

航空工程建设

AERO-INDUSTRY ENGINEERING CONSTRUCTION

2020年第3期 总第149期



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

内部资料 免费交流
准印证号：京内资准字9919-L0337号

西安飞行自动控制研究所GNC产业基地建设项目

项目名称：西安飞行自动控制研究所GNC产业基地建设项目

建设单位：中航工业西安飞行自动控制研究所

设计单位：航空工业规划电子工程设计研究院

中航工业西安飞行自动控制研究所GNC产业基地建设项目位于西安高新区，用地面积约18万 m^2 （约合270亩），由行政办公、研发试验、生产交付、动力配套等部分组成。一期建设内容包含1001号科研楼、1002号装配调试厂房、1003号动力中心和1004号餐厅。

1001号科研楼总建筑面积4.9万 m^2 ，集研发、会议、实验、前沿设计于一体，根据不同功能分为1001A研发中心、1001B实验中心和1001C前沿设计中心3个部分，由3段弧形建筑单体和1个椭球型会议中心组成，弧形建筑单体之间由挑空的双层连廊相连，巧妙地避开了斜穿基地的地裂缝，提高了基地利用率。屋顶设置连续贯通的弧形装饰性棚架，椭球形会议中心与主体建筑之间有挑空室外平台相连，整个建筑连成一道优美连贯的弧形体量，面向厂前区景观广场宛如一条长长的水岸线镶嵌着灿烂的明珠，浑然一体、意境交融，形成极具吸引力的城市地标。挺拔流畅的竖向线条与舒展优雅的曲线造型一起表现出中航工业自控所“飞翔的智慧和智慧的飞翔”的企业理念。

1001各分区结合各自功能，设计与之适应的内部空间。入口门厅两层通高，塑造开放大气的礼仪空间；科研工艺区根据不同工作模式采用中心走廊或敞开式空间与独立办公相结合的形式，应用蓝色地胶、通透的成品玻璃隔断和集成式吊顶营造出开放高效的办公环境。1002号装配调试厂房主厂房为综合加工性厂房，根据各区域不同工艺要求，采用了吸声、隔振、洁净等措施。同时，本项目根据使用方需求，在网架下方整体设置了穿孔铝板吊顶，孔径大小充分考虑了屋面天窗采光、空调送风和装饰性的要求，营造了整体丰富的光影效果，赋予传统机械枯燥的工业生产空间更加人性化和装饰性的空间效果。



树牢安全发展理念 加强安全生产监管，切实维护人民群众生命财产安全

4月10日，中共中央总书记、国家主席、中央军委主席习近平近日就安全生产作出重要指示强调，当前，全国正在复工复产，要加强安全生产监管，分区分类加强安全监管执法，强化企业主体责任落实，牢牢守住安全生产底线，切实维护人民群众生命财产安全。

习近平指出，从2019年的情况看，全国安全生产事故总量、较大事故和重特重大事故实现“三个继续下降”，安全生产形势进一步好转，但风险隐患仍然很多，这方面还有大量工作要做。

习近平强调，生命重于泰山。各级党委和政府务必把安全生产摆到重要位置，树牢安全发展理念，绝不能只重发展不顾安全，更不能将其视作无关痛痒的事，搞形式主义、官僚主义。要针对安全生产事故主要特点和突出问题，层层压实责任，狠抓整改落实，强化风险防控，从根本上消除事故隐患，有效遏制重特重大事故发生。

中共中央政治局常委、国务院总理李克强作出批示指出，当前，全国正处于统筹推进新冠肺炎疫情防控和复工复产的关键时期，安全生产意识和工作丝毫不能放松。各地区、各有关部门和各单位要坚持以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，认真贯彻落实党中央、国务院决策部署，树牢安全发展理念，层层压实责任，深入排查各领域各环节安全生产隐患，全面开展安全生产专项整治三年行动，坚持系统治理、精准施策，扎实推进危险化学品、矿山、交通运输、工业园、城市建设、危险废物等重点领域安全整治，确保见到实效；加快建立健全安全生产责任和管理制度体系、隐患排查治理和风险防控体系，加强监管执法和安全服务，坚决遏制重特重大事故发生，切实维护人民群众生命财产安全。

全国安全生产电视电话会议10日在北京召开，会议传达学习了习近平重要指示和李克强批示。会议通报了去年以来的安全生产情况，并就统筹做好当前复工复产安全防范工作、扎实开展全国安全生产专项整治三年行动作出部署。中共中央政治局委员、国务院安委会主任刘鹤，国务委员、国务院安委会副主任王勇、赵克志出席。

会议要求，要深入贯彻落实习近平关于安全生产的重要指示精神，按照李克强批示要求，严格落实安全生产责任制，抓实抓细复工复产安全防范工作。要围绕从

根本上消除事故隐患，在全国深入开展安全生产专项整治三年行动。要强化组织领导，把解决问题、推动企业主体责任落实作为整治的关键，进一步完善安全生产执法体系，提升基础保障能力，加强应急处置，扎实推进安全生产治理体系和治理能力现代化，为全面建成小康社会营造稳定的安全生产环境。

（信息来源：《人民日报》）

航空工业举行战“疫”立功颁奖仪式

4月15日，航空工业举行战“疫”立功颁奖仪式，向579名在疫情防控工作中贡献突出的个人授予战“疫”立功奖，并颁发荣誉奖章和飞亚达战“疫”纪念表，致敬战疫最美“逆行者”，致敬所有为双线作战胜利与时间赛跑的人。

由于处在疫情防控特殊时期，仪式首次通过航空工业视频会议系统开展“云颁奖”。航空工业集团党组书记、董事长谭瑞松为获奖人员颁奖。党组副书记、总经理罗荣怀作讲话并为获奖人员颁奖。党组副书记李本正主持颁奖仪式，并宣读表彰决定。

罗荣怀在讲话中向获奖人员表示崇高敬意和热烈祝贺。他表示，本次疫情中，获奖同志以担当之勇、奋斗之志、大爱情怀向党和人民、航空工业党组交出了一份满意的答卷。其中，各位党员干部不忘初心、牢记使命，闻令即动，勇“打头阵”，充分发挥了党员先锋模范作用，让党旗在疫情防控 and 复工复产第一线高高飘扬；各位医务工作者白衣执甲，逆行出征，为生命站岗，为健康守门，以血肉之躯筑起护佑生命的钢铁长城；各位一线工作者服从指挥、坚守岗位，筑牢全体干部职工及家属生命安全的“防火墙”，同时为复工复产按下“快进键”。他们都是新时代的航空英雄，是航空战线最可爱的人。

罗荣怀代表航空工业党组号召全体干部员工，以战“疫”立功获奖同志为榜样，在当前疫情防控和复工复产的双线作战中，坚持底线思维，不忘航空报国初心、牢记航空强国使命，坚定践行新时代航空工业发展战略，大力弘扬“忠诚奉献、逐梦蓝天”的航空报国精神，在各自岗位上忠于职责、担当有为、奋力拼搏，加快把航空工业建设成为具有领先创新力、先进文化力、卓越竞争力的世界一流航空工业集团，为建设新时代航空强国而不懈奋斗。

（信息来源：《中国日报》）

中航雷达与电子设备研究院研发中心建设项目

建设地点：江苏省无锡市

设计单位：航空工业规划电子工程设计研究院

建设情况：建设中

中航雷达与电子设备研究院研发中心建设项目作为无锡雷达所在无锡新建的高科技研发中心，承担雷达所的航空电子技术研究与产品研制开发，是雷达所未来研发的主体和总部。

项目位于江苏省无锡市滨湖区山水城科教产业园，东连长广溪生态湿地，地块地处太湖风景名胜区范围内，规划园区总建筑面积约15万 m^2 ，其中地上建筑面积约9.6万 m^2 ，地下建筑面积约5.4万 m^2 。

本项目作为雷达所未来20年的总部园区，承担着繁重的科研生产任务，拥有配套齐全的设计开发、研究试验设

备以及先进的科研信息网络管理系统，科研条件在国内同行中处于领先地位。项目在设计之初，就确立了整个园区规划的整体构思和指导思想：

人文——体现先进的人本主义关怀，打造开放、交流的多功能空间，同时又是极具向心力、能激发创新思维的空间。

绿色——采用绿色建筑设计理念，打造节能环保、可持续发展的、舒适的科研空间。

通用——通用化设计手法，首次设计满足建筑基本框架，后续待工艺进入后进行深化设计。

精益——利用先进的设计技术进行精细化设计，选用适宜的建筑材料打造精品建筑园区。

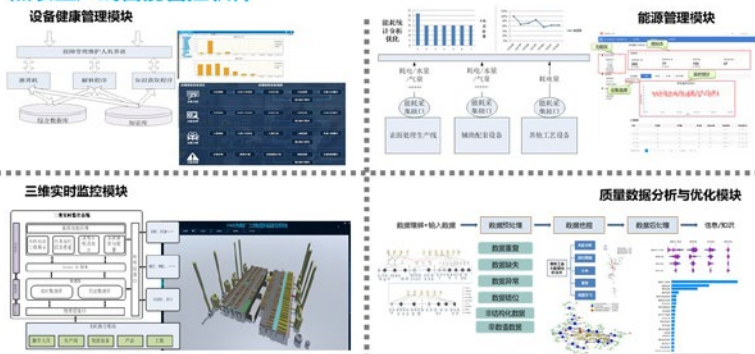
本项目整体规划现代、简约、大气，体现高科技科研院所的特点，适当考虑江南地域特点，并充分考虑了以后长期“低消耗、低污染、低排放”的经济运行管理原则和措施。项目致力于为雷达所打造航空工业最先进的科研园区，无锡地区最具影响力的科研园区，国内一流水准、20年不落后的科研园区。





144厂热表生产线智能管控系统

热表生产线智能管控软件



中航工业风雷整体搬迁进入安顺航空产业园建设项目

建设地点：贵州省安顺市

设计单位：航空工业规划电子工程设计研究院

建设情况：建设中

中航工业风雷整体搬迁进入安顺航空产业园建设项目位于贵州安顺经济技术开发区内，新征土地约193.72亩，新园区北侧紧邻二环路，满足园区长远规划发展要求。新增项目总占地面积约3.1万 m^2 ，总建筑面积约4.5万 m^2 ，建设项目投资20000万元。本项目包括1号研发检测厂房、2号机加装配厂房、3号理化试验厂房、4号生产准备厂房、

5号热表处理厂房、8号转包厂房、9号机加装配厂房、10号综合厂房及附属站房等14个房号。

本项目热表处理产线设计包含典型智能管控平台，范围涵盖表面处理、热处理和喷漆产线的总体集成，可实现分厂设备联网集成，实现生产全过程数据采集；热表分厂整体协同控制，为后期拓展成本管理、仓储物流管理、智能数据分析等模块提供基础；通过对组态软件Ifix的开发，实现车间三维虚拟监控，提升生产过程透明化，以提高工厂管控水平和对外展示度。以能源管理模块为例，该模块除实现三维环境下的能源数据实时展示外，还可以从时间、产品维度开展统计分析，并对辅助系统进行节能控制，降低生产过程能源消耗。本项目是电子院在智能制造产线工艺研发设计方向取得的又一突破。

中物院春蕾小学建设项目

建设地点：四川省绵阳市

设计单位：航空工业规划电子工程设计研究院

建设情况：设计中

中物院春蕾小学建设项目位于绵阳市游仙区科学城，总建筑面积约7.5万 m^2 ，新征地199亩，总投资约6.7亿元。新建42个教学班（容纳1890人）的小学和一所12个教学班（容纳360人）的幼儿园，主要建设内容由小学教学及行政办公楼、体育馆、餐厅、学生宿舍楼、地下停车库、幼儿

园、门房、体育场地8个部分组成，项目新建建筑面积约7.5万 m^2 ，为千余名适龄儿童提供优质的教育资源。

设计团队充分考虑到业主的功能需求和使用特点，整体布局和主体建筑清新大气，活泼优美。设计理念在融入科技元素的同时，体现出浓厚的童趣和生活气息，创设了自由发挥、思维拓展的空间和学习、生活、玩耍的乐园。

中物院春蕾小学对标国内一流、四川领先的科技型数字化校园，在满足院内职工对优质教育需求的基础上，将显著提升公共教育资源为中物院事业续航保障和职工服务的能力，促进中物院基础教育持续健康发展，更为绵阳市的基础设施建设注入新的活力。





华为（龙口）大数据产业园项目

建设地点：山东省龙口市

设计单位：航空工业规划电子工程设计研究院

建设情况：建设中

华为（龙口）大数据产业园是由龙口市与华为合作打造的城市智能体和大数据产业园项目，致力将龙口市打造成为面向烟台的公共云计算与大数据服务平台，打造全国首个县域经济以及华为在环渤海区域最大的百亿产值大数据产业园、千亿级产业集群。

项目的规划理念是打造龙口科技新地标。项目用地位

于城市新区南北向生态景观轴线上，与龙口市人民政府、人民公园、市民活动中心构成城市景观轴线，规划遵守城市轴线关系，形成高科技园区的特色，成为重要的城市轴线节点空间。

本项目整体用地约628亩，设计范围包括：A区总建筑面积7.6万 m^2 ，预计总投资15.3亿元，重点建设华为（龙口）大数据中心，机柜数量为1000个。未来各方将紧紧围绕“一体一园”共建大数据产业生态，依托大数据核心产业、示范交流、研发办公、平台服务、智能制造、园区配套六大板块，招引华为产业链和生态合作伙伴等相关企业入驻园区，将龙口打造为面向日韩、国家部委、金融机构和环渤海经济圈的数据资源高地、数据应用高地、数据平台高地。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《办公建筑设计标准》的公告

现批准《办公建筑设计标准》为行业标准，编号为JGJ/T67-2019，自2020年3月1日起实施。原行业标准《办公建筑设计规范》（JGJ67-2006）同时废止。

本标准在住房和城乡建设部门户网站（www.mohurd.gov.cn）公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国建筑出版传媒有限公司出版发行。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《养老服务智能化系统技术标准》的公告

现批准《养老服务智能化系统技术标准》为行业标准，编号为JGJ/T484-2019，自2020年3月1日起实施。

本标准在住房和城乡建设部门户网站（www.mohurd.gov.cn）公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国建筑出版传媒有限公司出版发行。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《钢骨架轻型预制板应用技术标准》的公告

现批准《钢骨架轻型预制板应用技术标准》为行业标准，编号为JGJ/T457-2019，自2020年2月1日起实施。

本标准在住房和城乡建设部门户网站（www.mohurd.gov.cn）公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《钢纤维混凝土结构设计标准》的公告

现批准《钢纤维混凝土结构设计标准》为行业标准，编号为JGJ/T465-2019，自2020年2月1日起实施。

本标准在住房和城乡建设部门户网站（www.mohurd.gov.cn）公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《装配式住宅建筑检测技术标准》的公告

现批准《装配式住宅建筑检测技术标准》为行业标准，编号为JGJ/T485-2019，自2020年6月1日起实施。

本标准在住房和城乡建设部门户网站（www.mohurd.gov.cn）

公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国建筑出版传媒有限公司出版发行。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《特殊教育学校建筑设计标准》的公告

现批准《特殊教育学校建筑设计标准》为行业标准，编号为JGJ76-2019，自2020年3月1日起实施。其中，4.1.3条为强制性条文，必须严格执行。原行业标准《特殊教育学校建筑设计规范》（JGJ76-2003）同时废止。

本标准在住房和城乡建设部门户网站（www.mohurd.gov.cn）公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《建筑工程抗浮技术标准》的公告

现批准《建筑工程抗浮技术标准》为行业标准，编号为JGJ476-2019，自2020年3月1日起实施。其中，第3.0.4条为强制性条文，必须严格执行。

本标准在住房和城乡建设部门户网站（www.mohurd.gov.cn）公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《钢筋连接用灌浆套筒》的公告

现批准《钢筋连接用灌浆套筒》为建筑工业行业产品标准，编号为JG/T398-2019，自2020年6月1日起实施。原《钢筋连接用灌浆套筒》（JG/T398-2012）同时废止。

本标准在住房和城乡建设部门户网站（www.mohurd.gov.cn）公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国建筑标准出版社出版发行。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《建筑金属围护系统工程技术标准》的公告

现批准《建筑金属围护系统工程技术标准》为行业标准，编号为JGJ/T473-2019，自2020年3月1日起实施。

本标准在住房和城乡建设部门户网站（www.mohurd.gov.cn）公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

（来源“国家工程建设标准化信息网”）



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

顾问委员会

主任 李平
 副主任 廉大为
 委员 (按姓氏笔画排序)
 王伟 刘晋忠 李世民
 陈远明 张忠良 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)
 丁杰 卜国磊 王玉平
 王锋 王笃礼 刘景灏
 李纲 李中强 肖武
 张卫才 张立峰 陈阳
 陈丹璐 金来建 黄春晖
 贺宏斌 傅绍辉 葛家琪

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 北京奇麒麟印刷有限责任公司分公司
 发送对象 公司内部及本系统内部
 印刷日期 2020年06月
 印数 1500册
 电话 (010)62038235
 传真 (010)62038297
 封面 西安飞行自动控制研究所GNC
 产业基地建设项目

CONTENTS

目录 2020年第3期 总第149期

航空能力建设

- 02 基于BIM技术的工艺专业三维协同设计平台分析研究 马文茂 张超
 06 现代飞机航电系统集成验证方法探究 田昊

研究与探讨

- 08 垃圾焚烧工程给排水设计特点及安装质量控制要点 杨森 陆新生
 11 基于计价软件的项目全过程造价管理数据分析及应用 邵飞 王玉平 钱海静 张珍兰
 20 结构试验中的传感器和数据采集技术 张祥义 张曼生 宋毛毛
 29 医药工业洁净厂房的照明设计 丁敏 张永林
 32 低压配电安全设计探讨 高涵 牛犇
 36 可燃、有毒气体探测报警系统在垃圾焚烧发电项目中的应用探讨 杨峰 王世忠
 40 垃圾焚烧发电厂管道支吊架设计及现场常见问题 张亢 林晶晶
 44 大型国际机场飞行区滑行方案仿真分析 王锋刚
 47 多管式烟囱矩形钢筋混凝土外筒设计分析 薛瑜照 汤小军
 50 基于案例的锂电池生产厂房造价指标分析 胡亦明 宋聪旭

工程设计

- 57 拉萨贡嘎机场某配餐楼暖通空调通风系统设计 马超龙 张海桥
 62 某大空间建筑空调系统运行问题与分析 张晓莉

基于BIM技术的工艺专业三维协同设计平台分析研究

■ 马文茂 张超 [工艺]

摘要: 基于BIM技术的三维协同设计是建设与工程设计行业未来发展的趋势。BIM技术的主流平台包括Revit软件平台、Bentley软件平台与3DE平台等,每个平台有自身的优势与不足,面向的行业也有所差异。本文通过系统分析三大主流BIM平台的优缺点,并结合规划设计院工艺专业中的实际应用情况,对三大平台进行评测,并选出合适的BIM平台,以推动BIM技术在工艺专业的发展应用。

关键词: BIM技术;工艺专业;软件评测

0 引言

BIM是“建筑信息模型”的简称,通过数字信息仿真模拟建筑物所有的真实信息,BIM技术可以实现三维可视化设计,对项目工程进行全生命周期的管理、整体进度规划以及三维协同设计等功能,是未来工程、建筑、规划设计行业发展的趋势^[1,2]。在行业大环境中,当前工程设计模式正处于由传统的二维设计向以BIM应用为主的三维设计模式转型之时,如何保障设计效率、提高设计质量、缩短设计周期成为企业关注的焦点。

建筑BIM侧重于从设计到施工到后期维护的建筑全生命周期管理、工艺设计、工艺流程出发,更加侧重于在工艺设计阶段设计的效率、合理性及质量。不同的BIM设计平台可能存在软件学习成本高、协同设计效率低、对硬件要求高、不适应大体量建模、模型数据交换能力欠缺等问题,这些问题产生的主要原因源自软件平台自身的架构缺陷和软件定位模式^[3]。因此,在设计院工艺专业推广三维正向设计阶段,需要评测不同主流BIM平台,选出最合适的工艺专业三维设计平台。通过合适的BIM平台选型,使企业以最小的成本过渡到三维协同设计阶段,提升企业三维协同设计的应用水平,推动BIM技术的发展。

作者简介:马文茂,男,助理工程师,2018年毕业于北京理工大学机电学院兵器与科学技术专业,现就职于航空工业规划智能技术中心。

1 工艺专业需求提出

在规划设计院中,工艺专业为其他专业的引领专业,各专业之间具体的设计模式如图1所示。

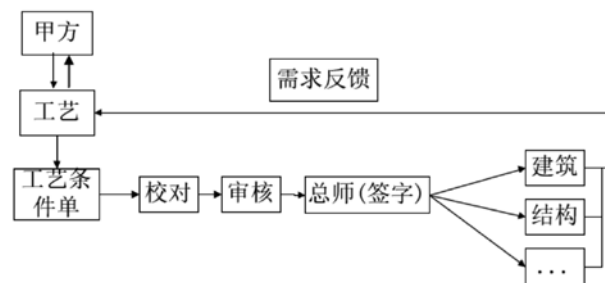


图1 设计协同模式

工艺专业为项目前期的引领专业,选用适合工艺专业使用的BIM平台是当务之急。在实际工程项目中,三维设计需求越来越多,业主期望三维设计在工程项目阶段中尽早启动。对项目设计而言,尽早启动三维设计对业主方、设计方均有益处。

工艺专业经过多年的积累,往往积淀了大量三维设计模型,对已有模型的利用与管理是提高设计效率的关键环节,要将工艺专业设计融入BIM大平台中,三维模型库的建立必不可少。工艺设计利用BIM手段,从设计前期就使用信息模型,为后期的设计协同、施工、管理等建筑全生命周期打下基础,但是前提是工艺设计根据设计

特点需要使用合适的BIM平台。

工艺专业对BIM平台的主要需求包括设备模型以及厂房工艺布置方面,具体需求如表1所示。

表1 工艺专业对BIM平台需求表

需求分类	具体需求
模型构建	创建参数化工艺设备模型,尺寸可调并能够自定义属性
模型管理	具备设备模型库,具有共享、调用、查找和管理等功能
工艺布置	功能区域设置及排布
协同设计	工艺设备表、专业条件表输出,含工艺设备、图例和房间专业条件信息
	与其他专业协同设计,环节、协同模式和步骤
模型交互	通用格式igs、stp等模型导入后信息完整情况
	导入revit参数化模型,参数信息和属性字段情况 项目模型文件的整体和分模块导出为fbx、u3d格式,模型完整情况和模型大小

2 三维设计平台简介

目前市面上主流的BIM软件平台主要分为三大类,分别为Autodesk公司的Revit平台、Bentley公司的Bentley平台、Dassault公司的3D Experience平台(以下简称3DE),下面主要介绍几大不同平台。

(1) Revit平台

Revit是Autodesk公司一套系列软件产品。借助早期二维设计时代AutoCAD在设计行业地位,Revit是目前建筑行业内使用最广泛的软件之一。Revit系列软件是为建筑信息模型(BIM)构建的,可帮助建筑设计师设计、建造和维护质量更好、能效更高的建筑。Revit的协同设计模式可通过“工作集”来实现,不同专业建立自己的工作集,其他专业需要权限来访问该工作集,但存在中心文件过大,工作过程中模型反映慢的问题。

Revit软件平台使用入门简单,且二次开发插件众多,有着良好的软件生态系统。但是Revit也存在自身的不足,软件对大体量模型的支持性较差,不适宜作为大型项目三维设计的BIM平台。

(2) Bentley平台

Bentley软件平台是Bentley公司的产品,作为一款主流的BIM软件,主要面向工厂、建筑、交通等领域。相对于Revit平台而言,Bentley软件平台具有内存小、更便捷、互操作性高的特点,在处理大型项目上具有绝对的优势。Bentley软件

平台是一系列软件,其中与Revit最相似的建筑业建模工具为AECOSim Buliding Designer,简称ABD软件。该软件无论是模型还是项目文件,文件格式同一为DGN文件,具有图形平台统一、数据格式统一、软件架构统一的优势[4],Bentley有专业的ProjectWise三维协同设计模块,可以完成项目设计文件的管理、专业间协同参考、用户权限分配、设计提交审核校验等全流程,但使用复杂,需要有专门的协同设计管理员来维护。

在大型项目的工程项目中往往使用Bentley软件平台,例如港珠澳大桥、中信大厦(中国尊)的设计、建设以及全生命周期管理使用了Bentley平台,此外该平台也广泛应用于地铁、水路管网等市政工程^[5]。

(3) 3DE平台

达索公司3DE平台,以达索的3D技术为基础,给用户提供的包括虚拟设计、虚拟仿真、虚拟制造、虚拟体验等功能,使企业的研发、工艺、制造、服务等相关人员,在产品全生命周期的研发过程中实现对产品的结构和特性以三维的方式进行完整的展现、建模、模拟和可视化,同时可实现多学科、多专业的产品数据的统一管理,从而优化产品性能、提升客户体验。

3DE已经脱离传统PLM概念框架,而更加聚焦于协同,没有各种格式的束缚,所有的协同都基于底层统一的数据模型。基于3DE平台的任务管理、数据管理等,可将不同部门的研发人员纳入到虚拟的项目团队中,将研发人员、工具、流程、数据、知识等进行有机结合,并实现自动管控,实现项目实施过程中任务的统一分派和任务执行过程中数据的动态传递,可有效地提升专业间的协同效率。

3DE平台所包含的CATIA模块在航空、航天、汽车等领域具有接近垄断的市场地位,应用到工程建设行业无论是对复杂形体还是超大规模建筑其建模能力、表现能力和信息管理能力都比传统的建筑类软件有明显优势,该平台也可用于支撑大体量项目设计需求。

3 主流BIM平台评测

3.1 评测内容

根据工艺专业具体需求,本文从基础性能类、基础构件类、设计过程相关和设计结果输出

4个维度, 结合实际项目, 详细测评Revit平台、Bentley ABD平台、3DE平台工艺专业需求的匹配性和综合表现, 发现各个平台的优势, 也识别出各个平台的缺点, 从而找出最适合设计院使用的三维设计平台, 主要评测内容如下所示:

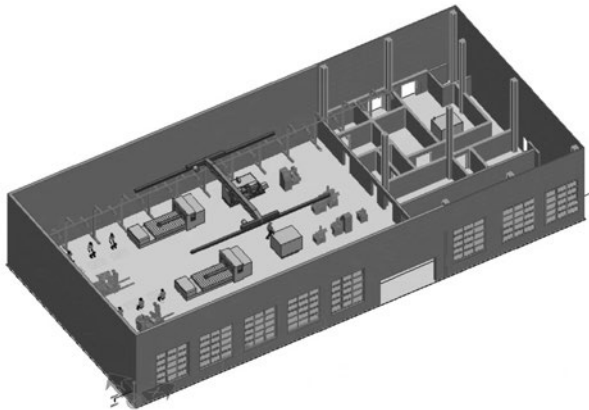


图2 测试厂房模型

(1) 基础性能类评测

对BIM平台的基础性能类评测主要包括参数化模型、复杂曲面建模能力与模型格式兼容性。

(2) 基础构件类评测

基础构件评测主要包括是否可以采用树形结构将设计项目按照标高(楼层)、房间(功能区)、设备类型的多层次模式组织起来, 将所有构件模型进行逻辑化管理。

每个房间内有哪些类型的设备, 每个类型的设备有哪些构件模型是否能直观呈献给工艺设计人员, 可以实时的查看、编辑房间属性参数, 设备属性参数, 方便用户快捷定位选中的设备并使用高亮提示, 还可以删除选中的设备模型。

(3) 设计过程相关评测

设计过程相关评测主要包括如下几方面:

1) 信息标注

是否可为工艺专业绘制二维工艺布置图提供快捷方式, 根据用户设定的信息标注字段、标注值、标注顺序和标注格式, 自动对工艺设备或房间进行二维或三维标注。

评测是否可以用列表形式为用户进行自动设备编号, 可以实现同功能区的同型号设备自动编相同号, 允许用户手工调整编号, 并可在视图中显示。

2) 专业信息查看及符合性检查

是否包含专业信息查看功能, 为专业条件协调提供实现窗口。通过设备属性的扩展, 可以实

现专业设计条件的协同共享。

是否在查看专业信息的同时, 将容易被忽略的隐含约束条件进行高亮显示, 将含有这些工程语义信息的设备进行筛查, 以高亮形式显示, 提醒设计人员注意。

3) 设备信息赋值

设备属性信息的添加: 对于一个新建或导入的模型, 可通过向导的方式添加属性字段, 并提供赋值界面。

设备批量赋值: 对于大量的已完成几何模型的设备模型, 可根据Excel文件(包含模型的属性字段及参数值)批量自动添加参数并赋值。

4) 空间信息赋值

对于厂房/房间涉及到的不能用设备或图例表示的专业条件信息, 提供房间专业条件赋值对话框。用户可以根据房间具体需求选择专业条件类型, 并根据对话框提示进行填写。

(4) 设计成果输出评测

设计成果输出及数据交互评测主要包括如下主要功能:

1) 工艺专业条件表单输出

可以根据公司定制标准的工艺设备信息表及各专业条件表单模板, 自动匹配工艺设备信息、图例信息、房间信息等, 以Excel格式导出。

2) 设备坐标数据输出

将布置好的厂房中各工艺设备的位置、相应暂存区、对应吊车、所属区域等信息以Excel表格形式输出, 作为工艺仿真系统建模输入。

(5) 专业间协同设计评测

专业间协同设计模块主要评测以下功能:

1) 完善的过程管理文档

通过良好的版本管理, 使用用户可以随时查看和获取历史的设计内容; 动态的参考文件管理, 保证了各专业之间配合进行协同设。

2) 安全的工作流程及访问机制

可以根据不同的业务规范, 定义自己的工作流程和流程中的各个状态, 并且赋予用户在各个状态的访问权限。工程项目参与方众多, 如何保证信息内容的安全存储和访问至关重要。

3) 动态审阅以及消息沟通

动态审阅图功能可在提交的图纸上进行校审和批阅, 校审和批阅的内容会同步到电子文档中。

用户之间可以通过消息系统相互发送内部邮件或消息, 通知对方设计变更、版本更新或者项目会

议等事项,也可以将系统中的文件作为附件发送。

3.2 评测结果

通过从目前市面上主流的BIM设计平台,即Revit、Bentley、3DE,进行实际项目评测之后,主要评测结果如下:

(1) Revit平台

Revit三维图形和信息的结构化做得非常好,参数化强。缺点为将模型数据写入到一个文件中,需一次加载所有模型;即使是通过连接Revit模型方式,仍未能从根本上解决一次性加载所有模型的问题;无法适应大体量项目;三维格式交换能力弱,支持的导入格式和导出格式少。

(2) Bentley平台

Bentley ABD平台,综合表现较为均衡,既能适应大体量建模,也能进行参数化配置,具备较强的三维数据格式兼容能力,能导入CATIA、UG、REVIT等平台的模型,同时也能导出用于格式转换的中间格式。

可通过对模型自定义参数,沿用了Microstation的硬盘即时存储机制,不断把内存释放出来处理新的图形。因此能够让同样的电脑胜任更复杂的项目。独有的文件分区加载方式及组织架构,适合公司进行大型项目(约20万m²)的三维信息建模。缺点是与工艺专业的需求贴合度不够,需要较多的二次开发工作;与CATIA、UG等进行文件交换需要通过中间格式,期间可能发生转换丢失、错误等情况。在协同设计方面,ProjectWise支持自动发送消息,当版本更新、文件修改、流程状态变化等,会自动出发一个消息,发送给预先指定的接收人。

(3) 3DE平台

3DE平台综合表现较为突出,能兼容更多的数据,对数据应用的延伸有很大的帮助,尤其是针对智能制造。同时3DE平台以数据管理平台为核心,搭建集设计、仿真、协同、管理为一体的企业级三维可视化(BIM)管理平台,并能够与多个项目进度流程有机结合,从三维表现、碰撞检查、进度管理、成本控制、虚拟体验、培训运维等各方面综合服务于整体项目,并实现项目的全生命周期信息管理。可以看出,3DE具备既能适应大体量建模,也能进行参数化配置,还能进行仿真分析,轻量化发布,与集团内厂所数据无缝对接(无需进行中间格式转换,同厂商格式自然兼容)等诸多优势。缺点同样是与工艺专业的需求

贴合度不够,要想充分发挥设计效率,需要对软件进行二次开发工作。

4 结论

本文通过整理工艺专业需求,梳理工艺专业设计流程以及三维设计平台的需求,并针对目前主流的BIM设计平台进行实际评测,最后得出如下结论:

(1)通过对Revit平台当前存在的问题进行分析,说明了其无法适应大体量项目的背后机理,分析了其改进方向。

(2)从基础性能类、基础构件类、设计过程相关和设计结果输出4个维度,详细测评Bentley ABD平台与工艺专业需求的匹配性和综合表现。结合实际项目,逐项评测了ABD平台的性能表现,发现了平台的优势,也识别出了平台的缺点。

(3)从基础性能类、基础构件类、设计过程相关和设计结果输出4个维度,详细测评达索3DE平台与工艺专业需求的匹配性和综合表现,发现了平台的优势,也识别出了平台的缺点。

(4)将主流BIM设计平台进行横向比较,推荐适宜工艺专业使用的BIM平台。最后认为,3DE平台具备既能适应大体量建模,也能进行参数化配置,还能进行仿真分析,轻量化发布,与厂所数据无缝对接(无需进行中间格式转换,同厂商格式自然兼容)等诸多优势。

通过评测分析认为,3DE平台适合设计院的大体量模型设计,可与厂所提供的模型无缝对接,兼具优良的文件交换性能,且拥有良好的开放拓展性,支持企业定制化二次开发。未来企业对BIM软件平台的选型,直接影响企业三维设计的质量与效率,BIM技术的推广应用将会是主流趋势。

参考文献

- [1] 梁晓,刘宏磊.浅谈Bentley系列软件的应用[J].建筑工程技术与设计,2017.
- [2] 张人友,王璐.BIM核心建模软件概述[J].工业建筑,2012.
- [3] 蒋惠.三维软件在建筑设计中的应用[J].工程设计与研究,2014.
- [4] 赵顺耐.Bentley BIM解决方案应用流程[M].北京:知识产权出版社,2017.
- [5] 陶建利,余靖.基于三维设计的工艺布置[J].有色金属设计,2015.

