

航空工程建设

AERO-INDUSTRY ENGINEERING CONSTRUCTION

2021年第2期 总第154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

北京新机场南航基地机务维修设施项目

项目名称：北京新机场南航基地机务维修设施项目

建设单位：中国南方航空股份有限公司

设计单位：民航工程设计研究院

本项目位于北京大兴国际机场西二跑道西侧、机务维修区北侧，总建筑面积20.07万 m^2 ，主要建筑单体包括维修机库、航材库、安检楼、倒班宿舍等。其中机库及附楼10.7万 m^2 ，机库大厅跨度为“222m+183m”。南航北京新机场维修区项目成为南航历史上规模最大、单跨跨度最大的机库，是亚洲最大、也是全球跨度最大的维修机库，能够同时并排停放2架A380和3架B777宽体机，中间再停6架窄体机，被誉为“亚洲第一跨度”。

南航北京新机场维修区项目紧邻机场西跑道，位于机场限高的关键地段，限高40m，采用传统的钢网架结构设计方案满足不了限高要求。为解决这一难题，结构首创制定了颠覆传统的W型斜桁架设计方案，与传统大跨度机库钢结构设计相比，能够有效缓解大门桁架负担、减小屋盖自重、提升结构效率。杆件最大内力由6000吨降至不到4000吨，屋盖用钢量减少了近1500吨。最终，项目建设方案满足了机场限高要求。



航空工业召开2021年信息工作会议

3月24日，航空工业召开2021年信息工作会议，总结回顾2020年度信息工作，研判当前信息工作形势，明确“十四五”信息工作原则，部署2021年重点工作。航空工业党组副书记李本正出席会议并提出明确要求。

会议强调，2021年是中国共产党成立100周年、新中国航空工业创建70周年、“十四五”规划开局之年，航空工业“深化改革年”，航空工业信息工作将紧紧围绕提升信息工作的质量、效率和效用，加强四方面重点工作：一是强化“上情下达”；二是规范信息工作体系、制度和流程；三是完善信息工作的信息化支撑平台建设；四是强化正向激励信息工作的有效机制。

就做好“十四五”信息工作，李本正从信息工作定位、党委作用发挥和信息工作组织提出以下要求：一是各单位要坚决发挥信息工作的“坚强前哨”作用，服务航空强国建设大局；二是各级党委要切实发挥“把管促”作用，有力推动信息工作做实做深；三是各单位综合管理部门要发挥骨干和引领作用，精准、高效、正确组织开展信息工作。

会议表彰了航空工业2019~2020年信息工作先进单位和先进个人，调整了航空工业信息工作站。总部各部门领导和相关人员在主会场参会，各所属单位分管信息工作的单位领导、信息工作相关人员在视频分会场参加会议。

（信息来源：《中国航空报》）

工程设计行业将大幅降低准入门槛

日前，住房和城乡建设部执业资格注册中心征求意见，提出将对国家一级注册建筑师资格考试大纲进行调整，把考试科目由原来的9门调整为6门。此外，近期网上流传出的最新版《工程设计资质标准（征求意见稿）》内容显示，资质调整幅度很大，对工程设计综合资质大大降低难度和限制条件，对工程设计行业和专业资质，大幅减少主要专业技术人员数量和注册人员要求。

除市政、电力行业外，取消对公用设备、电气注册

人员要求，市政、建筑等之外其他行业不配或少配建筑、结构人员，大幅减少建筑、结构注册人员要求，适当由二级注册人员代替一级注册人员。建筑行业甲级资质注册人员由12人减为6人；建筑工程专业甲级由9人减为4人，乙级只要求二级注册建筑、结构各1人，由7人减少为2人。

其中对工程设计综合资质的修订大幅度降低了企业资质和勘察设计收入排名指标。减少了企业具有的资质类别，由具有两个行业甲级或者1个行业甲级加3个不同行业的专业甲级，减少为具有1个行业甲级即可申请；降低勘察设计收入排名要求，由近5年内2次进入前50名，降低为近5年内1次进入前100名；将勘察设计收入不少于10000万元，调整为上缴工程勘察设计增值税均不少于3000万元；减少主要专业技术人员指标。取消了对具有初级专业技术职称人员要求。具有注册职业资格或高级专业技术职称的人员由200人减少为150人。取消注册建造师、注册监理工程师要求。此外还删除了办公场所面积、质量认证体系、管理组织体系等方面的要求。

尽管取得了综合资质并不一定能在各行业间畅行无阻，但取得综合甲一直是工程设计行业企业追求的“终极目标”。根据统计到目前一共有81家综合甲企业，分布却极不均衡，最量大面广、在城市建设中最主力的建筑行业头部企业规模和体量都已经进入了勘察设计收入排名前100强，却没有一家企业能获得该资质。其中的主要原因即是原来对两个行业甲或者一个行业甲级加三个不同行业的专业甲级资质的限制条件。将营业收入从1亿元改为税收3000万，因为排名能进入前100名的营收早已达到了10亿元左右。而改为增值税不少于3000万的要求，最低的勘察设计业务营业收入不会低于8.5亿，指标的调整更强调行业对国家经济的实际贡献。

本版的征求意见稿如果顺利实施，可以预见，未来综合甲的申请比拼最重要的条件是企业规模，必然会引导行业中的兼并重组；打通行业壁垒，企业更具有市场自主权，当然也证明了综合资质的含金量大大降低，而大幅减少注册人员数量要求，注册人员的含金量也同样会大幅下降，从而从根本上缓解挂证、卖证的不良现象。同时，一注考试科目减少，考试难度降低，通过率“放水”，将导致行业门槛更低，竞争也更为加剧。

（信息来源：《建筑时报》）

厦门太古翔安新机场维修基地项目

建设地点：福建省厦门市

设计单位：民航工程设计研究院

建设情况：设计中

厦门太古翔安新机场维修基地项目，建设方为厦门太古飞机工程有限公司，设计方为中国航空规划设计研究总院有限公司。项目用地位于厦门翔安新机场，地处大嶝岛，为整体搬迁项目。项目用地面积53.77ha，约806.5亩。本次新建建筑物共17项，包括1号机库、2号机库、3号连廊、4号办公楼、5号中央仓库、6号动力站、7号危险品库、8号化学品库、9号危险品库、10号设备维修厂房、11号特种车棚、12号装卸油棚、13号油车棚、14号污

水处理站、15号垃圾转运站、16号门房、17号空侧安检道口，项目总建筑面积约27.6万 m^2 。新建机坪飞行区等级为4F，机坪道面面积约为26.2万 m^2 ，机坪道肩面积约为1.83万 m^2 。为保障基地建设运行的集约高效，本项目开创性地采用中轴对称的背靠背布局方案，设计2座机库，每座机库可同时容纳6架宽体飞机（其中含2个宽体喷漆机位及1个A380飞机维修机位）。机库造型以流畅的曲线为特征，通过附楼屋面上重复、对称的圆洞形成韵律，圆洞之间为机库大厅的头库，造型设计与功能布局相吻合的同时，形成了非常完整、独特的建筑形象。

本项目为吹填造陆，软地基条件下进行如此大规模的建设工作，设计难度极高。2个机库建筑长度均超过500m，其中1号机库大厅跨度255.6m+269.5m，建成后将成为亚洲地区跨度最大的机库。





尧城机场新建机库项目

建设地点：山西省太原市

设计单位：民航工程设计研究院

建设情况：建设中

尧城机场新建机库项目用地位于山西省太原尧城机场航站区南侧、跑道西侧，西侧和南侧均为规划预留发展用地。一期和二期总用地面积约6.6万 m^2 。本期用地面积约

4.4万 m^2 ，约65.95亩。

建设内容包含机库地块、机坪和联络道。机库的总建筑面积1.2万 m^2 ，建筑物占地面积1.07万 m^2 。机坪面积1.15万 m^2 和联络道2617 m^2 。

本项目的落地，进一步完善了尧城机场的运行保障能力，可以有效解决尧城机场机库基础设施能力不足的问题。通用航空作为山西省的重点产业，依托国内外良好的航空市场，山西尧城通航机库项目的建立，可依托山西省良好的航空市场环境，势必可以取得良好的发展前景。

西安咸阳国际机场三期扩建工程航空食品及机供品工程项目

建设地点：陕西省西安市

设计单位：民航工程设计研究院

建设情况：设计中

本项目位于西安咸阳国际机场东南侧，基地总用地面积约5.1万 m^2 。

本工程建设项目分为4项，分别是1号综合楼、2号配餐厂房、3号库房及动力中心、4号门房，以及配套的室外地坪道路，机动车停车场和非机动车停车场等设施，总建筑面积4.5万 m^2 。

场地分为3个片区进行布置，北部为主要的工艺生产区，布置2号配餐厂房；中部为办公配套区，从东向西依

次布置4号门房、1号综合楼和3号库房及动力中心，1号综合楼前设置广场和绿化；西部为二期预留用地，现阶段布置为机动车和非机动车停车场。

主要建筑1号综合楼主要功能包括办公、餐厅、厨房、宿舍等，本工程建筑性质为多层办公综合楼。建筑占地面积2743 m^2 ，总建筑面积约1.01万 m^2 ，建筑地上5层，地下1层，建筑高度23.1m。

2号配餐厂房主要功能包括机供品收货、高架库、原料收货平台、机供品配备、机供品回收、出港平台、热厨间、加工间及设备用房等。本工程建筑性质为多层厂房。建筑占地面积约1.3万 m^2 ，总建筑面积约2.58万 m^2 ，地上2层，建筑物总高度为19.65m。

3号库房及动力中心主要功能为机供品及保税品周转库等。本工程建筑性质为多层库房。建筑占地面积2647 m^2 ，总建筑面积8958 m^2 。建筑地下1层，地上3层（局部出屋面层），建筑物总高度为20m。





上海浦东国际机场西货运区3号货运站二期建设项目

建设地点：上海市

设计单位：民航工程设计研究院

建设情况：设计中

本项目建设地点位于上海浦东国际机场西货运区。本项目属于机场货运站工程项目，进行航空货物地面处理作业和运营服务，货站内配置了高效的货物处理设备，符合现代物流发展理念，是一个可向国际、国内航空公司及货

代和货主提供航空货物全面地面服务的货运站工程。

本项目投资建设设计目标年为2025年，设计能力为年吞吐量30万吨。项目将建设成为基于电子信息平台及高效率先进货运处理设施的高效率、高质量、高技术水平的现代化航空货运站工程，使之成为中国东方航空公司在上海及长三角地区的国际空运货物处理、集散、中转作业基地的重要组成部分。

二期工程建设内容为：新建1号货运站、4号货运站、28号陆侧卡口、空陆两侧的货运生产地坪以及配套管线改造等。总建筑面积约5.4万 m^2 ，各建筑物主体结构设计合理使用年限为50年，建筑抗震设防烈度为7度，屋面防水等级为Ⅰ级。

标准名称: 湖北省建设项目交通影响评价技术规范

标准编号: DB42/T 685-2020
发布日期: 2020-12-04
实施日期: 2020-12-22
公告号: 公告〔2020〕9号
发布部门: 湖北省住房和城乡建设厅

标准名称: 安徽省建设项目施工现场安全风险管控标准

发布日期: 2020-12-04
实施日期: 2020-12-04
公告号: 建质函〔2020〕1076号
发布部门: 安徽省住房和城乡建设厅

标准名称: 四川省房屋建筑工程抗震设防专项审查技术要点

发布日期: 2020-12-03
实施日期: 2020-12-03
公告号: 川建勘设科发〔2020〕363号
发布部门: 四川省住房和城乡建设厅

标准名称: 绿道建设技术标准

标准编号: DG/TJ08-2336-2020
发布日期: 2020-12-03
实施日期: 2021-05-01
公告号: 沪建标定〔2020〕717号
发布部门: 上海市住房和城乡建设管理委员会

标准名称: 老旧小区既有住宅建筑扩建加层改造技术标准

标准编号: DB13(J)/T8386-2020
发布日期: 2020-11-27
实施日期: 2021-03-01
公告号: 2020年第158号
发布部门: 河北省住房和城乡建设厅

标准名称: 预制混凝土外墙防水工程技术规程

标准编号: T/CECS 777-2020
发布日期: 2020-11-25
实施日期: 2021-04-01
公告号: 第732号
发布部门: 中国工程建设标准化协会

标准名称: 百年住宅设计标准

标准编号: DB13(J)/T8383-2020
发布日期: 2020-11-20
实施日期: 2021-03-01
公告号: 2020年第153号
发布部门: 河北省住房和城乡建设厅

标准名称: 康养社区建设规划设计标准

标准编号: DB13(J)/T8381-2020
发布日期: 2020-11-20
实施日期: 2021-03-01
公告号: 2020年第151号
发布部门: 河北省住房和城乡建设厅

标准名称: 公寓建筑设计标准

标准编号: T/CECS 768-2020
发布日期: 2020-11-09
实施日期: 2021-04-01
公告号: 第716号
发布部门: 中国工程建设标准化协会

标准名称: 绿色通用厂房(库)评价标准

标准编号: DG/TJ08-2337-2020
发布日期: 2020-11-04
实施日期: 2021-04-01
公告号: 沪建标定(2020)632号
发布部门: 上海市住房和城乡建设管理委员会

(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 北京新机场南航基地机务维修设施项目

CONTENTS

目录 2021年第2期 总第154期

航空能力建设

- 02 复杂电磁环境下雷达隐身测试技术分析与发展
 王纪尧 代月松 陈琼琼
- 05 某单位二次配电系统装配车间单元化设计分析
 田昊 高放

研究与探讨

- 09 拼装式复合金属结构的隔声性能测试及应用 赵元元 陈珏
- 13 CAR-T细胞治疗产品车间工艺设计分析 张晓彤 李锦秀
- 18 未进行抗震设计的某高层框架
 ——核心筒结构抗震性能评估 刘远之 张晓光 闫军
- 23 某航站楼登机桥结构设计 丰灿 韩川
- 27 北京某填埋场渗沥液处理设施升级改造及工程设计研究
 李珂 阎露
- 33 高原机场助航灯光工程设备选型 贾广政 张琪
- 37 某高校科研实验楼照明设计探讨 郭金茹 张琪
- 42 快速确定机场盖被设计高程的计算方法 何培 朱翼军
- 47 沥青道面热物性质对道面及近地表温度场影响研究
 李雪倩 朱翼军
- 61 项目管理中全过程工程咨询的应用研究 张琪 李锐娟

复杂电磁环境下 雷达隐身测试技术分析与发展

■ 王纪尧 代月松 陈琼琼 [工艺]

摘要: 本文从雷达面临的复杂电磁环境及雷达隐身测试技术的特点出发,对几种国内外常见的雷达隐身测试技术进行分析,最后概述了雷达隐身测试技术的发展方向。

关键词: 雷达; 雷达隐身; 电磁环境

1 前言

雷达的英文名称为Radar,源自Radio Detection and Ranging的缩写,意为“无线电探测和测距”,即用无线电的方法发现目标并测定雷达与目标之间的空间距离。在设计之初,雷达主要探测目标是飞机。在二战期间,各国都投入了大量的时间、金钱来发展雷达技术。因为雷达的电磁波具有一定的穿透能力,所以其特点是不受时间、天气等影响因素,无论在白天还是黑夜,晴天还是云雾天气,均能探测到远距离的目标,具有全天候、全天时远距离探测能力的特点。这就使雷达不仅在军事作战指挥上是必不可少的设备,而且还广泛被应用于社会经济发展和科学研究等众多领域。

2 电磁环境与雷达

电磁环境是对电子设备工作能够产生影响的所有外部条件的总和,包括各种电磁辐射和影响电磁辐射信号传播的各种外部条件。复杂电磁环境主要是指,在一定的作战空域、时域和频域内,电磁辐射源种类多,辐射强度差别大,信号分布密集形式多样,对作战行动、武器装备运用产生严重威胁

和影响的电磁环境。构成复杂电磁环境的主要因素包括各种电子设备所释放的高强度、高密度、多频谱的电磁波,敌我双方的电磁对抗,静电放电等无意辐射和大气层内自然界产生的电磁波等。

根据雷达的功能和用途种类繁多,分类的标准也非常复杂,但其基本组成是一致的,一般雷达包括:发射机、接收机、发射天线、接收天线,处理部分及显示器。

雷达发现目标的过程为:雷达发射机向空间发射电磁波,电磁波遇到飞机目标时,一小部分能量被反射回接收机,接收机接收到从目标机反射回来的回波信号,如果超过一定的门限电压值,那就称为探测到了或者是发现了目标,往返时间代表离目标的距离。

根据雷达最大作用距离方程:

$$R_{\max}^4 = \frac{P_t G_t \sigma A_r}{(4\pi)^2 L S_{\min}}$$

其中: R_{\max} 定义为雷达最大作用距离; P_t 为雷达发射机的峰值功率; G_t 为雷达发射天线增益; σ 为目标的雷达散射有效面积; L 为损耗因子系数; S_{\min} 为接收机可辨识的最小功率。

由公式可知,雷达的最大探测距离 R_{\max} 的四次方与被探测目标散射截面成正比。

雷达隐身的本质就是让敌方雷达探测系统无法准确地探测到目标机反射回来的回波信号,从

作者简介:王纪尧,男,助理工程师,2018年毕业于东北大学通信与信息系统专业,现就职于航空工业规划飞机工程事业部。

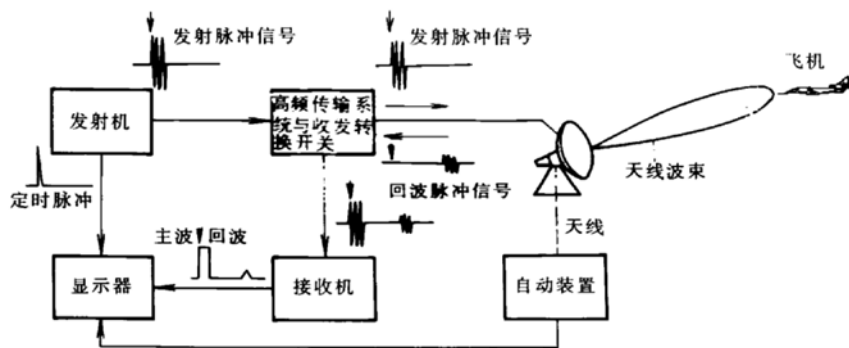


图1 雷达隐身原理示意图

而不能发现目标或者发现概率很低。根据雷达公式可知，要实现雷达隐身，就是要通过吸收或者反射雷达波，减少目标机的雷达特性，降低雷达反射截面积（Radar Cross Section），目标自身的RCS与探测雷达发射功率、距离雷达的距离远近无关，只与目标表面导电特性、结构、材料、形体等因素有关。

雷达隐身技术途径主要有：低RCS外形技术、吸波材料涂覆技术、雷达吸波结构技术、无源与有源阻抗加载技术、等离子隐身技术等。

3 雷达隐身测试技术

雷达隐身性能的测试评估，主要利用室内紧缩场（微波暗室），室外静态测试场、空中动态测试设备、近场测试设备等试验平台，分别完成雷达隐身从概念设计到装备全生命周期的隐身性能评估工作。在不同的设计阶段，需要用不同的测量方法和测量设备来支撑。

3.1 室内紧缩场散射性测量

紧缩场测试是飞行器研发设计阶段全尺寸部件的重要考核手段以及飞机平台隐身性的验证手段。紧缩场通过在微波暗室采用精密的反射面，将点源产生的球面波在近距离内变换为平面波，从而实现散射性散射特性测量要求的单一平面波照射和单一平面波接收的条件。

室内紧缩场适用于设计阶段的缩比模型（整机缩比尺寸一般选择1:2~1:4），全尺寸部件及设备测试。紧缩场占地小、效率高，不仅满足远场条件，还可以高精度地检测目标的RCS，具有超高的RCS测试效率，同时还具有全天候、高保密测试能力，使其成为完成目标低可探测特性研究的重要手段。室内紧缩场不足之处在于，测试目

标尺寸、重量受限，无法实现大型实装目标的测试。

3.2 室外全尺寸静态散射特性测量

室外静态散射特性测量是飞行器研发设计阶段整机隐身性能达标的重要考核手段。室外静态测试场通过在室外搭建测量转台和轨道，形成大范围的测量系统，以此来完成目标散射特性测试试验。

室外静态测试场对目标的尺寸没有严格的限制，适用于设计阶段进气道等全尺寸大部件、全尺寸飞机模型（1:1）。目标包括实际武器装备的隐身能力的测试。室外静态测试场具有满足远场条件，在VHF、P频段具有低RCS背景的特点，而且采用外场的形式，可以实现目标自由大俯仰角测

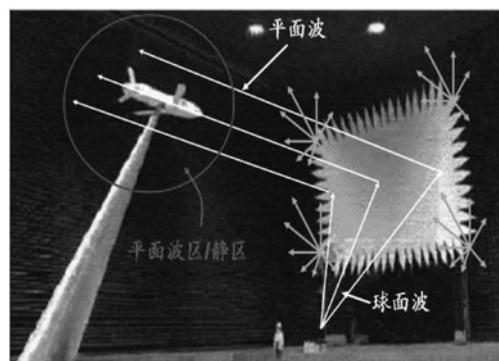


图2 室内紧缩场测试示意图



图3 F35外场测试示意图

试。室外静态测试场的不足之处在于,外场占地面积大,建设成本及维护费用高,目标架设困难,试验周期长,无法承担大型实装目标的测试。

3.3 室外空中动态散射特性测量

室外空中动态散射特性测量适用于飞行器定型试飞验证鉴定阶段,用于实装飞机的测试。空中动态测试中的目标处于飞行状态,测试目标最为“真实”,可以同时目标的隐身功能与效能进行测试。

室外空中动态散射特性测量,该技术不足之处在于试验成本高,目标飞行姿态无法精确控制,数据重复性差,外界干扰因素大,试验周期长。

3.4 近场扫描散射特性测量

室内近场扫描散射特性测量是一种近年来新兴的测量技术,其采用近场变换测量与远场测量相比较的方法进行目标隐身散射特性的测试。近场扫描散射特性测试应用于飞行器整机隐身出厂测试阶段,以实装目标出厂服役检测为主,同时还兼顾设备与部件检测,该技术逐渐成为散射测量的重要手段,各国都在其理论和技术上投入大量的研究。

近场扫描散射特性测量基于电磁成像的对比检测,可以承担实装目标测试验证,具有高效率,全天候、高保密等特点。其不足之处在于,需要修正由远近场变换带来的测量误差,同时对于腔体散射,多次耦合散射等因素带来的误差难以消除。

4 雷达隐身测试技术发展趋势

国内外经过长时间的研究和发展,雷达隐身测试手段也趋于多样化,测试技术与趋于成熟。总体来说,发展趋势有以下几个方面:

(1) 提高测试场的性能,如测试频率朝多频段、多极化、更宽的带宽发展,同时提高测试精度和测试效率等;



图4 F22近场测量示意图

(2) 室内建设大型完善的紧缩场,使其尺寸能够更好地满足飞行器及其装备的全尺寸测试需求;

(3) 室外测试场地需要进行更加合理的分布规划,根据其不同研发设计生产阶段需求,满足其不同的目的和功能需求,建设各种功能更加完善,分布更加合理的室外测试场地。

5 结论

综上所述,雷达隐身测试在飞行器隐身设计、验证以及隐身材料应用等方面有着至关重要且无法替代的作用,目前国内现有的测试手段和测试技术距离世界上先进的技术水平还存在较大的距离。虽然雷达隐身测试技术及测试场地的种类众多,各种测试方法手段都有其自身的优缺点,但是其之间的关系是相互依存,同时也是不可相互替代的。对于不同的阶段需求,不可能用同一种手段满足所有场景的测试需求。雷达隐身测试技术的发展主要围绕提高测试场地性能、拓展完善室内室外测试场地建设,最终达到满足各类试验测试需求,支撑雷达隐身技术快速发展。

参考文献

- [1] 匡兴华,钟华.隐身技术与隐身对抗[J].国防科技参考,1996:31-48.
- [2] 王小谟,张光义.雷达与探测[M].北京:国防工业出版社,2000:5-8.
- [3] 李淑华,黄晓刚,刘平.复杂电磁环境下雷达抗干扰技术研究[J].现代雷达,2013,35(04).
- [4] 赵健.基于复杂电磁环境下的雷达抗干扰技术[J].民营科技,2014(01).
- [5] 许学春.隐身导弹与隐身技术的应用,飞航导弹,2013(5).
- [6] 张永顺,童宁宁.雷达电子战原理,北京:国防工业出版社,2010.
- [7] 张建民,孙健.国外隐身技术的应用与发展分析,舰船电子工程,2012(4).
- [8] 朱良成,张丽星,飞行器射频隐身技术的发展与应用,航空科学技术,2010(5).
- [9] 丁建江.防空雷达目标识别技术[M].北京:国防工业出版社,2008.
- [10] 李均阁.雷达技术发展综述及多功能相控阵雷达未来趋势[J].甘肃科技,2012,(18).

某单位二次配电系统装配车间 单元化设计分析

■ 田昊 高放 (工艺)

摘要: 本文针对二次配电系统技术集成度高、更新换代快、小批量、多品种的特点,通过某航空企业二次配电系统装配车间单元化设计分析,构建了单元化装配模式,以实现资源的灵活优化配置,提高产线的柔性,并对单元化装配模式在此类装配车间工艺设计中的应用进行了分析和探讨。

关键词: 二次配电系统; 装配车间; 单元化

1 二次配电系统总体介绍

二次配电系统是机载电源系统的重要组成部分产品,主要用于一次系统的联系监视、控制,使其安全经济运行。

二次配电系统主要由继电保护、安全自动控制、系统通信等组成。继电保护具有正确区分被保护元件是处于正常运行状态还是发生了故障的功能;安全自动控制使电源系统的工作状态或参数自动按照预定的规律运行;系统通信主要将二次配电系统状态实时反馈给飞行员。

2 某单位二次配电系统装配车间目前存在的问题

随着近年来飞机型号的显著增加,二次配电系统除“多型号,小批量”普遍特点外,还具有技术复杂度、集成度高、各类机型之间技术差距大、

更新换代快等特点。某单位二次配电系统装配车间在现有的生产条件及模式下,主要存在以下问题:

(1) 多品种并行生产,资源紧张,装配过程中经常遇到设备“打架”的问题。

(2) 装配效率低,由于科研生产混线,经常出现“临时插队”的新品科研任务,需要混线生产,影响装配效率。

(3) 产线调整难度大、浪费多。

(4) 库存积压现象比较严重。部分二次配电产品的装配周期长,传统排产方式是以一个经济批量安排生产,对时间相对较长的工序,每批产品完成时间很长,造成后续工序以及其他产品的等待,从而导致库存积压现象比较严重。

3 装配单元化的概念

装配单元化是日本兴起的一种生产模式,在力求克服流水线的刚性又尽力维持较高生产效率的思想下,由流水线拆分而成的,主要被应用于装配生产阶段倡导在装配过程中的低自动化,成功应用

作者简介: 田昊,男,工程师,2014年毕业于北京航空航天大学控制科学与工程专业,现就职于航空工业规划机载工程事业部。

于机电、电子行业中。

装配单元化的实质是由少数几名训练有素的多面手作业人员组成独立的生产单元，完成相对完整的系列作业内容。各工位之间在制品传送取消传送带，采用一些简单的辅助设施或手工搬运，组内每个人都要承担相当于传统流水线生产3~5个工位的内容，相互之间通力协作沟通，共同完成生产任务。简化层次，实现模块化、单元化柔性生产与并行工作，在强化单元独立性、自主性和相互协调性的基础上，全面提高生产敏捷性、可变性和容错性，是应对多品种、小批量企业生产模式的有效途径。

与传统的流水线、成组技术等生产方式相比，单元化生产有以下优势：

(1) 柔性高，弹性大。装配单元化生产线规模小，一般采用通用设备，作业人员都是多面手，从而可以频繁、低成本的更换产品类型，转产周期短。

(2) 生产、试验单元的建立投资少，周期短。装配单元化生产线只需普通的工作桌，采用小型的、通用的、低成本自动化的设备，可根据生产需要迅速增长或缩短生产线，很好地节省了投资费用。

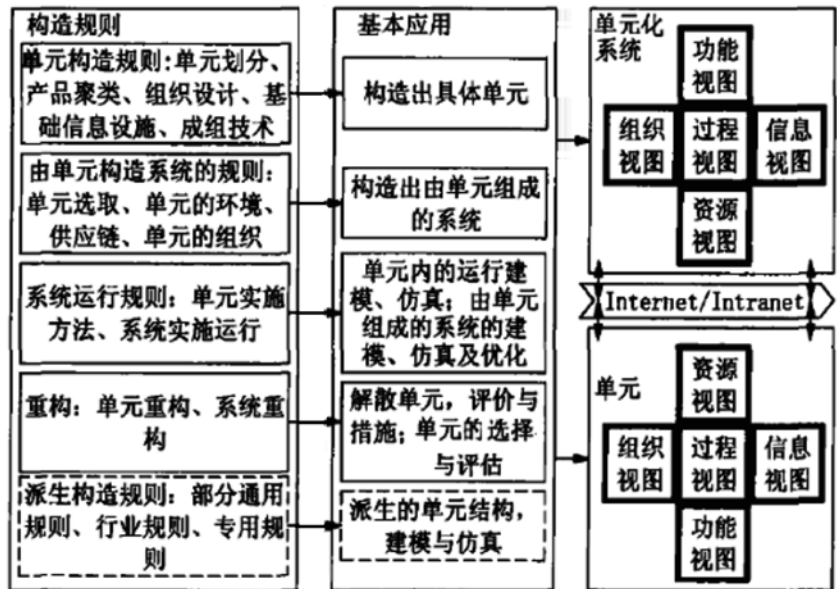
(3) 生产效率高。装配单元化生产线体短，可以快速切换，发挥船小好掉头的优势，迅速换线，容易实现多品种并行生产。

4 装配单元化的实现方式

在构建单元时，需考虑整个生产周期、产品需求变化对单元资源的动态需求，针对单元资源的动态需求进行统筹考虑，以使所构建的单元在整个生产周期内便于进行重构。单元构建可以产品或设备等为划分依据。构造单元生产体系结构框架主要有两个关键要素：一是构造单元，二是将已有单元快速连接成为一个系统。

(1) 构造单元

根据生产的产品类型、批量和交货期要求，



单元化生产体系结构图

对现有/拟建流水线系统规模进行资源、工艺路线分析。

以可独立完成的部件为基础，去除流水线中的传送带及机器人等自动化设备，综合考虑生产过程中的实际因素(如多工艺路线、生产批量等)，将生产线拆分为若干个单元。

对工艺及设备资源进行优化，对单元之间的生产节拍进行分析，以确定单元配置；确定各单元之间的关系，进行单元组合布局。

(2) 将已有单元连接成为一个系统

单元化生产系统除具有一般生产系统的特征，即功能/过程特征，组织特征，资源特征，信息特征，物流、信息流和资金流及其集成的特征外，更重要的是要反映出单元本质特征：敏捷性、可重构性以及协调性。

单元化体系结构模型如图所示。各生产单元形成单元化生产的局部模型，同时通过协作方式而形成的单元化生产具有不同于一般生产系统的运行模式。

5 设计案例分析

(1) 单元生产构建

对车间现有设备、人力资源情况按型号统计后部分如表1所示。

针对“机型1-1”型号的二次配电系统，由于现有资源的局限性，其研制试验、总成调试两部分

表1 设备及人力资源情况表

设备 \ 机型	机型1			机型2			机型3		
	机型1-1	机型1-2	……	机型2-1	机型2-2	……	机型3-1	机型3-2	……
电装	共用		……	1	1	……	—	1	……
点胶机	2	1	……	2	1	……	1	1	……
拉拔力测试机	共用		……	共用		……	1	1	……
移动电源	3	4	……	共用	……	3	2	……	
大功率电源	共用			共用			共用		
大功率负载	2	5	……	2	1	……	2	2	……
移动负载	共用2台								
试验台	2	2	……	3	2	……	2	1	……
综合调试设备	3	3	……	1	2	……	2	1	……
装配台	3	2	……	1	2		2	4	……
高低温试验箱	共用		……	1	1	……	共用		……
模拟器									
信号分析设备	1	1	……	共用		……	1	1	……
人员	3	3	……	3	5	……	4	3	……
……									

表2 研制总装设备表

资源	电装	点胶机	拉拔力测试机	移动电源	大功率电源	大功率负载	移动负载	试验台	装配台	高低温试验箱	人员
研制试验	1	1	1	1	1	1	1	1	—	1	4
总装调试		3				1		—	3		

表3 单元划分表

单元划分	电装单元	预处理单元	试验台单元	装配台单元	专用试验测试单元	通用设备单元
包含设备	电装设备	点胶机、拉拔力测试机	工作台、货架的组合	工作台、货架的组合	针对型号的专用测试设备	高低温试验箱

资源如表2所示。

以某个型号的研制试验、总装调试所占用设备分析,研制试验和总装调试对部分大型设备共用现象较为普遍,在单元的进一步细分中,应根据不同设备的专有/共用、设备的价值、设备的数量等进一步划分单元。每个型号单元又可细分为电装单元、预处理单元、试验台单元、装配合单元、专用试验测试单元、通用设备单元6个子单元。单元划分如表3所示。

