区域的进口处接地。金属大门应接地。

室内设置环形等电位联结导体及端子排，各种金属构件、设备金属外壳（包括可移动设备）、进出的各种金属管道、防静电地板等均应就近与之可靠连接；弱电机房设置防静电地板，防静电地板接地做法参考国家标准图《接地装置安装》14D504/127~131。

5 防雷

根据《建筑物防雷设计规范》GB50057-2010

中第3.0.3条中第7款具有2区或22区爆炸危险场所的建筑物应化为第二类防雷建筑物，设置防直击雷、闪电感应、闪电电涌侵入和雷击电磁脉冲措施。

其中出屋面暖通风管的保护应引起重视。与暖通专业沟通满足第4.2.1条中的第三款条件。排放爆炸危险气体、蒸汽或粉尘的放散管、呼吸阀、排风管等，当其排放物达不到爆炸浓度、长期点火燃烧、一排放就点火燃烧，以及发生事故时排放物才达到爆炸浓度的通风管、安全阀，接闪器的保护范围应保护到管帽，无管帽时应保护到管口。故根据风管高出屋面高度，一般采用两种安装方式，一种风管抱箍安装接闪杆高出风管1m~2m，一种屋面设置接闪杆，保护高出屋面的大管径风管。

建筑用于接地、防雷及等电位联结的钢质导体均须预先热浸锌处理，并应按照当地质检站的要求进行施工及防腐处理。

6 结束语

本文结合已完成的多个燃油试验厂房设计项目将燃油系统的主要供配电、电气防爆、中频配电，直流配电，接地防雷设计进行要点总结，为此类建筑项目的设计提供参考。

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] GB50034-2013《建筑照明设计标准》[S]北京：中国建筑工业出版社，2013。
- [6] GB50058-2014《爆炸危险环境电力装置设计规范》[S]北京：中国计划出版社，2014。
- [7] GB50052-2009《低压配电设计规范》[S]北京：中国计划出版社，2009。
- [8] GB50052-2009《建筑物防雷设计规范》[S]北京：中国计划出版社，2009。

大型航空食品与地面服务厂区规划研究

——以大兴新机场东航航空食品与地面服务厂区为例

■ 张竞竞 王浩 赵硕 [民航工艺]

摘要: 本文对飞机燃油试验厂房电气系统进行了介绍,结合已完成的多个施工图设计,将燃油系统实验室的主要供配电、电气防爆、中频配电、直流配电、接地防雷设计要点进行阐述,有利于对此类建筑项目的进一步研究。

关键词: 燃油试验;电气防爆;中频配电;直流配电;防雷接地

航空食品与地面服务厂区别为用于航空食品生产及为航空公司或机场地面运行服务提供生产办公的场所。民航业务的特殊性使得上述厂区的规划设计需要满足特定的需求,以充分保障航空食品生产及地面服务工作的顺利进行。

1 规划要点

1.1 选址

航空食品厂区与地面服务两个厂区共同的特点是,其生产车辆均有进出机场空侧的需求。因此两个厂区的选址均应便于生产车辆便捷到达机场空侧道口。厂区距离进出空侧道口的距离越近,越能为提高生产效率提供便利。其次,航空食品厂区具有生产航空食品的功能,地面服务厂区都有为机场地面业务生产或供应食品的功能,如为延误旅客、机场地面工作人员供餐,为航站楼餐饮店面供应产品等。因此以上两个厂区应选在远离产生污染的区域,如集中的垃圾转运或处理场所,大型的污水处理场所等区域。第三,上述两个厂区均有接收外界生产原料的需求,因此其选址时应靠近来自其他区域的原料运输车辆行驶的市政道路。

1.2 用地出入口与道路设置

航空食品厂区的外部流线众多,主要有原料送货车辆流线,配餐车辆回收及出港流线,垃圾车

辆流线等;地面服务厂区同样有众多外部流线,主要有地面服务特种车辆进出厂区及车库流线,原料送货车辆流线,地面餐食运输车辆收发货流线,垃圾车辆流线等。考虑到上述车辆以中、大型货车为主,用地出入口与道路的设置应在道路宽度,转弯半径等关键数值的设置上首先应能满足上述车辆的行驶要求。

其次,航空食品厂区和地面服务厂区外部流线中,首要需分别保证航空食品车辆及地面服务特种车辆的运行安全和效率,因此用地出入口与道路的设置应在满足上述主要流线的基础上,尽量避免不同流线之间交叉和相互影响。

此外,还应该通过用地出入口和道路的合理设置,将人员流线与车辆流线分开,城市物流流线与进出空侧的物流流线分开,清洁物流及污染物流分开,从而最大限度地保障生产安全和卫生安全。

1.3 室外场地设置

航空食品与地面服务厂区的室外场地设置,主要应满足车辆停放及车辆运行两个主要功能要求。由于航空食品车长度一般在9.5~12.5m之间,高度在3.8m左右,地面服务车辆种类较多,包括有清水车,污水车,牵引车,摆渡车,行李传送车等,其车辆的尺寸与转弯半径均不尽相同,应根据实际运行车辆的种类、型号及车辆尺寸综合合理设置其停放场地。此外,在配餐车辆、收发货车辆需要停靠的站台周边,还应结合车辆的运行需要规划好车辆的运行场地,方便车辆的掉头,转弯,靠港等操作。

作者简介:张竞竞,女,高级工程师,2008年毕业于中国农业大学食品生物技术专业,现就职于中航建投民航工程设计研究院。

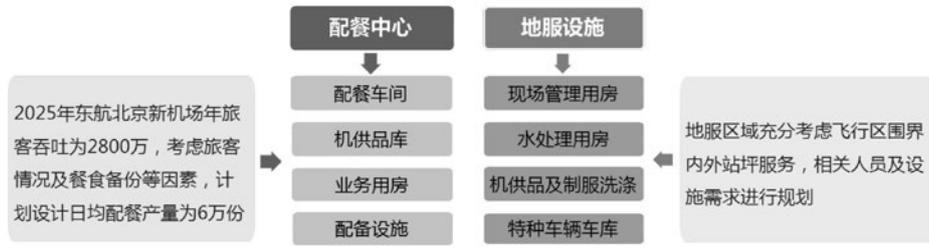


图2 建设需求分析

2 项目概况

本项目位于北京大兴新机场A-03-01地块，位于航站楼西北向，西一与东一跑道之间的西一跑道的东北端侧净空范围内，东南距航站楼约1.2km，用地东侧紧邻航站楼高架进场路辅路（主干二路）；用地北侧为市政次干二路；用地西侧为市政支八路；东、西、北三侧为机场规划道路，用地南侧为排洪明渠，南侧临近机场，西南角为规划的机场空陆侧出入口，周围交通便捷，与机场内外连接方便。该项目用地规划为综合生产用房工程。项目用地东西向宽度约为221.5m，南北向长约为317m~391m，用地面积80211.16m²。

根据民航局下发的《关于北京新机场航空公司基地建设方案有关事项的通知》，东航作为天合联盟成员集体搬迁至新机场，按照2025年承担北京新机场航空旅客业务量40%、2800万的目标进行基地建设。从东航战略规划发展出发，在北京新机场建设东航配套航空配餐生产保障设施及地面服务设施，以便迅速快捷地为东航提供航空配餐、机供品运送及相关地面服务保障。

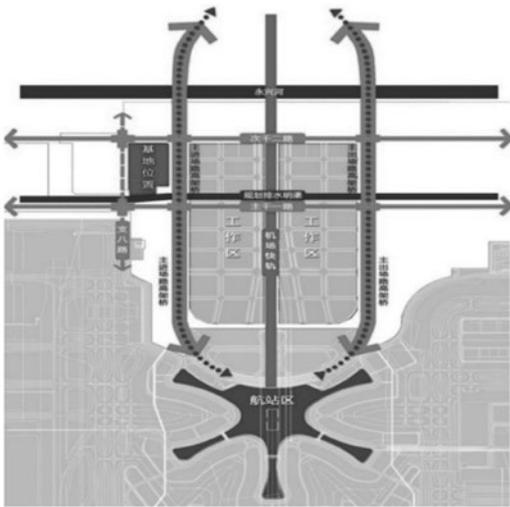


图1 项目位置示意图

3 建设需求分析

根据功能需求，该项目的主要建筑分为两类，配餐生产车间及其配套设施以及地面服务用房。其中，配餐生产车间及其配套设施应承担东航系航空公司航空配餐生产及机供品配备等相关工作，其配餐设施及设备配置应能保障航空食品的食品安全及食品卫生要求；地面服务用房主要用于为地服站坪相关人员、车辆提供设施保障，并提供机上用清水及桶装净水生产及机上供应品中毛毯、座椅套等的清洗、消毒服务。

4 整合功能，合理分区

航空食品生产和地面服务保障两类业务功能相对独立，因此应分别设置独立的生产场区。考地面服务保障场区有在机场空侧作业的要求，因此地面服务场区需要有一部分设置在机场的空侧。结合用地周边的道路及空陆侧条件，最终将用地划分为两个独立的部分：北侧为航空食品生产区，南侧为地面服务保障区。

北部的航空食品生产区地块占地43807m²，从北向南、从东向西依次布置有：1#配餐楼，3#配餐楼，13#污水处理站，4#机供品库，2#维修楼；用地东北角布置助动车停车棚和社会车辆停车位，南侧布置配餐车停车位，东侧布置航食、社会车辆出入口，设置9#门卫室，北侧布置航食主出入口，设置10#门卫室，西侧靠北布置货运车辆出入口，设置11#门卫室，西侧靠南布置航食配餐车辆出入口，设置12#门卫室，其临近机场空陆侧出入口。

南部的地面服务保障区地块占地36404.16m²，临近航食部分为陆侧，从北向南、从西向东依次布置有：5#综合厂房，6#特车库-业务楼，东侧布置地服主入口，设置8#门房，西侧靠北布置地服陆侧出入口。最南端为空侧，布置7#特种车库-洗涤车间，西侧靠南布置地服空侧出入口，直进机场

空区。用地陆侧布置特种车停车位，地面小汽车停车位，8#门房南侧布置助动车停车棚，空侧布置特种车停车位。

5 出入口设置

考虑到地面服务保障区和地面服务保障区两个地块独立运行，地块面积较大，航食地块设置3个对外出入口，地服地块设置两个对外出入口。出入口的功能设置跟服务区域和服务对象密切相关：航食地块出入口分为北侧设置在次干二路的主要出入口、设置在西侧支八路的航食车辆出入口和原料车辆出入口、设置在东侧主干二路的航食社会车辆和职工访客车辆出入口。其中西侧和东侧的出入口都通过绿化分隔的方式实现职工车辆与生产性车辆的分流，避免交通冲突的出现；地服地块的出入口分为设置在机场空侧的地服工作车辆出入口和主干二路的地服员工访客车辆、非机动车、社会车辆出入口。

6 外部流线设计

本项目的外部流线主要有航食进出港车辆流线、航食货物车辆流线、垃圾车辆流线、员工车辆流线、地服货物车辆流线、维修车辆流线及特种车辆流线。

航食进港车辆流线：航食进港车辆从南侧的卡口处向北侧从地块内部航食、地服围界入口进入航食地块，并通过1#、3#配餐车间中间的东西向过道后，分别向南北两侧行驶，到达1#、3#配餐车间的回收平台处。

