

航空工程建设

AERO-INDUSTRY ENGINEERING CONSTRUCTION

2020年第4期 总第150期



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

内部资料 免费交流
准印证号：京内资准字9920-L0337号

中国航发某所设计仿真大楼

项目名称：中国航发某所设计仿真大楼

建设单位：中国航发某所

设计单位：航空工业规划动力工程设计研究院

中国航发某所仿真大楼建设方案，以“中国心，源动力”作为设计创作理念。建筑面积6.3万m²，项目投资4.98亿。

建筑方案的布局推陈出新，立意高远。在传统“回字形”的基础上进行了创新性提升，打造出了独具中国航发特色的“国字型”布局模式。从空中俯瞰，建筑体量最大化的利用场地，围合出一片闹中取静的院落空间，形成“国字型”的外轮廓造型。在建筑院落内，方案将内院景观和红色展厅相结合。总部及研发中心好比企业大脑，凝聚企业智慧和精神力量，同时汇聚处理大量企业行业信息，功能上好比一台计算机的芯片。设计中正是将“芯片”作为形体母题，抽象其元素融入设计，结合企业性质表达，人性化设计手法，打造具有国际化高标准的企业办公总部。鲜明的色彩能够激发企业创新活力，从而保持着一份旺盛与健康的创新之源。同时也象征作为“中国心”的航空发动机研发事业成为中国航空界的源动力。

建筑立面强调横向长窗的细节，简洁大气，现代优雅，极赋动感与张力，处处体现速度感、力量感和科技美感，彰显了航空企业文化，具有强烈的可识别性，寓意中国航发集团承前启后、继往开来、辉煌灿烂的明天。



工程总承包“双资质”重大改革！全国多省政策推进！

住建部、发改委联合印发的《房屋建筑和市政基础设施项目工程总承包管理办法》自2020年3月1日起正式实施，《办法》首次确立了我国工程总承包新的设计和施工“双资质”制度，近期，全国多省相继发文，推进工程总承包，深化落实“双资质”制度。

在工程总承包的大背景下，各地部门相继发文推进设计与施工“双资质”制度，但政策制度的真正落实，还需要各方的努力。

从政府角度而言，对于建筑行业发展成熟高的区域，可通过培育工程总承包“双资质”企业；对于建筑行业发展成熟度一般的区域，可通过支持工程总承包企业与本地建筑业企业合作组建联合体等方式，推进设计与施工“双资质”制度的落实；对于双资质企业较少、行业相对发展不成熟的区域，地方政府提出，可采用单一资质和诚信体系相结合的“折中”办法挑选工程总承包企业。

从企业角度而言，国家力推工程总承包，市场需求也向工程总承包这种模式倾斜，倒逼着企业通过内部或外部的设计与施工资源整合，以满足“双资质”要求。此外，施工单位可通过引进设计人才，设计单位也可通过引进施工管理人才、工程咨询人才，从而提升企业的总体竞争力，也有利于企业自身的长足发展。

从行业角度而言，由于“双资质”制度的客观要求，没有设计或施工特色的企业的生存压力会加大，建筑市场的竞争进一步加强，同时行业人才的流动性将会增大，促进企业的加速转型。有观点认为，这一政策在实行中会有许多问题，“双资质”制度会使实力不足的民营施工单位和小设计企业边缘化，从而加速行业的两极分化。但从总体上来讲，“双资质”制度的实行有利于行业的高质量发展。

(信息来源:《建筑时报》)

航空工业连续12年入榜世界500强榜单

8月10日,《财富》世界500强排行榜单正式发布,航空工业以659.09亿美元营业收入排名第163位,连续第12年入榜。在航天与防务行业分榜单,航空工业位居第5位,与2019年持平。

2020年,中国大陆(含香港)上榜公司数量达到124家,历史首次超过美国(121家)。加上台湾地区公司,中国共有133家公司上榜。

2019年,航空工业坚持加强党的领导和完善公司治理相统一,聚焦主责主业、实施创新工程、深入推进改革、夯实管理基础,四大攻坚战加速推进:“军品任务”攻坚稳步实施,“夯实基础”攻坚开局良好,“融合发展”攻坚全方位推进,“瘦身健体”攻坚取得阶段性胜利。全年实现营业收入4580亿元,利润总额198亿元,考核净利润224.7亿元,EVA57.5亿元,全面完成国务院国资委2019年度经营业绩考核并再获A级。

2020年以来,在新冠肺炎疫情冲击影响下,国内国际经济形势呈现出前所未有的复杂格局。航空工业党组坚决贯彻习近平总书记系列重要讲话和重要批示指示精神,深入贯彻落实党中央、国务院决策部署和国资委工作安排,统筹推进疫情防控和复工复产,紧咬既定目标,不等不靠,主动作为,坚决做好“六稳”工作、落实好“六保”任务,全力以赴实现全年目标任务,推动航空工业改革发展乘风破浪、行稳致远。

(信息来源:《中国航空报》)

航空工业携旗下12家企业亮相2020年服贸会

9月4日,为期6天的全球首个服务贸易领域综合型展会“2020年中国国际服务贸易交易会”在北京国家会议中心举行。这也是我国在疫情发生以来,线下举办的首场重大国际经贸活动。航空工业在本届展会上围绕七大服务领域,携旗下12家相关企业亮相服务贸易十二大领域企业专区。

本届服贸会以“全球服务,互惠共享”为主题,设置7类活动,包括高峰论坛、行业大会、专业论坛、展览展示、成果发布及配套活动等。本届“云上服贸会”将是突破时间、空间、语言限制的数字化、智能化、创新化会展新基建平台,也是完美呈现云上“展、论、洽”三大主题场景的技术创新。

航空工业在本届展会上围绕七大服务领域,结合文字、图片、视频等多个角度亮相“云上展厅”,对各参展企业进行全方位展示,搭建与客商之间沟通交流的平台,并参与到“线下峰会”等形式的面对面洽谈合作活动中。

(信息来源:《中国航空报》)

海口美兰临空经济区航空发动机维修基地（平台）一期项目

建设地点：海南省海口市

设计单位：航空工业规划动力工程设计研究院

建设情况：施工中

建筑面积：7.45万m²

本项目的定位是：面向亚太地区及全球市场，建设具有全球竞争力的航空发动机维修平台，形成多型号发动机的综合维修能力，与周边一站式维修项目形成航空产业的集聚发展，建设“一带一路”亚太区航空维修业务集散中心，加快海南自由贸易港建设的总体部署。

本项目的建设目标是：建设国内第一条新一代宽体客机发动机大修线，并形成新一代宽体客机发动机GENx60台/年的大修能力，为建设具有全球竞争力的航空发动机综合维修平台奠定基础。建设内容包括建设发动机大修厂房、发动机试车厂房、车间供油站、化工品库、动力站、食堂和门房。

本项目的规划愿景为建设“富有全球竞争力的一站式飞机发动机维修基地”，建筑设计理念为“韵律与秩序”，打造一个企业的精神标塔，一座国际化的工业场所，一处置身花园的维修基地。建筑外装饰材料着重突出现代感，以高技术的精致构造表达发动机维修建筑的美学内涵。开窗形式上依据建筑室内功能空间和模数化几何学设计方法，在协调之中寻求对比变化，萃取企业的可识别性、标志性元素加以概括提炼，来体现基地的现代感及文化品格。





中国航发航材院高温合金涡轮叶片示范厂房项目

建设地点：北京市顺义区

设计单位：航空工业规划动力工程设计研究院

建设情况：施工图设计

建筑面积：1.9万m²

本项目设计理念为“当代包豪斯”。建筑设计理念采

用现代包豪斯风格的经典设计，遵循世界建筑大师勒·柯布西耶“新建筑五要素”的理念，采用现代主义的横向长窗，体现工业感、机械感、结构美感，象征了示范厂房的尖端智能。建筑整体的金属质感，横向长窗富有韵律感，隐喻了企业精密铸造、手工雕琢的匠心品质。立面视觉效果虚实结合，色彩借鉴德国包豪斯顶级工业建筑的搭配，令人醒目明快、耳目一新。立面横向窗间墙的细节，简洁、大气、现代、优雅，具有强烈的可识别性，成为尖端航空发动机示范厂房的点睛之笔。

某厂新园区建设项目概念设计项目

建设地点： 广西省桂林市

设计单位： 航空工业规划动力工程设计研究院

建设情况： 方案设计中

建筑面积： 15万m²

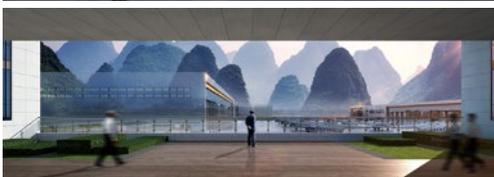
某厂新园区规划总用地38ha，位于广西省桂林市。项目用地周边奇峰林立，层次丰富，色彩绚丽，可远眺大西山，气候宜人。

孔子曰：“智者乐水，仁者乐山”成为影响后世自然美学思想的重要观念。项目选址于桂林大好山水之中，开发讲求因地制宜，充分利用现有自然条件与人文风光条件，

将自然生态的这一传统东方哲学思想植入其中，期望打造一个天人合一的飞机修理园区。

规划方案秉持便捷高效的工艺布局理念，运用中国古典园林造园中“借景”的手法，引入景观通廊概念，将桂林山水再现于园区之中，自然形态的山水景观与具有航空特色的厂房共同打造出一幅山—水—城的画卷，刚柔相济，藏风聚气。

方案提取直升机螺旋桨桨叶的意向，综合楼就像一部即将起航的飞行器，螺旋的形态具有腾空的动势，象征着征服航天的信心。设计采用开放、共享、立体的设计策略，通过庭院、步道、围廊、观景平台，融入多层次、立体化的景观空间，将周边山水景色引入建筑之中，营造人性化、园林化的办公研发体验。





中国重型燃气轮机条件建设试验能力工程试验基地建设项目

建设地点：上海市

设计单位：航空工业规划动力工程设计研究院

建设情况：初步设计中

建筑面积：4万 m^2

重型燃气轮机产品广泛用于发电系统中，是能源洁净、高效利用的关键设备，但我国却缺乏自主设计重型燃气轮机产品的能力，而试验又是验证和反馈重型燃气轮机设计的关键步骤。在我国大力发展重型燃气轮机背景下，本项目建设尤其重要。

项目建设用地位于上海市浦东新区临港新城装备产业区。产业区位于上海市东南部，距上海市区75km，距浦

东国际机场25km。开发区主要道路与S2高速公路及两港大道等相连，交通便利。

建筑造型依据工艺布局，由简洁方正的几何体块构成，形体单纯简洁，并依据实际工艺需求形成高低组合，错落有致的几何形态，充满了现代工业建筑的简洁高效的美感。

建筑主要采用银白色的平钢板作为外装饰材料，与玻璃幕墙相配合，虚实对比，简洁明快，充分展示了现代工业建筑的技术美感。

附楼的开窗形式采用了横向带形长窗，并在窗上设置横向贯通的遮阳板，强化了水平线条，与横向的建筑体量相配合，简洁流畅，采光良好。

设计注重企业形象的营造，建筑立面成为企业的主要展示面，设计利用高耸的水塔设置企业LOGO，并在动力站的主厂房高处设置企业标识，突出醒目，展示效果好。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《通用雷达站设计标准》的公告

现批准《通用雷达站设计标准》为国家标准，编号为GB51418-2020，自2020年10月1日起实施。其中，第4.0.7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计划出版社出版发行。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《智能变电站工程调试及验收标准》的公告

现批准《智能变电站工程调试及验收标准》为国家标准，编号为GB/T51420-2020，自2020年10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计划出版社出版发行。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《高性能混凝土用骨料》的公告

现批准《高性能混凝土用骨料》为建筑工业行业产品标准，编号为JG/T568-2019，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《建筑用木塑复合板应用技术标准》的公告

现批准《建筑用木塑复合板应用技术标准》为行业标准，编号为JGJ/T478—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国家标准《槽式太阳能光热发电站设计标准》的公告

现批准《槽式太阳能光热发电站设计标准》为国家标准，编号为GB/T51396-2019，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计划出版社出版发行。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《城市照明建设规划标准》的公告

现批准《城市照明建设规划标准》为行业标准，编号为CJJ/T307-2019，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《装配式铝合金低层房屋及移动屋》的公告

现批准《装配式铝合金低层房屋及移动屋》为建筑工业行业产品标准，编号为JG/T570-2019，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《钢筋连接用套筒灌浆料》的公告

现批准《钢筋连接用套筒灌浆料》为建筑工业行业产品标准，编号为JG/T408-2019，自2020年6月1日起实施。原《钢筋连接用套筒灌浆料》（JG/T408-2013）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《民用建筑修缮工程查勘与设计标准》的公告

现批准《民用建筑修缮工程查勘与设计标准》为行业标准，编号为JGJ/T117—2019，自2020年6月1日起实施。原行业标准《民用建筑修缮工程查勘与设计规程》（JGJ117—98）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。

（来源“国家工程建设标准化信息网”）



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

顾问委员会

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

编辑委员会

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

总编 沈金龙
 主编 陈海风
 执行主编 王蕊
 责任编辑 范蕊
 出版 《航空工程建设》编辑部
 地址 北京德外大街12号
 邮编 100120
 E-mail hkgejs@avic-apc.com
 印刷单位 北京华美昌信印刷设计有限公司
 发送对象 公司内部及本系统内部
 印刷日期 2020年08月
 印数 1500册
 电话 (010)62038235
 传真 (010)62038297
 封面 中国航发某所设计仿真大楼

CONTENTS

目录 2020年第4期 总第150期

航空能力建设

- 02 数控机床智能监控与状态识别方法探究 宋永杰
- 06 涡扇发动机典型结构强度试验布局研究 杨阔

研究与探讨

- 09 泉州市博物馆防震研究与实践 覃杰 马伯涛 宋毛毛
- 15 地下连续墙施工过程中的质量和安全管控要点 陈凯 王应严
- 20 垃圾焚烧项目概算编制的工作体会——以土建专业为例 韩颖 韩爱华
- 23 某低压补偿柜导线绝缘烧蚀故障的分析 牛犇
- 26 谈GB/T 13870.2《电流对人和家畜的效应 第2部分：特殊情况》的修订 牛犇 丁杰 陈彤
- 29 开洞地下室顶板水平传力性能分析 韦恒 熊海贝 赵伯友
- 35 地下室对上部结构的约束作用研究 韦恒 熊海贝 赵伯友
- 43 北京某垃圾卫生填埋场渗滤液处理站提标改造工程 李珂 陆新生
- 47 民用运输机场飞机灭火剂经济用量分析 李大帅 陈洁如 王锋
- 51 航煤储罐双盘浮顶强度及稳定性计算 周恒 朱超
- 54 水痘减毒活疫苗原液生产车间工艺设计分析 张瑞超 张晓彤
- 57 PCR实验室工艺设计研究 张萌 王云飞 张凯
- 60 西藏话剧团项目太阳能供暖和空调设计 康亚盟 孟凡兵 朱晓山 刘鑫

数控机床智能监控与状态识别方法探究

■ 宋永杰 [工艺]

摘要: 本文通过研究分析数控机床的智能监控和识别方法,探讨如何提高数控机床智能监控的质量,旨在为数控机床行业的发展提供良好的技术支持,以推动我国制造业的发展。

关键词: 数控机床;智能监控;状态识别

数控机床作为我国制造业中的一个主要加工设备,在我国制造工艺的发展中起着非常重要的作用,但是数控机床的故障会改变机床的工作条件,如果不能正确诊断和处理数控机床的缺陷,整个数控机器可能会崩溃,并给制造公司造成巨大的经济损失。

近年来,无论是在数控机床监控系统的开发方面,还是在理论和实践方面,我国都对数控机床的监控和诊断进行了大量的研究和分析,但是由于开发系统的不足,无法与其他系统很好地进行集成,因此尚未真正形成对数控机床的智能监控和状态识别。随着信息技术和网络技术的发展,生产制造对数控机器监视和识别提出了新的高要求。根据当时情况对智能数控机床进行远程监控,可以实时监控数控机器的工作状态,系统使用智能诊断模块来诊断数控机床的故障,如果数控机器出现故障,那么监控系统可以自动识别出机器故障并发送警报信号,系统自动响应警报并停用机器,可以确保数控机床的安全运行。传统的数控机床监控系统和数控机床生产的缺点,通过智能数控机床的远程监控系统可以得到有效的改善和优化^[1]。

1 数控机床智能监控研究背景

制造业是我国实体经济的重要组成部分,支持我国国民经济的发展,对人民生活水平产生着重大的影响,也是未来我国经济“由创新驱动,转型升级”的主要方向。可以看出,在历史过程中,

生产技术和工艺设备的重大创新对世界其他国家的利益都产生了重大影响。生产的优势可以反映出该国的优势,新技术和生产信息网络的紧密集成为推动世界创新提供了重要的动力。在困境中,国家提出了许多重要的发展战略,为生产发展开辟了新的视野。国务院在2015年提出了“我国制造2025”发展战略,包括5个主要项目、9个主要开发任务和10个主要领域。数控机床加工设备和机器人行业就属于该战略重点领域中的一项,智能化生产属于5个重大项目之一^[2]。其中,数控机器的智能监控是非常重要的一个环节,用于监视数控机器运行的基本数据收集。当前,世界领先的数控系统制造商正在开发数控系统的数据采集接口,但是在这个过程中仍然存在一些需要改进的弱点和缺点,例如兼容的接口跨平台的灵活性差、可读性差等。这些错误使对数控机器的运行过程进行有效的在线监视变得困难,常规监视方法与实际工业现场相比是二维的。有一个比较重要的缺点是数据的显示方式相对单调,直观视觉上完整无缺,从而导致用户活动保持不变。通过在监控数控机床中使用3D可视化,管理人员可以在不离开家的情况下监控机床的使用情况,这在开发智能制造中发挥了十分积极的作用^[3]。

2 数控机床监控技术发展现状及存在的问题

2.1 数控机床监控技术发展现状

数控机床的智能监控具有许多的用途和潜在的经济价值,并且在国外也有广泛的研究分析活动。由于数字控制技术、高速驱动技术以及传感器技术

作者简介:宋永杰,男,高级工程师,2012年毕业于中国石油大学(北京)控制科学与工程专业,现就职于航空工业规划智能技术中心。

等的发展,数控机床的生产变得越来越强大,网络自动化、高精度以及高效率是数控机床发展的重要方向。随着数控机床功性能的提高,实际的生产和应用过程对于采集和监控数控机床状态的数据变得非常紧迫。在这方面,各种类型的数控机器监视技术正在增加。基于数控机床的监控技术,可以使用网络对的数控机床进行自动数据采集和加工状态监控,然后通过仪器的操作状态监视界面可以提供直观的数据参考,机床的故障也会立即自动通知相关技术人员。同时,有关数控机器的信息不正确会为生产人员提供错误的数控机器工作过程的信息。也许通过数控机器的在线监视和诊断,可以实现“非人数据”,从而改变了通知负责人机器故障诊断的被动状态。全球计算机网络的发展和某些传感器技术的应用为监控数控机器提供了强大的技术基础^[4]。

与海外研发的智能监控产品相比,我国的智能监控技术还够不发达。我国的智能监控主要依靠我国的一些知名大学和研究所,并且也取得了一定的成就,例如,我国科学院自动化研究所为北京奥运会研究并开发了一套智能视频监控系統,用于运动场监控,其主要监视进出奥运会的人口流动,并根据监视情况采取不同的步骤。随着国际上对交通安全监控的增加,各种智能手表监控系统也已经用于实时交通监控。例如,许多交叉路口都配备了智能监控设备,例如自动范围牌照自动识别交通统计。目前,国内一些公司已开始研究智能监控系统并推出自己的系统。例如,由海康威视数字技术有限公司设计的智能监控系统为我国举办上海世博会提供了安全的监控保障。

虽然我国智能监控系统的研究取得了一些成果,但仍与其他发达国家存在较大差距。目前,我国的监控主要集中在传统的数字监控上,对于现有的监视系统,可以说其已经成为“监视者”了。但是,“控件”的使用仍相对欠发达,必须加以改进。这主要是由于在监控国内企业的智能研发方面的投资较低,以及缺乏核心竞争,因此,就需要研究和开发智能监控系统来促进我国安防行业的发展^[4]。

2.2 当前数控机床监控技术存在问题

(1) 实时传输量低以及可靠性低:受当今技术设备的限制,数控机床的组装过程受到数据采集、带宽和传输网络时延、传输时延大以及采集率低等因素的影响。在高频下(通常信号采集间隔高于1s),难以实现较高的实时性能。同时,数据采集过程容易受到生产过程实际环境(例如:电源异

常关闭、网络故障等)的影响,其可靠性也很低。

(2) 工作数据收集很特殊,收集参数很少。目前,数控机床的数据采集解决方案通常基于单元卡方法。信号采集非常抽象,并且侧重于计划和实施,因为有必要评估制造业中各种数控系统的数据采集要求。采购职能相对独特,采购参数有限,通常仅包括发动机启动信号故障警报信号,NC程序的负载开始和结束时间等。一些重要的信号和一些重要的操作参数,它们展示了NC加工过程的有效状态,例如功率、电流以及温度等(例如:NC编程过程中坐标进给的变化以及速度等)。采集能力差在某种程度上,所以数控机床监控技术的范围是有限的^[5]。

(3) 缺乏直观和高效的先进加工技术:在机床上实施数据采集只是监视过程的第一步。在设计和实现整个系统时,创建虚拟监视器的有效且直观的可视界面是一项巨大挑战。当前NC加工过程中虚拟视频监视的主要方法是根据生产工厂本身的物理和逻辑位置以及NC的二维布局来设计虚拟车间机器的二维布局。

3 数控机床智能监控关键技术研究

3.1 海量工业过程数据处理技术

随着经济的发展和计算机技术的更新与发展,传统制造业的市场竞争越来越激烈,世界制造业已开始开发智能化和数字化的新模式。对于数控机器,在相对较高的数据收集类型中,采购频率要求也非常的丰富,包括负载和传感器,以及接地电源和电流。同一台机器每天丰富的数据量给数据库服务平台带来了很大压力。因此,可以使用压缩算法和基于回合的算法来处理 and 清理以上数据,以有效地增加数据存储并有效地节省存储空间^[6]。

3.1.1 海量工业过程数据处理技术概述

随着新信息技术的不断发展以及传统产业市场的激烈竞争,全球制造业开始采用数字化和智能制造的新模式。在工业生产中,数据量在持续快速增长,然而数控机床采集数据量的速度通常比较高,从而可以收集不同类型的数据,例如轴速度和功率潮流传感器的数据等,每天每台计算机上的数据量可以达到GB级别。这就需要使用压缩算法来压缩此处理后的数据,从而减少数据库服务器的巨大负担,从而提高存储效率并节省存储空间。

3.1.2 常见的数据压缩算法

数据压缩可以根据某些规则重新组织收集的

数据、消除冗余数据、存储有用的信息并减少数据的储存空间。从数学角度来看,需要将原始关系数据转换为一组无关的数据,并通常执行这些转换来处理、储存和传输数据。然后,需要压缩原始数据以重建原始数据,随着工业数据库应用程序的出现,解决日益紧迫的存储问题以及数据压缩在制造业中引起了很多的关注。最近有一种新的数据压缩算法衡量数据压缩算法有效性的重要指标是压缩率(CR)的压缩率。CR表示原始数据点数与压缩数据点数之比,如果压缩率越高,那么消耗的存储空间越少。另一个重要步骤是CE(Compression Error),CE解释了解压后提取的数据与压缩的实际数据之间的相似性^[7]。

当前,工业的数据主要有3种压缩方法:分段线性插值法、矢量量化和信号转换法。其中,芯片线插值在工业中被广泛使用,它还包括球形波导法、反向斜率法、平开门法(Swinging Door Trending(SDT))以及定界线性趋势法。其中,自旋样式算法是最适合于线速度损失的压缩算法,尽管其压缩率不如信号转换方法好,但具有效率高、简单和可控制误差的优点。向量量化方法需要额外的时间来计算码本,并且对于数据,该码本不能改变它。考虑到此功能,加权量化很少用于工业过程数据的压缩。信号转换是一种从一种格式转换为另一种格式的方法。通常,离散余弦变换和波形变换,借助波形转换的好处,波形转换一直是当前研究的热点,但是许多实际的技术问题仍然没有得到有效的解决。

3.1.3 旋转门算法

旋转式算法是OSI公司提出的有损压缩算法,它使用线性过程和公差来压缩工业运作的的数据。原则上,首先从先前存储的数据点和当前数据点绘制一条直线,然后检查由当前发布的点和最后保存的发布点形成的压缩偏差区域,以确定该数据点是否已经被预先存储。如果压缩区域不能覆盖两个区域之间的所有点,那么有一个数据点将无法保存。

3.1.4 海量过程数据处理算法原理

在制造业领域,数控机床的生产和运行数据的变化通常来说是相对稳定的。考虑到此功能,通过旋转板算法将其压缩成几部分,然后在数控机床上将其分为较大的过程数据部分。同时,动态压缩的连续间隔的容差根据相邻间隔中数据变化的状态进行调整。换句话说,随着收集数据信息的变化逐渐增加并且数据的变化减小、公差减小并且通过系数k可调节极限值的变化。本文提出的解决方案有效地

解决了常规旋转算法中存在的问题。另外,压缩过程具有许多特征数据点,这些特征数据点将其删除并降低了其压缩精度。我们需要保存此数据点以减少在压缩过程中出现错误,使用多模型优化方法代替原始的线性计算方法。功能部件的计算是通过比较最佳计算功能部件的型号来确定的。计算的结果是存储了数据点,减少了保留的系统状态数据,而不会丢失任何有效信息,从而提高了存储空间^[8]。

3.2 数字可视化监控技术

早期的美国改革专家和我国工程师提出了可可视化技术的基本概念,在提出之后受到了许多国家和地区专家的关注。随着计算机网络和模拟技术的发展,可视化技术已成为工业社会发展的主流,并逐渐应用于三维绘图领域。如今,可视化技术在社会发展过程中随处可见,例如:创建虚拟平台、建设智慧城市等,在军事、娱乐和制造业等领域都用到了可视化技术。该数字视觉监视系统使用集成的编辑器设计了一个真实的电机系统,从而提高了数控机器的智能监视质量,该机器可以根据受控对象控制组件。

4 数控机床智能监控状态识别与分析

4.1 感控层

数控加工智能监控CPS的感应控制节点层是CPS和数控机器的实际物理过程之间的交互点,包括CPS的物理组件、传感器,各种物理控制器、驱动器以及数控机器的指令、主要针对物理对象和资源(工装,刀具等),主要涉及到控制技术、系统传感技术以及通信技术。数控智能跟踪系统的重要组成部分是传感功能的创建和传感网络的集成。通过网络处理以及数控加工和相关传感器与物理传感器(相关工具和设备、空间等)以及物理设备中与数据收集相关的功能的收集,从而来制定有效的控制和检测决策。验证功能齐全的CPS注册,节点被实现为数控工具获取和控制网络。该系统使用数控机床自己开发的数据采集工具和传感器网络技术来开发拥有知识产权的数控数据采集系统。

4.2 网络通信层

借助真正的CPS数控机床智能监控系统,网络通信团队面临的最大的挑战就是如何确保虚拟空间与物理空间之间的大容量以及大数据的可靠性等。同时,随着智能设备和智能感知设备被普遍使用,未来工作现场的网络接入需求将成几何级数增加。根据中国现有工作现场网络在传输可靠性和传输性

能方面的具体情况来看,使用分布式数据采集的设计,在感知层以及在相应的处理层优化数据采集和整理策略,采用“分步+冗余”的数据采集、传输和整理方法,可有效降低实际数据采集和处理过程对网络传输技术的可靠性与及时性的高要求。然而随着后续数控机床智能监控CPS系统的广泛使用,依旧需要采用新一代具有充足带宽、接入能力极强、超低时延的新的工业现场通信网络。此外,还需要密切关注具备较高可靠性、较低时延、较大接入容量的网络接入技术,以满足以后工作现场的要求。

4.3 资源服务层

由于数控机床智能监控CPS系统中有一些针对物理环境的感知、监测以及研究分析决策的处理过程中有大量的数据需要被存储、计算、分析以及控制,但是数控感控层的数据存储以及处理能力是有限的。所以,需要对获取的实时数据进行综合分析,从海量数据中分析、提取出最有用的信息。数控机床智能监控CPS系统的资源服务层作为系统运行的支撑系统,能够为相关的决策及应用层提供各类数据分析、图形运算以及大数据处理能力支持;此外,还能为感控层提供大量的数据存储以及数据处理服务等;同时,能够对感控层的感知组件及执行器进行建模,从而形成虚拟空间与物理空间相结合的服务,综合状态报告、监控指令以及机床操作控制指令等。

4.4 决策应用层

决策应用层主要是针对应用和操作人员,其主要目标是要对数控机床运行过程的可视化监测和自主化等进行有效控制。首先,决策应用层能够作为操作者的功能增强装备,从而为操作人员提供及时、全面以及具备决策参考价值的数控加工过程工况信息和数据等,以提高操作人员对整个数控加工过程的了解和控制能力;其次,决策应用层作为具备高度自主性的智能监控系统,其可以利用内嵌的大数据计算以及智能数据分析能力,对实际加工过程进行实时状态的评估,从而实现智能化的加工过程预测、异常报警等的作用,使数控加工过程向着智能化、无人化的趋势发展。

4.5 数控机床检测体系结构

数控机床的远程监控系统可以有效地收集和控制在数控机床的状态,并通过网络互联技术,实时把收集的数据信息传输到远程监控中,从而提高了数控机床的智能监控的总体质量。其中,用于远程监视中心的数控机床通常使用数据库连接和JDBC技术来提高数据恢复和监视的质量,并通过运行的智

能机器对数据信息进行实时处理,从而有效地监视机器的当前工作状态。同时,远程监控系统可以将分析的结果发送到各个车间,展示相关的技术要点以及工具等的现状,只要一发现有故障就会自动触发报警系统,从而提高数控保护的质量。

5 结语

本文首先对数控机床智能监控研究背景进行了分析,然后从数控机床监控技术发展现状以及当前数控机床监控技术存在问题等两个方面对数控机床监控技术发展现状及存在的问题进行分析,接着从海量工业过程数据处理技术以及数字可视化监控技术两个方面对数控机床智能监控关键技术进行研究,最后从数控机器视觉监控系统的设计、数控机床检测体系结构以及粒子群算法优化模型等方面对数控机床智能监控状态识别进行分析。

随着信息技术的飞速发展,我国的制造业也慢慢向着先进的制造方向发展,同时数控机器必须进行一系列更改以适应生产以及并行操作和网络生产。提高数控机床智能监控的质量,有效识别数控机床的运行状况,为数控机床行业的发展提供良好的技术支持,同时也为人类的生活和生产提供方便,使得机器的生产效率得以提高,推动我国制造业的发展。

参考文献

- [1] 蒋贤海,张铁.数控机床智能监控与状态识别方法研究[J].组合机床与自动化加工技术,2016(08):71-73+77.
- [2] 焦文霞.智能制造生产线在技能实训基地的应用研究[D].河北科技大学,2019.
- [3] 吴世东.数控机床智能监控与状态识别方法研究[J].才智,2018(26):222.
- [4] 王丽娜.基于MTConnect的数控设备互联互通技术研究与应用[D].中国科学院大学(中国科学院沈阳计算技术研究所),2018.
- [5] 邹旺.数字化车间制造过程数据采集与智能管理研究[D].贵州大学,2018.
- [6] 聂笃伟.数控机床智能监控技术的研究与应用[J].现代工业经济和信息化,2018,8(09):29-31.
- [7] 张弛.基于OPCUA的828D数控机床群远程监控系统设计[D].兰州理工大学,2018.
- [8] 蒋贤海,张铁.数控机床智能监控与状态识别方法研究[J/OL].组合机床与自动化加工技术,2016(08).

