

航空工程建设

AERO-INDUSTRY ENGINEERING CONSTRUCTION

2018年第3期 总第137期



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

内部资料 免费交流
准印证号：京内资准字9914-L0337号

住建部：五大举措实现工程建设项目审批时间再压减一半

5月7日上午，国务院新闻办就工程建设项目审批制度改革有关工作情况举行国务院政策例行吹风会，住房和城乡建设部副部长黄艳表示，为实现“工程建设项目审批时间压减一半”的目标，住建部将推行告知承诺制，通过五大举措精简审批环节，有效加快审批速度，让项目早落地、早开工，早让企业获得便利。

当前工程建设项目审批仍存在效率低、环节多、时间长等问题。黄艳介绍，住建部会同有关部门起草了《关于开展工程建设项目审批制度改革试点的通知》，国务院常务会议5月2日已审议通过，将于近期正式印发。国务院常务会议确定，今年在试点地区实现工程建设项目审批时间压缩一半以上，由目前平均200多个工作日减至120个工作日，明年上半年在全国实现这一目标。

黄艳表示，此次改革的主要任务是，对工程建设项目审批制度进行全流程、全覆盖改革，通过构建统一审批流程、精简审批环节、完善审批体系、强化监督管理等措施，实现“工程建设项目审批时间再压减一半”的目标；及时总结试点地区经验并向全国推广，争取到2020年基本建成全国统一的工程建设项目审批和管理体系。

改革通过五大举措精简审批环节。一是“减”，取消不合法、不合理、不必要的审批事项和前置条件，如取消施工合同、建筑节能设计审查备案等事项。二是“放”，扩大下放或委托下级机关审批的事项范围。三是“并”，对管理内容相近的多个审批事项，原则上整合为一个审批事项，比如此次改革将消防、人防等设计并入施工图设计文件审查。四是“转”，审批机关能够通过征求相关部门意见解决的事项，转变为政府内部协作事项，推行告知承诺制。五是“调”，完善相应制度设计，让审批时序更符合工作实际，“比如以前水暖电的报装，要等施工验收完了才开始，时间很长。现在施工许可证核发后就可报装，跟施工流程一并来做，相当于把报装环节调到前面来了。”黄艳举例。

推行告知承诺制是本次改革的一个亮点，能够有

效加快审批速度，让项目早落地、早开工。黄艳解释，告知承诺制是指审批部门要公布实行告知承诺制的审批事项清单及具体要求，建设单位按照要求作出书面承诺的，审批部门可以直接作出决定。“但告知承诺制不是一诺了之，也不是轻诺寡信，特别考验政府的监管能力。政府在审批以后，要加强事中事后监管，通过监管审查建设单位是否按照承诺的内容、要求和标准进行建设。”

针对审批体系的完善，《关于开展工程建设项目审批制度改革试点的通知》要求，通过“一张蓝图”统筹项目实施、“一个系统”实施统一管理、“一个窗口”提供综合服务、“一张表单”整合申报材料、“一套机制”规范审批运行。

黄艳认为，很长时间大家都不知道这个项目为什么批不出去，其实批不出去的原因主要是基础工作没做到位，因为大家不是在一张图上工作，可能规划部门批了，其他部门觉得不合适，所以要“一张蓝图”，这对于工程建设立项、用地的前期工作非常关键。

我国地域辽阔，对于如何缩小地区之间审批的差异，确保改革目标的实现等问题，黄艳表示，改革选择的试点基本覆盖了各地域类型，包括西部、东部，特大城市、中等城市等，“各个不同地域和不同城市遇到的问题反映上来，我们会针对性地提出对策。在这个过程中也要听取这些城市的诉求，哪些措施需要及时修订，让改革有法律的保障。”

(来源：国务院新闻办网站)

中央企业参与“一带一路”建设座谈会在京召开

6月4日，国务院发展研究中心和国务院国资委在京联合召开中央企业参与“一带一路”建设座谈会，深入学习贯彻习近平新时代中国特色社会主义思想，学习习近平总书记“一带一路”国际合作高峰论坛重要讲话精神，交流中央企业参与“一带一路”建设情况，推动中央企业在更高层次、更广领域、更高水平融入和促进世界经济发展。国务院发展研究中心主任李伟主持会议，国务院国资委主任肖亚庆出席并讲

话，国务院发展研究中心副主任张来明、国务院国资委秘书长阎晓峰等出席会议。

肖亚庆在讲话中指出，习近平总书记在“一带一路”国际合作高峰论坛、瑞士达沃斯论坛等发表系列重要讲话，为中央企业“走出去”、积极参与“一带一路”建设提供了根本遵循。近年来，中央企业积极参与“一带一路”建设，在基础设施建设、能源合作开发、国际产能合作等方面取得显著成效。面对当前世界政治经济形势新变化新情况，中央企业要坚持扩大开放，持续深化与“一带一路”沿线国家和地区的合作，不断丰富互利共赢的模式；要坚持高质量发展，不断提高国际化经营质量和水平，成为高质量发展的标杆；要坚持防范风险，筑牢风险防范底线；要用国际通行规则做法推动协调发展；要坚持党的领导、加强党的建设，大力培养国际化人才，抓好舆论宣传，树立中央企业良好国际形象。

李伟表示，近年来，国务院国资委认真贯彻落实习近平总书记提出的“一带一路”倡议，指导推动中央企业积极参与“一带一路”建设，取得积极进展。随着参与“一带一路”建设的深入推进，中央企业也面临许多新挑战。国务院发展研究中心将认真总结中央企业走出去的成功经验，深入分析面临的新情况新问题，有针对性地提出意见建议，为中央企业更好参与“一带一路”建设提供有力支持。

(来源：中国航空报)

住房城乡建设部召开工程建设项目审批制度改革试点工作培训会

为贯彻党中央、国务院关于深化“放管服”改革、优化营商环境的决策部署，深入学习落实《国务院办公厅关于开展工程建设项目审批制度改革试点的通知》精神，推进工程建设项目审批制度改革试点工作，2018年6月5日，住房城乡建设部在福建省厦门市召开工程建设项目审批制度改革试点工作培训会。

住房城乡建设部党组书记、部长王蒙徽出席会议并讲话，住房城乡建设部副部长黄艳主持会议。北京市、

天津市、上海市、重庆市、沈阳市、大连市、南京市、厦门市、武汉市、广州市、深圳市、成都市、贵阳市、渭南市、延安市和浙江省等16个试点地区政府有关负责同志、牵头部门主要负责同志和相关工作人员共150余人参加培训。

会议强调，工程建设项目审批制度改革是贯彻落实新发展理念的重要举措，是转方式调结构的重要手段，是转变政府职能的重要抓手。试点地区要切实提高政治站位，强化责任担当，自觉服从改革大局，不断增强责任感和使命感，深入推进工程建设项目审批制度改革。

会议提出，试点地区要认真学习借鉴厦门等地的改革经验，对工程建设项目审批制度改革实施全流程、全覆盖改革，优化再造审批流程，进一步提高审批效率，优化营商环境。要狠抓“一张蓝图”“一个系统”“一个窗口”“一张表单”“一套机制”等“五个一”建设，着力解决重点难点问题，以重点突破带动全局。要加强政务大厅建设，充分发挥政务大厅的监督、协调等作用，提高审批效能。

会议要求，试点地区要加强学习培训，统一思想、提高认识，真正学懂弄通改革精神。要加强组织领导，抓紧制定实施方案，明确改革的时间表、路线图。要切实抓好贯彻落实，确保按时保质完成工程建设项目审批制度改革的任务和目标。

会议解读了《国务院办公厅关于开展工程建设项目审批制度改革试点的通知》，介绍了厦门、沈阳等地推进工程建设项目审批制度改革的经验和方法，对重点难点问题进行了答疑，并实地考察了厦门市政务服务中心。

(来源：住建部官网)

财政部发布通知 加强PPP示范项目规范管理

日前，财政部发布《关于进一步加强政府和社会资本合作（PPP）示范项目规范管理的通知》（以下简称《通知》），对核查存在问题的173个PPP示范项目分类进行处置，并要求各地引以为戒，加强项目规范管理。

国家为何要对PPP示范项目进行清理规范？据《通知》表示，PPP示范项目在引导规范运作、带动区域发展、推动行业破冰、推广经验模式等方面发挥了积极

作用，但从近期核查情况看，部分示范项目存在进展缓慢、执行走样等问题。因此财政部对核查确认存在问题的项目进行处置。

其中，将不再继续采用PPP模式实施的包头市立体交通综合枢纽及综合旅游公路等30个项目，调出示范项目名单，并清退出全国PPP综合信息平台项目库；将尚未完成社会资本方采购或项目实施发生重大变化的北京市丰台区河西第三水厂等54个项目，调出示范项目名单，保留在项目库，继续采用PPP模式实施；此外，对于运作模式不规范、采购程序不严谨、签约主体存在瑕疵的89个项目，由有关省级财政部门会同有关方面抓紧督促整改，于6月底前完成。逾期仍不符合相关要求的，调出示范项目名单或清退出项目库。

据统计，30个退库项目总投资额约为300.2亿元，54个调出示范项目总投资额约为1584.8亿元，89个限期整改项目总投资额约为4817.9亿元。《通知》要求，地方各级财政部门要会同有关部门妥善做好退库项目后续处置工作。

中央财经大学政府和社会资本合作治理研究院院长曹富国认为，包括示范项目库在内的“清库”工作表明，政策层面致力于规范和可持续发展的决心是毫不含糊的，即使是示范项目也不能例外。“清库”结果也向PPP市场各方发出追求“真PPP”的强有力的积极信号。

北京一家投资管理公司的副总经理彭松也对此表示认同：“此次对核查存在问题的PPP示范项目进行分类处置，体现了国家促进PPP健康发展的明确态度，只有真正纠偏、坚持正确方向，PPP才能走得更为长远。尤其是对于那些已经进入执行阶段的项目，并没有采取简单办法要求直接清退，而是要求在规定的时间内完成整改。这样有助于解除一些社会资本考虑的PPP项目采购完成后，政府单方面不予执行的疑虑，并且在很大程度上保护了社会资本参与PPP的热情和信心。”

除了对核查存在问题的173个PPP示范项目分类进行处置，《通知》还强调，各地要加强项目规范管理，包括夯实项目前期工作、切实履行采购程序、严格审查签约主体、杜绝违法违规现象、强化项目履约监管；同时，还要坚持政企分开原则，加强PPP项目合同签约主体合规性审查，国有企业或地方政府融资平台公司不得代表政府方签署PPP项目合同，地方政府融资平台公司不得作为社会资本方。

（来源：经济日报）

工信部发布工业互联网三年行动计划 2020年初步建成产业体系

6月7日，工信部公布了《工业互联网发展行动计划（2018~2020年）》（以下简称《行动计划》）和《工业互联网专项工作组2018年工作计划》。未来三年是工业互联网至关重要的起步阶段，《行动计划》的制定为工业互联网的“三步走”制定了详细的路线图，并详细划分了目标、任务及落实主体。

根据《行动计划》，我国工业互联网发展的总体目标是，到2020年底，初步建成工业互联网基础设施和产业体系。在三年内，中国将初步建成适用于工业互联网高可靠、广覆盖、大带宽、可定制的企业外网络基础设施，支持工业企业建设改造工业互联网企业内网。还将初步构建工业互联网标识解析体系，建成5个左右标识解析国家顶级节点，标识注册量超过20亿。