航食出港车辆流线：航食进港车辆在回收平台处卸货完毕并清洗、消毒后，通过1#、3#配餐车间之间的东西向过道并分别向南、北两侧行驶，到达1#、3#配餐车间的出港平台处。

航食货物车辆流线：为4#机供品库运送货物的车辆从西侧入口进入地块后，向南行驶至4#机供品库的发货口进行卸货作业；为1#、3#运送货物的车辆从东侧入口进入地块，并向北侧行驶至1#、3#配餐车间的收货口进行卸货作业。

垃圾车辆流线：垃圾车辆从地块东侧入口进入后，向北侧行驶至1#、3#配餐车间的垃圾房内进进行垃圾的装载。

员工车辆流线：员工车辆分别从北侧、东侧入口进入航食地块，并就近进入地下停车场。



图3 外部流线及组成建筑示意图

地服货物车辆流线：地服货物车辆通过地服东侧的出入口入场区，分别前往5#地服综合厂房及6#特车库—业务楼装卸货物。

维修车辆流线：需要维修的内部车辆直接行驶至2#维修楼接受相应的维修工作。

特种车辆流线：特种车辆经过地服空侧出入口进入，一部分进入5#综合一层特种车辆库停放，另外一部分空侧车辆进入空侧地服区域的7#特车库—洗涤车间或空侧室外停放。

7 室外场地设计

在1#、3#配餐楼的西部回收平台、收货平台，东部出港平台外侧，4#机供品库北部收货平台外侧，5#地服综合厂房东部收货及发货平台外侧，6#北部收货平台及南部发货平台外侧，7#特车库—洗涤车间南部收发货平台外侧均设置了方便生产车辆运行的空间。

8 结束语

大型新机场东航航空食品与地面服务厂区的规划以当地规划限制条件和新机场规划要求为基础，充分结合用地外部道路条件，在科学合理分析的基础上，形成了最终的用地规划方案。该方案充分体现了航空食品与地面服务用地规划要点在实际项目中的体现，为东航在大型新机场航食及地面业务的开展提供了优良的硬件基础。

基于旅客心理的 航站楼餐饮设施规划要点

■ 张竞竞 [民航工艺]

摘要: 本文以航站楼旅客在不同区域的心理特点为主要考虑因素, 本文对全备餐厅, 快餐店, 咖啡吧、酒吧、小吃店3种类别的餐饮设施在航站楼中的位置规划给出了建议。

关键词: 航站楼; 餐饮设施; 旅客心理

航站楼的餐饮设施作为航站楼商业业态的具体组成部分, 为航站楼提供了可观的非航空收入来源。José I对西班牙8个机场航站楼37000余名顾客的消费行为进行调研, 表明无论是干线机场还是支线机场的旅客, 其对餐饮都有或多或少的需求^[1]。

航站楼内部餐饮设施主要服务于其内的来往旅客, 因此其位置设计需要与航站楼内旅客的流程相结合。航站楼旅客流程主要由出港流线、到港流线、国内航线旅客流线、国际航线旅客流线、迎送者及参观者流线4部分交叉组成^[2]。但航站楼在绝大部分旅客的行程中仅为一个交通工具的转换点, 因此无论是出发还是到达, 旅客在航站楼中的行为目的主要是尽量减少停留时间, 尽早离开航站楼。

1 航站楼餐饮设施的分类

按照餐饮设施所提供的服务功能划分, 航站



图1 首都国际机场T3航站楼内 星阳舫餐厅

楼内部餐饮设施有以下几种形式:

(1) 全备餐厅

此类餐厅一般为可提供单点服务餐厅。此类餐厅功能设施齐全, 含厨房和就餐区域两个主要部分, 冷餐、热餐、点心、饮料等一应俱全。这类餐厅一般由具有地方代表性和有影响力的餐馆经营, 不仅满足旅客和送行者的餐饮需求, 也能同时表现机场和地方特色, 例如北京首都国际机场T3航站楼内的星阳舫餐厅便属于此类。

(2) 快餐店

快餐店一般设置在陆侧行李提取厅外的迎客厅内, 其主要组成部分为一个简单的备餐间及就餐区, 可为旅客提供快捷的餐饮服务。麦当劳,

作者简介: 张竞竞, 女, 高级工程师, 2008年毕业于中国农业大学食品生物技术专业, 现就职于中航建投民航工程设计研究院。



图2 某机场航站楼内的中、西式快餐店



图3 某机场航站楼内的咖啡吧

真功夫等连锁餐饮店均属于此类。

(3) 咖啡吧、酒吧、小吃店

此类餐饮通常设置在空侧候机廊道内，供应的饮品、食品均不需要复杂的烹饪区域，占用场地面积很少，有些甚至不设置就餐区域。这类餐饮设施主要是为满足繁忙商务旅客的简单餐饮需求而设置。

2 航站楼旅客的心理特点

航站楼内部布局是充分考虑其内部旅客行动导向的结果。因此，旅客在航站楼内部的流线是航站楼内部餐饮设施位置设计的重要参考依据。

需要理论认为，动机的产生源于人的需要，人的行为由动机支配并指向特定目标。因此，旅客的需求心理决定其动机和行为。航站楼旅客的心理状态在一

定程度上影响到其对餐饮服务消费的欲望。因此，航站楼餐饮设施的位置设计应充分考虑到旅客在航站楼不同区域内的心理特点。

图4揭示了旅客在航站楼中随着时间的推移和行程变化，其心理兴奋度与紧张度的变化关系。从开始行程、到达机场、值机安检、到达空侧候机区域这一过程，旅客的心理兴奋度与紧张度一直处于同步上升的阶段；到达指定候机区域后到登机之前的等待时间里，旅客心理最为轻松，且其兴奋度维持在最高状态，紧张度最低是状态；随着旅客登机、飞行以至到达目的地机场后，随着行李认领申报、护照检查、出闸的行为进行，旅客心理兴奋度缓慢下降，心理紧张度也逐渐缓解^[3]。处在空侧的旅客处于心理放松期，则是进行餐饮消费的最佳时机。

3 航站楼不同区域的餐饮设施种类设计

相对于整个航站楼来说，其内部餐饮设施的布局有集中式和分散式两种。分散式是指在旅客通道或休息区进行餐饮设施的设置，常见于航站楼候机区域。上述兼有休息和提供餐饮服务的区域，可与周围候机区域结合设计，模糊就餐区的

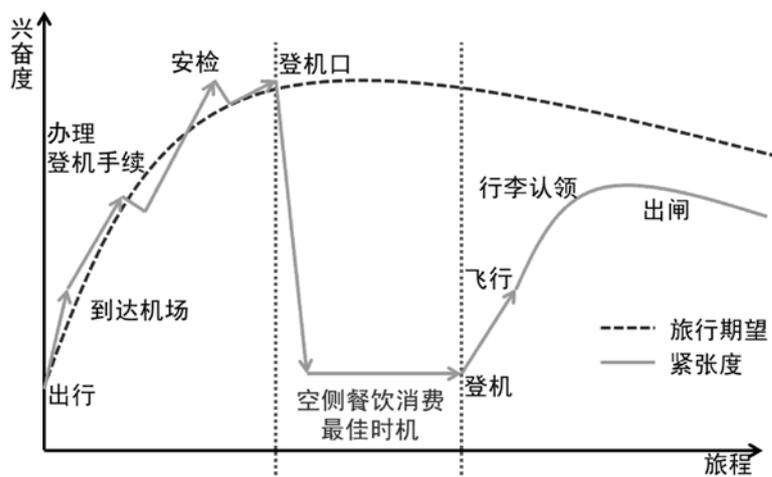


图4 航站楼旅客心理变化

界限,满足旅客在候机或行走之余的消费需求。

餐饮设施可以为航站楼的旅客带来便捷和愉悦的体验,但由于旅客的目的并非来航站楼进行餐饮消费。因此,餐饮设施的区域设置选择应实现与旅客在航站楼内活动流线结合的方式,将其设置在流线中的必经之处,让旅客在匆忙的流程间隙能方便的得到餐饮服务。

结合对旅客心理及行为特点的分析,对不同类型餐饮设施在航站楼内的位置设计如下。

(1) 出港大厅的餐饮设施种类设计

在出发大厅的旅客急于办理登机手续,注意力一般在航站楼的乘机服务以指示牌上,往往没有过多时间精力进行餐饮类消费,因此该处应以小吃店、便利店等类型的零售类业态餐饮设施为主。

考虑到餐饮设施对当地特色餐饮在航站楼的宣传作用,可将具有地方代表性和老字号影响力高的全备餐厅设置在出发大厅内。出发大厅内的全备餐厅,可服务于国内旅客及送客人员,为旅客与亲友、商务人士与合作伙伴等有时间进行话别的人群提供场所。

在办票柜台处,旅客专心办理登机手续,进行行李托运。办理手续之后旅客的下一环节为安检。因此安检附近区域可设置提供快捷简单餐饮的设施,如咖啡厅、酒吧、水吧、快餐店等。

(2) 候机区域的餐饮设施种类设计

安检前旅客的紧张心情在安检后得以舒缓。时间充裕的旅客在安检后往往会放松心情,并开始关注附近商业。当旅客到达登机口附近时,时间充裕的旅客或者是飞机晚点的旅客会选择附近的餐厅,从容不迫地进行就餐。餐饮设施在航站楼中的位置规划需要遵循方便消费的原则,即在指廊登机口附近布置餐饮设施,使餐厅也成为候机区^[4]。因此,安检后的候机厅范围内,可设置快餐餐厅及正餐餐厅,方便旅客进行就餐和休息,并满足等候时间不同的旅客对餐饮的需求。

1) 到港大厅的餐饮设施种类设计

到达旅客急于提取行李,前往行李大厅是首要任务,对途经商业关注度低,提取行李的旅客关注度在行李上,有很少部分旅客会有商业需求。部分提前到达的旅客会选择适当场所,如咖啡、甜品店,等待接送者到来。疲劳旅客会考虑就近餐饮店休息就餐,或选择饮料等休闲食品以缓解心情。

2) 中转区域的餐饮设施种类设计

在中转区内等待中转旅客,一般来说时间较为充裕。此处可设置咖啡店、正餐餐厅等对就餐时间要求比较充裕的形式。

参考文献

- [1] Castillomanzano, J.l., L. Lopezvalpuesta and A. Sanchezbraza, When the mall is in the airport: Measuring the effect of the airport mall on passengers' consumer behavior. *Journal of Air Transport Management*, 2018. 72: p. 32-38.
- [2] 张锋, 我国当代城市航站楼设计研究, 2016, 西安建筑科技大学.
- [3] 周懿与孙国城, 基于行为心理学的航站楼流程设计优化研究. *西安建筑科技大学学报(社会科学版)*, 2015. 34(06): 第66-71页.
- [4] 陈雄, 机场航站楼发展趋势及设计研究. *建筑学报*, 2008(05): 第72-76页.