涡扇发动机典型结构强度试验布局研究

■ 杨阔 [工艺]

摘要: 本文通过对涡扇发动机典型结构强度试验工艺分析,分别总结了结构静力与疲劳试验、转子结构完整性试验、振动特性试验的试验对象、试验原理、试验方案、布局特征等,为今后布局设计提供参考。

关键词: 涡扇发动机;结构强度试验;典型特征;设备布局

0 前言

航空发动机结构强度(亦称结构完整性)的内涵丰富,自1985年开始,我国就较系统地开展了航空发动机结构强度的研究工作。在1997年编制并以国军标形式颁布了《航空发动机结构完整性指南》(GJB/Z 101,1997),为航空发动机研制中结构强度的设计要求、内容、方法和评定标准提供了依据和参考。同时,在《航空涡轮喷气、涡轮风扇发动机通用规范》(GJB241 1987)、民用航空发动机适航规定(CCAR-33R2 2012)中,对结构强度、振动方面的计算分析与零部件与整机的强度、振动和耐久性、可靠性验证与考核试验均有详尽的要求。

1 结构静力与疲劳试验

航空发动机的主要部件是在高温、高转速、高负荷下工作,需要发动机组成部件的所有构件都必须具备高可靠性、长寿命。为满足发动机强度、寿命、可靠性要求,对发动机零部件采用实体件进行刚度、静力与疲劳试验。

(1) 试验对象

主要试验对象从工作状态上分为旋转件和非旋转件。旋转件主要包括发动机各类轴,大到发动机主轴、弹性轴,小到附件传动机匣内的各类传动轴等;非旋转件包括大到发动机承力机匣、

安装系统、矢量喷口,小到弹性支撑、螺钉、螺帽等所有发动机有强度寿命要求的零部件。

(2) 试验原理

结构静力与疲劳试验可通过伺服液压加载模拟发动机结构件和部件工作时的拉、压、弯、扭等常规载荷,还可向机匣内部通入液压油模拟工作内压,协调控制多个伺服作动筒进行加载以完成大型结构件的静力和疲劳试验。液压伺服系统施加包括液压动力源、液压伺服控制器、液压伺服作动筒、伺服阀及传感器等组成,各载荷的加载控制均为闭环控制系统。

(3) 试验方案

结构静力与疲劳试验方案如图1所示。

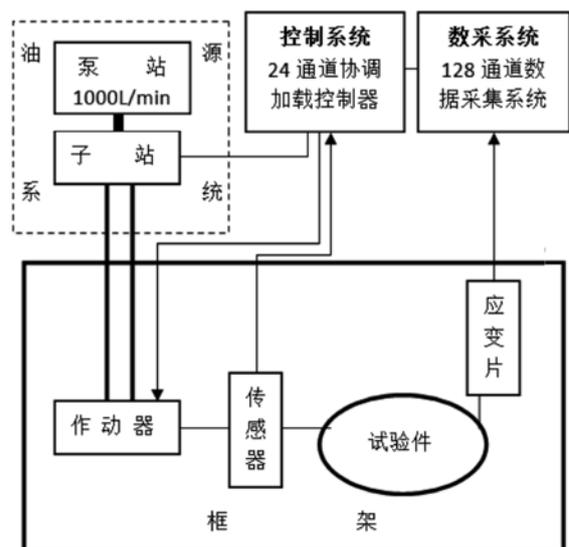


图1 结构静力与疲劳试验方案

作者简介:杨阔,男,工程师,2013年毕业于西北工业大学航空宇航制造工程专业,现就职于航空工业规划动力工程设计研究院。

承力框架可以自由组合、调节试验空间，满足不同试验任务需求。根据试验所需最大静载、试验弯矩、扭矩，配置不同规格的作动器，以满足所有机匣和轴类静力试验的需要。采用液压油源作为作动器的压力源，并通过内压加载系统，实现机匣内部压力要求。多通道协调控制器实现等幅、同频变幅或变频变幅等多种加载模式。根据不同类型信号的输入，包括力、位移、应变、温度、压力等物理量和常规监测参数等，进行数据采集、分析处理。

(4) 布局特征

结构静力与疲劳试验器的布局特征如下：

a. 试验区布局高大空间，便于不同试验的灵活组装；

b. 油源间布置液压油源，内涵一定量的液压油（闪点200℃以上），房间火灾危险性等级为丙类；少量液压油通过管路输送至试验区的作动器，作为各类试验加载的动力源，其在管路内、作动器内密闭，因此试验区火灾危险性等级定为戊类。

2 转子结构完整性试验

开展轮盘的强度和寿命试验，通过试验检查转子是否在批准的尺寸限制内、是否有裂纹，确定轮盘等限寿件的完整性和允许的飞行循环数，是检验转子结构完整性直接、有效的方法。

(1) 试验对象

该试验用于航空发动机转子/盘的强度、寿命

试验等，具体包括常温/加温状态下转子/盘的超转试验、常温/加温状态下转子/盘的破裂试验、常温/加温状态下转子/盘的低循环疲劳试验，为转子/盘等结构设计、强度分析、寿命预测和工艺考核提供试验数据。

(2) 试验原理

转子试验中，通过变频调节控制的电机带动增速齿轮箱驱动转子，在真空环境下运转；油站负责对传动系统进行供油；状态监测系统负责监测电机、支撑传动系统、试验件、真空泵及油站的工作状态，并与控制系统连锁。

(3) 试验方案

立式旋转试验主要由真空舱与驱动系统、控制系统、加温系统、测试系统、监控系统组成。舱体用于将试验环境与大气环境隔离，内有防爆安全环，用于吸收试验件爆裂时的能量，防止碎片飞出，抽真空系统用于将试验舱体内抽至试验所需的真空度，减少试验风阻，降低试验器运行驱动功率消耗和缩短试验时间。主驱动电机为试验的主动动力源，通过增速齿轮箱将转速提高至试验所需的转速，带动试验件旋转。供油系统为驱动、传动系统提供持续稳定的润滑油、压力油、密封及阻尼部位用油。加温系统为实现试验所需的温度场。测试系统包括高速摄像、高速引电器、计算机系统及其扩展、振动测量单元、试验件温度测量、真空度测量、油温测量、油压测量，滑油流量测量等。控制系统对驱动系统、加温系统、供油系统、真空系统进行控制，可以实现主驱动、升降及其他辅助装置间互锁保护，避免误操作，保证设备各系统独立运行、协调工作和安全保护。

(4) 布局特征

立转试验器的布局特征如下：

a. 立转试验区通常设置半包围形式的混凝土剪力墙，以防止试验过程中试件破裂飞出伤人。近年来，随着对轮盘破裂试验的进一步研究，如在立转试验器试验舱壳体采用厚度0.2m以上的Q235钢，可有效阻止试件飞出。

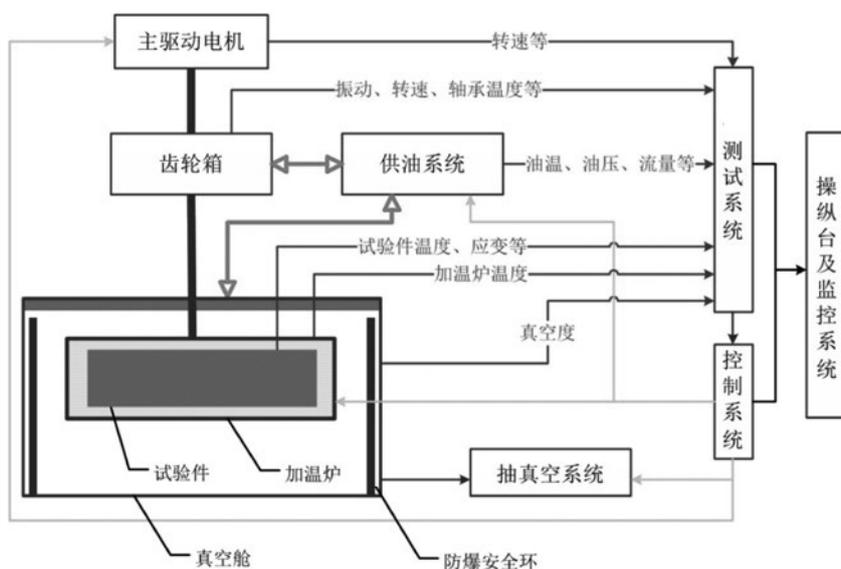


图2 试验方案

b.随着设备集成化程度的提升,真空系统、供油系统等已集成至设备主体,辅助设备间不再是必需的。

3 振动特性试验

涡扇发动机叶片在工作过程中因受到不均匀流场等因素作用会发生较高频率的振动,可能在较短的时间内达到疲劳寿命而失效,出现掉角甚至断裂故障。统计结果表明,发动机叶片振动引起的叶片疲劳断裂故障,占到发动机故障总数的30%左右,需开展相关振动特性试验。

(1) 试验对象

试验对象主要为航空发动机风扇叶片、压气机叶片、涡轮叶片、外部管路、附件、燃油喷嘴、机匣等零部件。

(2) 试验原理

振动特性试验通常采用振动加载的方式,即通过使试件在其一阶共振频率下振动的方式来实现。在试验过程中,通过扫频法确定试件的共振频率。

(3) 试验方案

振动试验系统主要由电动振动台和测试系统组成。电动振动台包含振动台台体、滑台(可选)、功率放大器与控制系统。测试系统包应变采集系统、振动模态测试系统、全场扫描式三维

激光非接触振动测量系统。电动振动试验系统工作原理如图3所示。试验件通过夹具固定在电动振动台上,加速度传感器安装在振动台台面上,与控制仪、功放组成振动激励系统。电阻应变片粘贴在试验件上,接入应变测试系统系统,测量试验件的动态应变;三维激光非接触振动测量系统通过非接触方式测量试验件的振动数据,通过振动模态测试系统计算出试验件的模态频率、振型和阻尼比。

(4) 布局特征

基于上述布局分析,提炼振动试验器的布局特征如下:

a. 试验区试验时周期长、噪声大,宜在有限空间内布局适量试验器,避免试验过程中的相互干扰;

b. 振动台配套风机散热量大,且有一定噪声,宜在振动台附近相对集中布置,并采取隔噪、排风措施。

4 结论

本文分析结构静力与疲劳试验、转子结构完整性试验、振动特性试验等典型结构强度试验工艺特点,在总结前期设计经验的基础上,可以为以后的布局设计提供分析依据及设计思想。

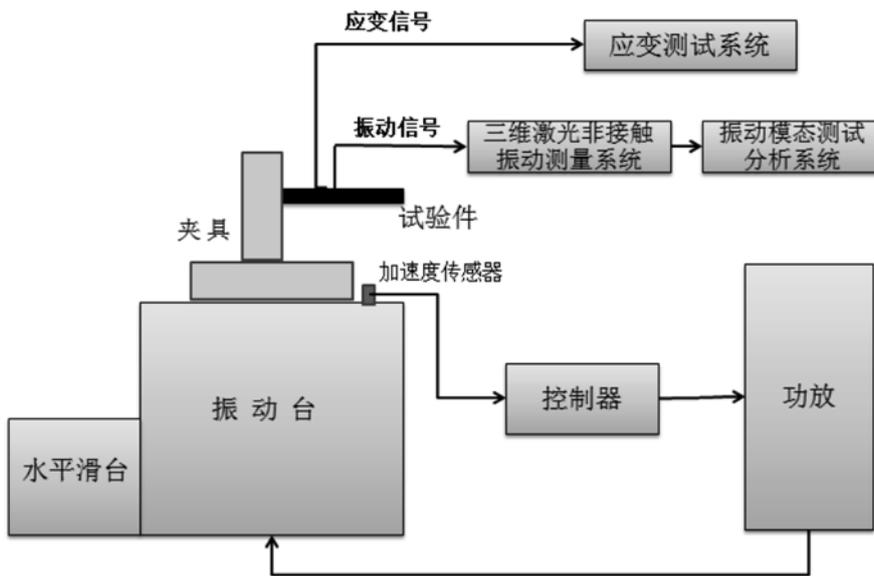


图3 电动振动试验系统工作原理

参考文献

- [1] 李其汉. 航空发动机结构完整性研究进展[J]. 航空发动机, 2014年第10期
- [2] 王立群. GJB/Z 101 几个主要技术问题的说明——航空发动机结构完整性大纲及其在国外应用情况[J]. 航空标准化与质量, 1999年第6期
- [3] 陈国栋, 祝昭丹. 立式转子试验设备包容壳体厚度设计[J]. 航空发动机, 2018年第4期
- [4] 张宝诚. 航空发动机试验和测试技术[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005年

泉州市博物馆防震研究与实践

■ 覃杰 马伯涛 宋毛毛 [结构]

摘要: 中国历次地震对博物馆文物安全产生的影响,给博物馆馆藏文物防震预防性保护工作带来了诸多启示。抗震博物馆建筑避免了馆舍损坏,但仍发生文物的破坏。近年来,项目研究团队一直致力于研究馆藏文物防震工作,本文以泉州博物馆项目实施为例,依据《馆藏文物防震规范》(WW/T 0069-2015)相关规定,从馆藏文物防震设计方法、展陈(展柜)及文物防震产品性能验算、防震产品实施及效果几个方面来系统介绍馆藏文物防震预防性保护技术在东南沿海区域的应用,通过文物防震监测系统的实施,为地震频繁的福建地区泉州博物馆建立了有效的文物防震安全防护长期机制。最后,通过项目产品的运行效果,对福建区域成功示范实施馆藏文物预防性保护进行了总结和展望。

关键词: 博物馆;防震;馆藏文物;地震监测;预防性保护

0 引言

中国位于世界两大地震带——环太平洋地震带与欧亚地震带之间,受太平洋板块、印度板块和菲律宾海板块的挤压,地震断裂带十分发育,而东南沿海及台湾地震带是我国六大地震带之一。博物馆防震预防性保护研究在美国及日本早期发展,我国随着国家十三五文物事业的发展,在馆藏文物防震预防性保护技术领域取得一些进展,并且在云南、四川地区进行了实践。

泉州博物馆位于我国东南沿海地震带上。历史上,泉州曾出现过震级较大的地震。本次研究是博物馆防震领域在该区域的第一次实践。基于项目团队对国内外相关领域研究成果及经验的积累,秉承全系统解决博物馆馆藏文物防震问题的思路,从“地震波+馆舍+展陈+展柜(展具)+文物”的根源出发,将馆藏文物防震预防性保护技术带进东南沿海区域进行实践探索,并运用馆藏

文物防震监测系统,建立长期有效的预防机制。

1 福建地区地震情况概述

福建省位于我国东南沿海,是东南沿海多发地震带北段。据统计,宋建隆四年(963年5月)~2019年12月以来,福建4.75级以上地震(含南澳)41次,震中分布在北纬26°线以北福建地区仅6次,震中分布在北纬26°线以南福建地区共35次,占85%,特别是6.0级以上地震全部发生在闽南地区,而且震源比较浅,容易造成地表强烈震感。与福建省隔海相望的台湾海峡地区则是全球地震活动十分活跃的地震区域之一,历史上曾发生多次破坏性很大的地震,而且每次台湾海峡发生地震均会波及福建区域,对福建产生不同程度的地震破坏。

福建历史地震活动在时间分布上存在着明显的两个地震活动期,即1445年~1691年为一个地震活动期,另一个地震活动期自1791年起到于今。两个地震活动期之间有一个近百年

作者简介:覃杰,男,工程师,2008年毕业于哈尔滨工业大学土木工程专业,现就职于航空工业规划结构工程创新院。

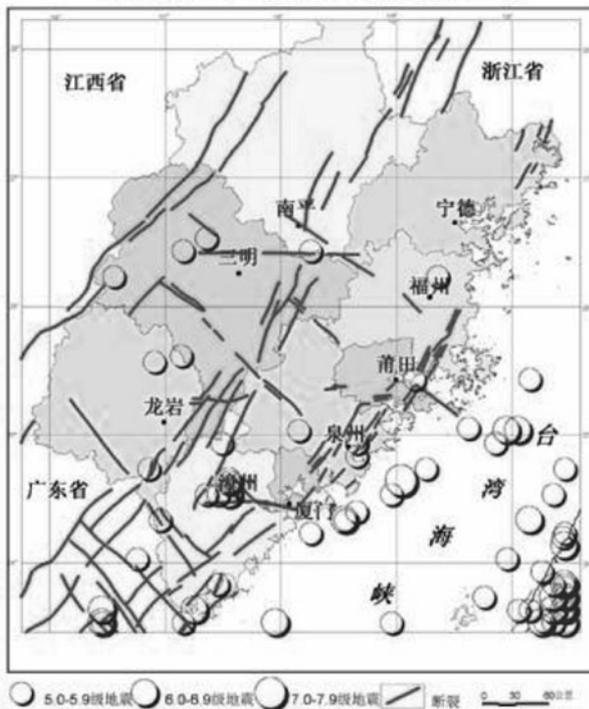


图1 福建省地震构造及强震分布图

(1692~1790年)的平静期。地震每个周期分为4个应变变化阶段,即应变积累阶段、应变加速释放阶段、应变大释放阶段和应变剩余释放阶段。现阶段福建地震活动正处于第二周期的应变剩余释放阶段。福建省强震构造及强震分布如图1所示。

泉州市位于福建省东南部的沿海地区,在1604年12月29日(明万历三十二年十月九日),泉州以东海域发生8级地震,是我国东南沿海最大的一次地震,福建沿海遭受严重破坏。泉州汕头地震带是东南沿海地震亚区中地震活动水平最高的一条地震带。1067年~1976年共记录到8级地震1次,7~7.3级地震2次,6~6.9级地震6次。

2 馆藏文物防震预防性保护

泉州博物馆新馆于2005年元旦建成并对外开放,新馆位于泉州清源山下西湖北侧,是一座具有闽南建筑风格的综合性博物馆,也是联合国教科文组织设立的“世界多元文化展示中心”所在地,2008年被评为国家二级博物馆,馆舍占地82亩,建筑面积1.6万余 m^2 ,其中展厅面积有6500 m^2 ,库房面积900 m^2 。基于泉州市地震活动特性,我方对泉州博物馆馆藏文物防震预防性保护进行了全系统研究及实施。泉州市博物馆建筑整



图2 泉州市博物馆

体效果图如图2所示。

2.1 馆藏文物防震设计方法研究

由于馆舍为最近新建建筑,具备相关规范要求的抗震能力,在本地区设防烈度地震下馆舍具备一定的防倒塌能力,但是楼面不同位置的地震加速度响应不同,且地震加速度响应通过楼层传递的耦合作用出现逐层放大的情况,地震加速度响应是造成展陈(展柜)和文物损坏的根源。在改造原抗震建筑为防震(隔振)建筑难以实现的情况下,为提升泉州市博物馆馆藏文物防震预防性保护能力,重点开展从减小或阻断楼层地震加速度响应的角度实现展陈(展柜)和文物防震的工作。通过文物安全评估并经专家论证确定,本次馆藏文物防震设计目标为:在抗震设防烈度为7度(0.15g),地震分组为第三组,场地土类别取为II类,场地特征周期为0.45s的条件下,楼层地震加速度响应减小率不小于75%,结合传统文物保护措施,展陈(展柜)及文物不倾覆不滑移,确保展陈(展柜)及文物具备防震安全性能。

本次防震安全性评估对象为泉州博物馆泉州历史文化展厅及闽台史展厅,分别位于建筑的2层与3层。研究采用有限元分析软件盈建科(V1.8.1.1)和MIDAS/GEN(V8.3.6)建立博物馆整体结构有限元模型,并在模型中对通柜与主体结构连接进行模拟,以体现通柜展台文物展陈现状的影响。通过动力模拟得到各标段展厅在地震作用下的动力周期响应,并进行结果对比分析。模拟条件为:地震输入选取5条天然地震记录+2条人工地震记录。三维分析模型示意如图3所示,有限元模型分析数据对比表如表1所示。

通过模型对比分析,两种结构模型质量及自振特性误差在5%以内,满足精确性要求,验证了模型在展柜防震参数设计中的适用性。

依据《馆藏文物防震规范》(WW/T 0069-2015),文物防震安全性的控制因素是地震作用

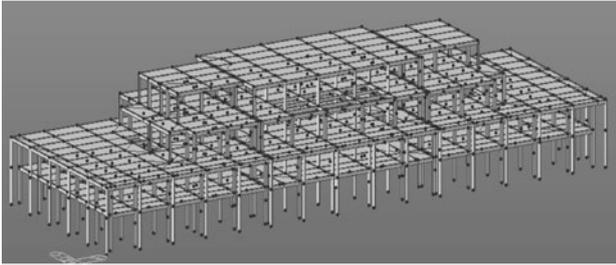


图3 MIDAS/GEN模型

表1 有限元模型对比表

		盈建科	MIDAS/GEN	误差
周期/s	第一阶T1	1.012	1.019	0.7%
	第二阶T2	0.98	1.00	2.0%
	第三阶T3	0.79	0.80	1.3%

下的动力响应，而地震动-馆舍、馆舍-展柜、展柜-文物均存在动力耦合放大效应，故采用“地震动+展柜+文物”的全系统地震作用分析及个性化安全设计。防震展柜采用柜底防震的方式，展柜示意如图4所示。

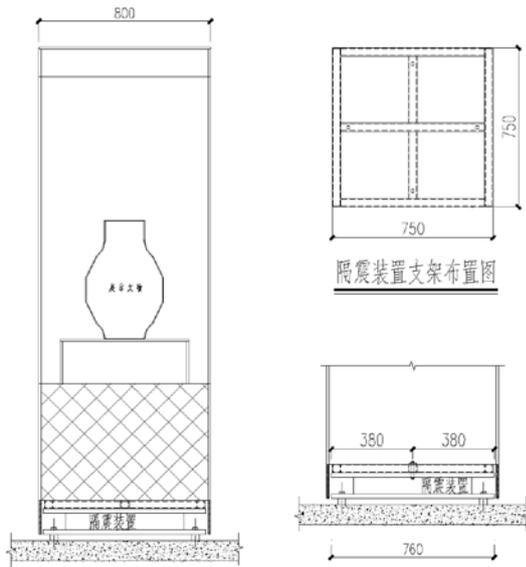


图4 防震展柜示意

2.2 展陈（展柜）及文物防震性能验算

根据馆方的需求，在2层历史文化展厅的1~4号4个展厅的关键位置配置防震型中心展柜，共计21个；在3层闽台史展厅—闽南文化展厅的关键位置配置5个防震型智能展柜。

依据泉州市博物馆所处地区地震情况及基于文物安放处的结构地震响应有限元分

析，设计防震装置关键参数。防震展柜尺寸为0.8m×0.8m×2.2m (H)、0.9m×0.9m×2.2m (H)两种规格，独立展柜的高宽比均大于1.5，为保证展陈在罕遇或极罕遇地震作用下不发生倾覆、滑移，对文物防震装置设置合适的阻尼比及相对应的刚度，使得防震装置自振周期不小于馆舍结构卓越周期的1.5倍。以防震型中心柜的有限元分析为例，提取展柜加速度及位移响应，其自振周期为2.8s，加速度响应平均值为38.8gal，位移平均值为47mm，满足极限位移190mm的设计要求，并且前两阶振型均为水平向平动，保证防震装置具有双水平向隔震能力。地震作用下展柜计算加速度响应云图如图5所示，位移响应云图如图6所示。

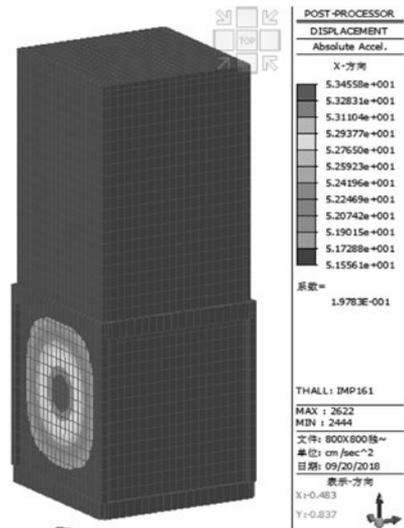


图5 加速度响应云图

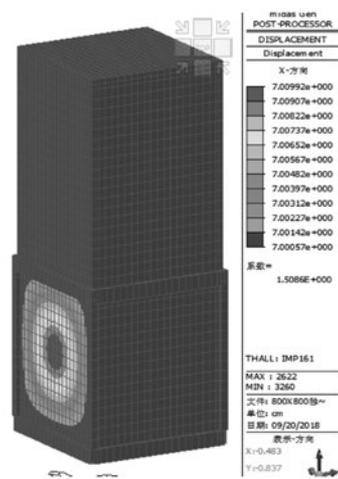


图6 位移响应云图

2.3 展陈（展柜）及文物防震实施及产品效果

为了科学验证展陈及文物防震装置的有效性，项目研究团队于2019年1月初组织了以下合理有效现场安装调试：

(1) 防震装置到场时，对单个装置进行弹簧、阻尼器、定位、标高及水平度等外观和定位检测；

(2) 对单个装置进行在位移100mm、150mm推力下的刚度测试，并与设计参数进行对比，满足误差5%以内；

(3) 在200kg左右展柜柜体与180kg左右的防震装置通过螺栓整体连接后进行推力及刚度测试，并与设计参数进行对比，满足误差5%以内。

现场防震装置监测如图7所示。



图7 现场检测防震装置

通过本次展陈（展柜）及文物防震产品的实施，基本实现了对泉州博物馆的2层、3层展厅目标位置独立柜的改造，使得通过延长文物展陈（展柜）的自振周期，减小地震对文物的作用力，达到该区域内保护文物防震安全指标要求。3层展厅展陈（展柜）改造后的效果展示如图8所示。

3 馆藏文物地震监测系统概述

福建地区地震频繁，为了使文物防震安全防护作为一项长期的机制，并确保防震装置地震前永久处于防护预备状态、地震时迅速启动并工作正常、地震后报告防震情况和状态，本次项目团队为馆方配备了相应的地震监测系统和防震装置状态监



图8 独立柜防震装置安装后效果图

测系统。地震监测系统构成示意如图9所示。

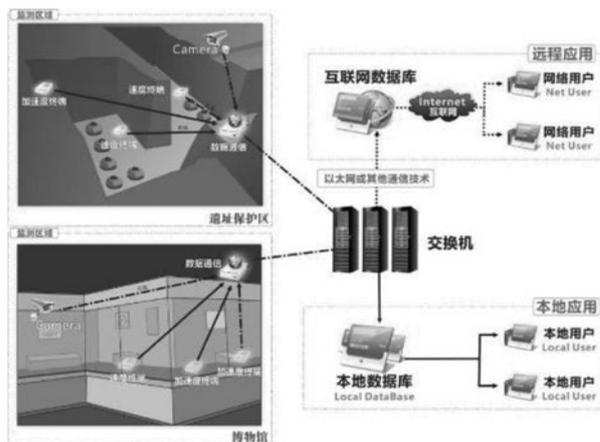


图9 地震监测系统框图

3.1 系统构成

为了准确有效地评估地震作用大小对建筑物本体及文物本体的影响，检验防震装置在平常状态时锁定保护展陈文物、在地震发生后迅速启动工作进行耗能减震，本次地震监测系统终端采用9套超低频三向地震加速度传感器及3套超低频三向地震速度传感器进行振动数据采集。根据博物馆本体建筑物和文物展陈布置特点，运用加速度传感器与速度传感器相结合、建筑物监测与文物本体监测相结合两种控制手段非均匀地将数据采集终端分布在2层、3层各个展厅。为保证在地震来临时，实时记录展柜防震装置及文物的动力响应，记录文物运动状态，在重点文物示范区域根据展厅及文物特点设置3套多类型视频监控装置。

表2 地震监测终端布置表

序号	具体位置	设备名称	数量
1	2层一展厅青瓷虎子展柜内及展柜后面建筑物墙角处	三向加速度传感器	2
2	2层一展厅青铜展柜旁边墙角处	三向加速度传感器	1
		三向速度传感器	1
3	2层二展厅蚕茧展柜内部及其顶部	三向加速度传感器	1
		震动视频监测设备	1
4	2层三展厅铜玄天上帝展柜内、展柜后面建筑物墙角处及展柜顶部	三向加速度传感器	2
		震动视频监测设备	1
5	2层四展厅郑成功雕塑电视柜内	三向加速度传感器	1
6	2层四展厅青花瓷展柜内展柜后面建筑物墙角处	三向速度传感器	2
7	3层展柜内、展柜后面建筑物墙角处及展柜顶部	三向加速度传感器	2
		震动视频监测设备	1

地震监测终端布置具体如表2所示。

地震监测终端全方位的有效覆盖布置，并通过专设的千兆有线网络传输，经历网关、中继及网桥等信息处理，把地震频率数据集中收集到专用机房的交换机中，由交换机把信号传输到数据与应用服务器进行分类处理，一方面把信息数据库储存在硬盘录相机中，另一方由人机交互软件呈现给前端客户，并配合客户随时查阅所需的信息数据，以及时评估馆舍建筑结构、展陈设施、防震措施等因素对文物防震安全的影响程度，提升防震预防性保护的能力。

3.2 系统测试

地震监测的产品效果主要是通过人机交互的软件来对客户进行服务。本次实施的监测系统平台产品具备监测点位和参数设置、专业数据分析、列表或图示化显示、实时报警、历史数据查询、校正公式设置、离线检测数据登录等功能，并且系统对超过3个月的历史数据自动删除，以提



图10 震动监测系统界面图



图11 震动视频监测效果图

高服务器查询和处理速率；针对视频监测系统，前端摄像的视频信号接入嵌入式数字硬盘录像机存储数据，录像保存时间达到15天以上，以供事后调查取证。震动监测系统界面如图10所示，震动视频监测效果如图11所示。

4 总结

泉州博物馆防震及地震监测预防性保护研究工作分为3个阶段：

(1) 在项目前期调研阶段，对福建区域及相关的台湾海峡区域地震情况进行收集与分析，分析泉州博物馆防震预防性保护项目的可行性及必要性，并针对泉州博物馆馆舍本体已有现状及文物本身的特性，对该馆藏文物防震预防性保护方案作出初步选择。

(2) 在项目实施阶段，利用项目团队前期的研究成果及相关经验，并依据《馆藏文物防震规范》(WW/T 0069-2015)等相关规范对泉州博物馆馆藏文物防震方案进行细化，从设计目标、设计方法、产品个性化性能参数等方面对防震产品进行个性化设计研究，在现场实施时进行严格

检测及参数验证,确保产品的有效性,并配置地震监测系统提升防震预警及评估,达到泉州博物馆馆藏文物防震安全的能力。

(3)在泉州博物馆馆藏文物防震预防性保护项目实施后,通过对防震产品的日常维护及地震监测平台的数据收集分析,对文物的防震状态进行实时监测,调控改善合理的文物防震策略,提升泉州博物馆馆藏文物防震预防性保护能力。

致谢Acknowledgement

本文受到National Key R&D Program of China (2019YFC1521000)、Beijing Nova Program (Z171100001117087)和关于泉州市博物馆珍贵文物防震预防性保护方案的批复(文博博函[2017]1358号)资助,在研究过程中也得到了诸多专家指导,在此一并感谢。

参考文献

- [1] Sadatoshi Miura. "Development Of Preventive Measures Against Earthquakes: Japanese Experiences." Studies in Conservation.
- [2] Jiaqi Ge, Ling Zhang, Guo-jun Zhang. Study on Design of Tensile Performance of the Chengdu Museum Base Isolation Structure. Journal of Building Structures. 37(11) 16-23. [In Chinese].
- [3] Sheng Yang, Botao Ma, Jiaqi Ge, Mingbin Li, Ling Zhang, Chen Min & Jintai Liu. Overview of Preventive Conservation Research Work on Seismic Mitigation and Subway Vibration Control in Chengdu Museum of China. Studies in Conservation. (2019) 1-9.
- [4] Zhi Zhong Guan, Jia Qi Ge, Bo Tao Ma, Ling Zhang, Ming Zhu Wang, Man Sheng Zhang. Performance-Based Design and Table Test Study on Hybrid Structure Combined with outside Steel Grid and Inner Reinforced Concrete Tube. Applied Mechanics and Materials. 2014 (578).
- [5] 中华人民共和国行业标准《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015)
- [6] 周乾. 故宫博物院在陈文物防震方法研究[J]. 故宫博物院刊, 2016(4): 152-159.
- [7] 马伯涛, 宋毛毛, 吴来明, 葛家琪等《馆藏文物防震规范》关键技术——防震安全设计研究[J], 文物保护与考古科学, 2016(02)
- [8] 王忠良, 高华平, 吴来明, 翁大根 博物馆文物

的防震保护研究——设防地震动输入及文物防震保护参数的确定[J], 工程抗震, 2004(01)

[9] Podany, J., 吴来明, 葛家琪等. 馆藏文物防震保护研究[M]. 北京: 科学出版社, 2018: 265-285.