其中的装配合、试验台单元由于价格低、通用性好,便于复制。

(2) 将划分的单元连接成系统

将划分好的单元组合时需注意以下几点:

精益物流:精心策划物流过程,使流通过程为单向流,真正达到近似“直线运动”;尽量减少库存,以降低产品成本;有效利用网络资源,使数据通过网络在各单元之间流动,而不是产品或人;

成组技术思想:基于同类机型、不同型号二次配电系统在试验、装配中的相似性,在不破坏单元划分的基础上,对部分设备予以成组布置,以提高试验、装配线的柔性和灵活性;

网络的应用:为减少设备、产品、人员的移动,结合整体网络技术设施规划,构建先进网络体系,尽量多地使用数据流,而非物流或人员流动。

对有特殊安装需求的设备集中布置,以对特殊条件集中考虑。

6 效果分析

(1) 通过构建单元,试验、装配设备布局整齐,占用空间少,作业距离短,结构紧凑,而且操作者之间独立作业互不影响,资源情况得到一定程度缓解。

(2) 有效解决了“临时插队”的问题。由于研制与生产为按型号平行展开,研制与生产交叉进行时,在同一型号单元内进行,对于新技术可随时利用空闲试验工位、仿真网络中闲置的视景系统、台架等设备进行验证。

(3) 后期调整可节省大量人力、物力。首先,生产单元一般不需要投资巨大、操作复杂的自动化控制系统,工具设备多由工人自行开发制造,使用和调整非常简单。

(4) 自单元内部、单元之间结合精益物流进行设计,整个厂房内有效减少了物流,提高了

效率。

7 存在的问题

通过对上文案例的分析,得出了实施单元化后带来的良好效果,但在实施单元化时也要考虑到以下问题:

(1) 延展性有一定限度。单元化生产适合在多品种小批量、波动性强的市场需求环境下实施,需求的小幅上涨可以通过添加工作台或增加生产单元的数量来迅速应对。但是一个生产单元的延展性是有限的,当其中某型号二次配电系统批量大幅增加,装配工作台大量增加时,会影响其他型号生产。

(2) 初期成本小幅增长。尤其当流水线被拆分后,为了满足多个生产单元的需求,重型设备改造成简单设备,部分工具(如本文案例中的工作台等)要进行大量复制,在简化设备和复制工具上的费用增加会带来短期内产品成本的增加。

(3) 单元化构建方案应符合各厂所产品装配试验实际,在实施中要充分利用企业的网络信息化基础,并可能会对企业的组织机构有所调整。

拼装式复合金属结构的隔声性能测试及应用

■ 赵元元 陈珏 (工艺)

摘要: 本文针对一种复合金属隔声结构,进行拼装设计,降低复合结构现场施工难度。试验结果证明,拼装式复合金属结构具有良好的隔声性能。与传统板墙结构对比,其安装便捷,施工周期短,在工程应用中具有广阔的发展空间。

关键词: 复合结构;隔声;拼装设计;工程应用

0 引言

复合结构的隔声原理是利用声波在不同界面上阻抗发生变化,使声波反射,减少声能透射,从而提高隔声能力^[1,2]。相较于均质隔声结构,如实心砖墙、混凝土墙等,在隔声量相当的情况下,复合隔声结构面密度更低、厚度更薄。

在为某汽车天窗生产公司建设静音室的过程中,根据用户声学需求、建设条件,定制化设计了复合金属隔声墙体结构,建设完毕后,进行声学测量,墙体隔声量可达42dB,满足用户使用需求。该次建设的复合隔声结构为现场组合、固定,虽无需土建施工,但现场施工工序较多,为满足质量要求、工期要求,投入较高人力成本。

为优化复合结构的施工方案,本文将复合隔声结构进行模块化设计,工厂批量加工,现场完成拼装工作即可。对拼装后的结构进行隔声测试,验证整体结构的隔声效果。

1 复合金属隔声结构

复合隔声结构采用多种材质不同的板叠合使用,声波透过复合结构时发生多次折射,透过复合结构的声能大大削弱。复合结构可采用软硬材料交替,以减弱结构的工作和吻合频率区声能辐射。

本次设计中的金属结构护面板为钢板,在钢板的基础上复合弹性阻尼材料。钢板为结构提供必要的机械强度,阻尼层的功能则是尽可能多地消耗由声波引起的振动能量。在阻尼层的自由层表面附加约束层,形成约束阻尼结构,一方面可以对阻尼结构的振动再次起抑制作用,另一方面,约束结构也提高到了结构整体的弹性模量^[3]。

复合金属隔声构件的结构如图1所示。外部护面材料为镀锌钢板,板材厚度分别为2mm和1.2mm。镀锌钢板内侧粘贴一层3mm阻尼层,阻尼层要求材质均匀、无明显孔洞。使用3M结构粘胶黏贴,胶水涂抹均匀,阻尼层从一侧铺向另一侧,防止阻尼层和钢板间留有气泡、空鼓。阻尼层另一侧的约束层采用0.8mm镀锌钢板,同样使

作者简介:赵元元,女,助理工程师,2014年毕业于内蒙古科技大学机械设计与理论专业,现就职于中航工程集成设备有限公司。

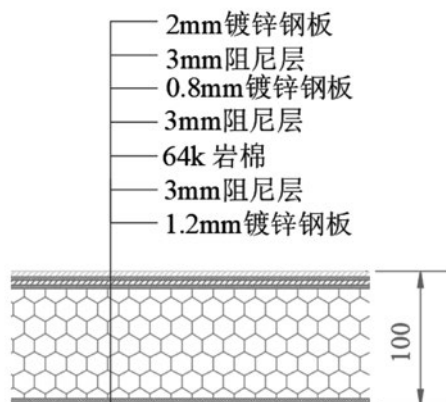


图1 复合金属隔声结构

用结构胶，粘贴牢固。金属壳体内部填充容重为 $64\text{kg}/\text{m}^2$ 的岩棉。复合金属结构面密度约 $45\text{kg}/\text{m}^2$ ，厚度 100mm 。

2 隔声结构拼装设计

本次设计的关键为隔声结构模块化设计，在工程施工中直接拼装组合使用。

声音在传播过程中，遇到缝隙或孔洞，声能会绕过障碍物传到隔声结构另一面去，所以结构的拼装方式必须进行声学处理，现场安装便捷。

图2给出了一种隔声结构的拼装样式，两块金属板咬口拼装，噪声在传播过程中需经过“Z”形通道；两块板在安装过程中，使用肘夹提供压紧力，将一块板压紧于另一块板上。在拼缝处，两块隔声板之间安装有一条中空柔性丁基橡胶密封条，在压紧力作用下，密封条适当压缩，将一段缝隙完全填充，阻断噪声在缝隙中的自由传播，起到密封作用；其余位置的拼缝，在一侧板面上粘贴柔性密封垫，增加缝隙侧壁的阻性吸声，从而降低从缝隙中通过的声能。理论上缝隙被密封材料完全填充更有利于隔声结构的整体隔声效果，但必须考虑现场实际的安装情况。隔声板在设计时，板与板之间会留有安装缝隙，如果缝隙两侧的隔声板上全部粘贴柔性密封材料，材料厚度超过缝隙宽度，安装时，两块板之间的摩擦力会直接将密封材料挤碎掉落，影响安装的同时也起不到任何密封效果，所以只在一侧隔声板侧壁贴密封材料，方便隔声板的拼装施工。

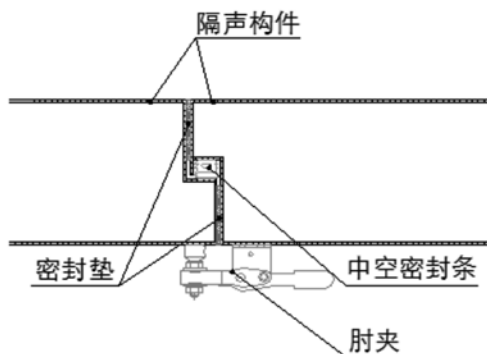


图2 隔声结构咬口拼装

3 隔声性能测试

依据国标《GB/T 19889.3-2005 声学 建筑和建筑构件隔声测量 第3部分：建筑构件空气声隔声的实验室测量》，在符合国标要求的实验室内进行隔声构件的隔声性能测试。采用混响室—混响室法进行隔声性能测试，声源室容积约 112m^3 ，接收室容积约 123m^3 ，测试温度 25.4°C ，湿度 60.0% 。进行3组隔声量测试，第一组：单独测量复合金属隔声结构的隔声量；第二组：测量拼装式复合金属隔声结构的隔声量；第三组：两层拼装式复合结构独立安装，模拟工程应用中的双层墙结构，测量其隔声量。

第一组实验，将单块金属隔声板砌筑在声源室洞口内，四周水泥填实、抹平。双层墙体之间填充岩棉，完全独立，无刚性连接。被测结构面积为 1m^2 ，安装如图3所示。

第二组实验：测试拼装式复合隔声结构，主体由框架和3块金属隔声板组成，框架砌筑在混响室墙体上，水泥捣匀填实，被测结构面积 7.5m^2 ，安装如图4所示。

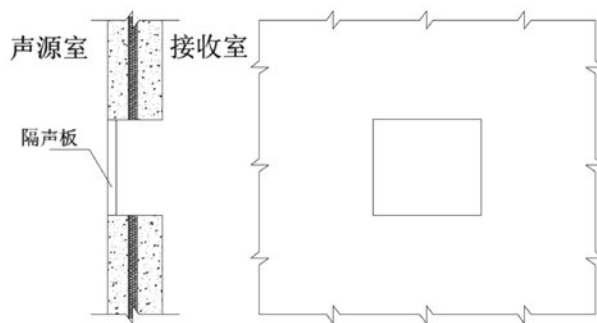


图3 单块复合隔声板安装示意

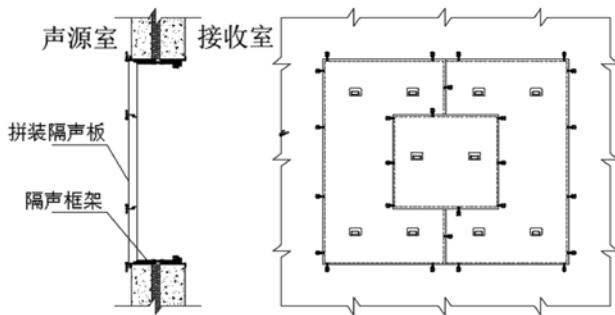


图4 拼装复合隔声板安装示意

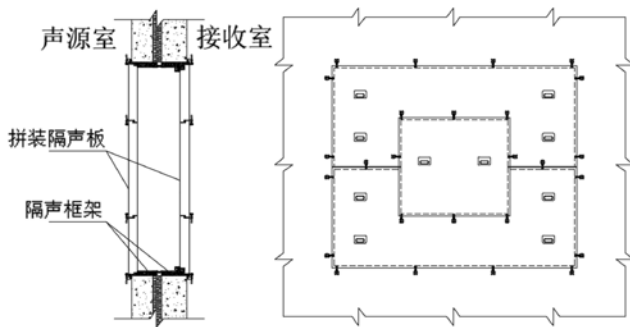


图5 双层拼装复合隔声板安装示意

第三组实验：在第二组实验的基础上，在接收室墙面洞口上，安装一层拼装式金属隔声结构，被测面积 7.5m^2 ，安装如图5所示。

通过实验，获得组测试数据，隔声特性曲线如图6所示，隔声特性曲线与标准曲线进行对比，获得3组试件的计权隔声量，分别为：单块复合隔声板计权隔声量为47dB，拼装复合隔声板计权隔声量为43dB，双层拼装复合隔声板计权隔声量为62dB。

拼装复合结构存在安装缝隙，缝隙内安装有中空丁基密封条和密封垫，拼装结构的隔声性能为复合金属隔声板和缝隙的组合隔声量。使用复合结构隔声量和面积、缝隙隔声量和面积，计算获得拼装结构的隔声量为 $R_w42\text{dB}$ ，而第二组实测拼装复合结构隔声量为 $R_w43\text{dB}$ ，对比结果说明处理缝隙使用的密封材料合理，起到设计预期的密封隔声效果；分析拼装结构、双层拼装结构的隔声特性曲线，在中高频处隔声量无明显低谷，表面安装过程中缝隙全部密封，无漏声情况，设计的拼装形式是可行的。

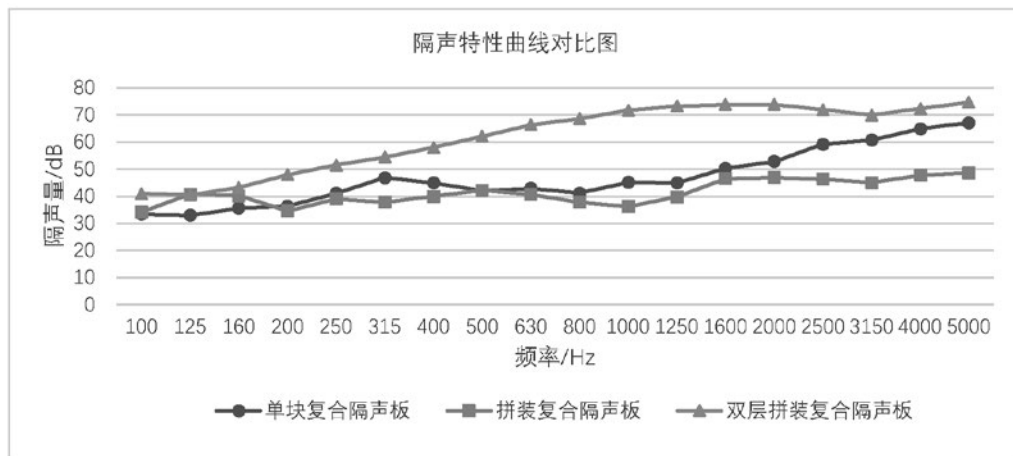


图6 隔声特性曲线

常用板墙隔声量图表

序号	名称	结构	面密度/(kg/m^2)	计权隔声量/dB
1	砖墙	490mm实心砖墙双面抹灰；	833	62
2	砖墙	240mm实心砖墙双面抹灰； 单侧80mm矿棉6mm塑料板	500	63
3	混凝土墙	300mm混凝土	800	60
4	加气混凝土双层墙	双层75mm加气混凝土墙；中间400mm空气层	140	62

双层拼装复合结构计权隔声量 R_w 62dB, 查阅常用板墙隔声特性表^[4,5], 与其计权隔声量相当的结构如表所示。据质量定律, 常用的240mm实心砖墙、200mm厚混凝土墙体, 隔声量均低于序号1、序号3的隔声量, 由此可见, 本次设计的双层复合结构隔声性能优异, 优于常见重质墙体结构。

4 复合金属隔声结构的应用

通过上述隔声量对比, 可以看出, 复合金属隔声板具有良好的隔声性能, 在某些条件下可以替代传统的混凝土墙、砖墙等。拼装式复合金属隔声板结构, 拓宽了复合隔声结构的应用范围。本次设计的拼装和压紧结构, 可实现隔声结构现场快速安装、拆卸。

在为某整车厂建设用于隔声量测试的隔声套组(混响室一半消声室)时, 用户要求测试洞口尺寸分别为 $1\text{m} \times 1\text{m}$ 、 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 和 $3\text{m} \times 3\text{m}$ 。为满足此要求, 土建预留洞口 $3.5\text{m} \times 3.5\text{m}$, 同时设计不同尺寸的拼装式复合金属隔声板。通过拆装隔声板, 组合留出所需的测试洞口尺寸, 缩短测试准备时间, 测试环境更为整洁。隔声板分别安装在混响室和半消声室墙体上, 隔声量约60dB, 满足实验室隔声量测试要求。

某科技公司需在研发大楼内建设一静音室用于智能音箱测试工作, 大楼内不允许进行土建施工, 不允许使用电焊等设备, 因此静音室主体采用拼装式复合金属隔声板, 现场施工周期短, 对周围办公环境影响小, 静音室建成后室内本底噪声约25dB(A), 满足实验室使用要求。

5 结论

通过上述测试结果和工程应用可以看出, 复合金属隔声结构有较好的隔声性能, 拼装方式密封可靠。相较于土建结构, 复合金属板其优势在于建设限制条件少、重量轻、施工周期短等, 在快节奏的工业发展进程中, 必然有广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 罗晓强. 金属面复合板在工业建筑中的应用探讨[J]. 福建建筑科技, 2011(4): 47-49.
- [2] 何伟光、何浩明、梁璟晟. 一种新型复合材料在配电房噪声控制中的应用研究[J]. 科技论

坛, 2015(9): 144-149.

[3] 郑中原, 李俊, 李斌商. 约束型复合阻尼隔声板的隔声性能及其应用研究[J]. 高压电器, 2019, 16, 0273-0276.

[4] 马大猷, 振动与噪声控制工程手册[M], 北京: 机械工业出版社, 2002.9: 290.

[5] 袁昌明 噪声与振动控制技术 冶金工业出版社, 2007.1

CAR-T细胞治疗产品车间 工艺设计分析

■ 张晓彤 李锦秀 [工艺]

摘要: 近几年,嵌合抗原受体T细胞疗法,即CAR-T细胞疗法在肿瘤治疗中展现出其出强大的治疗效果,国内外制药企业针对CAR-T细胞治疗产品领域的研发和生产投入逐年增加。由于CAR-T细胞治疗产品生产供体材料差异较大,产品生产批量小、且对环境比较敏感,与以往常规生物制品生产有所区别,故在厂房设计时需根据其特点进行合理设计。本文结合《GMP附录-细胞治疗产品》(征求意见稿)和实际设计经验,从CAR-T细胞治疗产品的生产工艺流程、工艺平面布局和设计要点等方面分析了CAR-T细胞治疗产品的工艺设计,提出了依托规范严格要求、考虑功能衔接设计工艺布局、生物安全重点把控等设计理念,为CAR-T细胞治疗产品提供借鉴。

关键词: CAR-T细胞治疗; GMP附录; 工艺流程; 生物安全

1 概述

全球获批的4款CAR-T产品表

名称	企业	获批时间	获批适应症
Kymriah	Novartis	2017.08	复发或难治性前体B淋巴细胞白血病(ALL), 经过两次及以上系统性治疗的成人复发或难治性大B细胞淋巴瘤患者
Yescarta	Gilead(Kite)	2017.10	经过两次及以上系统性治疗的成人复发或难治性大B细胞淋巴瘤患者
Tecartus	Gilead(Kite)	2020.07	复发或难治性套细胞淋巴瘤(MCL)
Breyanzi	Juno Therapeutics(BMS)	2021.02	复发或难治性大B细胞淋巴瘤患者

CAR-T细胞疗法全称为嵌合抗原受体T细胞疗法(Chimeric Antigen Receptor T-Cell Immunotherapy),从肿瘤患者血液中分离出T细胞,然后采用基因工程技术改造结合嵌合受

体,形成CAR-T细胞,使得原T细胞被激活并能够特异性识别肿瘤细胞。然后将CAR-T细胞经体外扩增后回输到患者体内进行免疫治疗,实现癌症治疗效果^[1]。

截至目前,全球共有近400款CAR-T细胞治疗产品处在研究阶段,4款CAR-T产品已经获批上市

(见表),预计2021年将有数个产品获批上市,国内CAR-T细胞治疗即将开启发展的新阶段。

CAR-T细胞治疗产品生产与其他生物制品相比,具有“个体差异化”、“生产精准化”及“生物安全复杂化”等特点,构建配套的符合安全规范的CAR-T细胞治疗生产车间是CAR-T细胞治疗产品生产至关重要的环节。2019年11月28日,中国食品药品审核查验中心发布《GMP附

作者简介: 张晓彤,女,助理工程师,2019年毕业于清华大学化学专业,现就职于航空工业规划医药工程设计研究院。

录—细胞治疗产品》（征求意见稿），针对细胞治疗产品生产管理的特殊性，制定相关要求，用以规范细胞治疗产品的生产和质量控制行为。经过几代技术的革新与发展，CAR-T细胞疗法已经在临床中展现出非常卓越的治疗效果。

本文结合《GMP附录—细胞治疗产品》（征求意见稿），针对CAR-T细胞治疗产品生产车间的工艺设计进行分析和讨论。

2 CAR-T细胞治疗产品生产工艺流程简述

2.1 单采血

在样本接收区域进行单采血操作，可将采集来的血液样品放置于样本接受区域的-4℃样本储存冰箱中进行保存，为下一步细胞分选做准备。

2.2 T细胞分选

细胞分选区域配置准备间及配液间，使用时将所需物料、耗材及单采血血浆传递至准备间，从配液间配置好培养基等所需液体物料待使用。细胞分选可采用连续或半连续的密度离心方法分离出外周血单个核细胞，再进一步采用目前制备工艺较为纯熟的商业化磁珠进行T细胞分离，如CD3/CD28单抗偶联磁珠可用于T细胞的分离^[2]。

2.3 T细胞激活及扩增

为提高T细胞数目，需经过若干代细胞增殖传代。在体内环境中，T细胞可以经抗原呈递细胞进行刺激增殖和活化，体外环境下就需要模拟这一过程，常采用单克隆抗体或生长因子进行活化，或使用免疫磁珠也可对T细胞进一步激活，同时促进T细胞体外扩增。

2.4 质粒生产

质粒为生产CAR-T细胞的重要辅助工具，质粒生产区域包括发酵、提取、纯化等步骤，所得质粒灌装储存备用。

2.5 病毒生产

病毒生产过程经发酵、纯化后除菌过滤，灌装暂存待后续制备CAR-T细胞使用。病毒生产可使用悬浮细胞或贴壁细胞两种方式。

2.6 CAR-T细胞制备

将病毒生产所得产品及扩增后T细胞传递进入CAR-T细胞生产区，病毒转染过程需要在生物安全柜中进行。转染后需进一步增殖增加CAR-T细胞浓度，待剂量满足患者使用要求后进行离心收集，冻存待患者回输使用。

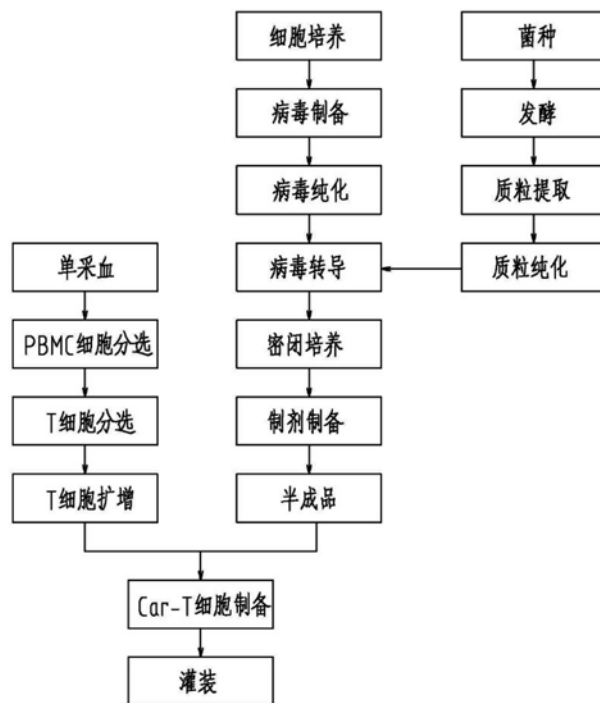


图1 CAR-T细胞产品生产流程

详细生产流程见图1。

3 CAR-T生产车间工艺设计分析

3.1 工艺设计理念

CAR-T细胞治疗产品原料个体差异较大，存在携带传染性病原体风险，单次生产产量较小，且产品对环境敏感，每个生产环节均需严格质量控制防止交叉污染，对生产厂房要求较高。

根据《GMP附录—细胞治疗产品》（征求意见稿）指导，细胞治疗产品、病毒载体和质粒的生产应当分别在各自独立的生产区域进行，并配备独立的空调净化系统；阳性供体材料生产操作应当在独立的专用生产区域进行，并采用独立的空调净化系统，保持相对负压；宜采用密闭设备、管路进行细胞治疗产品的生产操作^[3]。CAR-T细胞治疗产品的原料为来自人体的血浆，成品为无菌制剂，故工艺设计核心在于防止污染或交叉污染及保证无菌生产环境。为此，本文所提CAR-T细胞治疗产品厂房具有以下设计理念：

(1) 核心生产区设计单向流，减少交叉污染的机会；

(2) 以生产步骤为顺序安排各个生产区位

置,减少人员和物料传递过程中不必要的反复,提高生产效率;

(3)清洗、配液等辅助准备区域集中设置,方便管理,最大程度利用面积;

(4)核心生产区尽量减少未完全密封状态下产品的生产操作和转移,宜使用一次性商业耗材,降低污染风险。

3.2 工艺平面布局

本文将整个生产区域划分为公用工程区、仓储区、生产区、质量控制区等4个部分。公用工程区域包括生产辅助工程大型设备机房,仓储区包括各个环节半成品及成品储存,生产区划分为质粒生产区、细胞培养区、病毒生产区、CAR-T细胞制备区等4个部分。质量控制区根据生产环节需要设置PCR检测、内毒素检验、阳性检验、微生物检验等实验室,保证生产CAR-T生产的各个环节的质量安全。工艺布局划分见图2。

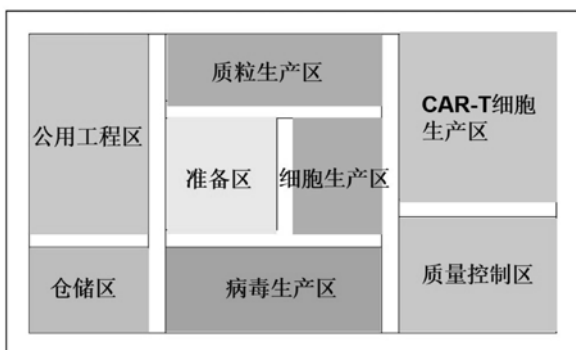


图2 工艺平面布局

以生产区和质量控制区为核心讨论工艺平面布局要点:

(1) 质粒生产区

质粒生产区根据是否有菌分为两个区域:发酵、提取等步骤需要生产质粒的基因工程菌参与,需注意防护以免菌群泄露出本区域,常按照生物安全二级要求设计。本区域使用过的非一次性器皿、人员衣物等需设置灭菌锅,经灭菌处理再进入其他区域,人员退出需设置更衣;纯化、灌装等步骤所用细菌已经死亡,故可按照无毒区进行设计^[4]。

(2) 细胞培养区

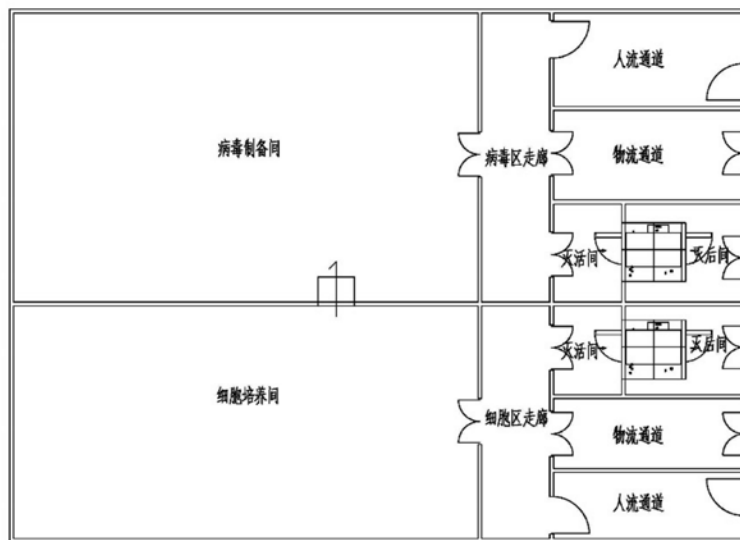


图3 细胞培养区与病毒培养区设计示意图

细胞培养区产品为下一环节病毒生产的原料,为降低物料传输过程中可能带来的污染风险,将细胞培养区与病毒生产区的病毒制备间相邻设计(见图3),使得培养成熟的细胞可通过传递窗直接到达病毒生产区。

(3) 病毒生产区

病毒生产区包含病毒制备区、病毒纯化区和病毒灌装间,设置为C级级别房间。病毒生产区操作均在生物安全柜下,病毒制备、纯化过程中料液的转移均设置无菌套管连接,灌装间采用隔离器,单独设置排风。

(4) CAR-T细胞制备区

CAR-T细胞制备为生产中的核心,包含原料接受区、细胞分选区、细胞操作区和细胞冻存区。为避免原料接收时交叉污染,耗材、血浆、试剂等需固定各自分开入口传递。细胞分选区包含未完全密封状态下的生产操作,需要在B级背景下A级送风的生物安全柜中进行。

考虑到可能同时生产若干种CAR-T细胞产品,为提高厂房生产效率将细胞操作区设置为多条独立的、拥有各自人员物料进出通道的生产线(如图4),每条生产线隔成几个房间,房间之间设置风道以保证房间的背景环境。暂未进行细胞操作的样品可暂存至冻存区待后续使用。

(5) 质量控制区

由于质量控制在生产环节中至关重要,包含PCR检测、内毒素检验、阳性检验、微生物检验、无菌检验等实验室。为防止区域外污染,阳

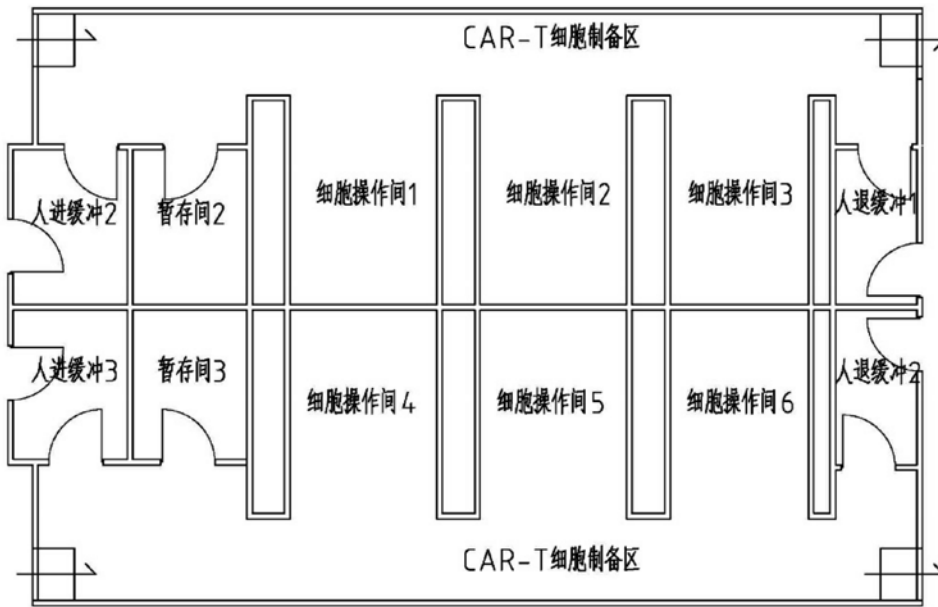


图4 CAR-T细胞制备区设计示意图

性实验室、微生物检验和无菌检验设置在C级背景下，每间实验室需单独人流进入。PCR检测按照PCR实验室要求进行设计。

3.3 人物流路线

《GMP附录—细胞治疗产品》（征求意见稿）中反复强调了避免污染及交叉污染，在设计人物流路线时需保证人流分开，流线合理。

人流：生产人员由总更换上CNC衣进入CNC走廊，通过电梯抵达各层，经总更后进入生产区CNC走廊；进入各层各生产区进行各区独立的更衣。质粒生产区、病毒生产区及细胞生产区人员操作结束后，经退更退出，清洗准备区人员可原路退回。CAR-T细胞区人员经各操作区更衣进入生产区后，操作结束由退更退出至退出走廊。质检人员上楼后，经总更后进入质检区，洁净实验室的工作人员还需更洁净服后方可进入。

物流：原辅料由货厅进入后，运往仓储区暂存，使用时电梯上至各层层，再通过各区物料入口进入生产区；质粒生产区、病毒生产区及细胞

生产区的污物通过退出走廊，经高压灭菌后退出，再回到清洗准备区重复使用或抛弃；成品由进入走廊，通过传递窗运出后，经电梯运往仓储区暂存。质检区物料经电梯上楼后，经北侧物流通道运至质检区；废弃物高压灭菌后通过物流通道运出。

3.4 环境风险控制

(1) 阳性区设置

含有传染性疾病病原体的患者血浆，设置在独立的阳性区进行操作（见图5）。阳性区

整体按照生物安全等级二级进行设置，配备细胞分选、细胞冻存、细胞操作和灭菌区域，所用非一次性物品需灭菌后再传出阳性区，人员退出设置退更。同时，阳性区需采用独立的空调净化系统，保持相对负压，防止病原体外泄。阳性区同样也设置专门的仓储区域。考虑到人员安全及生物安全，质控区域也设置了阳性样品专门的实验室进行QC的检验操作。

(2) 有物料传递的跨区域设置

提取间（有菌区）与纯化区（无菌区）设置为隔壁，物料传递通过传递窗；同样病毒制备间（有毒区）与细胞培养区（无毒区）设置为隔壁，两间之间有物料传递。空调净化及调节系统各区独立分开，压差设置来避免无毒/菌区不被有毒/菌区污染，有毒/菌区相对负压，人员物料进出遵循GMP设计规范，控制污染废弃物不外散。