数据中心间接蒸发制冷技术及大温差高温冷水技术

■ 赵磊 范强 (暖通)

摘要: 本文分析了间接蒸发制冷技术以及大温差高温冷水技术在数据中心中应用的背景,对间接蒸发制冷技术和大温差高温冷水技术分别进行了介绍。通过实际案例对间接蒸发制冷技术及大温差高温冷水技术在项目中的应用进行了分析,指出了间接蒸发制冷技术及大温差高温冷水技术在数据中心领域应用前景。

关键词: 数据中心; 间接蒸发制冷技术; 大温差; 高温冷水; PUE

0 引言

为顺应全世界数据化的大趋势,实施我国“互联网+”的行动计划,国内各行各业的计算量和数据存储量正呈现指数型增长之势^[1]。然而,数据存储、计算和应用集中化已是大势所趋,应运而生的数据中心以前所未有的速度发展。随着其数量与规模的增长,数据中心的能耗越来越不容忽视。在数据中心的能耗构成中,空调系统的能耗占数据中心总能耗的很大一部分,大约占到30%~50%,因此空调系统是当前数据中心提高能源效率的重点环节^[2,3]。

目前,中国的数据中心能耗普遍较高。随着数据中心的规模和数量越来越多,耗电量逐步增大。数据中心的高能耗,不仅给机构和企业带来了沉重的负担,也造成了全社会能源的巨大浪费,表1为近年来我国数据中心逐年的耗电量。

表1 我国数据中心逐年耗电量对比表

单位: 亿千瓦时	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年
耗电量	664.5	772.1	876.8	987.0	1108.0
增长	16.8%	16.2%	13.6%	12.6%	12.3%

因此,国家相关部门及地方政府对于数据中心行业的相关政策快速出台,简要列举如下:

(1) 2013年1月,工业和信息化部、国家发展改革委、国土资源部、电监会、能源局等五部委联合发布《关于数据中心建设布局的指导意见》,意见中指出“鼓励建设PUE值低于1.5的数据中心”。

(2) 2016年6月,国管局公布的《公共机构节约能源资源“十三五”规划》指出,提高数据中心节能管理水平。开展绿色数据中心试点,实施数据中心节能改造,改造后机房能耗平均降低8%以上,平均PUE值达到1.5以下。

(3) 2017年01月,国务院印发了

作者简介: 赵磊,男,高级工程师,2007年毕业于天津大学供热、供燃气、通风与空调专业,现就职于航空工业规划机载事业部。

《“十三五”节能减排综合工作方案》，方案指出，进一步推广云计算技术应用，新建大型云计算数据中心能源利用效率（PUE）值优于1.5。

(4) 2019年2月12日，工业和信息化部、国家机关事务管理局、国家能源局三部门联合发布了《关于加强绿色数据中心建设的指导意见》，《意见》中明确要求新建大型数据中心PUE达到1.4以下。

(5) 2018年9月26日，北京市人民政府公布《北京市新增产业的禁止和限制目录》（2018年版）。《目录》指出，全市范围内禁止新建和扩建互联网数据服务、信息处理和存储支持服务中的数据中心（PUE值在1.4以下的云计算数据中心除外）；中心城区全面禁止新建和扩建数据中心。

(6) 2019年1月2日，《上海市经济信息化委、市发展改革委关于加强本市互联网数据中心统筹建设的指导意见》中明确：上海到2020年新建数据中心机架数严格控制在6万架以内；新建数据中心PUE不高于1.3，改建数据中心PUE不高于1.4。

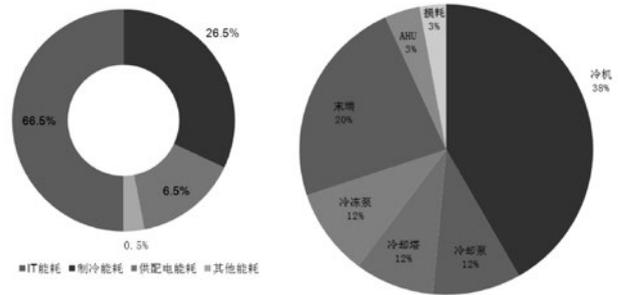
(7) 2019年4月12日，深圳市发改委发布了《深圳市发展和改革委员会关于数据中心节能审查有关事项的通知》，明确：PUE1.4以上的数据中心不享有支持，PUE低于1.25的数据中心可享受新增能源消费量40%以上的支持。

其他各地方政府也陆续出台了限制数据中心PUE的相关政策。

1 间接蒸发制冷技术

常规数据中心项目能耗各部分比重以及空调系统各部分能耗比重如图1所示。从图中可以看出，空调系统占数据中心非IT能耗80%，而冷冻站（含冷机、冷却塔、水泵等）占空调系统能耗74%以上。

数据中心如果要降低能耗费用，减少碳排放，在无法升级IT设备时，空调系统是首先需要考虑的。空调系统的节能是数据中心节能的核心，也是降低数据中心能源消耗的重要途径，是数据中心节能潜力最大的环节。可以说，数据中心的PUE是否能降低到合理水平，主要取决于空调系统的能耗。提高空调系统的能效，降低能耗，不但可以降低能源费用，而且可以有更多的电力来支持IT设备，可以在相同的电力供给情况下安装更多的IT设备。



a 空调系统占数据中心非IT能耗80%

b 冷冻站占空调系统能耗74%以上

图1 数据中心能耗占比示意图

利用自然界的低温冷源对数据机房进行自然冷却的空调方案是提高数据中心能源利用率的重要途径^[4]，而蒸发冷却技术在中国的应用已有近20年，在公共建筑和工业建筑领域有大量实际工程案例。中国南北气候差异较大，温湿度环境不同，蒸发冷却技术的应用和气候环境关系密切，近年来在国内部分数据中心项目上逐步得到应用，有效降低了数据中心PUE及运营成本，引起数据中心业界极大的关注，尤其是在空气质量要求较高的数据中心行业，间接蒸发冷却技术可实现室内外仅传热但不传质，机房内的湿度及空气质量不受室外空气的影响，该项技术存在巨大的发展空间。

随着间接蒸发冷却技术在国内和国际数据中心的示范应用，也预示着间接蒸发冷却技术应用的日益成熟。间接蒸发冷却技术可延长全年免费能源的时间，间接蒸发冷却技术能从自然环境中获取冷量，与一般常规机械制冷相比，在炎热干燥地区可节能80%~90%，在炎热潮湿地区可节能20%~25%，在中等湿度地区可节能40%，从而大大降低空调制冷能耗。

根据全球各地采用间接蒸发冷却设备的数据中心统计的能耗指标，平均PUE在1.15左右，最低可以达到1.03。同时，间接蒸发冷却设备用水量只相当于常规冷冻水系统的30%~50%，因为是分布式部署，可靠性也显著提高。

以深圳地区为例，深圳夏季最高湿球温度为28℃，而绝大多数服务器厂家设计的服务器出风温度都在35℃以上，这就意味着，即使在深圳地区全年都可以利用加湿降温后的室外空气对机柜回风进行降温。

对于湿球温度低于22℃的中温带及高原地区，可以完全利用间接蒸发冷却，省掉了水冷或者风冷空调系统的投资。

间接蒸发冷却的核心原理是室外新风与直接蒸发冷却填料或者换热器壁面的水膜以及由高压喷头将水流雾化形成的小水滴直接接触，进行充分的热湿交换，直接蒸发冷却过程中降温后的室外新风和水通过非接触式换热器与数据机房的室内送风间接触进行显热量的交换，那么就可以得到温度降低而含湿量不变的送风空气，此过程为等湿冷却过程。间接蒸发冷却利用通过蒸发加湿得到的室外侧空气湿球温度和数据中心内部的回风温度的温差，通过管壁的热传导将服务器的热量传递给室外侧空气的过程，从而达到冷却数据中心的目的，如图2、图3所示^[5]。

2 大温差高温冷水技术

提高水冷式空调设备的供回水温度，则可以提高冷水主机的性能。供回水温度越高，冷水主机的COP越高，所耗电能越少，节能效果越好。当冷却水供/回水温度不变（32℃/39℃）时，随着冷水温度提高，冷水主机的COP变大，效率提

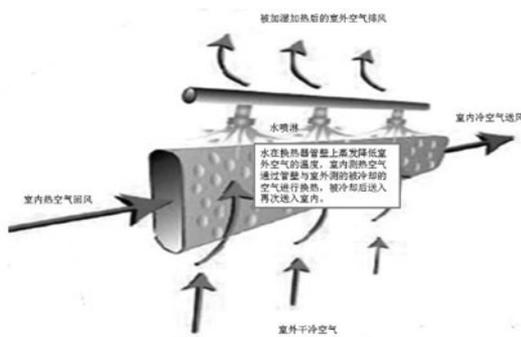


图2 间接蒸发冷却技术原理图

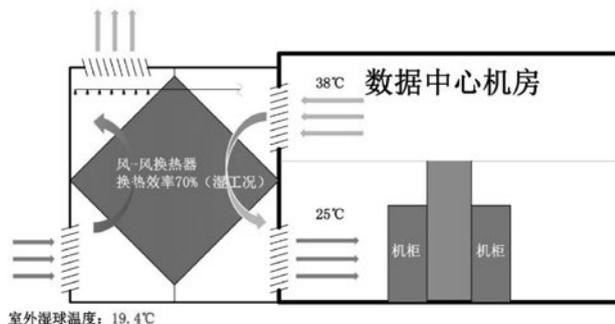


图3 间接蒸发冷却空调在数据中心机房应用原理图

高；当冷水温度由7℃/12℃提高到18℃/28℃时，离心式冷水主机的COP提高了25%以上，节能潜力很大，如图4所示。同时，随着供、回水温度的提高，利用自然冷却的时间也将进一步延长。

此外，从图1所示可以看到冷冻水泵和冷却水泵在空调能耗中占比约25%。当加大供回水温差时，冷冻水可由15~21℃提高到18~26℃或18~28℃时，冷水温差提高至8~10℃，水流量减少不低于25%，而水泵的流量、扬程、轴功率和转速间的关系如式（1）~（3）所示^[6]：

$$G/G_1 = n/n_1 \quad (1)$$

$$H/H_1 = (n/n_1)^2 \quad (2)$$

$$N/N_1 = (n/n_1)^3 \quad (3)$$

式中，G、H、N—叶轮转速为n（r/min）时的流量（m³/h）、扬程（m）和轴功率（kW）；G₁、H₁、N₁—叶轮转速为n₁（r/min）时的流量、扬程和轴功率。

从式（1）~式（3）可以看出，水泵的功率与流量的三次方成正比，耗电量降低，冷冻水泵能耗为原来的40%以上。同时，随着供回水温差加大，可以适当减小水管管径，进一步减少水系统循环的耗电，实现节能运行。

采用磁悬浮水冷离心机组+间接蒸发冷却技术，将磁悬浮冷水机组与间接蒸发冷却技术相耦合使用，充分利用自然冷却，不足部分由磁悬浮冷水机组进行补充。随着气候环境条件改变，冷冻水的制备可根据控制制冷机出水温度在电制冷模式、部分自然冷却模式和完全自然冷却模式3种模式下切换，系统原理图如图5所示。