到2020年底，中国要初步形成各有侧重、协同集聚发展的工业互联网平台体系，遴选10个左右跨行业跨领域平台，培育一批独立经营的企业级平台。还将推动30万家以上工业企业上云，培育超过30万个工业APP。初步建立工业互联网安全保障体系，建立健全安全管理制度机制，全面落实企业内网络安全主体责任，制定设备、平台、数据等至少10项相关安全标准，同步推进标识解析体系安全建设，显著提升安全态势感知和综合保障能力。

《工作计划》提出八项重点任务，即基础设施能力提升行动、标识解析体系构建行动、工业互联网平台建设行动、核心技术标准突破行动、新模式新业态培育行动、产业生态融通发展行动、安全保障水平增强行动、开放合作实施推进行动。

此外，此次计划还明确将通过工业转型升级资金启动支持工业互联网建设，落实固定资产加速折旧等相关税收优惠政策。同时，建立工业互联网高端人才引进绿色通道，完善配套政策；完善技术入股、股权期权激励、科技成果转化收益分配等机制。

中国信息通信研究院总工程师余晓晖表示，工业互联网已成全球产业竞争焦点。中国的工业互联网产业联盟在网络、标识、平台、安全等多个方面发布了一系列研究成果，与国际上基本同步。

（来源：《中国航空报》）

东航北京新机场航食地服项目

建设地点：北京

设计单位：航空工业建投民航工程设计研究院

建设情况：施工中

东航北京新机场航食地服项目位于北京新机场北区，总建筑面积9.14万 m^2 ，设计生产能力6.5万份/日，是公司承接的总建筑面积最大的航空配餐领域工程设计项目，包含配餐生产车间、修车库、水厂、综合厂房和业务用房等8个单体。





宜昌三峡机场项目

建设地点：湖北省宜昌市

设计单位：航空工业建投机场规划设计研究院
航空工业建投民航工程设计研究院

建设情况：施工中

设计亮点

宜昌三峡机场是湖北第二大机场，国家一类航空口岸，是辐射“宜荆荆”和鄂西、湘西、渝东等地的重要区域性机场。宜昌三峡机场改扩建项目是宜昌市政府和海航

集团投资建设的重大基础设施建设项目，该项目总投资9.77亿元，主要建设内容包括机场飞行区升级改造，即跑道延长至3200m，新建平行滑行道、快速出口滑行道、机坪以及助航灯光、导航、气象、通信、安防、消防等设施，同时新建航站楼25000m²，新建航站楼站前综合交通、货运站、公安武警安检业务用房、行政办公用房等，是完整的民用运输机场改扩建项目，机场升级改造后达到飞行区4E的起降要求。3月23日，宜昌三峡机场改扩建工程正式开工，项目建设后，机场实现年旅客吞吐量500万人次，跻身区域国际航空口岸行列，使之成为大三峡区域的重要航空枢纽机场。



柬埔寨七星海国际机场项目

建设地点：柬埔寨

设计单位：航空工业建投机场规划设计研究院

建设情况：设计中

设计亮点

柬埔寨七星海国际机场位于东南亚国家柬埔寨南部，泰国湾边。该机场是柬中投资开发实验区的一部分，本期定位服务于柬埔寨七星海海滨旅游度假区，航程覆盖东南亚、东亚、南亚、中东及部分欧洲国家，同时填补了柬埔寨国家民航4E机场的空白，承担柬埔寨部分远程国际航班的中转机场，远期发展为东南亚地区的区域枢纽型机场。

该机场由航空工业建投机场规划设计研究院设计，作

为中国企业首次在国外进行投资、设计、建设、运营的民用机场，机场在规划设计过程中需要设计者转变传统的设计思路，既要考虑中国投资企业的战略发展需求，考虑中国机场管理公司的使用要求，还要考虑柬埔寨民航局的有关要求，考虑警察局、海关、卫生检疫、联检等柬埔寨驻场单位的需求，设计者需要将中国标准、国际标准，以及柬埔寨的标准规范灵活应用。机场航站楼造型从柬埔寨宗教传统建筑文化形式汲取元素和海滨旅游度假区的性质，以及航站楼功能、动线特点相结合，创造出具有柬式文化特征及东南亚热带海滨风情的航站楼形态。机场飞行区及航站楼规划设计体现人与自然和谐共存的理念，充分考虑减少对周边自然生态环境的破坏，尤其是对红树林生态保护湿地和现有水文水系的破坏，力求打造一个与当地自然生态环境，海滨旅游度假区环境相融合的绿色生态机场。

马尔代夫马累国际机场改扩建工程

建设地点：马尔代夫

设计单位：航空工业建投机场规划设计研究院

建设情况：设计中

设计亮点

公司的总体发展战略，推进国际化市场的开拓，我院密切关注国际机场类项目的各种信息，积极利用各种资源，不断进行国际机场类项目的开发与拓展，利用主导或嵌入式经营，一站式咨询，成绩逐渐显现，马尔代夫机场项目即在此背景下诞生。

马尔代夫马累国际机场改扩建工程项目是由中国进出口银行进行两优贷款，马尔代夫机场有限公司（MACL）作为业主单位筹建的机场类重点项目，项目总投资达到了4.4亿美元。

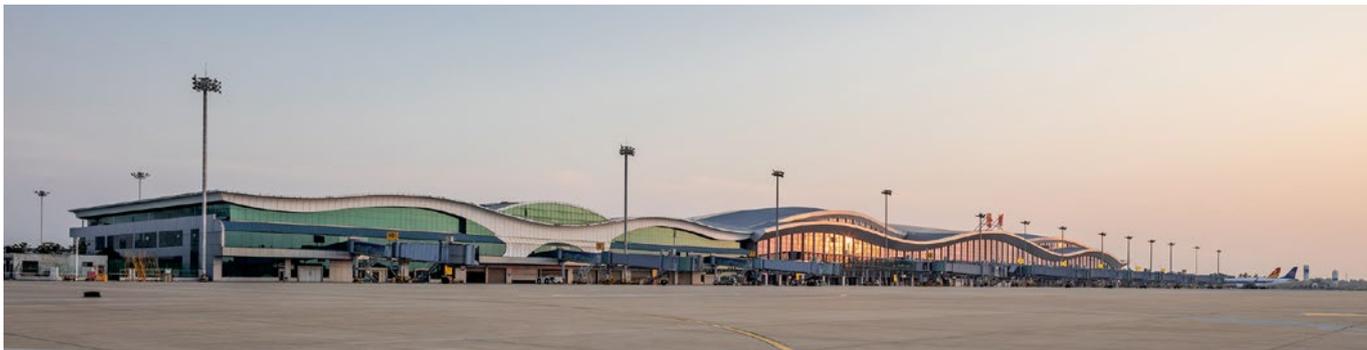
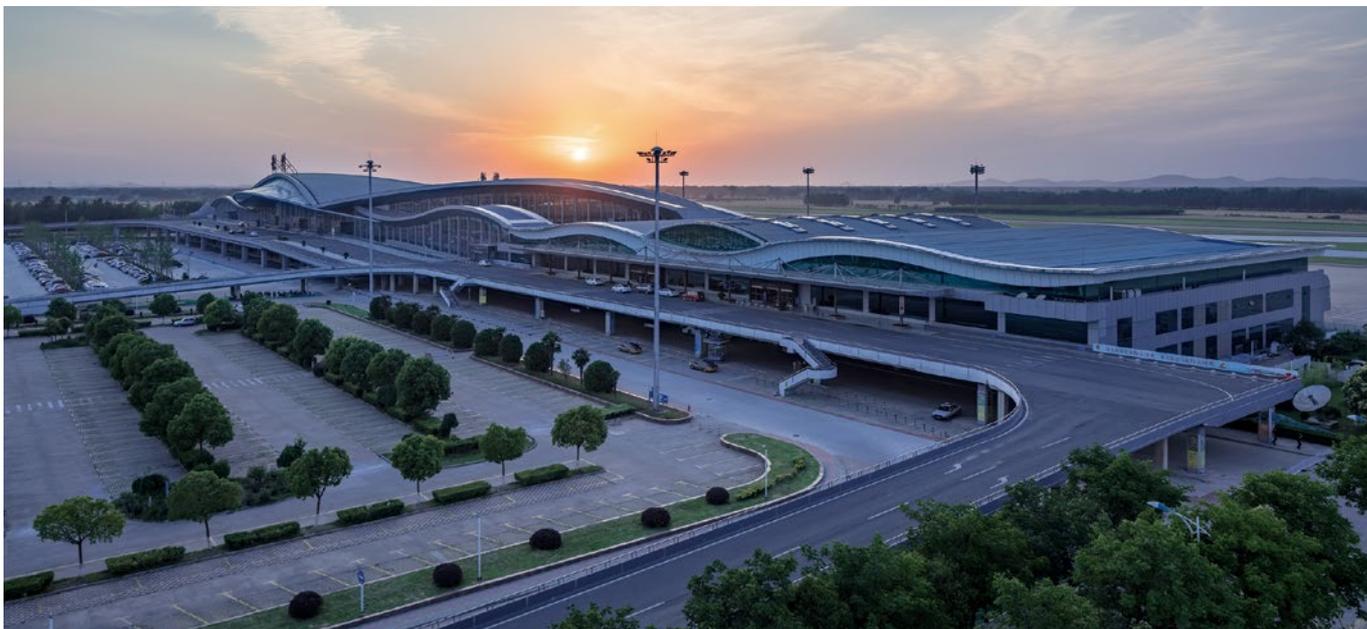
我院作为咨询设计单位，承担其中的飞行区整体工程改扩建、货运库新建、油库新建以及相关填海护堤工程的方案设计、可行性研究、地形图测量、地质勘察、初步设计

以及施工图设计等一系列工作。项目具有规模大、难度系数高、涉及专业齐全、创新点多、业主要求严格、国际影响力大等特点。针对上述情况，我院成立了以院长挂帅的技术与管理团队。从技术和服务两个角度全面开展工作。

在院长的带领下，项目团队多次与业主沟通，优质、高效的完成方案设计与可行性研究报告，并积极配合推进项目的下一步工作。凭借我院马尔代夫项目团队在前期咨询工作中表现出来的优秀技术水平和热情的服务态度，得到了项目相关各方的充分信任，直接指定我院作为项目全过程的咨询设计单位，为我院赢得了良好的声誉。同时，该项目也荣获了公司“总经理特别奖”

通过本项目团队的不懈努力，使得公司进一步拓展了海外大型机场工程设计领域，极大的提升了公司品牌在机场设计领域的影响力，为公司赢得了高度的赞誉并积累了良好的客户关系。本项目是在习近平主席访问马尔代夫时见证签署的重点项目，政治意义重大。马尔代夫方表示，基于对项目团队的高度信任与认可，同时为感谢中国为马方的巨大贡献，机场建成后，其主机坪将命名为中国机坪或北京机坪，具有极大的国际影响力。





徐州观音国际机场二期扩建项目

建设地点：江苏省徐州市

设计单位：航空工业建投民航工程设计研究院

建设情况：竣工投产

设计亮点

徐州观音国际机场二期扩建项目航站楼建筑面积约3.7万 m^2 ，年旅客吞吐量460万人次，项目投资约6亿元。该项目为江苏省重点工程，也是徐州市政府的重点形象工程。新建航站楼形象大气舒展，顺应老航站楼“大鹏之翼”的设计理念，借势而生，如自然生长般流畅，新老航站楼连绵一体，展现了徐州“汉舞彭天”的壮丽气魄，建成后成为徐州市新的门户标志。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《大体积混凝土施工标准》的公告