[10] 韦荃, 陈显丹. 5.12汶川大地震对四川可移动文物的损坏与启示[J]. 四川文物, 2008(04): 10-13.

[11] 吴来明, 王忠良, 高华平, 李蓉蓉 博物馆文物的防震保护研究(一)——传统抗震措施与现代隔震技术[J] 文物保护与考古科学. 2001(02)

[12] 中华人民共和国行业标准《馆藏文物防震规范》(WW/T 0069-2015)

地下连续墙施工过程中的 质量和安全管控要点

■ 陈凯 王应严 [工程管理]

摘要: 本文通过上海浦东新区某新建办公楼的案例,阐述了施工过程中应严格注意把控每道工序的施工精度,确保其符合图纸及相关法规、标准的要求,为后续类似项目的工程管理与总承包施工提供参考,预知相关控制点,避免质量隐患和安全隐患造成不良影响,提升整体效益。

关键词: 地下连续墙;质量管控;安全管控;项目管理

1 前言

1.1 项目概述

地下连续墙是地基基础工程利用成槽机沿着深基坑周边轴线,在泥浆护壁的条件下按照设计的厚度、深度开挖并下放钢筋笼、浇筑水下混凝土后形成的连续的钢筋混凝土墙壁,作为截水、防渗、承重、挡水结构,广泛应用于对基坑变形和防水抗渗有严格要求的工程、对邻近建筑物保护要求较高的工程、基坑内空间有限或地下室外墙与红线距离极近的工程。

地下连续墙在施工过程中,极易受地下因素、施工经验等不良因素的影响,对地下连续墙整体质量、施工安全、项目进度产生不良后果,因此施工过程中的各项管控尤为重要。

上海地区的深基坑设计绝大多数均采用地下连续墙加钢筋混凝土支撑的形式,具有非常典型的代表性。本文基于某新建办公楼工程案例开展。

(1) 案例工程概况

本工程位于上海市浦东新区,拟建1栋地上17层,地下4层的高端商业办公楼,总建筑面积5.5万 m^2 ,其中地上建筑面积3.5万 m^2 ,地下建筑面积2万 m^2 ,基坑开挖面积约5000 m^2 ,基坑开挖深度最深20m,一级安全等级。基坑东侧和西侧采用1m厚地下连续墙进行围护,深度为35.5m+4m;南侧和北侧采用1m厚地下连续墙进行围护,深度为

35.5m+6m,地下连续墙总长度约270m,均采用圆形锁口管接头。支撑体系采用一道混凝土栈桥支撑加4道混凝土水平支撑的形式。基坑底面以下采用灌注桩作为立柱桩,底面以上采用角钢格构柱作为立柱桩。基坑南北两侧被动区土体系采用高压旋喷桩的形式进行加固。

地下连续墙子分部工程总工期36天。

(2) 案例工程难点分析

工程地块距离黄浦江约700m,为古河道地层分布区,分布有厚度较大的粉性土及砂性土,基坑开挖范围内以深厚的软弱淤泥为主,变形控制难度较大。

基坑坑底位于承压含水层层顶处,坑底以下无有效的隔水层,设计及施工过程中需采取严格措施保证工程施工顺利进行。

受原地貌影响,场地有最大4.5m深的杂填土及超大尺寸混凝土板旧基础,对围护施工质量也易产生不良影响。

基坑南侧人行道下设有共同沟(综合管廊),外壁紧贴本工程用地红线,外壁传力带已深入红线,基坑围护施工过程中必须严格保护共同沟结构。

地下室东、南、西3条外边线距离用地红线仅3m,北侧外边线更是与用地红线重合,且与北侧项目地下连续墙外边线距离仅2m左右。

1.2 地下连续墙简介

(1) 地下连续墙特点

地下连续墙的优点主要表现为工效高、工期短、质量可靠、经济效益高、适用范围广等,具

作者简介:陈凯,男,助理工程师,2009年毕业于徐州工程学院建筑工程专业,现就职于航空工业规划电子工程设计研究院。

体表现为:

① 地下连续墙施工时振动小、噪声低,非常适合在城市施工。新建办公楼工程在地下连续墙施工全过程测得的现场噪音值最高为68分贝,低于75分贝的控制标准值。

② 占地很少,可以充分利用红线内有限的空间实施作业,且对邻近的结构和地下设施影响较小,可在各种复杂条件下进行施工,尤其适用于场地狭小的项目。

③ 墙体刚度大,可以承受很大的土层压力,可以广泛适用于各种类型的地层地基,其独特的形制使得基础施工过程中沉降或坍塌事故率极低。

④ 防渗性能极佳,地下连续墙是一段连续的(绝大多数项目均为闭合的)钢筋混凝土墙体,施工完毕后几乎不渗水,非常适用于防渗要求高的项目或地区。

⑤ 随着技术水平的提高,地下连续墙设计所带来的经济效益也在不断提高。如本案例工程地下连续墙即设计为两墙合一,与主体结构外墙采用“叠合墙”的形式,在基坑工程施工阶段地下连续墙作为围护结构,起到挡土和止水的目的;在结构永久使用阶段作为主体地下室结构外墙,技术和经济效果十分显著。

同时,地下连续墙也具有着泥浆处理麻烦、对施工技术要求高等缺点。

(2) 地下连续墙施工进度

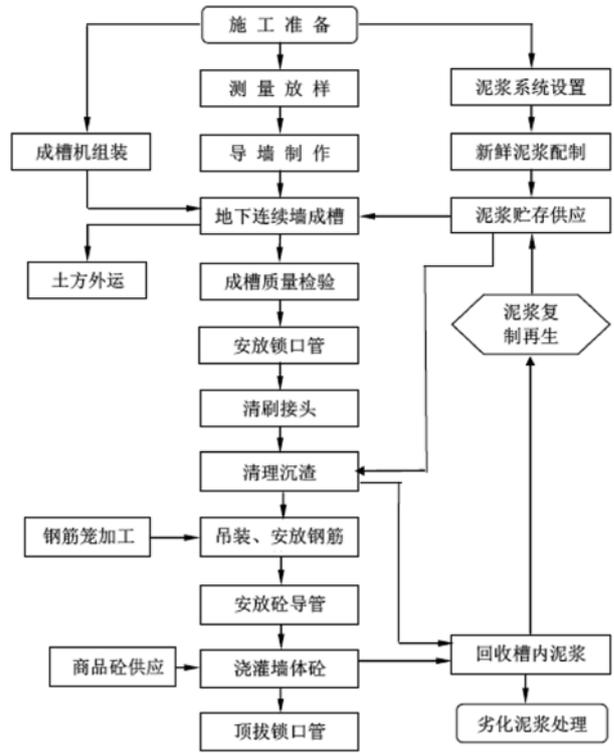
地下连续墙施工主要分为以下几个流程:导墙制作、槽段挖掘、泥浆护壁、吊装锁口管、钢筋笼制作吊装及下放、设置混凝土导管、混凝土浇筑、拔出锁口管。

2 质量控制点

2.1 质量控制概述

地下连续墙的质量主要体现在各个施工阶段的精度控制,作业面小(本工程地下连续墙作业面仅为一条1m宽的沟槽),各道工序都需要动态地控制超长构件的精度,对施工经验、操作经验要求极高,且容错率低。从第一道工序导墙施工开始,任何一步出现质量问题,都必然的对后续工序产生影响。因而地下连续墙的施工过程,相关的管理方、监督方应牢固树立质量意识,以相关的施工标准为准绳,加强过程中的质量检查,确保一次性合格。

地下连续墙属深基坑工程的一部分,施工前,各级管理单位应重点检查施工单位编制的深



地下连续墙施工流程图

基坑施工方案是否经监理单位和建设单位审批通过,是否经专家论证通过。

2.2 质量控制点

地下连续墙施工过程中的质量控制点主要有:导墙施工、成槽开挖、泥浆制作净化、钢筋笼制作吊放、刷壁及清基、锁口管下放及提升、混凝土浇筑、墙底注浆、周边场地监测。

3 质量管控措施

3.1 导墙施工的质量管控

导墙是地下连续墙施工的前提,是施工作业起始阶段,是测量挖槽标高、垂直度和精度的基准。导墙的垂直度直接关系到地下连续墙成槽的质量,平整度则关系到关系到钢筋笼下放标高的精确度以及坐落浇筑架和油顶的施工便捷性和挖槽的稳定性。

施工时,应严格控制导墙位置及尺寸的准确性,施工单位应采用精密仪器反复校准测量,待导墙上方开挖后,再次复核地下连续墙轴线位置、导墙底部及顶部标高,保证测量的准确性。为保证成槽机顺利下放抓斗开挖,一般导墙内墙面净尺寸比地下连续墙稍宽,如本工程图纸要求两侧导墙之间的净距比地下连续墙设计厚度增

加40mm。同时,应注意导墙垂直度和平整度的控制,本工程图纸要求导墙垂直度偏差应小于 $H/500$,平整度偏差小于等于5mm,在施工过程中应随时注意校核,确保一次合格。

建设管理方应督促施工单位严格按图施工,待施工单位施工完毕后立即按设计图纸进行复查。重点检查导墙是否有变形、各项数据是否符合设计图纸要求,由于精度要求较高,检查时应增加检查基数。

3.2 槽段开挖的质量管控

槽段开挖是地下连续墙施工的关键工序。开挖工期约占整个地下连续墙施工工期的一半,地下连续墙施工的工期影响大半来自于此项工序,控制好成槽质量是保证工期的关键措施。同时,槽壁的形状决定了地下连续墙墙体的外形,所以成槽精度的控制也是保证地下连续墙质量的关键因素之一。

应督促并监督施工单位严格按照经专家评审的或监理单位、建设单位审批通过的施工方案组织施工。

成槽机操作人员的经验及操作技术是影响成槽质量的关键因素,成槽机开挖前,须对成槽机操作人员进行详细的技术交底,详细交代成槽挖土顺序。在开挖前调整好成槽机的水平度和垂直度,开挖过程中操作人员应随时观察成槽形状,经常查看成槽机仪表,发生变化随时纠偏。

槽段开挖施工过程中,应协调好现场其他大型机械的运转,避免在开挖槽段附近引起较大的地面附加荷载及震动荷载,以防止坍塌。

在开挖至槽底2~3m左右时,应暂停开挖,用测量绳测量槽深,防止超挖或少挖,挖至设计标高后,进行泥浆置换和泥浆质量检测。

槽段开挖工序应重点监控成槽过程中护壁泥浆的液面高度,检查槽位、槽深、槽宽、墙厚及槽壁垂直度、沉渣厚度是否符合规范及设计图纸要求。应严格控制裸槽暴露时间,成槽完成后在最短的时间内进行下一道工序,以保证槽壁稳定性。

3.3 泥浆制作及泥浆护壁的质量管控

地下连续墙成槽施工是在泥浆护壁下进行的,使用膨润土泥浆护壁,可以起到悬浮土渣、冷却和润滑钻具、抵抗作用在槽壁上的侧向土压力和水压力、防止槽壁坍塌和剥落等作用。泥浆性能的控制对施工质量、施工安全、环保等方面有至关重要的作用。

泥浆质量管控应着重于槽内泥浆液面高度的控制和泥浆自身各项指标的控制。

在施工过程中,应严密监视槽内泥浆面高度

和地下水位,保持泥浆面高度始终高于地下水位并低于导墙顶面。如本工程设计要求成槽期间槽内泥浆面应高于地下水位500mm以上且不应低于导墙顶面300mm。

为检验泥浆的质量,使其具备物理和化学稳定性、合适的流动性及相对密度,需对制备的泥浆和循环泥浆利用专用仪器进行质量控制。在本工程施工过程中,根据上海市《地下连续墙施工规程》,主要对泥浆的比重、黏度、胶体率、失水量、泥皮厚度、PH值、含砂率进行了质量检查。管理方应督促施工单位按照规范及设计图纸要求,严格按施工方案进行泥浆性能检验。

3.4 钢筋笼制作的质量管控

地下连续墙的钢筋笼具有大高宽比、大高厚比、质量重、钢筋密度大等特点,不同于常规结构的钢筋笼。

钢筋笼的质量管控应从入场钢筋质量开始,用于制作地下连续墙钢筋笼的钢筋进场后应由监理单位对钢筋原材、焊点试件按规定进行见证取样做力学性能检验,质量符合有关标准的规定后方可投入使用。

钢筋笼加工制作前,应检查施工单位的技术交底记录。由于钢筋笼一旦入槽就不可再吊出整改,因此制作过程中应重点检查钢筋连接质量及预埋件的安装精度,检查内容包括钢筋笼长宽度、保护层垫板尺寸、主筋及分布筋间距、钢筋接头搭接长度、搭接位置错开距离、混凝土灌注导管位置、预埋件位置、接驳器位置、吊点位置。

在钢筋笼起吊入槽前,应检查吊架、吊点、吊环强度及质量,吊索及吊具应完好无损,防止钢筋笼起吊及吊装过程中钢筋笼变形或摔落散笼。起吊时应按施工方案控制好两台吊车同时起吊的节拍及起吊位置,防止钢筋笼变形或空中摇摆。钢筋笼入槽时应缓慢且匀速,防止钢筋笼碰撞槽壁引发坍塌。钢筋笼即将下放到位时应暂停下放,检查钢筋笼的平面及垂直定位是否准确,尺寸无误后安装到位。

3.5 刷壁及清基过程中的质量管控

在成槽结束后应对槽段内壁进行刷壁处理,以提高相邻两段墙体接头处的抗渗及抗剪性能。一般成槽机都自带特制的刷壁器,可直接安装使用。为保证刷壁质量,本项目根据图纸要求刷壁次数不少于20次,且应观察到刷壁器上无泥方可停止刷壁。

在成槽结束及刷壁工作完成后即可开始清理槽底,主要是清理槽底的土渣,由于泥浆具有一定的比重和粘度,土渣在沉降过程中会受到阻滞,因

此清基工作建议在成槽及刷壁结束后进行。清基过程主要采用成槽机的液压抓斗直接挖除，此过程应注意控制抓斗下放高度，根据图纸要求及各个槽段的开挖深度进行控制，避免超挖。

3.6 锁口管下放及提升的质量管控

锁口管在地下连续墙施工过程中主要起到连接两个墙幅的作用。

锁口管在运抵施工现场第一次使用前，须进行实验性组装，保证其在使用过程中可以顺利组装就位。吊装锁口管时要保持垂直并缓慢下放，垂直偏差应满足相关规范要求，锁口管接头在连接过程中要确保牢固，控制好锁口管中心线与地下连续墙分幅线重合。锁口管的总长度必须能保证其底部插入槽底300mm~500mm，以保证密贴，防止混凝土倒灌；锁口管后侧填砂或粘土，防止绕流。

应严格控制锁口管的提升时间，混凝土灌注时间记录作为锁口管顶拔的控制依据。在槽段混凝土浇筑完毕达到初凝时应开始提升，每隔一定的时间提升一定的高度，幅度不宜过大，以免混凝土倒灌，总时间应控制在混凝土终凝前。在提升过程中应保证垂直、缓慢、连续，防止损坏混凝土墙体。

3.7 混凝土浇筑的质量管控

地下连续墙混凝土浇筑的质量应从混凝土塌落度、浇筑时机、浇筑方法几个方面进行管控。

水下混凝土应具备良好的和易性，初凝时间应满足现场浇筑的需求。在混凝土浇筑前，应提醒施工单位联系好混凝土搅拌站，确保混凝土质量和供应量，防止中断浇筑现象。混凝土到场后，在监理单位的监督下，核对混凝土配合比报告和小票，防止标号出错，然后对混凝土塌落度进行检查，现场混凝土塌落度宜为200mm±20mm。经检查合格后，方可下达浇筑指令。

水下混凝土需在钢筋笼入槽后4h内浇灌，若浸泡时间过长，应重新清槽。

混凝土浇筑过程中，管理方应根据相关法规的要求及审批通过的施工方案，重点关注混凝土浇筑速度、导管入混凝土埋深、相邻两导管间距、混凝土充盈系数。

3.8 墙底注浆的质量管控

根据设计要求，为提高地下连续墙墙底承载力的效果，有效防止地下连续墙的不均匀沉降，在地下连续墙墙底设置1层注浆层（水泥和土体化学反应形成密实的水泥土）。

在制作钢筋笼时，应预设钢管注浆管，并与

钢筋笼固定牢靠，可用铁丝固定。注浆管一般设置在墙体中部，并沿着槽段长度方向均匀布置，注浆管一般插入槽底50cm，注浆器采单向阀。槽段混凝土初凝后需用高压水对注浆管进行劈通。

当设计无要求时，可在4~5幅地下连续墙连成一体且混凝土强度达到70%左右时进行注浆。正式注浆前应先进行试注浆，记录压力和注浆量，观察是否冒浆、墙顶标高有无变化。

对地下连续墙墙底注浆，注浆管长度、注浆压力、注浆液配比、注浆流量、终止注浆条件均应严格按设计要求进行控制。

3.9 周边场地的质量管控

在地下连续墙施工前，应制定基坑监测方案，详细了解周边地块的地质及管线情况，并对各个风险项进行逐个监测。

本案例项目基坑西侧为未开发地块，北侧及东侧为在施项目，南侧存在地下综合管廊。在制定监测方案时，变形监测考虑了基坑深度3倍范围内的地表、管线、建筑物、综合管廊，地表及地下主要为沉降观测及裂缝观测，周边建筑物主要为沉降观测及倾斜观测。

本案项目的特殊之处在于，基坑南侧的综合管廊外墙距离基坑（地下连续墙外侧）最近处仅3m，因此作为地下连续墙及后续的混凝土支撑施工过程中重点监测对象，并对其制定了专项监测方案。

基坑及周边环境的整体监测报表应每日一报，如遇变形较大的情况，应立即上报各级管理单位及设计单位，并出台相应的控制措施，保证基坑及周边的整体稳定。

4 安全管控要点

根据地下连续墙施工工艺及施工流程，地下连续墙施工过程中涉及的安全隐患和安全控制点主要有高处坠落、机械伤害、物体打击、触电伤害。

施工前，各级管理单位应检查施工单位的安全专项方案，安全生产责任制是否落实到人，专职安全员的资格和数量是否合规，安全交底、安全教育是否已做到位，应急预案、事故处理方案是否详尽。

5 安全控制措施

5.1 预防高处坠落的安全控制措施

地下连续墙往往在深基坑设计中应用，如

本工程地下连续墙设计深度约为40m左右,宽约1m。基槽开挖、锁口管下放、钢筋笼位置纠偏、浇筑混凝土等作业任务都需要在导墙上、基槽两侧进行,因此高处坠落风险较大。

在安全教育和安全交底中,应向施工作业人员强调自我安全意识,地下连续墙施工过程中严禁随意站在基槽边探望、严禁跳越、翻越沟槽。

在沟槽开挖过程中,应做好临边防护措施,在有条件的情况下,建议选用定型化栏杆在开挖作业区进行封闭式围挡防护,或者使用临时警戒绳进行围护,但安全员必须现场监督。

5.2 预防机械伤害的安全控制措施

机械伤害的危险源控制贯穿于建筑工程施工全过程,在地下连续墙施工过程中,机械伤害主要是钢筋加工机械的不合格状态导致的伤害事故或施工人员无安全意识导致的伤害事故。

小型机械进场前应履行报验手续,审批通过后入场验收,验收合格后张贴或悬挂验收合格标识牌。小型机械应保持定期检查、定期维护,严禁带伤作业。施工前还应对操作工人进行技术交底,熟练掌握机械性能及操作方法。

5.3 预防物体打击的安全控制措施

地下连续墙施工过程投入的大型机械较多,包括成槽机、大型履带吊。

在成槽机开挖过程中,应对施工人员做好安全教育及交底,机械回转半径内严禁站人。成槽机场内移动过程中,驾驶员应注意观察场内情况,避免发生场内交通事故。

大型履带吊的起吊作业是地下连续墙施工过程中安全管控的重点内容。由于地下连续墙钢筋笼尺寸较大(如本工程钢筋笼最小尺寸约为 $4.1\text{m} \times 41\text{m} \times 1\text{m}$),可要求施工单位编制专项起吊方案。为保证钢筋笼吊装安全,吊车的选择、吊点位置、吊环与吊具的安全性、钢丝绳及卸扣的选择应经过验算并经专家论证。作为吊环搭焊钢筋的竖向钢筋,必须同相交的水平钢筋自上至下每个交点都焊接牢固。钢筋笼在吊点处还应采用桁架进行加固。

钢筋笼双机起吊时,应统一指挥,动作配合协调,荷载分配合理,同时应疏散施工现场起吊影响范围内的无关人员。履带吊在吊起钢筋笼行走时,荷载不超过允许起重量的70%,钢筋笼离地不大于500mm,并应拴好拉绳,缓慢行驶。风力大于6级时,不得进行钢筋笼的起吊工作。

本案例项目由于场地狭小,各工种作业区域安排紧凑,因此在地连墙施工过程中,不同的作业流程、工序间安全防护措施都制定了相应的规定。如:外围成槽机成槽作业时,内场钢筋笼加工场地及泥浆制作区域与外围地连墙作业区域间,使用定型化栏杆把整个场地划分为了内场和外场作业区域;在钢筋笼制作完毕起吊作业时,整个场内除指挥人员、起吊作业人员、技术人员外,其他无关作业人员一律清场,最大程度的避免物体打击事故的发生。

5.4 预防触电伤害的安全控制措施

地下连续墙钢筋笼加工由于体积大、数量多、人员密集,且以焊接工作为主,施工过程中易发生触电事故。

在钢筋笼加工焊接过程中,现场应提前规划好钢筋笼加工区、焊机摆放区,由专业持证电工进行接电送电,电焊工须持证上岗,钢筋笼制作加工区须设置排水沟,场内不得有积水,电焊机电线不得浸泡在排水沟内且不得压在钢筋笼下。

6 结语

地下连续墙施工技术是目前应用较广的一种深基坑围护形式,却也是专业性很强的施工技术,整个施工过程对施工单位技术人员、施工人员、机械操作人员的经验有着很高的要求。人员的素质、机械设备的性能、优秀的管理水平是对整个地下连续墙施工质量和施工安全产生深远影响的3个方面。

在地下连续墙施工过程中,由于大部分工程都是隐蔽工程,因此任何一个环节出了问题,都必将影响下一环节的质量和安全生产。项目的各级管理人员应牢固树立质量意识、安全意识,以相关的法规标准和设计图纸为依据,加强对施工人员的管理和过程中的检查,同时,各级管理人员和技术人员也应不断的学习先进的管理理念和施工技术,更好的服务于项目的同时,带来更好的社会效益。

参考文献

- [1] 文新伦,马仕,上海世博500kV地下变电站57 5m深地下连续墙施工质量的控制与实践,建筑施工,2009,1.

垃圾焚烧项目概算编制的工作体会

——以土建专业为例

■ 韩颖 韩爱华 [工程造价]

摘要: 在工程建设中,工程概算的编制不仅影响建设单位的投资决策,而且对工程造价的控制也将产生重要的影响。本文结合垃圾焚烧建设项目的特点,总结了垃圾焚烧建设项目概算编制的工作经验,从而更好地提高概算编制的质量。

关键词: 垃圾焚烧项目;概算编制

根据《“十三五”生态环境保护规划》的要求,大中型城市将重点发展生活垃圾焚烧发电技术,鼓励区域共建共享焚烧处理设施。经验表明,垃圾焚烧处理具有污染物排放量低、无害化程度高、节约土地、垃圾减量化和资源利用效果好等显著优点,具有良好的环境效益和社会效益。各级政府和投资者都在积极筹建垃圾焚烧发电厂,垃圾焚烧发电厂的成本控制对于政府和投资者来说也就至关重要。国内外的相关资料研究表明,设计阶段的费用只占工程全部费用不到1%,但它对工程造价影响程度高达75%以上,故不断完善初步设计、编制准确的设计概算,对整个工程的投资控制起着重要的作用。

1 垃圾焚烧项目设计概算的编制内容及流程

一个垃圾焚烧项目主要由主厂房(焚烧厂房、汽机厂房、主控厂房)、辅助厂房和构筑物(烟囱、坡道、设备基础、水池)、厂区附属工程构成。编制设计概算,首先应收集好相关的工程资料,包括设计图纸,建筑、安装、市政工程等的相关定额,工程所在地的人工、材料、机械及设备市场价格,工程建设其他费用内容及费率标准,工程所在地的自然、技术、经济条件等资料;其次,编制建设项目子项工程概算表:工程概算表主要由建筑、安装工程概算表及设备材料价格表、规费表、税金表组成;再次编制建设项目总概算表及建设项目有关的其他费用。

作者简介:韩颖,女,助理工程师,2019年毕业于北京理工大学工程管理专业,现就职于航空工业规划市政工程设计研究院。

垃圾焚烧项目设计概算的编制流程:设计人员向技经人员发出设计概算提资条件,技经人员完成项目设计概算,经过内部审核完成后交付业主;政府委托第三方咨询公司进行初步设计方案评审,参会评委对设计概算进行评审并提出修改意见;设计院将修改后的设计概算成果及修改回复再次提交给业主,让评审专家对回复意见进行审核,继而确定最终版设计概算。

2 土建专业概算编制时应注意的问题

2.1 选用适用的定额及相关文件

理论上概算项目采用概算定额,专业不同选用的定额也不同。垃圾焚烧项目应该采用什么定额,目前造价行业也没有统一的标准,河南、江西等地区新市政定额已经录入生活垃圾焚烧册。同时,垃圾焚烧项目属于市政项目,以工艺为主,根据《生活垃圾焚烧处理工程技术规范》CJJ90-2009中的项目划分原则,与电力项目划分导则相比略有出入,对比电力定额最小机组50MW,大部分适用于燃煤发电工程、烟气处理工艺缺少等因素,市政定额更细化,计算造价更精准。因造价行业未明确概算编制依据的强制规定,采用市政或电力定额均可,具体采用的定额根据项目所在地的要求进行选择。像南昌项目便采用的市政定额,而广德项目则采用的是电力定额。当概算定额不满足要求时也可借用预算定额。编制概算前应与业主方提前沟通,选择适用的定额。

一个完整的编制概算需求文件除了定额外,还有定额相关的配套文件,比如,地区规定的取

费文件、调价文件，人材机信息价等。编制概算前应收集完整配套的相关文件。

2.2 结合项目特点编制概算

垃圾焚烧项目因其特殊性，选址只能在远离生活区的偏远地带，大部分都是在山区，地质条件恶劣。除此之外，垃圾焚烧项目还有一些不同于其他建设项目的特点，在编制概算时应充分考虑，下面就列举几种不同的情况。

考虑地质的情况：以四川内江地区为例，四川内江地区属于岩溶地区，在成桩之前采用钻探的方法检查其桩底基岩的情况，会用到超前钻，超前钻属于施工勘察，当基桩挖到持力层时，为查明基桩持力层下不少于5m范围内有无软弱夹层、空洞等不良地质作用而进行的勘探钻孔勘察，所以内江地区的项目涉及到桩基工程的时候都会采用超前钻的勘察方式。超前钻的综合单价约为120元/m，该项目超前钻的费用为36.6万元。而广州地区的地质条件更为恶劣，增城项目的超前钻费用达到了550万，占大土建总投资的1.5%。

考虑土石方和基坑支护的情况：垃圾焚烧项目由于其特殊性，所以选址一般都在偏远地区，当地的地质状况一般都很差。例如南昌项目场地位于南昌市经济技术开发区蛟桥镇麦园村，场地为原始地貌，属低山区，地形起伏较大。西、北面为山，东、南面地势较低，地势总体自西向东倾斜，大部分边坡被植被覆盖。场地西面及北面边坡为全挖方区；场地东面及南面边坡为半挖半填方区。根据现场踏勘调查和资料收集，自上而下划分为：①素填土；②粉质粘土；③强风化花岗片麻岩；④中风化花岗片麻岩。最不利下滑面应为强风化花岗片麻岩与土层或中风化花岗片麻岩交界处。结合设计原则、现状条件、施工便捷等要素，北侧和西侧边坡经方案比选后，采用铺钢筋网片+锚钉喷射混凝土防护。东侧边坡有挖有填，填筑边坡，具放坡空间，结合设计原则、现状条件、施工便捷等要素，采用两级放坡支护，底坡采用双排桩抗滑，顶坡采用浆砌片石护面；挖方边坡，做法同西侧和北侧边坡。南侧边坡有挖有填，综合考虑采用悬臂式挡墙、扶壁式挡墙。最终经过计算，该项目厂区护坡费用为4237.86万元，该项目建筑工程费用为42118.4万元，护坡费用占建筑工程安装费用的10%。同时，设计投资条件往往比较粗略，编制人员要直接收集初设文本说明或地勘资料，以保证概算编制的准确性。

有的项目由于土质情况较差，例如内江转

运站项目，当地的土质状况强风化的软岩、极软岩，加上场地空间有限，挖填方的土不能直接堆放在场地，需要把挖方的岩石全部运走，回填土的时候只能买土，因此该项目的土石方工程的费用比较高，总费用约30万，约占总费用的7%。

考虑防腐做法的问题：垃圾焚烧项目建筑装饰工程中最具特色的便是各种池子侧壁、底板的防腐做法。以泸州项目为例，厂区初期雨水收集池、事故池、渗沥液池侧壁的做法中含有“涂刷环氧树脂面漆二遍、用环氧树脂漆贴五布六油玻璃钢+刮胶泥、0.5mm的环氧树脂胶泥、2mm厚环氧树脂胶泥找平、涂刷环氧树脂底漆二遍”，该做法中“用环氧树脂漆贴五布六油玻璃钢+刮胶泥”是不常见的做法，概算编制人员需要跟设计人员进行沟通，了解具体的做法，再咨询市场价，然后结合泸州地区的定额进行套取。最终该做法每平方米的造价比不含防腐做法的侧壁高出50元。

考虑措施的问题：垃圾焚烧项目有烟囱等的构筑物，一般都是近百米左右，在编制概算时要注意措施费编制。以南昌垃圾焚烧厂为例，烟囱高110m，套定额时要以构筑物的定额进行选取。首先套构筑物垂直运输的定额还要套一个液压滑升钢模板的定额，单位以10m³计算，像渗沥液调节池、综合水泵房的蓄水池、循环泵房的吸水池等这些池子在编制概算时混凝土及其模板的定额都按照构筑物进行选取。

2.3 了解项目技术方案

每一个垃圾焚烧建设项目都是唯一的，其涉及范围广泛，包括总图、工艺系统工程以及建筑结构工程，其建设方案千差万别。这些条件的差异性不仅影响垃圾焚烧发电厂的技术方案的实施，而且最为重要的是影响建设项目的工程造价。而编制垃圾焚烧项目概算文件是确定工程造价及初步设计文件的重心，其编制正确合理与否，将对工程的建造实施产生重要影响。因此概算编制人员必须熟悉设计内容，充分了解工程建设条件，系统工艺流程及在清单计价中必须套用正确的定额消耗标准、采用最新材料价格。当尚无完整的初步设计方案时，可以利用技术条件与设计对象相类似的已完垃圾焚烧项目或在建工程的概算资料来编制拟建工程的概算文件，但是必须根据项目的唯一性（比如拟建地区的地质差异和价差）进行相应的调整。同时，在计算其他相关配套工程费用时，必须严格按照垃圾焚烧发电厂建设项目所在地的相关建筑、安装、市政定额进行计算。在计算过

程中,应慎重考虑定额计算套用的重复,以避免产生不必要的工程费用,正确地将由工程建设项目产生的费用分担到项目工程造价中。

2.4 学会用以往数据进行自我检查

垃圾焚烧项目在国内兴起的时间短,不同于其他的民建项目有大量的数据积累,所以概算编制人员在编制过程中要学会逐步积累数据,并学会用积累的数据进行自我检查。比如在做转运站的项目时,会发现转运站的建筑工程的单价在3000~4000元/m²,而装饰装修工程一般不到1000元/m²,因此从参照这个数据可以检查自己套价的准确性。当数据有偏差时要分析原因。数据指标的积累是一个长期的过程,造价人员一定要心细,处处留心。工程量计算的完成和定额套用的结束,仅是完成了设计概算最基础的工作,投资、指标的最终确定才是设计概算精华的体现。建筑、安装、设备投资的占比、电气、自控系统投资的占比等等,这些都是概算人员在完成设计概算后需要及时整理和收集的数据。虽说概算的工程量没有预算要求的那么精确,但是如果粗心的话对工程价款的影响却是很大的。以找坡层的厚度为例,套定额时,不同厚度找坡层的单价差别很大。如果屋面防水卷材底下还有一层砂浆找平层的做法,找平层也要算上卷面积。