3 实际应用

间接蒸发制冷技术及大温差高温冷水技术应用了深圳市百旺信云数据中心项目。该数据中心

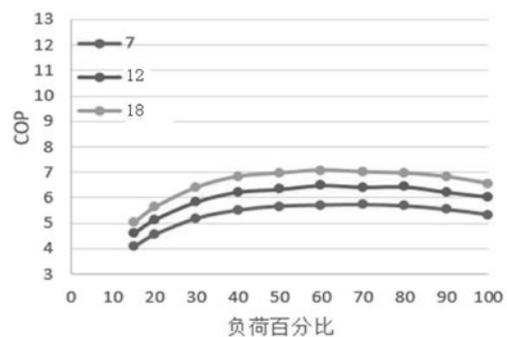


图4 不同供水温度下冷水机组COP曲线图

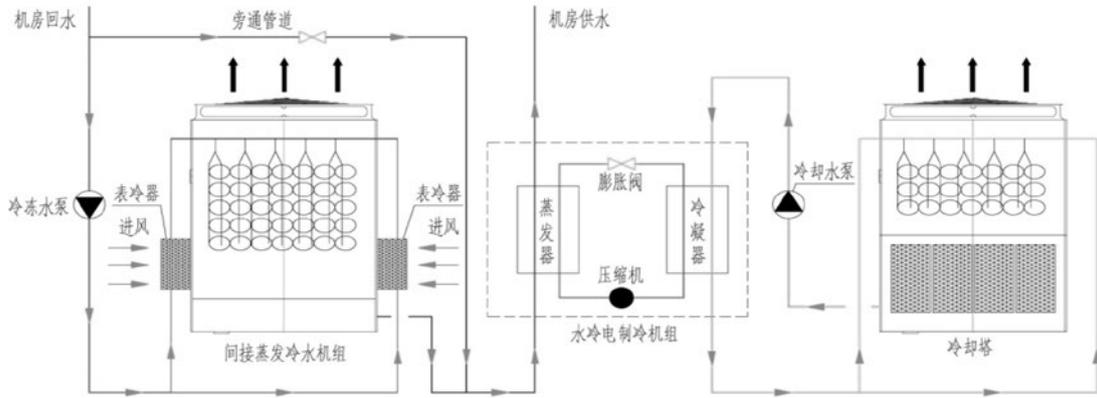


图5 磁悬浮水冷离心机组+间接蒸发冷却技术系统原理图

位于南山区百旺信高科技工业园，整栋楼建筑面积11000m²，1~4层为数据中心，每层设计500个机架，总数2000个。其中一期位于该建筑1层，完工于2014年底，整体采用国内A级机房标准容错级设计。百旺信云数据中心采用热通道封闭加间接蒸发冷却方案，为国内首个间接蒸发冷却应用案例。一期水系统设计采用低温水蓄冷，末端采用N+1备份，供回水温度18~28℃。该装置根据国内空气状况进行设计，适应国内的空气品质，简洁高效，相比国外设备体积小得多，间接蒸发冷却设备部署在数据中心内部，图6、图7为现场照片。

本项目所采用的间接蒸发冷却装置包含空气净化滤网、空气加湿降温组件和显热交换器、EC风机、导风装置、控制器几个部分。本设备运行时分为内循环及外循环，内循环时，热空气从机柜后部到回风管（空气35~40℃），回风管内部的热空气经过显热交换器后的空气温度如果达不



图7 百旺信云数据中心内部图

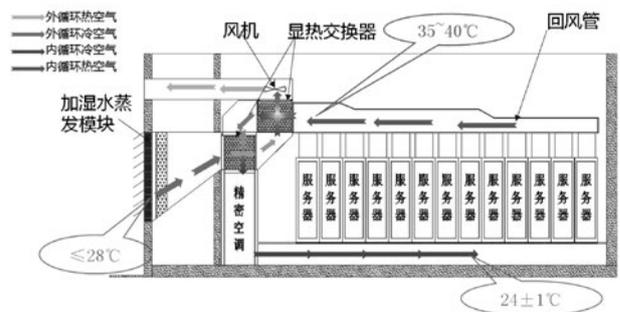


图8 间接蒸发冷却装置运行原理图

到精密空调出风的设定值，再经过精密空调，进行第二次降温，直至达到精密空调的出风设定值（24℃）。外循环时，室外空气经过加湿降温后进入显热交换器，低温空气被显热交换器加热后在风机作用下排到大气，其原理图如图8所示。

根据深圳百旺信云数据中心3年运行数据，由于进行了较好的冷热隔离且封闭了热通道，机柜回风温度稳定在33~36℃。在夏季最高温的时候



图6 百旺信云数据中心外部图



图9 项目春季能效评估证书 (春季PUE=1.17)

图10 项目夏季能效评估证书 (夏季PUE=1.36)



图11 项目秋季能效评估证书 (秋季PUE=1.14)

图12 项目冬季能效评估证书 (冬季PUE=1.19)

机柜回风经过显热交换后温度可以降低到 29°C 以下,减少空调负荷30%。春秋季节机柜回风经过显热交换后温度可以降低到 25°C 以下,减少空凋制冷负荷70%。冬季则基本不需要冷水机工作,减少空凋负荷95%。

该系统经过初效滤网和湿膜两道过滤之后,空气洁净度完全满足系统要求,实际运行3年清洗时,发现基本没有灰尘。该系统可精确控制加湿量,全年用水量是传统冷却塔加冷水机方案的40%。

根据权威机构的检测,在室外气温低于 20°C 的时候,机房pPUE在1.1左右;在室外气温低于 25°C 的时候,机房pPUE在1.15左右;夏季最高PUE大约1.3~1.35,本项目能效评估证书如图9~12所示。

4 结语

综合而言,通过实际项目充分证明了间接蒸发制冷技术及大温差高温冷水技术具有以下特点:

(1) 较低的PUE:充分利用室外环境的能量在全年大部分时间实现“自然冷却”或“低成本冷却”,为整个数据中心的节能减排做出最大贡献。

(2) 降低配电需求:由于间接蒸发冷却设备主要冷却能力是通过间接蒸发方式获得的,所以相对的补充机械冷却并不需要配置满足100%数据中心散热量需求,只需配置机房100%散热量减去间接蒸发冷却能带走热量之后剩余的量,相对于传统的机械冷却方式为主的冷却系统,间接蒸发冷却系统可适当降低制冷系统的配电需求,从而可实现降低配电成本或增大IT设备使用量的目的。

(3) 项目主要能效指标低于同类项目现状能耗水平,处于先进水平,能效指标较低,项目对能源的利用效率合理。

在实际项目中要充分考虑到项目所在地位的气候特性,采取多重自然换热系统,在保证机房内部洁净度的同时,尽可能大的采用室外自然冷源。

参考文献

- [1] 殷平. 数据中心研究(1)[J]. 暖通空调, 2016, 46(8): 42-53
- [2] 张海南, 邵双全, 田长青. 数据中心自然冷却技术研究进展[J]. 制冷学报, 2016, (4): 46-57
- [3] 王克勇, 王丽, 徐靖文, 等. 绿色数据中心空调节能技术研究[J]. 能源研究与利用, 2012, (2): 29-31
- [4] 耿志超, 黄翔, 等. 间接蒸发冷却空调系统在国内外数据中心的应用[J]. 制冷与空调, 2017.31(5): 527-532
- [5] 黄翔. 蒸发冷却空调理论与应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010
- [6] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008

覆土立式油罐的设计要点

■ 周恒 郝骞 [动力]

摘要: 本文介绍了覆土立式油罐的基本概念及优缺点,根据覆土立式油罐设计建设相关标准规范及自身工作经验,从覆土立式油罐设计过程中油罐平面布置、油罐尺寸的确定、罐室开口形式、事故油品封围回收等问题入手,阐述了覆土立式油罐的设计要点,为覆土立式油罐设计提供参考。

关键词: 覆土立式油罐;罐室;封围

覆土油罐是重要的成品油储运设施,具有延缓油料蒸发损耗、抗轻微侦察打击、较储油洞库造价低,日常使用管理相对方便等优点,广泛应用于国家成品油储备中。公司近期承接的许多项目包含覆土立式油罐设计,为提高设计水平,本文结合相关规范与工作实际阐述了覆土立式油罐的设计要点。

1 覆土立式油罐的定义

覆土立式油罐是独立设置在用土掩埋的罐室或护体内的立式油品储罐。将钢制立式油罐安装在掩体内,掩体由防护墙和顶盖构成,防护墙采用砖、石、混凝土预制砌筑,或现场浇筑混凝土而成。罐室球壳应与墙顶混凝土圈梁连成整体,罐室顶部的覆土厚度不应小于0.5m,周围覆土坡度应满足回填土的稳固要求。

作者简介:周恒,男,助理工程师,2019年毕业于中国石油大学(北京)油气储运工程专业,现就职于中航建投机场规划设计研究院。

2 覆土立式油罐的优缺点

覆土油罐较露天油罐、洞库油罐,在储油安全性、节省成本方面具有优势,主要体现在以下方面:

(1) 较露天油罐能减少蒸发损耗,延缓油品质量变化。金属油罐位于护体内,护体掩埋在覆土中,顶部和周围覆土厚度大于0.5m,因此罐室内的温度受外界气温变化影响小,温度整体变化不大,有利于减少油罐小呼吸蒸发损耗,延缓油品变质。

(2) 较露天油罐目标不明显,具有伪装防护和一定的抗打击能力。覆土油罐通过覆土及植被的遮盖,能减少被侦查发现的可能性。油罐室护体有一定的防护能力。

(3) 较山洞油库受制约因素少,单罐容量更大、造价更低。洞库油罐要最大限度地利用岩石被覆层的厚度,满足防护要求,单罐容量一般2000m³,最大的3000m³,储油区附属设施需建在洞库周边的山区,距离铁路、公路收发区距离较

远,作业协同难度大。而覆土油罐适应性较强,既可以在山区、丘陵地区建设,也可以在平原地区建设。虽然覆土油罐的造价比露天油罐要高,但比洞库油罐要低廉很多。

覆土立式油罐由于罐室空间密闭、罐底平面低等客观因素制约,也存在着如下缺陷:

(1) 罐室空间相对密闭,油气容易聚集,增加了着火爆炸风险。《石油库设计规范》GB50074-2014对覆土油罐罐室的通风问题无明确要求,目前大多数覆土油罐只能通过采光孔、密闭门进行自然通风。(2) 罐室地平面低,油污水难排出,加剧设备锈蚀,增加了污染环境风险,也导致输油泵的吸入条件变差,对输油泵房建设带来一定影响;如果地下水位较高时,还需要对罐室和油罐作特殊的防水处理。

3 覆土立式油罐的设计要点

3.1 覆土油罐的平面布置

覆土立式油罐宜尽量布置在低矮山丘的山坳处或两侧边坡的开阔沟谷处,油罐在布置时应充

分利用这种起伏的地形,以减少土方量。但需要注意的是,山坳一般是一片山体的汇水区,在设计中应按防洪标准计算最大汇水量,校核沟谷排洪能力,在罐背后及四周按规范要求设计截洪沟及防洪排水设施。

对于公司项目常涉及的甲B、乙类液体,覆土立式油罐之间的防火距离,不应小于相邻两罐罐室直径之和的1/2。当按相邻两罐罐室直径之和的1/2计算超过30m时,可取30m。与覆土油罐紧密相关的库外设施、库内主要建(构)筑物、设施安全距离要求如表1所示。

3.2 覆土油罐尺寸的确定

覆土立式油罐应采用固定顶储罐,为减少土方量和增强隐蔽性,油罐高度应尽可能的矮,即使用“矮胖”型油罐。针对常用的储罐容积初步确定立式拱顶锥底油罐尺寸如表3所示,相应地,可确定罐室尺寸,规范规定罐室球壳顶内表面与金属油罐顶的距离不应小于1.2m,罐室壁与金属罐壁之间的环形走道宽度不应小于0.8m^[1]。