(3) 其他防污染措施

为防止发生突发生物污染或气溶胶污染，可在设计过程中考虑对应防护措施，如增加局部抽

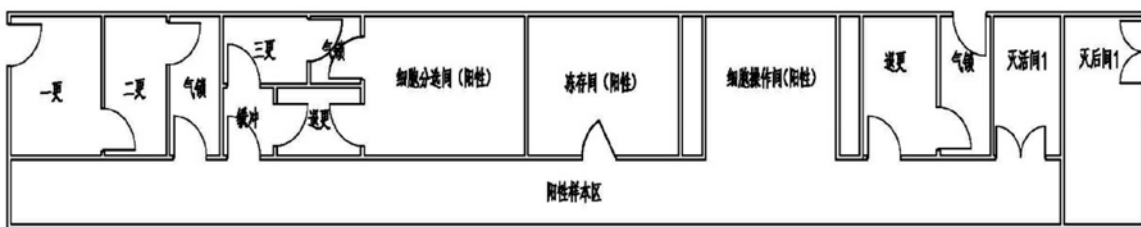


图5 阳性样本生产区设计示意图

风机、地方防散流设计等。

3.5 主要生产设备

(1) 生物安全柜

CAR-T细胞生产的特性经常需要B级背景下A级送风条件,故CAR-T的生产工作,绝大部分在生物安全柜中完成,可选用Ⅱ级A2型或Ⅱ级B2型。

(2) 摇摆式反应器

CAR-T细胞生产选用生物反应器来替代传统的基于烧瓶培养细胞,用密闭生物反应器能减少对高级别房间的要求,同时减少污染的风险。摇摆式生物反应器可以通过其特有的灌流系统减少对操作空间的占用,保证CAR-T细胞拥有稳定且连续的营养供给,比起静态培养对人员和物料的消耗大大降低,且产率比起传统方式大大提高。GE WAVE生物反应器系统(GE Healthcare LifeSciences, Marlborough, MA), G-Rex生物反应器(WilsonWolf, New Brighton, MN), CliniMACS系统等可便捷的进行CAR-T的扩增。

(3) 离心机

从生产前期的细胞分选到后续合成CAR-T细胞产品收获,离心机都是整个流程中至关重要的设备。根据不同产品阶段的需求,选择适宜的离心机系统。

4 结语

综上所述,本文结合《GMP附录-细胞治疗产品》(征求意见稿)和设计实践工作,分析了CAR-T细胞产品生产工艺与主要技术要求,归纳出车间工艺设计以下要点:

(1) 依托规范严格要求

车间各个生产单元的布局不仅严格满足2010版GMP和《医药工业洁净厂房设计规范》的要求,同时需要特别参照《GMP附录-细胞治疗产品》(征求意见稿)。

(2) 考虑功能衔接设计工艺布局

车间设计严格遵守CAR-T细胞生产工艺流程,在总体布局上结合厂房主人流、物流出入口位置,合理布置公用工程、仓储、生产、质控等各个区域,提高空间利用效率,降低人员与物料传输距离。

(3) 生物安全区域重点把控

生产区包括有菌区、有毒区及阳性样品区,

除了按照规范要求设计外,还需考虑人员进出、物料传输过程中可能造成的生物安全风险,必要的防污染措施在设计过程中需要重点关注。

参考文献

- [1] 王立群. CAR-T和免疫细胞肿瘤治疗[J]. 中国细胞生物学学报, 2019 (4): 540-548.
- [2] 王瑶, 韩为东. CAR-T细胞治疗在血液恶性肿瘤中的进展与挑战[J]. 中国免疫学杂志, 2020, 36(9): 1037.
- [3] GMP附录-细胞治疗产品(征求意见稿)
- [4] 药品生产质量管理规范(2010年修订)

未进行抗震设计的某高层框架 ——核心筒结构抗震性能评估

■ 刘远之 张晓光 闫军 [结构]

摘要: 随着《中国地震动参数区划图》GB 18306-2015的执行,全国部分地区抗震设防烈度发生改变。某建于上世纪80年代的钢筋混凝土框架—核心筒结构,工程所在地的抗震设防烈度由非抗震提升为7度(0.1g),由于改造需要,对其抗震性能进行重新评估。本文采用性能化分析方法,建立结构模型,分析该结构在各水准地震作用下的抗震性能。结果表明,各水准地震作用下结构整体指标均满足现行规范要求,不需进行大规模抗震加固;大震作用下部分连梁及核心筒底部墙肢受损较严重,建议重点加固。

关键词: 钢筋混凝土结构; 框架—核心筒; 设防烈度提高; 抗震性能; 弹塑性分析

1 工程概况

本建筑位于黑龙江省哈尔滨市,原本是一座用于办公、洽谈、宾馆的综合性建筑,现已完全作为商业办公楼使用。应业主要求,需对其进行室内外装修改造、增设电梯、机电设施改造等一系列改造。

本建筑设计于1989年,根据设计说明,本建筑主要设计依据为当时的《高层建筑结构设计建议》。当时哈尔滨设防烈度低于6度,设计按非抗震考虑,但采取了一定的加强措施,如剪力墙端部设边缘构件,剪力墙纵横向分布筋配筋率不小于0.25%,框架梁、柱端部箍筋加密等。根据现行《建筑抗震设计规范》GB 50011-2010(下文简称《抗规》)、《中国地震动参数区划图》GB 18306-2015,工程所在地的抗震设防烈度已提高



图1 建筑外观

为7度(0.1g),因此有必要对原结构的抗震性能进行研究^[1]。

本建筑共计地上25层,地下1层,建筑面积约24800m²。地上1~4层有裙房,本建筑总高86.7m;结构形式为钢筋混凝土框架—核心筒结构。

本建筑平面尺寸35.7m×21.3m,柱网7.2m×7.05m,标准层层高3300mm。标准层结构

作者简介:刘远之,男,助理工程师,2019年毕业于东南大学建筑与土木工程专业,现就职于航空工业规划机载工程事业部。

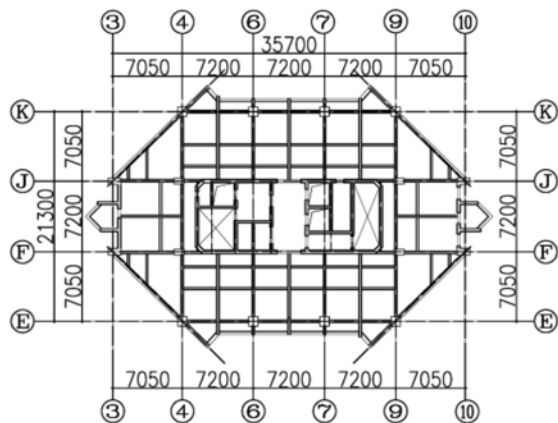


图2 标准层结构布置

布置如图2所示。

根据原设计图纸，结构构件混凝土强度见表1。本建筑采用的300号、250号、200号混凝土，其强度分别相当于当前混凝土标号C28、C24、C18；墙柱及梁的受力钢筋采用HRB335级钢筋，箍筋为HPB235级钢筋，楼板钢筋均为HPB235级。

结构主要构件截面见表2。

表1 构件混凝土强度

楼层	1~8	8~16	17~25
框架柱	300#	250#	200#
框架梁	200#	200#	200#
楼板	200#	200#	200#
剪力墙	300#	250#	200#

表2 主要构件截面

楼层	1~5	6~15	16~25
框架柱 XZ-1	1100×1100	950×950	700×700
框架柱 XZ-2	1200×600	1000×600	800×500
框架柱 XZ-3	1350×700	1250×700	1150×600
框架柱 XZ-4	1100×1100	950×950	600×600
框架柱 XZ-5	1350×700	1250×700	1150×600
剪力墙厚度	350、300、250	300、250、200	250、200

2 结构鉴定

此前，本建筑已委托鉴定单位进行抗震鉴定。

鉴定单位使用回弹法与取芯法对结构混凝土构件强度进行了检测，结果表明本工程部分构件混凝土强度略低于设计强度，如3层框架柱混凝土强度检测值约为C27，4层框架柱混凝土强度约为C25等。鉴定报告^[2]显示，本建筑未见有地基沉降等因素造成的墙体裂缝；室内受力构件完好，除了部分未经设计变更进行的改造部分构件存在因承载力不足造成的明显损伤，其余构件均未见有因承载力不足造成的明显损伤裂缝，原主体结构安全可靠。

经我方与鉴定单位沟通，确定本建筑后续使用年限30年，以A类建筑标准进行鉴定。根据《建筑抗震鉴定标准》GB 50023-2009（下文简称《鉴定标准》），对于超过10层的A类建筑，应采用B类建筑的方法进行构件承载力验算，框架和剪力墙的抗震等级按三级选用，并考虑构造影响；丙类建筑的构造要求可比B类适当降低，梁柱的抗震等级按三级考虑，抗震墙的抗震等级按四级考虑。本建筑抗震设防类别为丙类，且超过10层，故梁柱抗震等级为三级，抗震墙抗震等级为四级。

3 结构整体分析

3.1 小震弹性分析

使用PKPM对结构进行多遇地震下的响应分析。根据《鉴定标准》第3.0.5条，本建筑所在地抗震烈度为7度，设防第一组，特征周期0.3s。水平地震影响系数最大值取0.08，周期折减系数取0.85，承载力抗震调整系数的折减系数取0.85，混凝土强度按实测值输入。

根据鉴定报告，结构部分框架梁混凝土强度不足C20，且梁纵筋锚固长度为10d，不满足B类建筑鉴定要求，体系影响系数取0.8，局部影响系数取1.0。结构模型如图3。

结构整体指标如表3所示。

分析可知，结构前两阶振型分别为Y向平动和X向平动，第三振型为扭转。第一扭转周期与第一平动周期之比为0.547。小震作用下结构最大层间位移比为1.37；最大层间位移角为1/2256（Y向），远小于弹性位移限值，根据《抗规》附录



图3 结构模型

表3 小震作用下结构整体指标

自振周期/s	T1	1.8976
	T2	1.2622
	Tt	1.0388
Tt/T1	0.547	
振型质量参与系数	X向	91.69%
	Y向	90.77%
最大层间位移角	X向	1/3635
	Y向	1/2256
最大层间位移比	X向	1.37
	Y向	1.35

M, 满足《抗规》性能1。原结构各项整体指标均符合现行规范要求。

表4为《高层建筑混凝土结构技术规程》JGJ3-2010(下文简称《高规》)3.11.2规定的结构抗震性能水准判别标准。

考察原结构底层墙、柱配筋,均满足计算要求。核心筒3~5层少量连梁剪压比超限10%~20%,可采用粘钢加固等方法增强其抗剪承载力。对比表4,结构构件满足性能水准1“无损坏”。

多遇地震下的分析结果表明,原结构抗震性能良好。

表4 各性能水准结构预期的震后性能状况

结构抗震性能水准	宏观损坏程度	损坏部位		
		关键构件	普通竖向构件	耗能构件
1	完好、无损坏	无损坏	无损坏	无损坏
2	基本完好、轻微损坏	无损坏	无损坏	轻微损坏
3	轻度损坏	轻微损坏	轻微损坏	轻度损坏、部分中度损坏
4	中度损坏	轻度损坏	部分构件中度损坏	中度损坏、部分比较严重损坏
5	比较严重损坏	中度损坏	部分构件比较严重损坏	比较严重损坏

3.2 中震弹性分析

以振型分解反应谱法计算设防地震作用下的结构响应,水平地震最大影响系数取0.23。

根据计算结果,结构X向最大层间位移角为1/1172,小于弹性位移限值(1/800);Y向最大层间位移角为1/754,略大于弹性位移限值,根据《抗规》附录M,属于基本完好,满足《抗规》性能2。

设防地震作用下,墙柱、框架柱发生轻度损坏;少量框架梁发生中度损坏,其余损坏程度均为轻度及以下;连梁作为耗能构件,部分发生较严重损坏,构件性能水平满足表4中的性能水准4。

3.3 大震弹塑性分析

选取2条天然波和1条人工波,使用SAUSAGE对结构进行大震动力弹塑性时程分析。地震波采用XY双向输入,峰值加速度为220gal,主次方向加速度时程峰值比例为1:0.85。动力分析方法为修正的中心差分格式,阻尼采用振型阻尼,不考虑几何非线性。按《抗规》要求,罕遇地震弹塑性分析特征周期增加0.05s。

经计算,每条时程曲线计算所得结构底部剪力不应小于振型分解反应谱法计算结果的65%,结构底部剪力的平均值不应小于振型分解反应谱法计算结果的80%,满足规范要求。

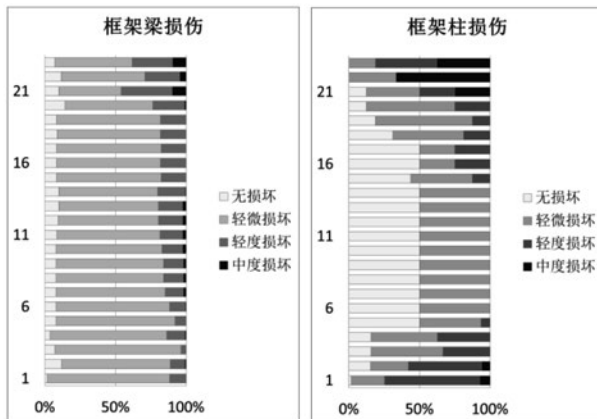
罕遇地震下结构的弹塑性位移结果如表5所

表5 罕遇地震作用下弹塑性位移结果

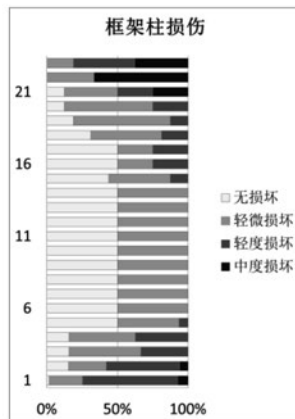
工况	最大顶点位移/m	最大层间位移角
RH4TG035_X	0.075	1/488
TH003TG035_X	0.055	1/691
TH067TG035_X	0.090	1/445
RH4TG035_Y	0.120	1/173
TH003TG035_Y	0.142	1/143
TH067TG035_Y	0.139	1/142

示。X向最大层间位移角为1/445，Y向最大层间位移角为1/142。时程分析表明，大震作用下结构的弹塑性层间位移角均满足《抗规》5.5.5条1/100的限值要求。

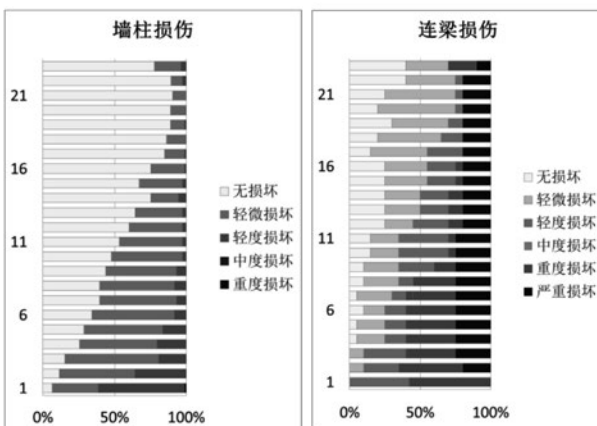
图4~图5为结构构件损伤统计。分析结构构件损伤情况可知，各层框架柱均未发生重度及以上程度的损坏，多数处于轻微至中度损坏，塑性



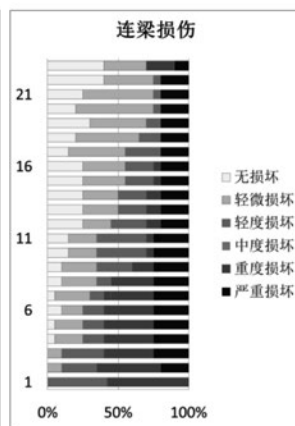
(a) 框架梁



(b) 框架柱



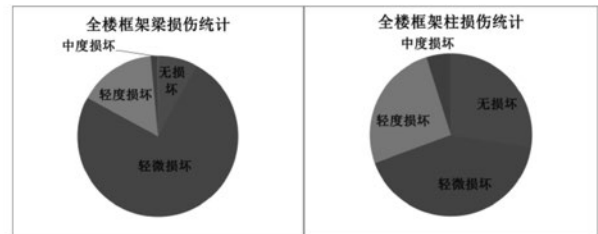
(c) 剪力墙



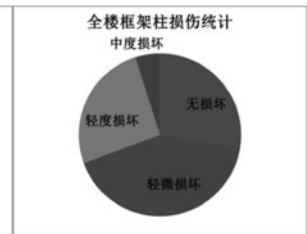
(d) 连梁

图4 构件损伤分层统计

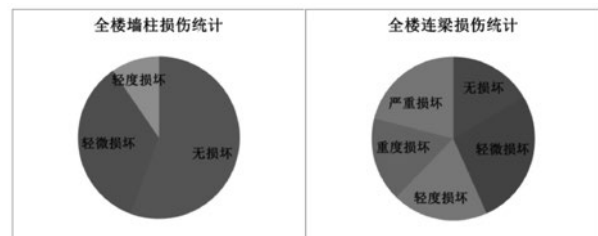
变形程度较低；多数框架梁为轻微或轻度损坏，塑性变形程度较低。梁柱构件的损伤情况满足表4中性能水准4“关键构件轻度损坏，普通竖向构件部分中度损坏”。



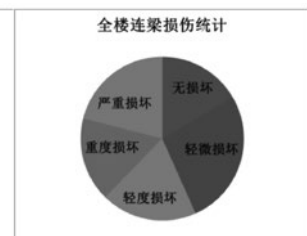
(a) 框架梁



(b) 框架柱



(c) 剪力墙



(d) 连梁

图5 构件损伤全楼统计

由核心筒构件损伤情况可知，大震下剪力墙墙体损伤多数为轻微至轻度损坏，底层和二层少量构件出现中度及重度损坏。

图6~图7为核心筒性能水平及墙肢钢筋屈服情况，由图可见，核心筒底部损伤较严重。图8为核心筒底层构件损伤情况。对底层核心筒的分析表明，核心筒总体受压，墙体钢筋屈服。地震作用下的倾覆力矩主要由核心筒承担，故受损严重部位主要为核心筒底层外侧墙体及部分连梁，可对这些部位进行重点加固。其他楼层剪力墙墙体损伤多数为轻微至轻度损坏，满足表4中的性能水准4。

由连梁损伤情况可知，大震作用下剪力墙连梁损伤情况较为严重。使用PKPM对结构进行PUSH-OVER推覆分析，结果表明，地震作用下墙体连梁处首先形成塑性铰，有效消耗了地震输入能量，耗能模式属于延性耗能。连梁作为耗能构件，满足表4中的性能水准4。

4 结论

(1) 本建筑采用框架—核心筒结构，构件

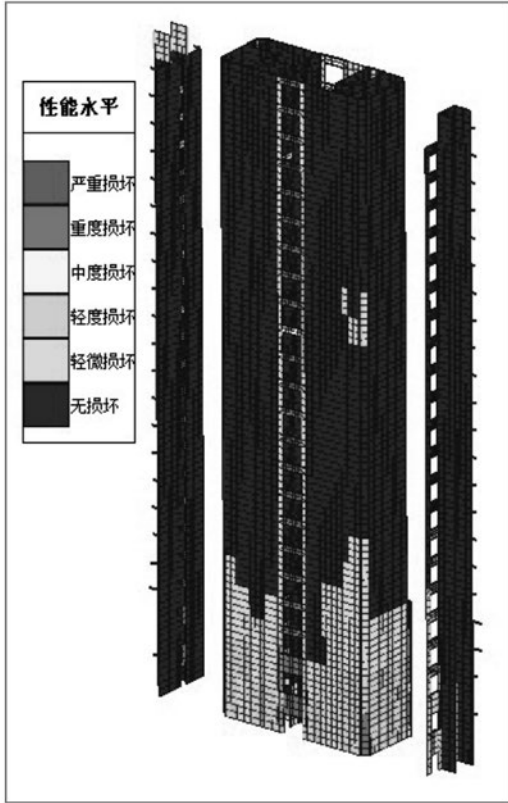


图6 大震作用下核心筒墙肢损伤

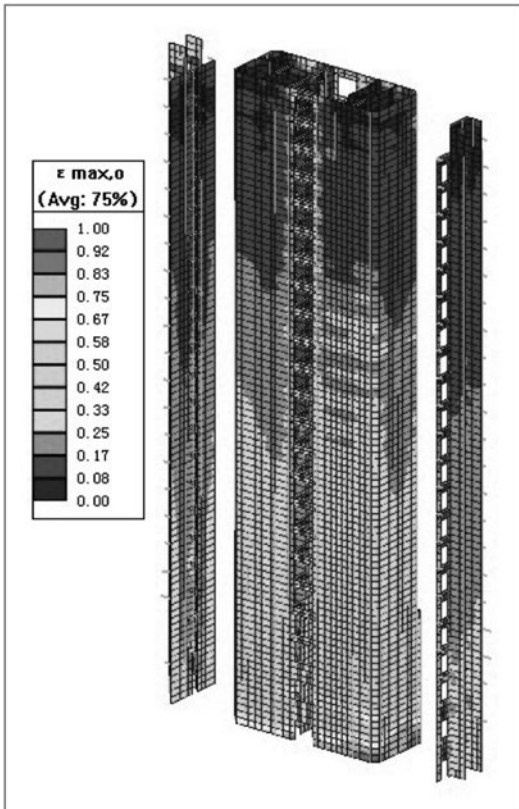


图7 大震作用下剪力墙钢筋屈服情况

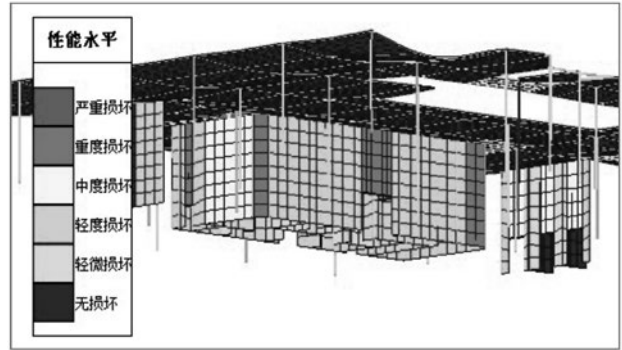


图8 核心筒底层构件损伤

布置均匀对称，核心筒刚度较大。抗震设防烈度提高为7度（0.1g）后，结构在各地震水准下的各项整体指标均满足现行规范要求；少量构件加固后，根据《高规》3.11.2，结构在小、中、大震下的性能水准分别满足性能水准1、4、4；根据《高规》3.11.1，结构满足性能目标D。

(2) 弹塑性时程分析结果表明，大震作用下结构梁柱构件受损较轻，核心筒底部少量墙体及连梁受损较为严重，应采取必要的加固措施。

参考文献

- [1] 薛彦涛. 设防烈度调整后既有建筑抗震加固对策与方法[J]. 城市与减灾, 2016, 3: 54-58.
- [2] 哈尔滨中航资本大厦结构改造可行性鉴定及房屋综合抗震能力鉴定[R]. 黑龙江: 黑龙江省龙建建设工程技术咨询有限公司, 2020.

某航站楼登机桥结构设计

■ 丰灿 韩川 [结构]

摘要: 在航站楼登机桥结构设计中, 钢结构体系已得到广泛的应用, 要保证航站楼登机桥结构的安全性和合理的经济性, 登机桥钢结构的体型选择就非常重要。根据实际工程, 本文分析了登机桥钢结构的两种常见结构体型, 探讨并总结出结构选型的设计要点。

关键词: 钢结构; 登机桥; 结构选型; 舒适度

0 引言

随着中国经济的飞速发展, 我国航空运输业务也得到了迅速发展。机场作为航空业务的主要基础设施也在不断建设, 在航空运输、带动地区经济发展和对外开放发挥了重要作用。登机桥作为连接航站楼候机大厅和飞机间的重要结构, 被广泛应用于各大机场, 因其跨度往往有十几米至几十米长, 因此常采用钢结构体系。要保证登机桥结构的安全与稳定, 结构体型选择非常重要。本文根据实际工程情况, 选择了两种钢结构形式进行了对比与探讨。

1 工程概况

本工程位于河北省邢台市沙河市。该新建航站楼设置3个登机桥, 从航站楼2层连接至登机坪。登机桥下方为车行道, 需要较大跨度。登机桥与航站楼主体结构受力和刚度差异较大, 因此两者之间需设缝完全分开。航站楼侧登机桥需设置悬挑构造与航站楼主体结构连接, 以使登机桥单独作为一个整体进行设计考虑。

登机桥的长度为22.7m, 宽度为3m, 高5.5m, 跨度为18m, 靠近航站楼端需悬挑4.7m, 与航站楼相连, 靠近机坪端设置1个平台与登机桥活动端相连接。

本工程抗震设防烈度为7度, 设计基本地震加速度为0.15g, 地震分组为第二组, 场地类别为Ⅲ类, 设计特征周期为0.55s, 结构安全等级为二级。基本风压为0.35kN/m², 场地类别为B类, 基本雪压取0.4kN/m²。登机桥楼面活荷载取3.5kN/m², 屋面活荷载取0.5 kN/m²。

2 结构选型

登机桥选型初步方案有两种, 分别为方案A钢结构空腹桁架结构体系(图1)和方案B钢桁架结构体系(图2)。两种方案的结构内部人行楼面均为100mm厚压型钢板组合楼面, 顶部为轻钢屋面。顶部及两侧安装玻璃幕墙, 满足建筑观感使用的需求。登机桥与航站楼主体中间间隔100mm缝采用建筑变形缝做法进行填充。

方案A采用箱型柱与H形工字钢组成的钢结构空腹桁架结构, 登机桥的主要结构材质均为Q355B。杆件主要截面布置见下图3、图4, 截面选取见下表1。

方案B采用方钢管组成的钢桁架结构体系, 桁

作者简介: 丰灿, 男, 助理工程师, 2016年毕业于南华大学土木工程专业, 现就职于中航建设机场规划设计研究院。

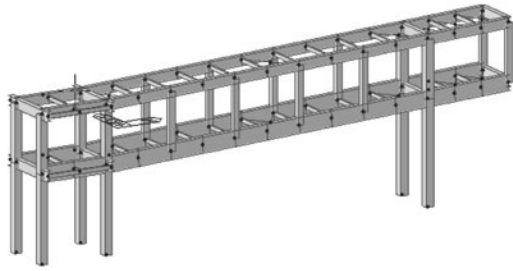


图1 方案A钢结构空腹桁架结构体系

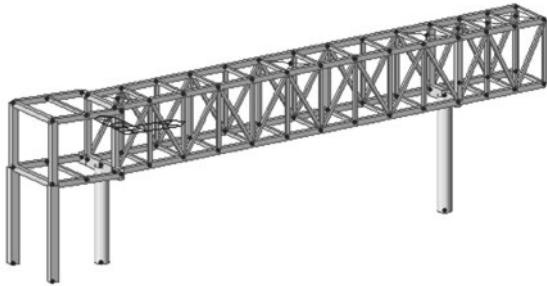


图2 方案B钢桁架结构体系

架高度为3m，宽度为3m。钢桁架的弦杆及腹杆材质为Q355B，屋面支撑采用张紧圆钢，材质为Q235B。杆件截面主要布置见下图4、图5，截面选取见表2。

3 结构分析与比较

本工程根据结构自身所处的地理位置及所受荷载的大小进行静力分析，主要考虑以下几种荷

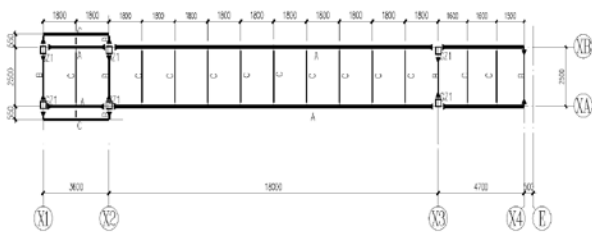


图3 一层结构平面布置图

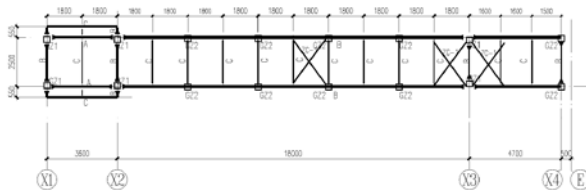


图4 二层结构平面布置图

表1 方案A主要材料表

编号	截面规格	材质	备注
A	H800×300×14×18	Q355-B	主梁
B	H500×300×6×10	Q355-B	主梁
C	H200×100×4×6	Q355-B	次梁
GZ1	□400×400×14	Q355-B	钢柱
GZ2	□300×300×14	Q355-B	钢柱
ZC-1	∅20	Q235-B	张紧圆钢

载工况：恒载、活载、风荷载作用、地震作用。本工程采用有限元分析软件Midas gen2019对登机桥结构进行计算分析。

3.1 计算结果与比较

3.1.1 控制标准

- (1) 结构静力作用下挠度 $\leq L/400$ ；
- (2) 结构风荷载作用柱顶水平位移 $\leq L/550$ ；
- (3) 结构地震作用柱顶水平位移 $\leq L/550$ ；
- (4) 结构在考虑地震作用下，结构强度、稳定应力 ≤ 0.85 ；

(5) 荷载组合

- 1) 1.3静+1.5活；
- 2) 1.3静+1.5活+1.5×0.6风；
- 3) 1.3静+1.5×0.7活+1.5风；
- 4) 0.85静+1.5风；

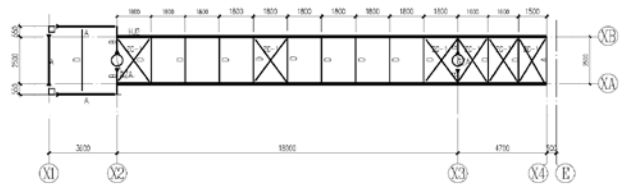


图5 下弦杆布置图

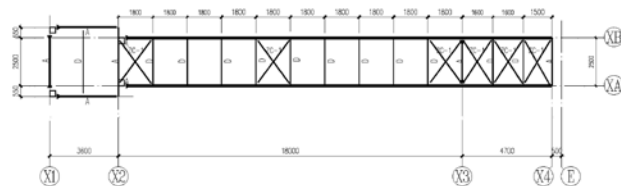


图6 上弦杆布置图

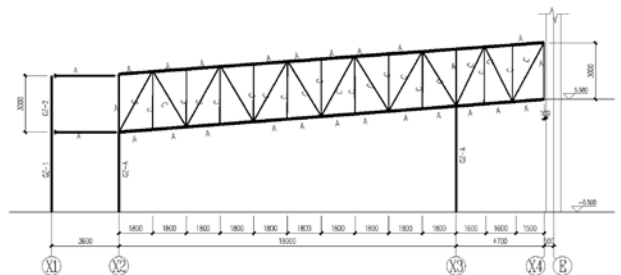


图7 立面布置图

表2 方案B主要材料表

编号	截面规格	材质	备注
A	□300×300×14	Q355-B	矩形管
B	□500×300×14	Q355-B	矩形管
C	□150×150×8	Q355-B	矩形管
D	□150×150×8	Q355-B	矩形管
GZA	∅700×14	Q355-B	圆钢柱
GZ1	□400×400×14	Q355-B	箱型柱
GZ2	□300×300×14	Q355-B	箱型柱
ZC-1	∅20	Q235-B	张紧圆钢

5) $1.2G_e+1.3E_{xy}$;

6) $1.2G_e+1.3E_{yx}$ 。

3.1.2 计算结果与比较

(1) 方案A受力变形后跨中最大竖向挠度值为-14.4mm(图8), 跨度为18m, 最大竖向挠度为跨度的1/1250, 满足现行规范规定的挠度要求。

方案B受力后变形跨中最大竖向挠度值为-6.4mm(图9), 最大竖向挠度为跨度的1/2812, 满足现行规范规定的挠度要求。

相比与A方案, B方案的挠度更小, 整体刚度更好。

(2) 结构在风荷载作用下位移分析比较

表3为方案A和方案B在靠近航站楼侧风荷载作用下柱顶最大水平位移角。

表3 风荷载位移结果比较

方案	位移 (mm)	位移角
方案A	2.4mm	1/2500
方案B	3.9mm	1/1530

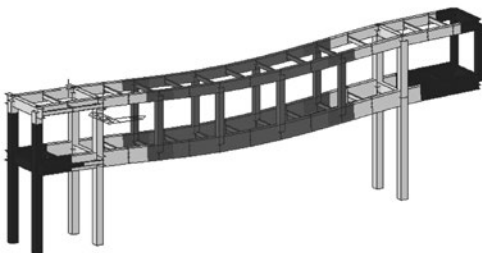


图8 方案A竖向挠度示意图

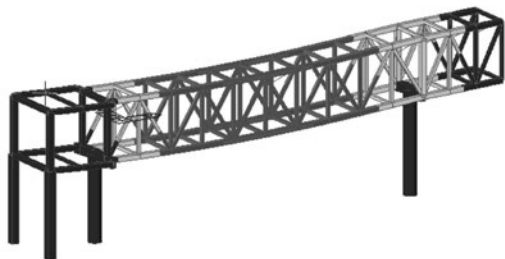


图9 方案B竖向挠度示意图

两者均满足现行规范要求。方案A结构相较于方案B结构在风荷载作用下整体性能更好。

(3) 结构在地震作用位移分析

表4为方案A和方案B在靠近航站楼侧地震作用下柱顶最大水平位移角。

表4 地震作用下位移结果比较

方案	位移 (mm)	位移角
方案A	3.7mm	1/1621
方案B	7.9mm	1/759

两者均满足现行规范要求。由于方案A采用在靠近航站楼侧采用双柱结构体系, 相较于方案B单柱结构体系整体抗震性能更好。

(4) 结构强度、稳定应力

方案A与方案B登机桥钢结构在静力作用下各杆件的应力比均小于0.85, 满足要求。

3.2 舒适度验算

《城市人行天桥与人行地道技术规范》(CJJ69-95)中规定“为避免共振, 减少行人不安全感, 天桥上部结构竖向自振平率不应小于3Hz”。

《高层建筑混凝土结构技术规程》明确了楼盖竖向自振频率和竖向振动加速度峰值的限值要求如下表5所示。人行走引起的楼盖振动峰值加速度可按《高层建筑混凝土结构技术规程》附录A近似计算。