现批准《大体积混凝土施工标准》为国家标准，编号为GB50496-2018，自2018年12月1日起实施。其中，第4.2.2、5.3.1条为强制性条文，必须严格执行。原国家标准《大体积混凝土施工规范》GB50496-2009同时废止。本标准在住房和城乡建设部门户网站（www.mohurd.gov.cn）公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《建筑设计防火规范》局部修订的公告

现批准《建筑设计防火规范》GB50016-2014局部修订的条文，自2018年10月1日起实施。其中，第5.1.3A、5.4.4（1、2、3、4）、5.4.4B、5.5.8、5.5.13、5.5.15、5.5.17、6.2.2、6.7.4A、7.3.1、7.3.5（2、3、4）、8.2.1、8.3.4、8.4.1、10.1.5、10.3.2、11.0.4、11.0.7（2、3、4）条（款）为强制性条文，必须严格执行。经此次修改的原条文同时废止。局部修订条文及具体内容在住房和城乡建设部门户网站（www.mohurd.gov.cn）公开，并将刊登在近期出版的《工程建设标准化》刊物上。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》的公告

现批准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》为国家标准，编号为GB50202-2018，自2018年10月1日起实施。其中，第5.1.3条为强制性条文，必须严格执行。原《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB50202-2002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《灌溉与排水工程设计标准》的公告

现批准《灌溉与排水工程设计标准》为国家标准，编号为GB50288-2018，自2018年11月1日起实施。其中，第20.4.2、20.4.3条为强制性条文，必须严格执行。原《灌溉与排水工程设计规范》GB50288-99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《施工现场模块化设施技术标准》的公告

现批准《施工现场模块化设施技术标准》为行业标准，编号为JGJ/T435-2018，自2018年11月1日起实施。本标准在住房和城乡建设部门户网站（www.mohurd.gov.cn）公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《城镇桥梁沥青混凝土桥面铺装施工技术标准》的公告

现批准《城镇桥梁沥青混凝土桥面铺装施工技术标准》为行业标准，编号为CJJ/T279-2018，自2018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建筑工业出版社出版发行。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《工程振动术语和符号标准》的公告

现批准《工程振动术语和符号标准》为国家标准，编号为GB/T51306-2018，自2018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建筑工业出版社出版发行。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《无线通信室内覆盖系统工程技术标准》的公告

现批准《无线通信室内覆盖系统工程技术标准》为国家标准，编号为GB/T51292-2018，自2018年11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《纤维增强复合材料筋混凝土桥梁技术标准》的公告

现批准《纤维增强复合材料筋混凝土桥梁技术标准》为行业标准，编号为CJJ/T280-2018，自2018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建筑工业出版社出版发行。

（来源“国家工程建设标准化信息网”）



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

顾问委员会

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

编辑委员会

主任 沈金龙
 副主任 米敬明 刘国新
 委员 (按姓氏笔画排序)
 丁杰 卜国磊 王玮
 王玉平 王锋 王笃礼
 李纲 李中强 肖武
 张卫才 张立峰 陈阳
 陈丹璐 金来建 黄春晖
 贺宏斌 傅绍辉 葛家琪

总编 沈金龙
 主编 陈海风
 执行主编 王蕊
 责任编辑 范蕊
 出版 《航空工程建设》编辑部
 地址 北京德外大街12号
 邮编 100120
 E-mail hkgcjs@avic-apc.com
 印刷单位 北京奇麒麟印刷有限责任公司分公司
 发送对象 公司内部及本系统内部
 印刷日期 2018年06月
 印数 1500册
 电话 (010)62038276 62038235
 传真 (010)62038297
 封面 南航北京新机场维修基地项目

CONTENTS

目录 2018年第3期 总第137期

航空能力建设

- 02 飞机装配的数字化与智能化探讨 周旭 徐学民 李晓阁
 04 国内物流无人机配送体系模式研究 曹珺雯 佟京昊 曹雁林

研究与探讨

- 08 预应力全索系整体张拉结构设计研究
 ——以盘锦体育中心体育场项目为例 葛家琪 刘邦宁
 王树 张国军 张曼生 黄季阳 张奇铭
 16 中航资本大厦超高层结构抗震设计 樊钦鑫 杨超杰
 金来建 谢军 徐志坚 付锦龙 冯丹 李令
 25 EPC模式下工程变更对造价影响分析研究
 ——基于设计单位风险承担角度 周雅飞 王玉平
 30 大型电动隔音门设计 周天送 郗方
 34 教育建筑的供配电设计方案
 ——以云南民航学院为例 郑迪 陈泽毅
 40 现场总线技术在数字化垃圾焚烧电厂设计中的研究分析
 王政一 苏丹
 46 蒸汽锅炉安全阀排汽管道的设计 鲍立斌 吴坤
 48 蒸汽锅炉房除氧器用减压阀选型 赵光耀 安玉生
 51 疫苗分包装车间工艺设计中需要注意的问题 伍雅欣 张垚

工程设计

- 54 BIM技术在某工业厂房暖通系统设计中的应用与分析
 王洲 李晓谊
 58 上海地区某办公楼防排烟系统设计 刘茜 张晓莉
 62 某固体制剂生产厂房洁净空调设计 程鹏 董秀芳

飞机装配的数字化与智能化探讨

■ 周旭 徐学民 李晓阁 [工艺]

摘要: 我国由于科技发展起步时间短,造成一些精密技术上实行效果差的现象。在飞机制造装配中,治理方式和方法存在着一定的不足。虽然我国已经采用先进的激光跟踪技术和计算机辅助经纬仪等设施,但是在安装过程中却很少用到更加先进的安装和设计技术,虽然部分程序上做到了简化处理,结构得到清减,但是与发达国家相比,仍然在飞机装配技术中存在着一定的差距不足。基于此,本文就飞机装配的数字化与智能化进行简要探讨,以供参考。

关键词: 飞机;装配;数字化;智能化

1 飞机数字化装配关键技术

1.1 数字化装配工艺规划

飞机数字化装配工艺主要是在装配工艺与装配仿真结合的基础上得以实现,其指令规划方法主要采用仿真三维装配的形式。三维数字化模型作为单一的数据源存在于三维环境中。将装配仿真作为主要依据可四线是对装配工艺以及装配是指令的合理规划,然后在此基础上对三维转配指令模板进行制定,最终促使三维装配指令在指导装配现象科学合理的形成。

1.2 数字化定位与调姿控制技术分析

对飞机产品结构特点以及定位要求会受到飞机数字化定位与调姿控制技术指针的直接影响。为在真正意义上实现对飞机零部件的准确定位,需要在结合实际情况的基础上结合数字化测量、控制设备或系统。机械随动定位装置、数字化测量单元以及定位误差分析是飞机数字化定位与调姿控制系统的重要组成部分,同时在其中占据核心位置,需要注意的是补偿单元以及集成控制单元也在上述范围的涵盖之内,机械随动装置以及零部件工作需要保持同一个进度进行,数字化测量单元可在一定程度上对零部件的运行状态进行测量,同时也可在此基础上对数据进行收集。在误差分析与补偿单元的作用下上述数据可逐渐实现准确的转换运算,与装配工艺设计信息中的装配数据比较也是在此过程中进行,最终可在生成定位补偿数据的同时集成控制单元进行有效的返回,这对零件定位补偿工作的顺利进行有极大的促进作用,为实现对定位精确度的满足,工作人员需要进行反复的实验与审核。

1.3 自动化制孔与连接技术的应用

为科学有效的完成自动精密制孔工作,需要在实际操作中实现对自动化制孔以及连接技术的应用,这对连接点技术状态的改善有不可替代的重要作用,其中主要包括表面质量、配合性质以及结构形式等。现代飞机制造的要求可在这一过程中实现有效的满足。高质量、高效率以及低成本是其显著特征与优势。

1.4 高效长寿命连接技术

随着飞机耐久性和可靠性要求不断提高,长寿命连接是大飞机研制必将广泛采用的连接方法。干涉配合能提高结构疲劳寿命,已成为结构延寿的主要工艺方法。为提高结构疲劳寿命,国内外各先进飞机制造中均采用了大量干涉配合紧固件。高性能航空器的机械连接结构必须采用先进的连接技术,如采用干涉配合铆接、电磁铆接、新型紧固件、孔挤压强化等来提高连接结构的抗疲劳性能与可靠性,减轻结构质量,而采用自动化或半自动化的连接设备则能显著提高工作效率及连接质量的稳定性。

2 数字化移动装配线技术

2.1 移动装配线数字化管控特征

以拉动式精益生产模式为引导,基于生产线建模与仿真、作业计划规划与调度、生产线现场信息采集与可视化看板、库存管理与物料配送、现场多余物识别与控制、质量信息分析与问题管理、生产线运行状态评价与优化等,构建飞机移动装配线数字化管控平台,保障飞机移动装配线的稳定、高效、持续运行,提高飞机移动装配线数字化管控水平。

2.2 数字化工艺均衡原理

在可视化生产线建模与仿真基础上,建立面向

作者简介:周旭,男,工程师,2012年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飞机工程设计研究院。

可变动产能需求的装配产能分析方法,研究装配现场工装、设备、产品和人员等资源的快速优化配置方法,制定不同节拍下的装配工艺最优化方案;以站位、资源、工种、人员等协同作业影响因素为约束,将现有的串行装配作业序列重组为装配作业网络,实现装配作业并行化;根据飞机装配中产品、资源、人员等实际情况以及装配线的工作特性,建立装配作业工时计算模型,为标准装配作业划分合理的工时;对移动生产线进行可靠性和复杂度分析,根据装配生产工艺特性最优评估准则,进一步对工艺优化提出指导性意见,对减少装配生产线的故障停线次数,保证生产过程平顺化、增强管理的有序性等有重要意义。

2.3 集成在线检测技术

飞机数字化装配集成在线检测技术面向两个对象:一是线缆,二是系统功能。综合计算机技术、信号分析与处理技术以及自动化控制技术,利用机上环境、模拟控制设备,按照既定程序进行相关检查试验,通过合理判断使检测过程快速、准确,从而达到检测过程中故障快速诊断、分析和定位,实现全机线缆的导通、绝缘检查、耐压检查、总线检查和故障智能定位,以及机上航电、机电、供电、飞控、任务系统实时在线功能检测,达到线缆、系统功能检测数字化、自动化、智能化和一体化,提高检测效率,降低工作量,减少人为操作差错和故障,缩短飞机装配周期。

3 飞机装配智能化技术

智能装配是数字化装配向更高阶段发展的必然产物。飞机智能装配涉及传感器技术、网络技术、自动化技术等先进技术,是控制、计算机、人工智能等多学科交叉融合的高新技术。通过逐次构建智能化的装配单元、装配车间,基于信息物理融合系统,进行装配系统的智能感知、实时分析、自主决策和精准执行,完成飞机装配过程的智能化,引领飞机先进制造模式的发展。

3.1 智能感知

基于计算机技术、传感器技术、FID技术和激光跟踪仪与IGPS技术结合的智能感知技术,通过配置各类传感器和无线网络,对现场人员、设备、工装、物料、量具等多类制造要素进行全面感知,实现装配过程中人与资源的深度互联,从而确保装配过程多源信息的实时、精确和可靠获取。智能制造系统的感知互联覆盖全部制造资源以及装配活动全过程。智能感知是实现智能装配的基础。