3.3 罐室开口形式确定

覆土立式油罐的罐室开口形式有3种:中部通

表1 覆土油罐与库外设施安全距离 (m)^[1]

石油库设施名称	石油库等级	库外建(构)筑物和设施名称				
		居住区和公共建筑物	工矿企业	国家铁路线	工业企业铁路线	道路
甲B、乙类覆土立式油罐	一	100 (75)	60	60	35	25
	二	90 (45)	50	55	30	20
	三	80 (40)	40	50	25	15
	四	70 (35)	35	50	25	15
	五	50 (35)	30	50	25	15

注: 1. 表中的安全距离应从罐室内壁或出入口等孔口算起;

2. 表中括号内数字为石油库与少于100人或30户居住区的安全距离,居住区包括石油库的生活区;

表2 覆土油罐与库内建(构)筑物、设施之间的防火距离 (m)^[1]

建(构)筑物和设施名称		易燃和可燃液体泵房	汽车罐车装卸设施	铁路罐车装卸设施	有明火及散发火花的建(构)筑物及地点	库区围墙
覆土立式油罐	5000 < V ≤ 50000	15	20/15	20/15	26	11
	1000 < V ≤ 5000	11	15/11	15/11	26	7.5
	V ≤ 1000	9	11/9	11	26	6

注: 1. 表中V代表储罐单罐容量,单位为m³;

2. 分子数字为未采用油气回收设施的罐车装卸设施与油罐之间的安全距离,分母为采用油气回收设施的罐车装卸设施与油罐的安全距离。

表3 覆土立式油罐推荐尺寸

公称容积 (m ³)	内径 (m)	罐壁高度 (m)	计算容积 (m ³)
300	9	5.356	345
500	12	4.756	549
1000	15.5	5.956	1148
2000	18	8.92	2307
3000	21	9.92	3549
5000	28.5	8.738	5723

道口斜坡通道、上部通道口竖直通道、水平开口水平通道。其中,水平开口通道口位于覆土油罐掩体下1/3以下,通道口采用水平通道至操作间,利用覆土外的防火堤进行拦油,因结构简单建造容易,是上世纪60、70年代建设覆土立式罐的主要模式,但该种形式占地面积较大且不利于伪装,《石油库设计规范》(GB50074-2014)中规定“储存甲B、乙、丙A类油品的覆土立式油罐,其

罐室通道出入口高于罐室地坪不应小于2.0m”,即将通道的开口设置在罐室的中部左右,因此新建覆土油罐不应采用水平开口方案^[2]。

中部通道口斜坡通道布置形式如图1所示,通道口部高度在覆土油罐护体竖直高度的1/3至1/2处,通道口采用斜坡方式至罐室操作间,利用罐室和通道空间作为拦油封围,斜通道入口门坎水平高度以下的罐室有效容积应尽量等于油罐总容量,否则应按油品漫出罐室部分最多一个油罐的泄漏油品设置区域导流沟及拦油池。

上部通道口竖直通道布置形式如图2所示,通道口位于覆土油罐掩体上2/3以上,通道口以楼梯间的方式连至操作间,利用罐室和通道空间作为拦油封围,口部以下罐室容量大于或等于油罐容量,可省去拦油池,采用上部开口时有如下弊端:

(1) 出入通道采用楼梯形式,发生事故时人员折返跑不利于快速撤离。

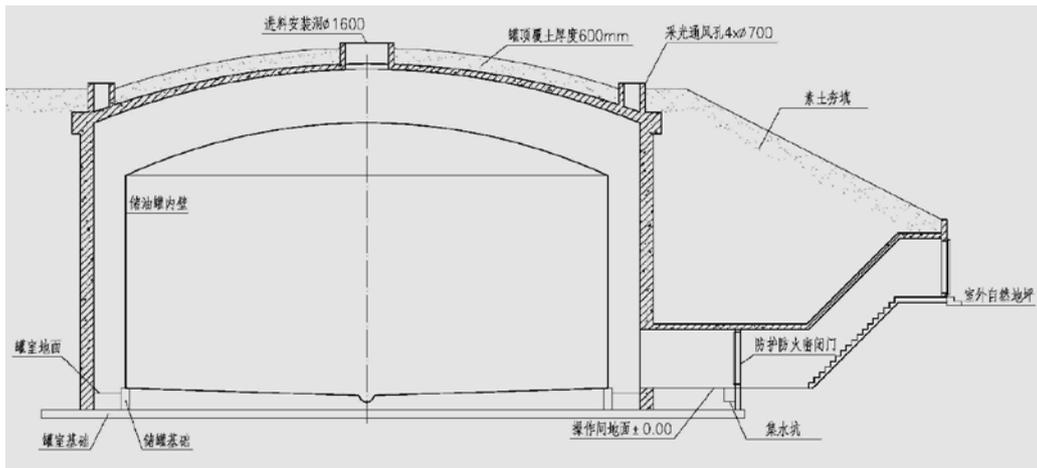


图1 中部通道口斜坡通道

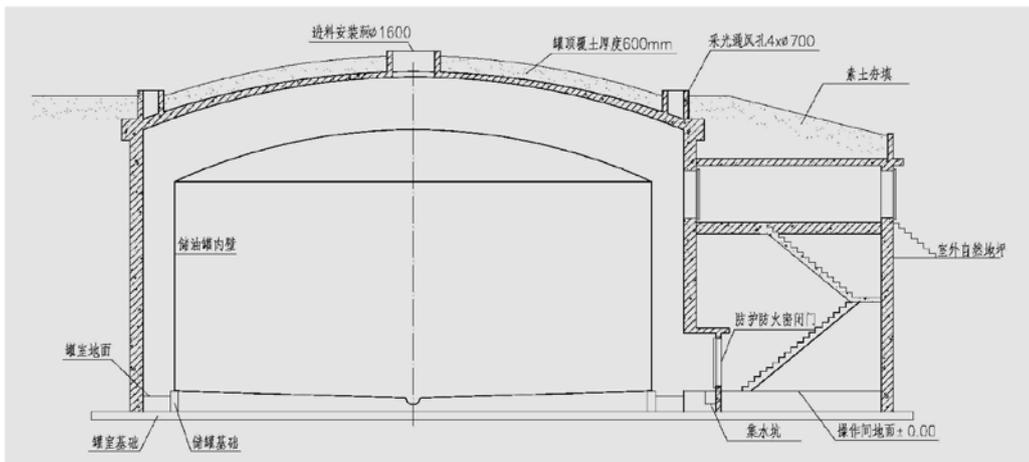


图2 上部通道口竖直通道

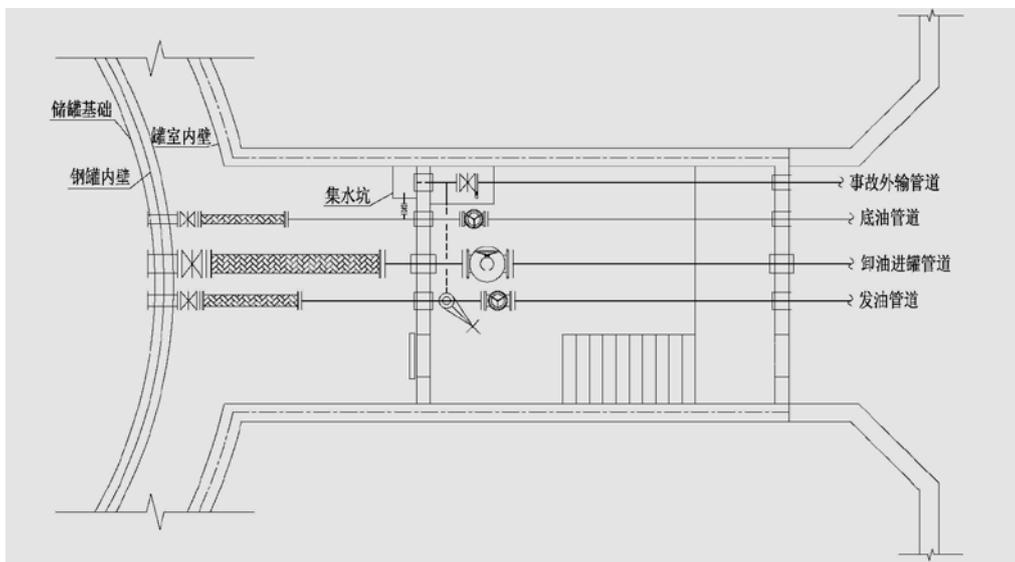


图3 事故外输管线设置

(2) 通道口与罐顶通风孔高度差较小, 不具备形成完整通风路径的条件, 罐室通风孔之间和与通道口的通风不能贯穿整个罐室, 自然通风的效果差, 此时需考虑机械通风方式。

(3) 罐室引出局部管道埋设较深, 不便于施工与后续检修, 敷设深度大于2.5m时可采用非充沙管沟方式敷设。

3.4 事故外输与拦油池设置

罐室事故外输系统是为了当油罐发生事故时, 人员在不进入罐室的情况下能将泄漏出的油料快速导出到其他油罐或拦油池。事故外输管道应由罐室阀门操作间处的集水坑处引出罐室外, 口径宜与进出油管一致, 且不得小于100mm, 管道上应设控制阀门和隔离装置, 控制阀门和隔离装置不应设在罐室内和事故时容易危及的部位^[1]。事故外输管线宜在事故时能与输油主管连通。一种事故外输管线设置方式如图3所示。

为防止油罐发生事故时油料四溢发生二次灾害, 应将油品集中引至拦油池收集。拦油池的容量宜根据库内单罐事故时可能溢出油料的最大体积进行设置, 避免油品泄漏出拦油池外。拦油池的建设可采用以下几种形式:

(1) 依靠天然地形条件建设, 如利用罐区内天然排洪沟或根据覆土罐区的沟谷地形设置拦油坝等, 形成封闭的空间以达到拦油要求。成品油储备库大多建设在山区, 覆土罐区布置在两侧边坡的开阔沟谷处, 中间为排洪沟, 根据地形地势选择适当位置设置拦油坝与拦油闸, 拦油闸平时开启, 事故

状态下紧急关闭, 将事故油料拦在池内。

(2) 在自然条件无法满足建设时, 可根据具体条件采用人工开挖的形式进行建设。在油罐周边选择位置合适的低处(保证各罐油料能够自流进池)人工开挖建池^[3]。

4 结论

本文主要从覆土立式油罐平面布置、油罐尺寸的确定、罐室开口形式和事故油品封围回收等问题入手, 阐述了覆土立式油罐的设计要点, 总结了几种常规设计形式, 为今后公司内覆土立式油罐设计提供参考。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家标准. GB 50074-2014 石油库设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [2] 雷小龙. 覆土油罐事故成因分析与设计改进研究[D]. 兰州大学, 2017.
- [3] 江迅建, 孙海君, 李晓鹏, 等. 覆土油罐勘察设计的几点建议[J]. 石油库与加油站, 2019(3).