表5 楼盖竖向振动加速度限制

人员活动情况	峰值竖向振动加速度限制	
	竖向自振频率大于2Hz	竖向自振频率小于4Hz
住宅、办公	0.07	0.05
商场及室内连廊	0.22	0.15

注: 楼盖结构竖向自振平率为2Hz~4Hz时, 峰值加速度可按线性选取。

根据计算结果, 方案A的竖向自振频率为4.77Hz, 竖向加速度峰值为0.012g。方案B的竖向自振频率为7.69Hz, 竖向加速度峰值为0.004g, 均能满足现行规范的限值规定。

3.3 抗倾覆性能比较

表6为方案A和方案B靠近航站楼侧柱脚支座的反力设计值。

根据计算结果可知方案B沿纵向弯矩X方向远大于方案A, 在钢结构柱脚设计时应考虑其抗倾覆

表6 支座反力设计值/kN

方案	反力方向				
	FX	FY	FZ	MX	MY
方案A	-40	29	497	-86	-100
方案B	-76	-57	1010	-370	-301

验算。根据公式(1)计算登机桥的抗倾翻力矩。

$$M_1 = M_g + M_z + M_m + \dots \quad (1)$$

式中:

M_1 : 登机桥的抗倾翻力矩, 单位为牛顿米(N·m);

M_g : 登机桥的自重恢复力矩, 单位为牛顿米(N·m);

M_z : 登机桥的立柱侧向恢复力矩, 单位为牛顿米(N·m);

M_m : 登机桥的锚泊力矩, 单位为牛顿米(N·m);

注: 登机桥的自重恢复力矩、立柱侧向恢复力矩在设计计算书中查得。锚泊力矩仅在在进行锚泊作业时, 在设计计算书中查得, 在其他工况下, 锚泊力矩均取值为零。

3.4 连接节点设计

方案A为钢结构空腹桁架结构体系, 其节点设计可以按照《钢结构连接节点手册》进行设计, 由于是双柱钢结构空腹桁架结构体系, 其柱脚节点形式一般可以采用外露式钢结构刚接柱脚, 其施工难度较小。

方案B为钢桁架结构体系, 钢桁架节点连接一般采用相贯焊连接, 梁柱节点采用梁柱全焊刚接连接形式, 其柱脚节点形式为埋入式或外包式刚接柱脚, 设计及施工往往较复杂。

方案A相较于方案B节点连接更加适合生产, 方便施工现场安装。但方案B节点连接较简单, 适合工厂直接焊接安装成整体。

3.5 用钢量比较

表7为方案A和方案B主要钢结构构件的用钢量对比表。

表7 方案A和方案B用钢量比较

方案	主要钢结构构件用钢量
方案A	27.8t
方案B	25.2t

方案B为整体空间桁架, 受力特征较好, 比方

案A有明显优势。用钢量统计方案A为27.8t, 方案B为25.2t, 方案B的经济性比方案A好。

3.6 对比分析

综合上述几点分析, 从结构安全方面考虑, 方案A相较于方案B抗倾覆性能更好; 但由于登机桥跨度往往较大, 方案B相较于方案A其整体刚度会更好。从经济方面考虑, 方案B优于方案A; 根据经验, 在实际工程中当跨度越大时方案B的用钢量相较于方案A越小。从施工方面考虑, 方案A施工较方案B简单, 但方案B在工厂加工成整体后施工相较于方案A简单。

在建筑美观上, 方案A较为适合建筑布局, 方案B更加轻巧灵活。同时考虑登机桥下方有车辆穿行, 其梁高也不宜做高。本工程在实际使用过程中, 靠近航站楼侧只能设置一颗柱子以满足各种功能车进出航站楼。

因此方案B更加适合本工程航站楼登机桥的结构设计。

4 结语

通过对该工程的登机桥设计介绍, 总结出了几个设计要点:

(1) 在登机桥结构设计初步选型时, 需考虑建筑功能使用, 与建筑协调后开展下一步设计。一般当其跨度较小时, 在有条件的情况下, 可采用钢结构空腹桁架结构体系, 此结构体系宜加工制作及安装, 实用性较强; 当跨度较大时, 一般采用钢桁架结构体系, 结构的整体合理性及实用功能方面优势较大。

(2) 当登机桥的跨度大时, 竖向自振频率小于3Hz, 一般需要验算《高层建筑混凝土结构技术规程》中的楼盖竖向振动加速度进行舒适度控制。

(3) 当登机桥采用单柱钢桁架结构体系时, 需要重点考虑结构的抗倾覆性, 钢结构的柱脚连接形式一般需采用埋入式或外包式柱脚节点。

参考文献

- [1] 孔祥红. 钢结构连廊选型设计与分析.
- [2] 张晔, 陈硕, 某医院增设连廊结构设计.
- [3] 宋文晶, 马臣, 袁锐文, 梁志远, 连廊结构分析与设计实例.
- [4] 谷鹏, 邓立军, 王诚, 邹剑强, 大跨度空间钢连廊的结构设计及舒适度分析.

北京某填埋场渗沥液处理设施升级改造及工程设计研究

■ 李珂 阎露 [给排水]

摘要: 本文系统介绍了北京市某填埋场渗沥液处理站提标改造的技术路线研究及工程设计实践,采用两级A/O+外置超滤+纳滤+反渗透工艺实现了垃圾填埋场渗沥液处理出水水质满足北京地标DB11/307-2013表1中B排放限值的要求,为填埋场渗沥液处理提标改造技术路线选择提供工程设计参考。

关键词: 渗沥液; 老龄填埋场; 升级改造; 两级A/O; 反渗透

1 前言

自2014年1月起,北京市实行《水污染物综合排放标准》DB11/307-2013,要求生活垃圾填埋场的污水直接排放污水至地表水体的单位排放执行DB11/307-2013“表1”的规定,排入北京市IV、V类水体及其汇水范围的污水执行B排放限值^[1]。目前,很多正在运行的渗沥液处理设施难以达到新标准的处理要求,不得不降低运行处理负荷,导致填埋场渗沥液大量积存,处理系统亟需升级改造,满足处理水量及新标准出水水质要求。

现以北京市某卫填埋场渗沥液处理设施升级改造为例,介绍在提标改造中的技术路线研究及实际工程设计,以期对填埋场渗沥液处理提标改造提供工程设计参考。

2 工程概况

2.1 原有填埋场基本情况

北京市某垃圾卫生填埋场主要承担北京市东、西两个城区和昌平区1个乡镇的垃圾处理任

表1 原有处理系统设计进、出水水质

项目	CODcr (mg/L)	BOD5 (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	TN (mg/L)	SS (mg/L)	pH
进水水质	≤20000	≤10000	≤3000	≤3500	≤2000	6~9
出水水质	60	20	10	—	50	6~9

务。填埋库区占地43hm²,设计库容1200万m³,设计处理能力2000t/d,设计寿命17年,已填埋至接近设计库容。渗沥液经收集后送到垃圾填埋厂区内的渗沥液处理站进行处理,目前填埋场日均渗沥液产量约600m³。

2.2 原有渗沥液处理设施设计基本情况

2.2.1 系统设计处理规模

原有系统设计处理规模为600m³/d,实际处理规模为300m³/d。

2.2.2 系统设计进出水水质

渗沥液经过原有处理系统处理达到《水污染排放标准》(DB11/307-2005)^[2]中排入地表水体及其汇水范围内的水污染排放二级标准限值后,排放至昌平区四千渠。

2.2.3 原有渗沥液处理工艺

渗沥液提升井—调节池—UASB—兼氧池(罐体)—好氧池(氧化沟改造)—内置超滤—NF—RO处理系统^[3]。

作者简介:李珂,男,工程师,2011年毕业于哈尔滨工业大学市政工程专业,现就职于航空工业规划市政工程设计研究院。

表2 主要建、构筑物一览表

序号	名称	规格(长×宽×高)	材料	单位	数量	备注
1	调节池	60m×30m×4.8m	钢砼	座	2	半地下
2	厌氧池	6.1×8m(罐体)	钢砼	座	2	地上
3	兼氧池	6.1×8m(罐体)	钢砼	座	1	地上
4	好氧池	50m×10m×5.5m	钢砼	座	1	半地下
5	储泥池	5m×2.3m	钢砼	座	1	地下
6	风机间	13m×7m×4.8m	框架	座	1	地上
7	膜处理车间	32.4m×15m×5.5m	框架	座	1	地上
8	清水池	32.4m×15m×5m	钢砼	座	1	半地下

表3 渗沥液处理系统进水水质主要指标参考范围

污染物	CODcr (mg/L)	BOD5 (mg/L)	NH3-N (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	SS (mg/L)
进水指标	8000	3000	4000	4500	5	2000

表4 渗沥液处理系统设计出水水质

污染物	CODcr (mg/L)	BOD5 (mg/L)	NH3-N (mg/L)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	SS (mg/L)
进水指标	≤30	≤6	≤1.5	15	0.3	10

2.2.4 原有渗沥液处理构筑物及设施

2.2.5 本次升级改造设计进出水水质

目前, 填埋场属于中后期垃圾填埋场, 垃圾焚烧厂投产运行后, 再无新鲜的渗沥液产生。后期渗沥液水质较为稳定, 根据进水水质实际化验统计及考虑一定处理富余量, 设计水质指标如表所示。

本工程渗沥液处理后满足排放至昌平区四干渠要求, 排放执行《水污染物综合排放标准》(DB11/307-2013)表1 B排放限值水质要求。

3 现状问题分析及升级改造研究

3.1 执行标准提高

原有渗沥液处理系统根据要求渗沥液处理达标后排放至昌平四干渠, 属IV类水体, 执行北京市《水污染排放标准》(DB11307-2005)中排入地表水体及其汇水范围内的水污染排放二级标准限值, 2014年后执行《水污染物综合排放标准》(DB11/307-2013)表1中B排放限值水质要求。

根据排放标准对比分析, 可知新标准对氨氮和总氮的排放要求格外严格, 现有工艺难以满足

DB11/307-2013“表1”B排放限值, 因此需要强化总氮的去除。现有生化池容无法满足总氮去除率的要求, 因此需要进行生活扩容。

3.2 C/N比严重失衡

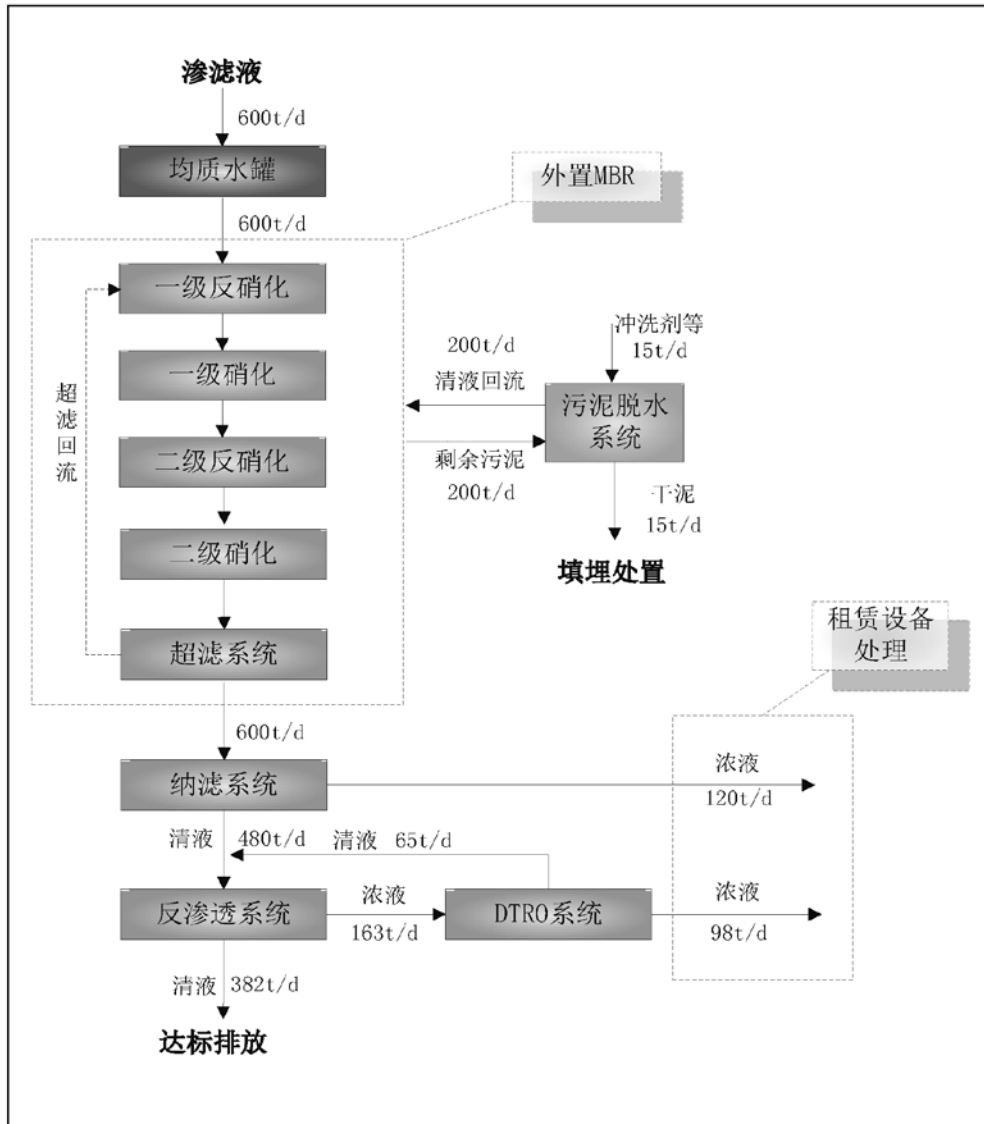
进COD约为6000~10000mg/L, 总氮约为4000~4500mg/L, C/N比约为1.2~2.5, 有机物不足, 脱氮效果受限。针对碳源不足问题, 一方面需要取消UASB单元, 渗沥液原水COD值较低, 无需进行厌氧处理; 另一方面需要增设碳源投加系统, 调配原水水质C/N比在5以上。

3.3 渗滤液水质电导率值较高

由于渗沥液处理系统纳滤及反渗透的膜浓缩液常年回灌导致渗沥液电导率较高, 达到约40000us, 这导致系统实际产水率较低, 膜浓缩液产量较大。因本次升级改造项目膜浓缩液采用购买服务的形式处理, 处理成本较高, 尽量减少膜浓缩液产量有利于降低处理成本。工程实施上考虑采用碟管式反渗透对系统反渗透浓缩液进行减量处理。

3.4 应急保障要求时间紧迫

2019年2月项目启动建设, 需要在2019年6月赶在雨季前完成调试运行, 升级改造的实施周期



工艺流程及水量平衡图

较短。因此生化反应池扩容改造考虑采用罐体施工，对比分析焊接钢罐及搪瓷拼装罐的施工难度及施工周期，搪瓷拼装施工操作面要求少，罐壁无需防腐处理，罐体整体施工周期短，因此升级改造池体扩容采用搪瓷拼装罐形式。

4 工艺技术路线

目前渗沥液的水质特点，包括电导率较高，C/N比严重失衡，进水总氮指标较高且出水总氮要求非常严格。针对这些水质特点，升级改造取消厌氧处理单元，并增设碳源投加系统，扩大生化反应容积并采用两级A/O外置MBR保证氨氮与

总氮在生化段实现较高的去除率，深度处理单元更换并扩容纳滤与反渗透机组，减小膜组件清洗时对每天处理量的影响。

本次升级改造工艺路线确定为：水质均衡+两级A/O外置式MBR+纳滤+反渗透工艺。膜处理系统产生的纳滤浓缩液及经过DTRO处理后的反渗透浓缩液均采用购买服务的形式处理，交由专业浓液处理承包商处理，不包括在此次升级改造项目内。

5 工艺流程

渗沥液经现有调节池收集后提升进入均质水

罐, 经过水质调节及均化后进入两级A/O外置式MBR进行主要污染物的去除, MBR出水经过纳滤及反渗透处理后, 清水产水满足《水污染物综合排放标准》(DB11/307-2013)表1 B排放限值水质要求后排放, 渗沥液处理系统图整体清水回收率约为65%。

6 工艺设计参数

6.1 均质水罐

现有调节池渗沥液及污泥脱水清夜首先提升进入均质水罐, 主要实现碳源投加混合及均质的作用, 调配水质COD至约27000mg/L, 约为进水总氮6倍, 碱度至约16000mg/L。均质水罐有效容积300m³, 采用搪瓷拼装罐。

主要设备: 均质水罐进水泵4台, 2用2库备, Q=40m³/h, H=20m, 螺杆泵; 均质水罐潜水搅拌机2台, 4kW; MBR进水泵3台, 2用1库备, Q=25m³/h, H=20m, 螺杆泵; 一级碳源加药泵2台, 1用1备, Q=2m³/h, H=15m, 螺杆泵; 生化加碱泵2台, 1用1备, Q=2m³/h, H=20m, 离心泵; 自清洗过滤器2台, 2用, 过滤级别1000um。

6.2 MBR生化系统

MBR生化系统采用两级A/O设计, 受场地及施工周期限制, 采用一条线运行。一级生化设计一级反硝化罐2座, 一级硝化罐3座, 均采用搪瓷拼装罐; 二级生化设计反硝化池1座, 二级硝化池1座, 由现有氧化沟分隔成反硝化池和硝化池。

一级反硝化罐罐体直径16.8m, 高12.6m, 设计有效水深11.5m, 单罐有效容积2500m³, 共2座, 反硝化总容积5000m³。一级硝化罐罐体直径16.8m, 高12.6m, 设计有效水深11.4m, 单罐有效容积2500m³, 共2座, 反硝化总容积7500m³。

一级A/O生化系统主要设备: 一级反硝化搅拌机8台, 4台/罐, 11kW/台; 磁悬浮风机4台, 3用1备, Q=5000m³N/h, 风压1.2bar; 一级硝化射流循环泵, 3台, Q=600m³/h, H=15m; 硝酸盐回流泵3台, Q=300m³/h, H=10m; 逆流冷却塔2套, Q=500m³/h, Δt=5℃, 湿球温度27℃; 冷却污泥循环泵2台, Q=500m³/h, H=16m; 冷水循环泵2台, Q=500m³/h, H=13m; 板式换热器2台, Q=500m³/h, 换热量1600kW, 换热面积200m²。

二级反硝化池由现有氧化沟改造而来, 利用

其一半池容, 尺寸为50m×10m×5.2m(h), 有效水深4m, 有效容积为2000m³。二级反硝化池由现有氧化沟改造而来, 利用其一半池容, 尺寸为45m×10m×5.2m(h), 有效水深4m, 有效容积为1800m³, 利用现有微孔曝气系统及现有罗茨鼓风机。设计污泥浓度15g/L, 设计反硝化速率0.128kgNO₃-N/(kgMLSS·d)。

二级A/O生化系统主要设备: 二级反硝化潜水搅拌机4台, 4kW/台; 二级微孔曝气风机(利旧), 2台, 1用1备, Q=4200m³N/h, 风压0.6bar。

6.3 MBR超滤系统

二级硝化出水由超滤进水泵提升进入超滤系统。超滤进水泵采用卧式离心泵3台, 2用1备, Q=400m³/h, H=16m。

超滤系统设计处理规模为600m³/d, 共设置3套机组, 2用1备。每套机组设置两环路, 超滤设计通量为50LMH, 单只膜组件面积为27.2m², 每环路膜管数为5只。

6.4 纳滤系统

纳滤系统设计处理规模为600m³/d, 设计产水率75%, 共设置2套机组, 2用, 考虑到膜清洗对每天处理量的影响, 每套机组实际处理水量按照800m³/d配置。

每套机组设置3环路, 设计膜通量12LMH, 单只膜组件面积37m², 每条环路并联膜壳数为2, 每根膜元件数为4。

6.5 反渗透系统

纳滤出水450mm³/d及DTRO清液产水65m³/d进入反渗透处理系统处理, 处理规模为600m³/d, 设计产水率70%, 共设置3套机组, 1套为新增, 2套为利旧改造。

每套机组设置3环路, 设计膜通量10LMH, 单只膜组件面积34.4m², 每条环路并联膜壳数为2, 每根膜元件数为5。

6.6 反渗透浓缩液处理系统

反渗透浓缩液采用高压反渗透处理, 处理规模为200m³/d, 共设计1套, 系统设计回收率40%, 操作压力90bar。

高压反渗透设计膜通量10LMH, 单只膜柱面积9.405m², 膜柱数量36根。

6.7 污泥处理系统

渗沥液处理系统的剩余污泥产量约为200m³/d, 污泥含水率98.5%。脱水后80%含水率污泥经过

无轴螺旋输送机输送至污泥车内，运输至现有填埋场填埋，脱水上清液由潜水泵提升至均质水罐再处理。

设计叠螺脱水机1台，处理量为 $35\text{m}^3/\text{h}$ ；污泥罐一座，直径6.8m，高度6.6m，有效高度5.5m，有效容积 200m^3 ；为防止污泥厌氧上浮，污泥罐内设潜水搅拌机1台，7.5kW；脱水上清液池利用现有的一污泥池，直径3.5m，有效水深3.2m，有效容积 30m^3 。

配置主要设备参数：进泥螺杆泵2台，1用1备， $Q=40\text{m}^3/\text{h}$ ， $H=20\text{m}$ ，变频；叠螺脱水机1台，处理量为 $35\text{m}^3/\text{h}$ ，处理污泥含水率98.5%；无轴螺旋输送机1台；PAM自动配药机1台， $0\sim 3000\text{L}/\text{s}$ ；PAM加药泵2台，1用1备， $Q=3000\text{L}/\text{h}$ ， $H=30\text{m}$ 。

6.8 除臭处理系统

本次升级改造项目主要臭源点为调节池、均质水罐、污泥储罐、污泥脱水车间，总除臭风量为 $7000\text{m}^3/\text{h}$ 。

升级改造项目的现有调节池已经设置有除臭系统，除臭工艺为酸碱二级除臭+复合臭氧处理，处理规模为 $4\text{万m}^3/\text{h}$ ，实际处理量为 $2\text{万m}^3/\text{h}$ ，现有除臭系统执行《大气污染物综合排放标准》（DB11/501-2017）中15m高排气筒允许排放速率和Ⅱ时段大气污染物最高允许排放浓度限值。

现有除臭系统满足本次升级改造除臭风量及排放要求，升级改造主要增设除臭引风机及除臭管路。

6.9 其他研究及设计要点

6.9.1 回流比

渗沥液处理系统的回流比设置比市政污水处理回流比（3~5）大很多，一般不小于20。由于渗沥液处理系统的反硝化池内有机物浓度较大，较高的回流比带入反硝化的溶解氧很快被消耗。本项目渗沥液进水氨氮和总氮浓度较高，要求其去除率也较高，较高的脱氮去除要求需要设置较高的回流比，但是由于渗沥液处理系统污泥浓度较高，生化容积较小，过高的回流比会将硝化池中大量的溶解氧带到反硝化，反而会抑制反硝化作用的进行。

本项目总氮出水要求较高，反渗透清夜渗水要求控制总氮为 $10\text{mg}/\text{L}$ 一下，因此工艺设计上需要控制生化段两级A/O的出水总氮 $\leq 300\text{mg}/\text{L}$ 。按照杜昱^[4]等人的计算方法，总回流比，即内

回流比与污泥回流比之和，需要设计为70，其中污泥回流比为11，内回流比为59。总回流流量为 $2300\text{m}^3/\text{h}$ ，第一座反硝化的水力停留时间仅为0.9h。经过与多个项目现场运行试验反馈，当回流流量较大时，特别是在回流比达到40以上时，反硝化溶解氧浓度开始升高，生化脱氮效率开始下降。综合实际运行反馈，回流比设置为最大40，其中内流水泵设置为3台，一台变频用于根据进水水量调节回流流量。根据实际投运效果反馈，当回流比最大为40时，可以很好地满足脱氮处理要求。

6.9.2 两级A/O液位控制

本项目升级改造可利用占地面积较小，设计在满足有效生化容积条件下，尽量减少占地面积，一级A/O生化罐体采取加高有效水深的方式，设计有效水位最大为11.5m，相对室外地坪标高12m。二级A/O为改造现有氧化沟，有效水深为4m，相对室外地坪标高2m，故一、二级A/O系统高差最大为10m。

为了满足充分利用罐体容积的要求，一级A/O生化罐与二级A/O生化池之间设置两个溢流液位，高溢流液位用于满负荷运行，低溢流液位用于调试及低负荷运行。在低溢流液位出水管上设置电动阀门，通过阀门开启调节生化运行液位，满足不同处理水量要求。

6.9.3 磁悬浮风机选择的经济性

本项目设计曝气风量为 $13000\text{m}^3\text{N}/\text{h}$ ，选用4台风机，3用1备，风机参数 $Q=5000\text{m}^3\text{N}/\text{h}$ ，风压1.2bar。

相同参数风机，选用磁悬浮风机的设备功率为200kW，而选用罗茨风机的功率为250kW。最大工况运行时，单台磁悬浮风机比罗茨风机每天节约 $(250-200)\times 24=1200\text{kWh}$ ，工业用电价格按照0.65元/度计，年节约费用最大为28.47万元，6年可收回投资成本。

6.9.4 搪瓷拼装罐快速施工安装

本项目为升级改造项目，主要目的是对填埋场内积存渗沥液的应急处理。从项目立项至设计、施工及调试完成总计约6个月，需要赶在雨季来临之前实现达产运行。项目推进比较快的原因在于生化反应罐体采用搪瓷拼装罐，建造周期较短。搪瓷拼装罐施工平均一天起两层，罐体套管等均在工厂加工完成，现场与其他标准搪瓷钢板一起用螺栓连接，采用密封胶密封。

表5 系统进出水水质

污染物	CODcr (mg/L)	电导率 ($\mu\text{s/cm}$)	NH ₃ -N(mg/L)	TN (mg/L)	PH
进水	7000~10000	31000~42000	2800~4100	3700~4800	7.9~8.2
出水	≤ 25	≤ 2000	≤ 0.5	≤ 10	6.5~7.5

以反硝化罐为例, 共计11层搪瓷钢板壁及一层封盖顶, 施工周期约为7天, 罐体混凝土圆形基础施工周期约5天, 总周期约2周左右, 多个罐体可以同时施工安装。

搪瓷拼装罐的搪瓷图层光滑、高惰性、无粘性表面、耐磨耐腐蚀, 安装完成后除了螺栓连接处需要密封胶密封外, 其他无防腐工作。罐体外保温采用100mm厚玻璃棉板, 外敷彩钢板, 均在调试后期实施, 不影响前期施工及调试。

7 工艺处理效果

本工程于2019年8月完工并投入运行, 到目前(2020年7月)已经稳定运行1年, 处理效果的监测数据见表3, 处理出水达到设计的排放浓度限值。

8 技术经济指标

本项目总投资估算为6520万元, 厂区升级改造扩建占地面积2380m²。总装机容量约为2600kW, 工作容量2200kW。处理每立方米渗滤液的成本包括人工费、动力费、消耗药剂材料费、维护维修费、运行管理等, 不包括浓缩液处理的单位处理成本约为30元/m³。浓缩液委托处理成本300元/m³。

9 结论

本工程在强化渗沥液生化处理及深度处理措施的基础上, 实现了北京市地标《水污染物综合排放标准》DB11/307-2013中“表1”B类限值的出水水质标准要求, 出水氨氮可以稳定在1mg/L以下, 出水总氮可以稳定在10mg/L以下, 减少了渗埋场渗沥液的积存。本工程的稳定运行为填埋场渗沥液处理提标改造提供了新的改造思路及工艺技术路线选择。

参考文献

- [1] 北京市环境保护局. 水污染物综合排放标准: DB11/307-2013[S]. 2013.
- [2] 北京市环境保护局. 水污染物排放标准: DB11/307-2005[S]. 2013.
- [3] 杜巍, 刘学建, 于波, 郑斌, 卢旭飞, 王进安. 纳滤膜在北京阿苏卫填埋场渗滤液改扩建工程中的应用[J]. 膜科学与技术. 2010(2).
- [4] 杜昱, 孙月驰, 李瑞华, 肖宁. 垃圾渗滤液MBR处理系统设计要点[J]. 中国给水排水. 2018(1).