3.2 实时分析

基于云计算、大数据技术的实时分析技术,对装配过程中的海量数据进行实时检测、传输与分发、处理与融合等;然后将多源、异构、分散的装配现场数据转化为可用于精准执行和智能决策的可视化制造信息。实时分析是智能工装的重要组成部分,对装配过程的自主决策及精准执行起着决定性的作用。

3.3 自主决策

“智能”是知识和智力的总和,知识是实现智能的基础,智力是获取和运用知识求解的能力。智能装配不仅仅是利用现有的知识库指导装配行为,同时具有自主学习功能,能够在装配过程中不断地充实知识库,更重要的是还有搜集与理解制造环境信息和工装系统本身的信息,并自行分析判断和规划自身行为的能力。

3.4 精准执行

精准执行是实现智能装配的最终落脚点,资源的互联感知、海量数据的实时采集与分析、制造过程中的自主决策都是为实现智能执行服务的。通过传感器、RFID等获取的装配过程实时数据是精准执行的来源和依据,装备运行的监测控制、装配过程的调度优化、装配零件的准确配送、产品质量的实时检测等是表现形式。装配过程的精准执行是使装配过程和装配系统处于最优效能状态的保障,是实现智能装配的重要体现。综上所述,飞机装配首先是要保证装配准确度,影响飞机装配准确度的因素主要有装配对象、工装状态以及环境信息。飞机智能装配,就是通过对各影响因素的实时状态进行感知并作出精准响应,保证装配准确度,从而提高装配质量和装配效率。

4 结语

对于飞机装配过程而言,数字化测量技术可以实现对飞机产品装配要素信息的精确采集,确保装配过程状态信息的实时获取,是智能制造体系中实现飞机装配物理状态与信息网络之间互联互通的支撑性关键技术。随着飞机装配过程向智能化迈进,数字化测量技术已经成为促进飞机智能化装配快速发展的关键因素和重要力量,并不断向“智能测量、反馈控制”的目标发展。

参考文献

- [1] 郭洪杰.新一代飞机自动化智能化装配装备技术[J].航空制造技术,2012.
- [2] 张凯.飞机装配过程数字化测量技术[J].工程技术:引文版,2016(8).

国内物流无人机配送体系模式研究

■ 曹琚雯 佟京昊 曹雁林 [工艺]

摘要: 物流无人机是目前工业级无人机产业发展的热点,也是国内物流配送体系改革的重要方向。物流无人机配送体系的建设以实际需求为导向,以综合物流配送体系为框架,以运输量、区域地质特点为出发点,打破行政区划篱笆,分级体系分期实施。深入剖析国内电商物流企业的商业模式与物流配送特点,根据企业发展实际需求,开展“点对多”、“点对点”两类无人机物流配送体系建设,并对相应的物流无人机研制、机场和起降场规划提出建议。

关键词: 物流无人机;物流配送模式;起降场建设

根据国家邮政统计数据,2017年全国快递业务量达到400.6亿件,同比增长28%。^[1]国内高速发展的快递业务需求与低效的物流效率,对国内物流产业的发展模式、技术手段、战略部署提出了新的需求。自2013年亚马逊宣布无人机送货概念以来,利用无人机开展快递配送业务,已成为电商物流企业开展配送体系改革的主要方向,也是无人机行业在工业应用领域发展的下一个增长点,极具市场发展潜力。

1 国内物流无人机产业发展情况

我国的无人机产业发展走在世界的前列。在物流无人机产业领域,以京东、顺丰为代表的电商物流企业已经在局部区域开展了试点运营工作,并获得了较好的效果。2017年6月,京东无人机物流配送在陕西和江苏两省开展了常态化运营,同年8月京东在陕西获得了全国首张覆盖省域范围的无人机空域批文。2018年3月27日,顺丰正式获得了国内首张无人机航空运营(试点)许可证,顺丰物流无人机正式开始商业化运营,从江西出发向全国展开。国内物流无人机产业正以应用方需求为主导,逐步丰富服务对象与服务内涵。

从服务对象角度出发,无人机物流配送作为生产性服务业与国内智能化发展进程同步推进。作

为商品配送的重要手段,物流无人机向下服务末端消费者,开展快递配送与揽收业务,提升物流效率。同时物流无人机产业发展积极顺应智能制造的规模化定制生产需求,向上游供应商领域延伸,开展零部件配送物流服务。物流无人机产业逐步成为国内智能制造、智能服务产业发展的重要环节。

从产业发展主体分析,目前国内物流无人机产业发展主要以京东、顺丰等应用方为主导。电商物流企业从自身需求角度出发,通过与国内高校、研究机构的深度合作,积极开展适应于自身物流配送体系的物流无人机的研制生产。同时,将物流无人机产品融入物流配送体系,替代现有体系中的某些高成本环节,形成物流无人机配送网络体系,提升企业综合物流配送体系的智能化水平。

虽然国内的物流无人机产业发展形势大好,并且在国际处于领先水平,但是作为现代物流配送方式的一种智能化替代手段,物流无人机产业发展是对现有物流体系、运输模式的一次变革,无人机机型、配送体系都还处在探索或试验阶段。在此背景下,积极开展物流无人机产业发展研究,对地方产业升级、电商物流企业发展极具现实意义。

2 物流无人机配送体系建设原则

物流无人机作为连接客户与供应商的重要手段,能显著提高物流效率,改善交通通达性,降低企业运输成本,提升客户粘性。因此,物流无人机

作者简介:曹琚雯,女,高级工程师,2009年毕业于北京航空航天大学航空宇航制造工程专业,现就职于中航建设综规院。

配送体系的建设要以实际需求为导向,以综合物流配送体系为大框架,以物流运输量、区域地质特点为出发点,开展配送体系建设。

以实际需求为导向。物流无人机配送体系的建设需要满足应用方在经济和政策两方面的需求。一方面作为提升物流效率的重要手段,物流无人机的使用能够减少快递员等人工的使用,合理、完善的网络体系能够显著的降低商品配送的成本,减少现代社会城市拥堵、交通隐患等安全问题。另一方面,无人机具有很强的环境适应能力,能够填补边远地区、交通不便地区在陆路、水运交通上的不足,在国家扶贫攻坚、乡村振兴等国家战略实施中发挥重要作用。

纳入综合配送体系。物流无人机显著改变了现有的商品配送模式,物流无人机运输体系建设作为企业综合物流配送体系的智能化补充,应以现有的综合物流配送体系为大框架,与民航货运、陆运、水运等物流配送方式统筹考虑,充分利用现有交通基础设施资源和现有物流配送网络资源,发挥资源利用的最大效率。

打破行政区划篱笆。电商物流企业是推进物流无人机配送体系建设的主体。因此无人机物流配送体系建设应立足应用方利益,本着科学、经济合理规划的角度,从年运输量、地形地貌、交通情况等实际情况出发,站在区域或全国的角度统筹布局。

分级体系分期实施。作为一项战略新兴产业,物流无人机平台、基础设施建设等都还处在研究或试验阶段。物流无人机配送体系建设需要以企业物流配送特点、年运输量、地区重要性,建设分级运输体系,并合实际情况分期实施。一方面能够避免短期大规模投资引起的企业财政赤字,另一方面也能够积累经验,适时调整配送体系建设。

3 物流无人机配送体系的两种模式

电商物流企业是国内快递物流产业发展的主体,京东、顺丰是其中的佼佼者,也是国内无人机物流配送体系建设的探索者。二者从自身商业模式、物流配送体系出发,在物流配送的不同环节对无人机配送提出不同的要求,搭建匹配企业发展战略与配送特点的物流无人机配送体系。

3.1 “点对多”无人机物流配送模式

京东是国内最大的自营式电商企业,通过“网上购物平台+仓储+自营物流体系”,开展包

括“采购——销售——配送——支付”等运营活动,实现数万个品牌产品的销售。^[2]与其他电商平台不同,京东采取了自营物流和第三方配送相结合的模式,在华北、华东、华南、西南建立了四大物流中心,70%以上的订单都是由京东自建的物流团队负责配送,实现了“211限时达”等高效的物流服务承诺。而与其他单纯的物流企业相比,京东拥有一套完善的供应商体系,能够实现商品的及时供给。

目前京东的物流配送体系主要由物流仓储中心、配送站、快递员组成。商品由京东商城统一购入,并按照历史销售情况存放在各级物流仓储中心中。当客户下达订单后,京东直接从最近的物流仓储中心发货,由小型货车将商品运送到最近的配送站,再由快递员实现配送服务。为提升物流效率、加快商品周转,京东搭建了无人仓、无人车、无人智慧物流体系,其中无人机拟打造“干线—支线—末端”三级智慧物流航空体系。

综合分析京东的商业模式与物流配送体系特点,从企业成本角度出发,京东物流高成本环节主要集中在末端,大量的快递员构成的人力成本占物流运输成本的大头,特别是对于广大农村乡镇、边远哨所、交通不便等地区,物流效率低、人工成本高的矛盾长期存在。末端物流无人机的使用能显著解决“乡村最后一公里”的物流配送问题,在保障企业物流覆盖率的前提下,实现经济效益与社会效益的双赢。末端物流无人机从乡镇级配送站点出发,根据每日订单数量、商品重量及体积,按既定飞行路线、分批次将货物配送至目的地乡村推广员手中。通过“点对多”的无人机物流配送,能显著释放对快递员的需求,提高效率降低成本,是京东无人机物流配送体系现阶段发展的重点,能在短期内获得显著效果。

而对于京东物流仓储中心、各级配送站的物流配送,目前主要采取航空货运、城市货车等运输方式,企业已经摸索出了高效、低成本的物流运输组合模式与运输线路。未来企业可适时利用高铁、干线/支线无人机对现有物流配送进行替代,对物流效率提升、成本降低有一定的促进作用。建议在下一个阶段推进大中型物流无人机的技术突破,完善物流航空体系的搭建,体现企业的智能化发展战略。