噪声高隔声量墙体设计中应注意的问题分析

■ 张卫才 [建筑]

摘要: 高隔声量墙体在工业建筑和民用建筑中均有不同程度的使用。产生高噪声的工业建筑需要控制噪声减弱对周边环境的影响,而民用建筑中的演播室、声学测试室等房间采用高隔声量墙体是为了保证其建筑功能的正常使用。但在实际设计施工过程中,因为墙体构造选择不正确、节点不合理造成墙体隔声量未达到当初设计的隔声目标值。本文首先论述了高隔声量墙体构造的应如何选择,再从双层墙体的共振频率 f_0 及临界频率 f_c 对隔声的影响、声桥对高隔声量双层墙体隔声性能的影响、双层墙体中填充吸音材料时其隔声性的变化、孔洞及缝隙对高隔声量墙体隔声性能的减弱、墙体上设置的门窗对高隔声量墙体的隔声性能的影响、穿墙管道及其封堵方式对高隔声墙体隔声性能的影响等6个方面论述,如何采取措施设计出高隔声性能隔声量墙体。

关键词: 高隔声量;声桥;组合墙体隔声量;共振频率;临界频率

建筑隔声设计一直是建筑师关注的技术问题,隔声设计的效果好坏将直接影响其建筑功能的正常使用。一旦隔声出现问题,解决问题付出的代价相对比较巨大。如宾馆客房的隔声不合格将直接影响其入住率。学校教室的隔声效果不好将会影响学校的教学质量。民用建筑的隔声所遇到的噪声源一般均在100dB以下,需要的隔声量也均不高,能采取的隔声方案很多,失效的可能性相对会小一些。但工业建筑中的一些高噪声建筑的噪声最大值已大大超过100dB,甚至达到150dB,或更高,一旦隔声失败,对周围环境的影响是巨大的。为减少高噪声对环境的影响,不仅要选址上解决,也需要采用高隔声量的墙体来隔绝高噪声对环境的影响。本文所说的高隔声量墙体是指隔声量超过55dB以上的墙体。但高隔声量墙体的设计措施不得当,花了很大的代价却得不到相应的隔声效果。本文将从墙体的选择以及

影响隔声失效的主要因素等几方面来分析如何设计高隔声量墙体。

1 高隔声量墙体选择

根据隔声量的要求,首先选择单层墙体,这样墙体施工方便,施工质量有保证。单层隔声墙体一般遵循“质量定律”。墙体的隔声量与墙体的面密度和噪声频率相关。隔声量的计算分理论计算公式和经验公式。

理论公式:

$$R_0 = 20 \log m + 20 \log f - 42 \quad (\text{垂直入射})$$

$$R = 20 \log m + 20 \log f - 48 \quad (\theta = 0^\circ \sim 80^\circ \text{无规入射})$$

实际上,墙体受到劲度、吻合效应、阻尼和边界条件的影响,其实际的隔声量达不到理论计算的隔声量。大量实验数据表明,墙体面密度增加一倍与频率提高一倍对隔声量增加的影响值有差别。从而不同专家提出不同的经验公式。经笔者比较认为,以下公式比较接近实际。

作者简介:张卫才,男,研究员,2008年毕业于清华大学建筑与土木工程专业,现就职于航空工业规划技术发展中心。

经验公式：（分轻、重两种构件计算）（个人推荐）

$$R=23\log m+11\log f-41 \quad (m \geq 200\text{kg}/\text{m}^2)$$

$$R=13\log m+11\log f-18 \quad (m < 200\text{kg}/\text{m}^2)$$

一般隔声设计时噪声源已确定，在这种情况下，高隔声量的墙体选择就与墙体的面密度直接相关。以下是3种常用的砌体墙在1000Hz时的隔声量。

（1）250mm厚砵在1000Hz时的隔声量：

$$R=55.47\text{dB};$$

（2）240mm厚实心砖墙在1000Hz时的隔声量： $R=53.16\text{dB}$ ；

（3）250mm厚加气混凝土砌块墙在1000Hz时的隔声量： $R=43.29\text{dB}$ 。

通过以上数据可以说明，通过提高墙体的面密度可以提高隔声隔声量。提高墙体面密度有两个途径：

（1）提高隔声墙体材料的密度；

（2）提高隔声墙体的厚度。

选择高密度材料做墙体材料来提高隔声量是比较经济合理的方法。但在材料密度不变的条件下，增加厚度增加隔声量需要注意一个问题，一定要考虑性价比。因为墙体厚度增加一倍，墙体材料价格翻倍，但隔声量的增加却有限，如：

（1）500mm厚砵在1000Hz时的隔声量：

$$R=62.39\text{dB};$$

（2）500mm厚实心砖墙在1000Hz时的隔声量： $R=60.49\text{dB}$ ；

（3）500mm厚加气混凝土砌块墙在1000Hz时的隔声量： $R=48.97\text{dB}$ 。

以上3种墙体均为重型墙体，所以墙体厚度增加一倍，其隔声量增加约6dB。如若选用面密度小于 $200\text{kg}/\text{m}^2$ 的轻型墙体时，墙体厚度增加一倍，其隔声量仅能增加约4dB。所以当通过增加墙体厚度及提高墙体材料面密度所取得的隔声量仍不能满足设计需要时，可选择双层或多层组合墙体来取得更高隔声量。

匀质单层墙体的隔声性能基本上遵循质量定律，墙体厚度增加一倍，隔声量提高约6dB。而同样厚度墙体采用双层墙体，中间增加空气层时，其隔声性能有较大的改善。主要原因是声能穿透双层墙体时的两次反射造成透射的声能减少，同时，空气层也衰减了两层墙体间振动能量的传递，从而使双层墙体的隔声性能有较大的提高。

双层墙体隔声量的经验计算公式（个人推荐）：

$$R=23\log(m_1+m_2)+11\log f-41+\Delta R$$

$(M_1+M_2) \geq 200\text{kg}/\text{m}^2$

$$R=13\log(m_1+m_2)+11\log f-18+\Delta R$$

$(M_1+M_2) < 200\text{kg}/\text{m}^2$

式中： ΔR ——空气层附加隔声量。

关于空气层厚度与附加隔声量关系，国外有两种意见：

（1）附加值 ΔR 是随空气层的厚度的增加而增加，但有一个最佳值，即空气层厚度以10cm时附加值12dB为最佳，空气层厚度小于10cm或大于10cm时，附加隔声量均有不同程度的下降。

（2）附加隔声量呈递增趋势，在空气层厚度10cm以内时，与第一种意见一致，但不存在一个驼峰形的最佳值，而是 ΔR 值随空气层厚度的增加而增加，并成为一条渐近线，接近一个极限值，却不存在下降的情况。笔者认为第二种意见会更接近实际（图1），供大家参考。

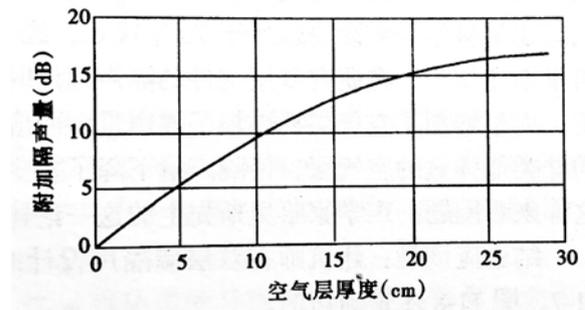


图1 空气层厚度与附加隔声量关系图

3种不同材料墙体增加20cm厚空气层的双层墙体的隔声量（1000Hz）计算如下：

$$\Delta R = 15.1\text{dB}$$

（1）300mm砵+200mm空气层+200mm砵双墙体构造： $R=77.49\text{dB}$ ；

（2）370mm砖+200mm空气层+120mm砖双墙体构造： $R=75.39\text{dB}$ ；

（3）300mm加气砵+200mm空气层+200mm加气砵双墙体构造： $R=64.07\text{dB}$ 。

从上述计算结果显示，增加适当厚度的空气层可以明显改善高隔声量墙体的隔声性能。但实践表明，并不是采用多层墙体就能取得高的隔声量。选择多层结构隔声墙体时，应适当地轻重配合才能取得隔声效果。

例如：

（1）150mm厚钢筋砵墙（两侧25mm厚水泥

砂浆抹灰)面密度=460kg/m²R₅₀₀=49(dB);

(2) 150mm厚钢筋砼墙(两侧25mm厚水泥砂浆抹灰)+250mm空气层+9mm×3石膏板,一重一轻两层构造,面密度=477kg/m²,R₅₀₀=62(dB);

(3) 120mm厚砖墙(外侧抹灰)+200mm空气层+150mm厚钢筋砼(外侧抹灰)两重两层构造,面密度=730kg/m²,R₅₀₀=70(dB);

(4) 120mm厚砖墙(外侧抹灰)+200mm空气层+150mm厚钢筋砼(外侧抹灰)+250mm空气层+9mm×3石膏板,两重一轻三层构造,面密度=747kg/m²,R₅₀₀=78(dB);

(5) 9mm×3石膏板+250mm空气层+120mm厚砖墙(外侧抹灰)+200mm空气层+150mm厚钢筋砼(外侧抹灰)+250mm空气层+9mm×3石膏板,两重两轻四层构造,面密度=765kg/m²,R₅₀₀=82(dB)。

综合上例数值分析结论如下:

(1) 一重一轻的双墙体比一重墙体的隔声量有着明显的增加,隔声量的上升斜率也大;

(2) 两种重墙因面密度提高大,靠质量定律使得隔声量也有显著的提高;

(3) 两重墙该换为两重一轻的多层墙时,隔声的上升斜率又增大了。但两重墙再增加两层轻墙时,其隔声量与两重加一轻的结构墙体的隔声量并没有显著的提高。综合上述,一重一轻和两重一轻的多层墙体构造组合最经济、有效。

多层墙体选择轻重适当搭配固然重要,但还有一些细节需要重视,不然也会造成墙体的隔声性能下降。下面就常用的双层墙体构造设计中应注意的细节问题予以论述。

2 高隔声量双层墙体构造设计应注意的细节问题

2.1 双层墙体的共振频率 f_0 及临界频率 f_c 对隔声的影响

当入射声波频率比双层墙共振频率低时,双层墙体将作整体振动,隔声能力与同样质量的单层墙没有区别,即此时空气层无用。

当入射声波频率达到共振频率 f_0 时,隔声量出现低谷;频率逐渐大于 f_0 以后,隔声曲线以每倍频程18dB的斜率急剧上升,充分显示出双层墙结构的优越性。

随着频率的升高,两墙板之间产生一系列驻

波共振,又使隔声特性曲线上升趋势转为平缓,斜率为每倍频程12dB;进入吻合效应区后,在临界频率 f_c 处出现又一隔声量低谷,其 f_c 与吻合效应状况取决于两层墙的临界吻合频率。若两墙板由相同材料构成且面密度相等,两吻合谷的位置相同,使低谷的凹陷加深;若两墙材质不同或面密度不等,则隔声曲线上有两个低谷,但凹陷程度较浅,这就是多层墙体轻重搭配的原因。若两墙间填有吸声材料,隔声低谷变得平坦,隔声性能最好。

双层墙隔声性能较单层墙优越的区域主要在共振频率 f_0 以后,因此在设计中尽量将共振频率 f_0 控制在人们不敏感的低频区域。通常把共振频率 f_0 设计在100Hz以下。

双层板共振频率的计算公式:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{1}{M_1} + \frac{1}{M_2}\right) \frac{\rho c^2}{d}}$$

式中: M_1 、 M_2 ——双层墙体的面密度(kg/m²)

ρ ——空气密度(kg/m³),常温下为1.18 kg/m³;

c ——声速,常温下为344m/s;

d ——双墙间空气层厚度(m)。

例:

(1) 300mm砼墙体+200mm空气层+240mm实心砖墙

$M_1 = 2300 \times 0.3 = 690 \text{ kg/m}^2$,
 $M_2 = 1900 \times 0.24 = 456 \text{ kg/m}^2$;

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{1}{690} + \frac{1}{456}\right) \frac{1.18 \times 344 \times 344}{0.2}} = 8.025 \text{ (Hz)}$$

(2) 10mm石膏板+75mm空气层+12mm石膏板

$M_1 = 800 \times 0.01 = 8 \text{ kg/m}^2$, $M_2 = 800 \times 0.012 = 9.6 \text{ kg/m}^2$;

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\left(\frac{1}{8} + \frac{1}{9.6}\right) \frac{1.18 \times 344 \times 344}{0.075}} = 103.96 \text{ (Hz)}$$

综上所述表明;容重较大的双层隔声墙体的共振频率远小于100Hz,建筑隔声设计中可以不考虑共振频率的影响。但对轻型双层板结构就要注意共振频率对低频部分的隔声的影响。

双层隔声结构的吻合效应会影响墙体的隔声

效果。而吻合效应取决于两层结构各自的临界频率 f_c ，当两层板由相同材料构成，且 $M_1=M_2$ 时，两个临界频率 f_c 相同，使得吻合低谷凹陷加深；当两材料不一或 $M_1 \neq M_2$ 时，隔声特征曲线将有两个低谷，但凹陷的深度较浅。

临界频率 f_c 计算公式：

$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{M}{B}} = \frac{C^2}{2\pi t} \sqrt{\frac{12\rho}{E}}$$

c ——声速，常温下为344m/s；

M ——板的面密度 (kg/m^2)；

B ——板的劲度， $B = \frac{1}{12} Et^3$ ；

E ——弹性模量 (N/m^2)；

t ——板的厚度 (m)；

ρ ——板的密度 (kg/m^3)。

常用材料的 f_c 列举如下： t (mm)；

玻璃 $f_c=12240/t$ ，10mm玻璃 $f_c=1224$ (Hz)；

钢板 $f_c=12650/t$ ，1mm钢板 $f_c=12650$ (Hz)；

铝板 $f_c=12810/t$ ，4mm铝板 $f_c=3202.5$ (Hz)；

胶合板 $f_c=21950/t$ ，5mm胶合板 $f_c=4390$ (Hz)。

钢筋混凝土 $f_c=20190/t$ ；

100mm钢筋混凝土， $f_c=201.9$ (Hz)；

250mm钢筋混凝土， $f_c=80.76$ (Hz)。

砖 $f_c=22480/t$ ；

120mm砖， $f_c=187.33$ (Hz)；

240mm砖， $f_c=93.67$ (Hz)。

加气混凝土 $f_c=41260/t$ ；

100mm加气混凝土， $f_c=412.6$ (Hz)；

400mm加气混凝土， $f_c=103.15$ (Hz)。

综上所述分析表明：厚重隔声墙体的临界频率 f_c 一般都可以控制在100Hz以下，而对于薄轻隔声墙板的临界频率 f_c 可以控制在3500Hz以上。这样临界频率对常用的声频区100~3500Hz内的隔声构不成大的影响。

2.2 声桥对高隔声量双层墙体隔声的影响

在双层构造的墙体之间若有刚性连接物构件时，在声波激发下第一层墙体产生的振动将通过刚性连接构件传到第二层墙体，使第二层墙体振动并向外辐射声波，从而双层墙体构造的隔声性能下降。这种刚性连接构件称为“声桥”。声桥的刚性愈大，穿透墙体的声能比例增加越多，同

时双墙间空气层的附加隔声量也将受到很大的影响，从而使隔墙的隔声量下降就愈多。

轻质墙体由于质量小，基础未做分离时对隔声影响较小。但是对于厚重的双层墙体构造，由于墙体本身质量大，隔声较高，因而通过与双墙周边相连的侧墙、连接圈梁及基础传递的声能不能轻视，它会使双层重墙体的隔声能力不能全部发挥出来。为了充分发挥双层重墙的隔声效果，必须减弱双墙间连接墙体、圈梁及基础的声传递。

例1：

某建筑采用双层370mm砖墙（中间230mm空气层）独立基础，使得隔声量达到平均隔声量 $\bar{R}=79.4\text{dB}$ ，计权隔声量 $R_w=85\text{dB}$ ，比同类双层墙体在采用共同基础时 R 高出10dB， R_w 高出12dB。

例2：

以下3种双层重墙体的共用基础的隔声量

从上两例数据表明：高隔声量的双层结构的隔声性能不完全符合质量定律，通过提高墙体的面密度对隔声量的提高很有限。双墙最好不联系或减弱联系，如双墙共用基础会使双墙的隔声量下降明显，比采用独立基础双墙结构下降约10dB左右，很不经济。另外，双墙之间设置较为刚性的圈梁、构造柱连接成整体时，即使双墙间设置较宽的空气层，双墙的隔声性能还是遵循质量定律，采用了复杂的结构未取得相应的好结果。下面列举几种常用双层墙独立基础方式（图2）。

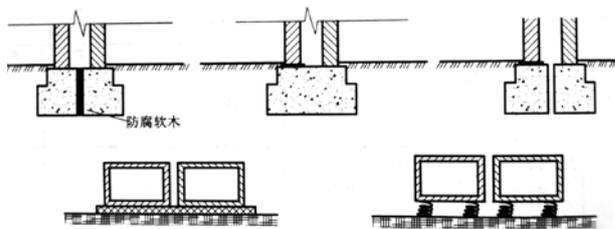


图2 常用双层墙独立基础方式

2.3 双层墙体中填充吸音材料对其隔声性有一定的改善

在双层构件中填充柔软多孔的吸声材料，对隔声有良好的影响。由于双层墙有其相应的共振频率，从而影响隔声量的提高，若在空气层中悬挂或放置多孔吸声材料，由于此类材料的流阻特性，阻碍着空气的振动，从而减弱了共振的影响，提高了隔声量。一般来说，低频提高少，高频提高较多，这

是因为多孔吸声材料本身的吸声频率特性曲线决定。如果把双层墙板之间的空气层看作一个声波往返反射的混响声场,吸声材料的作用就是降低这个声场的声压,但低频的声压降低的很少,随着频率的增高,在高频声压才有很大的降低,这是混响声场中常有的实际经验。为了提高隔声量,空气层中填充多孔吸声材料厚度越大吸声性能越好,隔声量提高也就越显著。

吸声材料放置方法也会影响隔声量的高低。如果固定在其中一层墙体的内侧面,则对隔声量不仅在高频,同时在中频也有明显的提高,这是因为吸声材料不仅起吸声作用,同时柔软材料紧压在墙面上还阻碍着墙体的弯曲振动,从而降低了墙体的声辐射。如果在空气层中填满柔软的多孔吸声材料,则吸声材料挤在双层墙体之间,将同时阻碍两侧墙体的振动,双层墙低、中频的隔声量将有明显的提高,这是利用板表面的摩擦阻尼,如同我们用手捂住被敲打的锣鼓一样,隔声量的提高,比实线所示未填多孔吸声材料的隔声量提高约10dB,而且是全频的提高。为了节省材料,节约投资,有时不必要在空气层中填满吸声材料,而是如图3那样,可以同样起到阻碍墙面振动的作用,而又比较节省。

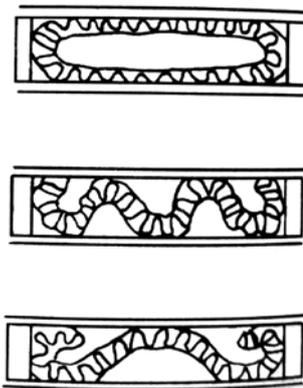
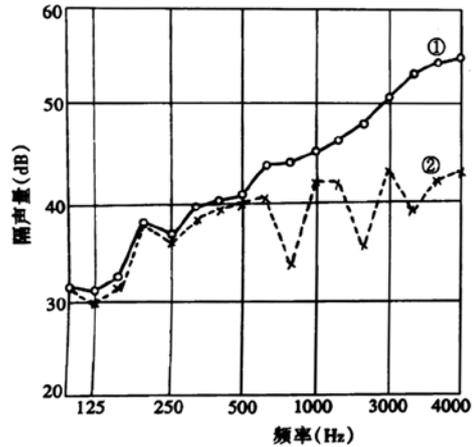


图3 空腔内填满吸声材料的形式

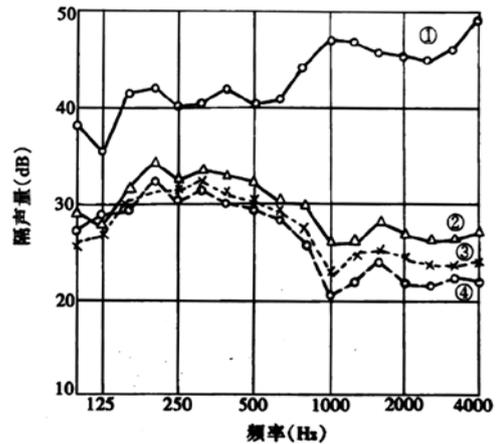
2.4 孔洞缝隙对高隔声量墙体隔声性能的影响

前面所述各类墙体的隔声量均是墙体的各部位不存在漏声时的数值。当构件存在孔洞时,高频隔声性能将受到影响,而且由于孔洞的空气管柱共振的影响使隔声特征曲线呈起伏的周期现象。

缝隙对构件隔声性能影响比孔洞更为严重,在中低频就有较大的下降,高频下降很多(见图4)。孔洞、缝隙的深度(即墙厚)越小对隔声的影响越严重。



①200mm厚加气混凝土条板
②同上,墙中央开φ30孔洞



①150mm厚砖墙;
②同上,墙中央开长100mm,宽5mm的缝;
③同上,缝宽为10mm;
④同上,同时两条缝

图4 孔洞对隔声量的影响、缝隙对隔声量的影响

一旦墙面上有细小孔洞或缝隙,若其只能透射过入射声能的千分之一时,构件的隔声量并不是入射声级的999%,而是30dB,即入射声级是60dB时,隔掉的是30dB,入射声级是50dB时,隔掉的还是30dB。构件的隔声量的大小取决于构件的投射系数。透射系数(τ)是入射声能 E_i 与透射声能 E_t 的比值。

$$\tau = \frac{E_t}{E_i}$$

隔声量定义为： $R = 10 \log \frac{1}{\tau}$

当 $\tau = 0.001$ 时， $R = 10 \log \frac{1}{0.001} = 10 \log \frac{1}{0.001} = 30\text{dB}$ 孔洞或缝隙大大降低了墙体本身的隔声性能。所以砌块之间不得留有缝隙或孔洞，必须做到满浆满缝，浇筑墙体不能出现贯穿孔洞和缝隙。如采用玻璃棉或岩棉来填缝、堵洞是完全错误的。

由于孔洞的透声系数为1，隔声量为0，所以哪怕是微小的孔洞透声也是很大的，从而成为隔声的薄弱环节。隔声墙体上开孔面积与开孔后墙体的隔声量关系见图5。从图中看出孔洞面积占墙