在完成最终版概算之前,需要有多次的修改过程,编制人员要有耐心,积极与项目设计总师和设计人员进行沟通,针对一项一项的修改要求跟业主进行沟通确认,直到完成修改形成最终版概算文件,保证项目概算的经济性、合理性、全面性目标的实现。

3 重视概算的编制工作

设计概算是工程造价在设计阶段的表现形式,主要作用是控制以后各阶段的投资,具体表现为:设计概算是编制固定资产投资计划、确定和控制建设项目投资的依据;是控制施工图设计和施工图预算的依据;是衡量设计方案技术经济合理性和选择最佳设计方案的依据;是编制招标控制价(招标标底)和投标报价的依据;是签订建设工程合同和贷款的依据;是考核建设项目效果的依据。因此,设计阶段对工程造价影响程度高达75%以上,然而不少人对建设工程设计概算在认识上依然存在偏差,往往认为概算只是一个参考数,将来还要变化的,难以成为指导资金的合理安排及运用的依据,因而也不重视概算的

编制工作,而把控制工程造价的重点放在施工阶段对施工图预算及工程竣工结(决)算的审核上。致使目前许多设计概算流于形式,编制的概算脱离工程实际、预算超概算现象严重,失去了设计概算在项目建设过程中对造价控制的作用,同时也给施工阶段的造价控制带来影响。因此概算编制人员必须更新观念,确立全过程控制投资意识,与市场的变化接轨,比如在套定额时一些省市目前采用的消耗量定额距今已经有十几年时间跨度,部分定额中的施工机械已经逐渐被淘汰,同样,一些新的施工方法却面临无配套的定额可以套用的现状,比如,模板工程中已经淘汰的小钢模,防腐做法中的许多新的做法和新的工艺。因此一方面,概算人员不能脱离施工现场,经常到施工现场参观学习,可以掌握实际施工工序及其所用材料机械。另一方面,要及时掌握一些新工艺、新方法的综合施工价格,遇到没有定额可以套用的时候,可以补充定额计入,并保证价格的合理性。只有在设计阶段把概算编制详细到位了、全面了,才能具体地反映整个工程建设费用,才能使投资者真正做到“心中有数”,才能作为控制投资的重要依据。

4 结语

垃圾焚烧项目概算是初步设计文件的重要组成部分,是控制造价、施工预算、竣工结算以及签订总承包合同、实行投资总包干的依据,其反映了垃圾焚烧发电项目从筹建至竣工交付使用所需的全部费用。垃圾焚烧项目有着不同于其他项目的特点,在编制概算的时候要选用合适的定额及定额文件,结合项目的特点,了解项目的技术方案,编制完成时还要结合以往的数据指标进行自检。作为概算编制人员还要有耐心,认真跟设计人员、总师、业主等多个单位进行沟通。垃圾焚烧项目概算的编制做足做全是一项非常重要的工作,是设计文件的重要组成部分和基本建设管理工作的重要依据。因此,提高垃圾焚烧项目的概算编制工作,可以很有效地为建设项目的投资决策、造价管理打下良好的基础。

参考文献

- [1] 张向高, 浅谈市政工程设计概算编制工作, 建筑规划与设计, 2012.08
- [2] 刘海丽、彭新坡, 垃圾焚烧发电厂概算编制初步探讨, 工业建筑, 2011.08

某低压补偿柜导线绝缘烧蚀故障的分析

■ 牛犇 [电气]

摘要: 本文介绍了某低压补偿柜内导线绝缘烧蚀故障的调查经过,再现了透过表象排除个案、通过测量和破坏性操作找出故障原因的过程,供诸位电气工程师参考。

关键词: 低压补偿;电抗器;铝绕组端子;导线绝缘烧蚀

1 引言

近些年,屡有公司反馈低压电容电抗补偿不敢投入、故障多的问题,甚至有的补偿柜发生过起火燃烧的事故。是故障必有其原因,下面介绍一起此类故障的调查分析情况。

2 故障背景

某园区内有多个厂房,各厂房附设的10/0.4kV变电所低压补偿均采用电容器组串联7%电抗器的形式。其中的两个变电所在运行大约两个月后,低压补偿柜内出现了多处导线绝缘烧蚀的情况。

其中,电抗器连接导线8处烧蚀、开裂,电容器连接导线一处烧蚀,接触器连接导线两处烧蚀。

3 现场故障排查和分析

电容电抗器设备商到现场调查、测量后出具了分析报告,把故障原因归结为谐波,并提出可

作者简介:牛犇,男,高级工程师,2005年毕业于天津大学电力系统自动化专业,现就职于航空工业规划动力工程设计研究院。

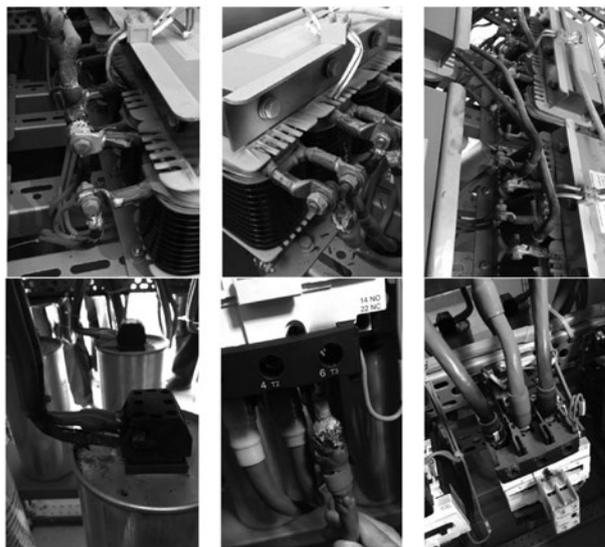


图1 低压补偿柜内导线绝缘烧蚀情况

免费将所有7%电抗器更换为6%电抗器的解决方案。报告的测量记录中显示,配电系统中存在奇次谐波,谐波电压畸变率在1.4~2.1%,谐波电流畸变率在6.0~9.3%。

笔者看到设备商的分析报告后,判断低压配电系统中的谐波电压和谐波电流虽然存在,但其畸变率并没有超过国标要求,并且数值不大,故

障应该另有原因。

经现场调查发现：

(1) 50kVar电容器串联电抗器的连接导线采用的是BVR-35mm²导线，25kVar电容器串联电抗器的连接导线采用的是BVR-16mm²导线，截面满足需求，排除导线截面选择问题。

(2) 电容器连接处的导线烧蚀仅1处，接触器连接处的导线烧蚀仅2处，2个变电所的其他同类回路无此情况，判断这3处为安装问题，属于个案。

随后，采用红外测温仪对几处正在运行的电抗器接线端子和绕组表面温度进行测量，记录的数据见下表所示。

表1 电抗器接线端子和绕组表面温度记录表

	接线端子温度(℃)	绕组表面温度(℃)
1号电抗器(对应于某50kVar电容器)	165	113
2号电抗器(对应于某50kVar电容器)	113	76
3号电抗器(对应于某50kVar电容器)	111	77
4号电抗器(对应于某25kVar电容器)	30	53
5号电抗器(对应于某25kVar电容器)	20	40



图2 1号电抗器的温度测量结果



图3 4号电抗器的温度测量结果

电抗器的温度测量结果呈现如下规律：

(1) 50kVar电容器回路串联电抗器的接线端子和绕组表面温度值均明显高于25kVar电容器回路，并且接线端子的温度均大幅高于绕组表面温度，移动测温仪测量更多部位，结果显示接线端子的温度最高，向两侧延伸，其温度呈逐渐下降的趋势。

(2) 25kVar电容器回路其绕组表面温度高于接线端子温度，类比电缆电线的正常运行温度，这两处测量点的温度值均在正常范围内。

现场排故人员都产生了这样的疑问：会不会是这批50kVar电容器串联的电抗器有问题？于是，重新统计烧蚀的导线，竟发现10台补偿柜内，凡是发生导线烧蚀的电抗器，其对应电容器的容量均为50kVar。

随机选取一台50kVar电容器串联的电抗器，划破绕组的漆面，露出白色的金属——铝芯绕组，再将其接线端子切断后取出，可以清晰地看到电抗器的铝导体直接插入铜质端子内，过渡措施不明。又选取一台25kVar电容器串联的电抗器，检验后发现其采用的是铜芯绕组。

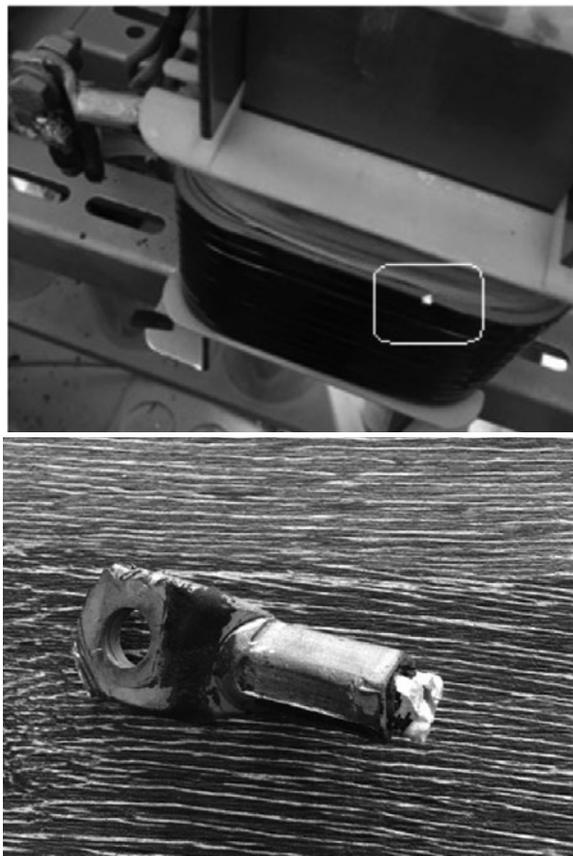


图4 铝芯电抗器及其连接端子

对于绕组的材料，相关国家标准并未要求一定采用铜导体。设备商提供的绕组导体材料应符合相关招标文件的要求，但同一批采购、不同规格的电抗器其导体材料不一致应该是存在问题的。

对于绕组的端子，按照GBT 1094.6-2011《电力变压器 第6部分：电抗器》第6节的要求：在最高环境温度下，干式电抗器绕组端子的温度不应超过下表规定的限值：

表2 干式电抗器绕组端子的温度限制

端子板材质种类	温度
铜、铜合金、铝和铝合金制作的裸露端子	90℃
铜、铜合金、铝和铝合金制作的镀锡端子	105℃
铜、铜合金、铝和铝合金制作的镀银或镀镍端子	115℃

GBT 1094.1-2011《电力变压器 第1部分：总则》第4节“使用条件”中约定，封闭环境中周围空气温度不超过40℃，则电抗器绕组端子的允许最高温升为75K。变电所现场当时的环境温度约

为5℃，则绕组端子温度最高不应超过80℃，而所测3处50kVar电容器串联电抗器的绕组端子温度均已超过了110℃，可以确定设备商提供的绕组端子是不满足国标要求的。

至此，故障原因查清，这是一起因设备商提供不合格电抗器而引起的事故，回想起设备商提出可免费更换电抗器的报告，原来设备商一直在隐瞒真相！

4 结语

排查工作往往头绪很多，需要仔细甄别、排除个案，多借助工具，以数据为依据，才能找出真正的原因。另外，造假代价太低，是电气故障发生的一个重要原因，有关部门应引起重视。

参考文献

- [1] GBT 1094.1-2011 电力变压器 第1部分：总则 [S].
- [2] GBT 1094.6-2011 电力变压器 第6部分：电抗器 [S].

谈GB/T 13870.2 《电流对人和家畜的效应 第2部分： 特殊情况》的修订

■ 牛犇 丁杰 陈彤 (电气)

摘要: 此次GB/T 13870.2《电流对人和家畜的效应 第2部分：特殊情况》的修订，等同采用IEC/TS 60479-2:2007，该标准修订后的版本号为GB/T 13870.2-2016。本文介绍了GB/T 13870.2-2016的主要内容和较上一版的主要变化，对该标准转化过程中几个难点的处理细节做出说明，并着重介绍了编制组在IEC原文中发现的几处疏漏及IEC TC64对此的确认结论。

关键词: 电流的效应；惊跳反应阈；痛觉阈；本质安全电压；自来水电阻率

0 引言

该标准的修订由全国建筑物电气装置标准化技术委员会归口，由中国航空规划设计研究总院有限公司和中机中电设计研究院有限公司负责起草。国家技术检验检疫总局于2012年批准立项，标准级别为国家标准，标准性质为推荐性标准。

2007年IEC TC64发布了IEC 60479-2的新版本，2009年初，中国航空规划设计研究总院有限公司成立了该标准的编制组（主要起草人员有牛犇、逯霞、张琪、王颖、刘叶语、丁杰、王厚余）。2010年完成了标准的征求意见稿并在标委会内部征求意见，共收到10位专家的修改意见74条，编制组经过认真研究，根据专家意见对标准进行了修改，并于2011年8月编制完成了标准的送审稿。2011年11月，在标委会第三届第二次会议上对该标准进行了审查并获得通过。2012年11月完成标准报批稿。2015年，该标准通过了国家标准化委员会的审查，于2016年正式出版发行。

1 该标准的版本

GB/T 13870《电流对人和家畜的效应》是非常重要的基础安全标准，可为有关产品安全标准的制定提供可靠的、统一的参考来源，分为以下5个部分：

- 第1部分——通用部分；
- 第2部分——特殊情况；
- 第3部分——电流通过家畜躯体的效应；
- 第4部分——雷电流通过人体和家畜躯体的效应；
- 第5部分——生理效应的接触电压阈值。

GB/T 13870.2《第2部分：特殊情况》的历次版本见表1。

IEC标准按照成熟的程度和市场需求分为如下表现形式：IEC国际标准（IEC）、IEC可公开提供的技术规范（IEC/PAS）、IEC技术规范（IEC/TS）、IEC技术报告（IEC/TR）和工业技术协议（ITA）。此次修订转化的IEC版本为TS（技术规范），是指在TC（技术委员会，该标准对应的是TC64）内部达成一致意见的标准文件。

按照GB/T 20000.2-2009《标准化工作指南 第2部分：采用国际标准》的规定，中国标准与国际标准的一致性程度为3种：等同采用（IDT）、

作者简介：牛犇，男，高级工程师，2005年毕业于天津大学电力系统自动化专业，现就职于航空工业规划动力工程设计研究院。

表1 GB/T 13870.2历次版本对照表

	国际电工委员会 (IEC) 标准版次	中国标准版次	转化原则
1	IEC 479: 1974		
2	IEC 479-2: 1987	GB/T 13870.2-1997	等同采用
3	IEC/TS 60479-2:2007	GB/T 13870.2-2016	等同采用

修改采用 (MOD) 和非等效采用 (NEQ)。该标准转化时确定的原则是等同采用, 也就是国家标准与国际标准在技术内容和文本结构方面完全相同, 或者国家标准与国际标准在技术内容上相同, 但包含小的编辑性修改。

2 该标准的内容

该标准介绍了频率100Hz以上交流电流的效应、特殊波形电流的效应、具有相位控制交流电流的效应和具有多周波控制交流电流的效应, 给出了混合频率下等效电流阈值的简单估算办法, 介绍了重复脉冲电流对心室纤维性颤动阈的影响, 论述了电流通过浸入水中人体的效应情况, 还介绍了短时单向单脉冲电流的效应。

与GB/T 13870.2-1997《电流对人和家畜的效应 第2部分: 特殊情况》相比, 此次修订的主要技术变化如下所示:

(1) 进一步完善如下技术内容。通过人体的频率范围在15Hz~100Hz之间的具有直流分量的交流电流、具有相位控制的交流电流以及具有多周波控制的交流电流的效应 (第5、6、7节)。

(2) 增加了混合频率下等效电流阈值的估算 (第8节)。

(3) 增加了重复脉冲电流对心室纤维性颤动阈值的影响 (第9节)。

(4) 增加了电流通过浸入水中人体的效应 (第10节)。

3 该标准修订中3个难点的处理

以下介绍了该标准在转化中3个难点的处理细节:

(1) 术语“threshold of startle reaction”

该术语在第4.1、5.3.2、6.2、7.2和10.4节多次出现。

可供选择的译法有: “惊吓反应阈”、“惊

动反应阈”、“惊跳反应阈”。

“惊吓”意为“因受到意外的刺激而害怕”, 更多的强调心理上的反应;

“惊动”意为“举动影响别人, 使吃惊或受干扰”, 虽然名词中有“动”, 但在含义上并没有动作;

“惊跳”可参照名词“惊跳反射”, 意为“动物被突发性的强感觉刺激诱发的一种防御性反射, 表现为面部及躯体肌肉的快速收缩”。

综上, 虽然“惊跳”在日常生活中应用较少, 初次接触这个名词的人会感觉有些突兀, 但确是一个专有名词, 而且能贴切地表达出触电时动作上的反应。该术语最终译作“惊跳反应阈”。

(2) 名词“immersed body”

该名词出现在第10节, 第10节的内容都是以“Effects of electric current through the immersed human body”为主题的。

可供选择的译法有: “浸湿人体”、“浸入水中人体”。

“浸湿人体”更多的是强调“湿”, 但没有把“浸在水中”的意思表达出来。

“浸入水中人体”, 虽然不够简练, 但意思表达充分, 因为第10节整节都是在描述电流在水中通过四肢进入人体或是在水中直接进入心脏部位等情况下的效应。

综上, “浸入水中人体”是合适的, 该名词最终译作“浸入水中人体”。

(3) 关于“本质安全电压值”的表述

对于本质安全电压值, 在水下环境, 一些标准中给定的值为12V, 这也是很多业界人士一直以来的印象, 在2011年11月的审查会上, 有专家也提到了这个观点。

但是, 在IEC/TS 60479-2:2007的第10.6节是这样论述的: “it has been the practice of product standards to limit current rather than voltage in applications such as swimming pools and spas where body immersion occurs. If an intrinsically safe voltage value were to be specified, it would have to be very low, perhaps in the order of only a few volts, because of the very low impedance pathways that can exist through the immersed body”, 也就是说, 在游泳池和温泉内12V电压只是相对安全的, 仍存在例外的可能。要保证绝对安全, 按照IEC原文的思路, 应该限制电流而不是限制电压。

4 该标准IEC原文中几处存疑内容的处理情况

编制组在该标准的转化过程中,发现了原文中几处存在疑问的内容,与该标准当时的召集人 Claus-Dieter Ziebell (德国)联系后,很快将这些问题提交TC64,并在瑞典斯德哥尔摩举行的TC64 MT4会议上进行了讨论,以下是Claus-Dieter Ziebell在2011年9月通过邮件转达MT4讨论结果的原文:

“TC64 MT4 held their meeting last week in Stockholm Sweden. Your comments on Part 2 have been considered. The results are included in the document sent together with this mail. It seems practically to publish a corrigendum but this to be decided by the CO. If not accepted we shall start work on an amendment.”

在该邮件的附件中,MT4确认中方编制组提出的以下4个问题在原版本中存在疏漏:

(1)术语“痛觉阈”的定义有误

IEC原文是这样定义“痛觉阈”的“3.12 threshold of pain minimum value for the charge ($I \cdot t$) or specific energy ($I^2 \cdot t$) that can be applied as an impulse to a person holding a large electrode in the hand without causing pain.”

原文的中文表述为:“3.12痛觉阈以脉冲形式施加于手握大电极的人而不会引起痛觉的电荷量(It)或比能量($I^2 \cdot t$)的最小值。”

编制组讨论后认为,从逻辑关系上讲,不引起痛觉的最小值是零,原文的表述必定有误。

MT4讨论后决定将此定义改为“minimum value for the charge ($I \cdot t$) or specific energy ($I^2 \cdot t$) that can be applied as an impulse to a person holding a large electrode in the hand causing pain.”也就是“以脉冲形式施加于手握大电极的人可引起痛觉的电荷量(It)或比能量($I^2 \cdot t$)的最小值。”

(2)第4.1节附注第二段第一句中引用文件的名称有误

该句话的原文为“*These frequency weighting networks attenuate the signal according to the frequency factors of Clause 4 of IEC 60479-1*”,经查,IEC 60479-1的第4节中从未出现过所述的频率系数,MT4确认该处应为“IEC 60479-2”。

(3)第10节表2中关于自来水电阻率的数值有误
原文第10节表2中给出的自来水电阻率是“1290~16000” Ωcm ,其中“16000”的千位分隔位置有误,而通过查资料可知国内自来水的电阻率为1300 Ωcm ,同时参照表2中给出的标准硬水电阻率1780 Ωcm ，“1290~16000”这个数值区间的范围过大,最高值超出标准硬水电阻率近9倍,超出国内自来水电阻率近12倍,编制组讨论后,怀疑该数值应为“1600”,MT4讨论的结果印证了我们的疑问,我们得到的答复是该值确应为1600 Ωcm 。

(4)第11节对充电电压和初始人体电阻的表达式前后不一致

原文第11.2.1条的“注”,在表述和公式中充电电压为 U_e ;在图19中充电电压为 U_c ;在第11.4.2节的示例1和示例2的表中充电电压为 U_e 。

原文第11.2.1条的“注”,在表述中初始人体电阻为 R_e ,而公式中为 R_i ;在第11.4.2节的示例1和示例2的公式和表中初始人体电阻为 R_i 。

经查上一版国标和对应的IEC标准,充电电压和初始人体电阻的表达式为 U_c 和 R_i 。在提出疑问后,MT4讨论认为都应统一为 U_c 和 R_i 。

上述的4个问题在GB/T 13870.2-2016《电流对人和家畜的效应 第2部分:特殊情况》中均按照TC64 MT4的确认予以了更正。

5 结语

IEC标准的转化,既要理解原文、不失原意,在术语方面要参照既有的国家标准,在表述方式上要符合中国的习惯,对于IEC标准中有疑问的内容,更要相关人员大胆假设,细心求证,积极提出,参与讨论,在国际上发出我们的声音。另外,也在此呼吁国内更多的相关科研单位能够参与到IEC标准的转化工作中来。

参考文献

- [1]《电流对人和家畜的效应 第2部分:特殊情况》GB/T 13870.2-1997.
- [2]《电流对人和家畜的效应 第2部分:特殊情况》GB/T 13870.2-2016.
- [3]《电流对人和家畜的效应 第1部分:一般情况》GB/T 13870.1-2007.
- [4] IEC/TS 60479-2:2007 Effects of current on human beings and livestock Part 2: Special aspects.

开洞地下室顶板水平传力性能分析

■ 韦恒 熊海贝 赵伯友 [结构]

摘要: 本文考虑了不同洞口尺寸及洞口位置对地下室顶板嵌固能力的影响,以洞口长度与洞口到塔楼距离之比为变量进行研究,考虑洞口与塔楼之间的楼板的刚度对传力性能的影响,通过理论推导及有限元模拟,得出:(1)当洞口开设在抗侧力构件影响范围外时,可将地下室顶板作为上部结构的嵌固部位;(2)当洞口开设在抗侧力构件影响范围内时,若洞口长度与洞口到塔楼距离之比小于1.5仍可认为结构满足首层嵌固要求的结论。

关键词: 地下室顶板;水平传力;嵌固假定

0 概述

开洞地下室顶板能否作为上部结构的嵌固部位是工程界普遍关心的问题。地下室顶板由于建筑功能要求局部区域开洞而导致顶板局部不连续,使其可能不能充分约束上部结构,同时在水平地震作用下的传力性能发生变化。目前大多数研究^{[1]~[3]}针对某一工程实例或基于一些算例,以洞口尺寸或洞口位置为单一变量考虑开洞的影响,忽视了两者的关系,没有建立合理的开洞地下室顶板模型,解决洞口尺寸与洞口位置的关系,对于其他工程很难有实际指导作用,因此需要进一步研究。

1 开洞地下室顶板力学模型

针对开洞的地下室顶板,本文采用晏华、吕西林^[4]等人建立的多个刚性块平面假定来研究不同开洞情况下的顶板受力模型,即对于不能采用一个刚性平面假定的结构,根据结构平面的具体形式,将整块板进行离散化处理,分为若干个刚性楼板与柔性楼板,并假定各个刚性楼板平面内刚度无穷大,能够有效的传递水平力,对于柔板楼板,则需要考虑楼板的实际刚度进行分析,进一

步判断楼板的传力性能。如图1所示,将洞口与塔楼间洞口长度范围内的楼板视为柔性楼板,在进行首层嵌固研究时,主要考虑此楼板的传力性能的影响。

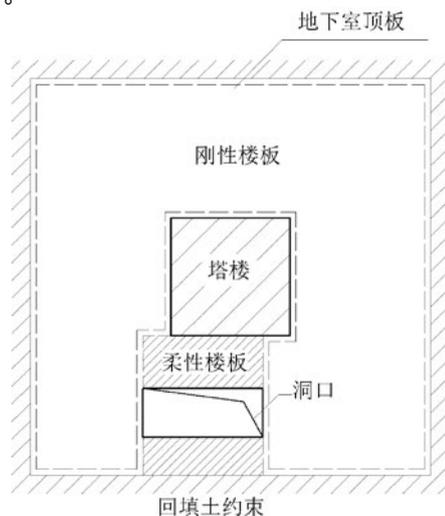


图1 分块刚性假定

基于楼板分块刚性假定,将上文所述的柔性楼板分离出来,单独建立模型进行研究。如图2所示,将柔性楼板等效为嵌固于两端刚性楼板的梁,塔楼对柔性楼板的作用等效为集中荷载与均布荷载的叠加,在相应荷载作用下,考虑柔性楼板的实际刚度时,等效梁会发生剪切变形与弯曲变形。对于不同尺寸及不同位置的开洞,洞口的长度相当于等效梁的长度 L ,洞口到塔楼的距离相

作者简介:韦恒,男,工程师,2014年毕业于同济大学建筑与土木工程专业,现就职于中航建投民航工程设计研究院。

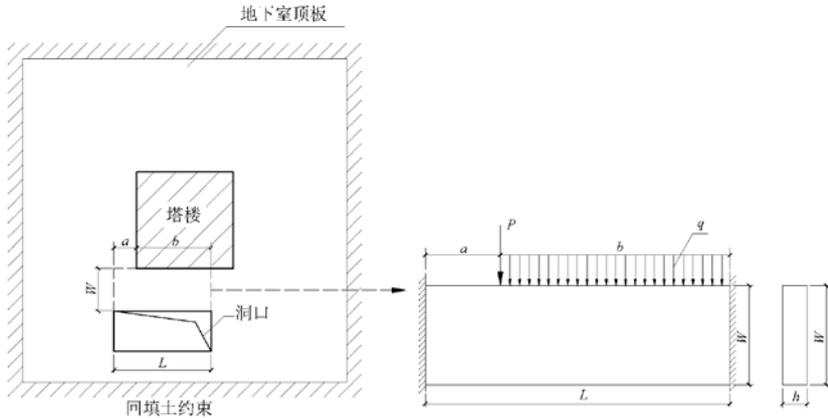


图2 柔性楼板的简化计算模型

当于等效梁宽度 W ，洞口与塔楼的水平相对位置 a 与 b 决定了作用于等效梁上荷载分布形式。

2 模型建立及计算假定

本文采用有限元分析软件SAP2000进行数值模拟，建立了剪力墙结构算例来进行分析研究。其中，剪力墙算例地上为30层、地下为3层，总高度为105m，塔楼采用钢筋混凝土剪力墙结构体系，其余地下室部位采用框架结构体系；地下室平面面积为2916m²，上部结构面积为324m²，各层楼板上均无洞口。表1为算例的结构基本信息。假定地下室四周回填土能提供良好的约束，建模时约束地下室外墙每个节点的自由度，建立剪力墙结构模型作为参照模型；基于参照模型，分别考虑不同的开洞情况建立模型。假定算例中的结构承受X向的水平多遇地震作用，地震动反应谱参数如表2所示。

3 开洞影响分析

3.1 洞口到塔楼距离为零的情况

表1 剪力墙算例结构基本信息

结构标高/m	构件截面尺寸/mm				
	梁 ($b \times h$)	柱 ($b \times h$)	板 (t)	剪力墙 (t)	
				地下室	上部结构
地下室 (-16.00 ~ ±0.00)	300 × 600	800 × 800	200	300	300
上部结构 (±0.00 ~ 28.00)	300 × 600	—	150	—	300

首先考虑洞口到塔楼距离为零 ($L/B = \infty$) 的情况。在X向上，洞口到塔楼的距离为零；在Y向上，洞口与塔楼的相对位置如图4所示。为了研究洞口开设在塔楼边时的影响，建立了模型MD00；为了研究洞口开设在抗侧力构件边时的影响，建立了模型MD01及MD02。模型JLQ-MT600作为与其他开洞模型的对照，命名为MD，见图3。

表2 地震反应谱参数表

地震影响系数最大值 (α_{max})	0.08
地震烈度 (SI)	7 (0.1g)
场地特征周期 (T_g)	0.35s
阻尼比 (ζ)	0.05

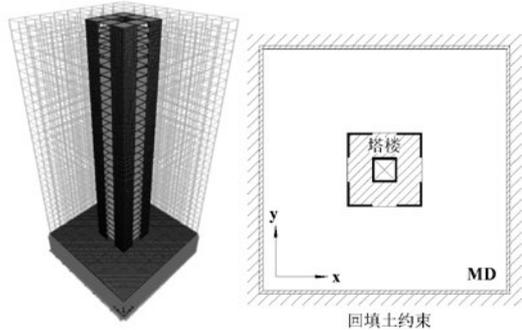


图3 剪力墙算例参照模型(MD)

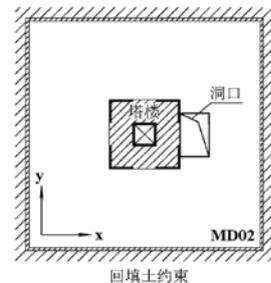
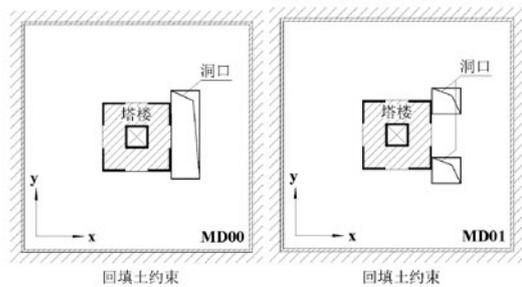


图4 考虑洞口到塔楼距离为零时开洞示意图

通过分析对比无洞口与全开洞两种模型的第一周期、顶点位移可知,开洞对上部结构周期、位移影响较小;因此,在考虑开洞对地下室顶板水平传力性能的影响时,主要考察开洞对抗侧力构件内力分布的影响。通过对塔楼剪力墙壳单元的内力分析(如图5)可知:

(1) 对于无洞口模型MD,剪力墙壳内力集中的部位出现在地下一层,说明随着地震作用的增大,地下一层有可能会因为应力集中而先于其他部位屈服。为了使屈服部位发生在首层,我国规范对地下一层框架柱纵筋面积和墙肢端部纵筋面积做出了相应的规定,通过增大地下一层水平抗侧力构件的配筋,避免地下一层构件由于内力集中先于地上一层破坏。

(2) 对于全开洞模型MD00,在开洞的一侧,剪力墙壳内力情况与无洞口模型MD有很大的差异;地下一层无内力集中现象,而地下二层与地下一层相比,内力比约为1.7倍,说明结构的薄弱部位已经下移至地下二层,若此时仍然按照结构首层嵌固设计,加强地下一层的配筋,则结构设计是不合理的。对比有无开洞的地下室顶板壳内力图可知,由于在塔楼作用影响范围内全开洞,板无法正常传递水平力。