高原机场助航灯光工程 设备选型

■ 贾广政 张琪 [电气]

摘要: 高原机场位于高海拔地区,其环境特点是空气密度低、冬季气温低、雷害频率高,其环境对助航灯光电气设备的选择有特殊的要求。本文以某高原机场助航灯光项目为例,重点介绍了助航灯光系统的变压器、柴油发电机、高低压成套设备、调光柜、助航灯具、灯光电缆等电气设备的绝缘、温升、功率受高海拔影响,并针对高原机场特殊环境,分析如何选用机场助航灯光电气相关器材,保证高原机场助航灯光系统安全、可靠、高效的运行。

关键词: 高原机场;高海拔;助航灯光;电气设备选型

1 引言

近年来,我国在建和拟建的高原机场数量逐渐增多,据不完全统计,世界高海拔机场前10名中,中国占了7席,高原机场在国内的数量超过了国外任何一个国家^[1]。中国对高原机场的定义是海拔高于1500m的机场,其中机场标高1500m(含)~2438m的机场为一般高原机场,2438m(含)以上的机场为高原机场^{[2][3]}。

助航灯光作为夜间及低能见度条件下重要的引导系统,应用了大量的高低压电气设备,在高海拔地区选择电气设备时与在正常环境中不同,常规电气设备参数是在海拔不超过1000m(低压设备2000m),温度不超过40℃、不低于-5℃等环境中试验得出的,而在高海拔地区使用的电气设备很多需要考虑高原特殊气候条件的影响。本文针对某高原机场助航灯光选择电气设备时的特殊要求,探讨如何选择高原机场助航灯光以及电气设备。

2 项目概况

本项目为某机场改扩建工程,现状使用跑道长4500m、宽45m不做改造;根据使用要求,盖被现状4500m滑行道;新建联络道、南北端停机坪;并设置助航灯光系统;新建灯光变电站满足灯光系统用电要求。

项目位于青藏高原东南部,海拔4300m,夏季气候温和湿润,冬季气候干冷;高寒缺氧,空气稀薄、昼夜温差大,冬季最低气温低于-25℃,年平均雷暴日为57.1d/a,雷害发生频率高,场区多年平均季节性冻土深度为1m,最大冻土深度为2.2m。

3 高原助航灯光器材选型

3.1 助航灯光灯具选型

近年来,随着半导体技术突飞猛进的发展,LED光源的光效可达140lm/W,已远超过卤素灯,制成助航航光灯具的同一种类的灯光,LED

作者简介:贾广政,男,助理工程师,2019年毕业于北京建筑大学建筑与土木工程(电气)专业,现就职于中航建投机场规划设计研究院。

耗电量较卤素灯可以节约电量60%~70%。根据最新的研究成果,系统还可以2A低电流供电方式实现传统2.8A~6.6A五级精准调光模式,从而显著降低回路损耗,节约能源。

另外LED的寿命可达60000h,较卤素灯的1500h大大提高了助航灯光设备的可靠性,可以减少助航灯具的更换频率和维护工作,减少后期运行维护的时间及成本,提高机场的运行效率。对保证飞行安全、满足运行要求和节约能源等提供了有力的保障,对于建设绿色、环保机场也具有重要的意义。

本项目助航灯光系统所有灯具采用LED光源。高原机场灯具采用LED光源,不仅节约电能,而且降低了高原使用的灯具隔离变压器、恒流调光柜、电力变压器、柴油发电机等设备的容量,从而降低前期整体投资和后期运维成本。

3.2 灯光电缆选择

考虑到高原地区冬季气温低,存在季节性冻土,助航灯光一次电缆和二次电缆采用耐寒型助航灯光专用电缆。

普通助航灯光专用电缆DYJY-5Kv-1×6mm²为铜芯交联聚乙烯绝缘聚乙烯护套电缆,聚氯乙烯

表1 正弦波调光柜与可控硅调光柜对比

对比项目	技术先进性	功率因数	输出波形	输出电流峰值	噪音	谐波污染
可控硅型	低	低	不连续	高	大	严重
正弦波型	高	高	连续	低	小	低

表2 正弦波调光柜技术参数

技术项目	输出功率(kw)	输入电压(V)	恒流精度	恒流控制时间	功率因数	效率	环境温度(℃)	环境湿度(%)	海拔高度(m)
参数	2.5~30	~380±10%	1%	<0.5s	>0.98	>92%	-25~55	0~95	0~5000

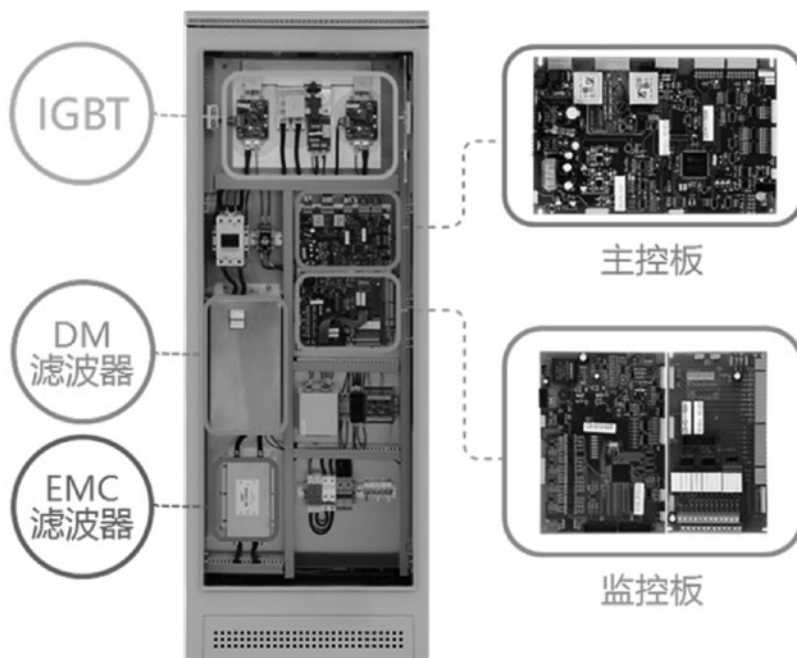


图 某厂家正弦波恒流调光柜结构

的缺点是对气候适应能力差,低温时变硬发脆。普通型聚氯乙烯电缆的温度适应范围+60℃~-15℃,不适宜在-15℃以下的环境使用。敷设时的温度更不能低于-5℃,低于-15℃的严寒地区应选用耐寒聚氯乙烯电缆^[4],耐寒型聚乙烯电缆特点是在高寒气候下仍保持良好的弹性和弯曲性能,不易产生龟裂具有良好的抗低温性能,能够适应高寒环境。

3.3 接地系统选择

本工程建设地点的雷暴日为57.1,属于高雷暴日地区,高原地区气温偏低,最大冻土层较厚,接地系统需要考虑土壤高电阻率和冻胀灾害。因此设计及施工中需要采取降低接地电阻的措施:采用深钻式接地极,同时采用适当深埋式地极,其深度应保证深入冻土层以下的土壤至少5m;如接地电阻仍达不到要求,还可在接地极周围人工处理土壤,以降低冻结温度和土壤电阻率。

3.4 恒流调光器选择

本工程恒流调光柜选用正弦波调光柜。以下是正弦波调光柜与可控硅调光柜优缺点对比和某厂

家正弦波恒流调光柜部分参数。

助航灯光调光柜应选用高原型产品，某厂家产品海拔适应高度已达5000m，高原型产品是普通型产品的价格的1.15~1.2倍，设计时应标注海拔等级，如本工程选用的产品5000m海拔等级。

3.5 灯光变电站

3.5.1 高压开关柜选择

由于高原地区空气稀薄，引起高压电气设备的绝缘性能下降，根据国标《特殊环境条件高原用高压电器的技术要求》GB/T 20635第5.1规定，海拔超过1000m，不超过5000m的高海拔地区，高海拔电器设备外绝缘额定绝缘水平高海拔修正公式(1)进行。

$$U = K_H \cdot U_0 \quad (1)$$

式中：U——使用于高海拔地区高压电器设备在海拔1000m以下地区试验时的耐受电压，kV；

U_0 ——高压电器设备的额定耐受电压，kV；

K_H ——外绝缘强度的高海拔校正因数，可由公式(2)计算求得。

$$K_H = e^{m_0 \left(\frac{H-1000}{8150} \right)} \quad (2)$$

式中：H——海拔，m。

为了简单起见，指数 m_0 取下述确定值：

—— $m_0=1$ 适用于雷击冲击、工频及操作冲击干试验电压；

—— $m_0=0.9$ 适用于直流电压；

—— $m_0=0.8$ 适用于工频湿试电压，操作冲击湿试电压；

—— $m_0=0.75$ 适用于无线电干扰电压。

通过计算可以得出，海拔每升高1000m，电气设备外部绝缘下降13%。常规空气绝缘开关柜若在高海拔地区使用，需要增大电气间隙保证电气产品有足够的耐击穿能力，这就需要常规开关柜作成特殊产品，使得设备体积过大，操作不便。

本工程灯光变电站的3台10kV开关柜均采用六氟化硫(SF₆)气体绝缘开关柜，SF₆是一种惰性气体具有无毒、不可燃等特性，具有良好的电气绝缘性能，其耐电强度在相同压力下为氮气的2.5倍，击穿电压是空气的2.5倍，灭弧能力是空气的100倍^[5]；而SF₆气体绝缘高压开关柜是将高压带电部分封闭在不同的SF₆气室，因此，其最大特点是绝缘性能高、体积小、不受高原环境的影响，通用海拔低于5000m的区域。

3.5.2 干式变压器选择

根据国家标准《电力变压器第11部分：干式变压器》(GB 1094.11—2007)第11.3条高海拔处的温升修正规定，当所设计的变压器是在海拔超过1000m处运行，以1000m为基础，超过部分以每500m为一级，按下列数据相应降低：对于自冷变压器：2.5%；对于风冷变压器：5%。

本工程所处海拔高度为4300m，采用10/0.4kV干式变压器，室内安装，风冷方式，经计算变压器的温升限值降低(4300~1000)/500x5%=33%，本次采用变压器绝缘等级为H级，容量为100kVA，允许温升为125K，设计使用时温升值不超过83.7K。

3.5.3 柴油发电机选择

柴油机的额定功率是指标准环境下即所处环境大气压力为100kPa、相对湿度为30%、温度为25℃、中冷器冷却介质进口温度为25℃时，柴油机以额定转速连续运行12h(包括超负荷10%运行1h)的输出功率。

在高海拔地区由于大气密度小，导致燃油燃烧不完全，使机组输出功率下降。通常情况下，海拔每升高100m，功率约下降标称值的1.2%^[6]。但是对于增压柴油机，在大气压力降低时涡轮膨胀比增加，压缩比也增大，大气压力对增压柴油机输出功率的影响要小一些。

在进行大气状况功率修正计算时，应按厂方提供的数据进行计算。比如TAD740GE型发动机在海拔1000m以下和环境温度40℃的条件下运行，功率不修正，在1000~3000m之间每500m修正4%，在3000~5000m之间每500m修正6%。

本项目计算负荷56kW，按照TAD740GE型

表3 塑壳断路器海拔高度修正值

海拔高度 (m)	2000	3000	4000	5000
绝缘电阻电压 (V)	3000	2500	2100	1800
平均绝缘等级 U_i (V)	800	700	600	500
最大工作电压 U_e (V)	690	590	520	460
平均热工作电流 (40℃) $I_n X$	1	0.96	0.93	0.9

表4 微型断路器海拔高度修正值

海拔高度 (m)	2000	3000	4000	5000
耐压 (V)	2500	2200	1950	1700
最大工作电压 U_e (V)	440	380	380	380
降容系数 (40℃)	1	0.96	0.93	0.9
分断能力	不变	不变	不变	不变

发动机选型, 在海拔4300m时的功率修正系数为 $4 \times 4\% + 2.6 \times 6\% = 31.6\%$, 即所选机组功率应为 $56 \div (1 - 31.6\%) = 81.9\text{kW}$, 选用机组功率为100kW。

3.5.4 低压断路器选择

作为低压电气的终端设备, 其修正相对要简单些, 断路器在高原地区可以选择普通型产品降容使用, 设计时可以以电气设备厂家给出的修正方法进行修正。表3为施耐德塑壳断路器和微型断路器海拔超过2000m的修正值。

3.5.5 其他低压电器选型

其他低压电器选型应根据GB/T 14048.1-2012《低压开关设备和控制设备第一部分: 总则》中, 规定普通型低压电器的正常工作条件为海拔不超过2000m。高原地区宜采用相应的高原型电器, 常规型低压产品应作高海拔校验或选用高原型产品。高原型低压元器件要求在其明显部位标注适用于海拔高度等级的标志, 如G2-3适用于海拔最高2000m以上至3000m, G3-4适用于海拔最高3000m以上至4000m, G5表示适用于海拔最高5000m。对高原型低压成套设备, 要求在其铭牌上标出适用的海拔高度等级, 如G3适用于海拔最高2000m以上至3000m, G4适用于海拔最高3000m以上至4000m, G5表示适用于海拔最高5000m。

4 结束语

本文主要从高原机场助航灯光电气设备设计的角度出发, 归纳总结、分析在高原机场特殊环境下科学选用机场助航灯光电气相关器材, 从而有助于从技术角度完善设计, 以利于机场助航灯光系统安全、可靠、高效的运行。

参考文献

- [1]李培成. 关于恒流调光器在高原机场使用的探讨[J]. 科技与企业, 2015(14): 203+205.
- [2]张秉海. 高原机场运行安全保障能力评估[D]. 中国民用航空飞行学院, 2019.
- [3]王士鹏. 高原机场选用供配电设备的设计评审研究[J]. 能源与节能, 2015(07): 173-177.
- [4]中国航空工业规划设计研究院组编. 工业与民用配电设计手册. 第四版. 北京: 中国电力出版社, 2016: 779.
- [5]袁克旻. 六氟化硫气体绝缘高压开关柜在高海拔地区的使用[J]. 广播电视信息, 2017(07): 83-87.
- [6]曾以雄, 刘衡. 高海拔地区柴油电站设计[J]. 建筑电气, 2008(12): 499-501.

某高校科研实验楼照明设计探讨

■ 郭金茹 张琪 [电气]

摘要: 根据科研建筑相关的设计标准和工程实践情况,本文介绍了科研实验楼照明系统中的照度标准、照明光源及灯具选择、照明配电与控制、节能措施等技术问题,并运用DIALux照明设计软件对科研实验楼的典型场所通用实验室、洁净实验室、科研实验大厅进行照度设计与对比分析,确保照明设计的正确性和合理性。

关键词: 科研实验楼;照度标准;照明光源及灯具;照明配电;照明控制

0 引言

科研实验楼是供研究人员从事科研活动的重要场所,科研实验楼不同于一般的公共建筑,其内部不同类型实验室都具有一定的功能性和特殊性,对照明也有着不同的具体要求。本文探讨了某高校科研实验楼工程中的照明系统设计。

1 项目概况

某工程科研实验楼建筑面积3.5万m²,建筑高度32m,地上7层,地下1层,建筑结构形式为框架结构,抗震设防烈度8度,建筑类别为二类高层建筑。地上建筑主要功能包括科研通用实验区、科研专用实验区、科研实验大厅、科研成果展示区、科研办公区、设备用房等。地下包括车库及人防。本文主要探讨科研实验楼地上建筑的照明设计。

2 照明相关要求

科研实验楼照明设计需要考虑不同功能实验室的防电磁干扰、防爆、防水、防尘等各种因素。本文将根据照明种类、照明标准、照明光源及灯具几个方面分别做探讨分析。

2.1 照明种类

科研实验楼设有以下照明种类:

(1) 正常照明:所有室内工作及相关辅助场

所设置、在正常情况下使用的照明。

(2) 备用照明:用以确保正常活动继续或暂时继续进行场所设置的应急照明(如重要实验室)。

(3) 疏散照明:用以确保安全出口和疏散通道被有效地辨认和使用的应急照明(如走廊、建筑面积大于200m²的大型实验室等)。

2.2 照度标准

JGJ 91-2019《科研建筑设计标准》对科研实验用房照度做了具体要求,如表1所示。科研通用实验室房间照度标准为300lx;对于生物培养室、天平室、电子显微镜室、谱仪分析室等具有科学研究仪器设备的实验室照度要求较高,照度应满足500lx,并且宜根据房间布局增设局部照明。

2.3 照明光源及灯具

2.3.1 光源的选择

科研实验楼的照明具有较高的功能性要求,其光源的选择应满足提高照明质量,有利于环保的要求。在控制照明功率密度值的前提下,尽可能营造出明亮、舒适的照明环境。

LED光源技术的日趋成熟,尤其是在国家大力倡导绿色照明的大背景下,LED光源的优势已逐渐凸显。LED灯具有发光效率高、使用寿命长、发热量低、防潮抗震动、环保节能、调光方便、维护费用低等优点。

本文通过对荧光灯与LED灯方案进行对比分析,确定本工程选用LED灯为主要光源。

具体设计时还需要考虑以下几种特殊实验室:

(1) 对颜色识别有要求的实验室,需要注意

作者简介:郭金茹,女,助理工程师,2018年毕业于北京建筑大学建筑电气与智能化专业,现就职于中航建投机场规划设计研究院。

表1 科研实验用房照度标准值

房间名称	照度标准 (lx)	参考平面及其高度 (m)
通用实验室	300	实验台面0.75
生物培养室	500	工作台面0.75
天平室	500	工作台面0.75
电子显微镜室	500	工作台面0.75
谱仪分析室	500	工作台面0.75
放射性同位素实验室	300	工作台面0.75
研究工作室	300	桌面0.75
学术报告厅	300	桌面0.75
设计室	500	实际工作面
管道技术层	75	地面

光源的显色性，显色指数不宜小于80。

根据GB 50034-2013《建筑照明设计标准》4.4.3条和4.4.4条规定，选用同类光源的色容差不应大于5 SDCM。当选用发光二极管光源时，长期工作或停留的房间或场所，色温不宜高于4000K，特殊显色指数R9应大于零。

(2) 对电磁干扰有严格要求的实验室，不应采用气体放电光源，应选用白炽灯或者卤素灯。

2.3.2 灯具的选择

根据不同场所的环境条件和功能要求，科研实验楼的典型场所采用以下灯具：

(1) 通用实验室：根据JGJ 91-2019《科研建筑设计标准》9.3.6条要求，通用实验室宜采用开启或带格栅直配光型灯具，开启型灯具的效率不应低于0.75，带格栅型灯具效率不应低于0.65。实验室灯具格栅、反射器不宜采用全镜面反射材料。灯具应具有良好的气密性，结构简单，便于清扫工作和维护操作。

(2) 洁净实验室：净化要求级别较高的实验室对于尘埃及气流有严格要求，洁净室的灯具及安装方式对维持空气洁净度至关重要。灯具应采取防静电措施，防止静电吸附尘埃。灯具的安装不应影响清洁空气的方向和流速，避免产生乱流和涡流。根据GB 50073-2013《洁净厂房设计规范》9.2.2条要求，洁净室灯具应为吸顶明装。当灯具嵌入棚顶暗装时，安装缝隙应有可靠的密封措施，以防尘粒渗入洁净室，并且灯具结构能便于清扫和更换灯管。洁净室应采用满足相应洁净等级的洁净室专用灯具。

(3) 特殊实验室：具有潮湿、腐蚀性气体和蒸汽、有火灾危险和爆炸危险等场所，应当选用具有相应防护性能的灯具。

3 照明配电

根据JGJ 91-2019《科研建筑设计标准》9.3.14条规定：照明负荷宜由单独配电装置或单独回路供电，应设单独开关和保护电器。照明配电箱宜分层或分区设置。当电压偏差或波动不能保证照明质量或光源寿命时，可采用专用变压器供电。

本工程由变配电室低压柜引出照明专用垂直干线至各楼层强电间，各楼层强电间设置电缆T接箱，由T接箱引至各层总照明配电箱，再由楼层总照明配电箱接至区域分照明配电箱。

3.1 正常照明配电

本工程根据规范要求，对于通用实验室、洁净实验室、科研实验大厅、科研办公室等房间照明负荷等级均为三级，其中一层科研实验大厅需单独设置专用照明配电箱，除科研实验大厅外的其他房间照明均取自各层强电间内层照明箱nAL（n表示楼层，n=1~7）。

科研实验楼属于人员密集场所，根据JGJ 310-2013《教育建筑电气设计规范》4.2.2条要求，实验楼主要通道照明用电为二级负荷。

本项目的公共区域，包括走道、门厅等照明确定为二级负荷，电源取自各层强电间内公共照明专用双电源切换箱nALG（n表示楼层，n=1~7），保证电源可靠性。

3.2 应急照明配电

根据GB 51348-2019《民用建筑电气设计标准》规定，二类高层民用建筑的消防用电为二级负荷。故本工程应急照明负荷等级确定为二级负荷。

本工程一层设置消防控制室，根据规范GB 51309-2018《消防应急照明和疏散指示系统技术标准》3.1.2条要求，设置消防控制室的场所应选择集中控制型系统，故本工程消防应急照明和疏散指示系统选用集中电源集中控制型。系统由应急照明控制器、应急照明集中电源、消防应急照明灯具、消防应急标志灯具等组成。

应急照明控制器设置在消防控制室内，由应急照明控制器至集中电源的联网线与本工程火灾自动报警及联动控制系统同线槽敷设。其中应急照明集中控制器由消控室的消防电源供电，供电电源为AC220V。应急照明集中电源由所在防火分区的应急照明配电箱供电，供电电源为AC220V。低于8m应急照明灯具采用A型灯具，工作电压为DC24V；超过8m的高大空间应急照明灯具采用B型灯具，工

作电压为AC220V。

根据GB 50016—2014《建筑设计防火规范》10.3.2条和GB 51309—2018《消防应急照明和疏散指示系统技术标准》3.2.5条要求，实验楼内疏散照明的地面最低水平照度应符合：对于疏散走道，不应低于1.0lx；人员密集场所不应低于3.0lx；对于楼梯间不应低于5.0lx。强弱电间、消防值班室等消防相关用房内照明全部为应急照明，备用消防电源的供电时间和容量，应满足180min内各消防用电设备的要求。

4 照度设计

本工程运用DIALux模拟照度软件，对不同场所的荧光灯和LED灯的照明效果进行对比分析。为方便计算，综合考虑统一设定天花板、墙壁、地板的反射系数分别为70%、50%、20%。考虑照明环境较为清洁，灯具维护系数取0.8。

4.1 通用实验室

通用实验室适用于多学科的、以实验台为主开展科研活动的实验区。通用实验台一般采用边台和岛台相结合方式布置，实验岛台呈规律性排列。因此，宜采用顶棚上均匀布灯的一般照明方式。

本项目标准通用实验室房间长度 $L=6.6\text{m}$ ，宽 $W=7.2\text{m}$ ，房间高度 $H=3.8\text{m}$ ，工作面高度 $H_a=0.75\text{m}$ ，灯具安装高度 $H_e=3.2\text{m}$ 。两种灯具参数如表2所示。

根据规范要求，通用实验室标准照度为300lx，经计算该房间采用三行两列均匀布置灯具，仿真得到照度等数值线如图1所示。

根据图1可以直观的看到通用实验室照度分布情况，具体仿真结果如表3所示。两种灯具光通量在大体一致的情况下，设计照度与照度标准值的偏差均小于 $\pm 10\%$ ，满足规范要求。但采用荧光灯的房间功率密度值为 $9.72\text{W}/\text{m}^2$ ，大于规范要求的功率密度限值 $9\text{W}/\text{m}^2$ ，不满足规范要求，而采用LED灯的房间功率密度值为 $5.18\text{W}/\text{m}^2$ ，符合规范要求。

4.2 洁净实验室

洁净实验室为空气悬浮粒子浓度受控的实验房间。洁净实验室的照明设计应根据空调系统的送风方式选择灯具。

本项目洁净实验室房间长度 $L=16\text{m}$ ，宽 $W=7.2\text{m}$ ，房间吊顶板下高度 $H=3.8\text{m}$ ，工作面高度 $H_a=0.75\text{m}$ ，灯具安装高度 $H_e=3.8\text{m}$ ，两种灯

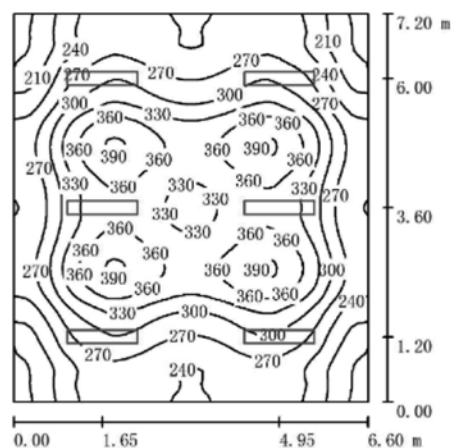
表2 通用实验室的灯具主要技术参数对比

型号 指标	荧光灯 2xTL5-28W	LED灯 1xLED-41W
总功率/(W)	62	41
光通量/(lm)	4253	4100
平均寿命/(h)	24000	35000

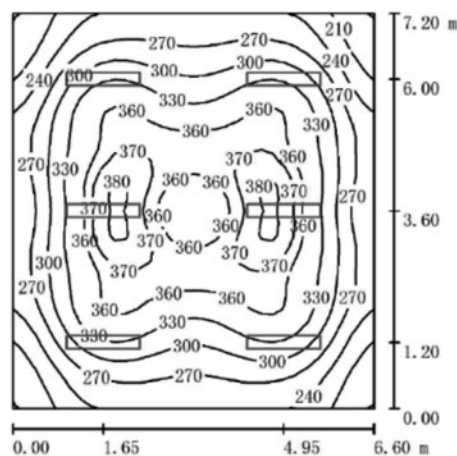
具参数如表4所示。

根据规范要求，洁净实验室标准照度为300lx，经计算该房间采用三行四列均匀布置灯具，仿真得到照度等数值线如图2所示。

根据图2可以看到洁净实验室分别采用两种灯具的照度分布情况，具体仿真结果如表5所示。两种灯具光通量在基本一致的情况下，计算照度和计算功率密度均满足规范要求。但相比之下，采用LED灯的计算功率密度值比采用荧光灯的计算功率密度值要小，则更加节能。



(a) 荧光灯的照度等值线



(b) LED灯的照度等值线

图1 通用实验室的照度等值线

表3 通用实验室的荧光灯和LED灯仿真结果对比

型号 指标	荧光灯 2xTL5-28W	LED灯 1xLED-41W
平均照度值/(lx)	292	307
功率密度值(W/m ²)	9.72	5.18

表4 洁净实验室的灯具主要技术参数对比

型号 指标	洁净荧光灯 2xTL5-28W	洁净LED灯 1xLED-41W
总功率/(W)	62	41
光通量/(lm)	3938	3900
平均寿命/(h)	24000	35000

4.3 科研实验大厅

科研实验大厅用于大型实验装置进行科研实验的区域。大厅采用顶棚上均匀布灯的一般照明方式。

本项目科研实验大厅房间长度L=30m，宽W=21m，房间吊顶板下高度H=5.5m，工作面高度Ha=0.75m，灯具安装高度He=5.5m。两种灯具参数如表6所示。

根据规范要求，实验大厅标准照度为300lx，经计算该区域采用七行八列均匀布置灯具，仿真得到照度等数值线如图3所示。

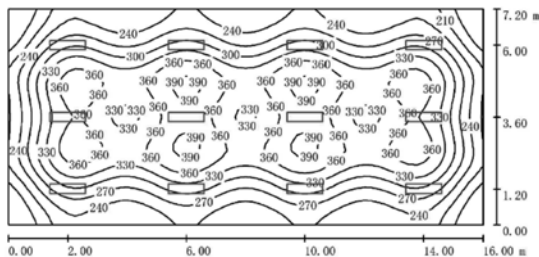
根据图3可以直观看到实验大厅照度分布情况，具体仿真结果如表7所示。两种灯具光通量在大体一致的情况下，计算照度和计算功率密度均满足规范要求，但采用LED灯计算率密度值稍小，更加节能。此外LED灯的使用寿命较荧光灯要长，维修费用低，散热量也小，有助于维持大厅恒温。

5 节能措施

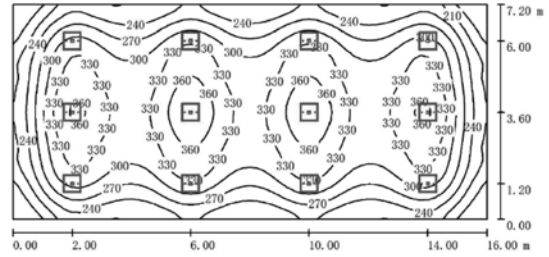
照明的原则是以人为本，照明节能应在满足规范规定的照度和照明质量要求的前提下进行设计，本工程按照下列4点技术措施实施：

(1) 确定合理的照度标准

科研实验楼的典型场所为实验室，实验室的



(a) 荧光灯的照度等值线



(b) LED灯的照度等值线

图2 洁净实验室的照度等值线

表5 洁净实验室的荧光灯和LED灯仿真结果对比

型号 指标	荧光灯 2xTL5-28W	LED灯 1xLED-41W
平均照度值/(lx)	301	293
功率密度值(W/m ²)	6.46	4.27

表6 科研实验大厅的灯具主要技术参数对比

型号 指标	荧光灯 2xTL5-35W	LED灯 1xLED-64W
总功率/(W)	77	64
光通量/(lm)	5387	5120
平均寿命/(h)	24000	35000

照明任务是为工作人员提供完成工作任务的光线，应充分考虑工作人员的生理和心理的需求。

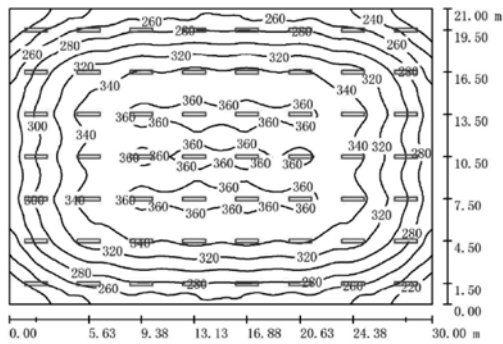
根据GB 50034-2013《建筑照明设计标准》4.1.7要求，设计照度与标准照度的偏差应小于±10%。若照度水平选择过高，则容易产生眩光干扰，长期甚至会造成视觉功能性损害，不仅达不到节能效果还影响工作效率。若照度水平选择偏低，则会容易导致工作人员视觉疲劳和精神倦怠，故应避免过高或过低的照度设计值。

(2) 选择高效的照明器材

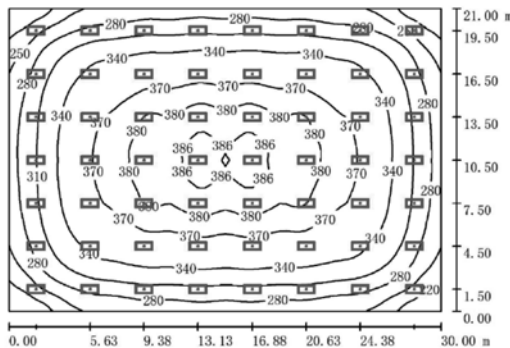
在保证照明质量的前提下，应选择光效高、显色指数高、调光性能好、色温宜人、使用寿命长、性价比高的优质节能照明灯具，并根据建筑物内不同房间的室型指数(RI)值选取不同配光的灯具，还需要特别注意选取灯具光通量的稳定性，以避免使用过程中灯具输出光通过度下降，影响照明质量。

(3) 采用合理的照明方式

对于科研实验楼内的电子显微镜室、谱仪分析室、天平室等照度要求较高的房间，根据实验室内工艺设备实际布置情况，在一般照明的基础上增加局部照明来提高局部作业面的照度。



(a) 荧光灯的照度等值线



(b) LED灯的照度等值线

图3 实验大厅的照度等值线图

对于大型实验室, 优先采用分区一般照明, 非实验区和走道照度按照实验区照度的1/3设计, 达到节能的目的。

(4) 采用合理的照明控制方式

合理的照明控制可以改善工作环境, 提高照明质量, 达到节能能源的目的。

根据GB 50034-2013《建筑照明设计标准》7.3.1、7.3.2、7.3.5、7.3.7、7.3.8要求和JGJ 91-2019《科研建筑设计标准》9.3.15要求, 本项目按以下原则进行照明控制。

a. 翘板开关控制

通用实验室、洁净实验室、科研办公室、设备用房等封闭式房间采用传统翘板开关控制方式, 通过单联、双联、三联、四联开关实现分区、分组控制。开关设置于门口, 便于人员进出房间操作的位置。

b. 声光控开关控制

楼梯间采用声光控开关控制, 不仅达到节能

表7 科研实验大厅的荧光灯和LED灯仿真结果对比

型号 指标	荧光灯 2xTL5-35W	LED灯 1xLED-64W
平均照度值/(lx)	312	330
功率密度值(W/m ²)	6.84	5.69

要求, 又便于人员通行, 不需要手动操作控制。

c. 智能控制

门厅、电梯厅、走道、科研成果展示区等公共区域, 以及一层科研实验大厅采用总线智能集中控制方式, 智能控制是可以实现场景控制、恒照度控制、远程控制、就地手动控制、定时控制、应急处理等多种控制方式, 既便于控制、管理、维护又实现节能。

6 结束语

科研实验楼因不同功能区需求各有不同, 并且要求严格, 因此照明设计需要进行全方面的综合分析。本文从照明要求、照明配电、照度设计与对比、节能措施进行综合分析阐述。随着我国科学技术、科研事业的快速发展, 研究水平不断提高, 对科研实验楼的照明又提出了更高的要求, 值得我们更加深入学习与探讨。

参考文献

- [1] 中国建筑科学研究院. GB 50034-2013 建筑照明设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [2] 中科院建筑设计研究院. JGJ 91-2019 科研建筑设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [3] 清华大学建筑设计研究院. JGJ 310-2013 教育建筑电气设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [4] 中国电子工程设计研究院. GB 50073-2013 洁净厂房设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2013.
- [5] 中国建筑东北设计研究院. GB 51348-2019 民用建筑电气设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- [6] 公安部天津消防研究所. GB 50016-2014 建筑设计防火规范(2018年版)[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [7] 应急管理部沈阳消防研究所. GB 51309-2018 消防应急照明和疏散指示系统技术标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.
- [8] 北京照明学会照明设计专业委员会. 照明设计手册(第三版)[M]. 北京: 中国电力出版社, 2016.