3.2 “点对点”无人机物流配送模式

与京东同步开拓国内无人机物流配送的是快递龙头企业——顺丰速运。作为一家主要经营国际、国内快递业务的快递运输服务企业,顺丰以高

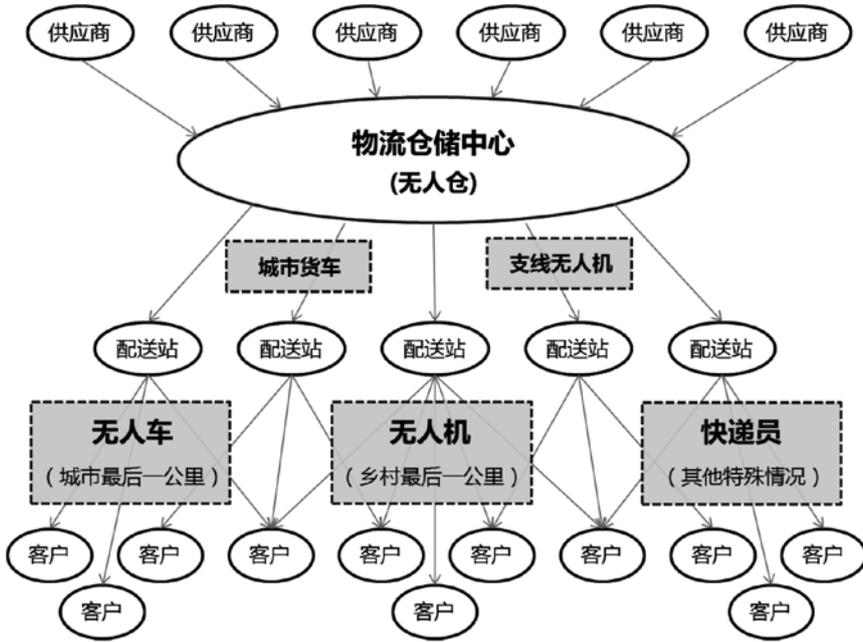


图1 京东物流配送体系

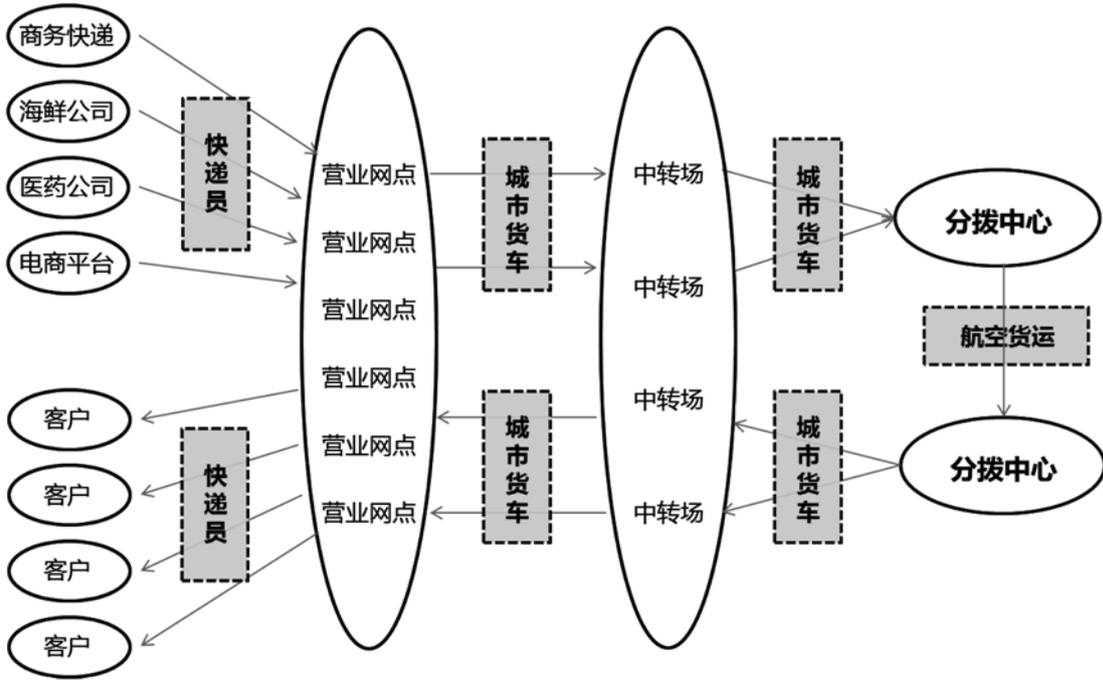


图2 顺丰物流配送体系

递业务等领域，与电商平台的合作并不紧密。^[3]正是由于顺丰目标客户在时效性方面的特别要求，顺丰是国内最先使用全货机提供快递服务的企业，目前已有全货机40余架，并在湖北鄂州开始了顺丰机场国际物流枢纽的建设，展示了行业领头羊的决心与战略部署。

剖析顺丰物流配送体系，包括分拨中心、中转场和营业网点。快递员从发货方揽收快件并集中到营业网点，通过城市货车聚集到中转场及分拨中心，再根据收货地址逐级下放到营业网点，最后由快递员配送到指定收货人。分拨中心之间通过航空货运、城市货车等

效的配送速度著称，采取统一管理经营的直营模式，结合先进的信息化技术，形成了“天网+地网+信息网”三网合一、覆盖国内外的综合物流网络，提供全方位多样化的个性化服务。

顺丰与其他快递公司不同，经营重点主要集中在商务快递、海鲜公司及医药公司快递、其他快

方式实现物流配送。

相比京东直接从仓库发货的方式，顺丰物流配送包括一个揽收快件的环节，对快递公司的准确性和物流效率有更高的要求。目前国内的智慧化、物联网建设还处在探索或局部使用阶段，缺乏大规模的应用，而面向收货发货方的快递揽收配送环节

需要一定的判断辨别能力,对“智能”的要求较高,而目前的物流无人机还仅能实现运输功能,在货物辨别等方面的智能化功能有待加强。因此,顺丰的末端无人机配送建议伴随国内的智能化进程在后期进一步开展。

相比较而言,顺丰在利用支线物流无人机实现对现有航空货运的升级显得更有现实意义。一方面,顺丰已经积累了一定的航空货运经验,对与机场、空域等方面的协调工作已经比较熟悉,能够较为顺利地实现无人化、智能化升级。另一方面,将有人机改型为无人机开展航空货运的技术相对成熟,能够在平台上给予支持。因此,针对顺丰的商业模式与物流配送体系特点,建议近期重点开展支线物流无人机的研制与应用,替代现有物流配送体系中的航空货运或城市货车,降低物流成本,提高运输效率。

4 两种无人机物流配送模式建设思考

基于企业的发展现状与物流体系战略部署,针对两种无人机物流配送模式,从物流无人机平台选择、机场或起降场建设两个方面展开思考。

对于京东而言,现阶段重点开展末端物流无人机的研制与应用,搭建从配送站至客户的“点对多”无人机物流配送体系。在末端物流无人机研制方面,应采用现有无人机平台改进改型与新型物流无人机平台研制同步推进的方式,开展多旋翼和垂直起降物流无人机的研发应用。根据亚马逊统计数据,载货量超过2kg的无人机能够覆盖超过86%货物配送。因此“点对多”末端物流无人机的最大载重量宜在5~50kg,有效航程30~100km,能够实现悬停,并且具备避障和抗侧风能力。在机场或起降场建设方面,突出小型无人机较强的环境适应能力,结合实际情况充分依托现有资源,借用学校操场、小广场、打谷场、现有通用机场等实现末端物流无人机的起降。对于确实需要建设机场的情况,根据物流无人机起降要求,开展B类通用机场的规划建设。

对于顺丰而言,优先开展支线无人机的研制与应用,替代现有分拨中心之间、分拨中心与中转场之间的“点对点”的有人机航空货运。在支线物流无人机研制方面,先期选择适宜的通用飞机进行无人化改型,适时根据配送需求研发大中型物流无人机,最大载重量宜在2~50t,有效航程

1000km左右。在机场布局和建设方面,以企业战略布局为指引,充分利用现有通用机场资源开展运输网络建设。对于确实需要建设机场的情况,综合考虑货运量、货运类型、区位与交通条件、地形地貌、经济活跃度等因素,开展B类通用机场的规划建设。

5 小结

随着国内智能化进程的推进,利用无人机开展物流配送是电商物流企业开展配送体系改革的必然趋势,能够显著的提升物流效率、降低物流成本、体现企业的智能化发展战略。综合目前国内物流无人机配送情况,从企业自身需求出发,开展物流无人机配送体系研究。

(1) 电商物流企业从自身需求出发,是目前国内物流无人机配送体系建设的主导方。

(2) 无人机物流配送向下服务末端消费者,向上对接供应商,能够助推企业实现经济与社会效益的双赢。

(3) 物流无人机配送体系的建设要以实际需求为导向,以综合物流配送体系为大框架,以物流运输量、区域地质特点为出发点,打破行政区划篱笆,分级体系分期实施。

(4) 从企业商业模式与物流配送体系特点出发,京东现阶段应重点开展从配送站至客户的“点对多”无人机物流配送体系建设,强调末端物流无人机的平台研制及实际应用。顺丰现阶段应重点开展分拨中心之间、分拨中心与中转场之间的“点对点”无人机物流配送体系建设,突出支线物流无人机的平台研制及网络体系建设。

参考文献

- [1] 2017年国民经济和社会发展统计公报[R].国家统计局.2018.
- [2] 李敏.京东电子商务物流模式分析[D].湖南大学.2016.
- [3] 邱杰.顺丰速运集团有限公司发展战略研究[D].湖南大学.2013.

预应力全索系整体张拉结构设计研究

——以盘锦体育中心体育场项目为例

■ 葛家琪 刘邦宁 王树 张国军 张曼生 黄季阳 张奇铭 [结构]

摘要: 预应力全索系整体张拉结构是具有“内部没有压杆的全索系拉杆海洋”特点的新型体系,基于该体系几何力学特征的结构稳定承载力和变形性能是工程设计的关键。为探究全索系整体张拉结构的弹塑性发展规律,进行基于材料非线性和几何非线性的结构承载全过程分析,得到典型位置索单元荷载-应力、关键节点荷载-竖向位移全过程曲线,提出结构体系延性设计指标合理取值范围;并针对该体系特有的雪水荷载非线性现象,提出谷索排雪水设计方法、指标与措施。

关键词: 全索网整体张拉结构;承载全过程分析;延性设计指标;谷索形状松弛;排雪水设计方法

0 引言

张拉整体结构源自于美国建筑师R.B.Fuller提出的张力集成结构理念,他在1962年的专利中描述了张拉整体结构思想^[1]:在结构中尽可能减少受压状态而使结构处于连续的张拉状态,实现“压杆的孤岛存在于拉杆的海洋中”的结构理想。但张拉整体结构除了用于城市艺术雕塑与模型实验研究外,没有建成功能性建筑。1980年代,美国结构工程师D.H.Geiger对Fuller的张拉整体理论做了进一步拓展,认为空间的跨越可以由连续的张拉索和不连续的压力杆完成,提出了一种新的体系:中心点刚性拉环与内层径向索、环索、撑杆和外层径向脊索、谷索通过施加预应力形成轻巧的索穹顶结构,锚固于外周受压钢环梁。1986年索穹顶结构首次成功应用于汉城奥运会体操馆(跨度119.8m)^[2],1989年建成佛罗里达州的太阳海岸穹顶(跨度210m)^[3],此后,索穹顶结构获得了较快发展。2012年内蒙古伊旗全民健身体育中心^[4](跨度72m)建成,是中国大陆第一座大跨度索穹顶结构工程。

索穹顶结构内部空间实现了Fuller张拉整体结构的理念,但是离开外周受压钢环梁的支撑,就无法成为稳定结构,所以从几何力学概念方面说,索穹顶不是张拉整体结构。索穹顶在预应力张拉前是不稳定的机构,从机构到结构的预应力张拉过程是工程建造与承载安全的关键。受制于施工力学非线性分析技术及张拉同步控制技术,索穹顶发展前期采用“临时支撑、分批张拉、逐次成型”的建造方法,费时、费工且施工过程安全风险大。后期随着前述两大技术瓶颈的突破,索穹顶建造实现了“地面组装、整体张拉、一次成型”,成为真正意义上的建设与承载高效率结构。基于索穹顶几何力学原理与预应力整体张拉成形两方面的有别于张拉整体结构的特征因素,将该类体系定义为预应力整体张拉结构。尽管预应力整体张拉结构只在内部实现了张拉整体结构的几何力学理念,外周钢环梁的用钢量甚至可能会大于内部所有结构的用钢量,可结构总体用钢量仍比传统大跨度钢结构节省50%以上,且具有简洁流畅的建筑美学效果,成为现代体育建筑的主要体系之一。