现代飞机航电系统集成验证方法探究

■ 田昊 [工艺]

摘要: 本文对现代航电系统的诸多优势进行分析研究,阐释航电系统应用于飞机领域的重要性。通过介绍各种航电系统在研究过程中能够使用的集成方式,制定更适用于现代飞机使用的航电系统验证方式。

关键词: 航电系统;集成方法

飞机领域能够为社会提供大量的经济价值,但其中需要运用到诸多先进技术,相关的工作人员需要拥有较强的综合素质能力。飞机产业在发展的过程中需要运用到多个领域的专业知识,包括飞机集体设计的专业知识,飞机发动机方面的内容等,其中,航电系统更是占据着举足轻重的地位,其能够有效提高飞机性能的安全稳定性、有效延长飞机的寿命。

1 现阶段我国飞机航电系统的主要特征

随着时代的不断发展,航电系统也日趋小型化,并且具有较强的综合性。现代航空领域都在积极采用综合性较强的电子航电技术,飞机管理系统也因此原有的基础上得到了有效发展。当今社会中最先进的大型客机都在积极采用具有更强综合性质的航电系统,这充分展现了航空电子技术的先进水平及发展走向。先进的航电系统在设计的过程之中采用了安全性能更高、成本也更为低廉的原材料,这种航电系统的优势主要体现在以下5个方面:

(1)此项系统将航电系统中较为繁杂问题分解成为诸多的模块来详细解决,系统的主要功用能够因此得到有效扩充,并且能够让相关的管理者更为直观地了解到各个工作环节的运行状态,针对具体的问题制定行之有效的解决措施;

(2)航电系统可以将功能详尽的模块进行统一的管理,大大提高了系统的工作效率;

(3)先进的综合管控技术可以对飞机飞行过程中产生的各项信息进行分析和归纳,很好地减轻了空乘人员的工作压力;

(4)新型航电系统可以有效减少电路线材的使用,进而减轻了系统的总质量,切实提高了众多数据传输的效率;

(5)该系统在进行每个工作环节时,均使用了高效率的数据处理流程,提升了系统的容错率,同时,技术人员根据航空产业的实际需要加入了很多新型功能。但是,由于航电系统需要处理数据还是较为繁杂的,操控的设备种类也很多,操作信号经常出现交错重叠的现象,针对这些问题,相关的技术人员需要对航电系统的验证方法进行更深层次的研究和讨论,建立高效率的验证环境,切实解决航电系统中存在的实际问题。

2 航电系统中的系统集成方式

航电系统的整体规模是较为庞大的,每个分支系统之间又存在一定协同关系,这种运行形式将直接导致系统工作效率低下现象的产生。为切实解决这方面的问题,尽可能地缩减人工成本及原材料资金的投入,相关技术人员必须采取新型方法,尽可能地减少系统集成的繁复程度。在传统的系统集成中都会采用增量式的方式,导致各个工作层级的薄弱环节都会完全暴露出来。为了从根本上改变这种集成方式的缺陷,技术人员需要在设备上设置具有仿真功能的接口,这种接口拥有很好的激励能力。

仿真接口的运用不仅能够让新型航电系统在

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电子工程设计研究院。

研制的过程之中产生具有参考价值的验证方法，还能够为系统测试阶段奠定很好的基础。除此之外，在进行仿真接口测试的时，相关工作人员需要制定出具有实际价值的测试规范，为后续的集成工作提供富有参考意义的测试用例。在这种方式运作下产生的数据及用例可以多次使用在新型集成系统的设计过程中，提升科研工作的效率，制作出更多具有优秀品质的系统产品。由此可以明显看出，新型系统集成方式是依靠系统仿真成果顺利进行的，进而设计出相应的仿真接口，使航电系统中应用的设备可以在原有的基础上发生巨大改变。技术人员在研制航电系统中的诸多应用设备时，会将仿真接口全部替换为具有实际功用的新型接口，航电系统内的全部设备都能够完成技术层面的革新。为了使仿真件可以较为灵活地向真件进行转换，在进行系统集成测试工作的时，工作人员需要制作出合适的构型配置。

3 航电系统中的系统验证途径

技术人员在设计航电系统的起始阶段，会根据飞机的具体型号以及飞行员提供的诸多数据来对航电系统设计方案进行切实可行的修正，随后再制定出内容详尽的航电系统主要功能报告书，为系统设计的后续工作提供有效参考文献。

在航电系统的验证阶段，技术人员需要根据系统功能报告书中提供的相关数据对系统实施检验工作，以确保系统中的各项功能都可以达标，实现最终的设计目标。在设计系统验证方案时，可以将功能报告书的各项规定采取“激励-响应”的方式进行。“激励-响应”验证方式是指给予需要测试的航电设备或航电系统具有激励性质的电信号，其内部的系统运算程序或者是工作状态便会产生强烈变化并传递相应的数据，最后，技术人员将测试结果进行详细的记录和分析，与既定目标逐项比对，并得出最后的测试结论。

之所以采用“激励-响应”的测试方法，很大一部分原因是航电系统中诸多工作环节都是通过电信号得以运行的，因此，这种测试方式是十分适用的。“激励”的方式可以大致分为3种形式，一种形式是飞行员在飞机的座舱面板上进行相关电信号的发射，另一种则是飞行员可以给予相关的航电设备一种既定的特殊电信号，最后一种形式则是在进行仿真测试的环节中，对外部环境进

行相应的改变或者是进行某种特定的故障模拟。

“响应”结果产生的途径也许是某种特殊信号的发出，可能是由于航电画面不断改变所产生，除此之外，也有可能是系统中的众多电信号联合产生的连锁反应所触发的。在进行航电系统测试的时，这种“激励-响应”的步骤会反复的运行。

在执行分系统测试任务时，“激励-响应”测试流程会以静态的形式展现出来。但是，在对航电系统进行更为全面的考察时，必须采取动态的测试方法，在飞机运行的时候便不断发出激励性的电信号。在进行动态测试之前，技术人员需要根据飞机的实际情况进行测试步骤的调整，调配好测试环境。在测试工作运行的过程之中，需要动用数据采集设备，并对飞机进行实时监控，如若出现故障出现，还需要对故障产生的原因进行很好的分析和归纳。

除此之外，验证工作还需要良好的环境，其基本的运行原理是在航电系统仿真工作的运行基础之上将其中的仿真件进行逐步更改和替换，随后进行航电系统前期准备过程中的一系列工作，技术人员在此期间还需要利用相关的硬件设施以及软件技术，这样，航电系统在进行集成验证的时才能够拥有一个较为良好的工作环境。

4 结束语

综上所述，航空领域紧跟时代的潮流，相关的技术人员在原有基础上积极改变了航电系统的运行方式以及主要内容。从实现利益最大化的角度来看，在整个航电系统发展壮大过程之中，技术人员要勇于引用新型的集成验证思维方式，切实有效地提升了我国航空领域的科研水准及工作效率，展现出多种研究成果，推动我国经济建设工作的稳步前进。

参考文献

- [1]赵红军. 现代飞机航电系统集成验证方法研究[A]. 中国航空学会.探索 创新 交流——第五届中国航空学会青年科技论坛文集(第5集)[C]. 中国航空学会:中国航空学会,2016:6.
- [2]许光磊,刘永超,高斌,郑凯.基于模型的航电系统集成验证技术研究[J].民用飞机设计与研究,2017(03):21-25.
- [3]王阳.通用飞机综合航电系统若干问题研究[D].合肥工业大学,2018.

垃圾焚烧工程给排水设计特点 及安装质量控制要点

■ 杨森 陆新生 [给排水]

摘要: 本文以某生活垃圾焚烧发电厂为例,分析了给排水系统的组成及设计特点,对在给排水专业施工安装工程中出现的问题进行总结,以利于提高给排水系统设计的合理性和安装质量。

关键词: 垃圾焚烧工程;给水系统;排水系统

1 工程概况

本项目选用 $3 \times 800\text{t/d}$ 的垃圾焚烧炉,配置 $2 \times 30\text{MW}$ 抽凝式汽轮机及 $2 \times 35\text{MW}$ 发电机组。厂区红线范围内水系统主要包含了生产、生活配套的给水、排水、循环水、消防水系统以及水处理系统。

2 给排水系统

2.1 给水系统

(1)水源

本项目水源来有两个:

① 市政自来水主要提供项目生活用水、生产用水及其他杂用水;

② 厂内再生水主要来自厂内的锅炉排污水、冷却塔排污水、渗沥液处理系统的产水等。在满足用水项目水质要求的前提下,优先回用,提供工业用水及杂用水。

(2)生活给水系统

生活用水宜采用独立的供水系统,供给全厂生活用水的需要,满足其水量、水压、水质的要求。市政自来水经水表计量后,接至生活水箱,再由变频恒压供水设备加压后提供厂区生活用水。

(3)生产给水系统

市政自来水从厂区东南侧引入,经计量后一路流至生产消防蓄水池,经综合水泵房内的生产给水泵加压后提供厂区生产用水。另一路流至冷却塔吸水池,作为循环水系统补水。

(4)消防给水系统

设独立临时高压消防给水系统。火灾初期利用消火栓稳压泵和高位水箱,保证初期水量和水压,消防时消防主泵启动供水灭火。厂区设2座 2000m^3 的生产消防蓄水池,可储存一次火灾消防用水量 720m^3 ,并设有不被动用的措施。综合水泵房内设有消防泵、消防炮水泵,水泵从蓄水池吸水,将加压后的消防用水供至各个系统。

(5)循环冷却水系统

凝汽器、空冷器、冷油器、辅机(高压给水泵、真空泵、炉排液压冷却器、垃圾料斗、溜管、汽水取样器等)的冷却用水采用循环水供水方式。

工艺系统需要冷却的设备包括汽机系统和辅机系统。由于汽机系统设备冷却水量大,汽机凝汽器要求水压较低,距离冷却塔较近。而辅机系统冷却设备多,设备布置分散,距离冷却塔较远,用水压力较高,单一设备用水量小,所以按照汽机循环冷却水系统和辅机循环冷却水系统的分别设置水泵,冷却塔集中设置,采用开式循环系统。

辅机循环冷却水通过工业水泵加压后供水,从生产消防蓄水池内吸水。通过辅机循环水供水

作者简介:杨森,男,助理工程师,2018年毕业于中国地质大学(武汉)环境工程专业,现就职于航空工业规划市政工程设计研究院。

管进入相关设备进行热交换，升温后的热水经回水管回至冷却塔下部水池，作为汽机循环冷却水系统的补水。

2.2 排水系统

全厂排水系统分为污水系统(生活污水、生产污水、生产废水)和雨水系统，实行雨污分流、清浊分流制。

(1) 生活污水和生产废水

建筑物卫生间先经化粪池进行预处理后排至厂区排水管，厨房排水先经隔油池预处理后排至厂区排水管。车间地面排水、化水系统排水等排至室外排水管，这些生活污水和生产废水，最终排至市政污水管网。

锅炉排污经冷却后提升至冷却塔水池作为其补水。冷却塔排污除了厂内部分回用，多余部分排放至市政污水管网。

(2) 垃圾渗沥液

厂内垃圾渗沥液属于高浓度有机污水，需要进行处理。在垃圾池底部收集提升后排至垃圾渗沥液系统集中进行处理。厂区污水处理的核心为垃圾渗沥液处理系统。厂区渗沥液及垃圾卸料平台污水排放至厂内渗沥液处理车间进行处理后回用。

垃圾渗沥液经处理后，处理水质能够达到《城市污水再生利用工业用水水质》(GB/T19923-2005)中的敞开式循环冷却水系统补充水标准。

(3) 雨水系统

主厂房屋面雨水系统采用虹吸排水和重力排水两种方式相结合。综合楼、泵房等其他建筑采用重力流排水系统。垃圾车进厂道路初期雨水收集后进入渗沥液处理站进行处理。收集范围为厂区红线至卸料大厅入口的道路，可最大限度地减轻受污染的初期雨水对周围环境的影响。

2.3 施工现场存在问题及解决措施

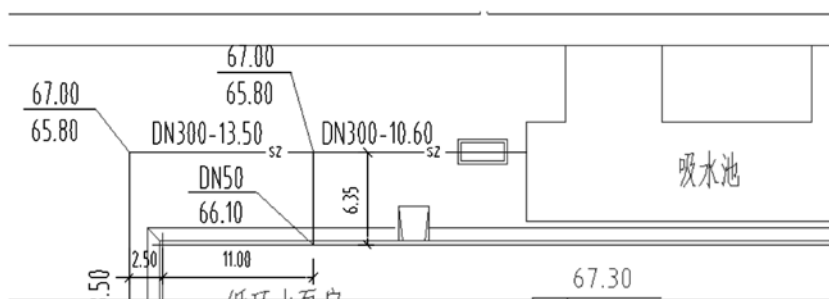


图1 问题附图1

(1) 生活给水系统

在室外给水管网压力满足设计要求的情况下，位于循环水泵房左侧的生活水箱无法正常进水，原设计中从DN300母管上引入一支DN50的支管作为进水管，由于母管为吸水池补水用，而支管太靠近母管导致泄压较快，因而支管中进水量很小或无水进入。

解决措施：支管应该远离母管尾端泄压较快的区域或者增大支管的管径设置为DN100。

(2) 生产给水系统

吸水池的补水管，室外生产给水管线为DN300与单体所标管径DN250不统一，造成施工预留套管偏小。

解决措施：在由室外DN300到吸水前池单体DN200的管线，转换的地方设置大小头，另一方面在设计出图时候应该加强校审及时发现问题。

(3) 雨水系统

汽机间屋面雨水原设计室内悬吊管从汽机间穿过，在穿越8m平台时，因汽机间布置工艺管道较多，阀门穿地面的预留井无法使用，无路由可走。



图2 问题附图2

解决措施：雨水悬吊管由原来的平行轴线方向改为垂直轴线方向，从汽机间侧墙引出，排入散水。因汽机间对洁净度和安全程度有较高的要求，给排水管道尽量不要穿横穿汽机间以防止管道液体跑冒滴漏，对汽机运行造成安全隐患。

(4) 雨水出户管标高问题

雨水出户管与电缆沟标高冲突，施工时候厂房西侧排水管道穿越电缆沟。

解决措施：雨水出户管标高适当下调避让电缆沟，建议在设计会签时电气专业应与给排水专业加强专业交流核对标高。



图3 问题附图3

(5) 渗滤液处理站

原设计渗滤液处理站输送泵的管道与暖通风管碰撞。

解决措施：由于泵的管道位置已经固定，暖通风管向右平移合适的距离避开泵的输送管道。建议在设计会签时，暖通专业应与给排水专业加强专业交流核对标高。

(6) 散水问题

主厂房东侧和南侧在散水附近设计有电缆沟，考虑为南方地区，雨水量较大而散水排水容易进电缆沟。

解决措施：在电缆沟与散水之间设置一条排水沟，由于主厂房东西向较长，找坡宜由中心线向两侧放坡，建议在以后的项目中考虑南北差异及散水的水量，合理设置排水沟。

(7) 管道碰撞问题

施工现场发现工艺管道与给排水管道路由相撞。

解决措施：根据现场实情况更改路由，建议在以后的项目设计中多与厂家和上游专业交流，在设计时候仔细研读设备布置图纸。

(8) 单体与单体之间的衔接问题



图4 问题附图4

在现场各个单体之间的衔接上经常出现管道落项，标高不对等问题。

解决措施：根据现场实际情况补发变更，建议在以后的项目设计中注重单体与单体之间的衔接问题，室内室外、地上地下统筹兼顾。

3 结语

本文总结了垃圾焚烧工程的给排水设计要点，结合自身现场工代工作经历，总结分析了施工中的问题，并总结出设计质量的控制要点，设计者应该努力将问题消灭在图纸阶段，提高给排水系统设计的合理性和高效性：

(1) 设计者在设计过程中要严格照国家有关法律法，行业标准及规范去设计。

(2) 在施工现场出现的问题有的属于设计缺陷，有的属于专业间沟通不够造成施工不便，设计者应该努力提高自己的专业水平，各专业之间应该加强交流协作。

(3) 校审人员应该加强校审，特别是在不同专业、不同系统、不同单体衔接的部分。

(4) 设计者应积极与厂家联系沟通，掌握工艺原理，设备布置及接口，让自己的设计更为合理优化。

(5) 设计者应加强与现场工代及业主的联系，了解现场施工进度，以及自己的设计意图被落实的情况，听取各方意见，互通信息，互相配合。

参考文献

- [1] 张益，赵由才. 生活垃圾焚烧技术 [M]. 北京：化学工业出版社，2003.
- [2] 时璟丽，张成. 垃圾焚烧发电技术在我国的应用及发展趋势 [J]. 可再生能源，2005，(2)：63-66.
- [3] 黄业昂，魏丽蓉. 我国垃圾焚烧发电行业发展前景浅析[J]. 大科技，2016，(14)：52.
- [4] 褚贵祥，邹琳. 垃圾焚烧发电厂渗滤液NF浓缩液蒸发处理的试验研究[J]. 黑龙江电力，2014，36 (6)：554-556.

基于计价软件的项目全过程造价管理 数据分析及应用

■ 邵飞 王玉平 钱海静 张珍兰 [造价]

摘要: 本文主要通过说明项目全过程造价管理对数据分析的需求及计价软件应对数据分析需求的不足,结合项目实例提出自身在工程项目中总结的一些指标数据分析方法的应用改进。通过组成占比、分部构成、工程量占比、价格占比的角度探讨指标分析法的应用改进及实用价值,体现此种方法对提升造价咨询工作效率、提升造价咨询业务水平的重要作用。

关键词: 指标分析;分部构成;工程量占比

0 绪论

本文基于计价软件结合项目实例,按分部、工程量、占比的总结角度来探讨全过程造价管理中数据分析的应用。通过对比的方法,来说明此种指标数据分析对提升造价咨询工作效率,提升造价咨询工作的质量管理的实效作用。

1 项目全过程造价管理对数据分析的要求

目前,国内的项目管理工作越来越提倡项目的全过程造价管理工作。造价专业在项目的全过程成本控制工作中越来越受到重视,同时项目对造价咨询工作的要求越来越精细。

现阶段,项目全过程管理对造价咨询工作在数据分析方面有哪些要求呢?以下来说明一些常见的项目需求。

1.1 项目不同阶段的造价对比分析

在项目的各个阶段通常需要各种造价指标的对比分析,如项目概预算阶段对比指标分析、项目结算阶段(施工图或竣工图)指标分析、变更洽商的原因分析等。

在项目的概预算对比指标分析时,往往需要分专业统计分析,做出形式类似表1的对比表格。

表1 项目的概预算阶段对比指标分析

项目名称:XX项目 建筑面积:S()

序号	专业	单方指标(元/)		
		概算	预算	备注
1	土建			
2	装饰			
3	给排水			
4	消防			
5	采暖			
6	通风空调			
7	变配电			
8	电力照明			
9	弱电			
10	……			

同样,项目结算阶段往往也需要做指标分析。项目结算方式通常分两种:施工图部分加变更洽商部分、竣工图部分加拆改项变更洽商部分。在做施工图或竣工图图纸部分指标分析时,有时也需要和招标图纸中标价做对比分析指标,做出形式类似表2的对比表格。

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

表2 项目的中标与结算对比指标分析

项目名称: XX项目 建筑面积: S ()

序号	专业	单方指标 (元/)		备注
		中标	结算	
1	土建			
2	装饰			
...			

做完上述表1、表2, 还需要跟相关方说明指标差异原因, 需要查找细项, 翻阅资料, 沟通设计等相关方来分析差异原因。

在做变更洽商审核时, 往往需要做原因分析, 指出施工中各种因素导致的项目成本增加, 做出形式类似表3的表格。

表3 项目变更洽商原因分析

项目名称: XX项目 建筑面积: S ()

序号	原因	增减金额 (元)	除中标价占比 (%)	备注
1	业主方			
2	设计方			
3	施工方			
4	管理方			
5	政策等不可抗力影响			
6	施工作业面交叉			
7	规范调整			
...			

变更洽商原因分析因各参与方对引发变更的理解不同, 易引发分歧。

1.2 项目全过程造价动态控制

项目全过程管理还需要做项目的全过程造价动态控制。造价咨询工作需要根据项目需求做动态成本控制模型、变更洽商管理等, 做出形式类似表4、表5的表格。

表4 项目动态成本控制模型

项目名称: XX项目 建筑面积: S ()

序号	采购包	预计控制金额	合同金额	变更金额	洽商金额	调差金额	.....	合计	是否超出
1	总包								
2	精装								
3	弱电								
4	室外景观								
5	变配电								
...								

表5 变更洽商台账

项目名称: XX项目 建筑面积: S ()

序号	编号	专业	提出单位	主要事项	预计金额	.....	备注
1	XX-001	建筑					
2	XX-002	结构					
...					

1.3 造价指标数据库

项目全过程管理还需要造价咨询工作有专业的数据库, 可供项目参考。在项目竣工决算后, 需要对项目做各方面归纳总结、指标分析, 包括工程概况、专业指标、主材用量指标等。

从以上3个方面的项目需求, 造价咨询工作体现了如下特点:

(1) 多次性, 一个项目的造价工作需要反复计量计价多次;

(2) 高效性, 造价工作往往需要高效率地完成各方交付的工作;

(3) 归纳分析性, 造价工作需要对项目做各类归纳分析总结;

(4) 可持续参考性, 造价工作的成果需要较高准确率, 并可持续应用于项目过程、项目结算、新建项目等的参考比较。

平日繁重工作让从事造价咨询工作人员不胜其烦, 各种原因分析, 对比分析让造价师往往进行大量的重复工作。如何能使造价师减少重复工作, 提升工作效率是改善工作状态的关键。

2 目前计价软件的主要功能及存在问题

计价软件节省了造价师很多工作, 本节以常用的广联达计价软件为例进行分析。

2.1 目前计价软件的主要功能

计价软件在清单编制、定额套取、取费设



图1 计算软件项目自检功能

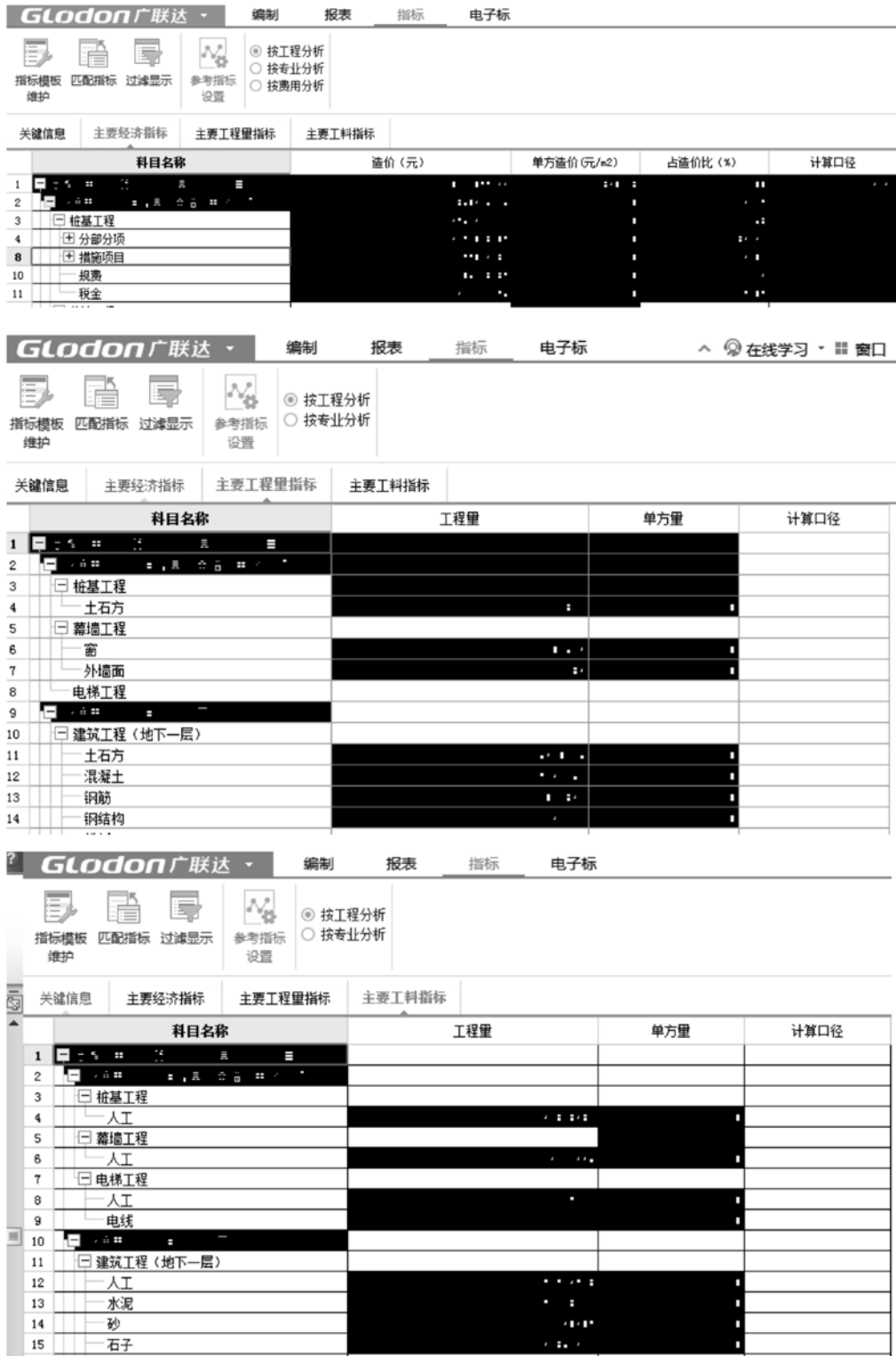


图2 计算软件指标分析(部分)

置、错误自检等方面给造价师提供了极大的工作便利，特别是错误自检方面，在项目造价初稿编制完成后点击项目自检，如图1所示。

在弹出的项目自检框中，进行招标书自检、招标控制价或投标的符合性检查。此步骤能很快地查漏补缺。在编制校审工作中未发现的一些失误和错误细节往往能在这一步能被找出，往往也被忽视，从而造成造价成品的漏洞百出，重复返工。

计价软件目前还可以进行部分指标分析，还可以通过自行设定实现部分数据分析、整理等，如图2所示。

2.2 目前计价软件存在的问题

上述计价软件的主要功能可以看出，计价软件主要方向还是项目计价，在数据分析方面缺乏灵活性，体现不出项目的过程持续性变化，无法满足在项目全过程造价管理过程中类似表1~表5的造价工作需求，无法直接自动生成数据库等问题，需要从事造价工作的人员再加工。

目前计价软件解决了造价师大部分的基础工作，但在对比分析、原因分析等方面还无法直接满足造价师的工作需求。以计价软件为基础，结合项目全过程造价管理需求，造价师需要思考如何改善工作方法，来提升工作效率。

3 基于计价软件、项目全过程造价管理数据分析需求而提出的一些应用改进

为了应对项目全过程造价管理的数据分析需求，提升造价工作的准确率、工作效率，避免过多重复工作，提升归纳分析能力，提升造价成果的可参考性；以计价软件为基础提出表1~表5体现的内容原理的应用改进。

3.1 工程造价工作流程中的一些细节整理，提升数据准确性

在讨论应用改进前，需要注意造价咨询工作中一些容易忽视的流程和细节工作，以便更好的提升基础数据准确率。

3.1.1 业主及项目进展信息

造价负责人一定要熟悉项目进展情况，并将基本情况通知参与人员，加强沟通管理，便于工作流程的程序化，提升参与人员的项目参与度，并能使参与人员提前预计本项目的难易程度，反馈汇总造价负责人一些未收集到的容易遗漏的项目资料。造价负责人收集并提供以下表格，根据

表6 项目信息表

序号	名称	内容
1	项目名称	
2	项目地址及场地情况	
3	总建筑面积	
4	项目拟投资额	
5	项目预计开竣工日期	
6	业主名称	
7	其他项目信息	

项目情况可以细化。

3.1.2 设计图纸情况

造价负责人一定要熟悉设计图纸进展情况，并将基本情况通知参与人员，加强沟通管理，有助于项目参与人员预判后期图纸变动更改情况，把重点工作放在不易变化的位置，易变化的可以采用预估的方式计入，提高重复工作效率。造价负责人收集并提供如表7的表格，根据项目情况可以细化。

表7 图纸信息表

序号	名称	内容
1	业主方已确认需求	
2	业主方未确认需求	
3	业主方已提供设计需求资料	
4	业主方未提供设计需求资料	
5	目前图纸深度	
6	各专业图纸完成程度	
7	其他设计信息	

设计方与业主方沟通，一般会有常用的设计需求清单表。表7中序号1~4的内容需要跟设计核实是否有常用的设计需求清单，如果无，需要与设计负责人沟通收集清单并回复上述问题。

3.1.3 招标文件与造价的几点注意事项

涉及到招标项目，需要阅读招标文件，并注意以下几点。

(1) 招标文件中需要提供的招标控制价编制数据：

本工程招标控制价为：_____元。

其中：分部分项工程合价为：_____元；

措施项目合价为：_____元；

其他项目合价为：_____元；

规费合价为：_____元；

税金合价为：_____元；

其他说明：专业工程暂估价（除税）合计金额：_____元；

材料和工程设备暂估价（除税）合计金额：

_____元；

暂列金额（不含计日工）（除税）合计金额：_____元；

安全文明施工费（不含税）合计金额：_____元；

施工垃圾场外运输和消纳费（不含税）合计金额：_____元。（地方不同要求不同，北京根据京建法[2017]27号文《关于建筑垃圾运输处置费用单独列项计价的通知》）

上述数据招标阶段招标代理会要求提供，特别是现在各地多电子招标，造价从业人员建议习惯性的记录此类数据。

(2) 承包范围及界面划分

须熟悉承包范围与界面划分，此部分是造价工作前提，不做赘述。

(3) 招标文件第六章工程量清单部分

工程水电费的记取（项目所在地临水临电等）、扰民费的记取、竣工资料费的记取、深化设计费的记取、样品费的记取、成品保护及样板管理费的记取、检测费的记取等，此部分造价工作容易漏项，需要核实清楚。