(3) 对比具有相同开洞率的模型MD01与MD02可知,当洞口开设在抗侧力构件边(MD01)时,剪力墙壳内力分布与完全开洞模型MD00相似,说明由于开洞的影响,抗侧力构件产生的等效集中荷载无法通过顶板正常传递,在水平力作用下的内力分布发生了改变,从而使结构嵌固机理发生改变;当洞口避开抗侧力构件开设(MD02)时,壳内力分布与无洞口模型MD相似,说明当洞口开设在抗侧力构件之外时,即使洞口位于塔楼作用影响范围内,洞口对地下室顶板的嵌固能力影响较小。因此,洞口开设在抗侧力构件边时对地下室顶板嵌固能力的影响较大,此时不宜将其作为上部结构嵌固部位;在考虑开洞对地下室顶板传力性能的影响时,应重点考虑开洞是否影响抗侧力构件产生的等效集中荷载在板中的传递。

3.2 抗侧力构件的影响范围

洞口避开抗侧力构件开设时,即使洞口位于塔楼作用影响范围内,洞口对地下室顶板的嵌固能力影响较小;但洞口应该避开抗侧力构件多大的距离,需要研究抗侧力构件的影响范围才能得

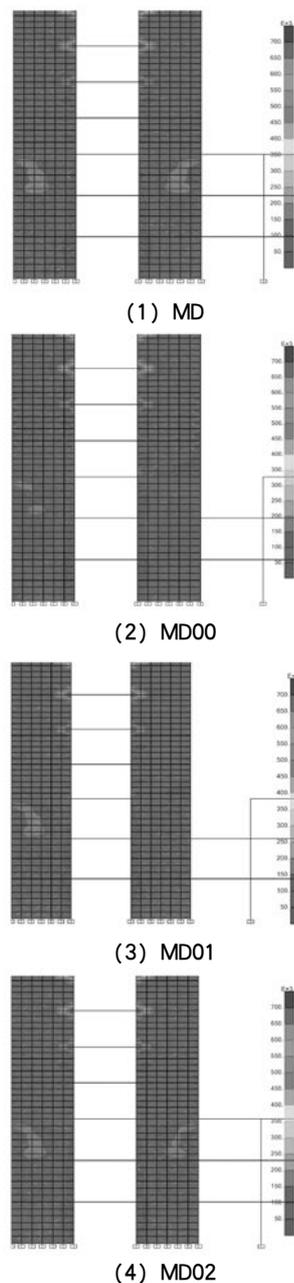


图5 考虑洞口到塔楼距离为零时剪力墙内力图

出结论。

通过分析无洞口模型MD的地下室顶板内力图可知,内力集中的区域在以抗侧力构件中点为中心,左右各延伸约1个单元格的长度范围内。因此,假设抗侧力构件影响范围为抗侧力构件截面高度加上左右各两倍截面高度的长度。为了验证上述假设,分别建立模型MD03及MD04。模型MD03洞口长度为6m,在X向上,洞口边线与抗侧力构件中线重合;在MD03的基础上,将洞口Y向上的长度上下各增加1m(1个单元格长度),得到

模型MD04。

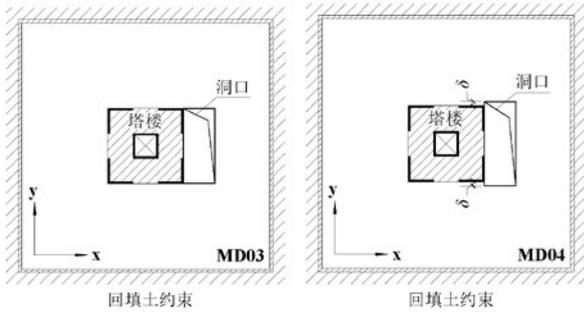


图6 考虑抗侧力构件影响范围时开洞示意图

通过对塔楼剪力墙壳单元的内力分析 (图7) 可知:

(1) 对于模型MD03, 剪力墙壳单元的内力分布与全开洞模型MD00相似, 但地下一层剪力墙在很小的区域内出现了内力集中, 说明一部分由水平抗侧力构件产生的等效集中荷载, 仍能通过与抗侧力构件相连的地下室顶板传递至外墙;

(2) 当洞口长度上下外扩1个单元格长度时, 地下一层剪力墙壳单元的内力集中区域消失, 模型MD04剪力墙壳单元内力分布与模型MD03相比更接近全开洞模型MD00, 说明此时等效集中荷载无法通过地下室顶板传递。

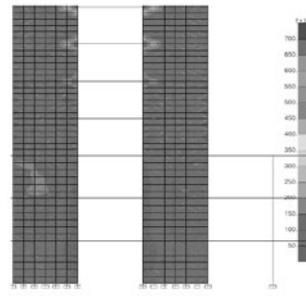
3.3 洞口到塔楼距离不为零的情况

由上文分析可知, 在考虑开洞对地下室顶板传力性能的影响时, 应重点考虑开洞是否影响抗侧力构件产生的等效集中荷载的传递。因此, 本节考虑洞口到塔楼距离不为零, 且只有一个等效集中荷载作用于等效梁中部的情况。如图8分别考虑等效梁长宽比 L/B 为1、1.5、2以及无穷大的情况。

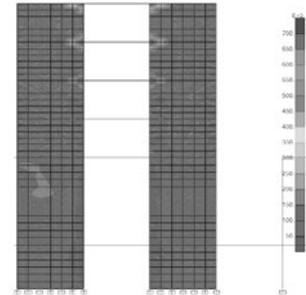
通过对X向水平多遇地震作用下, 塔楼剪力墙壳单元内力分析 (图9) 可知:

(1) 对于模型MDS10, 洞口到塔楼距离为6m, 洞口长度为6m, 即等效梁长宽比 $L/B=1$; 由图可知, 与无洞口模型MD相似, 剪力墙壳内力集中部位出现于地下一层, 说明长宽比 $L/B=1$ 的等效梁, 可以作为一个刚性块有效的将抗侧力构件产生的等效集中荷载, 通过与其连接的刚性楼板传递至地下室外墙, 此时地下室顶板可作为上部结构的嵌固部位;

(2) 随着洞口长度的增大, 当洞口长度为9m时, 长宽比 $L/B=1.5$, 由其剪力墙壳内力分布可知, 此时地下室顶板仍能近似作为上部结构



(1) MD03



(2) MD04

图7 考虑抗侧力构件影响范围时剪力墙内力图

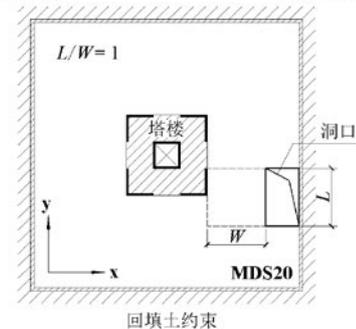
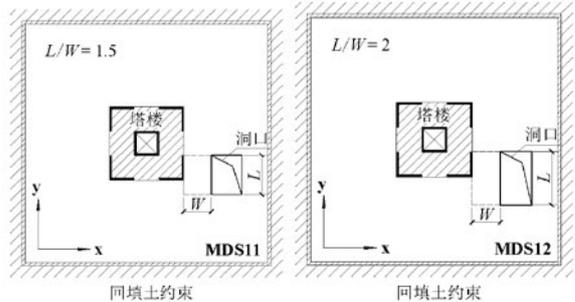
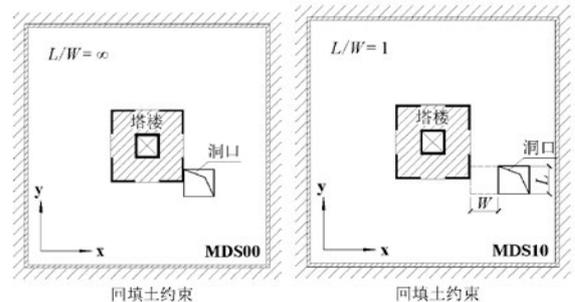


图8 考虑洞口到塔楼距离不为零时开洞示意图

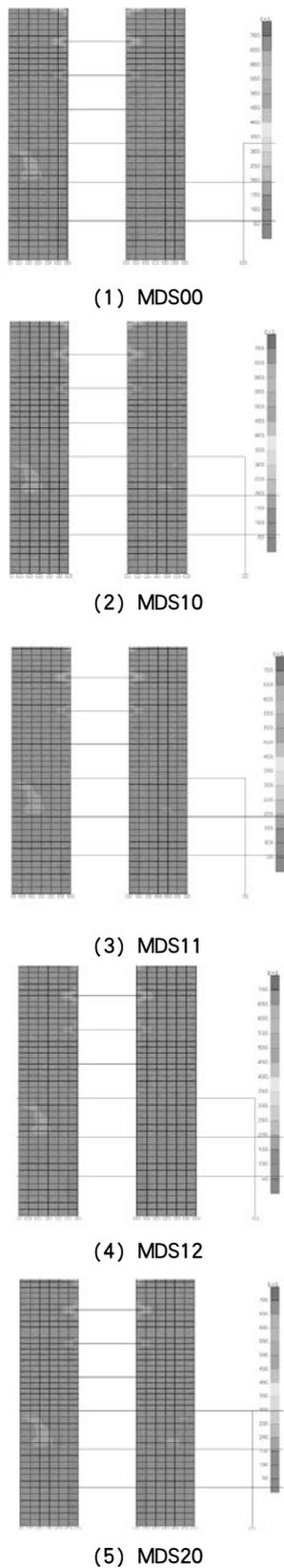


图9 考虑洞口到塔楼距离不为零时
剪力墙内力图

的嵌固部位；当洞口长度为12m时，长宽比 $L/B=2$ ，其剪力墙壳分布与模型MD01相似，说明此时不宜将地下室顶板作为上部结构的嵌固部位；

(3) 当将模型MDS12的洞口后移一跨时（洞口到塔楼距离为12m，洞口长度为12m），长宽比 $L/B=1$ ，地下一层剪力墙壳单元重新出现内力集中现象，与无洞口模型MD相似。

综合不同长宽比的等效梁对地下室顶板传力性能及抗侧力构件内力分布的影响可知，当 $L/B \leq 1.5$ 时，即洞口长度与洞口到塔楼的距离之比小于等于1.5，地下室顶板能够作为一个刚性平面有效传递水平力，此时可通过加强地下一层配筋等方法使得结构于地上一层屈服，亦即将地下室顶板作为上部结构的嵌固部位；当 $L/B > 1.5$ 时，即洞口长度与洞口到塔楼的距离之比大于1.5，由于地下室顶板无法有效传递水平力，结构的薄弱部位下移，若此时仍将地下室顶板设计为上部结构的嵌固部位，加强地下一层的配筋，则可能导致结构地下二层最先屈服，与设计初衷相违背，因此，对于 $L/B > 1.5$ 的情况，应该加强地下二层配筋，将结构按照嵌固于地下一层底板设计。

3.4 考虑塔楼多个抗侧力构件附近开洞

当塔楼多个抗侧力构件附近同时开洞时，对于只有一个洞口的情况（如图10中的模型MD20），相当于在单个等效梁上施加了多个等效集中荷载，此时仍可根据上文获得的结论判断上部结构的嵌固部位，即当洞口长度 L 与洞口到塔楼的距离 W 之比（ L/W ）小于1.5时，可将地下室顶板作为上部结构的嵌固部位；对于有多个洞口的情况（如图10中的模型MD21），相当于在多个等效梁上施加了单个等效集中荷载，在实际工程中，当按照上文结论，采用洞口长度 L 与洞口到塔楼距离 W 之比（ L/W ）判定地下室顶板可作为上部结构嵌固部位时，还应该验算洞口间的板在罕遇地震作用下的弹性，对于不满足要求的板应采取相应的加强措施。

对于实际工程中地下室顶板大开洞的情况，工程师常采用增设洞口连廊方式增加传力路径，使结构满足首层嵌固要求。这种加固方式是否有效，本文将通过对比模型MD20及MD21进行讨论分析。其中，模型MD20即上文所述的只有一个洞口的情况，洞口长度 L 为30m，洞口到塔楼的距离 W 为12m，等效梁长宽比 L/W 为2.5；模型MD21为多个洞口的情况，每个洞口长度 L 均为12m，洞

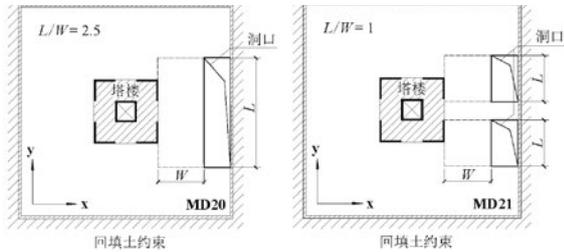


图10 考虑塔楼多个抗侧力构件附近开洞示意图

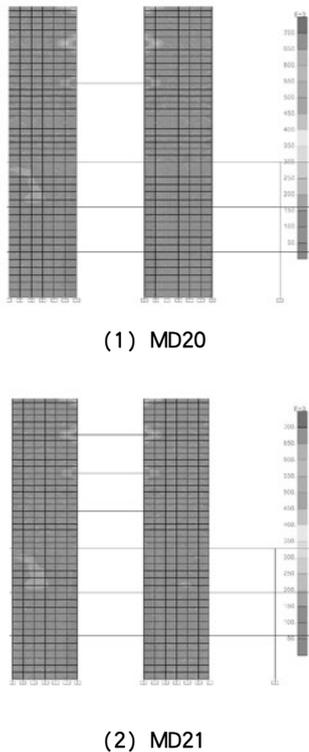


图11 考虑塔楼多个抗侧力构件附近开洞剪力墙内力图

口到塔楼距离 W 为12m, 等效梁长宽比 L/W 为1, 若将洞口间的楼板看作连廊, 则模型MD21实际上为模型MD20进行加固后的模型。

通过对X向水平多遇地震作用下, 结构2-2剖面剪力墙壳单元内力分析(图11)可知: 对于单个洞口的情况, 当洞口长度与洞口到塔楼距离之比, 亦即等效梁长宽比 L/W 为2.5大于限值1.5时, 开洞地下室顶板不宜作为上部结构的嵌固部位; 当在地下室顶板洞口处增设洞口连廊, 使得原来的长宽比大于1.5的等效梁转化为多个长宽比小于1.5的等效梁时, 地下室顶板可作为上部结构的嵌固部位, 对于多个洞口的情况, 仍可通过洞口长度与洞口到塔楼距离之比来判断结构是否满足首层嵌固要求; 但无论是增设连廊还是多个洞口的情况, 都应对连廊或洞口间的楼板进行弹塑

性验算, 确保其具有足够的强度, 能在罕遇地震作用下有效的传力。

4 结论

在进行开洞对地下室顶板嵌固能力的影响分析时, 为了囊括不同尺寸及不同位置洞口的影响, 本文将洞口长度与洞口到塔楼距离之比作为变量进行研究。通过有限元分析软件SAP2000对不同的开洞模型进行分析, 可得出以下结论:

(1) 洞口开设在抗侧力构件边时对地下室顶板嵌固能力的影响较大, 此时不宜将其作为上部结构嵌固部位; 在考虑开洞对地下室顶板传力性能的影响时, 应重点考虑开洞是否影响抗侧力构件产生的等效集中荷载在板中的传递。

(2) 当洞口应开设在抗侧力构件影响范围之外时, 洞口对地下室顶板嵌固能力的影响较小, 此时可将地下室顶板作为上部结构的嵌固部位; 抗侧力构件影响范围可取抗侧力构件截面高度加上左右各两倍截面高度的长度范围。

(3) 当洞口开设在抗侧力构件影响范围内时, 洞口长度与洞口到塔楼距离之比应小于1.5; 当洞口过大不满足要求时, 可采用增设洞口连廊的方式减小洞口长度与洞口到塔楼距离之比使其满足要求, 并应验算洞口连廊及洞口周边楼板在罕遇地震作用下的应力。

参考文献

- [1] 马泽峰. 地下室顶板开大洞对嵌固能力的影响[J]. 结构工程师. 2012, 28(2): 19-24.
- [2] 莫世海, 全戈, 梁灏. 地下室顶板开洞对超高层建筑嵌固能力的影响分析[J]. 建筑结构. 2011, 41(4): 93-97.
- [3] 韦恒, 英明, 熊海贝. 地下室顶板开洞对嵌固能力的影响分析[J]. 结构工程师. 2014, 30(2): 37-44.
- [4] 吕西林. 高层建筑结构[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2011.

地下室对上部结构的约束作用研究

■ 韦恒 熊海贝 赵伯友 [结构]

摘要: 本文将地下室对上部结构的约束作用简化为转动约束与侧移约束的叠加,以结构自振周期及顶点位移为考察指标,通过理论推导及有限元模拟了不同约束作用的影响,分析了主体结构地下室部分抗侧力构件刚度、地下室顶板刚度、地下室外墙刚度以及回填土刚度在约束上部结构中的贡献,提出了结构满足首层嵌固要求的条件。

关键词: 地下室;约束作用;嵌固假定

0 概述

嵌固的假定是结构设计中的一个重要环节,它关系到结构建模计算的复杂性、受力的真实性和准确性,是工程界普遍关心的问题。当地下室对上部结构有很强的约束作用、使得整体模型中上部结构的受力特性与单独从地下室顶板以上分离出来的上部结构相比,计算误差在允许的范围内时,则认为地下室顶板可近似为上部结构的理论嵌固部位,亦即结构满足首层嵌固要求。由于目前很少有学者研究地下室对上部结构的约束作用,大多数的研究^{[1]~[3]}针对某一工程实例或基于一些算例,以结构地下一层与地上一层侧向刚度比、地下室顶板刚度等为影响因素考虑其对结构首层嵌固的影响,虽然能够定性得出一些结论,并对规范中首层嵌固的要求进行验证,但没有从地下室对上部结构的约束作用出发,考虑各影响因素的作用机理及影响程度,因此,本文主要通过研究地下室的约束作用来分析嵌固问题。

1 地下室约束作用的简化

地下室对上部结构的约束主要是约束上部结构的转角及水平位移;由于实际结构中地下室不

可能完全约束上部结构的转角及位移,因此,考虑地下室不完全的嵌固约束作用时,可将地下室的约束作用简化为转动约束和侧移约束的叠加。采用具有转动刚度 k_{θ} 的转动弹簧模拟地下室对上部结构的转动约束,采用具有侧移刚度 k_u 的水平弹簧模拟地下室对水平位移的约束, k_{θ} 及 k_u 的大小反映了约束作用的强弱,共同决定了带地下室整体模型与分离模型的近似程度。

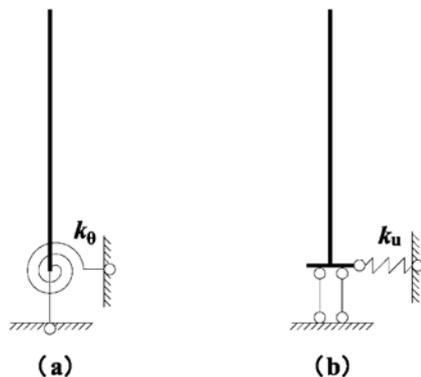


图1 不同类型的约束

假定图1中两种不同类型约束作用下,结构分别承受不同分布形式的水平荷载:

- (1) 倒三角形分布荷载;
- (2) 均布荷载;
- (3) 顶部集中荷载。

如图2所示,在水平荷载作用下,不同约束类

作者简介:韦恒,男,工程师,2014年毕业于同济大学建筑与土木工程专业,现就职于中航建投民航工程设计研究院。

型的结构顶点位移，可按照有限刚度悬臂杆的顶点位移 Δ_1 ，叠加不完全约束作用下无限刚性杆的转动或平移引起的附加顶点位移 Δ_2 或 Δ_3 获得。

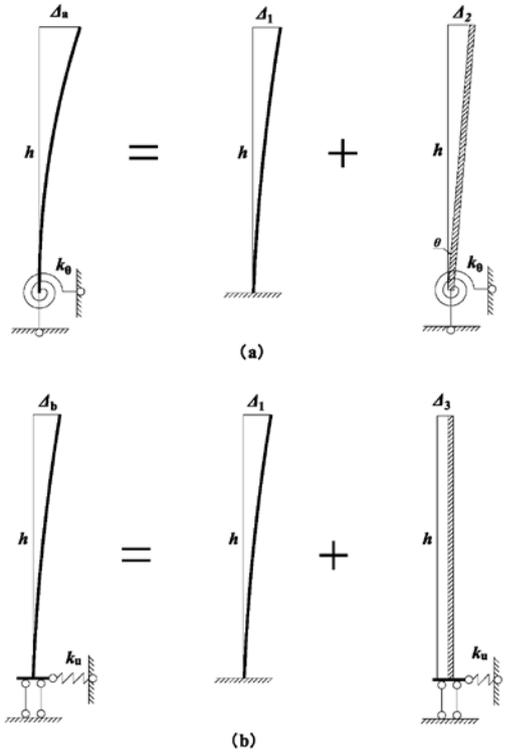


图2 水平荷载作用下顶点位移的叠加

根据有限刚度悬臂杆在不同水平荷载作用下的顶点位移公式^[4]及结构力学推导，可求出 Δ_1 、 Δ_2 及 Δ_3 。由图2可知，在进行位移叠加时，有限刚度悬臂杆即为前文所述的分离模型。为判断不同约束对上部结构约束作用的强弱，引入模型差值百分比（式1及式2）考察不同类型约束的结构模型与分离模型的近似程度。由差值百分比公式可知，当上部结构高度固定时，对于转动约束模型，影响约束强弱的主要因素有上部结构的抗弯刚度与地下室提供的转动刚度的比值 EI_w/k_θ ，以及上部结构抗弯刚度与抗剪刚度比值 EI_w/GA_w ；对于侧移约束模型，影响约束强弱的主要因素有上部结构的抗弯刚度与地下室提供的侧移刚度的比值 EI_w/k_u ，以及上部结构抗弯刚度与抗剪刚度比值 EI_w/GA_w 。其中，转动刚度主要由塔楼地下部分抗侧力构件的弯曲刚度 K_r 及地下室顶板的平面外刚度 K_{s0} 提供；侧移约束主要由地下室顶板的平面内刚度 K_{si} 、地下室外墙抗侧刚度 K_w 及回填土的刚度 K_e 三者共同提供。

$$\delta_a = \frac{\Delta_a - \Delta_1}{\Delta_1} \times 100\% = \frac{\Delta_2}{\Delta_1} \times 100\% \quad (1)$$

$$\delta_b = \frac{\Delta_b - \Delta_1}{\Delta_1} \times 100\% = \frac{\Delta_3}{\Delta_1} \times 100\% \quad (2)$$

表1 不同约束类型模型对分离模型的近似

约束类型	位移差值百分比 δ
转动弹簧	$\frac{3.64EI_w}{hk_\theta(1 + \frac{3.64\mu EI_w}{h^2GA_w})}$ (倒三角形分布荷载)
	$\frac{4EI_w}{hk_\theta(1 + \frac{4\mu EI_w}{H^2GA_w})}$ (均布荷载)
	$\frac{3EI_w}{hk_\theta(1 + \frac{3\mu EI_w}{H^2GA_w})}$ (顶部集中荷载)
侧移弹簧	$\frac{7.28EI_w}{h^3k_u(1 + \frac{3.64\mu EI_w}{h^2GA_w})}$ (倒三角形分布荷载)
	$\frac{8EI_w}{h^3k_u(1 + \frac{4\mu EI_w}{H^2GA_w})}$ (均布荷载)
	$\frac{3EI_w}{h^3k_u(1 + \frac{3\mu EI_w}{H^2GA_w})}$ (顶部集中荷载)

2 模型建立及计算假定

上文的位移差值百分比公式只能定性的给出了影响地下室约束作用的因素，实际上，转动刚度 k_θ 及侧移刚度 k_u 很难以公式的形式给出。因此，本文采用有限元分析软件SAP2000进行数值模拟分析。为确定地下室的约束对上部结构的影响，分别建立了剪力墙结构与框架结构两种算例来进行分析研究。其中，剪力墙算例地上为30层、地下为3层，总高度为105m，塔楼采用钢筋混凝土剪力墙结构体系，其余地下室部位采用框架结构体系；框架算例地上为8层、地下为3层，总高度为28m，塔楼采用钢筋混凝土框架结构体系，其余地下室部分也采用框架结构体系。两种算例采用强度等级为C30的混凝土。表2和表3分别为两种算例的结构基本信息。

表2 剪力墙算例结构基本信息

结构标高/m	构件截面尺寸/mm				
	梁 (b×h)	柱 (b×h)	板 (t)	剪力墙 (t)	
				地下室	上部结构
地下室 (-16.00~±0.00)	300×600	800×800	200	300	300
上部结构 (±0.00~28.00)	300×600	—	150	—	300

表3 框架算例结构基本信息

结构标高/m	构件截面尺寸/mm				
	梁 (b×h)	柱 (b×h)	板 (t)	剪力墙	
				地下室	上部结构
地下室 (-16.00~±0.00)	300×600	600×600	200	300	—
上部结构 (±0.00~28.00)	300×600	600×600	150	—	—

假定地下室四周回填土能提供良好的约束，建模时约束地下室外墙每个节点的自由度，分别建立剪力墙结构模型与框架结构模型作为参照模型，并取参照模型的上部结构建立分离模型。为研究地下室不同类型约束作用的强弱，采用SAP2000中节点束缚实现地下室顶板对上部结构的转动约束或侧移约束（表7）。基于参照模型，分别考虑地下室部分的刚度 K_r 、地下室顶板刚度 K_s 、有无回填土约束、地下室外墙刚度 K_w 的影响

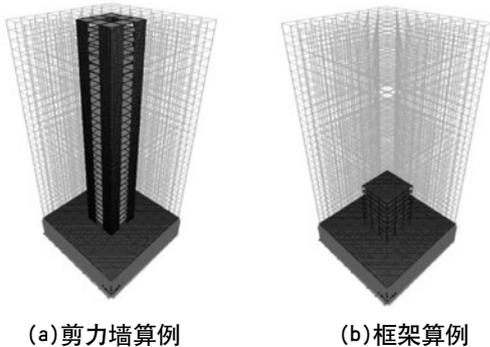


图3 剪力墙与框架算例参照模型

表4 剪力墙算例模型的特征及变量

模型名称	模型特征	模型构件尺寸/mm		
		塔楼地下室部分 剪力墙厚度(t1)	地下室 外墙厚度(t2)	地下室顶 板厚度(t3)
M	分离模型	—	—	—
M0	参照模型	300	300	200
M1	采用隔板束缚	300	300	200
M2	采用板束缚	300	300	200
M3	采用刚体束缚	300	300	200
MT450	变化塔楼地下室部分 剪力墙厚度	450	300	200
MT600	变化塔楼地下室部分 剪力墙厚度	600	300	200
MT3000	变化塔楼地下室部分 剪力墙厚度	3000	300	200
MS50	变化地下室顶板 厚度	300	300	50
MS1000	变化地下室顶板 厚度	300	300	1000
MC	回填土无约束	300	300	200
MW50	回填土无约束 变化地下室外墙 厚度	300	50	200
MW600	回填土无约束 变化地下室外墙 厚度	300	600	200
MW1000	回填土无约束 变化地下室外墙 厚度	300	1000	200

建立模型。地震动反应谱参数如表5所示。

3 地下室约束对上部结构的影响

3.1 不同类型约束的影响

通过分析不同类型约束作用下结构周期、位

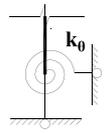
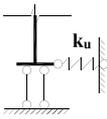
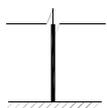
表5 框架算例模型的特征及变量

模型名称	模型特征	模型构件尺寸/mm		
		塔楼地下室部分框架柱截面 (b × h)	地下室外墙厚度 (t2)	地下室顶板厚度 (t3)
M	分离模型	—	—	—
M0	参照模型	600 × 600	300	200
M1	采用隔板束缚	600 × 600	300	200
M2	采用板束缚	600 × 600	300	200
M3	采用刚体束缚	600 × 600	300	200
MZ750	变化塔楼地下室部分框架柱截面	750 × 750	300	200
MZ850	变化塔楼地下室部分框架柱截面	850 × 850	300	200
MZ1900	变化塔楼地下室部分框架柱截面	1900 × 1900	300	200
MS50	变化地下室顶板厚度	600 × 600	300	50
MS1000	变化地下室顶板厚度	600 × 600	300	1000
MC	回填土无约束	600 × 600	300	200
MW50	回填土无约束 变化地下室外墙厚度	600 × 600	50	200
MW600	回填土无约束 变化地下室外墙厚度	600 × 600	600	200
MW1000	回填土无约束 变化地下室外墙厚度	600 × 600	1000	200

表6 地震反应谱参数

地震影响系数最大值 (α_{max})	0.08
地震烈度 (SI)	7 (0.1g)
场地特征周期 (Tg)	0.35s
阻尼比 (ζ)	0.05

表7 不同的束缚类型

束缚类型	约束类型	节点位移
隔板束缚 (Diaphragm)		$U1=0; U2=0; U3=c$ $R1=\alpha; R2=\beta;$ $R3=0$
板束缚 (Plate)		$U1=a; U2=b; U3=0$ $R1=0; R2=0; R3=\gamma$
刚体束缚 (Body)		$U1=0; U2=0; U3=0$ $R1=0; R2=0; R3=0$

移差值百分比 (图4、图5) 可知:

(1) 当采用隔板束缚 (模型M1) 约束上部结构在首层的侧移时, 无论是剪力墙算例, 还是框架算例, 周期及位移差值百分比与参照模型M0计算结果相近, 说明约束上部结构在首层的侧移对减小结构自振周期、限制结构顶点位移的效果不明显; 在地下室四周完全约束的情况下, 影响上部结构首层侧移的因素为地下室顶板的平面内刚度 K_{si} , 由此推知, K_{si} 对结构周期及顶点位移影响较小。

(2) 当采用板束缚 (模型M2) 约束上部结构在首层的转动时, 两种算例结构周期与顶点位移与参照模型M0差别较大, 与分离模型M相差很小, 差值百分比可约等于零, 说明约束上部结构在首层的转动能有效减小结构自振周期、限制结构的顶点位移;

(3) 当采用刚体束缚 (模型M3) 同时约束上部结构在首层的侧移与转动时, 结构周期、位移与分离模型M计算值精确相等, 表明当地下室实现了对上部结构的完全约束, 无论采取整体模型, 还是分离模型进行计算, 所获得的结果是相同的。

因此, 要使带地下室建筑结构满足首层嵌固要求, 应首先采取措施增加地下室对上部结构的转动约束, 提高转动刚度 k_0 , 使得带地下室的整体模型与无地下室的分离模型的自振周期与顶点位移能近似相等。

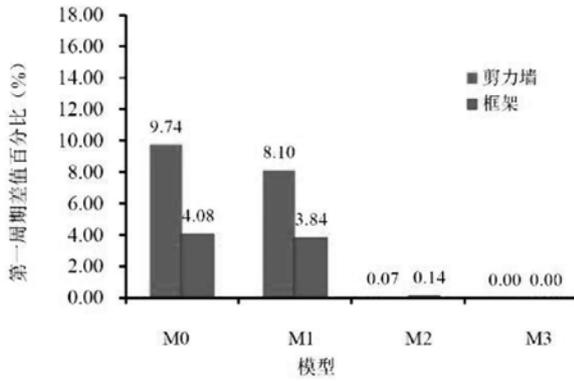


图4 不同类型约束下结构第一周期差值百分比

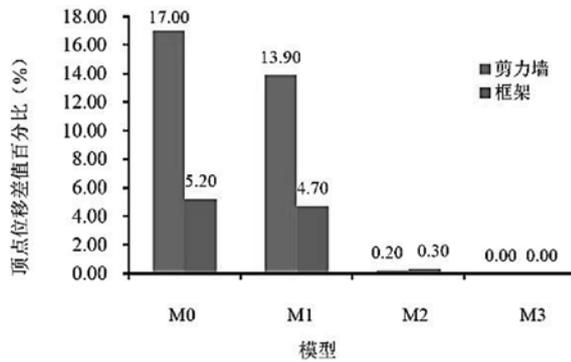


图5 不同类型约束作用结构顶点位移差值百分比

3.2 塔楼地下部分抗侧力构件刚度的影响

由前文可知，影响转动刚度 k_{θ} 的主要因素有塔楼地下部分抗侧力构件的抗侧刚度 K_r 及地下室顶板的平面外刚度 K_{s0} 。

为了综合考虑不同算例塔楼地下部分的抗侧力构件刚度的影响，固定塔楼地上部分的构件截面尺寸，变化塔楼地下部分构件截面尺寸，以塔楼地下一层与首层侧向刚度比（如表8所示）为变量，考察不同侧向刚度比对结构自振周期、顶点位移的影响。由图6~图7可知：随着塔楼地下部