1990年代预应力整体张拉结构进一步创新:将索穹顶中心点刚性拉环扩展为大口径柔性内环

作者简介:葛家琪,男,研究员,1987年毕业于同济大学建筑结构专业,现就职于航空工业规划技术发展中心。

索,与外周钢压力环以及径向索网构建出建筑造型丰富、结构轻巧的新型开口式预应力整体张拉结构。不同于索穹顶结构的应用滞后情况,新型开口式整体张拉结构在中国率先得到了广泛应用:1999年青岛颐中体育场、2002年芜湖体育场、2006年佛山世纪莲体育场、2011年深圳宝安体育场、2013年盘锦体育中心体育场、2017年长春奥体中心体育场等相继建成。其中芜湖体育场、盘锦体育中心体育场等罩篷内部无钢压杆,为预应力开口式全索系整体张拉结构(后文简称为全索系整体张拉结构)。

结合盘锦体育中心体育场工程,针对全索系整体张拉结构几何力学特征及相应的排雪积水难题,开展结构承载全过程力学性能分析研究,提出结构体系延性设计指标合理取值范围,并解决工程关键技术问题,为该类新型结构设计提供参考。

1 工程概况与结构特征

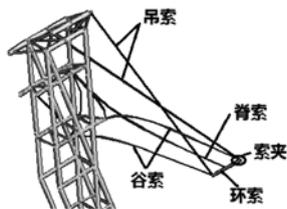
盘锦体育中心体育场罩篷平面呈椭圆环形,见图1(a)、(b),平面投影尺寸约为 $270\text{m} \times 238\text{m}$,最大高度约 57m ,悬挑长度为 $29 \sim 41\text{m}$,由外围钢环桁架、径向索系、内环索和膜屋面组成开口式整体张拉结构。内环索水平投影尺寸约为 $196\text{m} \times 135\text{m}$,呈马鞍形,由10根Z型封闭索组成,吊索、脊索、谷索通过索夹与环索连接,见图1(c)、(d)。



(a) 全景图



(b) 内景图



(c) 结构单元图 (d) 环索与吊索谷索连接索夹模型

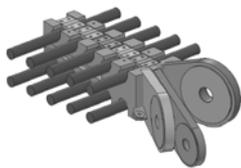


图1 盘锦体育中心体育场

与主要用于室内大空间的索穹顶结构相比,开口式全索系整体张拉结构跨度更大,且内部结

构完全由索网组成,没有压(撑)杆,比Fuller“压杆的孤岛存在于拉杆的海洋中”的结构理想更进一步;另一方面,由于中间开口且多数工程为马鞍面,整体受力情况比索穹顶更复杂。全索系整体张拉结构与包括索穹顶在内的传统预应力大跨度钢结构有着本质不同,具有“内部没有压杆的全索系拉杆海洋”的几何力学特征。因此,需对该新型结构的延性性能设计方法与安全指标进行研究。

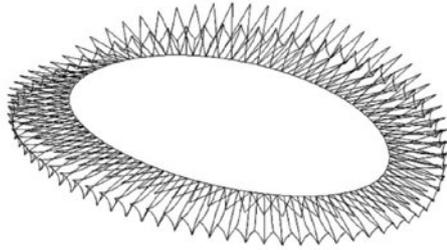
2 结构承载全过程分析研究

任何新型结构体系的应用,首先要分析其结构性能,再提出安全可靠性设计指标。基于延性的预应力大跨度钢结构稳定承载力和弹塑性变形指标已有较多研究成果。沈世钊^[5]课题组对网壳结构进行了几何非线性条件下的荷载——位移全过程屈曲分析,认为几何非线性条件下网壳结构线弹性全过程分析得到的第一个临界点处的荷载值可作为网壳的稳定承载力,此稳定承载力应为网壳设计荷载标准值的5倍。范峰^[6]、曹正罡^[7]等对球面网壳结构的弹塑性稳定性能(双非线性性能)开展研究,提出了代表材料非线性影响的塑性折减系数,对线弹性安全系数进行折减。在以上研究成果基础上,JGJ 7—2010^[8]规定“网壳稳定容许承载力(荷载取标准值)应等于网壳稳定承载力除以安全系数K。当按弹塑性全过程分析时,安全系数K可取为2.0;当按弹性全过程分析、且为单层球面网壳、柱面网壳和椭圆抛物面网壳时,安全系数K可取为4.2”。葛家琪^{[9][10][11]}等结合10余项预应力钢结构实际工程及实验研究成果,提出大跨度钢结构采用双非线性分析的体系稳定承载力与设计荷载标准值的比值,即稳定承载力系数应大于2.4。同时要求结构体系在弹塑性稳定承载力对应的荷载作用下的弹塑性变形值应小于结构跨度的 $1/40 \sim 1/50$,极限变形与屈服变形比值应大于 $1.2 \sim 1.4$,刚度偏大时取1.2,刚度偏小时取1.4。

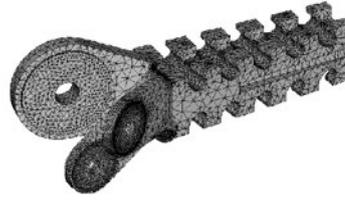
由前述全索系整体张拉结构的几何力学特征可知,内部索网所有构件均处于受拉状态,并且索材料延伸率仅为3%,远小于普通钢材延伸率的20%,基于延性的结构稳定承载力与变形能力设计是该新型结构设计的关键。

2.1 结构分析模型

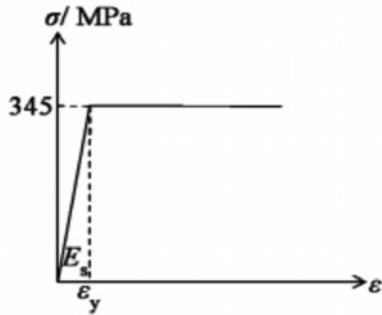
工程设计建立了包括下部看台结构的整体三维力学模型,罩篷开口式全索系整体张拉结构设



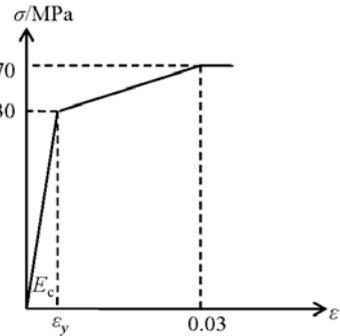
(a) 结构三维模型图



(b) 内环索节点力学模型

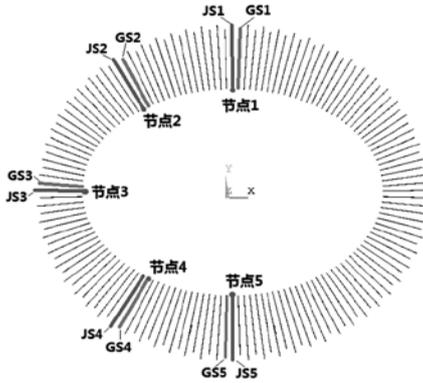


(c) 钢材理想弹塑性模型 (Q345)

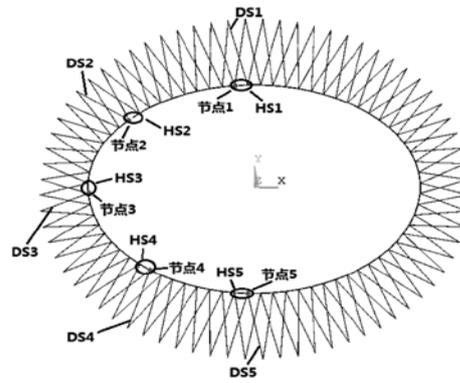


(d) 索多线性随动强化模型

图2 结构分析模型

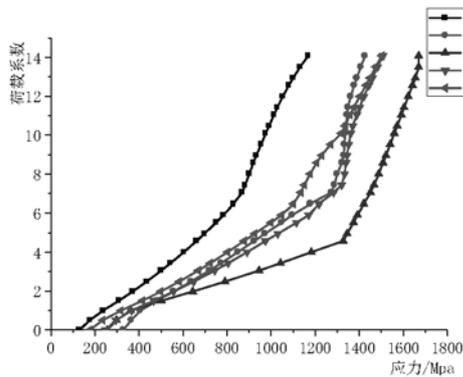


(a) 脊索、谷索位置

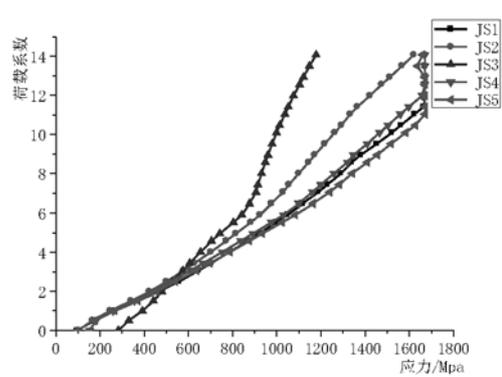


(b) 环索、吊索、节点位置

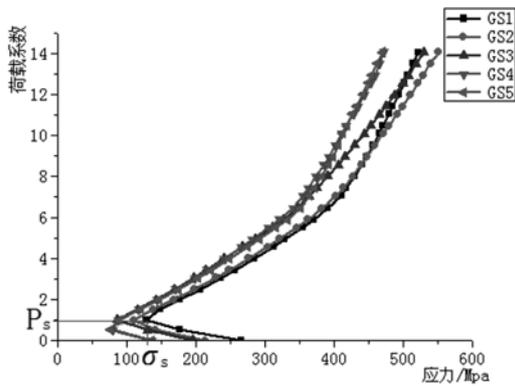
图3 结构分析选用单元及节点位置图



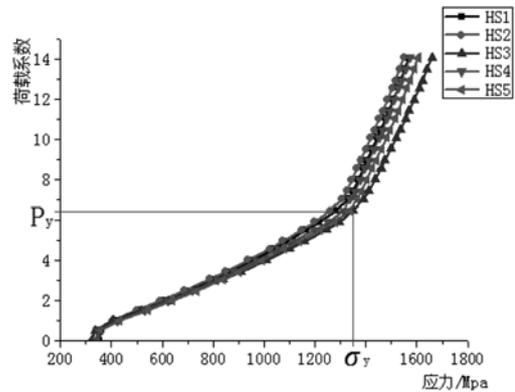
(a) 吊索荷载-应力曲线



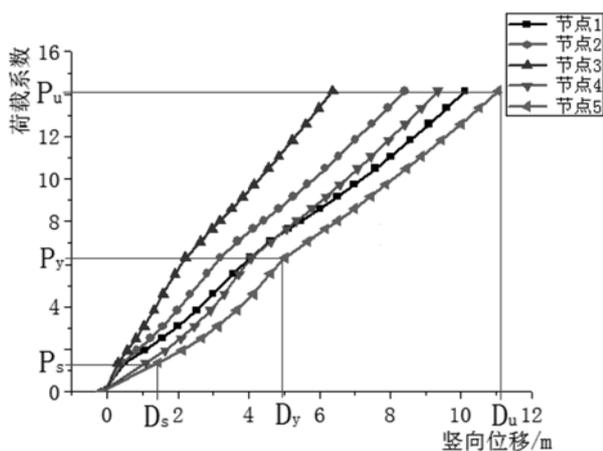
(b) 脊索荷载-应力曲线



(c) 谷索荷载-应力曲线



(d) 环索荷载-应力曲线



(e) 节点1-5荷载-位移曲线

图4 结构分析结果

计研究时,在满足设计精度条件下略去了看台结构。应用ANSYS有限元软件对结构进行全过程仿真分析研究。整体张拉结构与外周钢梁铰接,索体弹性分析时采用LINK10单元,弹塑性分析采用只拉不压LINK180单元。预应力的施加是通过给索单元设置初始应变或温度荷载模拟。钢材采用服从von Mises屈服准则的理想弹塑性应力-应变曲线,而高强钢索单元应力-应变曲线没有明显的屈服点,极限应变取为0.03左右,所以这里采用服从von Mises屈服准则和随动强化准则的多线性模型,根据实际索材张拉实验,索材的屈服应变 ε_y 取0.83%。