(4) 技术标准要求及品牌要求

须熟悉技术标准要求及品牌要求，此部分是造价工作前提，不做赘述。

以上4点需要从事造价工作人员注意，最终导致的成果错误往往不是技术能力不足，而是资料的收集、招标文件的约定、软件的设置及自检不足造成的，希望从事造价工作人员重视流程和记录过程中的一些细节，从而避免一些质量问题反复出现。

3.2 常用工程项目费用汇总表的改进及积累

首先需要建一个Excel文件来储存各类项目指标，逐渐形成项目指标数据库。

表8 项目费用汇总表

序号	名称	金额（元）	比例（%）
1	分部分项合计		
2	措施费合计		
3	其他项目合计		
4	规费合计		
5	税金合计		
6	项目总造价合计		100
7	其中：安全文明施工费（不含税）		

表8是从事造价工作的常见表格，往往是通过

软件生成的，在软件生成后，把上述项目费用分析表计入项目指标数据库中。

这些数据也是多数项目招标环节中需要提供给招标代理的数据，根据项目建设所在地政策要求不同，有时还需要提供施工垃圾场外运输和消纳费。

举例：

表9 XX项目项目费用汇总表

序号	名称	金额（元）	比例（%）
1	分部分项合计	150299231.09	70.65%
2	措施费合计	19051557.89	8.95%
3	其他项目合计	18721818.18	8.80%
4	规费合计	5336500.16	2.51%
5	税金合计	19340910.75	9.09%
6	项目总造价合计	212750018.07	100.00%
7	其中：安全文明施工费（不含税）	6230750.86	2.93%

注意表9安全文明施工费的比例，安全文明施工费的记取会根据不同项目要求计取比例不一样，在项目自检过程中要查看当地文件的要求。

通过表9做项目数据总结的意义在于增加占比意识，通过项目积累，造价人员普遍熟悉不同费用在总造价中的占比。当某些项目通过渠道仅知道一个项目的建安总投资时，可以预估此项目建安总投资中直接费、措施费等费用；或者当估算出一个项目的分部分项费用时，经验预计此项目的建安总投资。

3.3 项目费用汇总表按构成要素划分的总结及积累

表10 项目费用汇总表（按构成要素划分）

名称	金额（元）	比例（%）	累计比例（%）
人工费			
材料费（含设备及主材）			
机械费			
总价措施费（不含企业管理费和利润）			
企业管理费			
利润			
规费			
专业工程暂估价、暂列金			
总承包服务费			
税金			100
项目总造价合计		100	

注：上述总价措施费（不含企业管理费和利润）指安全文明施工费、施工垃圾场外运输和消纳等总价措施费的总和扣除其中的管理费和利润。

对于现在从事造价工作的同行来说，多数人都习惯表8的表述方式，而不习惯按表10的表述方式来统计。

同理，在完成项目计量计价工作后，在软件中提取出上述费用计入表10。

举例：

通过表11数据总结，可知总结归纳此表的意义：

(1) 机械对人类生活的巨大影响。使用机械节省了大量人力，仅需花费占项目建安投资2%左右的机械费，就建成了一座座人类建筑。

(2) 一个项目中成本占比最大的还是材料，熟悉上表各类费用构成及占比后，往往可以根据询价过程中材料的单价，粗略估算此分项工程的综合单价或全费用综合单价。

(3) 熟悉企业管理费、利润、规费、税金占

表11 XX项目费用汇总表（按构成要素划分）

序号	名称	金额(元)	比例(%)	累计比例
1	人工费	26714178.41	12.56%	12.56%
2	材料费(含设备及主材)	110,063,392.04	51.73%	64.29%
3	机械费	3256198.11	1.53%	65.82%
4	总价措施费(不含企业管理费和利润)	5859687.47	2.75%	68.58%
5	企业管理费	13490918.44	6.34%	74.92%
6	利润	9966414.51	4.68%	79.60%
7	规费	5336500.16	2.51%	82.11%
8	专业工程暂估价、暂列金	18181818.18	8.55%	90.66%
9	总承包服务费	540000.00	0.25%	90.91%
10	税金	19340910.75	9.09%	100.00%
11	项目总造价合计	212750018.07	100.00%	

表12 土建专业指标分析表

工程名称：建筑面积S (m²)

序号	项目名称	单位	工程量	单方含量指标	分部合价	平均单价	单方价格指标	备注
			A	B=A/S	C	D=C/S	E=C*1.2/S	
1	土方	m ³						
2	桩	m ³						
3	砌筑	m ³						
3	砼	m ³						
4	钢筋	t						
5	地面面积	m ²						
6	内墙面积	m ²						
7	天棚面积	m ²						
8	外墙面积	m ²						
9	钢结构	T						
10	隔墙	m ²						
11	内门面积	m ²						
12	窗户面积	m ²						
13	屋面面积	m ²						
14	幕墙	m ²						
15	室外	m ²						
16	其他							
	合计							

注：钢筋/混凝土=

墙面/地面=

比,体现各省市行业一般平均水平。

(4)专业工程暂估价、暂列金、总承包服务费根据项目类型、阶段等,不一定计取可不列。总承包服务费要查询是否符合各地的计费规定。

3.4 土建专业指标分析表改进及其应用

表12中分部名称还可以根据项目特点增加。

1.2为系数=总价/分部合价。

此表优势在于能简单直观地看到本工程土建专业的工程量单方指标、价格单方指标、分部合价、平均单价。提取归纳此表能很好地应用于项目各阶段。

举例:

安装专业可以参考土建专业原理按设备、管线划分做专业指标分析。

通过表13,将分部的整体工程量指标、价格指标,以及单方砼钢筋含量、墙面地面比值等指标放在一个表格中整体比较,整体调控。

此表数据分析的实用意义在于:

(1) 项目初设、概算阶段

1)有类似表13项目各专业分部指标分析表,相对于表1、项目的概预算阶段对比指标分析表会明显提高造价的准确率,防止缺漏项。

2)概算完成,按表13方式统计该项目的指标分析表,可以发现该项目指标中统计或计算有明显错误的地方,如单方砼钢筋含量超高、墙面与地面比值与项目建筑类型不符、天棚工程量因有刷涂料天棚,应该比地面面积多、某一分部整体

综合单价偏高等等,能够提高校审效率,保证基本准确率。

3)若某项目投资费用紧,以表13做基础,再根据以往项目经验、与设计沟通可以提出该项目可以节省造价的部位有哪些。

(2) 在项目施工阶段

1)做施工方中标价的专业指标分析表,结合设计做法、指标库积累及项目经验可以在中标价的专业指标分析表中找出明显报价偏低的分部,再结合中标清单价格精确定位,制定应对策略。

2)如果整体楼面荷载没有重大变化,沟通协调好各参与方,控制好不必要的拆改项,结构指标在结算时不应有大的变化,过程管控中需要重点关注的就剩下装饰变化、土方变化、桩基变化等其他变化的影响,便于过程控制与总结。

(3) 在项目结算审核阶段

1)收到报审资料,施工图或者竣工图部分先不着急看图算量,先做报审金额的专业指标分析表,与中标的专业指标分析表作比较,找出差异大的部分,重点审核。如发现钢筋含量过高,需提供相应说明,地面面积超出建筑面积,直接审减或提供说明等可以提高结算审核效率。

2)在最终审核完成后,做结算金额的专业指标分析表,与中标专业指标分析表做比较,结合图纸、施工情况说明涨幅原因等,相对于表2项目的中标与结算对比指标分析表,可以更快更具体地找到涨幅位置及涨幅原因,系统性较好地完成

表13 XX项目土建专业指标分析表

工程名称:XX

建筑面积S (m²): 34342

序号	项目名称	单位	工程量	单方含量指标	分部合价	平均单价	单方价格指标	备注
			A	B=A/S	C	D=C/S	E=C*1.2/S	
1	砌筑	m ³	5494.72	0.16	3846304	700.00	134.40	
2	砼	m ³	24039.40	0.70	36059100	1500.00	1260.00	
3	钢筋	t	3125.12	0.09	17188171	5500.00	600.60	
3	地面面积	m ³	25753.835	0.75	3863075	150.00	134.99	
4	内墙面积	m ³	92186.99	3.13	4609350	50.00	161.06	
5	天棚面积	m ³	25753.835	0.87	7726151	300.00	269.97	
6	外墙面积	m ³	11000	0.37	770000	70.00	26.91	
7	隔墙	m ³	34342	1.00	20605200	600.00	720.00	
8	内门面积	m ³	3517.76	0.10	1758881	500.00	61.46	
9	窗户面积	m ³	7162.50	0.21	5013750	700.00	175.19	
10	屋面面积	m ³	5709.00	0.17	1141800	200.00	39.90	
	合计				102581781		3585	

注:钢筋/砼=130kg/m³,墙面/地面=3.58倍

表14 变更洽商指标分析表

工程名称：** 建筑面积S (m²)

序号	分部名称	单位	性质	总工程量	单方含量指标	合价	单方价格指标	变更率	备注
				A	B=A/S	C	D=C/S	E=C/中标价	
1	土方	m	结构变更						
2	桩	m	洽商						
3	...	...	...			
4	...	...	...			
5	...	...	...			
6	价差	...	...				
7	不可抗力								

结算分析汇报工作，提升造价工作原因归纳分析效率及准确率。

3.5 变更洽商指标分析及其应用

项目运行、结算过程中，会遇到各种变更洽商，结算时往往业主需要做变更洽商的原因分析（设计、业主、施工方、政策、施工作业面交叉、市场材料、规范、合同等），通过分析原因占比来提升后续项目的管控能力，但这样的原因分析因各参与方对变更原因理解不同，易引发分歧，导致分析出的结果仅仅是一个报告或者数据，对于业主方、设计方、管理方、施工方等无后续可参考的实用性。

做项目的变更洽商指标分析可以参考生病挂号的方法，将变更洽商依据专业分土建、机电两大类，土建专业依据表8分土方、桩基、钢混、门窗、墙地顶等分部归类，机电专业可以根据专业细分为设备、安装等项目归类，通过对变更洽商签证的分类及数据汇总分析。如表14所示。

表14增加了价差、不可抗力的指标分析，也可以加入交叉作业造成的返工等，也可以按同样原理单列其他影响因素指标分析表格。

由上表做结算变更洽商指标分析，可以测算得出：

(1) 各个分部的变更率，即各个分部对中标价的影响比率；

(2) 当前环境下设计院在综合因素影响下设计变更对项目成本影响的比率及各设计专业变更的影响比率；

(3) 哪些是项目通病或政策等原因不可避免的单子。

表3中各种原因分析因各种因素影响很可能导致无法准确测出变更率，通过表14变更洽商指标分析表中数据指标的积累反馈，各参与方可从中吸取经验。

上述表格反馈设计人员，可以让设计人员了解自己专业受各因素综合影响下的项目设计变更对项目成本影响的比率。如果做同一业主项目比较多，还可以测出同一业主影响下，本设计院的平均变更影响比例率；还可以让设计人员了解到容易设计失误的集中区，从而找到减少设计变更

的切入点。

上述表格反馈给造价人员，可以让造价人员在设计概算阶段、编制清单预算阶段、结算阶段考虑的更全面，在与业主沟通时更专业，从而提高专业能力，提升造价咨询业务水平。

上述反馈项目管理人员，可以让项目管理人员知晓某些易发生变更的部位并在施工时提前做出预判、做好项目策划预防工作，做好项目成本管控。

因项目变更洽商份数往往很多，也需要一份一份核对，最后再做上述指标分析对于实操人员来说很不容易。在完成变更洽商审核工作后，变更洽商费用才拥有实际的应用分析价值。

第一步是按分部建单位库并进行删减工作。首先需要用计价软件新建一个库，按单位工程建分部库，如图3所示。



图3 单位工程分部库

然后把所有变更单、洽商单依顺序复制到每

XX项目变更汇总	XX项目洽商汇总
土方工程	土方工程
结构变更001	结构变更001
结构变更002	结构变更002
结构变更003	结构变更003
结构变更……	结构变更……
建筑变更001	建筑变更001
建筑变更002	建筑变更002
建筑变更003	建筑变更003
建筑变更……	建筑变更……

图4 单位工程分部库2

序号	名称	项目造价(元)	分部分项		单价措施项目合计
			其中:弃土或渣土 运输和消纳费	分部分项合计	
1	土方工程	0	0	0	0
1.1	结构变更001	0	0	0	0
1.2	结构变更002	0	0	0	0
1.3	结构变更003	0	0	0	0
1.4	结构变更……	0	0	0	0
1.5	建筑变更001	0	0	0	0
1.6	建筑变更002	0	0	0	0
1.7	建筑变更003	0	0	0	0
1.8	建筑变更……	0	0	0	0

图5 分部库汇总表

一个分部变更库、分部洽商库中，如图4所示。

为操作简单，可以建一个分部库，在所有变更或洽商放到此库中后，再复制一个库修改库的名称即可。

然后是删减工作，因为不需要去找每份的变更原因，所以只需要确认变更洽商内容是否属于此分部，可以直接打开审核后的变更洽商依次删减不属于此分部的内容。建议显示器双屏操作，不容易出错，提高工作效率。

第二步是提取数据，汇总分析。

在建的库中，每一个分部的都可以在汇总表中看见，如图5所示。

在汇总表中依次提取每个分部的项目造价金额填入表14中各分部的合价中。

分部汇总工程量提取，为简便起见，在分部的单个库中的人材机表中提取该分部对应的主要材料的工程量填入表14中各分部的总工程量中，也可以在库中的每个变更中依次计算工程量。

依据以上提取的数据填入表14中，表14就可以做汇总分析了。

4 结语

本文的主要目的是推广上述数据分析法在工程项目中的应用，以便提升项目全过程造价工作的准确率，并用数据指标分析提升项目全过程管理后续工作的效率，在项目过程控制、项目结算中减少重复工作次数，在项目的参考比较中提供更精细的数据对比。

本文是结合工程项目实例，在全过程造价管理的数据分析需求下，基于计价软件的不足，通过对比的方法，提出组成占比、分部构成、工程量

占比、价格占比的角度，说明宏观整体的数据分析在全过程造价管理中的实用价值，并可有效提升造价咨询业务水平，对于完善工程类数据库指标具有实效意义。工作中每一步工作的要点要明确，每一步工作都是连续和重要的，所以要逐步完善简练造价指标数据库，从而提升公司项目造价咨询服务水平和业务拓展能力。

结构试验中的 传感器和数据采集技术

■ 张祥义 张曼生 宋毛毛 (结构)

摘要: 传感器和数据采集系统是完成结构试验与检测不可或缺的工具。传感器和数据采集系统发展很快, 本文对国内外不同类型结构试验中所使用的传感器和数据采集系统的特点和参数进行了总结, 分析了传感器和数据采集系统技术的发展现状, 并对结构试验用传感器和数据采集系统的发展趋势进行了展望。本文研究工作可为传感器和数据采集系统的选用、相关结构试验技术的研究提供参考。

关键词: 结构试验; 传感器; 数据采集系统

1 引言

土木工程结构试验技术是研究和发展结构计算理论的重要手段^[1]。混凝土结构、钢结构和公路桥涵等设计规范所采用的计算理论大部分是以试验研究的直接结果作为基础的。由于实际工程结构的复杂性, 减少结构在整个寿命周期中可能遇到的各种风险, 结构试验是必不可少的。试验数据的量测是结构试验的关键环节之一, 只有量测获得可靠的试验数据, 才能通过数据处理获得正确的试验结果^[2]。本文主要从传感器技术和数据采集系统的发展进行总结, 为结构试验中的传感器和数据采集系统的选用、建设和发展提供参考。

2 传感器技术

结构试验的主要任务是将荷载或其他因素(地震、温度等)作用在结构物或试验对象上, 通过传感器采集与结构和试件工作性能相关的各

种参数来判断其实际工作性能, 估计结构的承载力, 确定结构与使用要求的符合程度, 为工程设计、结构优化、使用安全性和可靠性评估提供参考依据, 并用以验证和研究结构的计算理论。结构试验基本可分为拟静力、拟动力和地震模拟振动台试验, 基本需要采集的物理量可分为应力、应变、位移、速度、加速度等, 但由于各种试验中数据采集需求的差异, 对采集相应物理量的传感器参数要求也不同, 比如采样率, 量程, 工作条件等^[3]。图1为传感器的工作原理。



图1 传感器工作原理

2.1 传感器的原理与分类

对应于不同的试验数据采集需求, 同一物理量的采集传感器常常有多种不同类型。按传感器的工作原理, 可分为电阻式、电感式、电容式、光电式(含光纤及激光)、振弦式(变频)、

作者简介: 张祥义, 男, 助理工程师, 2018年毕业于北京工业大学结构工程专业, 现就职于航空工业规划结构工程创新研究院。

表 传感器与其相应特点

物理量	类型	工作原理	优缺点
应力、应变传感器 ^[4-5]	电阻应变片	利用敏感材料在机械变形的时候其电阻值发生变化的现象。	电阻应变片技术成熟,应用广泛,测量精度和灵敏度高,但是粘贴工艺不好处理,防潮措施难做,不适宜做长期监测。
	光纤Bragg光栅	以光纤为载体,在光纤局部区域内写入光栅,利用光栅反射光的波长原理。	光纤光栅传感器抗干扰能力强,适合长距离传输,安装便捷,灵敏度高,能适应恶劣环境。
	光弹性法	利用材料的双折射效应进行应力应变的测试。	光弹法非接触式测试方法,能够全场测量既可测表面内力,也可测内部应力。能够清楚的反应应力集中,但是工艺复杂,测试周期长,光学系统相对复杂。
位移传感器 ^[6-7]	线绕式位移计	电刷与滑动电阻摩擦,输出与位移成正比的电阻或电压。	线绕式位移计结构简单,使用方便,但是有磨损,分辨率低,寿命短。
	霍尔式位移计	保持霍尔元件的激励电流不变,并使其在一个梯度均匀的磁场中移动,则所移动的位移正比于输出的霍尔电势。	霍尔式位移计灵敏度高,惯性小,线性好,工作可靠,频响,寿命长。
	电容式位移计	利用恒定频率的正弦激励电流通过传感器电容时,传感器上产生的电压幅值和电容极板间隙成比例关系。	功率小、阻抗高、动态特性好、可进行非接触测量;但量程小,存在非线性误差。
	激光位移计	利用激光三角原理设计和制造。脉冲法、相位法、激光干涉法。	激光传感器具有适应性强,速度快,精度高的特点,但成本较高,我国激光传感器目前还处于试验阶段。
	超声波位移计	利用超声波在两种介质分界面上的反射特性制成。	超声波传感器操作简单,价格低廉,在恶劣环境下也能保持较高的精度,安装和维护方便,但易受温度的影响。
力传感器 ^[7-8]	桥式电路电阻应变片式	利用敏感材料在机械变形的时候其电阻值发生变化的现象。	电阻应变片技术成熟,应用广泛,测量精度和灵敏度高,但是粘贴工艺不好处理,防潮措施难做,不适宜做长期监测。
	液压式	以帕斯卡原理为原型,嵌入式轴承储层流体,用于承受负载,将负载信号转换为液体压力。	装置灵活,成本较低。
加速度传感器 ^[9-10]	压电式	压电元件在受到外力的作用而产生形变后,其内部会产生极化现象,它的两个相对表面上会出现正负相反的电荷,并且电荷密度与所受到的外力成正比。	具有体积小、重量轻、里程大、结构简单、可靠性、受外界干扰小等优点,缺点无静态输出,无法进行静态测量。
	压阻式	利用压阻效应,即在外力的作用下,材料的电阻率会发生变化。	体积小,制作工艺简单,可实现静态测量;缺点是冲击保护较低,对温度非常敏感,需要进行温度补偿。
	电容式	由平行板电容组成敏感元件,与压阻式加速度传感器类似,只是将电阻的变化换成电容的变化。	分辨率高,输出稳定,温度漂移小等优点;缺点是频率范围窄,量程较小,常用于低频测量。
	伺服式(力平衡式)	闭环传感器,通过反馈环节调节使用惯性质量保持在力平衡或力矩平衡的状态下,几乎消除了非线性引起的误差。	具有更高的精度与灵敏度更好的动态特性和稳定性的优点;缺点是成本过高,测量范围较小(小于50g)和较窄的频率范围(0-100Hz)。

霍尔效应式和半导体式 (MEMS)；按使用功能可分为应变、应力、位移、力 (拉、压、弯剪、扭)，根据使用功能梳理各种类型传感器的工作原理和优缺点。

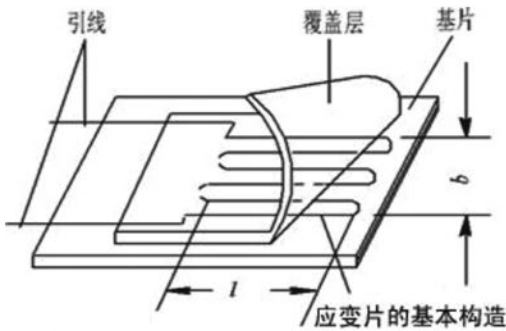


图2 电阻应变片构造

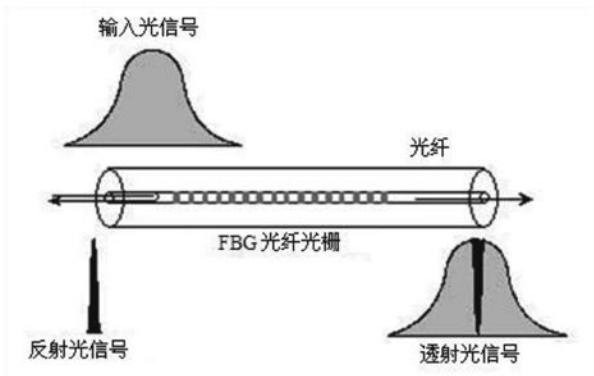


图3 FGB光纤光栅工作原理图

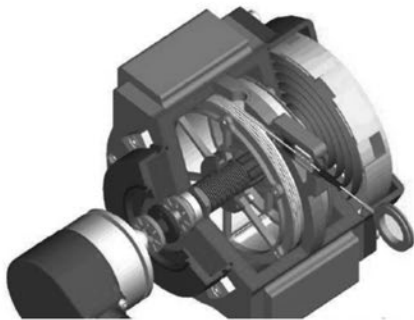


图4 拉线式位移计构造图

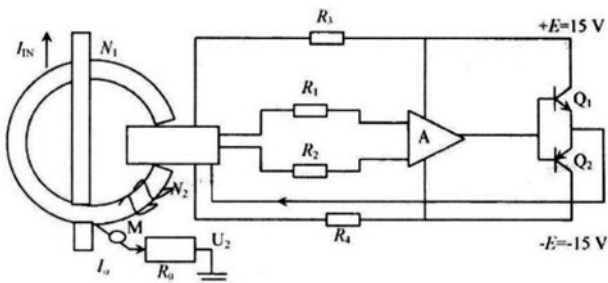
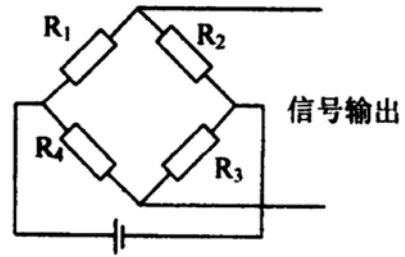


图5 霍尔式位移计工作原理图



电路工作原理图

图6 桥式电阻应变片式力传感器

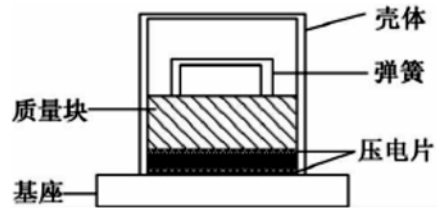


图7 压电式加速度传感器构造图

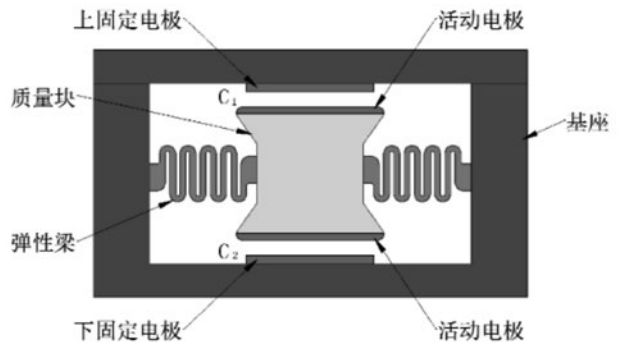


图8 电容式加速度传感器

2.2 传感器性能指标与选用原则

2.2.1 传感器的关键性能指标

传感器的性能指标包含：线性度、灵敏度、迟滞、重复性、漂移、分辨率、阈值等。

(1) 传感器的一般技术特性^[1]。传感器的一般技术特性要满足测量需要，不同类型的传感器要求不同，主要包括：量程、灵敏度、精度、频率响应范围和工作环境要求。

(2) 传感器的稳定性、可靠性及对工作环境的适应性传感器性能稳定可靠、耐久性好、频响范围宽、抗外界干扰能力强，能在结构的使用温度及湿度范围内正常工作^[10]。

(3) 传感器与数据采集、通信设备的相容性。由于传感器输出的信号较弱，需经过信号调

理器的调理放大后才能被显示或记录。通常各种传感器都有与之匹配的调理器。不同的调理器其信号输出的方式不同,有的直接在调理器上显示数字量,有的提供模拟量输出端口,有的提供数字量输出端口以及通信软件可以将输出数据直接输入计算机。因此在选择传感器时需考虑对应这种传感器的调理器的数据输出方式与后续数据采集设备与通信设备的相容性。

2.2.2 结构试验中传感器选用原则^[11-12]

量程:能够测量的被测量的范围是选择传感器的首要依据。如测点位置的振动量级宜为选择传感器量程的60%~80%,这样能保证信噪比高,且不会过载。

灵敏度:能够测量的被测量的最小变化量。

通常量程大的传感器,灵敏度低,量程小的传感器,灵敏度高。传感器的灵敏度越高,则传感器的质量越大,传感器的输出电压越大,信噪比越高,分辨能力越强。对于测试不同的结构,应选择相匹配的传感器量程。

精度:测量值与真值之间的符合程度。

线性度:由于传感器测量时只能输入单一灵敏度,因此,用于描述在一定频响范围内,传感器的灵敏度是否满足实际的灵敏度指标,即为线性度。如果传感器不在线性区段进行测量,则测量得到的幅值误差较大,一般要求传感器非线性小于1%。

横向效应:当测量某个方向的振动时,输出信号应该全部来自振动感知方向,但实际上在与该方向垂直的方向也有信号输出,这种效应称为横向效应。横向效应灵敏度越低,性能越好,一般而言,传感器都存在一定的横向效应,通常标称横向效应小于5%。

传感器安装方式:传感器安装时,需要综合考虑多种方面对其影响,主要有安装刚度、安装平面、安装方向、安装手法、防护条件等。安装刚度对其影响最大,传感器最好是直接将传感器固定在被测结构上。

2.2.3 提高传感器测试精度的方法^{[6][15]}

(1) 合适的试验方案:根据结构试验的目的要求,制订出一个全面的且切实可行的试验方案,方案中必须包含:模型制作,加载(卸载)方案,测点布置(传感器的选型和数采系统的选配等),全过程测试方法,数采和分析直到报告的一次生成。任何一个理想的试验,首先取决于

一个十分完满正确的试验方案。

(2) 可靠性高:需要长期进行数据采集的传感器,除了正确选用量程范围、灵敏度等主要技术指标外,更应十分注意其重复性和长期稳定性,尤其对某些重大工程或需作长期健康性能检测的项目更为显得重要。

(3) 虚拟零点技术:采用“虚拟零点”技术来随时确认以传感器为主的数采系统所测试数据的正确性,所谓“虚拟零点”,即在测试系统中选用一个与工作测点“完全相似”的环境条件下,但是它处于不受力状态下,仅作为零点补偿,采用这一技术措施,不仅可以随时监测整个系统的所测数据的正确性,而且还可作为更为精确测试时的修正数据的依据。

(4) 适宜的匹配性:在选用传感器时,除了要选择传感器的性能和价格外,还应注意了解其后接放大器的可配性能,否则将会产生不可配性而一时无法使采集系统正常工作。

2.3 新型传感器的应用

新型传感器的发展紧随材料新技术的应用,并且附着着结构试验新趋势、新要求。

2.3.1 新型位移量传感器

(1) 电涡流位移传感器(微间隙)^[13]

基于电涡流效应,金属导体置于变化的磁场中,导体表面就会有感应电流产生。电流的流线在导体中自行闭合,这种电流称为电涡流。电涡流传感器具有非接触、环境适应性强、线性范围大、灵敏度高、能测量多种参数等优点。

(2) 基于HTCC的无线无源LC位移传感器^[14]

通过传统的HTCC封装工艺以及共烧技术,将铂电子浆料集成于陶瓷基底上。传感器结构简单,易于制备且成本低廉。测试结果表明,传感器在0~30mm的位移测试范围内响应良好,平均测试灵敏度为0.602MHz/mm。传感器频率与位移呈现出良好的线性关系,线性度误差仅为3.09%,而且传感器重复性较好,在3次重复性实验中,最大测试绝对误差为0.389MHz,最大相对测试误差为0.22%。

2.3.2 新型加速度传感器

(1) 振弦式加速度传感器^[16]:工作原理如图9所示,当被测物体存在加速度时,质里块上的惯性力经过杠巧放大结构放大后作用在谐振梁的轴向上,使得谐振梁的振动频率发生变化。作用在谐振梁上力的不同会得到不同的振动频率,因此

通过检测电极测量频率的改变量可得到输入的加速度值。

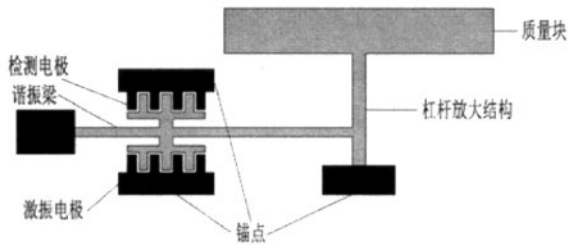


图9 振弦式加速度传感器力学模型

(2) 声表面波(缩写SAW)加速度传感器[17]: 基于声表面波技术, 即当声表面波器件受到待测量的作用而引起波速或器件结构尺寸发生变化时, 其谐振频率或回波延时也会随之改变。SAW传感器的组成如图10所示, 可转换为单端固定自由端受载的悬臂梁结构的力学模型。悬臂梁由压电基片制成。当自由端的惯性质量受到加速度作用时, 会引起压电基片的弯曲, 使得SAW振荡器的频率发生改变, 此实现对加速度的测量, 具有尺寸小、成本低、灵敏度高、分辨率高、可靠性好等优点。

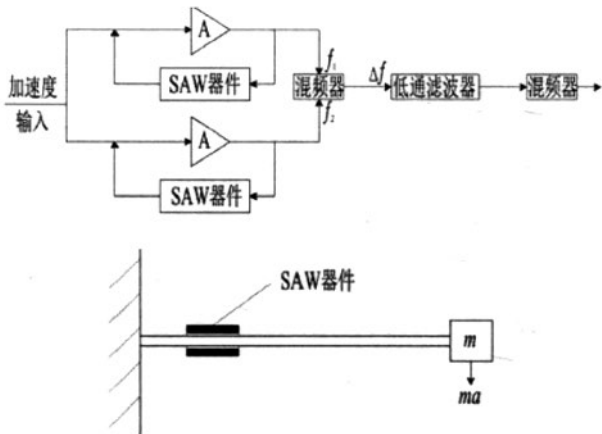


图10 SAW加速度传感器力学模型图

(3) 隧道加速度传感器: 基于电子的隧道效应。其主要结构是由一个谐振频率小于100Hz的悬挂检验质量和一个谐振频率高于10kHz的高频悬臂梁组成。隧道效应发生在检验质量的硅尖与高频悬臂梁上的反电极之间。当加速度作用在传感器上时, 检验质量发生位移, 反馈回路通过调节静电偏转电压来控制 频悬臂梁, 使隧道电流保持恒定。通过检验偏转电压即可得到对应的加速

度大小。隧道加速度传感器具有分辨率 和灵敏度 的特点, 主要用于惯性制导、卫星微重力测试、水下测试等对测量有较高精度要求的场合。图11是一种双电子元件隧道加速度传感器。