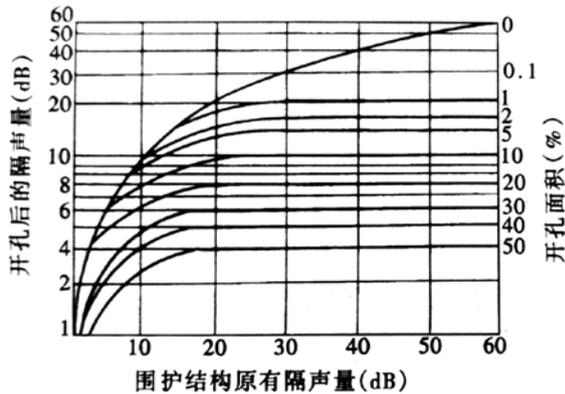


图5 隔声墙体上开孔面积与开孔后墙体的隔声量关系

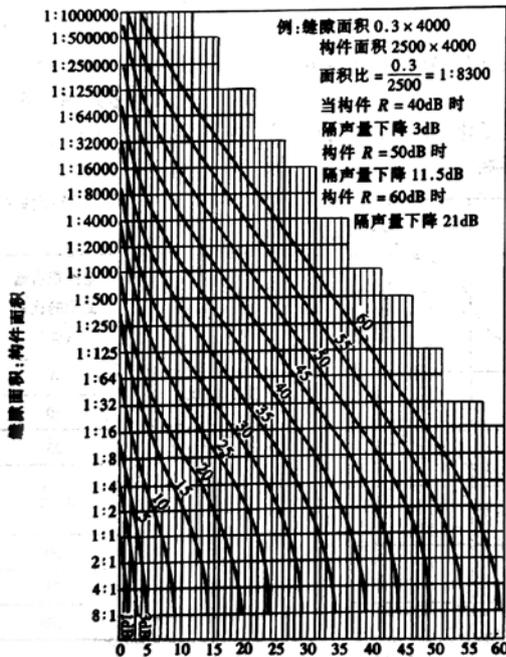


图6 缝隙占墙体面积比与墙体隔声量下降的关系

体面积的百分之一时，隔声墙体的隔声量不会超过20dB；孔洞面积占墙体面积的10%时，隔声墙体的隔声量不会超过10dB。以上计算分析是建立在隔墙本身隔声量无穷大的基础上，在实际声场中，隔墙的隔声量是有限的，所以孔洞对隔声量的影响会变得更严重。

狭缝对隔声的影响比孔洞严重。缝隙降低墙体隔声量与缝隙的面积、没缝隙墙体隔声量的高低相关。缝隙占墙体面积比与墙体隔声量下降的关系见图6。例：缝隙面积与墙体面积比为1：1000，当墙体隔声量为60dB时，缝隙会使墙体隔声量下降约34dB；当墙体隔声量为40dB时，缝隙会使墙体隔声量下降约10dB。实际上，计算缝隙对构件隔声性能的影响是比较困难的。首先，墙体缝隙的体积、面积难以测量，而且隔声量下降还与墙体本身隔声量相关，墙体隔声性能越好，缝隙对隔声的影响就越大。

在高隔声量墙体设计中一定要避免在墙体上出现孔洞和缝隙，否则就无法达到预期的墙体隔声量值。

2.5 门窗对高隔声量墙体的性能的影响

门窗的隔声量对隔声墙体隔声性能的影响也是不容忽视的，尤其是高隔声量墙体的隔声性能影响尤为明显。门窗与墙体组合后的隔声量可通过下列公式计算：

$$R_0 = 10 \log \frac{\sum_{n=1}^n S_n}{\sum_{n=1}^n \tau_n S_n}$$

式中： S_n 为各构件的面积；
 τ_n 为各构件的透射系数。

从上述公式中看出，若某一构件的透声量比其他构件的透声量大的多时，则其他构件的透声量几乎可以忽略。

例：总面积为20m²的组合墙体，500mm厚双面抹灰砖墙体的面积为16m²，计权隔声量为69dB，墙上设1.8m²的门，门的隔声量为25dB，墙上另设2.2m²的窗，隔声量为33dB，最后含门窗砖墙的隔声量为：

$$R_0 = 10 \log \frac{\sum_{n=1}^n S_n}{\sum_{n=1}^n \tau_n S_n} = 10 \log \frac{20}{16 \times 10^{-6.9} + 1.8 \times 10^{-2.5} + 2.2 \times 10^{-3.3}}$$

$$= 34.7\text{dB}$$

从上述的实例的结果可以看出,要提高组合墙体的隔声量,就必须提高透声量大的门窗的隔声量,或减小大透声量构件的面积。设计组合隔声墙体时,应使各构件的透声量相接近,即遵循“等透射原则”。一般门窗很难达到很高的隔声量,因此在设计高隔声量组合墙体时,要尽量减少设置不必要的门窗的面积,同时门窗的隔声量应与墙体的隔声量接近。另外选成品门窗时,门窗的隔声量一般是在无缝隙闭合的理想状态下进行测试所得,与实际的使用环境、安装条件有一定得差异,因此在选取门窗的隔声值时需要留有一定的余量。

2.6 穿墙管道及其封堵方式对高隔声墙体隔声性能的影响

穿墙管道洞口缝隙的封堵方式对含穿墙管道的隔墙的隔声性能有不同程度的影响。尤其是高隔声量的隔墙上的管道与套管间不进行封堵,使得隔墙上留有缝隙孔洞,对隔墙隔声性能的影响很大。封堵的材料只采用麻丝或软质丝绵,这种封堵方式容易留下细小的缝隙,使得隔墙隔声性能在中、高频段下降;当采用麻丝填实再用柔性材料密实封堵时,对隔墙隔声性能影响最小,因此,采用有效严密的封堵措施,可使含有穿墙管道的隔墙的隔声性能与原隔墙相比,相差不大。现场实际情况发现封堵效果一般情况都比较差,因此要尽量减少不必要的管道穿越高隔声量的墙体。

调研发现:不同的管道材质对被穿隔墙的隔声性能影响不大。同管径的塑料管、钢管、铜管穿墙时,对墙体隔声量的影响大同小异,差别不大。但穿墙管道的管径的大小对有穿墙管道的隔墙隔声性能有直接影响,随着管径的增大,隔墙的高频隔声量下降,管径增大到一定程度,隔声量的下降频段向中频移动。

要做好穿墙管道穿墙处的封堵,首先是管道穿隔声墙处应预埋套管,这样才能确保管道与墙体间的联系稳定牢靠。其次,套管与管道间的空隙宽度应适宜均匀。当其缝隙太小时施工不方便造成填充材料填补不密实,从而出现缝隙影响墙体隔声量。当缝隙太大时,由于封堵材料的隔声量远低于墙体的隔声量,也会降低墙体的隔声量。管道的中心线与套管的中心线应一致,确保管道与套管间的缝隙等宽度,约20~30mm,方便保证填充质量。

实践表明,隔声墙体上应避免设计穿墙进排风

管道,由于进排风管道大多采用薄铁皮现场加工而成,壁厚不薄,管道的整体性差,穿墙处封堵不密实等情况,另外风管的尺寸一般也比较大。综合各种因素常规进排风管道会严重影响高隔声量墙体的隔声性能,应严格控制其穿越。

综上所述,高隔声量墙体的设计是需要统筹兼顾,不仅要选择合理构造和材质组合的墙体,更要把控好墙体设计的许多细节,包括专业管线的布置以及施工质量的影响等。影响墙体的隔声量的因素众多,因此,在设计高隔声墙体时一定要留有一定的余量。不然就会花了很大的精力和投资,却得不到相应好的隔声效果,造成噪声控制失败。而当施工完成发现这种不当情况出现时,整改方案的难度及工作量巨大,经济损失很高。因此,高隔声量墙体是设计、施工一体化的综合最优才能达到预期的隔声效果。

参考文献

- [1] 康玉成. 建筑隔声设计—空气声隔声技术, 北京: 中国建筑工业出版社, 2004
- [2] 徐春, 闫国军. 管道对隔墙(楼板)隔声性能影响的研究, 给水排水, 2009
- [3] 马大猷. 噪声与振动控制工程手册, 北京: 机械工业出版社, 2002.9
- [4] 吴大胜, 蔡应曦, 郑永生. 装配式墙板的空气声隔绝性能及孔洞缝隙对隔声的影响, 声学学报. 1966.1

医药工程设计研究院

中国航空规划设计研究总院有限公司自上世纪70年代后期开始涉足医药工程领域，2013年，面向医药领域市场正式成立医药工程设计研究院。作为公司民用工业领域的重要组成部分，主营业务涉及生物制药、药物制剂、研发和中试实验室、中成药、医疗器械、保健品及医院等多个领域，业务范围涵盖规划咨询、项目建议书、可行性研究、方案设计、初步设计、施工图设计、工程预算编制、工程管理、工程监理、工程总承包等固定资产投资活动全过程。医药院现为医药设计协会副理事长级单位，在医药工程建筑等领域具有较强的技术实力和丰富的设计经验。按中国GMP标准、世界卫生组织WHO GMP标准、欧盟GMP标准及美国FDA标准，已经设计完成医药工程项目600余项，其中包括一大批代表我国医药领域先进水平的工程项目，并不断斩获国家级、省部级和集团级的各类奖项：

上海莱士血液制品有限公司产业基地项目，是国内最具有影响力的血液制品生产企业，荣获2016年度全国医药优秀工程设计一等奖。

北京天坛生物制品股份有限公司疫苗产业基地项目，是按照欧盟标准设计的国内规模最大的疫苗生产基地，荣获2012年度北京市优秀工程咨询一等奖，2019年度全国医药优秀工程设计二等奖，其OPV产品已列入美国盖茨基金会国际采购清单。

上海生研所奉贤生物医药产业化基地开发项目获2017年航空工业优秀工程设计一等奖。

全球健康药物研发中心装修工程设计项目获2019年全国医药优秀工程设计三等奖。

同仁堂中药提取、液体制剂建设项目获2020年河北省工程勘察设计项目二等奖。

北京亚宝生物药业产业基地项目，是按照美国cGMP标准设计的具有国际一流水平的制剂生产基地，已经通过FDA认证，荣获2011年度全国医药优秀工程设计三等奖。

此外，医药院还出色完成了兰州生研所新建多糖蛋白结合疫苗生产车间项目、智飞绿竹2号疫苗车间和3号疫苗车间及综合用房项目、安徽智飞龙科马生物制药有限公司生物制品生产及研发中心三期项目、成都绿叶维信血脂康研发生产基地项目、百奥赛图江苏1号和2号实验大楼及库房项目、北京科兴流感疫苗原液生产车间建设项目、大连科兴新型疫苗生产楼项目、北京微谷生物医药有限公司国家疫苗中心、华大基因中心、扬子江药业集团江苏海寿保健食品有限公司设计项目等项目。

2020年，突如其来的新冠疫情给医药院带来了前所未有的机遇和挑战，医药院全体职工在原本生产任务就繁重的情况下，克服重重困难，加班加点，以最快的速度圆满完成了北京科兴新冠疫苗分包装车间项目，龙科马新冠疫苗生产车间改造项目和大连科兴P3实验室主体设计项目，受到了业主的一致好评，为新冠疫苗早日问世贡献出了“医药院”的一份力量。



2020年第5期（总第151期）
2020年10月出版



武汉生物制品研究所有限责任公司百白破联合疫苗车间工程项目