实际工程中预应力及荷载是分步施加,因此采用重启动分析的方法,在完成一个初始分析过程之后,续接前次计算结果并再次运行。每个加载步后考虑索单元的应力刚化效应,采用Newton-Raphson法进行非线性求解。该方法可以模拟整个施工与加载过程中结构的力学性能且计算精度高。

2.2 结构承载全过程稳定性能分析研究

为探究全索网整体张拉结构和索构件的塑性发展规律,进行基于材料非线性和几何非线性的结构双非线性分析。选取典型位置索单元进行荷载-应力全过程分析、内环索节点进行荷载-竖向位移全过程分析,单元及节点选取位置见图3,结构分析结果见图4。分析图中“0”荷载状态是结构仅在初始预应力作用下的状态,“1”荷载状态是结构在“预应力+设计荷载标准组合值(含自重)”作用下的状态,荷载系数是施加在结构上的荷载值与设计荷载标准组合值的比值,其中初始预应力不加倍。

由结构荷载-应力、荷载-位移全过程曲线分析可知,全索网整体张拉结构承载全过程分析显示其性能具有2个明显转折点和3个力学效应阶段。

(1) 在荷载系数由0~1.2时,谷索应力不断减小至整个加载过程中的最小值,这是由于谷索初始形态为上凸形,竖向荷载作用造成了谷索应力松弛。在此阶段,内环索应力基本没有变化,吊索和脊索应力小幅增大,节点1~5的竖向位移均较小。荷载系数达到0.7~1.2时,环索、吊索、谷索的荷载-应力曲线以及结构荷载-位移(节点1~3)曲线均出现第一个转折点,该转折点的加载定义为结构第一名义屈服荷载系数 P_s ,此时结构竖向最大位移定义为 D_s 。谷索应力松弛造成整体结构力学效应第一次非线性突变,但此时结构构件应力、整体变形仍很小,结构在谷索应力松弛后至内环索屈服过程中, $P_y/P_s=5.3$, $D_y/D_s=5.1$,结构具有很高的安全度,谷索应力松弛不是结构安全控制因素。

(2) 结构在预应力张拉成形状态(仅预应力作用)下,脊索、谷索、吊索、环索的初始应力分别为80~270MPa、140~270MPa、

130~320MPa、310~350MPa。初始应力不是最大的吊索3 (240MPa) 在荷载系数为4.2时应力达到1330MPa, 最先进入屈服阶段。此时, 其他吊索、环索、脊索、谷索的最大应力还未达到屈服应力, 体现结构整体刚度的节点1~5荷载-竖向位移曲线也未出现拐点, 可见局部吊索发生屈服未使整个结构的力学性能发生质的变化, 整体结构仍处于弹性阶段。当荷载系数达到6.0时, 内环索单元应力进入屈服阶段, 随后部分脊索在荷载系数约6.3、部分吊索在荷载系数为6.7时陆续进入屈服状态, 节点1~5的荷载-竖向位移曲线也基本随内环索同步出现第二个拐点, 结构进入整体屈服阶段。可见内环索沿全长应力均匀且基本同步进入屈服阶段, 对结构整体力学性能影响更大, 属于全局性构件。内环索屈服后结构整体刚度突然减小, 结构构件内力与变形随荷载增大快速增长, 称该转折点的加载为结构屈服荷载系数 P_y , 此时结构竖向最大位移定义为屈服位移 D_y 。

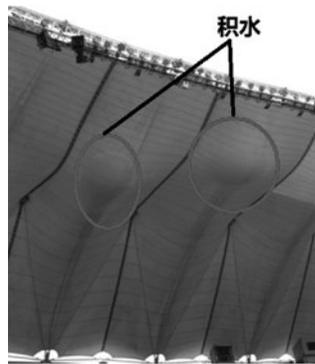
(3) 脊索在结构初始预应力状态下应力较低, 进入第二阶段屈服状态也比吊索、谷索、环索滞后, 但在荷载系数为11.0时最先达到1670MPa, 进入破坏状态。此时吊索、环索、谷索的荷载-应力曲线, 结构荷载-位移曲线显示结构仍有较强承载及变形能力。在荷载系数达到13.0、14.0时, 部分吊索、环索、脊索应力分别达到1670MPa, 结构完全丧失承载能力, 进入整体失稳状态。定义该点对应的加载为结构极限荷载系数 P_u , 此时结构竖向最大位移定义为极限位移 D_u 。

内环索进入屈服阶段的最大竖向位移为5.0m, 而最大的应变仅为0.85%, 远小于其允许应变3%, 可见整体张拉结构具有柔性结构特有的“构件小应变-体系大变形”的几何力学特点。结构在内环索屈服至结构破坏时, $P_u/P_y=2.2$, $D_u/D_y=2.3$, 结构仍然具有足够的承载能力和良好的变形能力。综合结构及索单元的承载能力、变形能力分析, 全索系整体张拉结构取内环索屈服即第二屈服点的屈服荷载系数 P_y 、屈服变形 D_y 作为结构稳定承载力及变形能力指标是合理安全的。

进一步比较发现: 由于全索系整体张拉结构没有易失稳的钢压杆, 该新型体系的稳定承载力和弹塑性变形延性性能明显高于包括索穹顶在内的有钢压杆的预应力钢结构延性性能^[7], 是结构几何力学效率更高的理想体系。

2.3 排雪水问题研究

开口式全索系整体张拉结构跨度大、刚度小, 基于柔性索网结构几何稳定、力学高效要求设置了“脊索-谷索”结构单元, 结构单元间的谷索成为雪水聚积的薄弱部位。国内外相关规范一般在

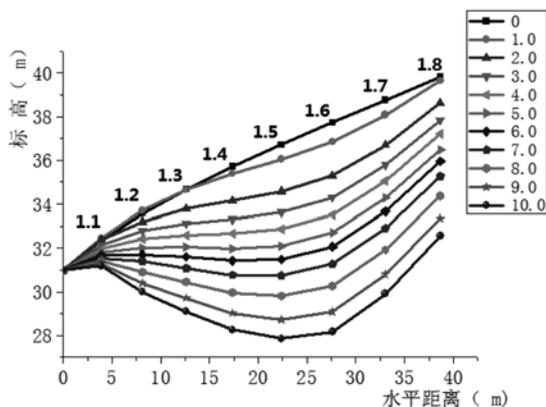


(a) 某体育场罩棚雪后积水

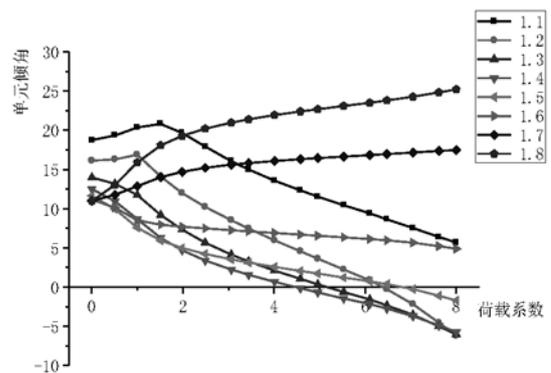


(b) 国外某体育馆雪后坍塌

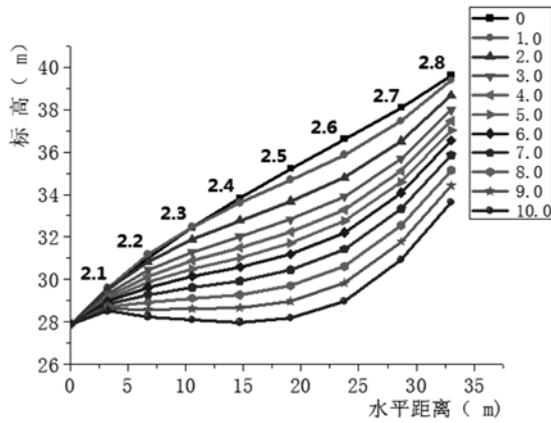
图5 结构雪灾现象



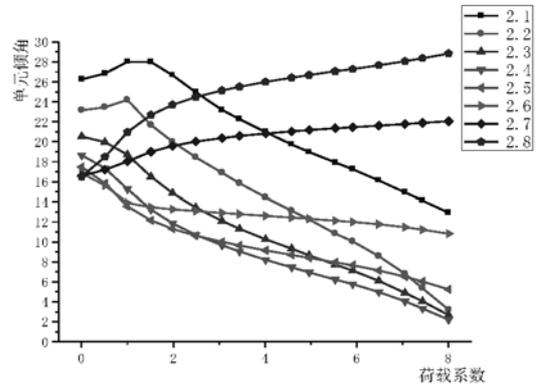
(a) 谷索1形状变化



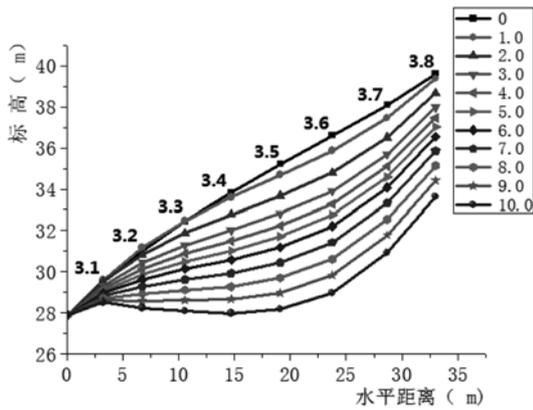
(b) 谷索1各单元倾角变化



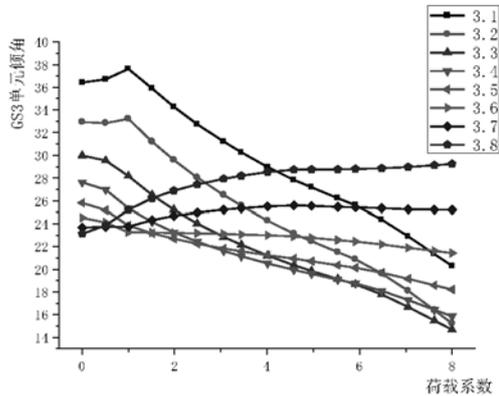
(c) 谷索2各单元倾角变化



(d) 谷索2形状变化



(e) 谷索3各单元倾角变化



(f) 谷索3形状变化

图6 谷索1~3整体形状及节点排水角度变化图

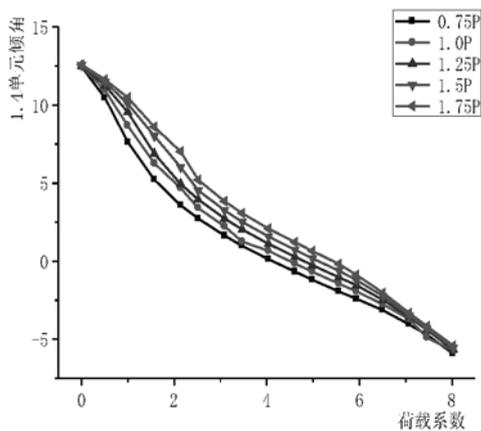


图7 不同预应力度下1.4单元倾角随荷载系数变化

建筑构造设计中提出排雪水顺畅要求,但没有具体设计指标。工程实践中参考轻钢结构设计经验,要求谷索在设计荷载标准组合值作用下的排水角度大于7°。谷索处雪荷载聚积将加大谷索变形,加大的变形又将产生雪水的再聚积,这是该类建筑