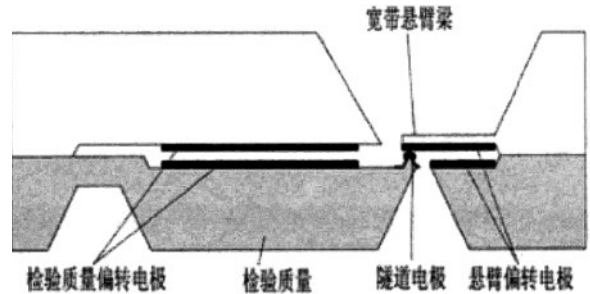


图11 双元件电子隧道加速度传感器

(4) 热对流式加速度传感器: 其工作原理是腔体内的气体在加热元件作用下升温并与周围相对冷的气体形成对流。在无加速度时, 腔体内的对流是关于加热元件对称的, 因此两个热敏元件测量到的温度是相同的。然而在传感器受到横向加速度后, 腔体内的对流形式会发生变化, 从而使得两个热敏元件所测得的温度产生差值。热对流式传感器最大的特点是没有固体惯性质, 因此具有极强的抗冲击性, 可达5000g。图12是一种热对流式加速度传感器结构图。

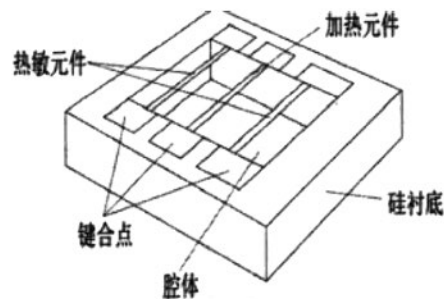


图12 热对流式加速度传感器

(5) 光学加速度传感器^[18]: 光学加速度传感器指的是用光学元件测量出物体加速运动状态的传感器。悬臂梁采用弹性较好的材料制成。当传感器接收到垂直方向的加速度时, 惯性力使悬臂梁发生弯曲从而带动光纤光栅伸长或压缩, 通过检测光纤光栅中心波长的漂移量大小可得到对应的加速度大小。图13是一种光纤光栅加速度传感器。这一类加速度传感器具有体积小、质量轻、动态范围大等特点, 然而其最突出的地方在于抗电磁干扰能力强, 在军事领域有着广阔的应用前景。

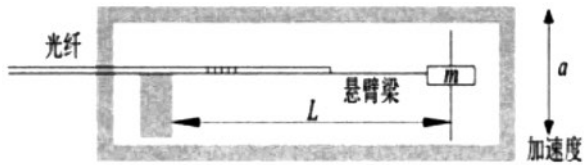


图13 光纤光栅加速度传感器

2.3.3 智能传感器

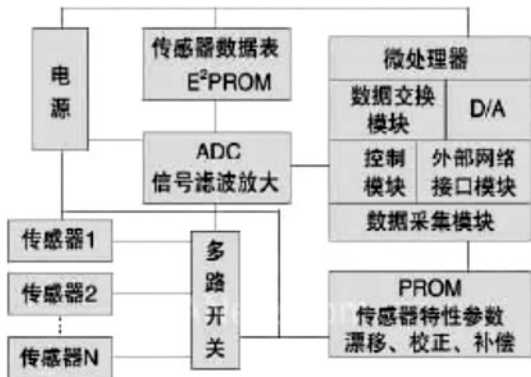


图14 智能传感器功能示意图

智能传感器^[19-20]主要完成信号感知与调理、信号处理和通信。优点可以完成信号检测、信息处理、信息记忆、逻辑思维和判断能力；缺点是多维物理标量检测功能不够完善，数据自存储功能不够完善，传感器产业结构实力不强，市场开拓不够，自主知识产权不足。

2.3.4 无线传感技术和无线网络传输技术^[21]

无线传感技术和无线网络传输技术一旦在结构试验系统中得到应用，将会给结构试验技术带来革命性的变化。因此，无线传感技术、无线网络传输技术在结构试验技术的应用研究在国内外都得到充分的重视。国外目前研究较多的是智能型传感器和无线通信技术相结合的无线传感技术，如美国提出的“Berkeley Mote”平台等。另一方面，即使采用传统的传感器，如果能以无线网络代替或部分代替传统的有线网络，也将是一个很大的突破。最近，国内学者提出了利用公共无线网络的无线传感技术并解决了多通道传感器的数据采集同步问题和数据传输时的丢失问题，实现了多通道传感器数据的准实时无线传输。利用这种无线传输技术，在移动通信网络覆盖的地方就能实现多通道测量，并且随着公共无线网络的升级，其技术性能可同步提升。无线传感和传输技术的进展和实用化是值得今后继续关注的热点。

3 数据采集系统

数据采集是获得信息的基本手段。结构试验中需要采集力、应力、应变、加速度等物理量，使用数据采集系统可以同时获得大量动态信息，自动且高效的完成测试任务^[22]。数据采集系统是计算机与外部物理世界连接的桥梁。

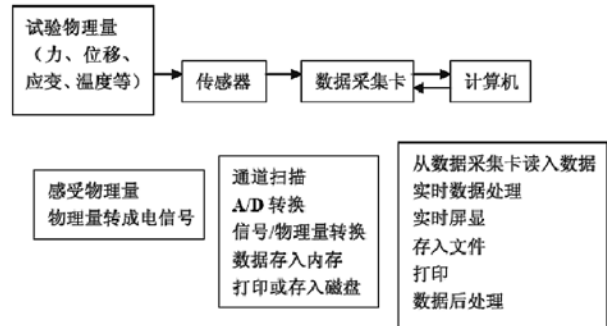


图15 数据采集系统工作流程图

数据采集系统采集传感器输出的模拟信号并转换成计算机能识别的数字信号，然后送入计算机根据需求由计算机进行相应的计算和处理得到所需的数据，其工作流程如图15所示。数据采集系统应当具有数据采集、模拟信号处理、数字信号处理、开关信号处理、二次数据计算、屏幕显示、数据存储和人机交互等功能。

3.1 数据采集系统的组成与分类

数据采集系统包括硬件系统和软件系统。硬件系统包括传感器、数据采集卡和计算机（控制和分析器）3个部分。传感器将感受到的各种试验物理量转变成电信号；数据采集卡对所有的传感器通道进行扫描，将扫描结果进行信号/物理量转换，然后将这些物理量数据传给计算机，或打印、存盘；计算机通过软件系统对数据采集进行采样控制，对数据进行实时处理和后处理。

传感器根据信号输出形式共有3种信号类型^[23]：

- (1) 光信号；
- (2) 模拟电信号；
- (3) 数字电信号。

数据采集系统根据传感器信号的不同，相应的分成3个部分，即光纤光栅传感器的数据采集与传输、模拟信号传感器的数据采集与传输和数字信号传感器的数据采集与传输。

3.1.1 光纤光栅类传感器的数据采集

由于光纤光栅传感器使用光信号进行测量，

需要由光纤光栅解调仪对信号进行解调,将光信号转化为数字信号,便于数据处理。传感器的数据经过光纤光栅解调仪采集处理后,通过网络交换机,通过网线或通信光缆传送到数据接收服务器,由应用服务器进行数据的管理和运算处理。

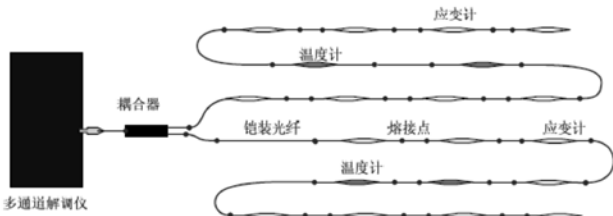


图16 光纤光栅连接组网示意图

3.1.2 模拟信号传感器的数据采集

数据采集系统的主要功能是完成信号的A/D转换(模/数转换)、数据预处理、数据压缩和数据发送等。数据采集仪将传感器的输出的模拟信号(如电压、电流等)转换为数字量,便于进行后续处理。同时进一步对数字信号分析计算,得到所需的相关信息,如结构的振型、频率、挠度等。

在数据采集系统中运行的软件对硬件进行管理,对汇集到采集仪的大量信号进行预处理,包括海量数据的压缩打包、数据传送等,采集仪软件的执行效率、可靠性对系统的运行速度有重要影响。数据采集仪的运算速度、存储体容量、容错能力等,同样关系到数据采集仪的可靠性。

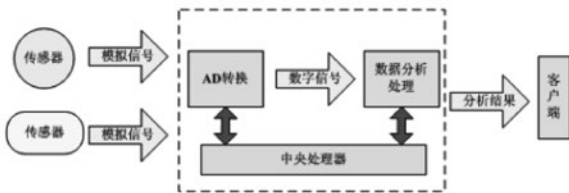


图17 数据采集仪结构示意图

此外数据采集仪的设计需要考虑到外界环境和其他不利因素对系统造成的影响,如温度、湿度、沙尘、雨水、电磁干扰、雷击、地震等等。对这些突发事物,能够做出相应的应对,如外壳防护、电磁屏蔽、浪涌防护等。当采集仪运行出错,能够自动复位,有一定的容错和修复能力。

3.1.3 数字信号传感器的数据采集

对于一些环境监测类的传感器如风速仪、强震仪、GPS等设备一般为数字信号输出或经由厂

家选配的模块转换为数字信号,系统配备串口服务器等进行数据解析及整理。

三类信号的采集软件部分,主要运行于硬件部分上,主要功能是提供信号的采集、传输、显示等。根据业务功能的要求及数据采集设备的情况,全部功能使用高级编程语言定制开发,并且运行在精简版嵌入式操作系统平台之上。软件的数据采集功能模块通过封装采集设备的底层协议,统一定义数据采集接口,使数据采集具有一致性、通用性,可用性,这样的设计使软件更容易扩展新功能,便于根据需要增加系统需要的采集设备和传感器。

3.2 数据采集系统的选用原则

数据采集设备根据传感器输出信号类型、匹配性、兼容性、精度和分辨率等要求进行选型,并满足下列要求:

(1) 电荷信号应选用电荷放大器进行信号调理和采集;

(2) 数字信号可选用基于RS485, CAN, Modbus TCP或UDP等的分布式数据采集设备,并确定传输距离、传输带宽和速率;

(3) 模拟信号宜选用4mA到20mA和-5V到5V等标准工业信号,可选用基于PCI、PXI等技术的集中式数据采集设备,并确定输入范围、分辨率、精度、传输带宽和速率,也可选用在传感器端进行模数转换,按规定确定技术参数;

(4) 数据采集模数转换分辨率应满足传感器分辨率和监测要求,不宜低于16位;

(5) 光信号数据采集应采用专用的光纤解调设备,应根据波长范围、采样通道与采样频率进行选型;

(6) 电阻应变传感器应选用惠斯登电桥调理放大信号;

(7) 电信号应进行光电隔离,以增强抗干扰能力;

(8) 静态模拟信号可选用多路模拟开关和采样保持器进行多路信号依次采集;

(9) 动态信号应选用抗混滤波器进行滤波和降噪。

3.3 新型数据采集系统的应用

3.3.1 基于labview的数据采集系统^[24]

Labview又称为G语言,能够将传统仪器由硬件实现数据分析处理与显示功能,改变为由功能强大的PC计算机及其显示器来完成,配置各种

IPO接口设备,再编制具有不同功能的软件对采集来的数据进行分析处理及显示,从实质上完成了一个计算机仪器系统,其特点如下:

(1) 在通用硬件平台确定后,由软件取代传统仪器中的硬件来完成仪器的功能;

(2) 虚拟仪器的功能是由用户根据需要用软件来定义的,而不是由厂家来定义好的;

(3) 仪器性能的改进和功能扩展只需进行相关软件的设计更新,而不再需要购买新仪器;

(4) 与传统仪器相比较,研制周期可以大大缩短;

(5) 虚拟仪器开放、灵活,可以与网络及外围设备互连。

3.3.2 基于无线传输技术的数据采集系统[25]

无线数据采集系统支持长距离传输,更适用于系统庞大、监测数量大且分散及线路不便区域,该系统一般由一个中心站和若干个外围站组成。其中主站作为无线网的状态诊断和控制中心,当系统诊断和控制软件装入与主站相连的PC中,就可通过主站对每个远端设备监控和调整。

3.3.3 网络协同试验平台^[26]

Nees:世界上最早的远程协同试验平台,由美国国家自然科学基金委资助,建立新一代的振动台等大型实验室系统和利用高效率的互联网连接的现场试验和监控体系。

Netslab:国内最早的远程协同试验平台,主要由试验结果、3种参与者、通讯协议和数据流组成。MTS提供软件接口和硬件接口,湖南大学开发接口控件,并联合哈工大、清华完成了国内首个协同拟动力试验。

4 发展与展望

4.1 传感器

未来传感器技术发展的趋势,是带有感知、信息处理与通信于一体化,能提供以数字量方式传播具有一定知识级别的信息,具有自诊断、自校正、自补偿等功能的智能化传感器^[27],包含拉力、压强、应变(应力)、位移(角速度)、速度、加速度、平率、扭矩等,即多方向复合式传感器;带有自我识别,如编号、标定系数,采用无线互联网传输;适合做长期远程监测。新型传感器的研究,需要制造出具备分布式、高精度、高适应性、IEEE1451系列标准化接

口的智能传感器。

4.2 数据采集系统

目前,随着计算机技术的发展,在结构试验领域,也出现了虚拟仪器、网络协同和物联网技术。

(1) 虚拟仪器技术^[28]:90年代由美国NI公司提出,用软件集成了仪器的所有采集、控制、数据分析、结果输出和用户界面等功能。该应用软件集成了仪器的采集、控制、数据分析、结果输出和用户界面等功能,具有强大的数据处理能力,便于组成自动测试系统。

(2) 网络协同试验技术^[26]:互联网技术的应用和发展,使得已经应用在电信、航天等领域的远程通信和控制结构在结构试验领域发挥应用价值。网络远程协同试验技术使得各个实验室强强联合,优势互补,使得没有试验设备的单位和研究人员可以通过网络平台使用实验设备。资金投入小,节省结构实验室建设的大量资金。

(3) 物联网技术^[29]:将各种信息传感设备与互联网结合起来而形成的大网络,实现对物品和过程的智能化感知、识别和管理,称为物联网。物联网包括了感知全面、传递可靠、智能处理等特点。结合智能传感器,即可开发出智能结构健康监测系统,对结构进行更加安全高效的管理。

5 结语

(1) 新型传感器的研究,需要制造出具备分布式、高精度、高适应性、接口标准化的智能传感器;

(2) 数据采集与传输系统的研究,需要建设快速、稳定、便捷、标准化的数据采集与传输系统;

(3) 系统的集成化研究,其目标是实现结构试验,检测,监测等系统的内部集成以及泛网络的集成;

(4) 本文研究工作可为传感器和数据采集系统的选用、相关结构试验技术的研究提供参考。

参考文献

[1] 李炳生,汤海林,张其林.结构试验与加载检测技术的发展及其应用[J].结构工程师.2011(S1):69-75.

- [2] 周明华. 土木工程结构试验与检测[M]. 东南大学出版社, 2013.
- [3] 张岩峰. 土木工程结构试验量测技术研究进展与现状[J]. 绿色环保建材, 2018, No.132(02):217.
- [4] 张彦兵, 陈树礼, 冯小利. 几种常用应变测试技术的比较分析[J]. 山西建筑, 2006, 32(3):77-78.
- [5] 陈苏, 陈国兴, 徐洪钟, et al. 光纤Bragg光栅应变测试技术在大型振动台模型试验中应用[J]. 振动与冲击, 2014, 33(10):113-118.
- [6] 刘凤. 结构试验中位移测试的若干新技术综述[J]. 科技创新与应用. 2014(33): 20.
- [7] 胡敬礼, 陈以一. 结构试验中二维位移检测技术探讨[J]. 结构工程师, 2011, 27(S1):105-108.
- [8] 彭华. 液压测力传感器结构及实验结果研究[J]. 液压与气动, 2012(6):104-106.
- [9] 宋丽红, 田辉鹏, 黄浩华. 用于建筑结构振动测量传感器参数的选择[J]. 企业科技与发展. 2010(16): 82-83.
- [10] 陈毅强. 低频压电加速度传感器的噪声特性及信号处理方法研究[D].
- [11] 任强. 传感器选用原则[J]. 铁道技术监督(9):33-34.
- [12] 巫业山. 传感器的选用原则与标定[J]. 衡器, 2017(5).
- [13] 郑敏. 大量程电涡流位移传感器设计与实验研究[D]. 2015.
- [14] 吉耀辉, 李敏, 马晓芳. 基于HTCC的无线无源LC位移传感器[J]. 微纳电子技术, 2020, 57(02):142-147.
- [15] 胡志凌, 李炳生, 胡敬礼. 传感器在建筑结构试验中的应用和如何提高计量测试精度的技术问题[C]// 全国测控计量仪器仪表学术年会. 2007.
- [16] 蒋奇, 郭腾云. 基于FBG振弦的加速度传感器优化设计及试验研究[J]. 光电子 激光(9):1651.
- [17] 马惠铨, 刘骏跃. SAW加速度传感器差动结构的改进[J]. 制造业自动化(2):191-192.
- [18] 贾书海, 孔维军, 杨佳. 基于衍射微透镜的光学加速度传感器设计[J]. 光学学报(8):152-155.
- [19] 赵丹, 肖继学, 刘一. 智能传感器技术综述[J]. 传感器与微系统. 2014, 33(9): 4-7.
- [20] S c leanu D. A new multipurpose wireless sensor node for Data Acquisition Systems[Z]. Bucharest: 201435-38.
- [21] 颜彦, 王平, 田贵云. 无线传感网络技术及其在结构健康监控应用中的关键问题[J]. 无损检测(12):46-50+53.
- [22] 陈丽萍, 李岑. 数据采集系统的发展与研究[J]. 电脑知识与技术. 2015(17): 4-5.
- [23] 张瑜. 数据采集系统的软件设计[D]. 西安电子科技大学, 2014.
- [24] 王建群, 南金瑞, 孙逢春, et al. 基于LabVIEW的数据采集系统的实现[J]. 计算机工程与应用(21):122-125.
- [25] 金开军, 李疆. 基于无线传感器网络的数据采集系统研究[J]. 现代电子技术(10):80-82+86.
- [26] 马亚文. 网络协同试验系统及其传输延迟问题研究[D].
- [27] 井云鹏, 范基胤, 王亚男, 等. 智能传感器的应用与发展趋势展望[J]. 黑龙江科技信息. 2013(21): 111-112.
- [28] 魏家严, 韩晓健, 王建明. 基于LabVIEW的结构实验数据采集系统的应用[J]. 微计算机信息(34):116-117.
- [29] 赵亮. 建筑能源系统物联网数据监测与传输质量保障方法[D]. 大连理工大学, 2014.

医药工业洁净厂房的照明设计

■ 丁敏 张永林 [电气]

摘要: 医药工业洁净厂房的照明设计是电气设计中的重要组成部分, 本文将结合工程设计实践, 对医药工业洁净厂房各类照明设计过程中需要注意的问题做简要分析, 为今后相关设计借鉴参考。

关键词: 医药工业; 照度标准; 正常照明; 备用照明; 疏散照明

1 引言

医药工业洁净厂房具有房间分隔众多, 出入通道迂回曲折等特点, 环境相对密闭, 大部分洁净室又处在无窗的环境中, 因此主要依靠人工照明。合理的照明设计可以增加工作人员的舒适度和安全度, 减少失误, 是安全、高效生产的重要保证。

根据GB50034-2013《建筑照明设计标准》第3.1.2条关于照明的分类, 结合医药工业洁净厂房的具体情况, 照明种类主要为正常照明和应急照明两类, 其中, 应急照明又包括备用照明和疏散照明。本文将对医药工业洁净厂房各类照明设计过程中需要注意的问题做简要分析。

2 正常照明

正常照明是设置在室内工作及相关辅助场所, 用于确保正常工作或活动进行的照明。在正常照明的控制设计中, 需要满足与安防系统和视频监控系统的联动要求, 当安防系统和视频监控系统需要灯光联动时, 应检查灯光打开后图像质量是否达到设计要求。在正常工作照明环境条件下, 图像质量不应低于现行国家标准。

2.1 正常照明的照度标准

由于洁净室无窗或者虽有窗而密闭, 对于人

的心理和生理可能带来一定的影响, 因此洁净室的照度标准高于一般生产车间。GB50457-2019《医药工业洁净厂房设计标准》第3.2.6条规定: “主要工作室一般照明的照度值宜为300lx; 辅助工作室、走廊、气锁、人员净化和物料净化用室的照度值宜为200lx。”同时, GB50034-2013《建筑照明设计标准》中对制药工业的照度标准作出了明确规定, 见表1。

表1 制药工业一般照明标准值

房间或场所	参考平面及其高度	照度标准值 (lx)
制药生产: 配制、清洗灭菌、超滤、制粒、压片、混匀、烘干、灌装、轧盖等	0.75m水平面	300
制药生产流转通道	地面	200
更衣室	地面	200
技术夹层	地面	100

2.2 正常照明的光源选择

医药工业洁净厂房自然通风少, 一般都采用机械或空调送排风方式, 风口数量及安装位置限制了灯具的数量和安装位置。为满足照度标准且减少灯具数量, 可选取光效高, 发热量小, 光谱分布接近于自然光的三基色荧光灯对于有些层高较高的洁净室。当一般荧光灯照明很难达到照度要求时, 可采用其他色温及显色性好、光效更高的光源; 对于某些生产工艺对光源有特殊要求的洁净室, 或荧光灯对生产工艺和测试设备有干扰时, 也可采用其他光源。近年来, 随着LED光源

作者简介: 丁敏, 女, 助理工程师, 2018年毕业于天津大学电气工程及其自动化专业, 现就职于航空工业规划医药工程设计研究院。

技术的不断进步，其光效更高、能耗更少、使用寿命更长等特点使其在各个领域的应用也越来越广泛。尤其是LED光源不含汞，无污染，没有紫外线辐射和红外线干扰，可以避免某些药物生产过程中受紫外线辐射而变质等情况，所以在医药洁净厂房照明设计中越来越多地择LED光源。

3 备用照明

GB50034-2013《建筑照明设计标准》第3.1.2条第二款中指出：“当正常照明电源失效时，需确保正常工作或活动继续进行的场所应设置备用照明。”医药洁净厂房的生产活动主要依赖人工照明，其中有存放有毒有害、易燃易爆物质的场所，如正常照明因电源故障而停电，可能由于误操作或不能进行必要的操作而引发火灾、爆炸和中毒等事故，将会危害工作人员人身安全，带来严重的财产损失，因此GB50457-2019《医药工业洁净厂房设计标准》第11.2.7条规定：“医药工业洁净厂房内应根据需要设置备用照明。”

3.1 备用照明的照度标准

根据GB50457-2019《医药工业洁净厂房设计标准》第11.2.7条，“备用照明应满足所需要的场所或部位活动和操作的最低照明。”在条文解释中进一步指出“一般场所备用照明的照度不应低于正常照明照度标准的1/10。”对于消防控制室、应急电机室、配电室及电话机房等特殊房间，则要求其主要工作面上的备用照明的照度不宜低于正常照明的照度值，来保证消防工作的正常进行。

3.2 备用照明的灯具布置

GB50457-2019《医药工业洁净厂房设计标准》第11.2.7条的条文解释：“为减少灯具重复设置，节省投资，备用照明可作为正常照明的一部分。”据此可以在需要设置备用照明的洁净工作室中的正常照明灯具中，均匀选取合适数量的灯具作为工作室的备用照明来满足对备用照明的照度要求，即这部分灯具平时由正常电源供电，当正常电源因故障中断时，将其切换至由应急电源供电。在实际设计中，也可将兼做备用照明的这部分灯具选用自带蓄电池的灯具，当正常照明工作时蓄电池处于充电状态，一旦正常照明因故障断电，蓄电池立即切换为放电状态为备用照明

灯具供电。

4 疏散照明

疏散照明是设置在人员密集场所、疏散通道和出入口等处，确保在正常照明电源失效后人员安全疏散的一种应急照明，主要包括在建筑物的人员密集场所、入口处、走廊、楼梯间、消防相关设备用房等处设置的应急照明，和走廊、楼梯间等公共区域设置的安全疏散方向指示灯、出入口设置的安全出口指示灯。医药洁净厂房经常需要使用各种易燃易爆的化学危险物质，火灾隐患较大，又由于工艺和洁净度的需要，其建筑布局复杂，出入通道曲折迂回，给事故发生后人员疏散带来了诸多不便，因此合理设置疏散照明显得尤为重要。GB50457-2019《医药工业洁净厂房设计标准》中也将“在安全出口和疏散通道及转角处设置疏散标志”列为强制性条文。设计时也应注意在劳动密集型生产车间以及有人员停留而又完全依赖人工照明的场所，设置疏散标志。

4.1 疏散照明的照度标准

结合GB50016-2014《建筑设计防火规范》第10.3.2条和GB51309-2018《消防应急照明和疏散指示系统技术标准》3.2.5条的相关要求，以及医药洁净厂房的设计实际，对医药洁净厂房内疏散照明的地面最低水平照度规定总结见表2。

表2 医药洁净厂房相关场所照明灯的部位及其地面水平最低照度表

序号	设置部位或场所	地面水平最低照度
1	楼梯间、前室或合用前室、避难走道	不应低于5.0lx
2	消防电梯间的前室或合用前室	
3	人员密集厂房内的生产场所	不应低于3.0lx
4	疏散走道、疏散通道	不应低于1.0lx
5	安全出口外面及附近区域、连廊的连接处两端	

4.2 疏散照明的灯具选择

GB51309-2018《消防应急照明和疏散指示系统技术标准》中第3.2.1条第4款：“设置在距地面8m及以下的灯具的电压等级及供电方式应符合下列规定：

- (1) 选择A型灯具；

(2) 地面上设置的标志灯应选择集中电源A型灯具；

(3) 设置消防控制室的住宅建筑，疏散走道、楼梯间等场所可选择自带电源B型灯具。”其中A型灯具是指主电源和蓄电池电源额定工作电压均不大于DC36V的消防应急灯具。考虑到火灾发生时，灭火用水很容易浸湿灯具使外壳带有高电压，为避免人员在疏散过程中触电，或救援人员在灭火扑救过程中通过消火栓及其水柱形成导电通路而发生电击事故，要求设置在此高度范围内的灯具采用电压等级为安全电压的A型灯具。

4.3 疏散照明的灯具布置

4.3.1 疏散照明灯具的布置规定

GB51309-2018《消防应急照明和疏散指示系统技术标准》中第3.2.5条规定了照明灯应采用多点、均匀布置方式，建、构筑物设置照明灯的部位或场所疏散路径地面水平最低照度应符合相应场所的照度标准规定（见3.1）。

4.3.2 疏散标志灯具的布置规定

疏散标志灯应保证人员在疏散路径的任何位置、在人员密集场所的任何位置都能看到。

在疏散走道上设置的方向标志灯时，可依据GB50016-2014《建筑设计防火规范》中第10.3.5条：“灯光疏散指示标志的间距不应大于20m；对于袋形走道，不应大于10m；在走道转角区，不应大于1m。”同时GB51309-2018《消防应急照明和疏散指示系统技术标准》中第3.2.9条又对此作出了更加细致的划分和补充：“当标志灯的标志面与疏散方向垂直时，设置间距不应大于20m；当标志灯的标志面与疏散方向平行时，设置间距不应大于10m。”如图所示。

在开敞空间场所的疏散通道设置疏散标志灯时应按照GB51309-2018《消防应急照明和疏散指示系统技术标准》中指出的：“方向标志灯的标志面与疏散方向垂直时，特大型或大型方向标志灯的设置间距不应大于30m，中型或小型方向标志灯的设置间距不应大于20m；方向标志灯的标志面

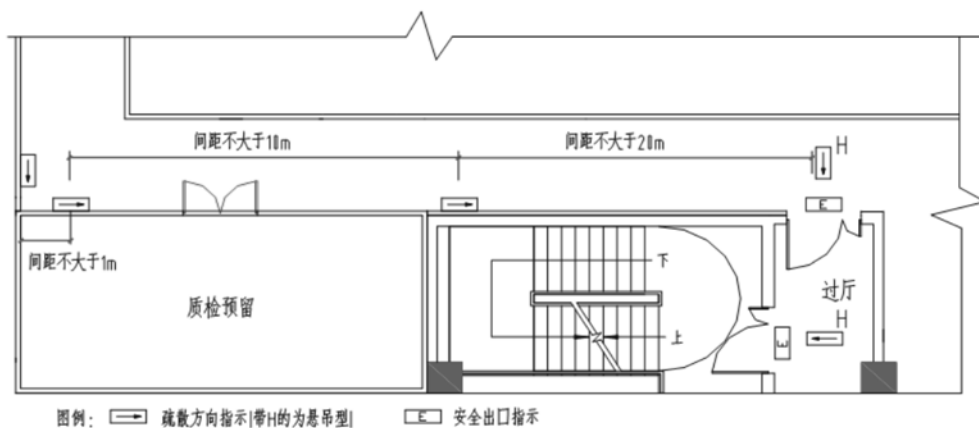


图 疏散走道设置疏散标志灯具示意图

与疏散方向平行时，特大型或大型方向标志灯的设置间距不应大于15m，中型或小型方向标志灯的设置间距不应大于10m。”

5 结语

医药工业洁净厂房的照明设计作为电气设计中的重要组成部分，承担着为药品生产提供优质、稳定、安全环境的重要任务，舒适、安全的照明环境不仅能满足日常生产需求、提高工作人员的工作效率，更重要的是在事故发生时，也能最大限度地保障人民的生命安全。这就需要在设计的过程中严格遵循国家现行的有关规范，同时因地制宜，结合使用需求，与各专业协调统一，用更科学、更节能的方法实现更合理的设计方案。

参考文献

- [1] 中国建筑科学研究院. GB50034-2013 建筑照明设计标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [2] 中国石化集团上海工程有限公司. GB50457-2019 医药工业洁净厂房设计标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2019.
- [3] 公安部天津消防研究所, 公安部四川消防研究所. GB50016-2014 建筑设计防火规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2014.
- [4] 应急管理部沈阳消防研究所, 上海市公安消防总队. GB51309-2018 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.