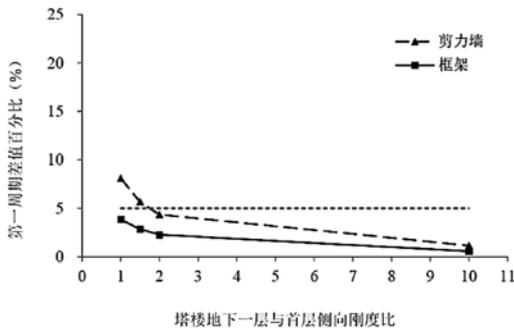


图6 不同侧向刚度比对结构周期的影响

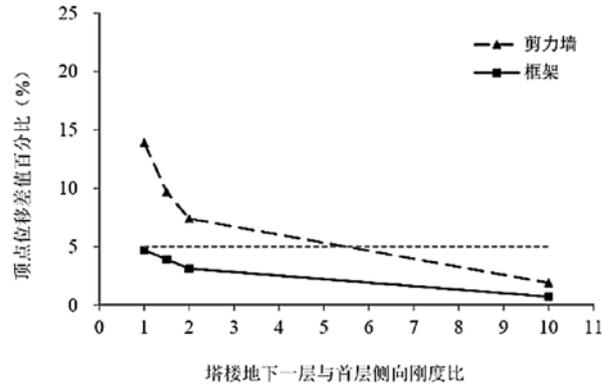


图7 不同侧向刚度比对结构位移的影响

表8 模型与刚度比对应关系

模型名称	刚度比
JLQ-M0	1
KJ-M0	
JLQ-MT450	1.5
KJ-MZ750	
JLQ-MT600	2
KJ-MZ850	
JLQ-MT3000	10
KJ-MZ1900	

分抗侧力构件刚度的增大，带地下室结构整体模型的周期、顶点位移与无地下室结构分离模型的差值比逐渐减小；塔楼地下一层与首层侧向刚度比从1增大到2时，剪力墙的顶点位移差值百分比约从14%减小到7%，框架的顶点位移差值百分比约从4%减小到2%，差值百分比减小约1倍；说明随着塔楼地下部分刚度的增大，地下室对上部结构的转动约束作用也逐渐增大，约束上部结构在首层的转动可显著减小整体模型与分离模型在周期、位移上的差值。

3.3 地下室顶板刚度的影响

由上文可知，由于约束上部结构在首层的侧移对减小结构周期及顶点位移效果不明显，因

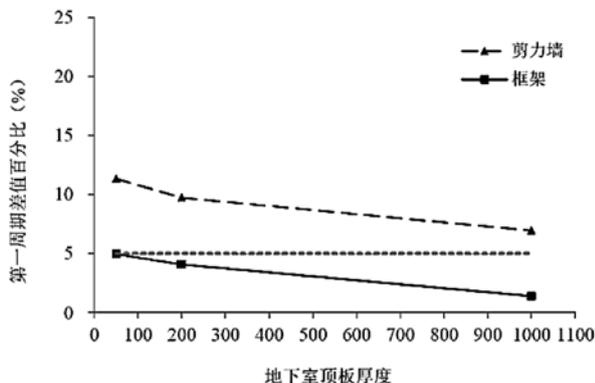


图8 地下室顶板板厚对结构第一周期的影响

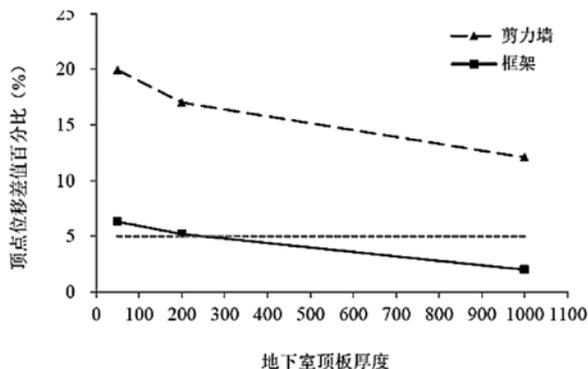


图9 地下室顶板板厚对结构第一周期的影响

此，地下室顶板平面内刚度 K_{si} 对结构的周期、顶点位移影响较小。本节主要研究地下室顶板平面外刚度 K_{so} 对约束上部结构在首层转动的贡献。

影响地下室顶板平面外刚度 K_{so} 的主要因素有地下室顶板板厚及与板相连的梁柱体系对板平面外变形的约束作用。

由地下室顶板板厚对上部结构第一周期及顶点位移的影响分析可知（如图8、图9所示）：当顶板厚度从200mm增加到1000mm时，对于剪力墙算例，顶点位移差值百分比从17%减小到12%，说明增大地下室顶板平面外刚度能够增强地下室对上部结构的转动约束，但与增大塔楼地下部分抗侧力构件刚度相比，作用并不明显，对于剪力墙算例，结构顶点位移差值百分比仍然超过10%。

为了研究地下一层梁柱体系对地下室顶板面外刚度的影响，取消地下一层塔楼之外的框架柱，对不同算例分别建立抽柱模型，分析结构在水平地震作用下的自振周期与顶点位移。如表9所示，抽柱模型与参照模型的第一周期与顶点位移差值百分比很接近，两者之差在0.3%内，说明地下一层梁柱体系对约束上部结构的贡献很小。

综合地下室顶板板厚及地下一层梁柱体系对上部结构的约束作用可知，地下室顶板面外刚度 K_{so} 对于增强地下室对上部结构的转动约束效果不明显，而且通常情况下，地下室顶板不会取到1000mm厚，因此，增强地下室对上部结构的转动约束，加大转动刚度 k_{θ} ，主要依靠增加塔楼地下部分抗侧力构件的刚度来实现。

但是，地下室采用梁柱结构体系，且保证地下室顶板具有一定的厚度，不但能保证竖向荷载的传递，同时防止地震作用下，地下室顶板由于面外变形过大导致板传递水平地震剪力和协调结构变形的能力急剧降低。

表9 不同模型结构周期与位移差值百分比

模型	周期差值百分比 (%)		位移差值百分比 (%)	
	剪力墙算例	框架算例	剪力墙算例	框架算例
参照模型	9.74	4.08	17.00	5.20
抽柱模型	9.80	4.38	17.11	5.44

3.4 回填土刚度及地下室外墙刚度的影响

为了研究回填土约束对上部结构的影响，本文对比了回填土完全约束（模型M0）及无约束（模型MC）两种情况。由表10可知，当地下室周边无回填土约束时，上部结构在首层的侧移增大，使结构周期变长，顶点位移增大；但有无回填土约束的结构周期与顶点位移与分离模型计算结果差值较接近，在4%之内，说明约束上部结构在首层的侧移对结构周期、顶点位移影响较小。

表10 不同回填土约束情况结构周期与位移对比

回填土	周期差值百分比 (%)		位移差值百分比 (%)	
	剪力墙算例	框架算例	剪力墙算例	框架算例
完全约束	9.74	4.08	17.0	5.2
无约束	11.32	4.49	20.43	7.1

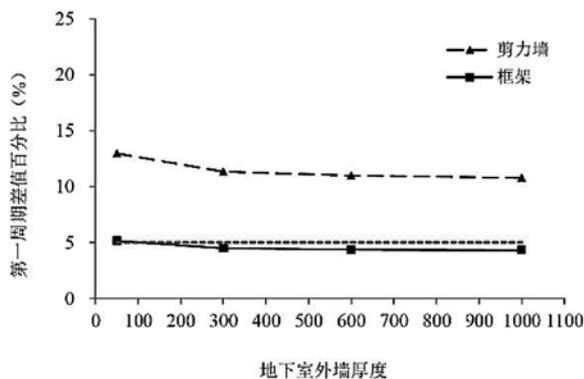


图10 地下室外墙厚度对结构第一周期的影响

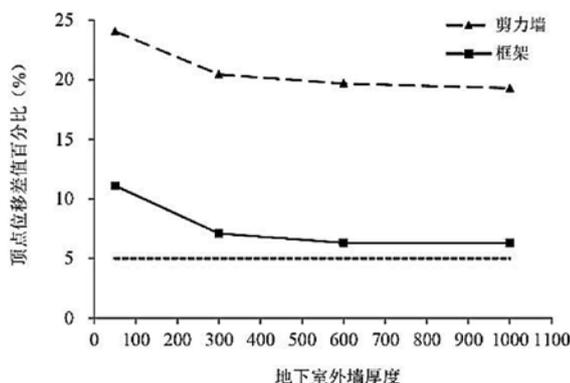


图11 地下室外墙厚度对结构顶点位移的影响

在地下室四周无回填土约束模型MC的基础上,改变地下室外墙厚度研究地下室外墙刚度对上部结构的影响。如图9、图10所示,当地下室外墙墙厚从300mm增大到1000mm时,剪力墙算例顶点位移差值百分比从20.4%减小到19.3%,且当墙厚大于300mm时,随着墙厚的增大,结构第一自振动周期及顶点位移基本保持不变,说明增大地下室外墙刚度对减小结构周期、限制结构顶点位移效果不明显。但当外墙厚度为50mm时,对于框架算例,顶点位移的差值百分比与墙厚为300mm时的模型计算结果相比明显增大,说明由于外墙刚度减小、地下室侧移增大使得结构顶点位移增大;由于实际工程中回填土不可能完全约束地下室外墙,因此外墙应具有一定的刚度,以限制地下室及上部结构的位移。

3.5 两种算例的比较

对比剪力墙及框架两种算例,由不同变量影响下,整体模型与分离模型周期、位移差值百分比的变化可知:

(1) 对于剪力墙算例,即使满足规范地下

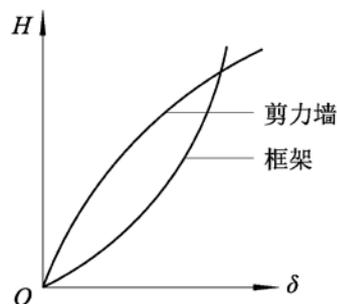


图12 框架及剪力墙结构的变形特征

一层与首层剪切刚度比大于2的要求,带地下室整体模型与无地下室分离模型的周期、位移差值仍然较大;以模型JLQ-M0为例,地下室四周回填土完全约束,各层楼板无开洞,剪切刚度比 $(G1A1h2) / (G2A2h1)$ 约等于3.5,满足规范首层嵌固要求,但第一周期差值百分比为9.74%,顶点位移差值百分比为17%,显然不能用分离模型替代整体模型进行计算;当增大塔楼地下部分抗侧力构件刚度时,差值百分比有明显的减小,并且随着刚度的增大差值百分比不断接近于零;当增加地下室顶板刚度或外墙刚度时,即使刚度很大,周期与位移的差值百分比仍然在红线(5%)以上,且偏离位置较大;

(2) 对于框架算例,当结构满足规范首层嵌固要求时,带地下室整体模型与无地下室分离模型的差值百分比在5%之内,说明此时可采用分离模型替代整体模型进行近似计算。

由于高层建筑剪力墙结构在水平力作用下以弯曲变形为主,整体位移曲线呈弯曲线,结构层间位移随楼层增高而增加,因而结构顶点位移对首层的转动敏感,转动刚度的变化会造成结构顶点位移较大的差异;而框架结构在水平力作用下以剪切变形为主,整体位移曲线呈剪切型,结构层间位移随着楼层增高而减小,因而结构顶点位移对首层的转动不敏感,转动刚度的变化对结构顶点位移的影响较小(不同结构的变形特征见图12)。

由前文的分析可知:约束上部结构在首层的转动能有效减小结构自振周期、限制结构的顶点位移;约束上部结构在首层的侧移效果不明显。地下室的刚度可分为两部分,一部分是塔楼地下部分抗侧力构件抗侧刚度 K_r ,一部分是地下室外墙刚度 K_w ;塔楼地下部分抗侧力构件刚度 K_r 决定转动刚度 k_θ 的大小,地下室外墙刚度 K_w 决定

侧移刚度 k_u 的大小；对于以弯曲变形为主的剪力墙结构，结构顶点位移对首层的转角敏感，若直接将塔楼地下部分抗侧力构件刚度 K_r 与地下室外墙刚度 K_w 相加作为地下一层的刚度进行刚度比计算，则会出现与模型JLQ-M0计算结果类似的情况，即模型满足规范中对首层嵌固的所有要求，但采用整体模型与分离模型计算出来的周期、位移差别很大。由于塔楼地下部分抗侧力构件刚度 K_r 与地下室外墙刚度 K_w 对约束上部结构的贡献有差异，将两者直接相加作为判断首层嵌固的条件是不合理的。当结构以弯曲变形为主时，建议采用塔楼地下一层与首层的剪切刚度比限值作为首层嵌固要求，且该比值不应小于2，即在计算地下一层刚度比时，只考虑塔楼自身的刚度，不考虑外扩地下室的刚度。

4 结论

本文将地下室对上部结构的约束作用简化为具有转动刚度的转动弹簧与具有侧移刚度的侧移弹簧的叠加，通过推导不同类型约束作用下，无地下室分离模型与带地下室整体模型的顶点位移差值百分比，并采用有限元分析软件SAP2000对一系列框架算例与剪力墙算例进行数值模拟分析，得出以下结论：

(1) 约束上部结构在首层的转动能有效减小结构自振周期、限制结构的顶点位移；约束上部结构在首层的侧移对减小结构自振周期、控制结构顶点位移的效果不明显；因此，为了使带地下室建筑结构要满足首层嵌固要求，应首先采取措施增加地下室对上部结构的转动约束，提高转动刚度 k_θ ，使得带地下室的整体模型与无地下室的分离模型的自振周期与顶点位移能近似相等。

(2) 由于增大塔楼地下室部分抗侧力构件刚度可增加地下室对上部结构的转动约束，有效减小结构自振周期、控制结构顶点位移，而增大地下室顶板刚度、地下室外墙刚度及回填土刚度等措施主要增加地下室对上部结构的侧移约束，对上部结构自振周期、顶点位移影响较小，因此在进行首层嵌固设计时，应该首先考虑增加塔楼地下室部分抗侧力构件的刚度，但应保证地下室顶板、地下室外墙及回填土具有一定的刚度。

(3) 当结构以弯曲变形为主时，建议采用塔楼地下一层与首层的剪切刚度比限值作为首层嵌

固要求，且此刚度比值不应小于2。

参考文献

- [1] 詹滨. 地下室顶板刚性及其对高层建筑结构性能的影响研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2007.
- [2] 张朝云. 带地下室高层建筑结构嵌固端的选择及相关问题研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2008.
- [3] 程志辉, 张俊胜. 带地下室高层结构的动力计算模型[J]. 华南理工大学学报(自然科学版). 2005, 33(6): 89-93.
- [4] 杨晓峰, 李亮, 瞿海雁. 带地下室高层结构侧移及内力计算方法的理论研究[J]. 建筑钢结构进展. 2010, 12(3): 32-36.

北京某垃圾卫生填埋场渗滤液处理站提标改造工程

■ 李珂 陆新生 (给排水)

摘要: 本文系统介绍了北京某垃圾卫生填埋场渗滤液处理站提标改造的技术路线及设计,通过强化深度处理及对出水采用次氯酸钠化学氧化的技术措施,实现了渗滤液处理出水标准满足北京地标DB11/307-2013“表1”A排放限值的要求,同时对原有系统进行升温及保温改造,满足系统冬季稳定运行,为填埋场渗滤液处理提标改造技术路线选择提供工程设计参考。

关键词: 渗滤液; 填埋场; 化学氧化; 次氯酸钠

1 前言

北京现有生活垃圾卫生填埋场共有16座,其渗滤液处理主要执行2008年4月发布的《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889-2008)“表2”指标要求^[1]。但是自2014年1月起,北京市实行《水污染物综合排放标准》DB11/307-2013,要求生活垃圾填埋场的污水排入公共污水处理系统执行GB16889-2008“表2”的规定,直接排放污水至地表水体的单位排放执行DB11/307-2013“表1”的规定,排入北京市II类、III类水体及其汇水范围的污水执行A排放限值^[2]。对于没有条件纳管的垃圾填埋场则需要进行提标改造以满足北京新排放标准要求。

现以北京某垃圾卫生填埋场渗滤液处理站提标改造工程为例,介绍在提标改造中的技术路线及实际工程设计,以期为渗滤液处理提标改造提供工程设计参考。

2 工程概况

北京某垃圾卫生填埋场位于北京西北部山区,该场址为荒地中的冲沟,三面环山,周围500m以内无村庄及商店。卫生填埋场服务区内生活垃圾日产生量平均值88.7t,处理场库容64万m³,预计使用寿命15.8年。

2.1 原有渗滤液处理工程基本情况

(1) 设计规模为:80m³/d。

(2) 系统设计进出水水质:原渗滤液经处理达到《生活垃圾填埋场污染控制标准》(GB 16889-2008)中“表2”排放标准后,排入站区北侧的截洪沟。

表1 设计进、出水水质

项目	COD _{Cr} (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	TN (mg/L)	SS (mg/L)	pH
进水水质	≤20000	≤10000	≤1000	≤1500	≤1000	6~9
出水水质	100	30	25	40	30	6~9

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

2.2 处理工艺

原有渗滤液处理工艺为“预处理+UASB+一级A/O+二级A/O+外置超滤+反渗透”。

集水井内的渗滤液首先被提升进入调节池，经均质均量后由泵提升并经过滤器过滤后进入UASB厌氧池，通过厌氧反应器降解大部分有机物，出水进入一级A/O池及二级A/O，通过微生物的作用去除水中的有机物，同时反硝化、硝化过程去除垃圾渗滤液中的氨氮和总氮，生化处理后接外置式超滤膜+反渗透。

2.3 原渗滤液处理工程构筑物一览

2.4 污泥处理和处置

渗滤液处理过程产生的剩余污泥进入储泥池，并经过板框压滤机脱水处理，滤液返回一级A/O系统，泥饼送至填埋区填埋。

2.5 浓缩液的处置

反渗透（RO）产生的浓缩液由泵车运往填埋区回灌。

2.6 运行情况

原有渗滤液处理系统冬季渗滤液产生量较少

且温度较低，冬季渗滤液处理系统不运行或每日间歇小水量运行。

3 工程问题分析

3.1 排放标准要求提高

自2014年1月起，北京市实行《水污染物综合排放标准》DB11/307-2013，本渗滤液处理站需要提高排放指标，达到“表1”A排放限值，与《生活垃圾填埋场污染控制标准》（GB 16889-2008）“表2”排放标准标准对比如下：

根据排放标准对比分析，可知新标准对氨氮和总氮的排放要求格外严格，现有工艺为“预处理+UASB+一级A/O+二级A/O+外置超滤+RO（反渗透）”难以满足DB11/307-2013“表1”A排放限值。对比排放指标可知，原有系统主要是氨氮及总氮超标，因此需要从整体工艺单元上强化氨氮及总氮的去除。

3.2 冬季低温影响系统正常运行

由于目前垃圾填埋场渗滤液处理站内的原有厌氧系统没有设置加热保温实施、地面以上管道的保温老化严重以及MBR的生化部分敞口露天，渗滤液处理系统在冬季运行时水温过低，生化系统运行效率低、超滤和反渗透系统产水率低，原有系统在冬季期间12月~4月不运行，这就造成填埋场内积存了大量的渗滤液无法处理。现针对现状问题，要保证渗滤液处理系统在冬季的稳定运行，需要对渗滤液处理系统进行相应加热和保温的改造。

4 提标改造技术路线及设计参数

4.1 强化深度处理

原有生化系统为两

表2 主要建、构筑物一览表

序号	名称	规格（长×宽×高）	材料	单位	数量	备注
1	集渗井	4.00m×4.00m×13.42m	钢砼	座	1	地下
2	调节池	容积2000m ³ ，池深5m	防渗土池	座	1	地下
3	中间水池	5.00m×1.50m×3.00m	钢砼	座	1	地下
4	厌氧池	5.00m×5.00m×10.00m	钢砼	座	2	半地下
5	一级A/O池	13.80m×10.40m×5.00m	钢砼	座	1	半地下
6	浓缩液池	5.00m×3.10m×3.30m	钢砼	座	1	地下
7	沉淀池	5.40m×5.40m×4.70m	钢砼	座	1	半地下
8	二级A池	4.00m×2.50m×5.00m	钢砼	座	1	半地下
9	二级O池	2.50m×2.20m×5.00m	钢砼	座	1	半地下
10	集泥池	3.00m×1.40m×3.10m	钢砼	座	1	地下
11	滤液池	3.00m×1.40m×3.10m	钢砼	座	1	地下
12	储泥池	3.00m×3.00m×5.80m	钢砼	座	1	地下
13	膜处理车间	15.60m×8.10m×4.50m	框架	座	1	地上

表3 北京地标与国标排放标准对比

序号	污染物或项目名称	DB11/307-2013 “表1” A排放标准	GB 16889-2008 “表2” 排放标准	原有系统 出水水质
1	pH值/无量纲	6.5~8.5	—	6.5~7.5
2	水温/℃	35	—	20~30
3	色度	10	40	—
4	悬浮物（SS）	5	30	≤5
5	五日生化需氧量（BOD ₅ ）	4	30	≤5
6	化学需氧量（COD _{Cr} ）	20	100	≤15
7	总有机碳（TOC）	8	—	—
8	氨氮	1.0	25	1~2
9	总氮	10	40	8~15
10	总磷	0.2	3	—

级A/O, 从生化角度提升氨氮及COD的去除潜力有限, 故本次提标改造着重在强化深度处理方面。

原有反渗透系统的处理能力为80t/d, 系统回收率仅为50%, 设备老化, 出水的COD、氨氮和总氮不能达到新的《水污染物综合排放标准》DB11/307-2013的A排放限值, 为保证系统的达标排放, 这部分是本工程改造的重点。

针对现有RO设备老化问题, 更换RO设备, 并采用了抗污性能更好的海水淡化反渗透膜。RO装置是本系统中最主要的脱盐装置, RO系统利用反渗透膜的特性去除渗滤液中绝大部分可溶性盐类, 腐殖酸, 难降解有机物等。

本工程采用的膜组件为DOW公司的膜组件, 系统总的回收率为70%, 反渗透膜采用聚酰胺膜, 一级反渗透采用耐高压的海水淡化膜, 二级反渗透采用抗污染复合膜组件, 一级反渗透膜面积为32m², 二级膜面积为34m², 一级反渗透的操作压力可达到80bar, 二级反渗透为40bar, 通常情况下一级反渗透的使用寿命为1年, 二级反渗透为2年。这种膜具有较高的脱盐率、较强的抗污染性以及低压运行条件下高通量的等特点。一级RO系统处理单元8寸, 8040RO, 高压抗污染膜10支DOW反渗透膜组件。二级RO系统处理单元8寸, 8040RO, 高压抗污染膜5支DOW反渗透膜组件。



图1 原有RO系统



图2 提标改造后RO系统

4.2 出水稳定性的保证措施

由于本工程的出水指标要求非常严格, 经过提标改造后, COD、BOD和总氮等指标的达标保证率都很高, 特别时氨氮指标的达标要求是1mg/L, 而进水设计指标1000mg/L。由于渗滤液进水的浓度波动较大, 且生化系统受水温、气候、季节的影响较大, 因此在出现波动时, 出水氨氮就可能会出现波动, 无法保证出水在1mg/L以下。为保证整体系统的稳定达标排放, 在本工程考虑

在反渗透的后端增加化学氧化单元, 采用氧化方法处理保证氨氮指标出水合格。

目前常用的化学氧化处理工艺为FENTON、臭氧、次氯酸等, 由于本工程受场地限制, 综合各种化学氧化措施经济性、可靠性、安全性因素, 设计采用次氯酸钠氧化。

化学氧化工艺优点是工艺成熟、不受温度和污染物质参数变化的影响, 出水水质达标稳定, 能够保证长期和近期的水质达标, 运行管理简便, 可以随开随停, 缺点是投资费用比生化工艺高(一般高出30%)。

南昌市麦园垃圾填埋场渗滤液经生化处理氧化沟-A/O工艺出水, 氨氮质量浓度为350~450mg/L, 采用NaClO溶液(有效氯含量5%)投加, 随着NaClO投加量由50mL/L增加到90mL/L, 氨氮的去除率随之升高, 当投加量到90mL/L时, 氨氮的质量浓度则从390mg/L降低至10mg/L^[3]。本工程中根据实际RO出水中氨氮的浓度进行投加, NaClO溶液(有效氯含量5%)的投加量按10mL/L计(0~20mL/L可调)。

4.3 系统升温及保

4.3.1 系统升温

目前本渗滤液处理站冬季原水在调节池停留时间较长, 进入处理系统原水温度在2~3℃之间, 后续处理工艺在低温条件下处理效果比较差, 基本无法运行, 如要实现冬季稳定运行, 需要对原水进行提温处理。中温厌氧系统最佳处理温度30~35℃, 二级A/O系统最佳处理温度20~32℃, UF/RO膜系统最佳处理温度25~30℃。

对于原水提温, 通常使用电加热、蒸汽加热等方法, 由于目前场区内没有蒸汽来源, 因此设计采用管道式电加热, 加热功率180kW, 加热材质为钛材。加热点设置在厌氧池之前的管路。



图3 进水电加热系统

4.3.2 生化池池顶保温

冬季运行渗滤液处理站内所有敞口生化水池,均需增加顶部保温设施。通常水池的加盖保温,采用混凝土盖板、或遮阳棚两种形式,另种形式各有优缺点,混凝土盖板的投资成本高、检修不方便,优点是使用寿命长,遮阳棚保温的优点是投资低、检修方便,缺点是使用寿命低,但可以保证5年使用寿命。本工程池内设施较多,若采用混凝土盖板封闭,检修不便利且成本较高,综合比较采用增设阳光棚方式做池顶保温。

本工程遮阳棚龙骨采用热浸锌材料,充分考虑抗风和冰雹等自然因素,采用厚度10mm的PC板。为保证作业安全和通风,在顶部和两次侧加设防爆风机进行通风换气。



图4 原有一级A/O系统



图5 提标改造后一级A/O系统

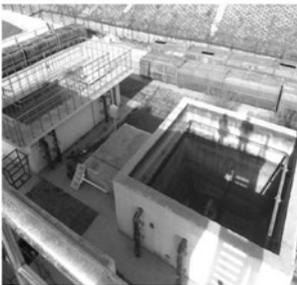


图6 原有二级A/O系统



图7 提标改造后二级A/O系统

4.3.3 管道保温方案

渗滤液处理站室外管道的保温层老化破损严重,重新设置保温处理,管道保温具体为:保温层采用岩棉管材、橡塑相结合使用;加固层采用铁丝绑扎,绑扎铁丝线径不小于14#,六角铁丝网包裹,丝网规格为20#;保护层采用双涂聚酯彩涂铝箔,压边、扣接铆固安装,管道采用0.35mm厚度。

5 处理效果

目前渗滤液处理系统已经运行一年,系统

运行较为稳定,达到的环保处理目标要求,平均进、出水水质如下:

表4 升级改造后进、出水水质

项目	COD _{cr} (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	TN (mg/L)	SS (mg/L)	pH
进水水质	≤5000	≤2500	≤500	≤550	≤500	6~9
出水水质	≤5	≤2	≤0.5	≤9	≤5	7.0~7.6

6 结论

本工程在强化渗滤液深度处理措施的基础上,创造性地采用了次氯酸钠出水处理措施应用于垃圾填埋场渗滤液处理出水水质保证措施,实现了北京市地标《水污染物综合排放标准》DB11/307-2013中“表1”A类限值的出水水质标准要求,出水氨氮可以稳定在1mg/L以下。另外,通过冬季升温及保温的改造措施实现了原有系统冬季稳定运行的要求,减少了渗埋场渗滤液的积存。本工程的稳定运行为填埋场渗滤液处理提标改造提供了新的改造思路及工艺技术路线选择。

参考文献

- [1] 刘晓宇,刘凯,刘志辉等.北京市垃圾处理设施渗滤液MBR工艺运行探讨[J].中国资源综合利用.2012(09).
- [2] 北京市环境保护局.水污染物综合排放标准:DB11/307-2013[S].2013.
- [3] 聂发辉,李文婷,刘玉清.混凝沉淀-次氯酸钠氧化处理垃圾渗滤液的实验研究[J].水处理技术.2015(10).