快速确定机场盖被设计高程的计算方法

■ 何培 朱翼军 [机场场道岩土]

摘要: 基于线性回归的最小二乘法理论, 结合穷举法、迭代法, 形成了一种机场盖被设计的计算方法, 建立了适合于机场盖被计算的飞行场地设计表面模型, 推导出了模型中各参数的求解方程。本文以水泥混凝土道面机场为例, 阐述了如何运用该方法确定道面盖被设计的纵、横断面和高程, 并通过对两种方案的分析和计算, 得出设计高程, 总结了该方法在使用中应注意的问题。

关键词: 机场道面; 盖被; 设计高程; 计算方法

目前大多数机场道面盖被设计工作, 需要设计者们人工拟定盖被设计高程, 反复试算, 保证达到盖被厚度的同时, 还要保证符合设计规范和减小成本。随着计算机辅助设计在机场工程中应用的加深, 可以越来越多地将设计工作交给计算机来完成。现提出一种计算方法, 可以让计算机根据旧道面坡度变化情况, 自动寻找各坡段上的最高点, 形成道面纵、横断面盖被设计基准线, 确定盖被设计高程。文章引用了一组机场飞行区指标为4C的跑道道面高程数据。该机场是水泥混凝土道面, 长2600m, 宽45m。拟对道面用相同材料进行隔离式盖被, 盖被设计厚度为30cm, 道面设计分块尺寸为5m (纵向) × 4.5m (横向)。

1 数学原理

按照最小二乘法的原理, 设 y 为跑道纵断面坐标, z 为纵断面坐标对应的高程, k 为跑道纵坡坡度的估计值, b 为跑道纵坐标为零时的高程估计值, 作离差平方和:

$$Q = \sum_{i=1}^n (ky_i + b - z_i)^2 \quad (1)$$

另 Q 分别对 k 和 b 的两个一阶偏导数等于0:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial k} \sum_{i=1}^n (ky_i + b - z_i)^2 = 0 \\ \frac{\partial}{\partial b} \sum_{i=1}^n (ky_i + b - z_i)^2 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

解方程组得到 k 值和 b 值:

$$\begin{cases} k = \frac{n \sum_{i=1}^n y_i z_i - \sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n z_i}{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2} \\ b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i^2 \sum_{i=1}^n z_i - \sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n y_i z_i}{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2} \end{cases} \quad (3)$$

作者简介: 何培, 男, 助理工程师, 2010年毕业于空军工程大学岩土工程专业, 现就职于中航建设机场规划设计研究院。

2 设计表面模型

建立机场独立坐标系，垂直跑道方向以“x”表示，平行跑道方向以“y”表示。(x,y)为跑道坐标点，跑道左下角坐标为(x₀, y₀)，z(x,y)为坐标点对应的高程，x坐标向上增大，y坐标向右增大。跑道纵向分为m段，横向分为q段。k_n为设计纵断面第n段的坡度，f_{n(y)}为设计纵断面第n段的方程，b₁、b₀为设计纵断面第1段的参数，l_n为设计横断面第n段的坡度。设计表面模型和各参数的求解方程如下所示：



图1 飞行场地设计表面模型

$$k_n = \begin{cases} \frac{(g_n + 1) \left[y_0 z(x_p, y_0) + \sum_{i=1}^{g_n} y_{n,i} z(x_p, y_{n,i}) \right] - \left(y_0 + \sum_{i=1}^{g_n} y_{n,i} \right) \left[z(x_p, y_0) + \sum_{i=1}^{g_n} z(x_p, y_{n,i}) \right]}{(g_n + 1) \left(y_0^2 + \sum_{i=1}^{g_n} y_{n,i}^2 \right) - \left(y_0 + \sum_{i=1}^{g_n} y_{n,i} \right)^2} & n = 1 \\ \max \left[\frac{f_{n-1}(y_{n-1, g_{n-1}}) - z(x_p, y_{n,1})}{y_{n-1, g_{n-1}} - y_{n,1}}, \frac{f_{n-1}(y_{n-1, g_{n-1}}) - z(x_p, y_{n,2})}{y_{n-1, g_{n-1}} - y_{n,2}}, \dots, \frac{f_{n-1}(y_{n-1, g_{n-1}}) - z(x_p, y_{n, g_n})}{y_{n-1, g_{n-1}} - y_{n, g_n}} \right] & n = 2 \dots m \end{cases} \quad (4)$$

$$f_n(y) = \begin{cases} k_n y + b_1 + b_0 & n = 1 \\ k_n (y - y_{n-1, g_{n-1}}) + f_{n-1}(y_{n-1, g_{n-1}}) & n = 2 \dots m \end{cases} \quad (5)$$

$$b_1 = \frac{\left(y_0^2 + \sum_{i=1}^{g_n} y_{1,i}^2 \right) \left[z(x_p, y_0) + \sum_{i=1}^{g_n} z(x_p, y_{1,i}) \right] - \left(y_0 + \sum_{i=1}^{g_n} y_{1,i} \right) \left[y_0 z(x_p, y_0) + \sum_{i=1}^{g_n} y_{1,i} z(x_p, y_{1,i}) \right]}{(g_n + 1) \left(y_0^2 + \sum_{i=1}^{g_n} y_{1,i}^2 \right) - \left(y_0 + \sum_{i=1}^{g_n} y_{1,i} \right)^2} \quad (6)$$

$$b_0 = \max \left[z(x_p, y_0) - k_1 y_0 - b_1, z(x_p, y_{1,1}) - k_1 y_{1,1} - b_1, \dots, z(x_p, y_{1, g_1}) - k_1 y_{1, g_1} - b_1 \right] \quad (7)$$

3 确定盖被设计高程

3.1 跑道纵断面盖被设计基准线

跑道纵断面盖被设计基准线是紧贴原跑道中线的高程线，将线上各点的高程加上盖被设计厚度就是盖被设计高程。此阶段也称为“摸坡”，其确定方法如下：

原道面的高程列于表1，横坐标间隔4.5m，纵坐标间隔100m。延跑道中线按100m一点提取原道面高程并绘制距离—高程关系曲线，如图2所示。根据原道面高程变化情况、飞行区技术标准对

表1 原道面高程

横向坐标	纵向坐标													
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
45	856.33	856.50	856.67	856.84	856.93	857.12	857.36	857.51	857.54	857.54	857.56	857.44	857.35	857.16
40.5	856.35	856.53	856.68	856.85	856.99	857.14	857.37	857.53	857.58	857.59	857.59	857.48	857.37	857.18
36	856.38	856.56	856.70	856.86	857.05	857.17	857.38	857.57	857.61	857.64	857.62	857.52	857.41	857.22
31.5	856.41	856.56	856.73	856.88	857.09	857.21	857.40	857.62	857.64	857.67	857.66	857.55	857.44	857.25
27	856.43	856.57	856.77	856.90	857.12	857.24	857.41	857.65	857.67	857.70	857.69	857.59	857.47	857.28
22.5	856.43	856.56	856.76	856.91	857.11	857.24	857.41	857.64	857.66	857.70	857.68	857.57	857.46	857.31
18	856.40	856.55	856.75	856.89	857.09	857.23	857.41	857.63	857.62	857.69	857.67	857.54	857.45	857.26
13.5	856.39	856.51	856.72	856.86	857.05	857.19	857.39	857.58	857.58	857.65	857.64	857.51	857.41	857.21
9	856.38	856.47	856.67	856.84	857.02	857.16	857.36	857.55	857.54	857.62	857.60	857.47	857.37	857.18
4.5	856.34	856.44	856.60	856.79	856.98	857.12	857.32	857.52	857.50	857.57	857.55	857.42	857.31	857.14
0	856.31	856.40	856.54	856.74	856.93	857.09	857.28	857.47	857.45	857.46	857.49	857.36	857.25	857.09

纵向变坡点间距离的要求和对通视至少半条跑道长度的要求，按照500m、250m、300m、250m、250m、300m、200m、550m将纵断面分段，按照式(4)~(7)计算各分段参数。计算顺序为 $k_1 \rightarrow b_1 \rightarrow b_0 \rightarrow f_{1(y)} \rightarrow k_2 \rightarrow f_{2(y)} \rightarrow k_3 \rightarrow f_{3(y)} \rightarrow \dots \rightarrow k_m \rightarrow f_{m(y)}$ ，最后将y值代入各分段方程，便得出跑道纵断面盖被设计基准线，如图2所示。从图中可以看到，计算得到的跑道纵断面盖被设计基准线与原道面贴合得较好。

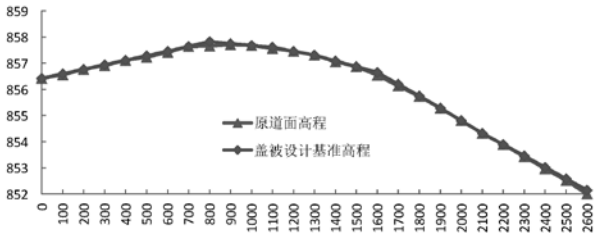


图2 横坐标为22.5时的跑道纵断面

3.2 跑道横断面盖被设计基准线

跑道横断面盖被设计基准线是紧贴跑道横断面的高程线，将线上各点的高程加上盖被设计厚度就是盖被设计高程，其确定方法如下：

$$l_p = \max \left[\frac{f_1(y_0) - z(x_{p+1}, y_0)}{x_{p+1} - x_p}, \frac{f_1(y_{1,l}) - z(x_{p+1}, y_{1,l})}{x_{p+1} - x_p}, \dots, \frac{f_m(y_{m,g_m}) - z(x_{p+1}, y_{m,g_m})}{x_{p+1} - x_p} \right]$$

$$l_{p+1} = \max \left[\frac{f_1(y_0) + l_p \times (x_{p+1} - x_p) - z(x_{p+2}, y_0)}{x_{p+2} - x_{p+1}}, \frac{f_1(y_{1,l}) + l_p \times (x_{p+1} - x_p) - z(x_{p+2}, y_{1,l})}{x_{p+2} - x_{p+1}}, \dots, \frac{f_m(y_{m,g_m}) + l_p \times (x_{p+1} - x_p) - z(x_{p+2}, y_{m,g_m})}{x_{p+2} - x_{p+1}} \right] \dots$$

以此类推，求出所有的横坡l。根据求出的横坡就可以绘制任意横断面的最低基准高程线，低于这个高程线就不能保证盖被设计厚度。

将这个最低基准高程线绘制在距离—高程关系曲线上进行分析。取任意横断面，比如取纵坐标为零时的断面，按跑道上半部和下半部分别绘制，如图3和图4所示，可以明显看出旧跑道横断面的变化趋势为中间高两端低。

采用隔离式盖被，让跑道中部满足盖被设计厚度30cm，端部满足规范要求的最小盖被厚度22cm，二者的差值为8cm。将跑道上半部分最低基准高程端部（横坐标为45）的高程减去8cm，从这点向上与断面中部按照标准要求10‰的最小横坡连线，求出这条线在断面中部（横坐标为22.5）的高程。将这条线对称到跑道下半部分，检查端部（横坐标为0）的高程与该点最低基准高程的差值， $856.36 - 856.3 = 6\text{cm}$ ，小于8cm，满足要求。这样就得到了跑道横断面盖被设计基准线及其坡度，如图3和图4所示。

3.3 进一步优化

如果旧道面的横坡较小，盖被时保证横坡不小于10‰会产生较大的超灌量，为了降低成本，可以将最小横坡的限制放宽到5‰，尽量贴合原道面

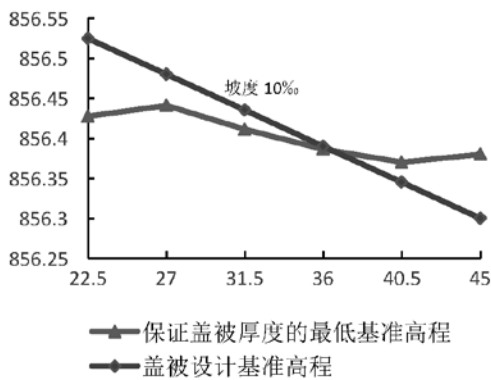


图3 跑道上半部分横断面

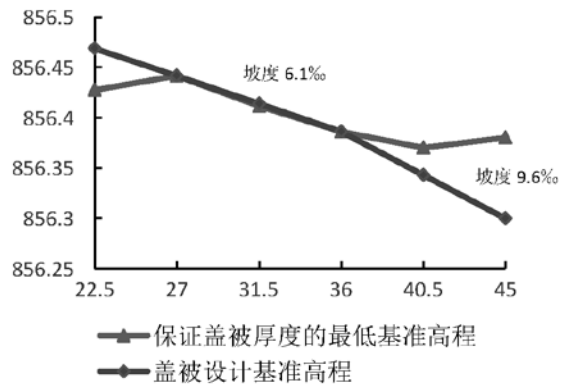


图5 跑道上半部分横断面

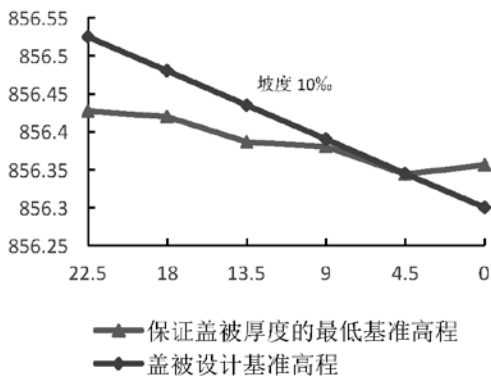


图4 跑道下半部分横断面

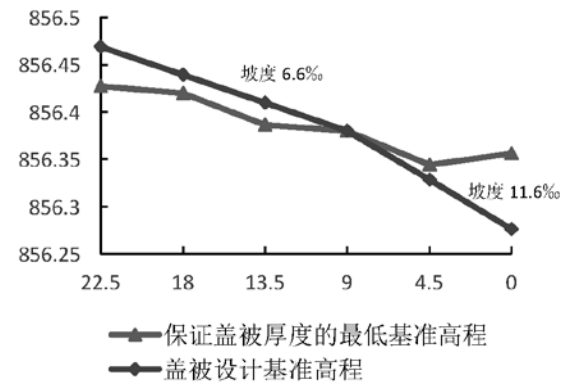


图6 跑道下半部分横断面

横坡的走势进行设计。

观察跑道上半部分的保证盖被厚度的最低基准高程，如图5和图6所示。将横坐标为27和横坐标为36对应的高程连线，到达断面中部（横坐标为22.5），求出其对应的高程，再将横坐标为45的高程减去8cm后与横坐标为36的高程连线。观察跑道下半部分，将刚才断面中部（横坐标为22.5）的高程与横坐标为9的高程连线，再将横坐标为0的高程减去8cm后与横坐标为9的高程连线。这样就得到了跑道横断面盖被设计基准线及其坡度，如图5和图6所示。

3.4 跑道盖被设计高程的确定

从图5和图6中可以看出，靠近跑道中部，最低基准高程与基准高程贴合紧密的点为横坐标为27时对应的点。为降低超灌量，需提取原道面横坐标为27时的纵断面高程，重复3.1节的步骤。为提高精度，按道面纵向设计分块尺寸5m对原道面高程进行提取，仍然按500m、250m、300m、250m、

250m、300m、200m、550m将纵断面分段，得到横坐标为27时的跑道纵断面盖被设计基准线，如图7所示。可以看出，横坐标为27时的跑道纵断面盖被设计基准线与原道面贴合得较好。

以横坐标为27时的跑道纵断面盖被设计基准线为绝对高程线，以跑道任意横断面盖被设计基准线为相对高程线，可以得到整个跑道的盖被设计基准高程面。将基准高程加上30cm就是盖被设计高程。该方案的盖被设计高程如表2所示。由设

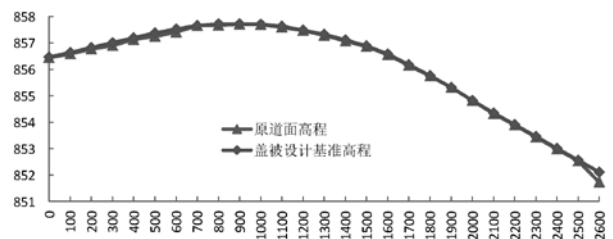


图7 横坐标为27时的跑道纵断面

表2 设计高程

横向坐标	纵向坐标													
	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
45	856.60	856.79	856.97	857.15	857.34	857.52	857.66	857.80	857.87	857.86	857.86	857.78	857.63	857.47
40.5	856.65	856.83	857.01	857.20	857.38	857.56	857.70	857.84	857.91	857.91	857.90	857.82	857.67	857.52
36	856.69	856.87	857.06	857.24	857.42	857.61	857.75	857.89	857.96	857.95	857.94	857.87	857.71	857.56
31.5	856.72	856.90	857.08	857.27	857.45	857.64	857.78	857.92	857.98	857.98	857.97	857.89	857.74	857.59
27	856.74	856.93	857.11	857.30	857.48	857.66	857.80	857.94	858.01	858.01	858.00	857.92	857.77	857.62
22.5	856.77	856.96	857.14	857.32	857.51	857.69	857.83	857.97	858.04	858.03	858.03	857.95	857.80	857.64
18	856.74	856.93	857.11	857.29	857.48	857.66	857.80	857.94	858.01	858.00	858.00	857.92	857.77	857.61
13.5	856.71	856.90	857.08	857.26	857.45	857.63	857.77	857.91	857.98	857.97	857.97	857.89	857.74	857.58
9	856.68	856.87	857.05	857.23	857.42	857.60	857.74	857.88	857.95	857.94	857.94	857.86	857.71	857.55
4.5	856.63	856.81	857.00	857.18	857.37	857.55	857.69	857.83	857.90	857.89	857.89	857.81	857.65	857.50
0	856.58	856.76	856.95	857.13	857.31	857.50	857.64	857.78	857.85	857.84	857.83	857.76	857.60	857.45

计高程和原道面高程,可计算出混凝土超灌量为4.3cm。3.2节中跑道横坡采用10‰方案的凝土超灌量为6.2cm,比本方案多出了1.9cm,增加了混凝土2223m。

4 结语

本文介绍了一种确定机场盖被设计高程的计算方法,该方法易于编写计算机程序,能够提高设计速度,减少混凝土超灌量,运用此方法需要注意以下3点:

(1) 使用本方法前要剔除不正确的原道面板块高程测量点,并确定道面变坡点和分段长度,该步骤会影响混凝土盖被方量。

(2) 确定道面横断面盖被设计基准线的纵断面,可以是任意横坐标下的纵断面,按100m一点提取原道面高程已足够。最终确定道面盖被设计高程的纵断面,需要按照道面纵向设计分块尺寸提取原道面高程。

(3) 该方法可用于水泥混凝土跑道、滑行道和停机坪等道面的盖被设计,也可用于沥青混凝土道面的盖被设计。

参考文献

- [1] 汪荣鑫. 数理统计[M]. 西安:交通大学出版社,1986: 174-182.
- [2] 楼设荣, 李光元, 等. 《机场地势设计优化

与CAD技术》[M]. 北京:人民交通出版社,2001: 31-49.

[3] MH 5001-2013 民用机场飞行区技术标准[S].

[4] MH/T 5004-2010 民用机场水泥混凝土道面设计规范[S].

沥青道面热物性质对道面及近地表温度场影响研究

■ 李雪倩 朱翼军 [机场场道岩土]

摘要: 为研究沥青道面热物性参数对道面及近地表温度场的影响,使用ABAQUS有限元软件建立了沥青道面及近地表温度场有限元计算模型,计算了在夏季高温条件下,沥青道面面层材料导热系数、比热容、反射率及发射率4个热物性参数对道面结构层及近地表温度场,进而对其影响规律分析。研究表明,面层材料的热物性参数对道面结构及近地表温度场有明显影响,可以通过改变材料的热物性参数实现对道面结构及近地表温度场进行主动控制,为新材料的设计及确定结构层参数合理布置提供理论基础。

关键词: 沥青道面; 近地表; 有限元模拟; 温度场; 热物性参数

0 引言

道面结构暴露于自然环境中,受到持续周期性变化的气候影响,路面结构层及近地表温度场都会随之不断发生变化。恶劣气候条件下,道面结构易发生各种病害。高温下的沥青面层产生车辙、推移、拥包等,加剧道面老化。低温下的道面缩裂等都受到沥青道面结构温度场很大的影响。由于道面反射率较低,蓄热能力较高,道面温度通常高于植被或天然土壤覆盖的地面温度^[1,2]。随着道面温度的升高,近地表气温升高^[2~5]。道面材料吸热快、热容小,造成于太阳辐射下,道面地表温度比自然下垫面高很多^[6]。作为重要道面材料的沥青道面,沥青道面表面温度夏季可高达60~70℃左右,使得近地表气温急剧升高^[7,8]。为了降低道面温度,人们采用了不同的热改性方法,如提高道面反射率和改变道面材料的导热系数^[2]。

20世纪20年代,全球范围内对道面温度场开始了研究,1926年在美国Arlington地区初次现场分析研究了沥青道面温度场。此后,各国对各种道

面结构的温度场及温度分布做了大量试验研究和理论分析^[9]。系统归纳起来主要分为两大类:(1)理论分析法;(2)统计分析法^[10]。

理论分析法:自1957年以来,Barber便开启了道面温度场理论分析^[11],他根据半无限体于介质表面日周期性变化的热传导方程,并假设沥青道面是半无限体,道表层会受到地表辐射、太阳辐射和周遭环境大气温度等诸多的热力作用,加之以正弦日周期变化气温,正弦波正半波的日周期变化太阳辐射从而来定义有效辐射,再接着通过理论推导的方式来建立沥青道面最高温的理论预估模型。1968年开始,Straub等人^[12]于美国纽约地区通过对可能对道面温度场有影响的气象数据进行实测,研究不同道面结构的温度场分布,进一步使用有限差分法求解建立以太阳辐射及气温为参数的道面温度场预估模型,并得出太阳辐射对道面温度场影响大于其他气象因素的结论。1972年,Christison与Anderson等^[13]使用加拿大阿尔贝塔的试验路段实测数据对道面结构低温状况下温度分布进行研究,并根据有限差分法建立、验证道面结构低温状况下温度预估模型。1983年,同济大学严作人^[14]从传热学及气象学的基本理论和道面结构弹性层状理论的假设出发,采用解析法对一维导热微分方程进行求

作者简介:李雪倩,女,助理工程师,2019年毕业于长安大学道路与铁路工程专业,现就职于中航建投机场规划设计研究院。

解, 双层道面结构的温度场解可获取。研究成果对后续计算沥青及水泥道面结构内部最高、最低温及最大温差有重要意义。1992年, 佛山大学吴赣昌^[15] 深刻分析层状道面结构边界条件并且成功建立了二维层状道面体系不稳定温度场的数学模型得到精确解。2002年, Hmansson等^[16,17] 基于瑞典Linkoping的实测数据, 建立并验证了高温条件下计算道面结构温度场的仿真模型。2005年, 湖南大学贾璐^[18] 使用遗传算法反分析沥青道面材料热物性参数及边界条件, 极大提高了高温状况下沥青道面温度场数值模拟精度。2009年, 重庆交通大学刘继忠^[19] 运用迦辽金变分原理模拟云南省高海拔地区沥青道面温度场, 并推荐基于优温度场的道面结构形式。2013年, 中南大学陈嘉祺等^[20,21] 于中国海南省设计现场试验分析道面高温时段温度场分布规律及机理, 对系数进行修正并分析量纲, 从而建立沥青道面温度场的理论—经验预估模型。2017年, 陈嘉祺等^[22] 进一步推导了一种基于格林函数的多层沥青道面温度场预测分析方法, 分析了道面热物性参数对近地表环境放热影响并试图寻找降低近地表温度的道面解决方案。

统计分析法: 也称为统计回归分析法, 是一种基于实测或者气象站提供的气象相关资料与试验路段实地测量的温度相关数据, 再通过回归分析的方法以搭建道面内部、表面及近地表温度场与各个环境气象、道面影响因素之间的定量关系。1972年, Christison与Anderson等^[13] 于加拿大做了4种不同沥青道面结构的统计回归分析, 得出沥青道表最低、最高温度及气温和沥青道面温度场的温度梯度变化均线性相关。1987年, 美国公路战略研究计划 (SHRP) ^[23] 大概对7000个气象站的气象数据进行记录整理, 建立SUPERPAVE气象数据库。重点分析高低温极端气候下, 不同的地域环境下道表最高温度的解析理论预估模型。2005年, 同济大学孙立军等^[10] 提出基于现场实测的系数修正后沥青道面温度场预估模型。

在过去的几十年中, 人们对改善近地表热环境给予了极大的科学关注^[24,25,26]。最广泛研究的缓解策略是将“凉爽材料”应用于道面及建筑表面^[27]。与传统产品相比, 其产生较低蓄热量和较低表面温度, 通过对流现象可以减弱向环境的热传递^[28]。迄今为止, Kyriakodis和Santamouris等通过观察^[29], Alchapar和Correa等通过模拟方法^[30]对凉爽材料应用进行了研究, 获得在相似边界条件下,

形态干预前后的小气候。Bruse等采用ENVI-met小气候模型^[31], 通过模拟手段研究了凉爽材料对改善热环境的影响。在数值模型中, 可以考虑复杂的传热过程, 使这些模型可以普遍用于预测不同条件下的道面温度。目前大多数数值模型都是基于有限元^[32,33]或有限差分法^[34]。在这些数值模型中, 道面结构被离散成求解控制方程的单元。为了利用温度预测模型评价热改性方法对道面温度的影响, 应将道面结构视为一个与近地表环境进行换热的多层体系。

道面结构及近地表温度场既受风速、太阳辐射强度、日照时间等外部气象条件因素影响, 也受道面的结构组合及材料的导热系数、比热容、反射率及发射率等热物性参数等内部因素影响。外部因素难以人为主动控制, 因此本文以材料的热物性参数为切入点, 以传热学为理论基础, 采用ABAQUS有限元软件建立道面结构及近地表计算模型, 理论分析沥青道面面层材料的热物性参数对道面结构及近地表温度场的影响, 从而对通过改变道面材料热物性参数实现对该近地温度场进行主动控制。

1 道面热交换及相关热参数分析

1.1 道面与环境的热交换

热量传递发生在物体之间时主要有3种方式:

- (1) 热传导, 指依靠微观粒子的热运动而产生的能量传递现象;
- (2) 热对流, 指由于流体的宏观运动, 从而流体各部分之间发生相对位移、冷热流体相互掺混所引起的热量传递过程;
- (3) 热辐射, 指物体之间通过电磁波来传递能量。

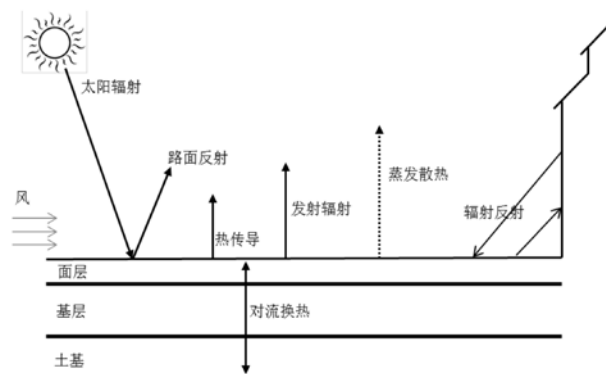


图1 沥青道面与周围环境的热交换

1.1.1 热传导

热传导是物体中分子微观运动重要的传热形式。固体物质内部热传导是相邻分子碰撞过程中传递振动能的结果。在流体中，特别是气体，除了分子碰撞外，连续不规则的分子运动也会导致热传导。另外，热传导可由物体内部自由电子转移而进行，因此金属材料导热性能较强。热传导有着复杂的微观机理，但基本传热方式可用傅里叶定律表达式 (1)：

$$q = -kA \frac{\partial T}{\partial n} \quad (1)$$

式中： q —热流密度， W/m^2 ；

A —单位面积， m^2 ；

$\partial T/\partial n$ —温度梯度（特指单位面积 A 法线方向）；

k —导热系数（和因素压力、温度等有相关性）， $W/(m \cdot ^\circ C)$ 。

道面结构每层之间，道面结构和土基之间的热量传递是以热传导方式来完成。白天道面表面吸收环境热量，进而通过热传导传递到下部各结构层和土基当中，导致道面结构及土基整体温度升高；夜晚时候道面表面温度较低，道面结构下部温度相对比较高，进而将热量传递到道面表层，道面结构内部和土基之间全天范围内都在进行热传导。热传导的存在也导致道面结构内部温度时刻处于变化之中。沥青道面的热传导现象实则研究多层不同材料的层状道面结构的典型温度场问题。基于各层材料热物性参数不随温度改变而改变的假设，则道面结构进行瞬态温度场的热传导方程为式 (2)：

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

式中： α —导温系数， $\alpha = \lambda/\rho c (m^2/h)$ ；

λ —导热系数；

c —比热容；

ρ —密度。

1.1.2 对流换热

对流换热有如下特点：

(1) 对流换热是兼具热传导和热对流并存的复杂热传递过程；

(2) 有宏观运动、温度差和直接接触；

(3) 壁面处产生大速度梯度边界层，对流换热过程会产生热流量和热流密度。

热流量（单位时间传递的热量 Q ）为式 (3)：

$$Q = hA(t_w - t_\infty) \quad (3)$$

热流密度（单位面积热流量 W/m^2 ）为式 (4)：

$$q = Q/A = h(t_w - t_f) \quad (4)$$

式中： h —表面传热系数，单位 $W/(m^2 \cdot K)$ 或 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ；

t_w —固体表面的温度， $^\circ C$ ；

t_f —流体的温度， $^\circ C$ ；

q —热流密度， W/m^2 。

表面传热系数的数值跟热量传递过程中诸多因素有关联，流体流速、物体物性、换热表面大小形状和相对位置等都是其影响因素。针对介质来说，液体对流换热系数比空气对流换热系数大。

牛顿冷却公式是对流换热的基本计算公式^[35]：

流体加热：

$$q = h(t_w - t_f) \quad (5)$$

流体冷却：

$$q = h(t_f - t_w) \quad (6)$$

式中： h —传热系数（表面）， $W/(m^2 \cdot K)$ ；

t_w 、 t_f —壁面温度、流体温度， K 。

对流换热过程中复杂影响因素根据牛顿冷却公式都可归因于对流换热系数，以确定表面换热系数来简化解决对流换热过程中复杂的分析和计算过程。通过试验或者理论分析获得各种场景下的对流换热数值即成为了研究对流换热问题的根本任务。

针对道面结构来分析，其内部大部分热量通过跟近地表空气对流换热而散失。该过程可用式 (7) 来表示：

$$q_r = h_c (T_1 - T_a) \quad (7)$$

式中： q_r —换热热流密度；

h_c —对流换热系数。

基于严作人等^[14,15]的研究，大气温度呈现双正弦函数的线性组合的日周期变化过程，可通过式 (8) 表示：

$$T_a = \bar{T}_a + T_m [0.96 \sin \omega(t - t_0) + 0.14 \sin 2\omega(t - t_0)] \quad (8)$$

式中： \bar{T}_a —日平均气温；

T_m —日气温变化幅度；

t_0 —初相位。

风速是对流换热系数重要的影响因素^[36,37]，两者之间的函数关系为式 (9)：

$$h_c = 3.7v_w + 9.4 \quad (9)$$

式中： v_w —均风速。

1.1.3 辐射换热

由热运动过程产生以电磁波形式的能量传递过程称为热辐射，即物体因为本身温度而辐射电磁波的一种现象。热辐射现象属于微观粒子状态的一种宏观呈现，属于热传递的另外一种基本形式，自然界中的物体不停向空间中各个方向发出热辐射，与此同时也不断吸收来自其他物体的辐射热，故热辐射是动态过程。物体和周围环境温度处在动态热平衡时，零辐射换热量，此时辐射和吸收过程持续进行着，辐射热等于吸收热。热辐射主要有以下特点：

(1) 在真空中辐射热可以传播（热传导和热对流不可以）；

(2) 温度高于0K的物体都会不停向周围空间释放热辐射；

(3) 热辐射具有明显的方向性；

(4) 能量形式的转变伴随在热辐射过程中；

(5) 辐射能与波长、温度有相关性；

(6) 发射辐射是温度的4次方。

热辐射表达式为式(10)：

$$q = \varepsilon \sigma A (T_{surf}^4 - T_{air}^4) \quad (10)$$

式中： ε —材料发射率；

q —辐射热密度， W/m^2 ；

A —单位面积， m^2 ；

σ —斯蒂芬-玻尔兹曼常数 ($5.67 \times 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$)；

T_{air} —周围环境气温， $^{\circ}C$ ；

T_{surf} —物体表面温度， $^{\circ}C$ 。

分析道面和外界环境的辐射换热包含向外部环境发出的辐射能与吸收的辐射能。太阳的短波辐射是道面吸收辐射能的主要来源。基于严作人等^[14,15]的研究成果，加以傅里叶级数展开，可以用函数式(11)近似表示太阳辐射强度 q 的变化过程：

$$q(t) = \frac{\alpha_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \alpha_k \cos \frac{k\pi(t-12)}{12} \quad (11)$$

式中： $\alpha_0 = \frac{2q_0}{m\pi}$ ；

α_k 通过式(12)计算。

$$\alpha_k = \begin{cases} \frac{q_0}{\pi} \left[\frac{1}{m+k} \sin(m+k) \frac{\pi}{2m} + \frac{\pi}{2m} \right] & k = m \\ \frac{q_0}{\pi} \left[\frac{1}{m+k} \sin(m+k) \frac{\pi}{2m} + \frac{1}{m-1} \sin(m-k) \frac{\pi}{m} \right] & k \neq m \end{cases} \quad (12)$$

式中： q_0 —中午最大辐射， $q_0 = 0131mQ$ ， $m = 12/c$ ；

Q —日太阳辐射总量；

c —实际有效日照时间；

ω —角频率， $\omega = 2\pi/24$ (rad)

道面会反射部分辐射到大气中，道面吸收到的短波辐射能 q_a 可以用式(13)表达：

$$q_s = \alpha_s q \quad (13)$$

式中： α_s —道表对太阳辐射吸收率，与道表反射率和为1。

道表对外界环境的有效辐射 q_F 可用式(14)表达^[19]：

$$q_F = \varepsilon \sigma \left[(T_1 - T_Z)^4 - (T_a - T_Z)^4 \right] \quad (14)$$

式中： q_F —道面有效辐射；

ε —道面发射率；

σ —玻尔兹曼常数，取 $5.6697 \times 10^{-8} W/m^2 \cdot K^4$ ；

T_1 —道表温度；

T_Z —绝对零度；

T_a —气温。

1.2 道面相关热参数

1.2.1 道面材料热物性参数

(1) 导热系数

导热系数 λ 代表稳定传热中，单位厚度(1m)材料于单位时间内(1s)，两侧表面温差为 $1^{\circ}C$ ($K, ^{\circ}C$)，通过单位面积($1m^2$)传递的热量。 $W/m \cdot ^{\circ}C$ ($W/(m \cdot K)$)为导热系数单位，其可以用式(15)表示。

$$\lambda = - \frac{q}{\frac{dT}{dn}} \quad (15)$$

式中： q —热流密度， W/m^2 ；

T —温度， K 。

(2) 比热容

比热容 C 代表单位质量物质在升高或降低 $1K$ 温度所需要热量。假设有一质量为 m 的物体，在某一过程中放出(或吸收) ΔQ 热量，温度降低或上升 ΔT ，则 $\Delta Q / \Delta T$ 就是物体在该过程中热容量，即 $C = \Delta Q / \Delta T$ ，简称热容。