低压配电安全设计探讨

■ 高涵 牛犇 [电气]

摘要: 低压用电安全程度是衡量一个国家科技发达水平和生产文明程度的标志之一,也是低压配电系统设计及运行的重要内容。近年来,我国在安全用电方面虽然取得了很大进步,但依然存在改善空间。本文分析了低压用电的安全隐患,提出了降低低压用电安全事故的相关建议,希望对低压配电的安全设计予以借鉴。

关键词: 低压用电安全; 剩余电流保护; 保护接地

1 引言

低压用电安全程度是当今衡量一个国家科技发达水平和生产文明程度的标志之一,也是电网管理的重要内容。近年来,我国在安全用电方面取得了很大进步,由于低压用电安全问题导致的死亡率大幅下降,但与低压用电安全程度较高的国家相比,还存在一定差距。

在我国,电气火灾比例一直高于其他原因引发的火灾,比例大约为30%,在重特大火灾中占比更高达40~50%。其中,由于低压用电安全问题引发的重特大火灾居高不下,如2011年北京大兴旧宫南小街由于电动车充电器引发的火灾、2012年天津蓟县莱德大厦由于空调电源线短路引发的火灾、2015年河南平顶山一老年公寓及2018年哈尔滨一温泉酒店均因电气线路短路引发火灾。火灾在造成人员伤亡的同时,也带来了巨大的经济损失。相比之下,发达国家电气火灾占比仅有8~17%,这说明我国的低压用电安全问题还存在较

大的改善空间,以尽大程度的减少电气火灾和触电事故的发生,对我国居民的生命安全和财产安全都至关重要。

2 低压配电的安全设计

2.1 剩余电流保护

剩余保护是防止触电事故发生的重要防线,低压配电系统的剩余电流保护装置有很多名称和种类,现趋向统一,我国统一名称为剩余电流动作保护器(Residual Current operated protective Devices, RCD)。RCD是为了防止人身触电和剩余电流火灾等事故而研制的一种新型电器。它能在设备发生“漏电”时迅速断开电路,保护人身和财产的安全。

RCD按动作方式分为电磁剩余电流保护器、电子剩余电流保护器;按功能分为剩余电流断路器、剩余电流继电器、移动式剩余电流保护器、固定安装的剩余电流保护插座等;按使用场合分为专业人员使用的剩余电流保护器、家用剩余电流保护器;按动作时间分为一般型剩余电流保护

作者简介:高涵,女,助理工程师,2018年毕业于天津大学电气工程专业,现就职于航空工业规划动力工程设计研究院。

器、延时型剩余电流保护器。

2.2 低压系统的接地型式

标准中低压系统的接地型式分为3种：

(1) TN系统

①TN-C系统，在全系统内N线和PE线是合一的（PEN），装置的PEN线可另外增设接地。

②TN-S系统，在全系统内N线和PE线是分开的，装置的PE线可另外增设接地。

③TN-C-S系统，系统中的一部分N线和PE线是合一的，装置的PEN或PE线可增设接地，对配电系统的PEN线和装置的PE线也可另外增设接地。

(2) TT系统

电源端有一点直接接地，电气装置的外露可导电部分应接到在电气上独立于电源系统接地的接地极上。

(3) IT系统

电源端系统的所有带电部分应与地隔离或系统某一点（一般为中性点）通过足够高的阻抗接地。

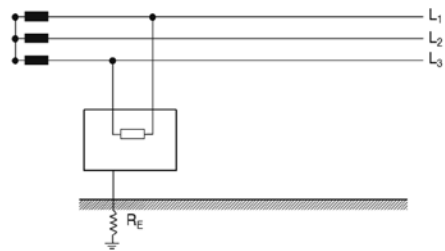


图3 IT系统

在TN-C供电系统中，PEN线兼起PE线和N线的作用，可节省一根导线，比较经济。但从电气安全的角度，这个系统存在以下问题：如果系统为一单相回路，当PEN线中断时，设备金属外壳对地带有220V的故障电压；如PEN线穿过RCD，接地故障电流产生的磁场在RCD内互相抵消而使RCD误动或拒动，所以在此系统内不能装用RCD，失去一道有效的防护屏障；PEN线因通过中性线电流产生电压降，从而使所接设备的金属外壳对地带电。因此，除特殊情况之外，TN-C系统已很少采用。

TN-S系统的特点是：电源端中性点接地后中性线N与保护接地线PE分开，两者不再有任何电气连接。该系统中，在正常情况下，中性线N承载三相不平衡电流而保护接地线PE不带电。PE线连接的设备外壳及金属构件在系统正常运行时始终不会带电。因此，TN-S接地系统明显提高了人和物的安全性。此系统常用于绝大多数的工业与民用建筑，例如：对供电连续性或防电机要求较高的公共建筑、医院、住宅等民用建筑；单相负荷较大或非线性负荷较多的工业厂房；有较多信息技术系统以及电磁兼容性（EMC）要求较高的通信局站、计算机站房、微电子厂房及科研、办公、金融楼等场所；有爆炸、火灾危险的场所等。

TN-C-S系统在变电所与建筑物之间采用PEN导体，但进建筑物时PEN导体重复接地，之后N与PE导体分开，两者不再有任何电气连接，可有效降低PEN线较长造成的对地电位抬升，因此TN-C-S系统适用于变电所与建筑物较远的用电场所。

TT供电系统因电气装置外露可导电部分与电源端系统接地分开单独接地，装置外壳为地电位且不会导入电源侧接地故障电压，防电击安全性优于TN-S系统，但需限制用电装置可导电外壳的预期故障电压（例如装用RCD），适用于未附设

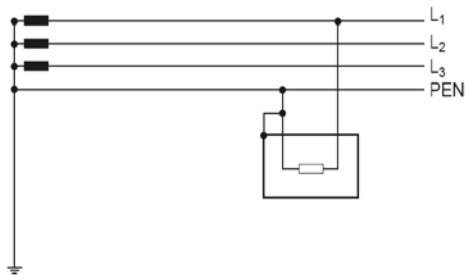


图1(a) TN-C系统

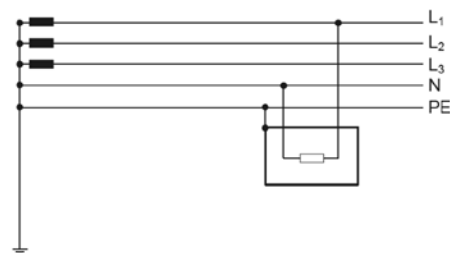


图1(b) TN-S系统

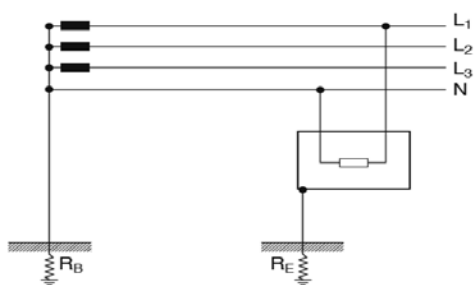


图2 TT系统

配电变压器的建筑和场所的电气装置,尤其适用于无总等电位联结的户外场所,例如户外照明、户外演出场地、户外集贸市场等场所的电气装置。

IT系统因其一次接地故障电流很小,故障电压很低,不致引发电击、火灾、爆炸等危险,供电连续性和安全性最高,因此适用于不间断供电要求较高和对接地故障电压有严格限制的场所,如应急电源装置、消防、矿井下电气装置、医院手术室以及有防火防爆要求的场所。但因一般不引出N导体,不便于对照明、控制系统等单相负荷供电;且其接地故障监测和维护管理较复杂而限制了在其他场所的应用。

因此,低压系统中TN-S系统较为普遍,并且在实施等电位联结和配合RCD使用的情况下,在发生接地故障时,可以有效减小设备外壳的接触电压。

3 低压用电安全隐患分析

3.1 插排和插座

插排和插座的接线与安装已经得到广泛的重视,在接地及剩余电流方面都进行了充分考虑,并有较为成熟的生产及安装流程。不过由于插座和插排而引发的触电及电气火灾事故仍然较多,因此,还需要重视如下几个问题。

(1) 插排导线绝缘受损

随着大功率用电设备的不断增多,插排存在多种大功率电器同时使用的情况,电线的超负荷工作导致温度升高过多烧损电线绝缘层,继而引燃插座的外壳及周围可燃物。因此,加粗插排的内部接线十分必要。在2017年新提出的插座行业的国家标准中将内部接线的最小截面由之前的0.75mm²加粗到1mm²。通过实验测试,对两种不同电源铜芯截面积的使用情况进行研究,表中显示了相同负荷功率工作1h的情况下两者温度的对比。

表 相同负荷功率工作下不同铜芯截面积的温度对比

负载 (W) 温度 (°C)	2500	3400	10000
铜芯截面积 (mm ²)			
0.75	45.1	70	开始冒烟并产生火花
1	42.3	51	轻微软化

由表可见,当负荷功率由2500W上升到3400W后,1mm²截面积的铜芯导线显示出了明显的优势。目前常见于连接插排使用的家用电器主要有:电吹风1500W、电磁炉2000W、电饭煲750W、电水壶700W、电脑350W、组合音响250W等,均属于功率较大的电器。因此,重视插排导线截面的选择与检测至关重要、插排外壳也应具备较高的耐受温度、以及有意识避免大功率电器的同时使用。

(2) “万能插座”依然存在

“万能插座”是指插孔可同时兼容两极或三极,甚至英标、美标、欧标插头兼用,曾在市场上非常受欢迎。“万能插座”插孔较大,插座接片与电器插头接触面积过小,容易使接触片过热引发火灾事故。在2010年,此种插座已被禁止,但生活中此种插座仍普遍存在。新国标要求生产两极和三极插孔分开组合形式(俗称新五孔插座)的插座,这种插座的插头与插座的接触面积更大,接触更紧密,降低了触电隐患。两者对比如图4所示。



图4(a) 万能插座



图4(b) 五孔插座

另外,不带PE线的插排在日常生活中还仍可见,即插排上有三孔插孔,但插排自带的插头上却只有两极产品。由于插座缺少一根PE线,在使用过程中,一旦电器内部某个部件绝缘损坏,电器可导电外壳将带有故障电压,极易引发触电事故。

(3) 插排及插座的乱搭乱接也存在安全隐患

随着电动车使用数量逐渐增多,电动车充电桩的数量变得相对紧俏。当前出现了一些由家中插排搭接出去接上充电器,为电动车充电的情况。这看似解决了电动车充电的问题,实际上却存在很大的安全隐患。一方面,电动车充电功率较大,会引起插排的过载;另一方面,插排在室外环境使用下,若有溅水会引起“漏电”甚至短路,不仅会对电动车造成较大的危害,更可能引发触电和火灾等用电安全事故。

3.2 电热水器

“夺命澡”的事故屡屡出现,罪魁祸首大多是配电线路及电热水器“漏电”,虽然近几年在

热水器的设计和安装上做了很大的完善,但也没有引起人们的普遍重视,还有很多人继续使用着没有剩余电流保护的电热水器。

不过,加装了剩余电流保护的电热水器也并不是绝对安全,剩余电流保护的動作电流一般为30mA,在没有等电位联结、接线错误、接地电阻达不到要求或外部窜入故障电压的情况下,也会有电流流过人体,从而造成危害。如2019年在某地区发生多起洗澡触电事故,由于分表箱内电表故障被击穿,表体外壳带危险电压,导致分表箱箱体带电,通过PE线将危险电压传至其他房浴室插座上,最后由浴室插座地线将危险电压传至电热水器外壳上,使电热水器外壳带有危险电压,导致触电发生。

因此,等电位联结非常重要,是设计与施工方面的重中之重,应引起足够的重视。

3.3 热得快

热得快(1~1.5kW)是一种常用的电加热器,因其快捷方便受到很多人的青睐。但是热得快的使用存在很多安全隐患,正常使用的情况下,将热得快插入待加热的液体中,若无人看管的情况下,一旦液体被烧干,热得快会在空气中干烧导致金属外管损坏,引起“漏电”甚至短路。

3.4 电热毯

在冬天没有暖气的地方电热毯使用非常普遍,但人们对各类电热毯的工作性能及正确操作缺乏了解,平时也较少对电热毯进行保养,因此由电热毯引起的触电及火灾事故频发。

电热毯长期在高温高热与低温潮湿互相交叉的环境下使用,电热丝容易产生老化脆裂,导致电气绝缘性能的逐年下降,产生电阻丝“漏电”的安全隐患。在使用时,如果任意折叠电热毯、电热毯上存在污物后没有及时清理干净、或者一旦受潮受潮不及时人为烘干,而强行通电后再作除湿去潮处理,都会给电热毯的安全使用埋下重大隐患。此外,电热毯在使用过程中被覆盖或温控故障,会导致热量积累过多,进而引发火灾事故。正确的使用方法是选购品牌和质量有保证的产品,定期请专业电气人员,对电热毯的电气绝缘性能进行安全检测,在符合安全性能的前提下使用。

4 降低低压用电安全事故的建议

降低低压用电安全事故需要国家、社会、使

用者和电气设计从业人员共同努力。

在国家层面,加强低压电器安全管理和督察,相关政府部门应大力打击仍在市面上销售存在低压用电安全隐患电器的厂家及制造商,开放相关投诉建议渠道,从源头降低低压用电安全隐患。对于搭接乱接、尤其是农村还存在的接地及剩余电流保护装置安装不规范等现象进行常态化督查,及时纠正错误,防患于未然。

在社会层面,加强用电安全教育和宣传,加强用电安全的教育,有助于全民提高用电安全方面的认知;同时,加强用电安全的常态化宣传,充分利用包括宣传海报、LED宣传屏幕、广播、手机等多元化的渠道,宣传用电安全的知识和法规,培养良好的用电习惯。在使用者层面,提升使用者用电安全意识,在购买电器时,选择正规厂家生产的产品,在质量合格的前提下,对一些参数和注意事项加以关注。同时需要了解,任何高质量的电器,都有一定的安全系数和使用年限,若超出安全使用极限应该及时更换。

在电气设计从业人员层面,设计时在满足安全用电基本原则的前提下,还应该关注设计细节,如:根据不同用电场所的具体情况,选择合理的接地制式;完善等电位联结设计,建筑物实施总等电位联结及楼层等电位联结,电源进线及楼层配电装置保护接地导体必须与建筑物接地装置、金属构件、各类金属管道等可靠连接;浴室等重点部位妥善实施辅助(局部)等电位联结;对于可能造成人身电击事故及电气火灾的配电回路装设剩余电流保护;充分考虑人们可能存在的不规范用电习惯,尽量降低潜在的安全隐患。

参考文献

- [1] 周洪昌. 配电系统的安全用电与漏电保护[J]. 建筑电气, 1993.
- [2] 肖万山. 电气设备的用电安全问题探究[J]. 现代工业经济和信息化, 2018.
- [3] 张燕. 住宅建筑用电安全与节能的几点措施[J]. 材料设备, 2008.
- [4] 李强. 做好接地系统设计的几点建议[J]. 民营科技, 2011.
- [5] 工业与民用供配电设计手册(第四版)(上下册)[M]. 2016

可燃、有毒气体探测报警系统在垃圾焚烧发电项目中的应用探讨

■ 杨峰 王世忠 [电气]

摘要: 本文介绍了可燃、有毒气体探测报警系统的构成、系统的型式、探测器的检测原理;讨论了垃圾焚烧发电项目中可燃(有毒)气体探测器设置的场所以及探测器的选型与安装等应用,希望给垃圾焚烧发电项目设计予以参考。

关键词: 可燃气体探测器;有毒气体探测器;可燃、有毒气体探测报警系统;垃圾焚烧发电项目

0 引言

近年来,在“垃圾围城”日益严峻的形式下,垃圾焚烧发电作为“减量化、无害化、资源化”处置生活垃圾的方式,引起了国家高度重视与关注。根据《“十三五”全国城镇生活垃圾无害化处理设施建设规划》的指示,到2020年城镇生活垃圾焚烧处理能力要占总无害化处理能力的50%以上。在大力发展建设垃圾焚烧发电厂的同时,由可燃气体、有毒气体引起的安全事故也屡屡发生,故可燃、有毒气体探测报警系统的设置与应用是非常必要的。

1 可燃、有毒气体探测报警系统型式

可燃、有毒气体探测报警系统一般由可燃(有毒)气体报警控制器、可燃(有毒)气体探测器和声光报警器组成。根据系统传输方式的不同,可将可燃、有毒气体探测报警系统分为总线式和分线式两种型式。总线式即为多个探测器通过1根四总线与控制器连接的形式;分线式即为每个探测器均需1根线缆与控制器连接的形式。总线式与分线式相比,具有结构简单、线缆施工便捷以及投资较低的优势;分线式系统具有更高可靠性,但布线量大的特点。

作者简介:杨峰,男,助理工程师,2015年毕业于西安建筑科技大学建筑电气与智能化专业,现就职于航空工业规划市政工程设计研究院。

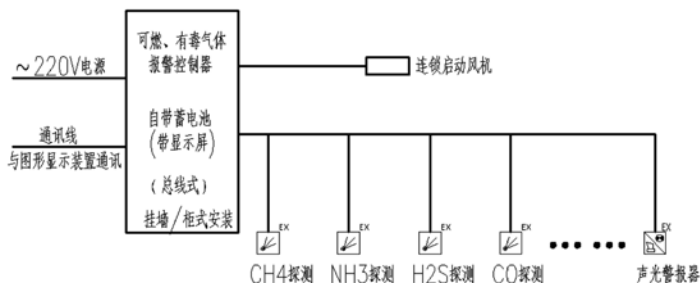


图1 总线式气体报警系统

2 可燃、有毒气体探测器检测原理分类

目前市场上常见的气体探测器根据检测原理不同,分为催化燃烧型、半导体型、电化学型、红外型、光致电离型(PID)5种。

2.1 催化燃烧型探测器

催化燃烧传感器是目前使用最广的可燃气体探测传感器。它包含一对很小的被称为“珠”(bead)的元件,其中一颗是检测元件,由一个电加热的铂金线圈制成,外面覆盖了两层物质,里层是陶瓷基料,外层则是催化剂。另一颗为补偿元件,它跟检测元件类似,只是没有催化剂层。两个元件分别位于惠斯通电桥电路对立的两个支路上,检测元件与可燃气体发生反应,补偿元件则不会反应,只对外部温度或湿度变化起补偿作用。

正常时,对铂金线圈通以电流,使检测元件保持450~500℃高温,当接触可燃气体后,检测

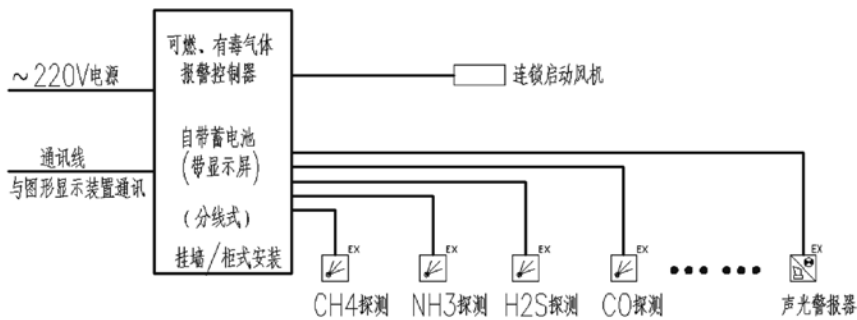


图2 分线式气体报警系统

元件发生催化燃烧反应，使铂金线圈温度升高，电阻值上升，通过惠斯通电桥精确测量检测元件的阻值变化，就能计算出目标气体的浓度。

2.2 半导体型探测器

半导体传感器一般由气敏元件、加热丝和外罩组成，气敏元件是一层沉积在硅片上的金属氧化物薄膜，两端以金电极连接。氧化物表面吸收样品气体后，进行氧化还原反应，导致金属氧化物电阻发生变化，且能反映到样品气体的浓度变化上。气敏元件被加热到200~250℃之间的恒定温度，以增加反应速率，降低环境温度变化所带来的影响。

2.3 电化学型探测器

电化学传感器是通过电化学原理检测特定气体的浓度。被检测的气体通过传感器下端的薄膜扩散到传感器的电解液中，电解液中有一个测量电极、一个反应电极和一个参考电极。通过选择适当的电压、电解液和电极材料，被检测的气体在测量电极上会发生化学反应并产生微电流。此电流与目标气体的浓度成正比。传感器输出的电流经过放大，温度补偿和参数修正就能得到特定气体的浓度。

2.4 红外型探测器

点型红外传感器是基于双波IR吸收原理而工作的，它的基本组成包括红外源、采样气室、滤光器和探头。其中一个探头的波长被设为被测气体的吸收峰值，另一个则不吸收。被测气体通过传感器顶端的颗粒过滤膜进入采样气室，光源射出的红外光中具有特定波长的部分被被测气体吸收，剩余部分被探头测出。通过比较两个不同探头探测的波长，进而确定被测气体的浓度。

2.5 光致电离型（PID）探测器

PID传感器是采用光离子电离气体的原理进行气体检测的。其使用一个紫外灯（UV）光源将被测气体打成可被检测到的正负离子，探测器检测到离子化的气体电荷并将其转化为电流信号，

经放大及运算后，显示为气体的ppm浓度值。PID传感器是非破坏性传感器，离子化检测后，气体重新还原为原来的气体或蒸汽。

2.6 各种检测原理的探测器主要优缺点

探测器优越点比较如表1所示。

3 可燃、有毒气体探测报警系统在垃圾焚烧发电项目中的应用

3.1 垃圾焚烧发电项目中可能产生可燃、有毒气体的场所

焚烧间：当点火及助燃燃料采用燃气时，用于焚烧炉排点火的燃气输送管道处、阀门等处，可能产生燃气泄漏；

蓄电池室：蓄电池在充放电的过程中，可能产生氢气；

氨水制备间、加氨间：在生产和储存期间，可能会有氨气逸出；

渗沥液沟道、沟道送排风机间、渗沥液收集间、垃圾料斗平台等处：这些区域和垃圾池之间互通或间接连通，垃圾在堆放过程中可能产生甲烷和硫化氢气体；

油泵间：其内储存柴油，柴油挥发，会产生柴油蒸汽；

污泥脱水间、污泥设备间：污泥经过发酵，会产生甲烷和硫化氢气体；

调节池及厌氧池：渗沥液处理设施，在厌氧反应中，会产生甲烷和硫化氢气体；

硝化池：曝气设施，在曝气过程中会有氨气释放。

3.2 可燃、有毒气体的性质

可燃、有毒气体性质见表2和3。

表2 可燃气体的性质

物质名称	分子式	爆炸性级别	引燃温度组别	相对密度	爆炸下限(LEL)
氢气	H ₂	IIC	T1	0.07	4
甲烷	CH ₄	IIA	T1	0.55	5
硫化氢	H ₂ S	IIB	T3	1.17	4
氨气	NH ₃	IIA	T1	0.59	15
柴油	-	IIA	T3	7	0.6

表1 检测原理的探测器主要优缺点

探测原理	优点	缺点
催化燃烧型	1) 传感器结构简单, 成本低; 2) 技术成熟, 可靠性好; 3) 对绝大部分可燃气体都有反应; 4) 线性好, 在LEL范围内有很好的线性; 5) 重复性好; 6) 响应速度快, 受环境的温湿度影响小; 7) 目前广泛应用于工业场所检测可燃气体。	1) 只对可燃性气体反应; 2) 工作温度高, 一般元件表面温度400~500℃; 3) 催化元件功耗较高; 4) 元件易受硫化物、卤素化合物等影响而中毒, 降低使用寿命; 5) 必须工作在有氧环境; 6) 不适合探测高闪点的气体。
半导体型	1) 低功耗; 2) 低成本; 3) 灵敏度高; 4) 可燃、有毒气体均能检测; 5) 在检测未知气体方面有着极大的优势	1) 线性差, 不宜作为精准测量, 难以通过计量检测; 2) 受环境湿度影响大; 3) 气体选择性差。
电化学型	1) 灵敏度高; 2) 线性好; 3) 重复性好; 4) 低功耗; 5) 分辨率高, 多用于检测PPM; 6) 选择性好, 能测量数百种气体, 在有毒有害气体的测量上具有不可取代的地位。	1) 寿命短; 2) 必须工作在有氧环境; 3) 不适用于高温、低温、低湿度的环境。
红外型	1) 使用寿命长, 功耗低; 2) 能在高浓度气体或无氧环境下工作; 3) 精度高, 响应快; 4) 不会中毒, 低维护性, 无需频繁标定; 5) 环境适应性好, 特别适合在油田、海上平台等恶劣环境下使用; 6) 可以探测碳氢类可燃气体和二氧化碳。	1) 成本较高; 2) 不能探测氢气。
光致电离型(PID)	1) 具有较高灵敏度, 一般可检测到ppm级低浓度有机气体, 高精度的PID传感器甚至可以检测到ppb级别的有机气体; 2) 对被测气体无破坏性; 3) 具有广谱性, 可检测绝大多数有机化合物气体和部分无机化合物气体。	1) 成本较高; 2) 只能检测VOC总量; 3) 配件更换周期短, 传感器内部栅极和UV灯易损坏。

表3 有毒气体的性质

物质名称	分子式	职业接触限值OEL(mg/m ³)			直接致害浓度IDLH(mg/m ³)
		最高容许浓度MAC	时间加权平均容许浓度PC-TWA	短时间接触容许浓度PC-STEL	
氨气	NH ₃	—	20	30	360
硫化氢	H ₂ S	10	—	—	430

注: 氨气和硫化氢气体既属于可燃气体又属于有毒气体, 应设置有毒气体探测器。

3.3 可燃、有毒气体探测器的设置

根据《石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计标准》GB/T50493-2019及《火灾自动报警系统设计规范》GB50116-2013相关要求, 氢气、甲烷和氨气为轻于空气的气体, 探测器应安装在释放源上方2m以内或被保护场所的顶部; 硫化氢为略重于空气的气体, 探测器应安装在释放源下方0.5~1m或被保护场所的下部; 柴油为重于空气的蒸汽, 探测器应安装在距地坪(或楼板)0.3~0.6m或被保护场所的下部。

焚烧间属于高大空间(一般大于30m), 主要释放源为燃气管道, 而燃气管道安装高度在6m左右, 故此处的甲烷探测器应在管道上方1m处安装, 并按照探测器的保护半径设置能更好地达到监测的目的。渗沥液沟道有可能会被渗沥液淹

没, 为避免硫化氢探测器被淹没, 此处硫化氢探测器应距地1m壁装; 而且由于此处人员罕至, 只需在出入口处以及中部等地设置几个硫化氢探测器进行采样报警即可。垃圾料斗平台与垃圾池同在一个高大区域内, 处于负压状态, 人员罕至, 且可燃气体基本不会达到爆炸下限, 故此设置的甲烷和硫化氢探测器只需选择几个有代表性的地方设置探测器即可, 一般在出入口、投料口处设置甲烷和硫化氢探测器进行采样报警。调节池、厌氧池和硝化池一般布置在厂区内, 气体泄露点在池顶的检修孔处, 在此处布置的甲烷、硫化氢和氨气探测器应在检修孔附近立杆安装, 高度为0.5m。其他未特别说明的场所, 其内设置的甲烷、氢气和氨气探测器应吸顶安装, 硫化氢探测器应距地0.5m壁装, 并应按照探测器的保护半径进行设置。

3.3 声光警报器的设置

为保障人员安全, 声光警报器一般设置在可能产生可燃、有毒气体场所的内部和门外。设置在内部的声光警报器的作用是在区域内可燃、有毒气体浓度超标时, 提醒区域内的人员紧急撤离; 设置在门外的声光警报器的作用是在区域内可燃、有毒气体浓度超标时, 提醒外边的人员不要进入。

声光警报器的设置数量应能使在该场所内任何地点的现场人员都能感知到报警信号为准。当场所内仅设置一个探测器时, 可选用与探测器

表4 可燃、有毒气体探测器的选择

物质名称	分子式	探测器的选择		
		探测原理	安装位置	防爆等级 (不低于)
氢气	H ₂	催化燃烧	蓄电池室	Gb EXd II CT1
甲烷	CH ₄	红外	渗沥液沟道、沟道送排风机间、渗沥液收集间、垃圾料斗平台、污泥脱水间、污泥设备间、调节池及厌氧池	Gb EXd II BT3 (同一区域内存在多种气体时, 按照危险程度较高的级别和组别选择电气设备)
硫化氢	H ₂ S	电化学		
氨气	NH ₃			氨水制备间、加氨间、硝化池	Gb EXd II AT1
柴油	-	半导体	油泵间	Gb EXd II AT3

注: 需要注意的是由于安装探测器的地方环境较差, 一般都选择防护等级不低于IP66的探测器; 在渗沥液沟道、沟道送排风机间、渗沥液收集间、垃圾料斗平台等具有腐蚀性的场所, 安装的探测器的防腐等级不低于F1级。

一体化的声光报警器; 当场所内设置多个探测器时, 建议选用独立的声光报警器。

3.4 可燃(有毒)气体报警控制器的设置

垃圾焚烧发电项目均设置有消防控制室(一般与中控室合用), 需设置可燃、有毒气体探测的场所较分散, 为节约成本便于施工, 一般选用总线式气体报警的型式。

可燃(有毒)气体报警控制器一般按区域(一个或几个被保护场所划分为一个区域)设置, 设置在被保护区域的门外, 以便人员在进入被保护区域前了解区域内的可燃、有毒气体的浓度, 保障人员的人身安全。

渗沥液沟道、沟道送排风机间、渗沥液收集间、氨水制备间、加氨间和蓄电池室分布较集中, 共用1台可燃(有毒)气体报警控制器; 焚烧间、垃圾料斗平台、油泵间分布较分散, 各设置1台可燃(有毒)气体报警控制器; 污泥脱水间和污泥设备间共用1台可燃(有毒)气体报警控制器; 调节池、厌氧池和硝化池共用1台可燃(有毒)气体报警控制器; 各个控制器均与中控室内火警图形显示装置通讯, 当发生警情时, 就地声光报警器、控制器和图形显示装置均发出声光报警。

3.5 可燃(有毒)气体报警系统联动设计

可燃气体和有毒气体的检测系统应采用两级报警。同一检测区域的有毒气体、可燃气体探测器同时报警时, 应遵循同一级别的报警中, 有毒气体的报警优先和二级报警优先于一级报警的原则。

可燃气体的一级报警设定值为20%LEL, 二级报警设定值为40%LEL。有毒气体的一级报警设定值为80%OEL(氨气设置为16mg/m³, 硫化氢设置为8mg/m³), 二级报警设定值为160%OEL(氨气设置为32mg/m³, 硫化氢设置为16mg/m³)。

焚烧间、垃圾料斗平台、沟道送(排)风机间、渗沥液收集间、调节池、厌氧池和硝化池等

场所设置有声光报警器, 当气体一级、二级报警时, 系统接到报警信号启动该区域内的声光报警器, 并将报警信号上传至消防控制室内的图形显示装置进行报警及显示。

蓄电池室、氨水制备间、加氨间和油泵间等场所设置有声光报警器和排风机, 当气体一级报警时, 系统接到报警信号启动该区域内的声光报警器和排风机, 并将报警信号上传至消防控制室内的图形显示装置进行报警及显示; 当气体二级报警时, 系统接到报警信号, 将报警信号上传至消防控制室内的图形显示装置进行报警及显示。

渗沥液沟道设置有声光报警器和送、排风机, 当气体一级报警时, 系统接到报警信号启动该区域内的声光报警器和送、排风机, 并将报警信号上传至消防控制室内的图形显示装置进行报警及显示; 当气体二级报警时, 系统接到报警信号, 将报警信号上传至消防控制室内的图形显示装置进行报警及显示。

二级报警时, 控制器和图形显示装置发出的声光报警应与一级报警时有明显区别。

4 结语

本文详细介绍了几种常用的气体探测器的工作原理及其优缺点, 并探讨了可燃(有毒)气体报警系统设计在垃圾焚烧发电项目中的应用, 对垃圾焚烧发电项目、智慧管廊、危废等项目的可燃(有毒)气体报警系统设计具有一定的参考意义。

参考文献

- [1] GB50116-2013《火灾自动报警系统设计规范》.
- [2] GB/T50493-2019《石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计标准》.
- [3] CJJ/T146-2011《城镇燃气报警控制系统技术规程》
- [4] GB50058-2014《爆炸危险环境电力装置设计规范》

垃圾焚烧发电厂管道支吊架设计 及现场常见问题

■ 张亢 林晶晶 [动力]

摘要: 在垃圾焚烧发电厂中,管道支吊架的合理设计是其安全、稳定、经济运行的重要因素。本文简述了支吊架设计要点,并结合垃圾焚烧发电厂现场施工常见问题对管道支吊架的设计提出优化建议。

关键词: 垃圾焚烧发电厂;管道支吊架;支吊架布置

0 引言

表 支吊架分类及作用

随着现代社会的不断发展,生活垃圾焚烧发电技术逐步成为世界各国处理生活垃圾的主流技术。在垃圾焚烧发电厂中,存在着大量用于输送极端温度及压力介质的管道。而作为管道系统重要组成部分的支吊架,其设计是管道设计的重要任务之一^[1-4]。

支吊架的错误选型及不合理布置会在电厂运行中破坏管道组成件,甚至会使设备受损,最终导致整厂被迫停车。因此,支吊架的合理布置及正确选型是保证垃圾焚烧发电厂管道及设备安全平稳运行的关键因素之一。本文结合垃圾焚烧发电厂管道支吊架实际施工过程中常见的几类问题,针对管道支吊架设计要点及注意事项作出详细的阐述。

编号	一级分类		二级分类	
	名称	用途	名称	用途
1	承重支吊架	用于承受管道及截止荷载的装置	恒力弹簧支吊架	用于管道垂直位移较大或需要限制转移载荷的地方
			可变弹簧支吊架	用于管道垂直位移较小的地方
			刚性支吊架	用于管道无垂直位移或垂直位移很小且允许约束的地方
2	限位支吊架	用于限制管道水平及纵向位移的装置	限位装置	用于管系中需要限制某一(些)方向位移的地方
			导向支架	用于引导管道位移方向或需要控制管道沿轴线转动的地方
			固定支架	用于管道上不允许有任何方向位移的地方
3	减震支吊架	用于制止管道摆动、振动或冲击的控制装置	减震器	用于需要控制持续性的流体振动的地方
			阻尼器	用于需要控制冲击性的流体振动和地震激励的地方