民用运输机场飞机灭火剂经济用量分析

■ 李大帅 陈洁如 王锋 [给排水]

摘要: 机场所需灭火剂数量的计算方法是基于由飞机长度和机身宽度定义的“关键区域”矩形框的概念而来, 机场使用的设备和技术应能够在1min内控制实际关键区域的火灾。通过与国际民航组织相关规范对比发现, 我国消防规范由于颁布时间较早而一定滞后性, 建议及时更新规范, 以更好的保障机场的消防安全。

关键词: 飞机消防救援; 关键区域; 灭火剂; 经济用量

1 前言

从1970年3月国际民航组织在加拿大蒙特利尔召开国际民航组织救援与消防专家组第一次会议(ICAORFFP I)到现在已经有50年, 在这50年中消防救援的理论在不断的发展完善。本文主要对民用运输机场客机的为飞机灭火的灭火剂的经济用量进行分析, 重点讨论了关键区域以及最小可用灭火剂数量的计算。

近几十年来, 随着航空业的不断发展, 消防救援的理论不断更新换代, 总体来讲笔者将其根据理论发展及对我国的影响分为1970年以前、1970年~2007年以及2007年~今这3个阶段。

在1970年之前, 对固定翼飞机服务的机场所提供的消防类别用灭火剂数量和车辆数量表示, 这种保护的理论是基于飞机载客量和燃料负荷。^[1]

1970年3月, 国际民航组织在加拿大蒙特利尔召开了国际民航组织救援与消防专家组第一次会议(ICAORFFP I), 1972年举行了第二次会议(ICAORFFP II)。国际民航组织两次会议奠定了现代消防救援的理论基础^{[2][3]}:

(1) 确定了机场所需灭火剂数量的计算方法是基于由飞机长度和机身宽度定义的“关键

区域”矩形框的概念而来, 给出了理论关键区域(AT)和实际关键区域(AP)之间的关系; 并根据关键区域的大小划分了飞机的消防等级。

(2) 根据对成员国家提供的事故数据的分析, 确定了机场使用的设备和技术应能够在1min内(TE)控制实际关键区域的火灾。

(3) 确定了不同灭火阶段所需的最低用水量和灭火剂的施用水平和喷射率。

2007年由我国民用航空总局发布的《民用航空运输机场飞行区消防设施》MH/T 7015-2007^[4](以下简称《消防设施》)正式实施, 并沿用至今, 成为我国飞行区消防设施、消防水量的主要的设计依据, 可以作为发展的第三阶段。此外, 国内设计一般还参考《国际民用航空公约 附件14-机场》(以下简称《附件14》)。

2 关键区域

救援与消防服务的主要目的是在机场或机场紧邻地区内发生航空器事故或事件的情况下拯救生命。提供救援与消防服务的目的是创造和维持生存条件, 为乘员提供逃生路线并向无直接援助便无法逃生的乘员展开救援^[5]。在飞机发生火灾后, 为了达到这个目的, 消防救援服务应该包括:

(1) 在火中开辟一条逃生的通路、降低火灾强

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

度让乘员逃生、引导并转移或运送飞机上的乘客；

(2) 完全扑灭火灾以消除危险，消防救援工作不能保证飞机最终不受损毁，而是要尽可能做到为乘员创造和维持生存条件，为此首先要保证机身在乘员逃生时的完整性。

理论关键区域是为确保机身临时完整性和为乘客提供逃生空间而必须控制火势的飞机附近的理论区域。理论关键区域是一个矩形，一边是航空器的总长度，另一边是随机身长度和宽度变化的长度。下表列举了各尺寸的飞机的理论关键区域的计算方法^[5]：

表1 理论关键区域的计算方法

飞机总长度	理论关键区域面积AT
$L < 12\text{m}$	$Lx (12\text{m} + W)$
$12\text{m} \leq L < 18\text{m}$	$Lx (14\text{m} + W)$
$18\text{m} \leq L < 24\text{m}$	$Lx (17\text{m} + W)$
$L \geq 24\text{m}$	$Lx (30\text{m} + W)$

实际上很少情况下整个理论关键区域实际上遭受火情，根据实际航空器事故统计分析的结果，理论关键区域的大约三分之二被认定为实际关键区域 A_p ， $A_p = 0.667A_T$ ^[5]。

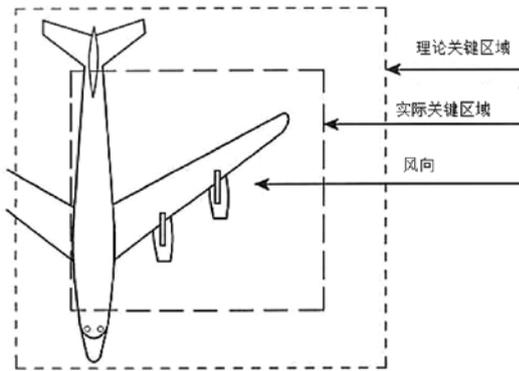


图 理论关键区域与实际关键区域示意图

有了关键区域的概念，可以在油池点火并将飞机蒙皮暴露在火灾的热辐射下，根据飞机蒙皮熔化时间来估计需要施用特定量的灭火剂的时间，这个时间最终被确定为1min。通过确定关键区域的大小、施用泡沫剂的时间以及单个泡沫剂的预期性能，可以计算出不同机身尺寸的具体的水量。

取得实际关键区域内1min控制时间所需的灭火剂数量根据选用的灭火剂不同而不同，

施用水平A的泡沫表示最低应用比率为 $8.2\text{L}/(\text{min} \times \text{m}^2)$ 的泡沫，例如蛋白质泡沫和氟蛋白泡沫。施用水平B的泡沫表示最低应用比率为 $5.5\text{L}/(\text{min} \times \text{m}^2)$ 的泡沫，例如水成膜泡沫(AFFF)^[5]。在开发出更高效的灭火技术之前。控制实际关键区域火情所需的最小时间是1min，目前《消防设施》内规定的最小可用灭火剂量是通过实验得出的1min内控制关键区域火灾初始烈度降低90%所需的各种灭火剂的喷射率。

机场消防保障等级的划分也与关键区域有关，划分机场消防保障等级的方式同样是根据机身的全长和最大宽度而来。

表2 救援与消防的机场等级^[6]

消防保障等级	机身全长 (m)	机身最大宽度 (m)
1	0~9 (不含)	2
2	9~12 (不含)	2
3	12~18 (不含)	3
4	18~24 (不含)	4
5	24~28 (不含)	4
6	28~39 (不含)	5
7	39~49 (不含)	5
8	49~61 (不含)	7
9	61~76 (不含)	7
10	76~90 (不含)	8

当正常使用该机场的最高消防等级的飞机的起降架次在最繁忙的连续3个月内少于700架次时，所提供的保障水平相对于所确定的等级最多不得低一级。

如果根据最长的飞机全长选定了机场消防等级之后，该飞机的机身宽度大于上表该等级的最大宽度，则这种飞机的消防等级实际上必须提高一级。

3 灭火剂的经济用量计算

国际民航组织两次专家组会议(ICAORFFP I和ICAORFFP II)确定了关键区域内扑灭飞机火灾的不同阶段的时间定义^{[2][3]}：

(1) 控制时间：从第一辆消防车到达到火灾初始烈度降低90%所需的时间，控制时间内，控制实际关键区域火情所需的水量为 Q_1 ；

(2) 灭火时间:从第一辆消防车到达火灾完全扑灭所需的时间,火势被控制后,维持控制和/或熄灭余火等所需水量为 Q_2 。

当某一架飞机的关键区域面积确定后,可以通过实验确定在1min内控制该区域的火灾所需要的灭火剂的喷射率。目前机场常用的是浓度为6%的水成膜泡沫(AFFF)作为施用水平B的泡沫。

控制实际关键区域火情所需的水量 Q_1 可以根据下列公式计算^[5]:

$$Q_1 = A_p \times R \times T$$

其中:

R——应用比率, L/(min × m²);

T——控制时间, min。

以波音B737-800为例。选取施用水平B的泡沫,其应用比率为5.5L/(min × m²),波音737-800机身长度39.5m,机身宽3.76m,实际关键区域面积:

$$A_p = 0.667 \times 39.5 \times (30 + 3.76) = 889.46 \text{ m}^2;$$

控制实际关键区域火情所需的水量:

$$Q_1 = 889.46 \times 5.5 \times 1 = 4892.03 \text{ L}。$$

Q_2 为火势被控制后,维持控制和熄灭余火等所需水量。由于涉及到许多因素,维持控制和实现完全灭火所需的药剂量 Q_2 难以量化。ICAO RFFP II报告指出“鉴于每次飞机事故涉及的众多变量,如飞机的尺寸、无法量化灭火时间、火灾面积和三维火灾等,没有客观的方法来计算这一数量,并按照“占 Q_1 的百分比”方式计算 Q_2 的数量^[3]。值得一提的是,时至今日这个百分比与ICAO RFFP II报告中的比例已经发生了变化。在《机场服务手册——第一部分救援和消防》2015年版中可以查询到最新的比例。

根据上述比例计算B737-800火势被控制后,维持控制和/或熄灭余火等所需水量为:

$$Q_2 = Q_1 \times 129\% = 4892.03 \times 129\% = 6130.72 \text{ L}。$$

对于B737-800,一次火灾所需的总水量为 Q ,则:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 4892.03 + 6130.72 = 11022.75 \text{ L}。$$

《附件14》给出了各机场类别的最小可用灭火剂数量,这个灭火剂数量是根据该等级运营的飞机的平均尺寸计算出来的。

从2015年1月1日起,如果机场计划接受的飞机大于在该类机场运行的飞机平均尺寸,应该重新计算水量,并相应增加用水量及泡沫溶液的喷射率^[6]。

如果某机场运行的最大飞机为B737-800,最

表3 不同时期 $Q_2 = Q_1$ 的百分比

机场消防类别	$Q_2 = Q_1$ 的百分比	
	RFFP II ^[3]	机场勤务手册 ^[5]
1	3	0
2	22	27
3	37	30
4	66	58
5	100	75
6	129	100
7	152	129
8	170	152
9	—	170
10	—	190

表4 最低的可用灭火剂数量^[6]

机场消防等级	达到施用水平B的泡沫		辅助剂	
	水(L)	泡沫混合液喷射率(L/min)	化学干粉(kg)	喷射率(kg/秒)
1	230	230	45	2.25
2	670	550	90	2.25
3	1200	900	135	2.25
4	2400	1800	135	2.25
5	5400	3000	180	2.25
6	7900	4000	225	2.25
7	12100	5300	225	2.25
8	18200	7200	450	4.5
9	24300	9000	450	4.5
10	32300	11200	450	4.5

繁忙的连续3个月内起降架次不少于700次,确定该机场的消防等级为7级,对比机场消防等级为7级的机场所需的总水量为12100L, B737-800所需的总水量 $11022.75 < 12100 \text{ L}$,此时该机场应按照最小12100L设计消防水量,泡沫混合液的喷射率也应该取5300L/min。

如果某机场运行的最大飞机为B737-800,最繁忙的连续3个月内起降架次少于700次,确定该机场的消防等级为6级。此时机场最小可用灭火剂量要按照机场消防等级6级的最大尺寸飞机进行重新计算。

机场消防等级6级的机场最大机身长度为39m,最大机身宽度为5m,实际关键区域面积:

$$A_p = 0.667 \times 39 \times (30 + 5) = 910.46 \text{ m}^2;$$

控制实际关键区域火情所需的水量 Q_1 :

$$Q_1 = 910.46 \times 5.5 \times 1 = 5007.53 \text{ L};$$

维持控制和/或熄灭余火等所需水量 Q_2 :

$$Q_2=Q_1 \times 129\%=5007.53 \times 129\%=6459.71\text{L};$$

一次火灾所需的总水量 Q ,则:

$$Q=Q_1+Q_2=5007.53+6459.71=11467.24\text{L}, \text{取} 11500\text{L}.$$

泡沫混合液的喷射率为 R_1 , 则:

$$R_1=A_p \times R=910.46 \times 5.5=5007.53\text{L}/\text{min}, \text{取} 5010\text{L}/\text{min}.$$

该机场消防保障等级虽然还是6级, 但最少的消防水量不应小于11500L, 泡沫混合液的喷射率为不应小于5010L/min。这个计算结果要比B737-800飞机本身的计算结果要大, 同时也大于6级机场的最小可用灭火剂数量, 但小于7级机场的最小灭火剂数量。

目前《消防设施》最小可用灭火剂数量没有要求重新计算。考虑到《附件14》为2018年实施, 笔者还是建议在设计机场消防水量及泡沫喷射率时重新计算水量和泡沫喷射率。此外建议尽快参照《附件14》修改《消防设施》, 以和国际通行规范保持一致。

4 影响灭火剂数量计算的其他因素

美国的消防规范Standard for Aircraft Rescue and Fire-Fighting Services at Airports (NFPA 403) 规定了消防水量的计算方法, 但与国际民航组织的有很多不同。虽然对于机场消防等级的划分尺寸是一样的, 但美国规范同时采用了英尺(ft.)和米(m)作为单位。在计算某一个机场的最小可用灭火剂数量时, 其对最大机身长度减去了0.2英尺, 最大机身宽度减去0.1英尺之后计算的 Q_1 。

此外NFPA 403还增加了用于机身内灭火的

表5 不同版本的NFPA403 Q_3 水量对比

机场消防等级	1998版NFPA中 Q_3 计算 ^[7]	2018版NFPA中 Q_3 计算 ^[8]
1	0	0
2	0	0
3	60gpm × 5min=300gal	60gpm × 5 min=300gal
4	60gpm × 10min=600gal	60gpm × 10 min=600gal
5	125gpm × 10min=1250gal	125gpm × 10 min=1250gal
6	125gpm × 10min=1250gal	125gpm × 10 min=1250gal
7	125gpm × 10min=1250gal	125gpm × 10 min=1250gal
8	250gpm × 10min=2500gal	250gpm × 10 min=2500gal
9	250gpm × 10min=2500gal	250gpm × 10 min=2500gal
10	250gpm × 10min=2500gal	gpm × 10 min=5000gal

水量 Q_3 , Q_3 的流量是基于227L/min至473L/min (60~125gpm)的标准消防软管, 通过判断每个消防等级的机场可能需要几根某种规格的软管计算消防水量。这个水量是在不断变化的。

5 总结

在本文中简单的回顾了机场消防救援理论的发展史, 介绍了用于飞机灭火救援的灭火剂经济用量的计算方法。此外还对关键区域的概念做了梳理, 提出了尽快修改《消防设施》的建议。

通过与国际民航组织相关规范对比发现, 我国的消防规范由于颁布时间较早而一定滞后性, 建议及时更新规范, 以更好的保障机场的消防安全。

参考文献

- [1] 国际民用航空组织(民航组织), 《机场——附件14:修正案8和9》, 第一卷, 第四版, 国际民用航空组织, 加拿大, 2004年7月;
- [2] Hewes, B.V., "Report of the First Meeting of the ICAO Rescue and Firefighting Panel (ICAO RFFP I)," Montreal, Canada, March 10-20, 1970;
- [3] International Civil Aviation Organization (ICAO), "Rescue and Firefighting Panel(ICAO RFFP II), Report of the Second Meeting," Document 9036 RFFP II, Montreal, June 5-16, 1972;
- [4] 《民用航空运输机场飞行区消防设施》MH/T 7015-2007;
- [5] 国际民用航空组织(ICAO), 《机场服务手册——第一部分救援和消防》, 文件9137 AN/898, 第四版, 国际民用航空组织, 2015年;
- [6] 国际民用航空组织(ICAO), 《国际民用航空公约 附件14—机场》, 第1卷, 第八版, 国际民用航空组织, 2018年7月;
- [7] National Fire Protection Association, "Standard for Aircraft Rescue and Fire-Fighting Services at Airports," NFPA 403, 1998;
- [8] National Fire Protection Association, "Standard for Aircraft Rescue and Fire-Fighting Services at Airports," NFPA 403, 2008;

航煤储罐双盘浮顶强度及稳定性计算

■ 周恒 朱超 [动力]

摘要: 近年来,国家逐渐加强了大气污染治理力度,出台了新的有机物无组织排放标准,立式航煤储罐需普遍采用内浮顶以控制油气挥发,这对储罐设计提出了更高的要求。本文以双盘式内浮顶为例。介绍了内浮顶设计计算方法,包括了对浮顶顶板、底板、隔板、外边缘板强度和稳定性的评定。希望通过本次研究对今后内浮顶储罐设计提供帮助。

关键词: 航煤储罐;双盘浮顶;稳定性

随着挥发性有机物(VOCs)治理日益得到重视,国家和企业出台了挥发性有机物排放标准与技术要求,容积大于150m³的航空煤油储罐应符合以下4条规定之一,包括采用浮顶罐、固定顶罐采用废气收集处理装置、采用气相平衡系统、采用其他等效措施(如氮封)^[1]。对于机场油库,采用内浮顶罐储存航煤以控制VOCs排放相对简便经济。由于航空煤油属于轻质油品且多数机场油库航煤储罐相对较小(直径小于25m),使用双盘式内浮顶较为合适。本文就双盘浮顶强度及稳定性进行分析。

1 双盘浮顶的结构

双盘浮顶主要由浮顶底板、浮顶顶板、边缘板、环向隔板、径向隔板以及加强框架等组成。一般浮顶底板为水平的,浮顶顶板具有一定坡度,对于直径比较小的油罐,顶板坡度是向心的,浮顶中央最低,即“V”字形浮顶。顶板与底板间的边缘环板沿顶底板的边缘四周封闭,形成一个大的圆形船舱,使之漂浮在液面上,环向隔板将浮顶周向分隔船舱,使每一个圆环成为一个独立的船舱,并增加浮盘的刚度;径向隔板焊于

顶板、底板和环向隔板之间,使环向船舱分隔为若干个互不渗漏的小舱室,当底板局部泄漏时,不会因窜舱致使浮顶沉没。为了加强浮顶的承载能力和整体稳定性,在每个封闭隔舱内设有加强框架^[2]。

浮顶上设有浮顶立柱、浮顶密封系统、自动通气阀、量油导向装置、人孔、静电导出线、泡沫挡板等设施。对于航空煤油储罐,民航规范要求安装浮动出油装置,依据浮动吸油臂结构,其吸油口与浮顶底板采用导轨连接或柔性连接。合理配置浮动出油装置浮力,减少其对浮盘的作用力有助于保证内浮顶的稳定。

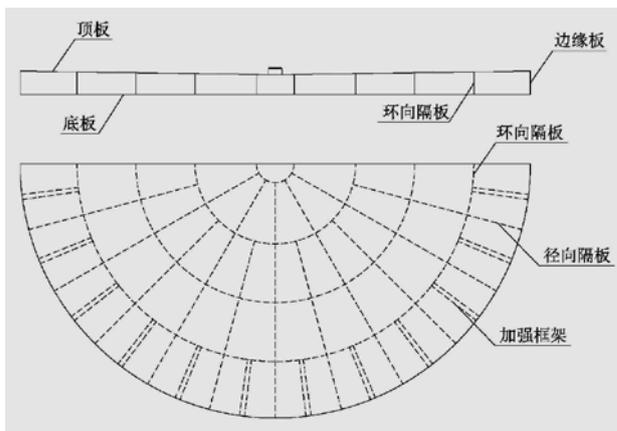


图1 双盘式浮顶示意图

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

2 双盘浮顶的计算

2.1 浮顶顶板、浮顶底板计算

双盘浮顶的顶板可视为周边固定在刚性肋上的薄板，对于内浮顶罐，顶板只承受钢板自重的均布载荷。当单块顶板长宽比小于2时，不能按梁的计算公式而应采用薄板的计算公式。

由矩形薄板计算方法，在跨度中的弯矩 M_x 和 M_y 及在支座上的弯矩 M'_x 和 M'_y 可由下式求得，进而可得到最大弯矩 M_{max} 。

$$\text{板中弯矩: } M_x = B_x qa^2, M_y = B_y qa^2;$$

$$\text{支座弯矩: } M'_x = \lambda_x qa^2, M'_y = \lambda_y qa^2。$$

式中： q —板上单位面积的计算荷载， N/m^2 ； a —矩形板的短边长， m ； b —矩形板的长边长， m ； B_x 、 B_y 、 λ_x 、 λ_y —弯矩系数，取决于 a/b ，可查表1确定。

表1 受均匀载荷的固定边矩形板的弯矩系数

a/b	B_x^0	B_y^0	λ_x	λ_y
0.50	0.0400	0.0038	-0.0829	-0.0570
0.55	0.0385	0.0056	-0.0814	-0.0571
0.60	0.0367	0.0076	-0.0793	-0.0571
0.65	0.0345	0.0095	-0.0766	-0.0571
0.70	0.0321	0.0113	-0.0735	-0.0569
0.75	0.0296	0.0130	-0.0701	-0.0565
0.80	0.0271	0.0144	-0.0664	-0.0559
0.85	0.0246	0.0156	-0.0626	-0.0551
0.90	0.0221	0.0165	-0.0588	-0.0541
0.95	0.0198	0.0172	-0.0550	-0.0528
1.00	0.0176	0.0176	-0.0513	-0.0513

表1中， B_x^0 、 B_y^0 为泊松比 $\mu = 0$ 时，当泊松比不为零时， B_x 、 B_y 需按下式修正：

$$B_x^\mu = B_x^0 + \mu B_y^0, B_y^\mu = B_y^0 + \mu B_x^0。$$

当双盘浮顶尺寸较大时，加强框架和径向隔板布置较密，此时单块顶板的长宽比大于2，长边内力明显大于短边内力，大部分载荷沿着短跨方向传递，具有明显的单向板受力特征，可以按两端固定的单位宽度梁计算，易得跨中弯矩 M_0 和支座弯矩 M_1 如下：

$$\text{板中弯矩: } M_0 = qL^2 / 24;$$

$$\text{支座弯矩: } M_1 = qL^2 / 12 = M_{max}。$$

式中， q 为板上单位面积的计算荷载， L 取0.9倍单块顶板最大弧长。

浮顶顶板厚度可由下式计算：

$$\frac{M_{max}}{W} = \frac{6M_{max}}{t_1^2} \leq [\sigma], t_1 \geq \sqrt{\frac{6M_{max}}{[\sigma]}} \text{ 即。}$$

式中： W —单宽梁的截面模量， m^3 ； t_1 —浮顶顶板厚度， m ； $[\sigma]$ —许用应力， Pa 。

浮顶底板的厚度计算和顶板计算相同，但此时最大荷载不是由板自重产生，而是由浮顶引起的液压 P_1 加上浮顶卡住时可能引起的液压 P_2 减去钢板自重得出。最大荷载 P_{max} 为：

$$P_{max} = P_1 + P_2 - \rho_s gt_2 = h_{max} g \rho_{max} - \rho_s gt_2。$$

式中， ρ_s —钢板密度， kg/m^3 ； ρ_{max} —储液最大密度， kg/m^3 ； h_{max} —由储液到浮顶底板的最大深度， m ； t_2 —浮顶底板厚度， m 。

浮顶顶板和底板所承受均布载荷不会导致失稳失效，可不作失稳评定。

2.2 浮顶隔板的计算

隔板将浮顶分隔成一个个密封的小舱室，可以防止底板破损时储液窜舱，同时隔板也是承受顶板、底板重的腹板梁，它与浮顶的顶板和底板接触，因此，计算隔板还需计算浮顶的顶板、底板40倍厚度范围内的截面，即隔板的计算截面是工字形的。

通过作用的荷载，利用材料力学方法可求出腹板梁中最大弯矩 M 和最大剪力 Q （计算时连接端可视为固定），则能通过下式对隔板进行强度校核：

$$\frac{M}{W} \leq [\sigma], \frac{QS}{Jt} \leq [\tau]。$$

式中： W —隔板计算截面的抗弯截面模量， m^3 ； S —中性轴的上（或下）截面对中性轴的静距， m^3 ； J —对中性轴的惯性矩， m^4 ； t —隔板的厚度， m 。

对于径向隔板，其力学模型可近似视为两端固定且承受均匀荷载的梁，其最大弯矩与最大剪力可按式计算：

$$\text{最大弯矩: } M_b = \frac{q_b(R_o - R_i)^2}{12};$$

$$\text{最大剪力: } Q_b = \frac{q_b(R_o - R_i)}{2}。$$

其中 q_b 为梁上线荷载， N/m ； R_o 为径向隔板所在船舱外半径， m ； R_i 为径向隔板所在船舱内半径， m 。

q_b 可按式计算:

$$q_b = \frac{q\pi R_o}{m}$$

式中 q —板上单位面积的计算荷载, N/m^2 ;
 m —径向隔板及加强框架总数。

除了满足强度条件外, 还应校核隔板的局部稳定性, 可参照《钢结构设计规范》(GB 50017-2017) 中6.3节关于“受弯构件局部稳定性”的计算方法进行设计计算^[3]。

2.3 浮顶外边缘环梁的计算

浮顶外边缘梁由外边缘板、顶板、底板构成。环梁的长度就是径向加强板之间的弧长。环梁的中间截面则是由薄壁组成的不封闭截面, 如下图所示。当环梁承受荷载时, 截面内不仅产生弯矩, 还会产生扭矩。

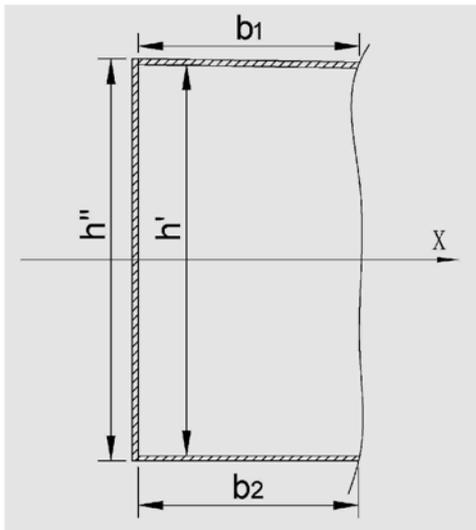


图2 环梁截面示意图

计算弯矩时, 应该考虑储罐出空后, 环梁支于径向加强板上。采用跨度为相邻径向加强板之夹角 2α 对应的弧长, 由荷载产生的弯矩在支座处最大, 其计算公式为:

$$M_A = -q_a R^2 \left(1 - \frac{\alpha}{\tan \alpha}\right)$$

式中, q_a —作用于单位环梁长度上的计算荷载, N/m ; R —浮顶半径, m ; α —相邻径向加强板夹角的一半, rad 。

在计算扭矩时, 考虑到环梁一般还布置有加强肋, 这个加强肋限制了环梁的侧弯, 故可把它

视为不动支座, 把梁长取为加强肋之间的弧长。扭矩在支座点最大, 其计算公式为:

$$M_B = \frac{q_a R^3}{h'} \times \frac{1}{1 + \rho^2} \left[1 + \frac{1}{\rho^2} - \frac{\alpha}{\tan \alpha} - \frac{\alpha}{\rho t h (\rho \alpha)}\right]$$

$$\text{式中 } \rho = R \sqrt{\frac{2GI_k}{EI_z h'^2}}$$

环梁上、下翼板的惯性矩 $I_z = \frac{1}{2} \left(\frac{b_1^3 t_1}{12} + \frac{b_2^3 t_2}{12}\right)$, m^4 ;

环梁的抗扭惯性矩 $I_k = \frac{1.1}{3} (h'' t^3 + b_1 t_1^3 + b_2 t_2^3)$, m^4 ;

h' —顶板、底板之间的距离, m ;

h'' —浮顶高度, m ;

G —剪切弹性模数, MPa ;

E —弹性模数, MPa ;

t —外边缘板厚度, m ;

b_1 —顶板的计算厚度, m , $b_1 = 20t_1$;

b_2 —底板的计算厚度, m , $b_2 = 20t_2$ 。

外边缘板中应力须小于许用应力:

$$\sigma = \frac{M_A}{W_x} + \frac{M_B}{W_y} \leq [\sigma]$$

式中 W_x 、 W_y 为环梁的截面系数。

3 结论

本文提供了双盘式浮顶主要结构的强度、稳定性计算方法, 应用较为方便, 有助于内浮顶航煤储罐建设与现有拱顶航煤储罐改造工程的设计。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家标准. GB 37822-2019 挥发性有机物无组织排放标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 2019.
- [2] 徐英 杨一凡 朱萍. 球罐和大型储罐(化工设备设计全书)[M]. 化学工业出版社, 2005.
- [3] 张新. 超大型储油罐双盘浮顶性能研究及设计建议[D]. 哈尔滨工业大学, 2008.

水痘减毒活疫苗原液生产车间 工艺设计分析

■ 张瑞超 张晓彤 [工艺]

摘要: 在满足GMP(2010年修订)和相关设计规范的前提下,结合具体设计案例和工程实践经验,针对水痘减毒活疫苗原液生产的工艺特性,从生产工艺流程、工艺布置和生物安全3个方面对水痘减毒活疫苗原液生产车间的工艺设计进行总结分析,以提供现代化、高标准的水痘减毒活疫苗原液生产车间的工艺设计方案。

关键词: 水痘减毒活疫苗;原液生产;工艺设计;GMP

疫苗是以病原微生物或其组成成分、代谢产物为起始材料,采用生物技术制备而成,用于预防、治疗人类相应疾病的生物制品^[1]。伴随着人类疾病谱的变化及生物制药技术的发展进步,疫苗在人类社会生活中发挥的作用将越来越大。2019年12月,《中华人民共和国疫苗管理法》正式落地实施,明确要求疫苗生产过程要符合核定的工艺和质量控制标准。为满足高标准的设计要求,降低生产过程中交叉污染的风险,提高药品的内在质量,生产企业对疫苗生产车间的设计提出了更高要求。

水痘是由水痘-带状疱疹病毒初次感染引起的急性传染病,主要发生在婴幼儿和学龄前儿童。临床上可通过对12月龄以上的健康儿童、青少年及成人、高危人群及其密切接触者进行接种水痘疫苗的主动免疫,从而达到预防其感染水痘病毒的目的。目前,在世界各地广泛使用的水痘疫苗均为减毒活疫苗,其生产用毒种均是1983年被世界卫生组织推荐的V-Oka疫苗株^[2]。

1 生产工艺流程分析

目前国内外的水痘疫苗生产一般都采用细胞工厂技术进行细胞培养和病毒培养。相比于传统的转瓶工艺技术,细胞工厂采用静止培养方式,培养表面经特殊处理,大大提高了细胞的吸附性,可以节约操作时间和培养区域空间;并且细胞工厂可实现细胞培养的自动化操作,从而大大地降低劳动强度和密集度,实现大规模的细胞培养^[3]。

水痘减毒活疫苗生产工艺流程大致分为原液制备和冻干制剂两个阶段。其中,原液制备阶段又主要分为细胞培养阶段(从细胞种子复苏、传代到细胞培养)和病毒培养阶段(从病毒接种、培养到原液收获)两个阶段。

水痘减毒活疫苗原液生产工艺流程:细胞种子一般冻存在液氮罐内,生产时先进行细胞种子复苏及传代培养,随后进行细胞工厂扩大培养,当培养液中细胞密度达到目标值后,即可转移至病毒操作区进行接毒。这些操作均为敞口操作,需在B+A单向流下完成。细胞接毒后继续培养,通过多次培养基和缓冲液的洗换,病毒滴度达到要求后即可进行病毒液的收集,最终原液进行超

作者简介:张瑞超,男,工程师,2014年毕业于天津大学制药工程专业,现就职于航空工业规划医药工程设计研究院。

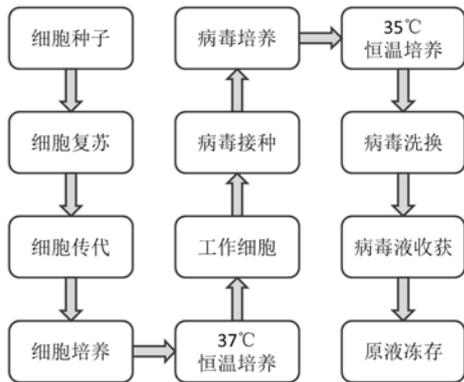


图1 水痘减毒活疫苗原液生产工艺流程图



图2 水痘减毒活疫苗原液生产车间工艺布置图

低温冷冻保存。原液制备阶段生产工艺流程图如图1所示。

2 工艺布置分析

《药品生产质量管理规范(2010年修订)》第四十六条明确指出:为降低污染和交叉污染的风险,厂房、生产设施和设备应当根据所生产药品的特性、工艺流程及相应洁净度级别要求合理设计、布局和使用^[4]。

结合水痘减毒活疫苗生产工艺流程和相关法

规或标准的要求,以及我院多年的工程设计经验,本文以某水痘原液生产车间为例,提出了一种水痘减毒活疫苗原液生产车间的工艺布置方案,并从工艺布局、人物流等方面进行探讨分析。

水痘减毒活疫苗原液生产车间工艺布置案例见图2。

2.1 工艺布局

按照生产工艺和使用功能,水痘减毒活疫苗原液生产车间的功能分区可划分为细胞操作区、病毒操作区、清洗区和配液区4个区域,其中病毒操作区为有毒区。本案例在工艺布局设计时合理组合上述几个区,做到有毒区与无毒区严格分开设置。每一工作区设置独立的人、物流出入口,并同其他区域严格分开,并且有毒区设置退更设施。

水痘疫苗为非最终灭菌产品,且其原液不可除菌过滤,涉及到敞口操作的生产环境必须为无菌环境。本案例中将生产操作中涉及产品敞口非密闭的操作均设置为B级背景环境的A级单向流下进行,而且培养完成的细胞悬液从细胞操作区通过传递柜直接进入病毒操作区,实现无菌区之间传递,避免频繁进出无菌区带来的污染风险。

恒温培养是细胞传代培养和病毒培养的必需要求。以往的设计中一般采用B级恒温房间,通过空调的送风来实现温度控制。本案例中

采用恒温培养设备代替恒温房间的设计,恒温培养设备开门设置在B级区,而设备本身可放置在低级别区域,这样可大大降低B级区的面积,降低能耗;恒温培养设备在保证恒温方面具有更精确的控制,而且恒温培养设备更容易通过验证,在未来需满足高标准的认证需求时具有很大的优势。

现代化的生产车间除了满足生产要求外,兼具参观性也是需要考虑的。本案例在生产车间外围设置CNC环形走廊,为车间洁净环境提供保障,同时也为参观提供便利条件。在生产工艺流程顺畅合理设置的前提下,将大部分核心操作间尽量贴环形走廊布置,使参观活动在不进入生产车间内部影响生产的情况下进行,也是透明化工厂设计的需要。

2.2 人物流流线

人物流流线的设计应尽量降低交叉污染的风险,在满足生产流程顺畅合理的前提下,考虑尽量将人、洁物、污物分开,有毒区和无毒区的人、物流各自有独立的净化通道。本案例中,各功能区均设置单独的人员净化通道,人员需经净化更衣程序进入各自生产区域。对于有毒区,更衣采用单向控制,即人员分通道进入和退出,避免人员进出引起交叉污染。各功能区待使用的器具经严格的清洗灭菌流程后进入洁净区内,再通过缓冲或传递窗传递至使用区域。无毒区污物通过缓冲退出至CNC走廊,有毒区污物需消杀后方可传出,需要循环使用的物品通过CNC走廊进入粗洗间,经过清洗、灭菌后回流至使用区域,废弃物则运送出车间。

3 生物安全分析

根据《药典》中常用生物制品生产用菌毒种危害程度分类,水痘减毒活疫苗使用的V-Oka疫苗株定义为4类,所以在工艺设计时应该按照生物安全1级(BSL1)要求进行设计。在水痘减毒活疫苗原液生产车间,病毒操作区涉及到病毒操作,定义为有毒区,需与其他功能区域严格分开设置,并且病毒操作区需考虑一定的防护措施,来满足生物安全要求。

(1) 病毒操作区的空调系统要独立设置,不可与无毒区空调共用。病毒操作区排风需要经过高效过滤器处理后高空排放。病毒操作区相对于其他相邻区域应该是负压,形成负压陷阱,防止

活毒逸出。

(2) 病毒操作区人员更衣采用单向控制,即人员分通道进入和退出,以避免人员退出时衣服上所带的微粒和微生物污染更衣区,或者生产操作时产生的有害物质通过更衣区外溢。病毒操作区污物需经高压灭菌柜消杀后方可传出,保证活毒不外逸。

(3) 工艺用纯水和注射水系统采用有毒区单独设置系统的方式,病毒操作区单独设置水罐和循环系统,可有效避免压力异常时对无毒区的污染。

(4) 设置生物活性废水处理间,将病毒操作区的排水管道接入生物活性废水处理间的灭活罐,活毒废水经高温灭菌处理后方可同其他废水排入厂区污水处理站进行后续处理^[5]。

4 结束语

综上所述,在进行水痘减毒活疫苗原液生产车间工艺设计时,需要从生产工艺流程、相关设计规范和标准以及生物安全控制等方面综合考虑,对有毒区和无毒区进行合理划分,合理设计人流物流流线。在满足生产流程和操作需求的要求下,合理布局工艺平面,将交叉污染的风险降至最低。随着生物制药技术的发展和设备自动化程度的提高,现代化、高标准的疫苗生产车间对工艺设计提出了更高的要求,需不断优化设计方案,在实践中加以检验并逐步提高。

参考文献

- [1] 中国药典委员会. 中华人民共和国药典(2015年版)[M].
- [2] 徐建军,王宪明等. 冻干水痘减毒活疫苗的生产工艺[J]. 中国生物制品学杂志, 2002, 15(5): 297-298.
- [3] 李红,杨勇等. 水痘疫苗原液培养技术与生产车间工艺布局设计要点探讨[J]. 机电信息, 2016, 11: 47-50, 59.
- [4] 中华人民共和国卫生部. 药品生产质量管理规范(2010年修订)[S].
- [5] 张伟. 减毒活疫苗原液生产厂房的工艺设计[J]. 机电信息, 2014, 17: 39-43.