短暂过程的比热容表示为式 (16) :

$$C = \frac{1}{m} \times \frac{dQ}{dT} \quad (16)$$

由式 (16) 可以计算出, 当物体温度发生从 T_1 到 T_2 的变化过程中, 放出 (或吸收) 的热量为:

$$Q = \int_{T_1}^{T_2} C dT = m \int_{T_1}^{T_2} c dT \quad (17)$$

热容和比热容均为温度的函数, 在温度 T_2 和 T_1 间接近时, 比热容可被看成常数处理:

$$Q = C\Delta T = C(T_2 - T_1) = cm(T_2 - T_1) \quad (18)$$

故比热容的简化公式为式 (19) :

$$C = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{Q}{m(T_2 - T_1)} \quad (19)$$

(3) 反射率

辐射射线投射到物体表面上, 一部分被物体吸收, 一部分被反射, 另一部分透过物体, 物体反射的辐射能量在总辐射能量中的百分比即为反射率。不同物体反射率不尽相同, 取决于物体自身性质, 如表面状况, 以及入射角度和入射电波波波长, 反射率可以推测物体的表面性质。沥青道面属于不透明材料, 能量难以透射, 故依据能量守恒定律, 道面表面的总反射率 α 和总吸收率 β 和为定值 1。故反射率总小于等于 1。沥青道面粗糙度较大, 颜色较深, 反射太阳辐射的能力比较弱, 即反射率较小, 会吸收较多热量。但当沥青道面投入使用较久, 颜色会变浅, 表面粗糙度变低, 反而增加了其反射率。水泥道面则会随着使用变久后, 反射率逐渐变小。

(4) 发射率

发射率, 亦称为黑度, 表征等温状态下物体辐射能力与黑体辐射能力的比值, 一切物体的发射率均小于 1。道面的发射率表征道表用红外辐射方式向环境发射热量的能力大小。

1.2.2 道面与近地表传热相关系数

(1) 对流换热系数

边界层中流体的整体运动和流体分子随机运动维持了流固之间的传热。在接近固体表面处, 流体低速流动, 将至流速为 0 时, 随机分子运动起主

导作用; 在远离固体表面处, 流动的流体整体产生整体运动, 所以说流体整体运动和分子随机运动所导致的能量叠加产生传热。

流体与固体表面之间的换热, 周围空气和物体表面存在 1°C 的温度差值, 表征单位面积单位时间 (1s) 内通过对流换热与近地表空气交换的热量。 $\text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C})$ 或者 $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 为其单位。对流换热系数与整个换热过程当中换热表面的形状、部位、流体物理性质、流体与表面之间的温差和流体流速等因素都相关。物体表面附近流体流速越大, 表面对流换热系数随之越大。对流换热系数通常用巴兹公式计算。

Hermansson^[38]主要考虑风速的影响, 确定了道面对流换热系数 h_c , 对流换热系数和道表、风速、气温的表达式为式 (20) :

$$h_c = 698.24 \times \left[0.00144 \times \left(\frac{T_s + T_{air}}{2} \right)^{0.3} \times v^{0.7} + 0.00097 \times \text{abs}(T_s - T_{air})^{0.3} \right] \quad (20)$$

式中: h_c —对流换热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
 T_{air} —道面表面空气层的温度, $^\circ\text{C}$;
 T_s —道面表面温度, $^\circ\text{C}$;
 v —风速, m/s 。

约尔格斯^[39]认为, 风速 $v \leq 5.0 \text{m}/\text{s}$ 时, 对流换热系数的方程为式 (21) :

$$h_c = 5.8 + 4.0v \quad (21)$$

将温度与上述对流换热系数表达式结合, 将奴赛尔特的温度关系式代入式 (22) 可得:

$$h_c = 2.6 \left[\sqrt[4]{\Delta T} + 1.54v \right] \quad (22)$$

式中: ΔT —表面温度与周围空气温度之差, 以绝对温度 ($^\circ\text{C}$) 计;
 v —风速, m/s 。

由于道面温度受外界气温和风速影响, 道面温度因外界气温不同会发生变化, 则对流换热系数也会受道表温度和道表空气温度和影响。

(2) 辐射换热系数

可根据克希霍夫定律表示两种物体之间发生辐射换热产生的热流密度 q :

$$q = \frac{E_1 \cdot A_2 - E_2 \cdot A_1}{A_1 + A_2 - A_1 \cdot A_2} \quad (23)$$

式中: A_1 、 A_2 —两种物质的相互辐射面积;
 E_1 、 E_2 —两种物质的辐射热量;

由于:

$$E_1 = A_1 \cdot C_3 \cdot \left(\frac{T_1}{100}\right)^4 \quad (24)$$

$$E_2 = A_2 \cdot C_3 \cdot \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \quad (25)$$

将式 (24) 和式 (25) 代入式 (13), 可得:

$$\begin{aligned} q &= \frac{C_1 C_2 C_3}{C_1 C_3 + C_2 C_3 - C_1 C_2} \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \right] \\ &= \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_3}} \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \right] \quad (26) \\ &= \bar{C} \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \right] \end{aligned}$$

如果将括号内的表达式分成两部分可得式 (27):

$$\begin{aligned} &\left(\frac{T_1}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_2}{100}\right)^4 \\ &= \frac{T_1^3 + T_1^2 \cdot T_2 + T_1 \cdot T_2^2 + T_2^3}{10^8} (T_1 - T_2) \quad (27) \\ &= \bar{K} \cdot (T_1 - T_2) \end{aligned}$$

将辐射热交换系数 ε 表示为: $\varepsilon = \bar{C} \cdot \bar{K}$

$$q = \bar{C} \cdot \bar{K} \cdot (T_1 - T_2) = \varepsilon \cdot (T_1 - T_2) \quad (28)$$

根据大气辐射系数和道面表面辐射系数, 可计算出 \bar{C} , 由 \bar{C} 和温度系数 \bar{K} 可计算出道面的辐射换热系数 ε 。

2 道面及近地表温度场模型建立

2.1 基本假设条件及理论基础

实现道面结构及近地表流固耦合的理论基础是建立近地表空气与道面结构界面处热传递的数学解析式。根据能量守恒定律, 在流体和固体交界面上, 流能是固体一侧释放的热量大小, 结合流体对流换热的控制方程和傅里叶热传导方程可得:

$$\lambda_{cond} \frac{\partial T}{\partial n_{wf}} = q^{conv} = h_{conv} (T_f - T_w) \quad (29)$$

式中: λ_{cond} —固体导热系数;

q^{conv} —研究区热量传递;

h_{conv} —研究区对流换热系数;

T_f —流体的温度 (本模型中为近地表气体);

T_w —壁面温度 (本模型中为道表温度)。

此外, 采用第三类边界条件进行道面结构与近地表空气流固耦合的瞬态传热计算。

利用有限元方法计算道面结构及近地表温度场时, 为了简化计算与方便分析, 对道面结构及近地表模型进行如下必要的假设:

(1) 以全天24h为道面结构及近地表温度场的变化周期;

(2) 沥青道面面层、基层、土基各个结构层皆为各向同性体;

(3) 假设道面面层、基层、土基之间都良好接触, 各个结构层之间不能脱空, 且层间热阻不被考虑;

(4) 道面结构及近地表温度场只随着深度/高度方向而变化, 在同一深度/高度处温度相同;

(5) 假设各道面结构层及近地表空气热物性参数不随温度变化而变化, 即选取一般情况下道面结构层及近地表空气热物性参数作为模型的输入量。

2.2 道面结构及近地表整体局部模型建立

(1) 模型建立

选取一个典型的道面结构来进行温度场的数值模拟。利用简化的整体模型进行道面与近地表空气间的热传导分析。这个整体局部模型包括道面结构 (面层, 基层和土基) 和近地表空气 (地表以上2m的空气)。几何模型示意如图所示, 采用DC3D8单元建立与室外沥青混合料模型相对应的有限元模型, 模型尺寸: $7\text{m} \times 3.75\text{m} \times 3\text{m}$ (道面部分), 采用CFD模块建立空气流体模型 (ABAQUS中流体只有一个网格单元), 模型尺寸 $7\text{m} \times 3.75\text{m} \times 2\text{m}$ (空气部分, 模型上部区域)。

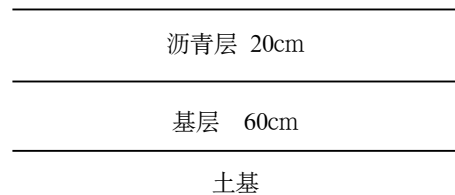


图2 典型道面结构

(2) 道面材料及近地表空气参数

沥青道面的类型繁多, 为方便研究道面与近地表空气传热过程, 本节选取较为常见的半刚性基层沥青混合料道面, 表中为室温下道面材料和空气的热物性参数及典型参数值。

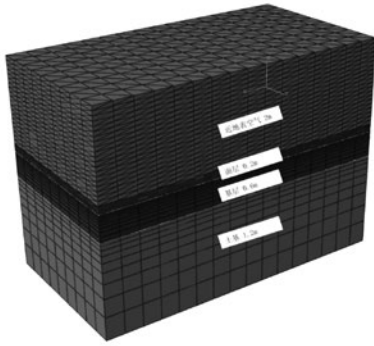


图3 温度场模拟整体模型

(3) 初始和边界条件

初始条件：设定整个模型预定温度场，25℃。

边界条件：由于沥青道面处在大气环境中，道面结构及近地表温度场必然受到来自外界诸多因素的不同程度影响（降水量、蒸发量、大气温度、风速）。大气环境与沥青道面表面进行热能交换，形成沥青道面的光热环境，在光热环境中，沥青道面结构会不停和外界环境进行热交换，这造成沥青道面内部温度随着时间不停地发生变化，想要精确预估沥青道面结构及近地表温度场，确定这些自然因素的数值及其对沥青道面温度的影响很有必要。为方便计算，将模型简化。简化传热模型的边界条件包括：道面上加入太阳辐射热通量；道面表面与空气之间的表面对流；道面表面辐射及近地表空气的周围温度边界。对于“气温及对流热交换”和“道面有效辐射”，在ABAQUS/CAE的Interaction模块中进行定义，对于“太阳辐射”在Step模块中进行定义。空气与道面的边界条件设为流体-固体耦合。近地表空气上边界高度2m处的温度边界设置为环境空气温度。所有其他边界条件都假设为受绝热控制。

(4) 添加用户子程序

“气温及对流热交换”和“太阳辐射”均在子程序中对模型进行添加。按照ABAQUS®中用户子程序Deflux（）定义的太阳辐射热通量在一天内变化。表面气温对流交换是环境空气温度随时间变化和对流系数随风速变化的函数，由ABAQUS®中的用户子程序Film（）定义。有效的表面辐射是通过使用ABAQUS®中的关键字Surfradiate直接定义的，通过表面辐射到周围环境大气中。

(5) 分析步设置及定义接触

在分析步中，总步长依然采取49步，固定步长0.5h，模拟沥青道面与近地表空气温度场。此时，空气与道面的接触定义为流体与固体耦合接触。道面各层之间的链接也依然为Tie链接。

3 热物性参数影响分析

3.1 导热系数对道面及近地表温度场的影响

为研究导热系数变化对近地表气温和道面结构中温度的影响，采用单一变量的方式对模型温度场进行研究。数值模拟过程中，变导热系数的同时其他的参数均使用表中典型参数。固定比热容：950J/(kg·℃)；固定密度：2350kg/m³；固定发射率：0.81；固定反射率：0.1（吸收率：0.9）；变导热系数W/(m·℃)：0.2；0.6；1.0；1.4；1.8；2.2；2.6；3.0；测点选取：道面上1.7m处；道面上1.1m处；道面上0.1m气温；道表；道面下0.04m；道面下0.1m。

从图4中可知，导热系数改变不会对温度场全天的分布趋势产生改变，不同导热系数对应的最高温和最低温大致在同一时刻。夜间（从0点到6点和18点到24点），随着导热系数增加，道面上0.1m处气温上升。白天（6点到18点），随着导热系数的增加，道面0.1m处气温逐渐降低，且14点左右

道面材料及空气热物性参数及典型参数值表

参数	空气	沥青混合料	基层	土基
导热系数K [J·(h·m·℃) ⁻¹]	9.25	4680	5616	5616
密度 ρ/(kg·m ⁻³)	1.184	2350	2200	1800
比热容 c [J·(kg·℃) ⁻¹]	1004	950	911.7	1040
表面太阳辐射吸收率 α _s	0.9			
热发射率 ε	0.81			
对流换热系数h _c [J·(h·m ² ·) ⁻¹]	h _c =3600(3.7v+9.4), v为风速			
绝对零度 T ^z [°C]	-273			
Stefan-Boltzmann常数 σ [j·(h·m ² ·k ⁴)]	2.041092×10 ⁻⁴			

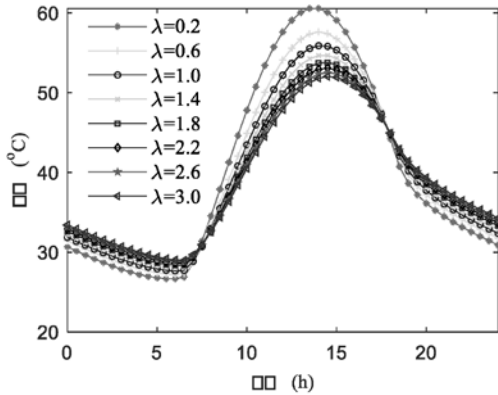


图4 道面以上0.1m处不同导热系数下24h温度变化图

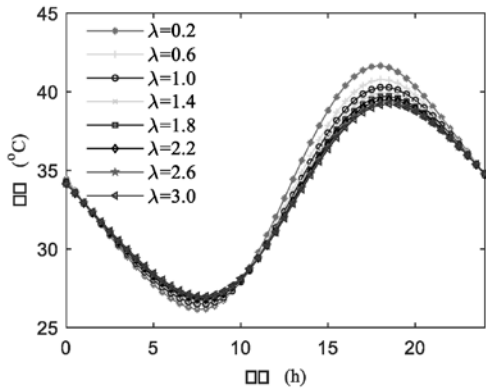


图5 道面以上1.1m处不同导热系数下24h温度变化图

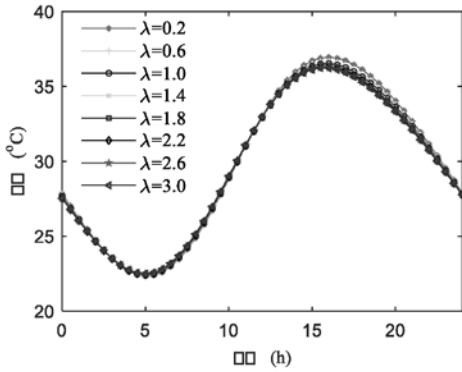


图6 道面以上1.7m处不同导热系数下24h温度变化图

对温度影响十分显著，各个相邻导热系数对应的温度差随着时间的迁移先增加达到最大温度差后，再减小。

从图5中可以看出，距离道表1.1m处，从0点到11点，随着导热系数的增加，道面上1.1m处气温逐渐增加。11点到24点，随着导热系数的增加，道面上1.1m处气温逐渐降低。温度差最大点出现在18点左右。

从图6中可以看出，1.7m处空气温度分布及数值与周围环境温度接近，且导热系数的改变对

1.7m处气温影响极小。在0点到13点间，对温度几乎没有影响，13点后呈现微小负相关。最低温度和最高温度分别出现在5点和16点。

从图7中可以看出，在夜间（0点到7点和18点到24点），导热系数越大，道表温度越高。日间（7点到18点），导热系数越大，道表温度越低。导热系数小的沥青道面，日间吸收的能量越多，向道面以下传播的能量越少，从而本身温度较高。导热系数在0.2~1.0W/(m·K)之间时，导热系数改变对道表温度影响较大。沥青道面的导热系数一般都在1.0~2.6W/(m·K)之间，在此范围内导热系数对沥青道面表面温度影响相对不大。

从图8中可以看出，导热系数从0.2增加到0.6时，道面下0.04m处温度变化明显，夜间（0点到7点和17点到24点）温度降低。白天（7点到17点）温度升高。导热系数从0.6变化到3.0时，温度变化不明显。

从图9可以看出，道表下0.1m处变化趋势与道表下0.08m处相似，在此不赘述。

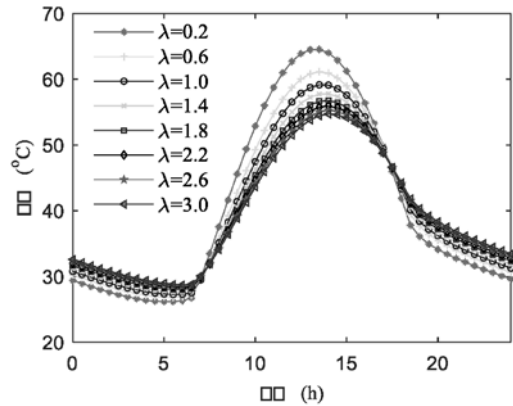


图7 道面处不同导热系数下24h温度变化图

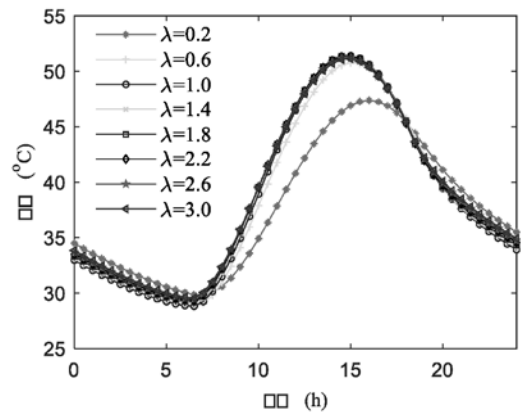


图8 道面结构下-0.04m不同导热系数下24h温度变化图

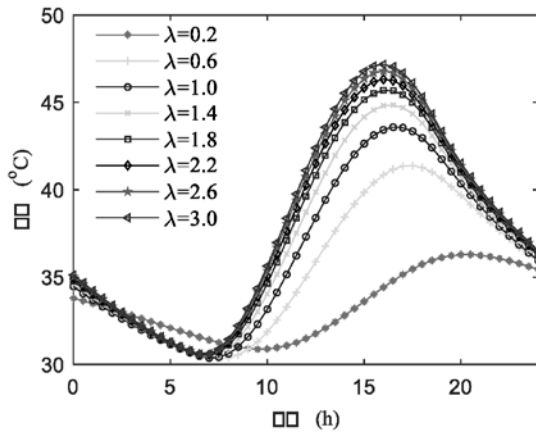


图9 道面结构下-0.1m不同导热系数下24h温度变化图

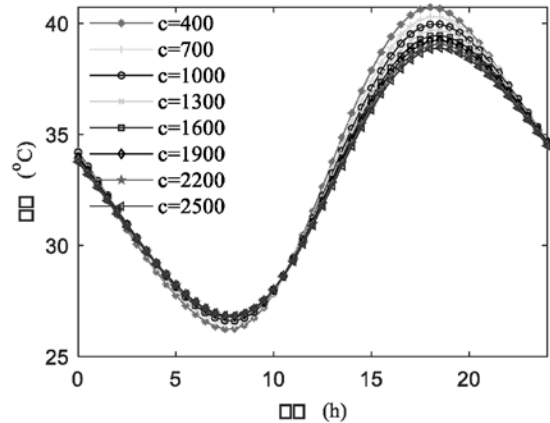


图11 道面上1.1m处不同比热容下24h温度变化图

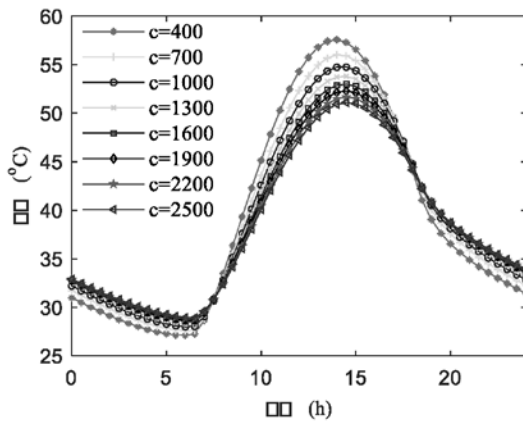


图10 道面上0.1m处不同比热容下24h温度变化图

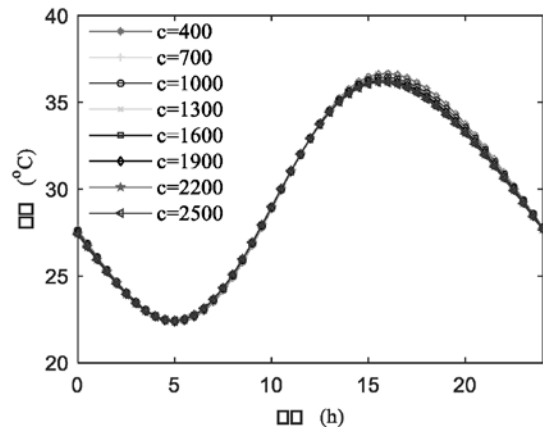


图12 道面上1.7m处不同比热容下24h温度变化图

3.2 比热容对道面及近地表温度场的影响

为研究比热容改变对近地表气温和道面结构中温度的影响,采用单一变量的方式对模型温度场进行研究,计算过程中除比热容外,其他参数均与典型道面结构参数相同。固定导热系数: $1.3\text{W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$; 固定密度: $2350\text{kg}/\text{m}^3$; 固定发射率: 0.81 ; 固定反射率: 0.1 (吸收率: 0.9); 变比热容 $\text{J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$: $400; 700; 1000; 1300; 1600; 1900; 2200; 2500$ 。测点选取: 道面上 1.7m 处; 道面上 1.1m 处; 道面上 0.1m 气温; 道表; 道面下 0.04m ; 道面下 0.1m 。

从图10中可知,比热容改变不会对温度场全天的分布趋势产生改变,不同导热系数对应的最高温和最低温大致在同一时刻(最低温6点,最高温14点)。夜间(0点~6点和18点~24点),随着比热容的增加,道面上 0.1m 处气温上升。白天(6点到18点),随着比热容的增加,道面 0.1m 处气温逐渐降低,且14点左右对温度影响十分显著,各个相邻比热容对应的温度差随着时间的迁移先增加达

到最大温度差后,再减小。

从图11中可知,距离道表 1.1m 处,0点~12点,随着比热容的增加,道面上 1.1m 处气温逐渐升高。12点~24点,随着比热容的增加,道面上 1.1m 处气温逐渐降低。温度差最大点出现在17点左右。

从图12中可知,道面上 1.7m 处气温分布及数值与周围环境温度接近,且比热容的改变对 1.7m 处气温几乎不影响。

从图13中可知,在夜间(0点到7点和17点到24点),比热容越大,道表温度越高。日间(7点到17点),比热容越大,道表温度越低。比热容小的沥青道面,日间吸收的能量越多,且像道面以下传播的能量越少,从而使得本身温度较高。比热容在 $400\sim 1300\text{J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ 之间时,比热容改变对道表温度影响较大。比热容在 $1300\sim 2500\text{J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ 之间时,比热容改变对道表温度影响相对较小。

从图14中可知,比热容从 400 增加到 1300 时,道面下 0.04m 处温度变化明显。夜间(0点~8点和18点~24点),随着比热容的增

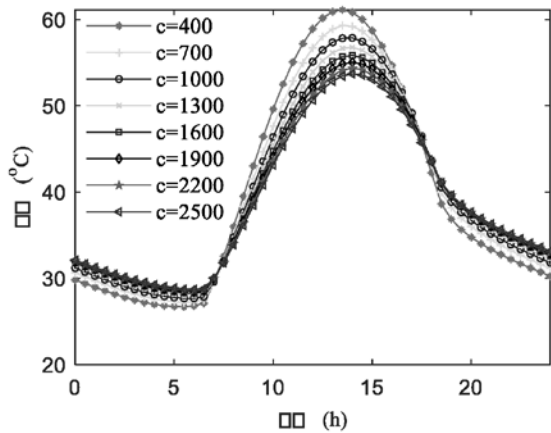


图13 道面处不同比热容下24h温度变化图

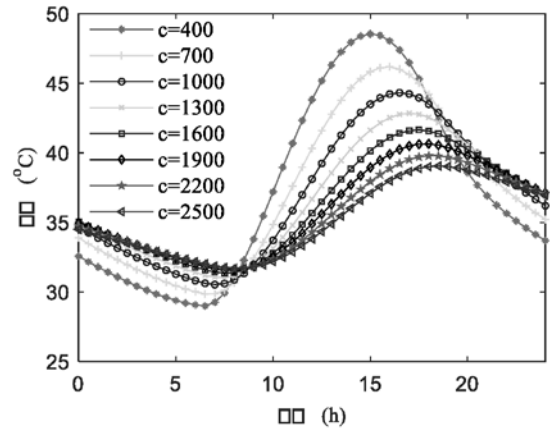


图15 道面结构下-0.1m不同比热容下24h温度变化图

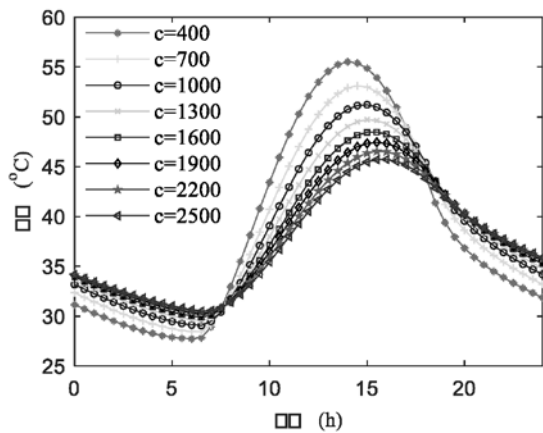


图14 道面结构下-0.04m不同比热容下24h温度变化图

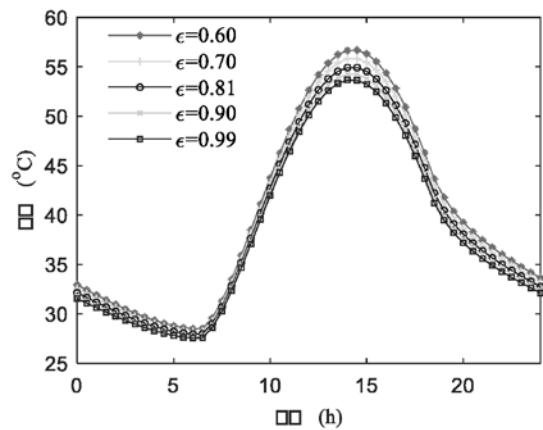


图16 道面上0.1m处不同发射率下24h温度变化图

加, 道面下0.04m处温度增加。白天(8点~18点), 随着比热容的增加, 道面下0.04m处温度降低。比热容从1300J/(kg·°C)变化到2500J/(kg·°C)时, 温度变化不明显。

从图15中可知, 道面下0.1m处温度日变化趋势与道面下0.08m处相似, 不赘述。

从道面结构内部温度及道表温度在异比热容情况下的变化趋势规律进行分析, 两者受到比热容的影响会呈现类似的趋势。随着道面比热容的增加, 道面温度增加。随着比热容的减小, 空气中不同位置的温度逐步增加, 道面对空气释放更多热量。

3.3 发射率对道面及近地表温度场的影响

为研究发射率改变对近地表气温和道面结构中温度的影响, 采用单一变量的方式对模型温度场进行研究, 计算过程中除发射率外, 其他参数均与典型道面结构参数相同。固定比热容: 950J/(kg·°C); 固定导热系数: 1.3w/(m·°C); 固定密度: 2350kg/m³; 固定反射率: 0.1(吸收率: 0.9); 变发射率: 0.6,

0.7, 0.81, 0.9, 1(极值)。测点选取: 道面上1.7m处; 道面上1.1m处; 道面上0.1m气温; 道表; 道面下0.04m; 道面下0.1m。

从图16中可知, 发射率改变不会对温度场全天的分布趋势产生改变, 且不同发射率对应的最高温和最低温大致在同一时刻。全天范围内, 发射率越大, 道面上0.1m处气温越低。14点左右的时候, 发射率改变对该处温度影响较为突出, 各个相邻发射率对应的温度差随着时间的迁移先增加达到最大温度差后(14点左右), 再减小。

从图17中可知, 发射率改变不会对1.1m处温度场全天的分布趋势产生改变, 不同发射率对应的最高温和最低温大致在同一时刻。全天范围内, 发射率越大, 道面上1.1m处气温越低, 且发射率改变对温度影响较为均匀。

从图18中可知, 1.7m处空气温度分布及数值与周围环境温度接近, 且发射率的改变对1.7m处气温几乎不影响。

从图19中可知, 全天范围内, 发射率越大,

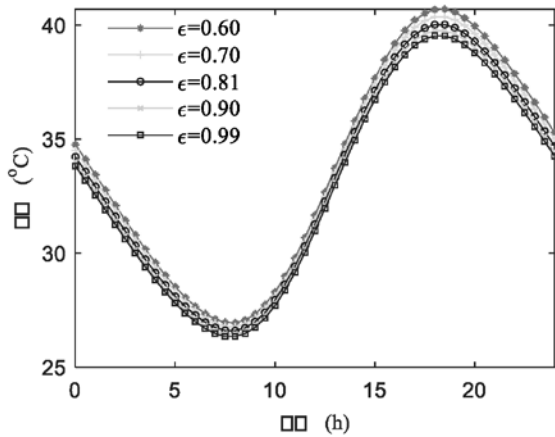


图17 道面上1.1m处不同发射率下24h温度变化图

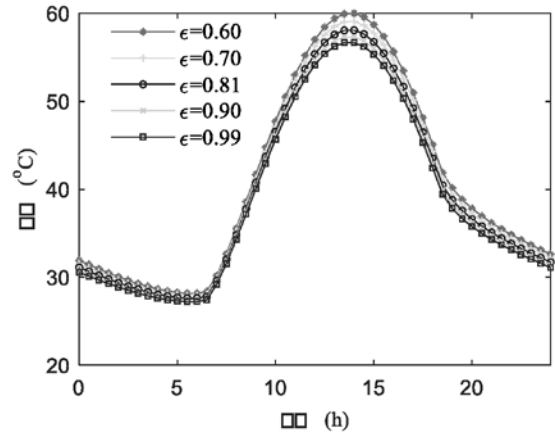


图19 道面处不同发射率下24h温度变化图

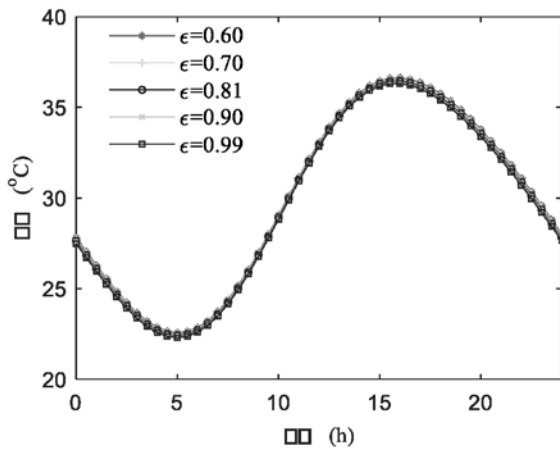


图18 道面上1.7m处不同发射率下24h温度变化图

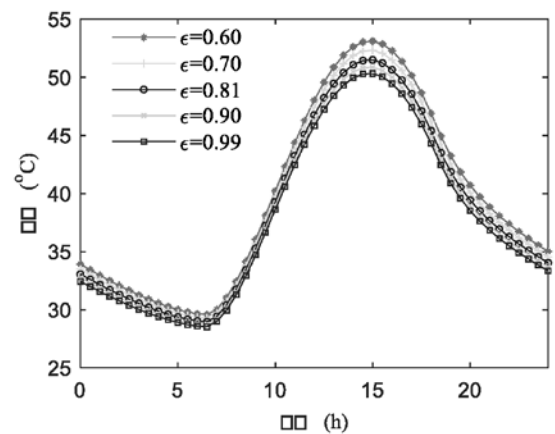


图20 道面结构下-0.04m不同发射率下24h温度变化图

道表温度越低。道面温度在6点左右达到最低值，14点左右达到峰值，且当发射率取最小值0.60时，道表温度可以高达60℃。该时刻发射率改变对道表温度影响较为显著。

由图20、图21中可知，道面结构中道面下0.04m和0.1m处温度都随着发射率的增大而降低。

3.4 反射率对道面及近地表温度场的影响

近地表气温及道面结构内部温度受反射率的影响在此小节研究，采用单一变量的方式对模型温度场进行研究，计算过程中除反射率外，其他参数均与典型道面结构参数相同。固定比热容：950J/(kg·℃)；固定导热系数：1.3w/(m·℃)；固定密度：2350kg/m³；固定发射率：0.81；变反射率：0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5（即变吸收率：0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5）。测点选取：道面上1.7m处；道面上1.1m处；道面上0.1m气温；道表；道面下0.04m；道面下0.1m。

从图22中可知，反射率改变不会对温度场全天的分布趋势产生改变，且不同反射率对应的最高

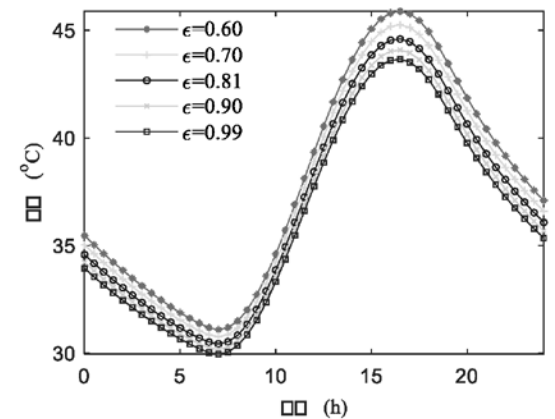


图21 道面结构下-0.1m不同发射率下24h温度变化图

温和最低温大致在同一时刻。全天范围内，反射率越大，道面上0.1m处气温越低。14点左右的时候，发射率改变对该处温度影响极为突出，反射率从0.1增加到0.5时，0.1m处温度降低11℃。各个相邻发射率对应的温度差随着时间的迁移先增加达到最大温度差后（14点左右），再减小。