1 管道支吊架分类及其作用

管道支吊架是由管部、根部及二者之间的

连接件组成,其中,管部为安装在管道部分的部件;根部为固定在承载结构(承载结构可以为建筑结构、钢架或者设备)上的部件。作为垃圾焚烧发电厂管道设计的重要部件,管道支吊架的主要作用主要有:承载管道及介质荷载、限制管道水平及纵向位移以及缓解管道振动。详细的支吊架分类及作用如表所示。

作者简介:张亢,男,助理工程师,2018年毕业于山东大学动力工程及工程热物理专业,现就职于航空工业规划市政工程设计研究院。

2 管道支吊架设计要点

(1) 管道支吊架与管道同步设计

众所周知,管道应力分析是管道设计过程的重中之重^[5],它决定了管道及设备的安全性及稳定性。而管道支吊架的设计灵活多样,同样的管道布置会有多种不同的支吊架布置方案,支吊架设计方案的不同将会直接导致管系应力分布的不同。因此,支吊架的设计应与管道设计同步进行。再者,若在管道设计结束以后再行支吊架设计,将会推迟动力专业向土建专业提出条件的时间节点,延误土建专业的设计进度,以至于延长设计周期。因此,管道与支吊架设计环节的合理组织是设计过程中非常重要的方法问题。

(2) 管道支吊架间距的确定

管道支吊架间距的计算是管道支吊架设计的另一关键要点。只有合理选择支吊架的间距,才能达到既保证管道及设备安全可靠运行,又能提高设计质量,同时降低工程造价的目的。

在进行支吊架间距计算时,应满足如下要求:管道支吊架设置应满足管道最大允许跨度要求,水平管道支吊架最大间距应按强度条件及刚度条件计算决定,取其较小值强度条件为控制管道自重弯曲应力不超过设计温度下材料许用应力的一半。刚度条件为限制自重产生的弯曲挠度,一般管道设计挠度不应超过15mm;装置外管道的挠度允许适当放宽,但不应超过38mm;敷设无坡度的蒸汽管道,其挠度不宜超过10mm;其他有特殊要求的管道需采用更小的挠度值时,可按国家现行标准执行^[6]。

(3) 管道支吊架位置的确定

管道支吊架的布置位置是影响管道应力分析的重要因素之一,不同支吊架的布置方式,会直接影响管道应力分布状态。因此,在设计过程中要合理布置支吊架的位置^[7]。

在管道设计过程中,当有集中荷载时,支吊架应在靠近集中荷载的设置设置,以减少偏心载荷和弯曲应力;在敏感设备(水泵等)附近应设置支吊架,以防止设备接口承受过大的管道荷载,设置位置宜靠近设备管口;强烈振动的管道应单独设置支架,以避免振动传递;除振动管道外,应尽量利用已建构筑物的梁、柱作支架的生根点;基于维修方便,管道支吊架应设在不妨碍

管道与设备的连接和检修的部位;做柔性分析的管道,支吊架位置根据分析决定,并考虑支撑的可行性;管道的柔性过大时,应添加支吊架以避免应力过大或管子晃动和振幅过大;支吊架设置有特殊功能件时,在设置位置处管道与生根构件之间应有足够的空间。

3 管道支吊架安装过程常见问题剖析

即便在设计过程中严格遵守以上支吊架设计要点,在实际支吊架施工安装过程中也会遇到许多问题。本文结合多个大型生活垃圾焚烧发电厂建设项目,对常见的支吊架安装过程中存在的设计问题进行剖析。

(1) 高温管道支吊架材质选择错误问题

某生活垃圾焚烧发电项目日处理生活垃圾量达4500t/d,配置6台750t/d垃圾焚烧炉及配套烟气净化处理线,4台25MW凝汽式汽轮发电机组及配套直接空冷凝汽系统。余热锅炉出口额定蒸汽压力为4MPa,额定蒸汽温度为400℃。在该项目的设计过程中,主蒸汽设计温度为400℃,选择的主蒸汽管道支吊架管部形式为Z3型管夹滑动支座,管夹材质选择的是Q235-A。

根据《火力发电厂汽水管道支吊架设计手册》(2007版)中的要求,如图1所示,设计温度400℃的管道支吊架应选取材料代号为“R”的管夹,其管夹及支座材料为20号钢,螺栓材质为30CrMo合金,螺母扁螺母材质为35号钢。如果支吊架材料选错,可能导致管道支吊架部件,尤其是与管道直接接触的管部,在特定工作条件下机械性能不足,从而导致事故的发生。近些年,由于支吊架设计问题而造成的事故时有发生,支吊架材质选择已成为管道支吊架设计的一个热点问题。在垃圾焚烧发电项目的设计过程中,此类问题同样也是经常且反复出现。

因此,本文针对支吊架材质选择提出如下建议:对于与管道直接接触的管部,其材质应按照管道的设计温度来选用。若管部与管道焊接连接,应选取与管道材质有相容性的材质。另外,支吊架材料的许用剪应力不应大于材料在设计温度下许用应力的0.6倍;拉杆材料的抗拉许用应力应比该材料的许用应力降低不小于25%。

(2) 管道支吊架埋件预留不准确问题

管道支吊架是管道的承载部件,支吊架的根

管部(支架类)	管夹滑动支座 ($\leq 555^{\circ}\text{C}$)			Z3
名称	介质温度		300 $^{\circ}\text{C}$	(材料代号 S)
	555 $^{\circ}\text{C}$	540 $^{\circ}\text{C}$	450 $^{\circ}\text{C}$	
管夹、支座	(材料代号 H)		(材料代号 R)	Q235-B
螺 栓	12Cr1MoV	钢 20		
螺母扁螺母	25Cr2Mo1V	30CrMo		
滑动底板	25Cr2MoVA	钢 35		
滑 动 板	Q235-B			聚四氟乙烯

图1 支吊架材质随温度变化图

部需要固定在某一承载结构上。当支吊架的根部与此承载结构不易固定、连接时(比如金属支吊架根部与混凝土柱、梁的固定),需要增加适当的媒介。一般工程建设中会使用钢板作为连接媒介。而钢板与混凝土柱、梁的连接在设计过程中通常会采用预埋件的方式。这种在结构浇筑时预先安装(埋藏)在隐蔽工程内的构件主要由钢板和锚固筋组成,用作连接结构构件或非结构构件的固定用途。这种预埋件的方式不仅仅会提高设备、管道固定的稳定性,同时,也会大量减少后期安装过程中的人力物力。但这种方式在实际的施工安装过程中,经常遇到问题。

如图2所示,本文通过总结多个垃圾焚烧发电厂现场安装情况发现,在设计过程中出现遗漏、错位等不准确的问题。如图2(a)所示,在管道路由上并未预埋件,只能在后期管道及支吊架安装过程中,通过采用膨胀螺栓固定钢板的方式增加埋件;而图2(b)所展示的是预埋件错位的现象,在设计过程中确实是预留了埋件,但却与管道实际路由出现偏差;最后便是无用埋件,如图2(c)所示。这几种现场常见的埋件预留不准确的问题在施工安装过程中造成了资源的浪费以及成本的增加。造成埋件预留不准确的原因是多样化的,但是从支吊架设计角度来说,也确实有几点因素。其一,是在进行管道路由设计时,对于埋件的遗漏;其二,则是在后期管道路由发生变更的同时,未对其原本埋件进行变更。

因此,针对上述原因,本文建议,在进行垃圾焚烧发电厂的管道支吊架设计的过程中,动力专业加强与土建专业的交流,提资尽量准确减少反复;另一方面,对于管道布置时,尽可能地综合考虑各方面因素,减少后期对管道路由的变动。再就是设计过程中要做好各专业的会签工作,各专业间要充分交流,严谨校核。只有这样

才能最大程度的减少此类问题的发生。

(3) 管道支吊架布置混乱以及碰撞问题

在生活垃圾焚烧发电项目中,有许多走廊、房间是各种动力、给排水管道集中布置的空间,在这部分区域,由于管道种类繁多,支吊架种类多样,经常会发生管道与支吊架,及不同管道支吊架



图2 施工现场预埋件问题图

间的碰撞,造成不必要的设计变更及返工。

对于此类问题分析可知,由于管道集中布置区域的管道类型繁杂,功能多样,在设计过程中涉及到的专业较多,因此,各专业间相互配合难度较大,不可避免地会出现管道间碰撞、管道与支吊架碰撞,以及支吊架间的碰撞问题。那么在设计过程中,这类问题应如何避免呢?

在分析多个垃圾焚烧发电项目的设计图纸及现场施工经验后,认为在进行管道集中布置区域的设计工作时,应注意各专业间的沟通与交流;另外,对于管道布置,可采取分层布置方式,每层管道统一标高;其次,在管道分层布置的基础上,对于统一标高的各管道可采用联合支吊的支吊架布置方式。图3(a)与图3(b)所示的是两个不同垃圾焚烧项目现场的支吊架布置方法。由图可知,两个项目的部分管道在管道集中通过的区域均采用了联合支吊的支吊架布置方式。这种布置方式不仅可以减少材料的使用,还可以节省大量的安装人力及工作时长,并且也更加美观。但是,对于联合支吊的方式,由于每层各管道管径、介质均有较大差异,因此在确定支吊架间距时,一定要满足现行规范《管道支吊架 第1部分:技术规范》(GB/T 17116.1)的要求。

(4) 管道水平位移对支吊架影响问题

在生活垃圾焚烧发电项目中,有许多高温高

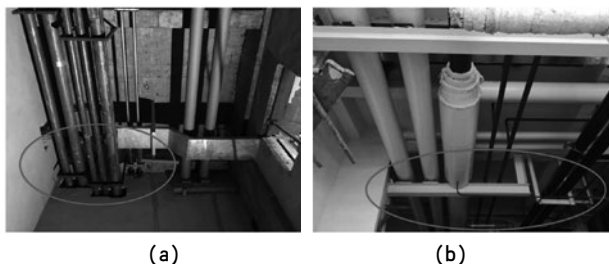


图3 管道集中布置区域支吊架布置图

压的压力管道在实际运行过程中会发生水平位移的现象。这种位移如果超过某一特定值便会对支吊架性能产生极大的影响甚至导致支吊架失效。

如图4所示,该管道为某日均处理垃圾量3000t,设计选用 $4 \times 750\text{t/d}$ 的垃圾焚烧炉,配置 $2 \times 35\text{MW}$ 抽凝式汽轮发电机组的垃圾焚烧发电项目的主蒸汽管道,设计压力 6.4MPa ,设计温度 450°C 。从图中可以发现,在管道正常运行时,图4(a)中的刚性吊架及图4(b)中的弹簧吊架均发生明显的偏移,且拉杆与垂直方向的角度过大。经核查原因发现,出现该现象的原因是在施工过程中安装单位没有按照设计对各支吊架进行偏装。支吊架偏装不正确会导致冷热态承载不合理,进而造成支吊架功能失效^[8]。尽管,此问题并不是由设计原因导致的,但是却有几个要点需要在设计过程中注意。

在设计过程中,要重视并评估管道水平位移对支吊架性能产生的影响。根据规范要求,刚性吊架的拉杆长度不得小于水平位移的20倍,且吊杆与垂直方向的夹角不应大于 3° ;弹簧吊架的拉杆长度不得小于水平位移的15倍,且吊杆与垂直方向的夹角不应大于 4° ;另外,滑动支架在设计时还应注意防止因管道水平位移过大而造成的脱落现象。



(a) 刚性吊架偏移图 (b) 弹簧吊架偏移图

图4 管道水平位移对支吊架影响图

4 结论

管道支吊架的设计与管道及设备的安全运行密切相关,合理的支吊架设计是生活垃圾焚烧发电项目安全、稳定、经济运行的重要保障。本文结合项目施工现场常见设计问题,总结出以下几点关于管道支吊架设计的要点及注意事项。

(1) 管道支吊架的设计需与管道设计同步进行,应合理安排、组织支吊架与管道的设计环节;

(2) 依据现行国家规范,合理选择支吊架的间距及位置,才能达到既保证管道及设备安全可靠运行,又能提高设计质量,降低工程造价的目的;

(3) 管道支吊架材质的选择应符合工作环境的要求;

(4) 管道支吊架的设计并不是一个专业的问题,动力专业,给排水专业,土建专业应充分交流,紧密合作,严谨校核。

总之,在管道支吊架的设计过程中,应充分考虑管线材料、设计参数、工作环境、流体工况、承受载荷、位移等情况,消除潜在的安全隐患,进而提高整个工程质量和经济效益。

参考文献

- [1] 刘辉. 管道支吊架的选用及设置[J]. 化工设计, 2004,14(6): 23-25.
- [2] 唐飞, 刘兴然. 化工管道支吊架的设计与选用[J]. 广东化工, 2010, 37(9): 154-154.
- [3] 周小兵, 蔡晓峰. 关于几种典型化工装置管道支吊架的设计[J]. 化肥设计, 2010, 48(3): 14-17.
- [4] 丘平. 管道支架设计若干问题浅议[J]. 石油化工设计, 2010, 27(4): 44-46.
- [5] 刘霄. 垃圾焚烧发电厂汽水管应力分析和支吊架设计的优化[J]. 环境卫生工程, 2018(3).
- [6] 工业金属管道设计规范: GB 50316-2000 (2008年版) [S]. 2008: 83-84.
- [7] 张雁琴, 张飞扬. 核电厂工艺管道支吊架布置分析[J]. 科技创新导报, 2015(10):91.
- [8] 安慧, 安付立, 韩光辉, et al. 发电机组管道支吊架常见问题分析及处理 [J]. 热力发电, 2012, 041(011):80-82,73.

大型国际机场飞行区 滑行方案仿真分析

■ 王锋刚 [总图]

摘要: 针对我国大型国际机场将面临的复杂多跑多滑飞行区系统的飞机滑行路径进行深入分析方案设计飞机滑行路径,通过仿真软件SIMMOD Plus模拟设计方案,并进行评估应用分析,对输出数据结果评估不同运行模式的机场飞行区的运行效率,为跑滑容量和航班时刻规划提供建议。

关键词: 机场多跑构形; 滑行路径规划; SIMMOD仿真; 飞行区运行; 运行方案评估

1 研究背景

机场中与保障航班运行最紧密相关的环节要属飞行区的保障运行,其各功能区布局和滑行路径规划是否合理直接影响机场的运行安全及效率。在实际建设机场的成本远远高于仿真运行而且难以实现的情况下,本研究旨在运用微观仿真技术的可重复性、可延续性等特征对机场飞行区设计方案多跑多滑系统在不同航季的滑行路径设计方案进行仿真模拟,输出飞行区航空器的滑行时间、延误时间等指标,采用量化的数据分析飞行区航空器运行情况,最终形成合理的飞行区滑行方案及机位的合理利用,实现机场空侧秩序良好的航空运输结构目标。

2 研究思路

以大型国际机场多跑多滑的飞行区设计方案

为切入点,参考滑行路径的优化规则、手段、方法以及相关规章原则,并结合预测运行数据对所选机场跑滑系统滑行路径进行设计。

了解和搜集研究机场应该具备的基础设施条件,根据机场跑道特点制定相应的跑道使用方法和运行模式以及滑行路径。在SIMMOD Plus仿真软件平台上根据所研究的大型国际机场构建合理的仿真模型,并制定合理的航空器滑行路径方案进行仿真运行,利用该仿真软件进行的操作流程,如图1所示。

3 研究方案

3.1 飞行区航空器基础数据搜集

本题研究对象机场现在年现状为吞吐量2500万人次,跑道两条分别为第一跑道(3200m×45m, E类)和第二跑道(3800m×60m, F类)。

未来目标年设计吞吐量为8000万人次,估计日航班量为1530架次,设计方案在现有跑道基础上新增第三跑道(3600m×45m, E类)、第四跑

作者简介:王锋刚,男,高级工程师,2007年毕业于中国民航大学机场规划专业,现就职于中航建设建筑设计研究院。

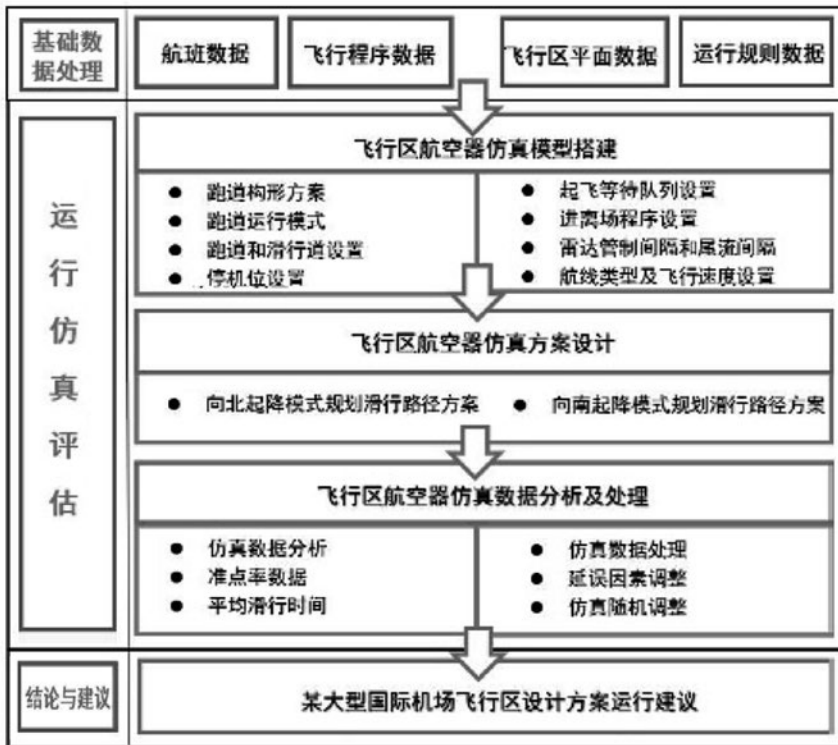


图1 仿真技术操作流程

式分为南北两个方向，由机场所处地理位置的季风气候决定，针对该机场向北主起降方向航空器滑行规划路径如图5所示。

4 研究成果

利用SIMOOD搭建研究大型国际机场飞行区航空器仿真模型平台并进行运行，采用随机仿真种子，对该大型国际机场飞行区的航空器运行状况进行24h仿真，运行成果如下。

向北主起降方案仿真运行模型输出数据分析表明，全天离港航班架次与离港滑行时间统计和航班地面滑行平均延误时间统计如图6、7所示，全天到港航班架次与到港滑行时间统计和航班平

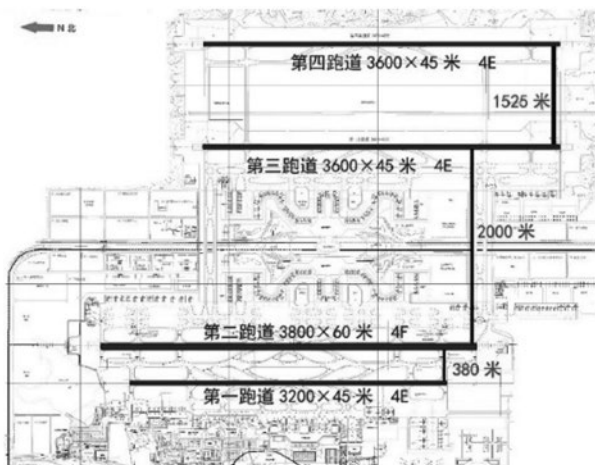


图2 某大型国际机场飞行区未来年跑道构形

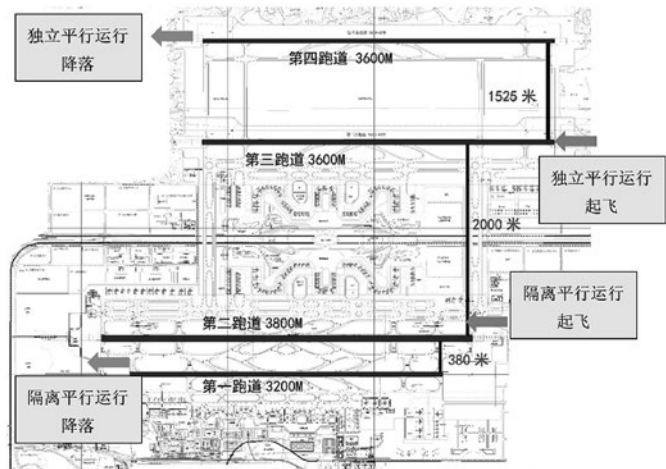


图3 跑道主起降（向北）方式示意图

道（3600m×45m，E类）满足飞机起降运行及快速脱离跑道的需求，如图2所示。

第一、第二跑道为近距平行跑道，其运行模式为隔离平行运行，即一起一降；第三、第四跑道中线间隔均符合独立起降的模式，分别为起飞离场跑道和降落到场跑道。图3和图4为该大型国际机场未来年设计跑道主起降和次起降运行方向示意图。

3.2 运行模式及方案设计

该机场飞行区航空器使用跑道的运行模

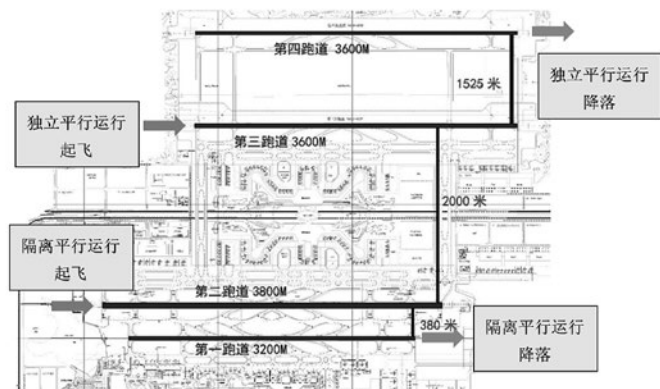


图4 跑道次起降（向南）方式示意图

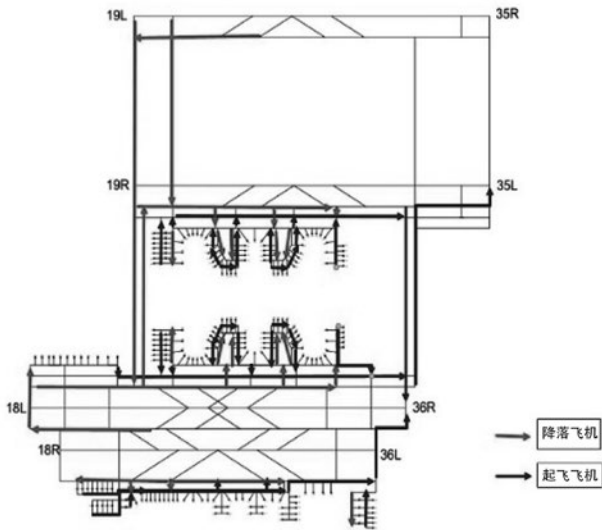


图5 某大型国际机场未来年航空器滑行路径规划图

均延误时间统计如图8、9所示。

由统计分析数据表明，通过较为合理的飞行区滑行路径的优化设置，离港航班高峰时段

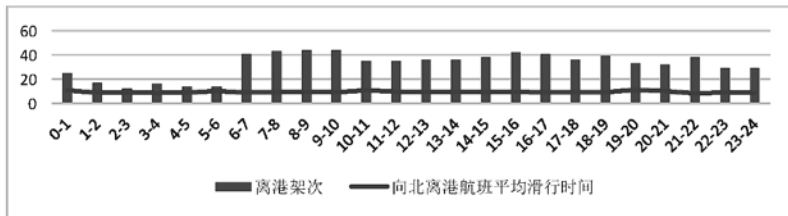


图6 某大型国际机场未来年设计高峰日仿真离港航班架次与离港滑行时间统计

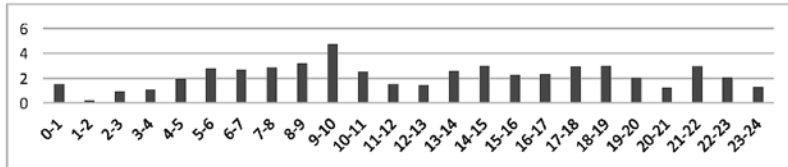


图7 某大型国际机场未来年设计高峰日仿真离港航班平均延误时间统计

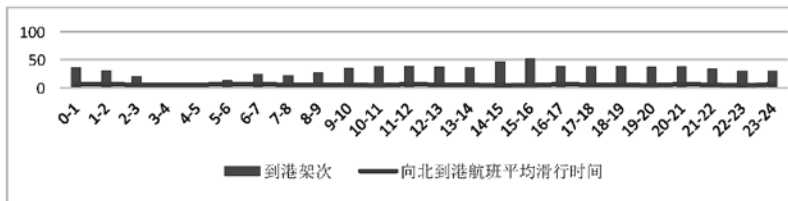


图8 某大型国际机场未来年设计高峰日仿真到港航班架次与到港滑行时间统计

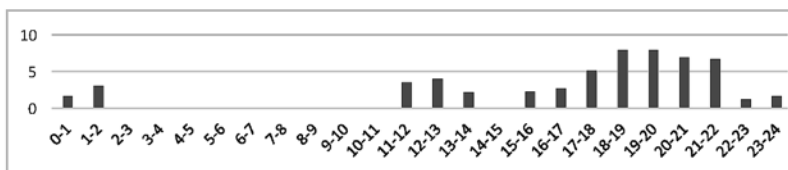


图9 某大型国际机场未来年设计高峰日仿真到港航班平均延误时间统计

出现在8:00~9:00，延误高峰为9:00~10:00；离港航班平均延误时间为2.2min，离港航班平均每架飞机地面滑行时间为9.349min。到港航班高峰时段出现在15:00~16:00，延误高峰为18:00~19:00，到港航班地面滑行平均延误时间为5.28min，到港航班平均每架飞机地面滑行时间为5.323min。

5 小结

该大型国际机场飞行区的跑滑系统为一组平行近距跑道、一组平行远距跑道同时运行，在我国机场跑道构形布局具有典型性，具有研究意义，通过仿真运行结果数据分析，仿真进离港航班地面滑行时间、离港地面滑行平均延误等参数均处于可接受范围，该大型国际机场跑滑系统飞行区设计方案能够满足远期的实际运行需求。

飞机在机场飞行区的滑行路径的规划十分必要，根据滑行路径规划原则和规划方案，输入仿

真模型，多次进行仿真运行，将航班延误控制在2~3min，总结滑行路径规划建议如下：

(1) 滑行路线应依据不同区域的机位进行细化分配；

(2) 滑行路径设置尽量设置为单向交通段，避免滑行冲突；

(3) 尽量避免穿越跑道和滑行道；

(4) 跑道端头若有多条连接滑行道，可以依据机位分配多个排队等待队列点，以免造成排队拥挤；

(5) 到港航班和离港航班分流，充分利用现有滑行道系统的每条道路。

多管式烟囱矩形钢筋混凝土外筒设计分析

■ 薛瑜照 汤小军 [结构]

摘要: 本文结合实际工程,采用有限元分析软件Midas gen对某垃圾焚烧发电厂多管式烟囱矩形钢筋混凝土外筒进行风荷载以及地震荷载多工况下的分析,得出其变形以及受力特点,包括其变形为弹性变形、风荷载对筒壁配筋起控制作用、应力集中部位应根据计算及抗震构造措施加强等,并对烟囱截面选取以及优化设计提出建议。

关键词: 钢筋混凝土烟囱;有限元;风荷载;设计优化

0 引言

近些年,随着社会对环境保护和绿色环保建筑越来越重视,垃圾焚烧发电厂在全国各地越来越普及,而钢筋混凝土烟囱是垃圾焚烧发电厂必不可少的一个构筑物。作为一个城市的绿色环保工程,在设计中往往把绿色环保理念融于建筑中[1],不同于火力发电厂传统的圆形烟囱,垃圾焚烧发电厂多采用矩形烟囱,从而可以进行丰富多样的外立面设计,使得烟囱成为垃圾焚烧发电厂甚至当地城市的一个标志性建筑。

本文就安徽省宣城市某生活垃圾焚烧发电厂的烟囱设计为例,进行矩形钢筋混凝土外筒的受力性能分析。

1 工程概况

本工程采用多管式烟囱,由两个钢内筒和矩形钢筋混凝土外筒组成。钢筋混凝土外筒平面长7.7m,宽为7m,高度为79m,侧壁标高4.5m处设有一个宽4m高5m的安装洞,两个烟道进口,以及门洞、窗洞等洞口。钢内筒下部支承于4.5m处的混凝土平台上,另在外筒顶部77.5m处设有型钢混凝土组合楼板检修平台,中间21m、42m、60m有

3个钢平台。烟囱平面布置见图1。

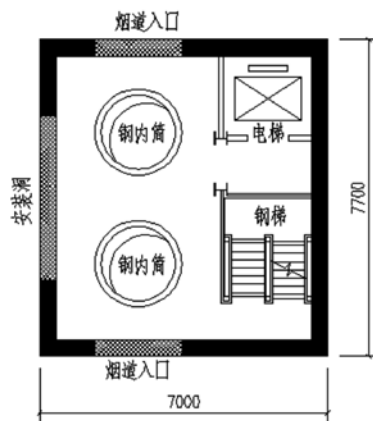


图1 烟囱平面布置图

2 模型建立

采用有限元分析软件Midas gen对该烟囱钢筋混凝土外筒进行计算分析,混凝土强度等级为C30,侧壁厚度自下而上递减,分别为0.4m、0.35m、0.3m、0.25m,采用板单元来模拟混凝土侧壁,网格划分尺寸为0.5m,在洞口处适当减小网格划分尺寸。

2.1 地震荷载输入

该工程抗震设防烈度为6度(0.05g),设计地震分组第一组,建筑场地类别为II类。在Midas gen中输入地震反应谱函数和相应的反应谱荷载工

作者简介:薛瑜照,男,助理工程师,2018年毕业于天津大学建筑物土木工程专业,现就职于航空工业规划市政工程设计研究院。

况。根据《烟囱设计规范》，抗震设防烈度为6度和7度时，可不计算竖向地震作用，但本工程烟囱设有多个水平检修平台，并且钢内筒支承在混凝土平台上，故水平地震作用和竖向地震作用均应考虑。

2.2 风荷载输入

基本风压 $0.4\text{KN}/\text{m}^2$ ，地面粗糙度为B类。在Midas gen中烟囱风荷载以面荷载的形式施加，根据《建筑结构荷载规范》^[3]，风荷载计算公式为：

$$\omega_k = \beta_z \mu_z \mu_s \omega_0$$

其中 μ_z 、 μ_s 根据规范查表获得，根据该规范^[3]8.4条，本工程需要考虑顺风向风振，其计算公式为：

$$\beta_z = 1 + 2g I_{10} B_z \sqrt{1 + R^2}$$

需要注意的是《烟囱设计规范》^[2]规定50年重现期的基本风压不得低于 $0.35\text{KN}/\text{m}^2$ 。

3 整体计算结果分析

3.1 振型和周期分析

通过计算得出烟囱的前4阶振型见图2，相对应的周期见表1。

从图2可以看出第1振型和第2振型为平动，第3振型和第4振型为扭转，计算到第33振型时，x方向和y方向的质量参与系数达到90%，满足规范要求^[4]。

3.2 风荷载作用下位移分析

读取计算结果中烟囱筒壁在风荷载作用下不同高度的最大位移，得出位移随高度变化的曲线，如图3所示。

由图3可知，烟囱在风荷载作用下呈现典型的弯曲变形，位移随高度增加而线性增大，表明烟囱在50年一遇风压作用下处于弹性变形状态，并

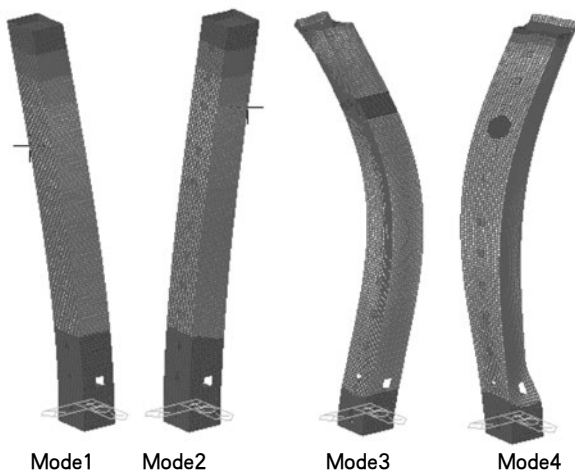


图2 烟囱前4阶振型

表1 结构前4阶振型对应的周期

模态	Mode1	Mode2	Mode3	Mode4
周期/s	1.176	1.056	0.227	0.225

且最大位移 $<1/100$ ，满足规范要求。

3.3 风荷载作用下轴力分析

风荷载作用下烟囱不同高度截面总轴力随高度变化曲线以及不同高度截面单位长度墙体轴力随高度变化曲线分别见图4和图5。由图可以得出总轴力随高度增加几乎呈线性下降，而单位长度墙体截面轴力在大约5m高度时最大，是因为钢筋混凝土外筒在4.5m处有一个较大的安装洞，使得此高度范围内烟囱横截面大幅度减小，从而单位长度墙体截面轴力增大。