PCR实验室工艺设计研究

■ 张萌 王云飞 张凯 [工艺]

摘要: PCR实验是分子生物研究和实验的常规检测方法,应用非常广泛,相应的PCR实验室设计需求也及其广泛。本文以PCR实验室工艺设计为切入点,着重介绍了PCR实验室工艺区划、设备需求以及对专业的设计条件。

关键词: PCR实验;工艺设计;专业条件

PCR(聚合酶链式反应)实验又称基因扩增实验,是一种用于放大扩增特定的DNA片段的分子生物学技术,其特点将微量的DNA大幅度增加。PCR实验是分子生物学研究和实验的常规检测方法,广泛应用于医院、实验室、药厂等行业,例如DNA指纹、亲子鉴定、个体识别以及法医物证,艾滋病、禽病疫、乙肝、癌基因的检测



图1 PCR实验室效果图

和诊断,动物、植物检疫,转基因作物与转基因微生物检测等领域。

1 PCR实验室工艺布局

PCR实验室根据其工艺流程主要分为试剂准备区、核酸提取区、扩增区和产物分析区4个单独的工作区域,其中试剂准备区、核酸提取区为扩增前区,扩增区、产物分析区为扩增后区。PCR实验室工艺设计核心是控制生物危害,防治病毒污染人员、环境;控制核酸污染试剂、样本、操作过程,防止影响检测结果。因此,实验室各区域只能从试剂准备区—核酸提取区—扩增区—扩增产物分析区,不得逆向流动;各实验区域要设置缓冲间。

根据PCR实验室设计经验,比较理想的PCR实验室布局如图2所示。设置一个专用的PCR走廊(非必须项,优先保证缓冲间的面积),试剂准备室、核酸提取室、扩增室和产物分析室规范排列在一起,各工作区设置缓冲间,缓冲间可用于更衣、换鞋等。工作流程按照试剂准备室、核酸提取室、扩增室至产物分析室单一流向进行,每个工作室的仪器设备、实验用品、工作服和鞋等

作者简介:张萌,女,工程师,2015年毕业于天津大学材料学专业,现就职于航空工业规划动力工程设计研究院。

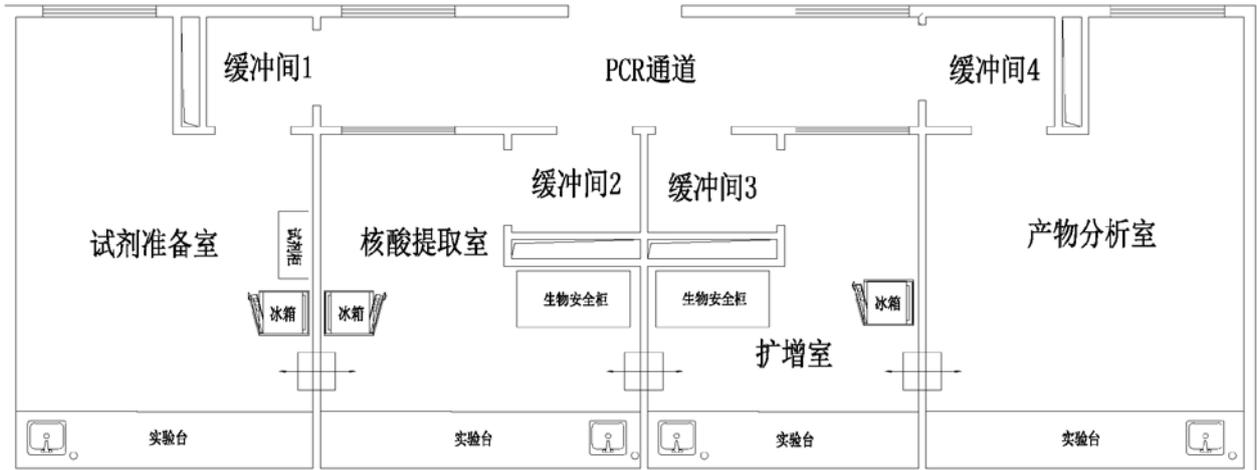


图2 PCR实验室典型工艺区划图

必须专用。

2 各工作室的用途和主要仪器设备

(1) 试剂准备室

试剂准备室主要承担PCR实验过程中试剂的配制、分装和保存，主要设备包括实验台、试剂柜、冰箱、天平、离心机、加样器、振荡器、紫外灯等。

(2) 核酸提取室

核酸提取室主要承担样品核酸的提取，样品的混样和测试样品的制备，主要设备包括实验台、冰箱、生物安全柜（或通风柜、洁净工作台）、离心机、加样器、振荡器、恒温水浴锅、紫外灯等。其中生物安全柜、通风柜和洁净工作台的选择与测试样品的特性有关，生物安全柜主要用于疾控中心、医学实验室等；通风柜主要用于植物DNA检测和检疫等；洁净工作台主要用于对洁净条件要求较高的PCR实验。

(3) 扩增室

扩增室主要承担核酸扩增反应的配制和模板加入，主要设备包括实验台、荧光定量PCR仪、荧光计、冰箱、生物安全柜（或通风柜、洁净工作台）、离心机、加样器、紫外灯等。

(4) 产物分析室

产物分析室主要承担核酸产物的测定，主要设备包括实验台、测序仪、冰箱、离心机、加样器、紫外灯等。



图3 实验台



图4 传递窗



图5 纯化仪



图6 测序仪



图7 荧光定量PCR仪

3 各专业设计要点

(1) 建筑、结构

实验室火灾危险性为丁类；

实验室墙体、顶棚结构牢固、气密性好；墙体内壁光洁、不吸附、以清扫；地面无渗漏、易清扫；

实验室地面载荷为400kg/m²；

各实验室之间设置机械联锁不锈钢传递窗，保证试剂和测试样品在传递过程中不收污染。

(2) 给排水

各工作室实验台设置化验盆和洗眼器，设置上水和下水点；

设置灭火装置。

(3) 暖通

实验室设置集中空调系统，温度为20℃~26℃、湿度为40%~60%、洁净度为8级洁净，其中洁净度为非必须项，可根据试剂使用情况和投资确定，需设置空调机房。

实验室严格控制送、排风的比例保证各工作

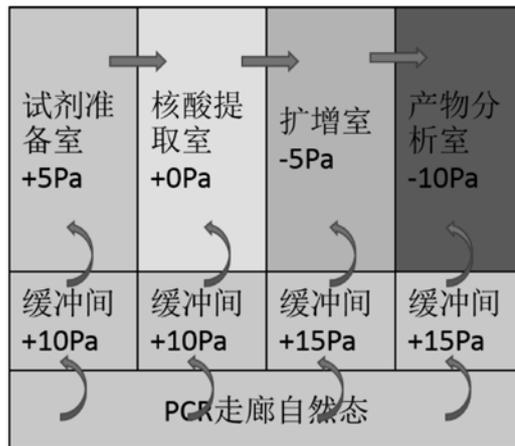


图8 PCR实验室通风设计示意图

室的压力，使工作室具备单向的气流，具体要求如图8所示。

(4) 电气

实验室照度为300Lx；

各工作室、传递窗设置紫外灯用于杀毒；

每个工作室预留10kW电量，共计40kW；

每个房间预留电话和网口。

4 结语

本文总结了PCR实验室典型的工艺布局、各工作室所需的工艺设备及用途、各专业在实验室设计过程的设计要求。PCR实验室工艺设计的关键在于各个工作室之间具备单向的实验工艺流、物流、人流与气流，形成单向流程的保护屏障，避免实验之间的相互干扰，防止核酸气溶胶对实验过程造成污染产生假阳性结果。

参考文献

- [1] 宋杨,赵梦,PCR实验室工程设计要点分析,化工与医药工程,2019,12;
- [2] 季文学,PCR实验室工程设计实例,洁净与空调技术,2017
- [3] 《洁净厂房设计规范》(GB50073-2013)
- [4] 《生物安全实验室建筑技术规范》(GB50346-2011)

西藏话剧团项目 太阳能供暖和空调设计

■ 康亚盟 孟凡兵 朱晓山 刘鑫 [暖通]

摘要: 结合拉萨当地能源结构及气候特点,本项目采用了太阳能集热器加储热的供热系统,并串联低温空气源热泵联合运行。根据当地夏季湿球温度低的特点,充分利用自然通风和蒸发制冷,实现清洁能源供冷供热。此外本文还论述了该建筑的空调通风系统。

关键词: 太阳能供暖;空气源热泵;蒸发制冷

0 引言

太阳能是清洁的可再生能源,拉萨太阳能资源极为丰富,该地区建筑利用太阳能供暖能够充分发挥其自然优势,减少化石能源的消耗及对环境污染。但是太阳能受天气影响存在能量不稳定性和间歇性,并且太阳辐射强度与建筑热负荷呈负相关,储热技术能够很好的改善太阳能的这些局限性,为更加高效的利用太阳能提供可能。

近年来,空气源热泵受到越来越多的关注,发展迅速。但其本身存在低温性能差与冬季易结霜的问题,若将太阳能与空气源热泵联合运行,让太阳能改善空气源热泵低温性能差,易结霜的问题,空气源热泵弥补太阳能不稳定性和间歇性,两者互补提高系统的稳定性和节能效果^[3]。

拉萨地区夏季凉爽,空气干湿球温差大,水蒸气极易蒸发将空气中的热量带走,提供了免费的自然冷源,有显著的节能优势^[4]。

1 工程概况

西藏话剧团项目建设地点位于拉萨市北京中路,总建筑面积约为5390m²,其中地上2层,建筑面积约为3740m²,地下1层,建筑面积约为

1650m²,建筑高度21m,主要使用功能包括:话剧排演舞台,300人观摩厅,化妆排练用房及配套的设设备机房、库房等。效果图如图1所示。



图1 话剧团项目效果图

2 室内设计参数

本项目采用的设计参数详见表1,负荷统计见表2。

3 冷热源的确定

3.1 热源

拉萨地区煤炭资源匮乏,燃煤和天然气均须从外省运输进藏,运输使用成本较高,西藏电力

作者简介:康亚盟,男,助理工程师,2017年毕业于北京工业大学暖通专业,现就职于中航建设建筑设计研究院。

表1 室内设计参数

房间名称	夏季		冬季		新风量 m ³ /h·p
	温度℃	相对湿度%	温度℃	相对湿度%	
一般办公室	26	≤60	20	≥30	40
观众厅	26	≤65	18	≥30	20
舞台	26	≤65	18	≥30	30
走廊	28	≤60	18	≥30	10
化妆间	26	≤60	20	≥40	40
排练厅	26	≤60	20	≥30	30
门厅	28	≤60	16	≥30	--
机房	30	--	5	--	--

表2 建筑负荷统计

负荷	空调负荷kW	采暖负荷kW	面积指标W/m ²
冬季	380	120	92.7
夏季	220	-	40.8

以水电为主, 电力资源相对充足。当地年日照时数3021.6h, 年日照百分率68%, 年累计太阳辐射量高达7~8GJ/m², 为中国太阳辐射能量最丰富的地区。当地冬季寒冷, 供暖系统应能确保室内管道不冻结, 并保证室内人员的舒适度。夏季室外空气干燥凉爽, 干湿球温差大, 可以利用室外空气通风降温 and 蒸发制冷。

(1) 太阳能集热器的分析与选择

拉萨地区冬季温度低, 需要考虑太阳能系统的防冻措施, 真空管集热器玻璃管遇到冰雹、风沙等恶劣天气易碎, 有冻结和过热风险; 平板集热器产生高温水效率较低, 槽式集热器则没有上述集热器的缺点, 它集热效率高, 集热温度高, 有良好的防冻防过热性能, 集热器即时追踪与清洗, 所以本项目使用槽式太阳能集热器。

(2) 蓄热工质的分析与选择

太阳能有间歇性和能量波动大的特点, 所以需要使用蓄热装置将集热器获得的能量及时储存起来, 使用时再将热量取出, 这样解决了太阳能不连续, 不稳定的局限性, 提高了能量利用效率。

相变材料蓄热容量大, 蓄热密度高, 蓄放热过程中系统热稳定性更优, 体积小, 但造价较高。水作为蓄热介质, 具有传热及流动性能好, 比热容大, 适合自然循环和强制循环的要求特点, 并且无毒、无污染, 造价低。本项目工程规模较小, 蓄热量有限, 所以蓄热装置体积不大, 综合考虑造价和空间等因素, 选择水作为蓄热工质。

(3) 空气源热泵的分析与选择

空气源热泵具有安装灵活, 运行连续的优点, 与太阳能系统联合运行可以取得良好的互补效果。拉萨属于寒冷地区, 冬季空气调节室外计算温度为-7.6℃, 本项目选用低温型空气源热泵, 保证在低温环境下供热能力, 此外本项目还考虑了高原地区由于空气质量流量变低而造成的空气源热泵的性能衰减。

(4) 热源形式

结合当地气候特点和能源结构以及市政条件, 本项目采用优先使用太阳能热量, 辅以低温空气源热泵的联合运行方式。二者串联运行, 在太阳能供热不满足建筑用热需求时启动低温空气源热泵, 低温空气源热泵在-15℃时能够提供可靠的热源, 同时, 其可在夏季为舞台、观众厅区域全空气、新风系统提供冷源。

受屋顶面积限制, 布置太阳能集热器的面积受限, 能提供总热负荷的30~40%。因此将太阳能供热系作为基础负荷供热系统, 保证平时的值班温度, 并且在非演出时段能够满足建筑功能需求, 实现节能运行。供热负荷需求增加时, 启动与太阳能系统串联的低温空气源热泵为建筑供暖, 空气源热泵可提供100%负荷的热源。太阳能系统集热量通过导热油运输到油—水板式换热器, 通过板换将热量传递给水, 储存在储热器中, 最后经分水器进入室内系统, 其中油—水板式换热器的设计换热量180kW, 储热器的容积为8m³。热水供水温度为55℃, 回水温度为45℃。

3.2 冷源

西藏夏季室外空调计算温度为24.1℃, 湿球温度为13.5℃。按照因地制宜、节能环保的原则, 采用以自然通风为主, 结合湿膜直接蒸发冷却降温的机械送风。舞台、观众厅区域等具有余热, 优先采用空调机组湿膜直接蒸发冷却降温, 冷量不足部分由风冷热泵机组供给。

直接蒸发制冷过程如图2所示, 室外新风W经湿膜等焓加湿, 处理到送风状态点O, 送入室内。由于当地夏季室外空气干燥, 所以等焓加湿后的空气直接送入室内并不会增加室内空气湿负荷, 当蒸发制冷不能满足室内舒适度要求时, 开启风冷热泵为建筑供冷。

因该地区夏季基本无需除湿, 为提高热泵机组效率, 冷水温度取15/20℃, 根据实际运行工况, 可调整提高水温, 以便风冷热泵机组的节能运行。

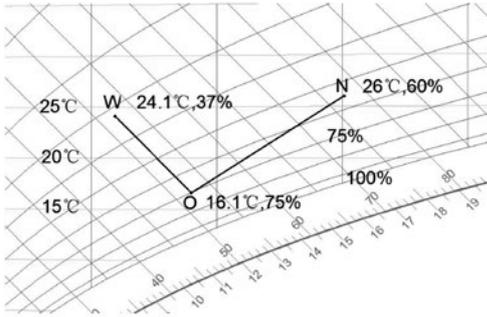


图2 焓湿图分析

分散的、有独立空调运行要求的房间如弱电机房、通信网络机房、消防控制室、功放室、可控硅室等采用分体空调或多联空调。

3.3 供暖系统

除观众厅舞台采用热风采暖外，所有人员经常停留和活动的区域，以及存在冬季危险的站房，均设置供暖系统，入口大厅采用地板辐射供暖，其他区域采用散热器供暖。采暖管道吊顶内敷设，采暖系统采用下供下回。供暖热水采用太阳能集热器和低温空气源热泵串联提供的热水，热风系统、散热器采暖系统及地板采暖系统水温均为 $55^{\circ}\text{C}/45^{\circ}\text{C}$ 。

供暖、空调水系统设计为一级泵闭式循环系统。冬季为供散热器、地暖、空调机组和新风机组供热水。夏季，关闭散热器和地暖的供水系统分支，在空调机组和新风需要供冷时供冷。系统各支路设置压差平衡阀，负荷侧的空调机组、新风机组冷（热）水出口设置电动调节阀。

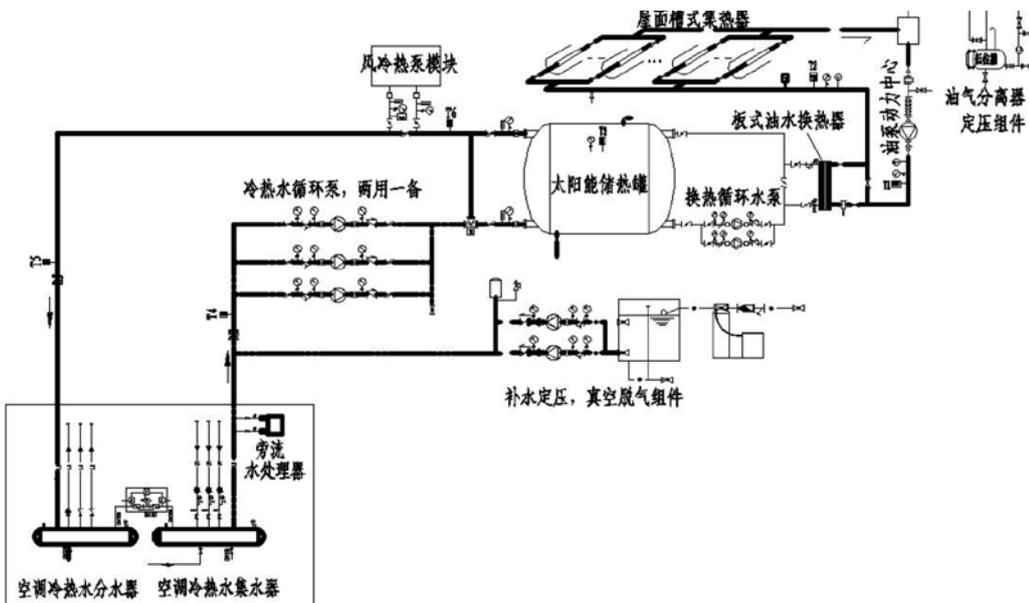


图3 冷热源系统原理图

4 空调、通风系统

4.1 空调系统

观众厅采用全空气系统，气流组织形式为下送上回，座椅送风，顶部回风。为提高观众厅人员舒适度，采用二次回风全空气系统，减小送风温差，避免再热。空调机组为双风机变频系统，可以实现从最小新风到全新风的运行调节，节省运行能耗。每个座椅的送风量为 $40\sim 50\text{m}^3/\text{h}$ ，送风温差 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$ ，即夏季送风温度不低于 20°C ，送风器出风速度不高于 $0.4\text{m}/\text{s}$ ，至人体脚踝处风速不高于 $0.25\text{m}/\text{s}$ ，避免产生吹风感。送风来自座椅下的土建静压箱，静压箱内壁要求贴吸声保温材料。

主舞台和侧台采用全空气分层空调系统，对称设置两套机组，并设置一台轴流风机在舞台顶部排热。送风口布置在侧台，并在舞台顶部栅顶内设排风兼排烟口，将舞台设备散发的聚集在舞台顶部余热及时排出。送、排风机自带变频控制器，采用消声型风管，温控型球形喷口，等温射程 28.9m ，可根据需要间歇供冷或供热，在演出时可减少送风量、或关闭送风，以降低出风口风速，避免吹动幕布或者对演出人员造成不适吹风感。组合式空调机组为双风机，可以实现从最小新风到全新风的运行调节，节省运行能耗。

入口大厅、办公室、贵宾室、琴房、化妆室、更衣室及休息室等区域，夏季可采用自然通风，可使用新风系统降温，并配以排风系统，新

风机组采用可变量控制，夏季和过渡季大风量运行，以便消除室内余热，冬季小风量运行，保证人员卫生新风需求，节约能耗。

弱电机房、通信机房、消防控制室使用一套多联机系统降温；功放室、可控硅室、舞台机械室，追光室等区域，单独设计了热泵式分体空调器或多联分体机，室外机均就近放置在

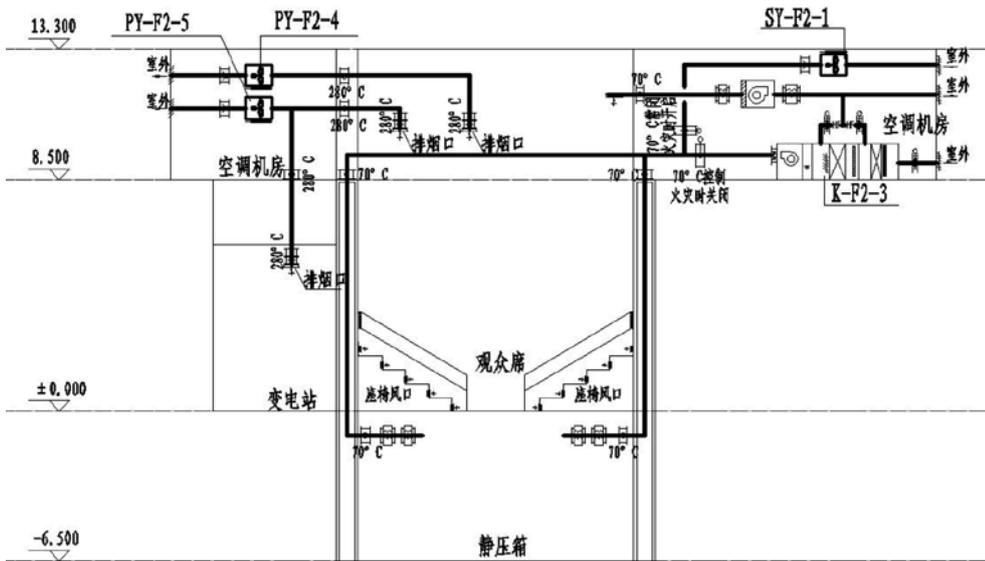


图4 观众厅通风空调原理图

以上区域各房间内设上、下部排风口。其排风系统平时通风，火灾时由消控中心控制关闭四壁上的所有防火阀，同时连锁关闭排风机。灾后将防火阀手动复位，进行灾后排风，灾后排风机开关应设就在气体灭火区域之外。

4) 卫生间设置排气扇，建筑主要出入口处，设有热空气幕。根据该地区海拔高的特点，空调、通风设备均进行气压修正。

室外。

4.2 通风系统

(1) 自然通风

为节省能源（人工制冷、制热）的消耗，保护生态环境、减少空气污染物排放，结合建筑空间和外窗及当地气候特点，优先利用自然通风，尤其过渡季积极利用自然通风改善室内空气质量。公共建筑各主要功能房间设外窗，其外窗（含透光门）及透光幕墙的有效通风换气面积不小于该房间外墙面积的10%。当不满足时设置机械通风系统，结合空调新风换气系统设置换气次数不小于2次/h。

(2) 机械通风

1) 台仓设置机械排风、补风系统，排除台仓余热、余湿，并设置风机盘管保证台仓内舒适度，预留除湿机点位。

2) 水泵间、储热机房、普通弱电机房等以及其他有通风换气需求的房间均设计机械排风系统，排除室内余热和污浊空气。对有环境噪音要求的排风系统设置消音器。

3) 根据相关专业条件，通信网络机房区域设气体灭火灾后排风系统，

5 防排烟系统

5.1 防烟系统

本建筑所有封闭楼梯间均满足自然通风条件，不设置机械加压送风系统，可开启外窗方便直接开启，设置在高处不便直接开启外窗，在距地面高度为1.3~1.5m的位置设置手动开启装置。

5.2 排烟系统

(1) 地上大于100m²的房间、长度不大于60m的走廊，地下大于50m²的房间等，具备开窗条件且满足排烟窗有效面积的房间采用自然排

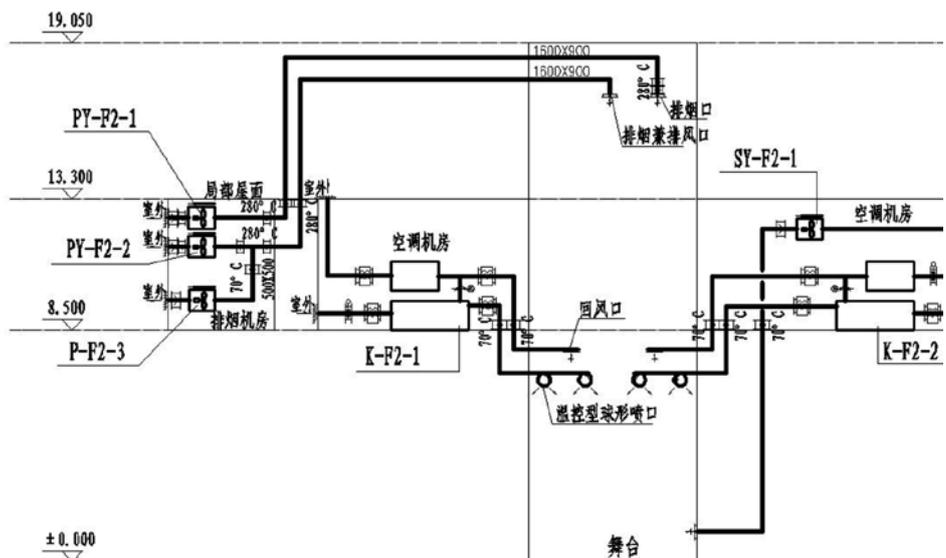


图5 舞台通风空调原理图

烟,其余均设置机械排烟。地下机械排烟系统均设置机械排烟补风。

(2) 观众厅排烟风管布置在观众厅吊顶内,风口在吊顶开洞设置,保证排烟口布置在储烟仓以内。排烟补风量不小于排烟量的50%,与观众厅座椅送风共用风道,排烟时,通过座椅送风口进行排烟补风,在储烟仓以下。

(3) 舞台排烟、排风风机分别设置,风管合用,布置在舞台顶部,保证布置在储烟仓内,平时能够及时将聚集在舞台顶部的设备散热量排出。排烟补风量不小于排烟量的50%,补风口设置在首层侧舞台上空,在储烟仓以下。

根据《建筑防烟排烟系统技术标准》公式4.6.13-1,

$$V=M_p T / \rho_0 T_0$$

式中: V —排烟量 (m^3/s);

ρ_0 —环境温度下的气体密度 (kg/m^3), 通常 $T_0=293.15K$, $\rho_0=1.2 (kg/m^3)$;

T_0 —环境的绝对温度 (K);

T —烟层的平均绝对温度 (K)。

排烟量的计算与环境的气体密度有关,拉萨地区的气体密度远低于平原地区,所以按规范计算出的排烟量应乘以密度修正系数得出最终排烟量,这样才能保证最终的排烟效果,本项目所有排烟系统排烟量均考虑了密度修正。

6 消声与隔振

(1) 空调、风机设备选用低噪声高效设备,设置变频控制器有效调节风量平衡,从声源处控制噪声。

(2) 空调、通风机房顶、侧壁均作吸声处理,机房门满足消防要求,应为密闭隔声门,必要时采用双道门。

(3) 严格控制舞台区,静压箱内的风管风速,主风管风速不大于 $4m/s$,支风管风速不大于 $2m/s$ 。座椅送风静压箱四壁及顶板应作吸声、保温处理。

(4) 储热机房、空调及通风机房内的支吊架均采用减震支吊架,风管及水管须采用减震支吊架^[5],减少振动传递。

7 小结

西藏话剧团项目面积虽小但内部结构复杂,

空间紧张,结合拉萨当地能源结构及气候特点,因地制宜地优化设计,总结如下:

(1) 合理选择热源,拉萨当地太阳能资源极为丰富,在场地条件允许的情况下,应充分利用太阳能资源供暖;太阳能供暖宜与蓄热系统与空气源热泵结合使用,解决太阳能系统局限的同时也改善空气源热泵的低温性能。

(2) 合理选择冷源,当地夏季湿球温度低,室外空气焓值低于室内空气,宜充分利用自然通风和蒸发制冷,空气源热泵还可以作为冷源,在自然通风和蒸发制冷不能满足制冷需求时提供冷量,节约能源。

(3) 优化气流组织,合理布置管线,观众厅采用座椅送风,顶部回风已经比较普遍,并且取得了良好的气流组织、舒适度效果;舞台区分层空调可以在保证人员活动区舒适度的前提下,节约能源,本项目在舞台顶部设置了机械排风排除余热,保证顶部操作人员的工作环境。项目空间紧张时,合理合用补风和送风,排烟和排风风管,节省空间,可以取得一定经济效益。

(4) 高原地区空气密度修正,平原地区空气密度是拉萨地区空气密度的1.5倍,这导致高海拔地区所需排烟量远远大于平原地区,在进行高海拔地区的排烟系统设计时应考虑空气密度修正才能保证排烟效果;空调,通风系统也应根据实际情况进行风量修正。

参考文献

- [1] 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范(GB 50736-2012) [S].2012
- [2] 建筑防烟排烟系统技术标准(GB 51251-2017) [S].2017
- [3] 邱国栋,许振飞,位兴华,等.太阳能与空气源热泵集成供热系统研究进展[J].化工进展,2018,37.
- [4] 崔玥.蒸发制冷在西北地区的应用与分析[J].建筑热能通风空调,2016,35.
- [5] 孟凡兵,朱晓山.中国国家话剧院剧场空调设计[J].暖通空调,2012,11.

动力工程设计研究院

动力工程设计研究院（三院）始建于1951年，前身为航空动力工程设计研究所。经过60多年的发展，在航空、航天燃气轮机产品制造、航空发动机及燃气轮机装配维修、计量试验、新材料及民用建筑的规划、咨询、工程设计和工程总承包方面展现出强大的实力，并得到业界的广泛认可。尤其是在航空发动机维修行业，在国内处于垄断地位，并获得国家优秀工程设计奖、部级优秀工程设计奖、科学进步奖等诸多奖项，实施的工程项目遍布全国各地。

动力工程设计研究院秉承“航空报国、强军富民”的集团宗旨，始终致力于为社会提供高端咨询服务。经过数十载春秋，动力工程设计研究院打造了发动机维修、航天、新材料、计量、民用建筑和EPC管理六大精英团队，汇集了数百名工程设计人才，拥有注册咨询工程师10名，注册规划师1名，一级注册建筑师10名，一级注册结构工程师17名，注册设备工程师10名，注册电气工程师3名，注册造价师7名，一级注册建造师5名，注册监理工程师5名。

动力工程设计研究院践行“创新成就梦想，实干铸就辉煌”的公司使命，提供咨询、设计、造价、建设等全过程的贴心服务，不断扩大高端领域规划咨询业务的范围和规模，致力于成为以设计为龙头提供投资咨询建设全过程服务的国际一流价值集成商。



2020年第4期（总第150期）
2020年8月出版



中国航发某所设计仿真大楼