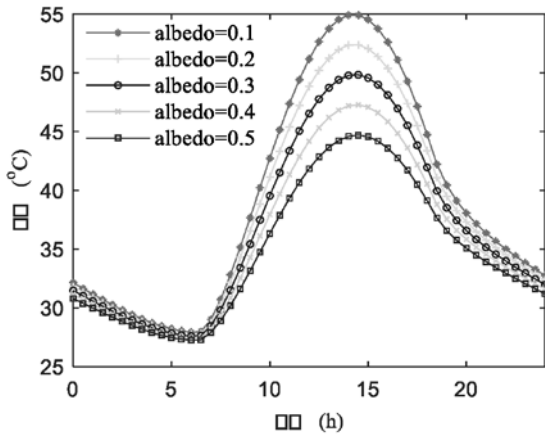


图22 道面以上0.1m处不同反射率下24h温度变化图

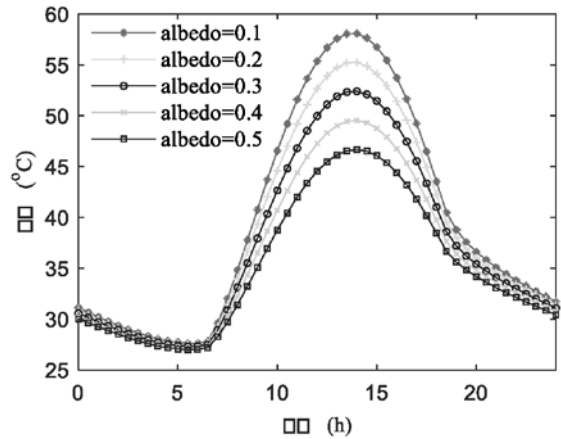


图25 道面处不同反射率下24h温度变化图

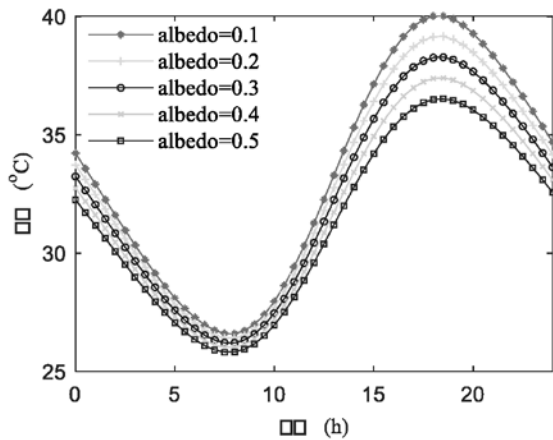


图23 道面以上1.1m处不同反射率下24h温度变化图

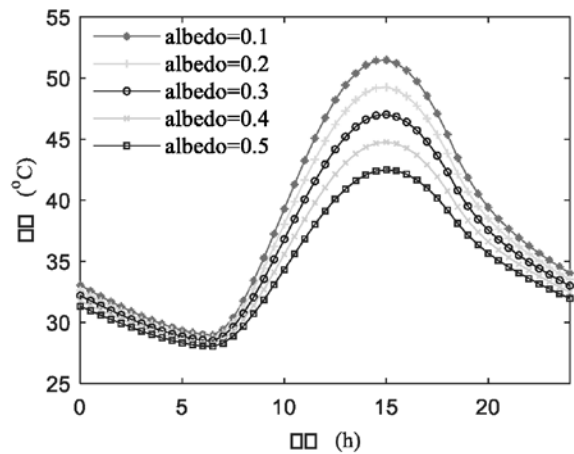


图26 道面结构下-0.04m不同反射率下24h温度变化图

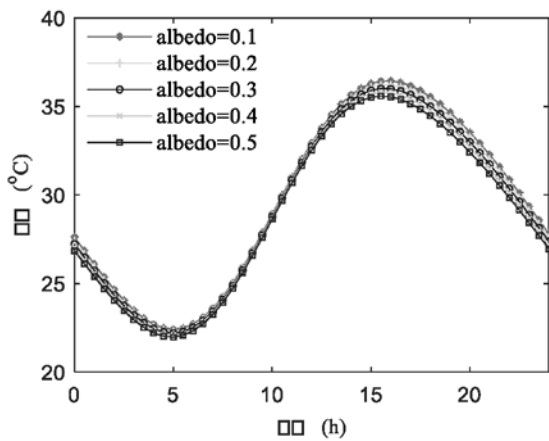


图24 道面以上1.7m处不同反射率下24h温度变化图

从图23中可知，反射率改变不会对1.1m处温度场全天的分布趋势产生改变，不同反射率对应的最高温和最低温大致在同一时刻。全天范围内，反射率越大，道面上1.1m处气温越低。

从图24中可知，1.7m处空气温度分布及数值

与周围环境温度接近，且反射率的改变对1.7m处气温影响很小。从14点开始，反射率对该处温度影响稍微变大。

从图25中可知，全天范围内随着反射率的增大，道表温度会下降。0点到6点时间段，反射率对道表温度影响不明显。从6点到14点，随着反射率的增加，道表降温幅度逐渐变大，从14点到24点，随着反射率的增加，道表降温幅度逐渐减小。在14点，当反射率从0.5降低到0.1时，道表温度从46°C升高到58°C，该时刻反射率对道表温度影响十分显著。

由图26、图27可知，道面下0.04m和0.1m处温度都随着反射率的增大而降低。

4 结论

根据瞬态传热学理论，基于热传导、热辐射、热对流3种传热方式，综合考虑影响道面及近地表温度场的内部和外部因素的基础上，建立了道面结构及近地表有限元模型。应用该有限元模型定

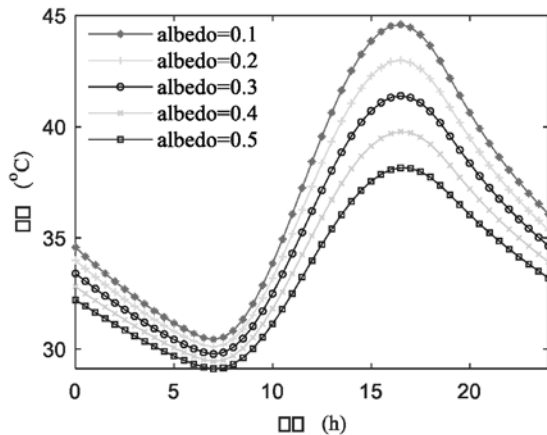


图27 道面结构下-0.1m不同反射率下24h温度变化图

量探究了道面面层的导热系数、比热容、发射率和反射率对道面结构内温度和近地表气温的影响规律及机理,主要结论如下:

(1) 白天高温时段,适当增大导热系数,会使近地表气温及道表温度降低,但会使道面结构内温度上升。这在一定程度上增加了道面结构的蓄热能力;夜间则呈现相反趋势,增大导热系数,近地表气温及道表温度升高,而道面结构内温度降低;

(2) 白天高温时段,适当增大比热容,会使近地表气温、道表温度及道面结构内温度均降低。这在一定程度上改善了道面近地表日间热环境。夜间随着比热容的增大,近地表气温、道表温度及道面结构内温度均升高;

(3) 白天高温时段,适当增大发射率,会使近地表气温、道表温度和道面结构内温度均降低。夜间各深度及高度的温度随发射率的变化呈现出跟白天一致的趋势;

(4) 增大反射率,会使得全天范围内近地表气温、道表温度及道面结构内温度均下降,且影响显著。

参考文献

- [1] GOLDEN J S, KALOUSH K E. Mesoscale and microscale evaluation of surface pavement impacts on the urban heat island effects[J]. The international journal of pavement engineering, 2006, 7(1): 37 52.
- [2] QIN Y, HILLER J E. Understanding pavement—surface energy balance and its implications on cool pavement development[J]. Energy and Buildings, 2014, 85: 389 399.
- [3] LIN T-P, HO Y-F, HUANG Y-S. Seasonal

effect of pavement on outdoor thermal environments in subtropical Taiwan[J]. Building and Environment, 2007, 42(12): 4124 4131.

[4] YAGHOUBIAN N, KLEISSL J. An indoor—outdoor building energy simulator to study urban modification effects on building energy use — Model description and validation[J]. Energy and Buildings, 2012, 54: 407 417.

[5] LIN Y, ICHINOSE T. Experimental evaluation of mitigation of thermal effects by “Katsuren travertine” paving material[J]. Energy and Buildings, 2014, 81: 253 261.

[6] DEILAMI K, KAMRUZZAMAN M, LIU Y. Urban heat island effect: A systematic review of spatio—temporal factors, data, methods, and mitigation measures [J]. International journal of applied earth observation and geoinformation, 2018, 67: 30 42.

[7] BOKAIE M, ZARKESH M K, ARASTEH P D, 等. Assessment of urban heat island based on the relationship between land surface temperature and land use/land cover in Tehran[J]. Sustainable Cities and Society, 2016, 23: 94 104.

[8] MOHAJERANI A, BAKARIC J, JEFFREY—BAILEY T. The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete[J]. Journal of Environmental Management, 2017, 197: 522 538.

[9] 半刚性基层沥青路面[M]. 1991.

[10] 秦健,孙立军.国外沥青路面温度预估方法综述[J].中外公路, 2005, 25(6): 19 23.

[11] YODER E J. Flexible Pavement Deflections—Methods of Analysis and Interpretation[J]. Purdue University, 1962.

[12] WHITCAR M J. Stable isotope geochemistry of coals, humic kerogens and related natural gases[J]. International Journal of Coal Geology, 1996, 32(1 4): 191 215.

[13] CHRISTISON J T, ANDERSON K O. THE RESPONSE OF ASPHALT PAVEMENTS TO LOW TEMPERATURE CLIMATIC ENVIRONMENTS[C] // International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements. 1972.

[14] 严作人.层状路面体系的温度场分析[J].同济大学学报, 1984.

- [15] 吴贛昌.层状路面体系温度场分析[J].中国公路学报, 1992(4): 17-25.
- [16] HERMANSSON . Mathematical model for paved surface summer and winter temperature: comparison of calculated and measured temperatures[J]. Cold Regions Science and Technology, 2004, 40(1-2): 1-17.
- [17] KEHERMANSSON. Simulation of Asphalt Concrete (AC) Pavement Temperatures for use with FWD[J]. Road Materials & Pavement Design, 2002, 3(3): 281-297.
- [18] 贾璐.沥青路面高温温度场数值分析和实验研究[D]. 湖南大学, 2005.
- [19] 刘继忠. 云南省高海拔地区沥青路面温度场及温度应力数值计算分析[D]. 重庆交通大学, 2009.
- [20] 陈嘉祺, 罗苏平, 李亮, 等. 沥青路面温度场分布规律与理论经验预估模型[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2013, 44(4): 1647-1656.
- [21] 陈嘉祺, 李亮, 赵炼恒, 等. Solution of pavement temperature field in “Environment—Surface” system through Green’s function[J]. Journal of Central South University, 2014, 21(5): 2108-2116.
- [22] CHEN J, WANG H, ZHU H. Analytical approach for evaluating temperature field of thermal modified asphalt pavement and urban heat island effect[J]. Applied Thermal Engineering, 2017, 113: 739-748.
- [23] ROBERTSON W D. DETERMINING THE WINTER DESIGN TEMPERATURE FOR ASPHALT PAVEMENTS (WITH DISCUSSION AND CLOSURE)[J]. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 1997.
- [24] AKBARI H, CARTALIS C, KOLOKOTSA D, 等. Local climate change and urban heat island mitigation techniques—the state of the art [J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2016, 22(1): 1-16.
- [25] SANTAMOURIS M. Regulating the damaged thermostat of the cities—Status, impacts and mitigation challenges [J]. Energy and Buildings, 2015, 91: 43-56.
- [26] ACERO J A, ARRIZABALAGA J. Evaluating the performance of ENVI—met model in diurnal cycles for different meteorological conditions[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2018, 131(1-2): 455-469.
- [27] PISELLO A L. State of the art on the development of cool coatings for buildings and cities[J]. Solar Energy, 2017, 144: 660-680.
- [28] SYNNEFA A, SANTAMOURIS M, LIVADA I. A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment[J]. Solar Energy, 2006, 80(8): 968-981.
- [29] KYRIAKODIS G—E, SANTAMOURIS M. Using reflective pavements to mitigate urban heat island in warm climates—Results from a large scale urban mitigation project[J]. Urban Climate, 2018, 24: 326-339.
- [30] TSOKA S, TOLIKA K, THEODOSIOU T, 等. A method to account for the urban microclimate on the creation of ‘typical weather year’ datasets for building energy simulation, using stochastically generated data[J]. Energy and Buildings, 2018, 165: 270-283.
- [31] SALATA F, GOLASI I, VOLLARO R D L, 等. Urban microclimate and outdoor thermal comfort. A proper procedure to fit ENVI—met simulation outputs to experimental data[J]. Sustainable Cities & Society, 2016, 26: S2210670716301524.
- [32] RANADIVE M S, TAPASE A B. Investigation of Behavioral Aspects of Flexible Pavement under Various Conditions by Finite Element Method[C]//2012.
- [33] LEININGER C W. Optimization of the infrared asphalt repair process[J]. Dissertations & Theses—Gradworks, 2015.
- [34] BENRAZAVI R S, DOLA K B, UJANG N, 等. Effect of pavement materials on surface temperatures in tropical environment[J]. Sustainable Cities & Society, 2016, 22: 94-103.
- [35] MAXWELL J C. A treatise on electricity and magnetism[M]. Clarendon press, 1881, 1.
- [36] 大体积混凝土温度应力与温度控制[M]. 2012.
- [37] 王孙富. 沥青路面结构温度场与温度应力的数值模拟分析[D]. 哈尔滨工业大学, 2010.
- [38] LOEB A L. Thermal conductivity: VIII, a theory of thermal conductivity of porous materials[J]. Journal of the American Ceramic Society, 1954, 37(2): 96-99.
- [39] 太阳辐射对桥梁结构的影响[M]. 中国铁道出版社, 1981.

项目管理中 全过程工程咨询的应用研究

■ 张琪 李锐娟 [工程造价]

摘要: 在工程建设组织方式发展和BIM技术应用不断增强的背景下,本文分析了传统工程管理模式在项目管理中存在的问题和全过程工程咨询管理模式应用的优势,剖析了国内全过程工程咨询项目实施中发现的一些问题,并提出了相应的改进建议。

关键词: 工程管理; 全过程工程咨询; 造价管理; 合同管理; BIM应用

建筑业是我国国民经济的支柱产业。近年来,我国建筑业快速发展,建造能力不断增强,产业规模不断扩大,但是建筑业仍然大而不强,工程建设组织方式相较于国际水平还是比较落后。为进一步深化建筑业“放管服”改革,加快产业升级,促进建筑业持续健康发展,为新型城镇化提供支撑,国务院于2017年提出鼓励投资咨询、勘察、设计、监理、招标代理、造价等企业采取联合经营、并购重组等方式发展全过程工程咨询,政府投资工程应带头推行全过程工程咨询,培育具有国际水平的全过程工程咨询企业。各部委及地方政府部门相继发布了一系列关于全过程工程咨询的政策文件。全过程工程咨询管理模式在全国范围内得到了快速的推广应用。

1 传统工程管理模式存在的问题

1.1 责任主体不明确, 业主承担损失

传统的工程管理模式, 业主方在不同建设阶段引入多家单位参与, 对多项服务和内容并行管理, 导致业主的协调管理的工作量增大, 各参与单位的工作界面较多, 导致相互之间推卸责任的现象频繁发生。

大型建设项目一般是功能多并且专业性强, 管理复杂, 同时项目建设周期较长, 利益相关者数量多且繁杂。在传统的工程管理模式下, 业主方几乎承担所有风险, 显性和隐性的损失都存在, 隐性的损失往往比显性损失更大, 对项目的影响更深远。

1.2 项目管理质量低, 风险意识差

传统的工程管理模式为碎片化的管理模式, 投资咨询、勘察、设计、监理、招标代理、造价相对独立, 无形中加大了工程项目的建设周期, 同时遇到问题时牵扯多方利益, 问题解决效率低。执行决策的人员受到专业知识和行业不同的限制, 对工程项目潜在风险缺乏预判, 当风险发生的时候, 工程管理就会出现混乱, 项目进度受到影响, 项目成本增加^[1]。

随着工程管理的发展, 对传统工程管理模式之中相关问题逐步优化, 全过程工程咨询管理模式随之产生, 相比传统工程管理模式拥有优势。

2 全过程工程咨询模式应用的优势

同济大学和上海工程咨询协会受中国人民共和住房和城乡建设部委托组建的课题组对全过程工程咨询的概念进行了解释: 全过程工程咨询是对工程建设项目前期研究和决策以及工程项目实施和运营的全生命周期提供包含规划和设计在内的设计组织、管理、经济和技术等各有关方面的工程咨询

作者简介: 张琪, 女, 助理工程师, 2018年毕业于澳大利亚墨尔本大学工程管理专业, 现就职于中航建投合约商务中心。

服务。通过研究和分析,全过程工程咨询的管理理念主要有以下优势。

2.1 咨询单位对结果负责, 总体服务质量提升

全过程工程咨询模式相较于传统管理模式,对于不同阶段、专业中工作相互推卸责任、工作界面模糊等问题进行了有效解决。业主将相关业务委托至全过程咨询企业,全过程咨询企业负责管理过程,并交付给业主项目成果,业主的利益得到了保障^[2]。我国住房和城乡建设部在《建筑工程五方责任主体项目负责人质量终身责任追究暂行办法》之中对于五方责任主体进行了合理制定,具体涵盖承包方、建设方、监理、设计以及勘察。对于咨询服务而言,其自身保持着独立,又与上述主体有着相应分离的关系。同时,全过程咨询服务对于项目管理的实际范围进行了清晰划分,建设工程业务可对于项目自身全部面向咨询服务企业开展合理委托,保障各专业工作之间的紧密关联,对于项目开展咨询服务期间实现了项目质量以及服务质量的不断提升。

2.2 规避风险, 节约成本

对业主而言,全过程咨询是通过单次招标获取全部服务,同时保证项目成本有着相应降低。全过程工程咨询对于项目自身精细化管理、优化设计、投资控制等层面工作的开展发挥着积极作用,实现项目投资收益最大化的目标预期^[3]。

全过程工程咨询企业对项目不同阶段进行整体性统筹管理。全过程工程咨询的本质为动态化的管理过程,对于全部信息的掌控,可实现对不同阶段内部问题因素的有效解决。例如,以全过程工程造价咨询管理为主导的项目,工程投资的决算和审核工作所需的时间以及工作难度有显著降低。

以监理为主导的全过程工程咨询管理的项目,可以有效优化合同的管理工作,快速应对法律纠纷等问题,降低不必要的成本浪费。全过程工程咨询管理模式将传统工程管理模式进行了有效简化,减少参与工程主体的数量,因此减少了不同单位主体之间的矛盾,也可以保证项目能够按照合同工期顺利完成,避免各种问题导致的工期延误,使业主减少损失。

3 全过程咨询服务应用的过程中存在的问题

虽然全过程咨询服务被各方大力推广,但现阶段,我国的项目管理中真正的应用并不是非常多,

故全过程咨询服务存在着一些我国特有的问题。

3.1 全过程工程咨询企业的生存和发展环境有待优化

我国的建筑行业经过长时间的发展,市场已趋于饱和,再加上国家“放管服”等政策的影响,进入建筑市场的“门槛”也逐渐降低。越来越多的企业寻求转型,开拓更多市场,全过程工程咨询作为一种全新的服务模式无疑成为了“兵家必争之地”。然而,尽管全过程工程咨询的优势已被业主和各建筑工程企业广泛了解熟知,但依然不乏对于细节管理的疏漏。因此经常出现大家“抢着做”,却不能有效地将全过程咨询的优势充分发挥出来。这对于建筑市场的发展也是一种恶性循环,迫使全过程工程咨询的应用出现一种停滞不前的状态。

工程咨询领域的法律法规相较于国外而言也非常不健全,市场的监督的力度也非常薄弱。2017年,随着我国首次提出“全过程工程咨询”的概念之后,各省市也相继出台了一系列规定以及行业管理办法^[4]。一方面可以看出国家现阶段对于全过程工程咨询推广、研究以及市场管理的决心,另一方面从可以看出我国的全过程工程咨询的监管方式还处于刚刚起步的状态,依然有待优化。

3.2 全过程工程咨询企业综合业务能力有限, 集成性不足

现阶段,我国的各大企业还处于向全过程工程咨询服务模式转型过程中,大部分咨询单位尚未建立起与全过程工程咨询相适应的管理系统和组织结构。而全过程工程咨询需要具备全过程、全方位管理的能力,许多工程咨询单位的能力往往只能覆盖项目全过程的某几个阶段,对于开展全过程工程咨询的管理组织结构、服务功能等方面显的力不从心。例如,造价咨询单位往往只具备项目后期结算和审计等工作能力,而缺少项目前期的工作经验,项目前期的成本估算错误,导致施工单位压低报价,项目后期的变更洽商增加,不利于工程结算的速度与投资控制^[5]。或者全过程咨询企业缺乏对于工程合同条款的重视,导致项目违反合同规定而引起纠纷等等。全过程工程咨询对人才能力的全面性要求很高,需要具有技术、管理经济、组织、法律等多方面的技术应用实力,而当前多数咨询人员的能力仍是阶段性的,技术与管理存在分离,具备全面业务知识和综合能力的咨询人员较少,难以独立胜任或指导全过程咨询业务的开展^[6]。

对全过程工程咨询企业来说,理论上可以为业主减少大量的经营成本,减少招标次数,简化合

同关系等,然而依然存在着不同责任主体之间互相割裂、无法相互融合等问题,使得全过程工程咨询服务的质量大大削弱^[4]。例如,大量全过程工程咨询以联合体的方式开展工作,设计牵头企业由于对于造价方面的不重视,双方之间沟通不够全面,导致项目投资估算不够准确,重复工作,造成资源和人工成本的浪费。设计和施工单位之间的沟通断裂可能导致施工单位只按照设计图纸进行施工,而不积极反馈施工内容的合理性,进而出现最终结果并不满足业主要求,重新返工的现象,使得工期延长,投资成本增加。因此只要任意两方之间的配合发生断裂,都无法将全过程工程咨询的管理优势发挥到最大,并为项目带来不必要的风险,出现看似“全过程”,实则“碎片化”的假象。

3.3 信息化技术应用缓慢,全过程咨询出现信息断层

信息化技术的应用对于全过程工程咨询管理也有着至关重要的影响。项目内容和信息在各参与方之间应该实现数据交互、实时更新的状态,以达到项目全过程管理更加精确。然而现阶段在项目全过程工程咨询的发展背景下,信息化数字化的管理手段还处于前期摸索阶段,只有部分大企业大公司拥有经济实力和人才技术支持,应用并不广泛。因此,由大公司牵头的全过程工程咨询项目想要实现信息化管理依然十分困难。随着全过程工程咨询模式的广泛应用,工程项目的建设规模也越来越大,信息化技术方面的不足也越来越明显。现阶段项目全过程工程咨询信息整合和信息共享的难点主要在于信息化平台和路径的缺少,信息化技术应用的成本过高,掌握信息化技术的人才匮乏,普及度不够^[7]。对于BIM技术和大数据在建筑领域的应用大家依然停留在理论的层面上,实现真正运用的并不多。项目信息共享的不及时和项目信息在各方之间的断裂导致全过程工程咨询方式依然无法发挥其的最大优势,致使项目依然存在信息“断层”,业主、全过程咨询单位以及施工单位不能及时有效的进行沟通协调,信息滞后导致项目工期延长,并且造成低效管理和不必要的资源浪费。

4 全过程咨询服务应用的改进建议

4.1 接受市场检验,优化市场环境

各建筑企业应从自身做起,调整优化自身的组织架构,按照市场对于全过程工程咨询服务的要求建立自身的管理体系。例如,设计单位应该组建

一支全过程工程咨询的专业团队,来负责全过程工程咨询项目的日常管理以及培训工作。不断精进项目全生命周期的工作内容,除勘察设计外还需要重视造价、合同管理、采购、项目管理等各阶段工作,以及相关专业人员的引进及培养,以成为综合业务能力完备的一家全过程工程咨询企业,能够在全行业中提供高质量标杆式的全过程工程咨询管理服务。逐渐做到转变业主对于传统项目存在的思维惯性,打破对于实施全过程工程咨询管理方式的疑虑。

大型的建筑企业还可以充分发挥自身的行业标杆以及人才聚拢的优势,联合多家设计、造价、施工单位开展全过程工程咨询理论和未来改进策略的研究。发现全过程工程咨询存在的问题、管理技术手段的欠缺、相关指导意见及法律法规的漏洞等问题,研究方法和对策。

4.2 实施“1+N”集成化管理策略

按照我国相关政策要求,全过程工程咨询业务可以发包给同时具有相应设计、监理、招标代理和造价咨询资质的一家企业或具有上述资质的联合体,也可以发包给一家具有相应资质的企业,并由该企业将不在本企业资质业务范围内的业务分包给其他具有相应资质的企业。全过程工程咨询企业应重视项目咨询团队的执业资格和业绩经验,促进机构资源整合、行业内部融合,逐步形成一体化服务体系。企业应该不断深化研究全过程工程咨询管理模式的应用精髓,加强自身工程咨询和管理能力,重视对于全过程咨询人才的培养,独立承担全过程工程咨询业务。

为解决在企业在转型过程中出现的综合业务能力不足等问题导致的碎片化管理的问题,自全过程工程咨询服务在我国提出之后,就有不少学者开始研究适合我国国情和市场需求的“1+N”集成化管理策略。即由1家企业的核心业务能力为牵头,联合其他企业的业务作为补充,共同为业主提供全过程生命周期的服务^[8]。

以造价为主导的全过程咨询模式应该从投资方面去引导设计咨询、监理、招标代理单位,提出相应的指导意见,并提前为变更洽商做好预判工作。

勘察设计企业在转型为全过程工程咨询服务模式的过程中,应该发挥自己的技术优势,将项目前期准备工作与设计环节紧密结合,为项目质量打好基础,并联合造价和监理单位做好项目投资和时间的控制。

监理企业在发展全过程工程咨询的业务过程

中,应主要发挥项目管理的优势,对项目全过程有充分的掌控,与设计单位和造价单位相互配合协助业主管理项目全生命周期的建设与运营业务。

4.3 有效运用BIM等信息化系统

BIM信息管理系统是一个项目管理平台,可以引入各项目参与方进行信息的查看、添加、修改、跟踪维护等操作。将BIM信息管理系统与全过程工程咨询相结合,可以利用BIM信息管理的全过程跟踪和信息处理的灵活性等优势对项目进行全面管理。由于项目全过程管理都有BIM管理系统参与其中,使项目信息可以更为便捷地被参与方使用。项目经理可以使用平板电脑、手机、电脑等电子设备随时随地地查询图纸等项目信息;施工单位可以直观地指导现场施工;设计单位可以快速解决工程中出现的问题和设计方案优化;造价单位可以迅速测算出方案变更所发生的造价及工期的变化;实现项目各阶段线上无纸办公的环保特点,有效降低资源和成本的浪费^[9]。

可根据项目的不同特性,由咨询方和业主敲定各项目参与方对于项目BIM信息的访问权限,咨询方可以访问和审查所有信息,业主方可查询和审定平台各阶段信息的处理结果。搭建信息化的“桥梁”能够使业主方和咨询单位之间的信息对等,更准确地识别出项目潜在的潜在风险,及时采取相应控制措施,解决不同专业和项目不同阶段出现的分割和阻碍^[10]。除了BIM信息管理之外,企业还可以建立自身的信息数据库,根据自身企业特点构建同一类别工程建设产业链,可以针对医疗、工业、民航、桥梁等项目制定专业的全过程管理方案。经过长时间的信息积累,打造行业内的标杆式服务,做到真正的产业链集成化管理。

近年来,我国对于信息化技术的开发和应用上给予了高度的重视,并为其下发了一系列的政策以鼓励社会上各大中小型企业培养BIM等信息化技术应用人才。可以说,BIM等可视性的项目信息管理技术必将成为未来建设工程项目的趋势。尽管现阶段BIM信息技术应用由于使用成本高以及投资回报率低等原因,客户参与度不高,不能得到广泛的应用,但是各公司还是应该明确未来发展目标,提早做好准备,大力推进BIM等信息化项目管理技术的学习和研究,培养相关的专业人员,组成研究小组,不断将可视化信息技术融入到未来建筑设计中,增强在国际建筑领域的竞争力,更好地应对市场发展。

5 结语

在现阶段建筑业迅速发展的背景下,传统的工程管理模式无法满足市场的要求。本文分析了传统的项目管理模式存在的问题,列举了全过程工程咨询服务的应用优势。在理论上,全过程工程咨询可以弥补传统项目管理上的一些缺陷,使得项目的开展更利于业主的管理,并可以缩短工期,节约成本等等。但在实际的应用过程中,全过程工程管理的咨询服务依然存在一些问题。若要更好的发展全过程工程管理的应用,与国际市场接轨,我国的建筑行业还应该不断的进行改进和深入的探索。

参考文献

- [1] 杨学英. 监理企业发展全过程工程咨询服务的策略研究[J]. 建筑经济, 2018, 39(06): 29-32.
- [2] 刘文文. 市政工程中业主方的项目管理问题及合理化建议[J]. 建筑工程技术与设计, 2018, (36): 2312.
- [3] 周振华. 业主方建设工程项目管理组织模式研究[J]. 安徽建筑, 2018, 24(4): 299-300.
- [4] 田立平. 全过程工程咨询组织管理研究[D]. 哈尔滨工业大学: 哈尔滨工业大学, 2020.
- [5] 刘朝松, 王春苗, 李欣. 造价咨询企业发展全过程工程咨询服务的SWOT-PEST分析及对策研究[J]. 建筑经济, 2020, 41(08): 48-52.
- [6] 白庶, 谢新甜, 苏畅, 闻淑仟, 冯霄. 我国开展全过程工程咨询服务的SWOT分析[J]. 建筑经济, 2018, 39(10): 31-33.
- [7] 周倍立. 全过程工程咨询发展的分析和建议[J]. 建筑经济, 2019, 40(01): 5-8.
- [8] 赵振宇, 高磊. 推行全过程工程咨询面临的问题与对策[J]. 建筑经济, 2019, (12).
- [9] 宋晓刚, 曹聪慧. 基于BIM的工程项目全过程造价控制方法研究[J]. 建筑经济, 2018, (5).
- [10] 赵轲. 基于BIM的全过程工程咨询集成管理研究[D]. 天津理工大学: 天津理工大学, 2019.

民航工程设计研究院

民航工程设计研究院是我国民航专业化咨询设计机构，具备在民航固定资产投资领域的规划、咨询、设计、建设及运营全价值链服务能力，业务涵盖飞机维修、航空配餐、航空货运、航空培训及机场配套、城市物流、通用航空及民用建筑等领域。在航空工程规划设计与建设、飞机维修工程咨询与设计、大跨度建筑设计、航空货运工艺设计、航空配餐设计等方面均处于国际先进水平。

民航工程设计研究院深耕行业多年，以客户满意为导向，以技术创新为根基，秉承专业化和精细化理念，先后完成了北京新机场南航基地机务维修设施项目、上海浦东国际机场西货运3号货运站等一批极具影响力的项目。民航工程设计研究院在民航领域获得多项国家发明专利授权，主编、参编国家、行业和地方标准20余项，先后荣获中国建筑工程鲁班奖、中国钢结构金奖、全国优秀建筑结构设计奖等多项国家级和省部级奖项。

民航工程设计研究院现有人员101人，具有高级技术职称人员41人，中级职称人员42人，具有国家注册执业资格人员27人，设置民航维修工艺、民航货运工艺、航空食品配餐工艺、建筑、结构、给排水、暖通空调、电气、弱电、造价等多个专业，具有一支专业水平高、战斗力强的复合型人才队伍。民航工程设计研究院团队也多次荣获先进基层党组织、优秀基层团组织、创新超越团队、青年文明号、巾帼建功团队等荣誉称号和管理创新成果奖、优秀精神面貌奖、“篮球杯”一等奖、集体功勋奖等奖项。

近年来，民航工程设计研究院业务全面开花，从前期咨询、工程设计向工程总承包、民航专业设备总承包全价值链延伸，从国内34个省级行政区向非洲、南美、东欧等区域国际化拓展。

未来，伴随着中国低空领域的开放、新基建理念下民航设施建设和临空经济圈的高度发展，中国航空领域将出现井喷式的发展机遇，乘着改革、政策的春风，民航工程设计研究院必将大有可为。



2021年第2期（总第154期）
2021年4月出版



北京新机场南航基地机务维修设施项目