4 不同工况下结果比较

通过在多种工况下烟囱钢筋混凝土外筒的有限元分析，发现在地震和风荷载作用下，烟囱的位移比较明显。以x方向风荷载和x向地震这两种工况为例，烟囱顶部在风荷载和地震作用下的位移分别为28.4mm和22.1mm，可知在风荷载作用下烟囱的变形要比在地震作用下大。而在地震作用下烟囱在安装洞、门窗洞口周围以及角部的应

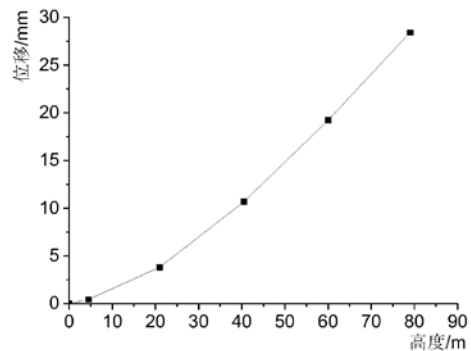


图3 位移—高度曲线

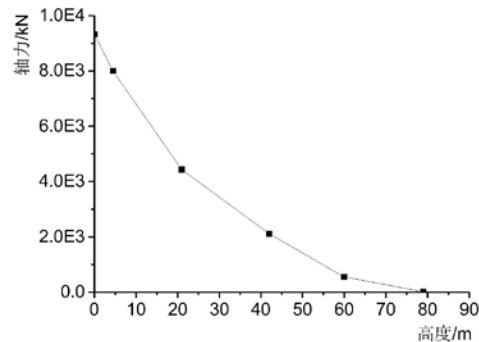


图4 轴力—高度曲线

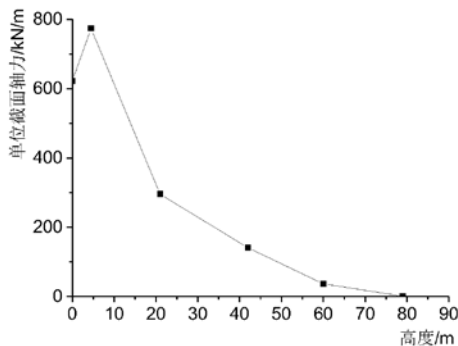


图5 单位截面轴力—高度曲线

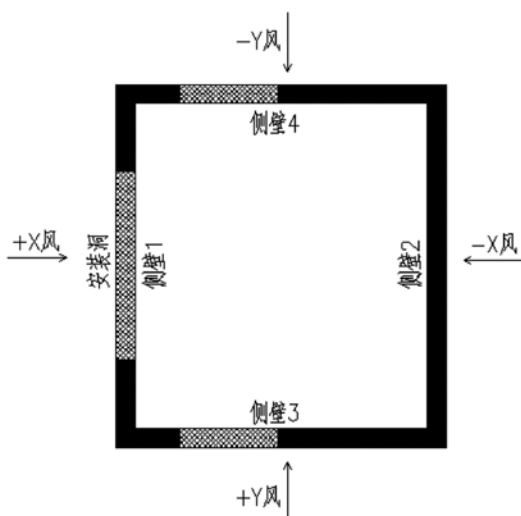


图6 风荷载工况示意

力集中更加明显。可以得出在烟囱墙身配筋计算时风荷载起控制作用，而烟囱角部和洞口周围的约束边缘构件配筋则由地震作用下相应部位的内力控制。

5 筒壁设计优化

设安装洞所在一侧为侧壁1，其余3个面分别为侧壁2、3、4，如图6所示。在+X向风荷载作用下，侧壁1底部受拉，其竖向钢筋由+X向风控制；同理，侧壁2底部竖向钢筋由-X向风控制，侧壁3、4底部配筋分别由+Y、向-Y向风荷载控制。4个方向风荷载工况下烟囱顶部水平位移、各工况对应的迎风面底部侧壁配筋率和背风面最大等效压应力见表2。

从表2中可知，在-X风向荷载下，即侧壁1为背风面时，烟囱的顶部水平位移、迎风面底部配筋率以及背风面最大等效压应力均最大，这是因为烟囱整体为弯曲变形，在-X风向荷载下，侧壁1受压，安装洞大大减小了受压截面面积，使烟

表2 不同方向风荷载下的顶部位移和底部侧壁配筋率

风荷载工况	+X	-X	+Y	-Y
顶部水平位移 (mm)	38	46	31	31
迎风面底部配筋率 (%)	0.54	0.67	0.51	0.51
背风面最大等效压应力 (N/mm ²)	5.63	8.40	4.21	4.21

囱-X向刚度比其他3个方向小。

由于工艺的要求，安装洞一般只在一侧布置，如果遵从《烟囱设计规范》^[2]7.7.1第4条之规定：“筒壁同一节厚度宜相同”，则烟囱整体刚度不对称，对结构受力不利，且未设置安装洞的三面侧壁截面过大，不经济。为进一步优化，在有限元模型中保持底部侧壁1厚度为400mm不变，其余三面厚度改为300mm，进行分析，得到4个方向风荷载工况下烟囱顶部水平位移分别为+X风工况：48.8mm，-X风工况：49.5mm，+Y风工况：38.7mm+，-Y风工况：38.7mm，烟囱整体刚度对称。因此，建议在今后的设计中，未设置安装洞的侧壁比安装洞一侧的侧壁底部厚度薄100mm左右，既达到了经济性，又对结构受力有利。

6 结论

通过对多管式烟囱矩形钢筋混凝土外筒的有限元分析，得出以下结论：

(1) 混凝土烟囱在风荷载作用下处于弹性变形状态，顶部位移最大。

(2) 烟囱在风荷载作用下的变形和内力都要比地震荷载下大，筒身墙体配筋受风荷载控制，但洞口周围及角部应力集中处需根据地震作用效应进行加强。

(3) 取烟囱安装洞一侧底部截面比其余3个面厚100mm左右，对结构受力有利且较为经济。

参考文献

- [1] 颜伟华, 王庆海等. 某钢筋混凝土套筒式烟囱外筒的受力分析与结构设计[J]. 特种结构, 2015, 32 (1): 114-117
- [2] GB50051-2013烟囱设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2013.
- [3] GB50009-2012建筑结构荷载规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [4] 顾强强, 汤小军. 钢筋混凝土方烟囱有限元分析研究[J]. 建筑结构, 2011, 41 (8): 183-187

基于案例的锂电池生产厂房 造价指标分析

■ 胡亦明 宋聪旭 [工程造价]

摘要: 本文结合锂电池类生产厂房实际工程案例,从锂电池生产工艺需求及特点、各专业设计特点、某锂电池生产厂房案例的造价指标分析等角度出发,分专业详细阐述了锂电池生产厂房造价指标的要点和指标与设计方案的匹配情况,希望有利于造价人员对此类工程项目投资的整体把握和控制。

关键词: 工程造价;锂电池;造价指标

1 引言

在新能源市场飞速发展和政府政策的鼓励与扶持下,目前我国已成为世界三大锂离子电池生产制造基地之一、第二大锂离子电池生产国和出口国,锂离子电池已成为推动我国国民经济和社会可持续发展必不可少的基础性产业。锂电池产业因为其特有的工艺需求,锂电池生产厂房建设项目的专业特点和造价指标具有较强的代表性。本文从锂电池生产工艺需求及特点、各专业设计特点、某锂电池生产厂房案例的造价指标分析等角度出发,分专业详细阐述了锂电池生产厂房造价指标的要点和指标与设计方案的匹配情况,使建设单位和工程总承包单位在类似项目的前期阶段全局考虑各种因素,较好地投资估算和总体策划时有效控制工程造价。

2 锂电池生产厂房工艺需求及特点

锂离子电池的材料构成主要由正极材料、负极材料、电解液、隔膜及包装材料组成。通过调研分析若干锂电池生产厂房建设项目,其主要生产工序应包括正负极混料、涂布、辑压、干燥、裁切、卷绕或叠片、封装、注液、化成、检测、

出货等,锂离子电池典型生产工序,生产流程如图1所示。典型的锂电池项目除了应满足设备安装、调试检修、安全生产、维护管理等使用要求外,还具有以下几个主要技术特点:

2.1 建设周期短,产线布置灵活

由于电池生产工艺的快速发展和新技术、新设备、新材料广泛应用,形成了锂电池建设项目建设周期短,产线布置灵活的主要特点。锂离子电池工厂的建筑平面和空间布局应满足产品生产工艺流程的要求,并应适应产品生产发展的灵活性。生产线的设计能力除了要符合产品类型、本期产量、经济规模的要求,经常需要预留扩产条件,同时宜兼顾技术改造升级和未来发展规划。

2.2 消防疏散、节能环保、自动化要求高

基于锂离子电池生产原料及产品的主要特性,防火措施及疏散设计是人员健康和安全生产的根本保障。锂离子电池工厂的耐火等级不应低于二级,现行国家标准《建筑设计防火规范》、《锂离子电池工厂设计标准》等也对工厂各工作间的火灾危险性分类有明确的要求。同时,对于生产过程中余热回收等节能手段、废水废气的处理也有较高的要求。大规模生产的锂离子电池生产线还广泛采用自动物料搬运系统和全自动生产线。

2.3 工艺生产环境温度湿度控制严格

锂电池生产车间对洁净度要求不高,洁净度等级达到10万级,基本可满足生产工艺要求。通

作者简介:胡亦明,男,助理工程师,2015年毕业于重庆大学建筑环境与设备工程专业,现就职于航空工业规划电子工程设计研究院。

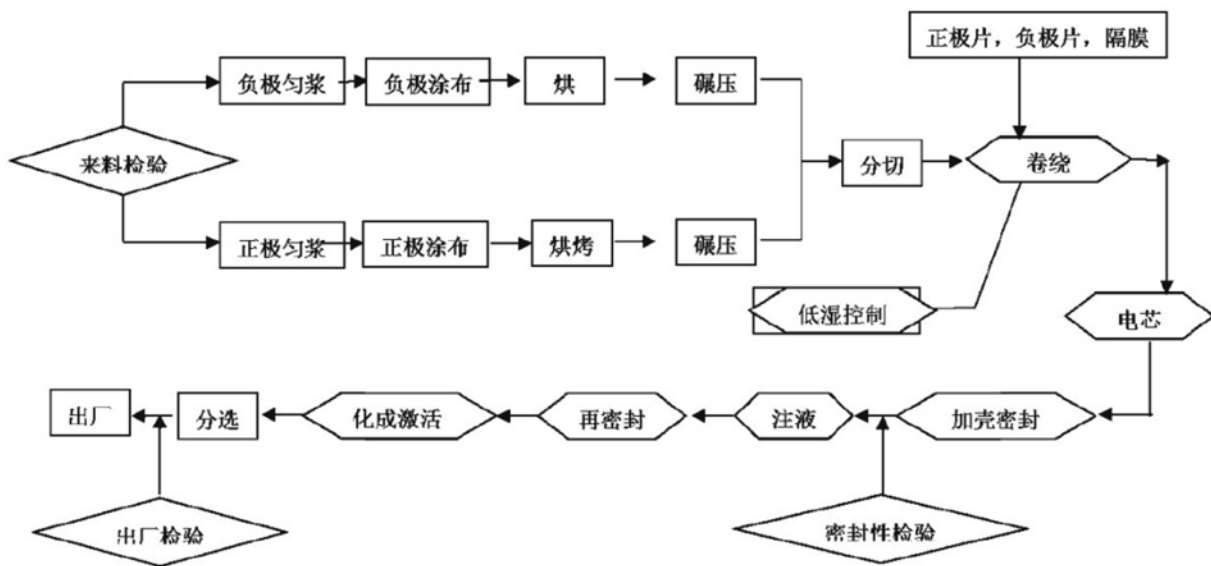


图1 锂离子电池典型生产工序

通过对锂电池项目施工过程的考察，其技术难点主要集中在温湿度控制。针对湿度控制，因工艺设备对湿负荷要求比较高，空气要求为干空气，对送回风风管密封性及房间密封性要求非常高。

2.4 保障连续生产运行可靠性

由于电池生产工艺设备的工作特性，断电、断气停产都将会产生巨大的经济损失，主要生产部门采用连续运转的生产组织方式。因此，锂电池建设项目对电源供电可靠性、动力设备供气可靠性、连续性都有很高的要求。

3 各专业设计特点

锂电池工厂因其工艺需求特点，各专业设计相较于常规的工业建筑有如下主要特点。

3.1 建筑结构

锂离子电池生产厂房的结构型式常选用门式轻钢结构、多层钢结构或混凝土框架结构。从经济性角度出发，单层结构时宜采用门式轻钢结构，多层结构时采用钢结构或混凝土框架结构，有利于降低总体结构成本。

锂离子电池生产技术发展很快，为了适应这种产品迅速发展和扩大生产需要的灵活性，厂房的建筑平面要能满足生产工艺改造和扩大生产规模的需要，实现在建筑面积不增加或少增加、建筑高度不改变的情况下，进行生产工艺和生产设备的调整。厂房的主体结构采用大空间、大跨度的柱网，以便适应产品生产工艺调整或生产规模

的扩大，或产品的升级换代等需要。工艺区划按正、负极制造分开设置进入生产区的人流和物流入口、工艺设备、动力设备的搬入口、消防疏散路线、参观通道等。

3.2 给排水和消防

除常规满足生产生活的给排水系统，工艺冷却水系统是工艺设备冷却重要的支持系统，应保证连续供水。工艺冷却水供水中断，会造成工艺设备因局部温度过高不能及时冷却而损坏或造成产品质量下降，造成重大的直接和间接经济损失。根据工艺冷却水供回水温度设置的不同，工艺冷却水系统常采用冷水机组供水、冷却塔供水等不同的系统形式，系统选型的差异对工程造价影响较大。锂离子电池混料工序的合浆机、金属壳等清洗产生的废水中含有大量颗粒，需要经处理达到排放标准后排放，清洗房通常设置排水地沟经过沉淀、过滤装置。消防给水与灭火设备主要是常规的消火栓系统、自动灭火系统，高架仓库和电解液仓库采用泡沫灭火系统。

3.3 通风空调

湿度控制是锂电池厂房的生命保证线，直接关系到生产产品的质量。由于工序流程布置和生产工艺要求的不同，洁净室(区)及干燥房的气流组织、洁净度、露点温度通常不同，且单项工程厂房经常需要设置不同洁净度、不同温湿度要求的空调区域，这形成了锂电池项目空调布置分系统多、管线排布复杂、温湿精度要求极高的特点。为确保对湿度的控制，锂电池项目多采用转轮除

湿型低露点除湿机组。转轮除湿型低露点除湿机组不同于常规组合式空调机组，单台价格几十到上百万不等，设备购置费占比达到空调系统总造价的50%以上。

3.4 动力

动力专业特殊系统形式包括干燥压缩空气、氮气、惰性气体、真空、电解液回收系统等。干燥压缩空气系统根据供气量和供气品质及露点等因素采用不同的系统形式，压缩空气直接与物料接触的工艺工段，常采用无油压缩空气系统。无油空压机设备的购置费常成倍于微油空压机，价格差异很大。

特殊气体系统的特性主要体现在管道阀门材质的选择。如：氮气纯度小于或等于99.999%时，采用内壁光亮退火处理的BA级不锈钢管，内壁光亮退火处理的BA级不锈钢管相较常规304级不锈钢材料费高出30%以上。电解液属于甲、乙类危险性物质，在电解液输送管道考虑防泄漏设计是安全生产的必要保证，因此对管道的材质和防泄漏措施具有很高的要求。

3.5 变配电和强电

锂电池工厂用电设备的负荷等级按停电对生产造成的损失程度来确定，并相应决定供电方式。调研发现，不同规模和不同生产工艺的工厂对供电要求保证程度不同的，停电造成的损失差异较大，但负荷等级的最低要求是不低于二级，主要生产工艺设备、净化空调系统(含制冷机)和照明系统的正常、可靠运行对确保生产线的正常运转至关重要，所以要求由专用变压器或专用低压线路供电，有特殊要求的工艺设备还常常设置应急电源。

3.6 弱电

锂电池工厂分工细致，工段相互联系紧密，对外需要随时保持联系，设置有语音通话系统和数据网络，还应设置具有消防联动功能的火灾自动报警系统和消防控制室、浓度探测报警装置。锂离子电池工厂采用集散式自动控制系统，对空调、供热、供冷、纯水和气体供应等系统进行自动控制，对生产环境和各类动力公用设备实施连续检测、监视和调控。

4 基于某锂电池项目案例的造价指标分析

本章基于案例分析某锂电池项目施工图预算的造价总体指标、专业指标与设计方案的匹配情

况和指标运用中其他需要特别说明的问题。

4.1 项目基本情况介绍

XX锂电产业园建设项目一期工程是由某设计院承揽的设计-采购-施工工程总承包建设项目，总承包合同额约20.2亿元（其中工艺设备费约14亿元、建筑安装工程约5.9亿元），工程总承包合同形式为固定总价。建设地点位于江苏省常州市某科技产业园，工期总日历天数651天，目前该项目已通过竣工验收。本项目施工采购标段划分有施工总承包、洁净工程专业分包、动力分包、变配电分包及各设备采购包等，其中施工总承包、洁净工程专业分包金额占项目工程总造价的90%以上。

本工程主要房号为01号电池生产厂房、02号电池生产厂房、03号电池生产厂房及配套辅助用房，本文重点分析01号、02号、03号3个主要生产厂房。其中01号厂房结构层数主体1层，局部2/3层，建筑高度21.75m，建筑面积21730m²；02号厂房结构层数为2层，局部为4/5层，主体厂房建筑高度14.25m，生产辅楼建筑高度为23.95m，总建筑面积48538m²；03号厂房结构层数为2层，建筑高度15.35m，建筑面积32894m²。本项目包括防水工程、房屋结构、室内装饰、外墙装饰、保温、雨水泵站、基坑支护工程、工业厂房土建及水电安装、土石方工程、钢结构和网架结构工程、通风空调工程、消防工程、电梯安装工程、管道安装工程、金属门窗、其他相关专业工程等全部工作内容。

4.2 造价总体指标

本文选取3个锂离子电池生产厂房在施项目，某设计院编制的施工图预算造价指标如下：

从上表可以看出，案例选取的3个厂房建设时间、建设地点相同，因此政策影响、人工费、材料价格差异等因素在控制变量中设为定值，本文主要分析建筑结构、设备专业、电气专业设计方案与造价指标的匹配情况。

4.3 各专业指标与方案匹配情况

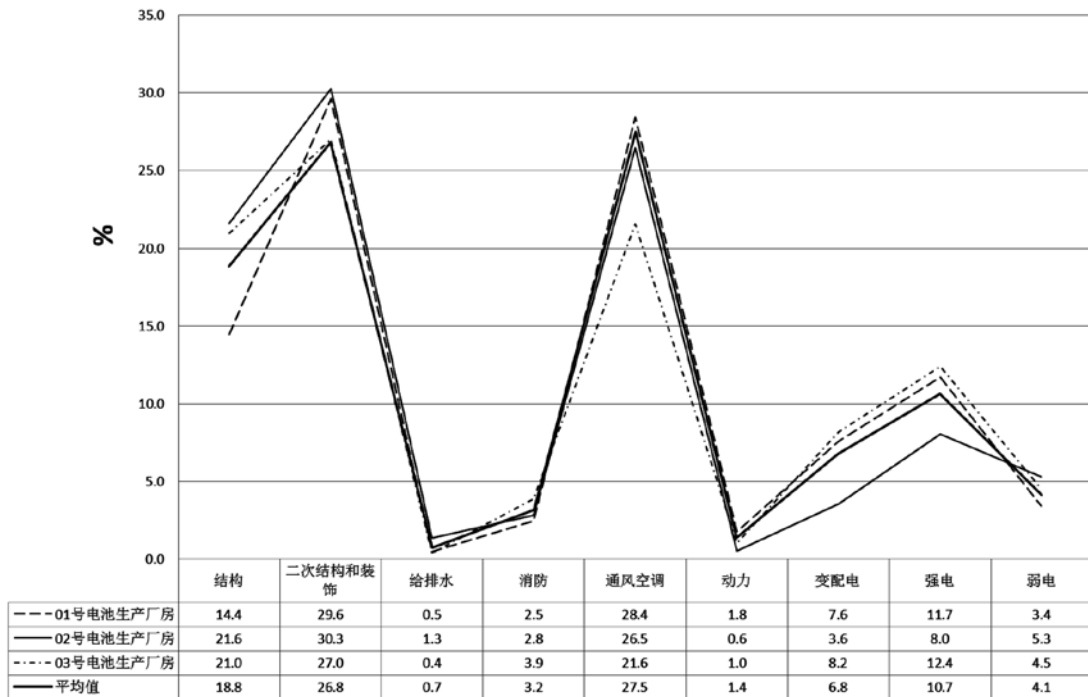
4.3.1 建筑结构

从建筑结构指标看，因01号厂房与02号、03号厂房生产工序的差异，设计要求为单层厂房且层高较高，采用门式钢架结构，而02号、03号厂房为钢筋混凝土框架结构。在钢结构、混凝土、钢筋、模板等消耗量上对不同的结构形式对应有所体现，而不同结构类型的土建人工工日、防水卷材消耗量基本持平。因01号、02号厂房包含生

表1 锂电池项目案例工程造价指标

工程名称		01号电池生产厂房			02号电池生产厂房			03号电池生产厂房			平均值	
1	编制时间	Tuesday, March 01, 2016			Tuesday, March 01, 2016			Tuesday, March 01, 2016				
2	建设地点	江苏常州			江苏常州			江苏常州				
3	建筑面积 (m ²)	21730			48538			32894				
4	结构类型	门式刚架			框架			框架				
5	施工图预算	金额 (万元)	指标 (元/m ²)	造价占比 (%)	金额 (万元)	指标 (元/m ²)	造价占比 (%)	金额 (万元)	指标 (元/m ²)	造价占比 (%)	指标 (元/m ²)	造价占比 (%)
	合计	11803.51	5432	100.0	18700.32	3853	100.0	11997.81	3647	100.0	4612	100.0
5.1	结构	1704.85	785	14.4	4042.76	833	21.6	2517.16	765	21.0	849	18.8
5.2	二次结构和装饰	3496.69	1609	29.6	5658.61	1166	30.3	3242.97	986	27.0	1219	26.8
5.3	给排水	58.90	27	0.5	251.59	52	1.3	46.85	14	0.4	33	0.7
5.4	消防	291.54	134	2.5	525.81	108	2.8	463.63	141	3.9	145	3.2
5.5	通风空调	3356.19	1544	28.4	4952.94	1020	26.5	2586.47	786	21.6	1300	27.5
5.6	动力	209.25	96	1.8	105.32	22	0.6	125.65	38	1.0	70	1.4
5.7	变配电	897.16	413	7.6	669.83	138	3.6	980.16	298	8.2	320	6.8
5.8	强电	1382.88	636	11.7	1502.46	310	8.0	1490.43	453	12.4	494	10.7
5.9	弱电	406.05	187	3.4	991.00	204	5.3	544.49	166	4.5	183	4.1

表2 各专业造价占比分析表



产附楼而03号厂房无附楼，所以二次结构和装饰的造价占比01号、02号厂房略高于03号厂房。建筑结构总体单方造价指标基本符合常规工业厂房的指标数值。

4.3.2 设备专业

相较于常规工业项目中设备专业占工程总造价15%~20%，锂电池类生产厂房设备专业造价占比明显较高，3个房号分别为33.2%，31.2%，26.9%。其中通风空调工程各项目造价指标及占比分别为1544元/m²、28.4%，1020元/m²、

表3 建筑结构指标与方案匹配表

工程名称		01号电池生产厂房	02号电池生产厂房	03号电池生产厂房
总建筑面积(m ²)		21730	48538	32894
层数		主体厂房一层, 局部设二层及夹层设备用房; 辅楼两层	主体厂房二层; 生产辅楼四层、局部五层	主体厂房二层, 无附楼
结构类型(主楼)		门式钢架	框架	框架
结构类型(附楼)		框架	框架	无
檐高		22.65	23.95	15.35
跨度、柱网		18m×8m、8m×8m	18m×8m、8m×8m	8m×10m、8m×12m
基础类型		C30独立基础	C30独立基础	C30独立基础
地基处理		场外需竖向土方平衡, 工期紧	场外需竖向土方平衡, 工期紧	场外需竖向土方平衡, 工期紧
造价指标(元/m ²)		2394	1999	1751
结构造价占比(%)		14.4	21.6	21.0
二次结构和装饰造价占比(%)		29.6	30.3	27.0
消耗量 (单项工程)	土建人工工日 工日/m ²	4.90	4.15	4.31
	钢结构 kg/m ²	71.28	1.96	3.62
	混凝土 m ³ /m ²	0.11	0.36	0.46
	钢筋 kg/m ²	9.25	52.21	53.44
	防水卷材 m ² /m ²	1.13	1.00	1.25
	模板 m ² /m ²	0.05	0.49	0.51

表4 锂电池项目案例设备专业主要列项分析

		01号电池生产厂房	02号电池生产厂房	03号电池生产厂房	单位
建筑面积		21730	48538	34340	m ²
单专业合同金额		3356.19	4952.94	2586.47	万元
建筑面积指标		1544	1020	753	元/m ²
1	空调设备				
1.1	金额	1177.09	1532.70	852.70	万元
1.2	占专业总造价	35.1	30.9	33.0	%
2	冷水机组				
2.1	金额	575.59	883.74	241.03	万元
2.2	占专业总造价	17.2	17.8	9.3	%
3	风管量				
3.1	不锈钢风管量	0	3853	3734	m ²
3.2	镀锌钢板风管量	41427	41768	38163	m ²
3.3	不锈钢风管密度	0.00	0.08	0.11	m ² (风管)/m ² (面积)
3.4	镀锌钢板风管密度	1.91	0.86	1.11	m ² (风管)/m ² (面积)
3.5	金额	1058.05	1310.57	1205.00	万元
3.6	占专业总造价	31.5	26.5	46.6	%
1.2.3总计		2810.72	3727.01	2298.73	万元
共占专业总造价		83.7	75.2	88.9	%

26.5%，786元/m²、21.6%，较常规空调系统的造价指标400—600元/ 高出较多。按照二八原则分析本案例的设备专业造价占比可知（见表4），空调设备、冷水机组、风管量三大项即约占到设备专业总造价的80%以上。设备在计价时应与设计师和厂商充分沟通，明确型号规格、询价范围、是否包含控制系统等，了解真实准确的市场价格。同时，设备的价格还受到采购设备的品牌档次、具体项目招标方式的竞价情况、拟采购方是设备厂家还是授权代理商、签订合同后的付款条件等多因素的影响，造价工程师要在前期计价时充分考虑。

给排水和消防水占总造价比重较少，约4%。从指标上看，动力专业也仅占总造价的1%~2%。本项目动力专业指标偏低主要因供气系统与锂电池生产工艺紧密联系，此项目建安工程部分的动力专业仅包含压缩空气系统、制氮系统等少部分内容，真空系统及NMP电解液回收系统等由工艺设备专业厂家配套施工，不在建安工程范围内，在指标运用时需注意各部分的分交界面，同口径对比。

4.3.3 电气专业

从电气专业指标看，弱电指标差异不大，占

总造价的3.4~5.3%，弱电指标主要与各房号弱电专业包含的系统相关。变配电和电力单方造价指标差异较大，分析原因主要是因为变配电和电力配线的设计方案除了与空调用电、照明用电、共用设备用电等相关性较大外，主要受工艺设备的用电量影响，而工艺设备用电量与建筑面积不是线性正相关。因此，分析变配电和电力造价指标时可采用单位用电功率指标等综合分析。从下表可以看出，01号厂房配置的变配电设备数量基本与02号、03号厂房相当，密集型母线的规格也略大于02号、03号厂房，从用电量看01号厂房并不低于02号、03号。01号厂房单方造价指标偏高主要原因是01号厂房建筑面积最小，但工艺设备用电量却与其他房号相当。

4.4 需进一步补充说明的问题

除上述不同专业的指标特点外，实际运用时还需补充说明以下问题。

由于锂电项目的特点，招标图纸不能完全反映现场实际工艺设备的布置情况，用电、用气、用水等专业管道常预留至设备上方接驳点，设备进场后现场工程师根据工艺设备的具体参数深化设计，绘制系统管路路径，直至完成后续施工、调试、验收工作，称为工艺设备公用二次配管

表5 电气专业指标分析

工程名称		01号电池生产厂房	02号电池生产厂房	03号电池生产厂房
变配电	干式变压器	(带外壳及温控箱) SCB-11D/Yn11, 10±2x2.5%/0.4KV2000kVA 6台	(带外壳及温控箱)SCB-10 D/Yn11, 10±2x2.5%/0.4KV,1250kVA 4台	(带外壳及温控箱) SCB-11 D/Yn11, 10±2x2.5%/0.4KV2000kVA 10台
		(带外壳及温控箱)SCB-11 D/Yn11, 10±2x2.5%/0.4KV 1600kVA 4台	(带外壳及温控箱)SCB-10 D/Yn11, 10±2x2.5%/0.4KV,2000kVA 2台	
			(带外壳及温控箱)SCB-10 D/Yn11, 10±2x2.5%/0.4KV,1600kVA 4台	
	低压柜	77台	74台	86台
	漏电探测报警1套；变配电所监控系统1套	漏电探测报警1套；变配电所监控系统1套	漏电探测报警1套；变配电所监控系统1套	
电力	密集型母线	低压式封闭式插接母线1600A、1000A、2250A（防护等级IP54）	低压式封闭式插接母线1000A、800A、630A（防护等级IP54）	低压式封闭式插接母线1000A（防护等级IP54）
	电力电缆	NH-YJV-4x70+1x35, NH-YJV-5x4, YJV-4x70+1x35, YJV-3x35+2x16, YJV-3x25+2x16等	YJV-3*70+2*35、YJV-3*95+2*50、YJV-4*95+1*50、YJV-3x150+2x70等	YJV-3x240+2x120、YJV-3x150+2x70、YJV-3x120+2x70、YJV-3x95+2x50、YJV-3x70+2x35等

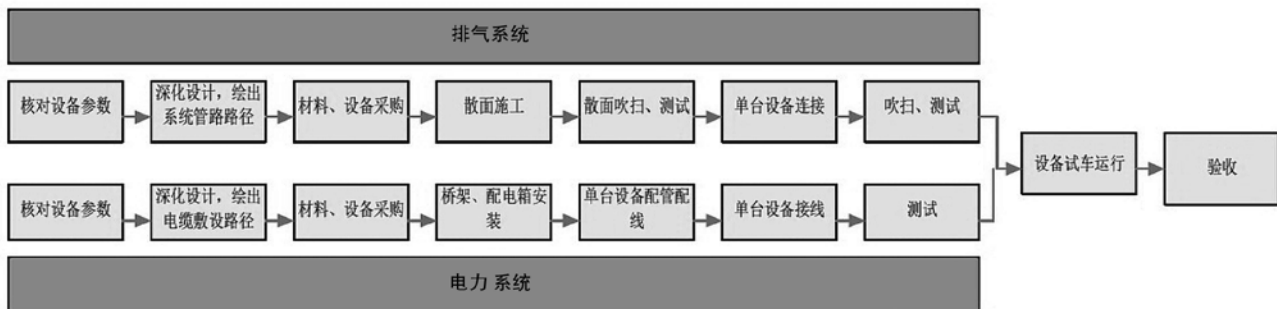


图2 工艺设备公用二次配管线施工流程

线。二次配具有施工作业与工艺设备进场交叉进行、配管要求精度高、金属壁板吊顶上方作业施工难度较大等特点，且此部分工程量在招标图纸中无法计算，本项目工程总承包招标时设置暂估价1000万元，竣工结算实际发生约900万元。



图3 工艺设备公用二次配现场安装图

此案例在施工图预算阶段管线支吊架按照国标图集做法分专业计算工程量。项目施工时发现，走廊及涂布机头、机尾洁净室钢架在BIM深化完成后，结构顶高18m，管线多在3.5~5m之间，常规吊装支架十几米无法固定，经多方协商后确认采用共用管架和落地支架，新增费用共计约565万元。因此，在项目前期要充分考虑到走廊吊顶、吊挂结构荷载、管线排布密集等现场特殊情况下综合支吊架、落地支吊架的采用和工艺设备公用二次配管线等对指标的影响。

本项目厂区统筹考虑建设动力站房，因此01号、02号、03号厂房建安费用不含气源、热源等。如厂房内自带空压站、换热站时，需在此案

例造价指标基础上考虑增加此部分气源、热源的费用。

参考文献

- [1] 住房和城乡建设部.GB50500—2013建设工程工程量清单计价规范[M].北京：中国计划出版社，2013.
- [2] 住房和城乡建设部.GB51377—2019锂离子电池工厂设计标准[M].北京：中国计划出版社，2019.
- [3] 住房和城乡建设部.GB50472电子工业洁净厂房设计规范[M].北京：中国计划出版社，2019.
- [4] 贺冬梅.中国工程咨询[J]，2016（4）.
- [5] 杨良生.锂电池项目的工艺分析及技术要点[A].中国资源综合利用，2017（4）.
- [6] 邱义明.工程项目施工阶段造价管理研究[D].天津大学，2007.

拉萨贡嘎机场某配餐楼 暖通空调通风系统设计

■ 马超龙 张海桥 [暖通]

摘要: 本文介绍了拉萨贡嘎机场某新建配餐楼的暖通设计方案。根据拉萨市夏季气候特征,提出了夏季直接引入室外低温空气维持房间舒适性的设计方案,并利用DeST建筑动态模拟分析软件对主要房间进行了室内温度模拟计算,确定了设计方案的可行性。

关键词: 配餐楼;自然风降温;新风系统;DeST

1 建筑概况

本配餐楼厂房位于西藏自治区拉萨市贡嘎机场,建筑面积13941m²,总建筑高度26m。配餐楼日均生产能力1.8万份,高峰2万份。本建筑性质为多层厂房,火灾危险性为丙类,建筑物耐火等级为二级,如图1所示。



图1 本配餐楼效果图

本配餐楼共4层。1层用于航食生产,主要设置收货平台、出港平台、回收平台、总摆间、机供品库、餐车餐具清洗间等。2层为航食配餐生产线,主要设置冷厨、热厨、原料库等。3层为包饼生产线及牛肉生产线,主要设有原料库、牛肉厨房、面点制作间、烘烤间、包装间等。4层主要为员工餐厅、办公室、预留车间等。

配餐厂房中各房间的工艺温度条件如表1所示:

表1 配餐楼各房间温湿度要求

房间类别	房间名称
温湿度满足一般舒适性要求	收货间、出港平台
	清洗间、洗盆间
	热厨、烘烤间、牛肉热厨间等
	操作间、化验室等
中温车间(≤18℃)	总摆、冷厨、热摆、蛋糕间等
其他	高位水箱间、热水机房
	卫生间

2 通风空调设计方案

2.1 冬夏季负荷及冷热源

拉萨市属于寒冷地区,本项目设置集中供暖系统,热媒由锅炉房锅炉及一套整体式换热机组提供。配餐楼热负荷主要由散热器供暖系统、空调热风供暖系统及补风加热系统3个部分组成,如表2所示。由于拉萨地区燃气费用较高,且该项目初投资紧张限制了新能源的利用,在设计过程中应从节能角度进行优化,降低项目投资费用及运行费用。

拉萨地区夏季室外气候条件适宜,空气调节室外计算干球温度仅为24.1℃,通风室外计算温度仅为19.2℃^[1],夏季可充分利用室外低温空气消

作者简介:马超龙,男,助理工程师,2018年毕业于哈尔滨工业大学流体力学专业,现就职于中航建投民航工程设计研究院。

表2 配餐楼冬季热负荷及指标

	冬季热负荷 (含新风)	供暖面积指标 (含新风)
散热器供暖系统	203.9kW	66W/
空调热风供暖系统	265.5kW	32W/
补风加热系统	979.7kW	—

除房间余热。但本配餐楼无窗房间较多，且生产房间具有一定的洁净需要，所以无法完全依靠自然通风方式满足人员舒适度需求，需考虑夏季空调设计。

夏季冷负荷计算结果如表3所示，由计算结果可知本配餐楼内一般舒适性房间冷负荷极低，如按传统空调方案进行设计，不但需要单独设立冷源，还需解决末端设备配置困难的问题，所以本设计考虑采用机械引入室外低温新风的方式对一般舒适性房间进行降温，以达到节能和减少初投资的目的。

表3 配餐楼夏季冷负荷及指标

	夏季最大冷负荷 (含新风)	空调面积指标 (含新风)
中温车间	125.4kW	104W/
一般舒适性房间	59.4kW	15.4W/

室内设计温度低于18℃的中温车间采用直膨式中温空调机组系统，制冷机房设置压缩机组，屋面设置风冷冷凝器，末端采用冷风机。

2.2 冬季供暖系统

从生产洁净需要考虑，配餐厂房冬季应采用空调热风进行供暖。但本配餐楼4层大部分空间为大开间的预留厂房，空调供暖系统未必适用于预

留空间后期改建后的房间功能，并且各层东侧及南侧外区的库房、卫生间及专业机房更适于散热器系统供暖，所以综合考虑，配餐楼生产房间设计风机盘管加新风系统用于冬季供暖，各层东侧及南侧外区库房、卫生间、专业机房及4层工作间和预留厂房设计分层上供下回、双管同程式散热器供暖系统。

2.3 夏季新风系统

由表3可知，当新风量仅满足人员新风需求时，并不能完全消除房间冷负荷。如采用室外低温空气维持房间舒适性要求，需要加大房间新风量。但新风量变大的同时，也导致冬季新风热负荷变化，增加无必要的燃气消耗，所以本建筑新风系统设计为冬夏季两档风量送风。冬季以满足人员需求为目的设计新风量，为方便调节，夏季各房间等比例增大房间新风量，以达到消除房间余热的效果。

同时，高原地区大气压力低、空气密度小，其新风量的确定方法广受争议。《西藏自治区民用建筑节能设计标准》DBJ540001-2016^[2]中未对设计新风量进行约束，《青海省公共建筑节能设计标准》DB63/T 1627-2018^[3]中对设计新风量的要求与《公共建筑节能设计标准》GB50189-2015^[4]的表述一致，未进行修正。当新风量加大时，氧分压始终在低水平上，不可能得到提升，在人体吸入空气体积不变的情况下，增大新风量并不能使人获得更多氧气而提高舒适性^[5]，但可对于一些人员密度较高的区域适当增大新风量以免缺氧^[6]。

考虑到配餐楼内生产房间具有一定的洁净需要，新风系统采用带有初中效过滤器、热水盘

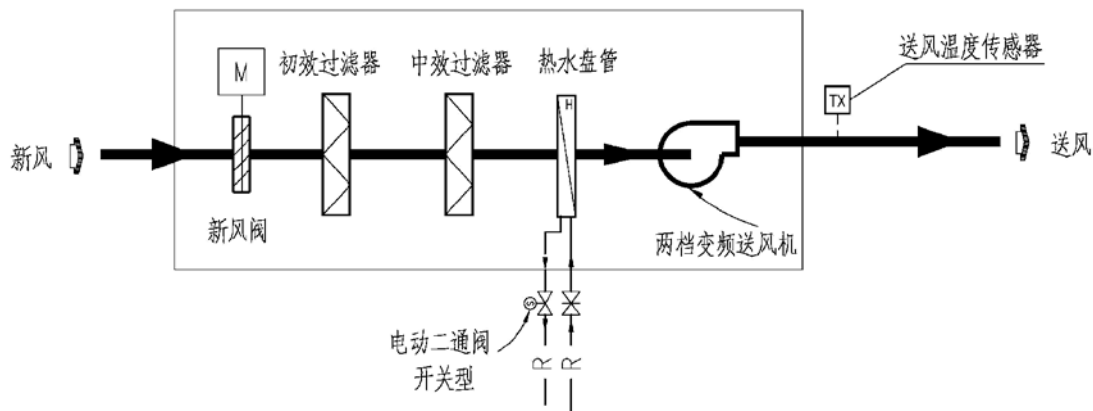


图2 新风机组原理图

管、冬夏两档变频风机的新风机组，机组原理图如图2所示。供暖季新风机组采用低档运行保证人员新风需求，其他季节采用高档运行，利用自然冷风降温。为保证房间气流组织，新风系统送风口采用方形散流器，并居中布置。

一般舒适性房间的夏季最大冷负荷及加大新风量后房间冷负荷的计算值如表4所示，由于室外低温新风消除了房间冷负荷，所以加大新风量后计算负荷及指标出现负值。

表4 不同新风量时夏季最大冷负荷及指标

	夏季最大冷负荷	空调面积指标
不含新风负荷	123.4kW	32.0W/
含新风负荷（新风量仅满足人员需求）	59.4kW	15.4W/
含新风负荷（加大新风量）	-4.7 kW	-1.2W/

2.4 通风系统

本配餐楼各生产房间均设有机械通风系统以保证房间空气品质，并维持各房间之间的正负压关系。同时氟制冷机房及有燃气供应的锅炉房设计了相应的事事故通风系统。

因为配餐厂房在生产过程中会产生大量余热余湿及烹饪油烟，所以相关房间及设备需设计工艺性通风系统。工艺通风的局部排风量及补风量根据工艺专业提供的排风罩尺寸设计。本配餐楼各房间设计局部排风系统排风量及补风量经设备厂家确认后如表5所示，夏季补风直接采用室外新风，冬季将新风进行加热处理进行补风。

表5 各房间局部通风量及补风热负荷

房间类型	房间名称	局部排风量	局部补风量	补风加热负荷
		m ³ /h	m ³ /h	kW
清洗车间	餐车餐具清洗间	6700	5000	26.6
	洗衣房	2700	2000	10.6
	洗盆间	39000	28000	148.7
生产车间	清真热厨房	16000	14000	74.3
	热厨房	104000	87000	374.5
	牛肉热厨房	44000	38000	163.6
	烘烤间	19000	16000	68.9
	饼馅间	18000	16000	68.9

配餐类建筑因为厨房局部通风系统产生的补

风热负荷极大，本配餐楼中热源负担补风加热系统的热负荷占建筑总热负荷的67.6%。为降低此部分能耗，本项目设计对工艺性局部通风系统采用比例空调送风方式——将系统的送风分为两部分，一部分是未经处理的室外新风，由风机直接送入到排风罩或排风设备附近，由排风罩或设备直接排出，从而避免其向工作区扩散，另一部分是加热到指定送风温度的新风，通过房间工作区布置的送风口送入室内。本配餐楼局部通风系统及补风量较大的通风系统若采用比例空调送风的方式，补风加热负荷可至少降低50%。

虽然比例空调送风方式在大型厨房的局部通风系统中可以产生可观的节能效果，但实际应用中仍存在许多问题：

(1) 冬季室外新风温度低，直接引入室内送至排风罩附近，易导致设备表面温度降低，由于厨房生产过程中会产生大量油烟蒸汽，极大可能在排风罩表面产生结露，污染灶面食物，影响生产质量。以往的研究仅从室内气流组织及温度分布展开，并没有从相变的角度对比例空调送风方式进行进一步的研究。

(2) 比例送风方式往往需要送风口与排风罩进行有效结合，这样才能保证房间气流组织合理，同时使工作区域维持良好的热环境，然而适用于比例送风的排风罩产品并不成熟，这也对设备采购造成了困难。

所以本项目仅在生产不受风罩结露影响，且设备自身散发余热的工艺房间采用比例空调送风的方式，即不影响生产质量，又能保证设备周边人员活动的热舒适性，同时达到了节省能源的效果。

3 方案可行性验证

3.1 建立模型

为进一步验证夏季直接引入新风对本配餐楼舒适性房间降温的适用性，本文采用建筑动态模拟分析软件DeST，对主要舒适性房间5月1日~10月31日的室内温度进行了动态模拟计算。建筑模型如图3所示。

在DeST中对房间设定作息可以反映出各类内扰或参数在全年的逐时变化情况。本建筑的内扰主要包括人员、设备、灯光，只有将房间的作息时间设定准确，才能模拟计算出相对可信的室内温度。

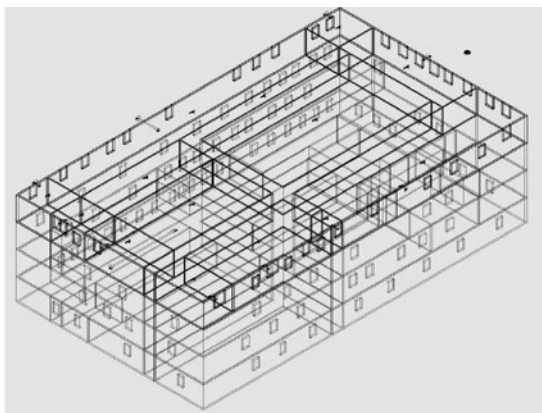


图3 本配餐楼DeST模型

本配餐工程为航空配餐社会性服务工程，全年365天、每天16~20h运营，根据具体的工作类型有不同的作业时间：

- (1) 主要生产车间为2班工作制；
- (2) 管理部门如办公、行政、采购为1班工作制；
- (3) 信息及设备保障为3班工作制，每天的集中作业时间一般在8:00~12:00和16:00~22:00，合计约10小时。

综合考虑西藏当地的生产水平，航食生产所需人员配备440人，其中生产人员为总人数的75%，办公人员为总人数的20%，后勤保障人员为

总人数的5%。设备散热量根据工艺设备表中设备电功率进行计算，散热系数取0.7。

根据以上信息，依次对模型中各房间的内扰作息进行设置。

DeST中可利用“加入通风”功能，构建房间与外界的通风关系，通过对逐时通风次数进行设定，使房间的新风量与设计值相匹配，以此实现对房间新风量的模拟。

3.2 结果分析

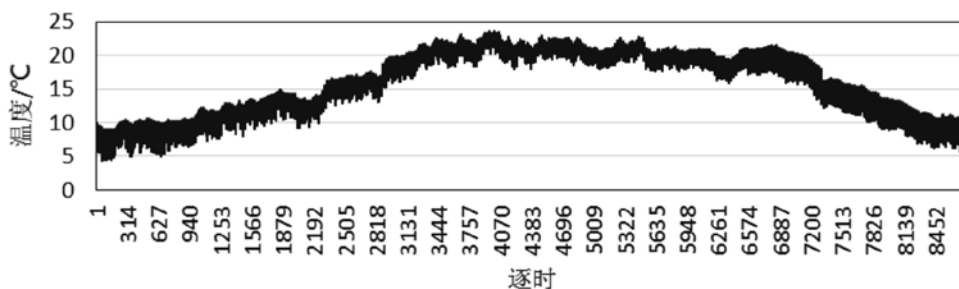
经模拟计算得到各层主要房间5月1日~10月31日的逐时室内温度如图4所示。

计算结果显示夏季直接引入新风对本配餐楼舒适性房间降温，基本可以满足房间温度要求，房间绝大部分时间可以保证夏季室内温度低于27℃，该方案具备可行性^[7]，室内外温度的时间统计如表6所示。其中面点间室内温度超过27℃的时间可保证室温不超过28℃。

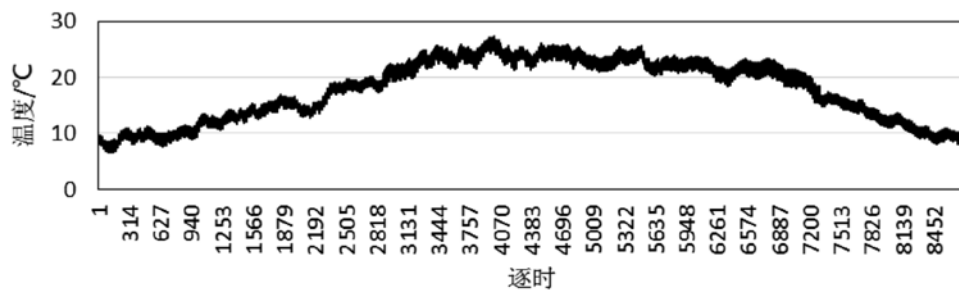
4 结论

本文从冷热源、供暖、空调和通风4个方面介绍了拉萨嘎机场某配餐楼的暖通设计，并对夏季直接引入自然风维持房间舒适性的设计方案进行了可行性分析，得到以下结论：

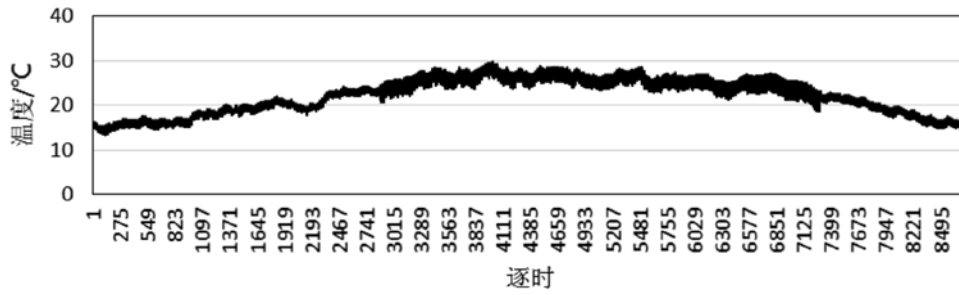
- (1) 拉萨市夏季空气调节室外计算温度及



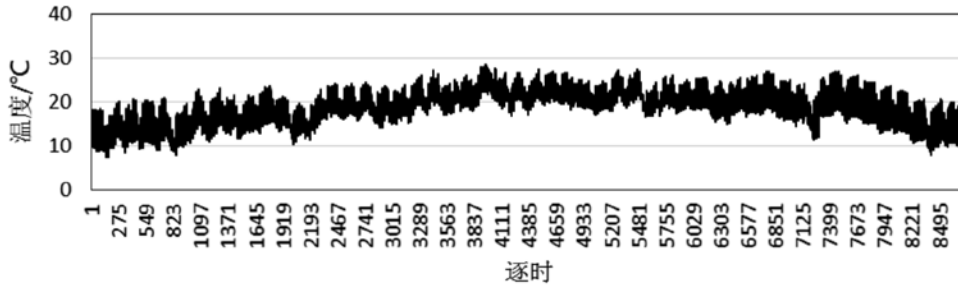
(a) 机供品库逐时温度



(b) 包装间逐时温度



(c) 面点间逐时温度



(d) 工作区逐时温度

图4 部分舒适性房间逐时室内温度

表6 室内外逐时温度时间统计 (h)

	室外	机供品库	包装间	面点间	工作区
t>27℃	3	0	7	148	28
t≤27℃	8757	8760	8753	8612	8732

夏季通风室外计算温度较低，便于引入室外低温空气消除室内余热。由室温模拟计算结果可知：夏季直接引入新风至室内可基本保证房间温度不高于27℃，且极端天气下可保证室内温度不高于28℃。

(2) 配餐楼工艺性局部通风带来的补风加热量占据了热负荷的主要部分，比例空调送风系统采用一定比例的自然风代替了空调风，大大降低了补风能耗，但相关排风罩产品的不成熟以及对厨房生产质量影响的不可评估阻碍了此方案的实际应用。

(3) 高原地区的新风量设计广受争议，低密度空气状态下是否需要对新风量进行修正仍未有规范标准做出解答。加大新风量并不能增加空气的含氧量，仅加强了房间的换气效率^[8]，盲目地加大新风量将增加建筑的能耗负担。

参考文献

[1] GB 50736-2012 民用建筑供暖通风与空气调

节设计规范[S].

[2] DBJ540001-2016 西藏自治区民用建筑节能设计标准[S].

[3] DB63/T 1627-2018 青海省公共建筑节能设计标准[S].

[4] GB50189-2015 公共建筑节能设计标准[S].

[5] 谌红, 韩旭等. 高原防护工程的新风量研究[J]. 防护工程, 2012, 34 (2) 55-58.

[6] 刘运洁, 冷娟. 高原地区某酒店空调通风设计[J]. 技术创新, 2016 (1) 140.

[7] 《全国民用建筑工程设计技术措施(暖通空调 动力)》建质【2009】124号.

[8] 陆耀庆. 实用供暖空调设计手册[M] 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.

某大空间建筑空调系统运行问题与分析

■ 张晓莉 [暖通]

摘要: 空调系统在运行调试方面普遍存在一些问题,不仅影响使用效果,而且造成能耗较高,特别对于大空间建筑存在明显的温度梯度因受调适、运行等多方面因素影响达不到预期要求。本文以北京某大空间建筑为例,针对夏季空调运行出现的问题,进行分析并给出技术措施。

关键词: 大空间;运行管理;系统调适

1 引言

舒适性空调系统的使用越来越普遍,有许多空调系统自安装完毕到竣工验收投入使用后就“带病”运行,不乏有一些重点工程、优秀建筑也存在此类问题。由于过程管控不严,调适缺失,最终“带病”运行,造成投资浪费。特别是对于一些大空间公共建筑,若使空调运行高效,实现节能运行,在设计、订货、安装、调试、调适、运行等每个环节都应认真对待,严格控制过程细节是系统发挥实效的关键因素。

2 工程及空调系统概况

该工程位于北京,为大空间建筑,主要功能是展览。于2018年秋季投入运行。项目总建筑面积为43504m²,其中A区约22560m²、B区约3800 m²。A区为主展区,地下一层,地上五层,建筑高度45m,每层的建筑面积为:地下一层4265 m²、一层4055 m²、二层4150 m²、三层4090 m²、四层2607m²、五层1464m²。地下一层~四层层高均为7m,五层层高从7~14m不等,成旋转上升形,从地下一层~五层上下空间连通,如图1、2所示。



图1 A区内部空间



图2 五层空间

建筑物设集中冷源位于A区地下一层设置制冷机房内,总冷负荷3000kW。机房内设置两台制冷量为1330kW和一台662kW的水冷螺杆式冷水机组,设备功率分别为262.2kW和130.8kW,机组COP分别为5.07、5.06;设置3台立式离心冷冻水循环泵与1330kW冷水机对应,单台流量250m³/h,扬程35m,功率37kW/台,两用一备。设置两台立式离心冷冻水循环泵与662kW冷水机对应,单台流量130m³/h,扬程35m,功率22kW/台,一用一备。空调冷冻水供回水温度为7/12℃,水系统采用一级泵闭式循环,末端采用二管制系统变流量运行,冷源侧通过压差旁通自动调节。

其中A区,地下一层~四层,每层有两个空调机房,五层有一个空调机房。各层空调均为全空气系统,采用一次回风,过渡季可实现全新风运行,空调机组水管设计有动态平衡电动调节

作者简介: 张晓莉,女,高级工程师,2001年毕业于兰州铁道学院暖通专业,现就职于航空工业规划飞机工程设计研究院。

阀,可根据室温自动调节。

3 夏季运行中的反应问题

(1)上下层出现明显温度梯度。夏季A区空调系统运行时,出现地下一层~三层温度偏低,经实测展厅温度约22℃~24℃,四层在25~26度较适宜,五层非常热,展厅温度达到30℃,影响使用。

(2)五层空间湿度大,访客感到闷热潮湿。

(3)直观反映是夏季空调系统的制冷效果不好,舒适度较差,影响访客参观,造成部分访客投诉,但在上一年度的冬季运行,并没有反应出现冷热问题。

各层实测空调送风口温度和室温见表1,测温点分置布在各层人员活动区。

4 问题分析

针对出现的问题,经核查设计图纸,制冷机组总冷量满足计算负荷需求且有一定裕量,水系统配置满足计算和规范要求。

问题最为突出的五层展厅的空调机房内设置了一台风量为20000~30000m³/h的空调机组,该机组为双速风机,低速时为20000m³/h,供冷量为185KW,单位建筑面积冷负荷指标115W/m²,空调面积冷指标为155W/m²,经核算满足理论计算负荷且有一定裕量。风机压头、水管管径、风管

等末端装置符合规范要求,且风系统阀门开关状态正确。

经相关人员进行现场查看,发现空调系统存在如下问题:

(1)位于屋顶空调系统的高位定压水箱内水位见底,整个空调系统水压低,在五层空调机房回水管水未充满,出现倒空现象。由于五层空调机房处于高位,机组供水管压力表读数为0.03MPa,末端冷冻水循环量不足,直接影响空调机组的供冷效果。

(2)软化水补水系统自动控制失灵,不能实现自动补水,但现场记录本上的每日例行检查签字正常。

(3)五层空调机组设计为双速风机,分为高速和低速两档。经现场了解和发现,自系统安装完完毕后始终开启低速档运行,未根据室内外环境的需求自动调速,自控系统失灵。在室内负荷较大时,须开启高速模式,以保证送风量。

(4)冷水机组冷冻水设计温度为7/12℃,经询问现场运行人员,平时大多开启一台1330kW的冷水机组,机组的供水温度设定为10℃,基本没有调整过,每日按时开关机。始终把另外机组当做备用机组,担心开启两台或多台机组会引起管道超压漏水。问题在于机组设定的供水温度偏高,天气较热时影响供冷及空调机组的制冷效果。

(5)机房群控自动化设施未正常投入使用过,平时由运行人员手动开启和设定。根据直观判

表1 夏季A区各层空调送风口温度和展厅内的测量温度(℃)

测温区域		6月某日下午2点			7月某日下午2点			8月某日下午3点			设计温度
		送风口温度	展厅温度	室外温度	送风口温度	展厅温度	室外温度	送风口温度	展厅温度	室外温度	
地下一层	测温点1	13	21	35	12	21	37	12	22	33	26
	测温点2	12	20		12	20		13	20		
	测温点3	12	21		13	21		12	20		
一层	测温点1	14	23		13	21		14	23		
	测温点2	14	22		14	23		14	22		
	测温点3	15	23		14	22		13	23		
二层	测温点1	14	23		14	23		14	23		
	测温点2	15	23		15	23		13	23		
	测温点3	14	24		13	23		14	23		
三层	测温点1	15	23		15	24		14	23		
	测温点2	15	24		14	23		13	23		
	测温点3	14	23		14	23		13	23		
四层	测温点1	16	25	16	25	17	26				
	测温点2	17	26	16	26	17	26				
	测温点3	17	26	17	25	16	26				
五层	测温点1	21	30	22	30	21	29				
	测温点2	20	29	21	30	22	30				

断认为一~四层空调较凉，一台制冷机组足够用，认为五层较热是因空调机组小和送风口出了问题。

(6) 整个A区空调系统水流量偏小，供回水温差达到了7、8℃左右。因为平时开启一台冷水机组，相应仅开启一台水泵，导致空调系统的水流量偏小。五层处于最远位置，流量分配更少，影响五层供冷效果。

(7) 整个空调的水系统平衡缺少调试和调适，经询问，工程竣工后，虽经顺利验收，整个空调系统未进行有效的有负荷联动调试，也未能根据工况变化进行调适。由于地下一层~三层空调机组离制冷站较近，发现空调机房内冷冻水供回水管上阀门全部打开，供回水温差仅2℃~3℃，未进行水利平衡调试，导致此几层的冷冻水流量过大。五层较远，出现冷冻水流量严重不足，甚至出现倒空，导致夏季时地下一层~三层空调温度较低，五层过热现象。

(8) A区所有空调机组的水阀均处于手动开启状态，且旁通阀打开，电动温控阀失灵，BA系统未启用，进而加剧了五层冷水供应不足，另外电动温控阀与设计的动态平衡电动调节阀存在差异，不具备自动平衡功能。

(9) 低层区域送风温差过小，风量过大，造成过冷和风机能耗过大，应根据室温及时调整风机风速，减少能源浪费。

(10) 冬季运行并未反应冷热问题，因为投入使用时间在9月，经过短暂的过渡季很快进入冬季，A区是上下连通的大空间建筑，受热压作用形成烟囱效应，只要底层和低区供热足够，热空气上浮，即便五层空调风量很小和水量不足，室温也会很高。但冬季运行模式不能照搬到夏季运行，只做简单的开关运行。

5 问题的解决

针对以上问题，设计方结合现场实际情况与工作组共同进行了分析并给出解决方案和措施，后勤保障部及物业公司及时进行了调整，调整过程如下：

(1) 保证A区空调系统运行时水系统的压力，对顶层的定压水箱及时进行了补水，并让物业运行人员每天定期检查水箱水位情况，做到及时补水。

(2) 进一步完善定压补水自动监控系统，实现高低水位报警和自动补水。

(3) 根据室外气象条件，及时对冷水机组供水温度进行调整，优化冷水机组和冷冻泵的运行台数，保证冷冻水供水温度和流量，完善机房群控系统，不仅保证了冷冻水的供给，而且进一步实现优化节能运行。

(4) 时根据室内负荷状态对空调机组的送风量进行调整，空调机组为双速风机，根据负荷需求调整高、低速。尤其是五层区域，冬季和夏季不同工况，受屋面负荷和大空间热压作用，存在较大差异，应及时调整机组风量。

(5) 对水系统进行平衡调试，结合现场实际情况，根据末端阻力、压差和供回水温差逐层有序调整阀门开度，做到层间相平衡，从而避免低区过流，供回水温差过小，进而修正回水温度，避免由于回水温度较低，冷水机组误判末端负荷较小，造成仅开启一台冷水机组，不能满足实际需求，影响舒适。

(6) 关闭所有空调机组水管内旁通阀，完善自动温控阀，实现自动调节功能，进一步更换控制阀，实现动态平衡。

6 小结

经过上述调整后，对A区室内温度进行了重新测试，各层空间人员活动区域温度在25℃~26℃，满足了舒适性需求。

设计、建造、安装是投入过程，运行调试非常重要，空调系统的调试并非仅开机运转即可，而是从主机到末端系统有机调适。

调试不等于调适，空调系统的运行应通过调适，满足各个工况的自适应运行。

对于大空间上下连通的建筑，冬季受热压作用，夏季受屋面负荷和温度梯度自然分层的影响，应及时根据实际需求调整空调系统运行工况。

水系统的平衡是空调系统正常运行的关键因素，系统不平衡，不仅影响舒适度，而且造成输送能耗浪费。

自动控制系统是高投入系统，应注重点对点，有效控制，使自控系统发挥作用，避免成为摆设，运行人员凭感觉运行。

通过本工程案例，深刻认识到设计、施工、监管运行调试与调适以及物业运维管理有机结合的重要性。如果各个环节过程管控不利，造成事倍功半，验收变成形式，从而影响使用效果，造成能量浪费。

电子工程设计研究院

电子工程设计研究院（简称四院）始建于1951年，前身为航空机载系统工程研究所，主要业务范围集中在航空机载系统工程、航天空间器、战略战术、航天电子、兵器工程、电子工程、军队营房建设以及民用建筑、大型数据中心等领域，尤其是在航空机载系统工程领域具有雄厚的技术实力和丰富的咨询设计、工程总承包经验，在国内处于垄断地位，获得国家优秀工程设计奖、部级优秀工程设计奖、科技进步奖等奖项的项目遍布全国各地。

经过60多年的发展，电子工程设计研究院汇集了数百名工程设计、项目管理人才，打造了机载系统、精导武器系统、航天空间器、航天电子、特种汽车及零部件、民用建筑、大中型数据中心、惯性器件、传感器、标准件、EPC管理等10余个精英团队，拥有研究员级工程师12名，高级工程师31名，工程师60余人，拥有一级注册建筑师、结构师、建造师等70余名。

电子工程设计研究院践行“规划梦想，共创辉煌”的公司使命，提供固定资产投资领域产业规划、行业规划、项目前期咨询、工程设计、工程总承包等全生命周期的价值集成服务，致力于成为以设计为龙头、以专业化为支撑、以市场化为导向的国际一流工程建设领域全价值链服务提供商。



2020年第3期（总第149期）
2020年6月出版



西安飞行自动控制研究所GNC产业基地建设项目