特有的“雪水荷载非线性”现象。如果对谷索变形能力设计不当,造成谷索由上凸形变为下凹,即发生形状松弛时,将严重影响工程的正常使用并产生安全隐患。国内外已建成的整体张拉结构频繁出现雪后积水问题(如图5(a)),国外某整体张拉结构体育馆在一场暴雪后坍塌(如图5(b))。目前国内外针对整体张拉结构雪后积水问题的设计与指标,还鲜有研究。

选取盘锦体育中心罩篷结构最长且初始排水角度最小的谷索1、最短且初始排水角度最大的谷索3以及介于两者之间的谷索2为研究对象,每根谷索均分为8个单元,提取谷索竖向位移与排水倾角随荷载系数的变化规律,见图6。为探索改善排水性能的措施,还对谷索1进行不同预应力度下的位形分析,见图7。

由图6、7显示结果分析可知:

(1) 结构在包括雪荷载在内的标准组合设计荷载作用下,谷索1前部节点1.6最大竖向变形,约0.88m,为1/45索长;节点1.5的排水角度最小,

约为 7.5° ；其他谷索的最小排水角度远大于 7° ，满足排水水功能要求。

(2) 依据《建筑结构荷载规范》(GB50009-12)^[12]，整体张拉结构谷索处考虑堆雪放大效应的雪荷载分布系数为2.0。结构加载至荷载系数为2.0时，谷索端部的内环索竖向位移突然加大到1.2m，谷索中间节点1.6的竖向位移达到2.44m，扣除环索处整体变形，谷索实际竖向变形1.24m，为 $1/31$ 索长，排水角度约为 5° ，正常情况下满足排水水的要求，但对于春季易融化雪水，可能会造成排水水不畅。

(3) 考虑到全索系整体张拉结构大变形引起的“雪水荷载非线性”特点，分析研究将结构加载至荷载系数为4.5时，谷索中间节点的相对竖向变形1.64m，为 $1/24$ 索长。谷索1中间节点1.4的排水角度接近 0° ，整体形状由倾斜向上凸起变为下凹槽形，即谷索发生形状松弛而丧失排水能力。由于大气环境的不断变化，超出设计规范标准的恶劣天气时有发生，取荷载系数4.0时谷索不发生形状松弛且排水角度 $\geq 0^\circ$ ，作为全索系整体张拉结构性能设计指标是合理的。

(4) 图7显示，在整体张拉结构及索构件不变的情况下，将初始预应力提高1.50倍，谷索1.4节点排水倾角角度 7° 时荷载系数由1.3增加到1.8；倾斜角度为 5° 时荷载系数由2.0增加到2.4；倾斜角度为 0° 时荷载系数由4.5增加到5.4；增幅均在20%以上，可见加大预应力是改善整体张拉结构排水水功能的有效措施之一。

3 基于延性的结构性能设计方法与指标

通过对预应力全索系整体张拉结构的工程设计研究，提出基于承载全过程分析、体现结构荷载—力学效应特征的多阶段性能设计方法与指标。

(1) 根据相关设计标准及材性试验，确定钢索弹性模量、屈服强度 σ_y 、极限强度 σ_u 、线膨胀系数、索夹连接节点摩擦系数、边界约束等参数，建立结构整体计算模型，考虑几何、材料双重非线性，进行结构承载全过程分析，并绘制结构荷载—竖向位移，荷载—索应力全过程曲线。

(2) 结构弹性阶段设计：在基本组合设计荷载值下，索构件应力 σ_1 应 >0 ， $<0.40\sim 0.45\sigma_u$ ，由于内环索对整体结构影响大，其弹性阶段的应力比应取低值。标准组合设计荷载下，内环索竖

向变形 d_1 应满足建筑造型、灯光等功能要求，并应 $<1/40\sim 1/50$ 倍的悬挑长度；谷索竖向变形后曲线最小倾角应大于 7° 。

(3) 结构谷索形状松弛阶段排水水设计：谷索在承载全过程中的几何形状由外凸渐变为内凹，尽管此时结构的承载能力及变形能力可以持续，但会造成雪雨水不断聚积的荷载非线性现象，对结构构成重大安全隐患，因此应特别加强谷索在非正常荷载作用下的变形能力：2倍标准组合设计荷载作用下谷索的向上倾角应大于 5° ；荷载系数为4.0时谷索不发生形状下凹松弛且倾角应大于 0° 。加大预应力是改善谷索排水水功能的有效措施之一。

(4) 结构失稳阶段延性性能设计：全索系整体张拉结构不同于传统预应力钢结构，它的内部无钢压杆而全为高强度拉索构件，结构体系的屈服荷载系数及变形能力明显高于包括索穹顶在内的有钢压杆的预应力钢结构体系。内环索是结构的关键环节，应适当加强。可以将内环索进入屈服阶段性能点对应的荷载系数 P_y ，屈服变形 D_y 作为延性性能设计指标。结构稳定承载力系数取 P_y 、 $P_u/(1.5\sim 2.0)$ 的较小值，并要求大于4.5；结构在稳定承载力作用下的变形应小于 D_y 、 $L/(20\sim 30)$ 、 $D_u/(1.5\sim 2.0)$ 的最小值。

参考文献

- [1] Fuller, R.B., Tensile-integrity structures, United States Patent 3,063,521, November 13, 1962.
- [2] Geiger, D.H., Stefaniuk, A., Chen, D., The design and construction of two cable domes for the Korean Olympics. Proceedings of the IASS symposium on Shells, Membranes and Space Frames, Osaka, Japan, 1986, 2:265-272.
- [3] D.H.Geiger. Design Details of an Elliptical Cable Dome and A Large-span Cable Dome Under Consturction in the United States. Proc. IASS Symp., On Innovative Applications of Shells and Spatial Forms, Bangalore, Oxford&IBH Publ. Co., 1988.
- [4] 张国军, 葛家琪. 内蒙古伊旗全民健身体育中心索穹顶结构体系设计研究 [J]. 建筑结构学报, 2012, 33(4): 12-22. 张国军, 葛家琪, 王树, 等. 内蒙古伊旗全民健身体育中心索穹顶结构体系设计研究 [J]. 建筑结构学报, 2012, 33(4): 12-22. (ZHANG Guojun, GE Jiaqi, WANG Shu, et al. Design and research on cable

dome structural system of the National Fitness Center in Ejin Horo Banner, Inner Mongolia [J]. Journal of Building Structures, 2012, 33(4): 12-22. (in Chinese)

[5] 沈世钊. 大跨空间结构的发展——回顾与展望[J]. 土木工程学报, 1998, 31(3): 5-14. (SHEN Shizhao. Development of long-span structures——a review and prospect[J]. China Civil Engineering Journal, 1998, 31(3): 5-14. (in Chinese))

[6] 范峰, 马会环, 张洋, 等. 碗式半刚性节点网壳弹塑性稳定分析[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2010, 42(10): 1514-1518. (Fan Feng, Ma Huihuan, Zhang Yang, et al. Elasto-plastic analysis on single layer reticulated domes with socket-joint system [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2010, 42(10): 1514-1518. (in Chinese))

[7] 曹正罡, 孙瑛, 范峰, 沈世钊. 单层柱面网壳弹塑性稳定性能研究[J]. 土木工程学报, 2009, 42(3): 55-59. (Chao Zhenggang, Sun Ying, Fan feng, Shen Shizhao. Elasto-plastic stability of single-layer cylindrical reticulated shells [J]. China Civil Engineering Journal, 2009, 42(3): 55-59. (in Chinese))

[8] JGJ7—2010 空间网格结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010. (JGJ 7—2010 Technical specification for space structures [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2010. (in Chinese))

[9] 葛家琪, 张爱林, 杨维国等. 基于性能的大跨度钢结构设计研究[J]. 建筑结构学报. 2011, 32(12): 29-36. (GE Jiaqi, ZHANG Ailin, YANG Weiguo et al. Performance based design and research of large span steel structures [J]. Journal of Building Structures, 2011, 32(12): 29-36. (in Chinese))

[10] 葛家琪, 王树, 梁海彤等. 河南艺术中心大剧院钢屋盖基于延性的性能化设计研究[J]. 建筑结构, 2008, 38(12): 1-6. (GE Jiaqi, WANG Shu, LIANG Haitong, et al. Ductility performance design and research of the theatre steel roof of Henan Provincial Art Centre [J]. Building Structure, 2008, 38(12): 1-6. (in Chinese))

[11] 葛家琪, 王树, 梁海彤等. 2008 奥运会羽毛球馆新型弦支穹顶预应力大跨度钢结构设

计研究, 建筑结构学报, 2007(6): 10-21. (GE Jiaqi, WANG Shu, ZHANG Guojun, et al. Design and research of structural system of intestine prestress large span penetrated weld pipe truss [J]. Building Structure, 2009, 39(10): 58-61. (in Chinese))

[12] GB50009—2012 建筑结构荷载规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012. (GB50009—2012 Load Code for the design of building structures [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2012. (in Chinese))

中航资本大厦超高层结构抗震设计

■ 樊钦鑫 杨超杰 金来建 谢军 徐志坚 付锦龙 冯丹 李令 [结构]

摘要: 中航资本大厦建筑高度约220m,地上43层,是一座超高层5A甲级写字楼,为高度超限,平面及竖向不规则结构^[1]。通过不同结构方案比较,采用钢管混凝土柱+型钢混凝土核心筒+环臂桁架+型钢楼面梁+现浇混凝土楼板结构体系。本文首先介绍结构体系、地基基础等设计要点,重点介绍穿层柱、拉应力等设计问题的解决方法。根据工程抗震超限情况提出了抗震性能化设计目标和方法^[2]。通过小震、中震整体计算、罕遇地震下弹塑性分析结果,表明本工程的性能化设计目标合理,结构设计安全可靠。

关键词: 钢管混凝土柱; 结构体系; 拉应力; 环臂桁架; 抗震性能化设计

1 项目概况

中航资本大厦位于北京市朝阳区大望京地块;总建筑面积约为13648m²,是一幢建筑高度220m的超高层5A甲级写字楼(图1、2)。地上为43层塔楼带4层裙房,功能主要为写字楼配套商业,标准层层高底区4.2m、高区4.5m,地上建筑面积约为91480m²,其中商业裙房面积约11500m²,塔楼办公面积约79980m²;地下5层,为商业、设备用房,建筑面积约45000m²。

塔楼标准层外平面为凹凸弧线形,外围平面尺寸约44m×48m,内部混凝土核心筒为矩形,平面尺寸约20m×25m,主要用作高速电梯、设备用房和服务用房不等。

2 结构总体介绍

2.1 设计参数

主体结构设计使用年限为50年,安全等级为



图1 建筑实景图

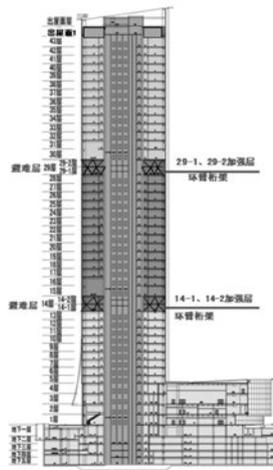


图2 功能分区图

二级,建筑抗震设防类别为丙类;基本雪压值:0.40kN/m²;规范基本风压值:0.45kN/m²(50年),0.50kN/m²(100年),地面粗糙度:C类,与风洞实验结果对比进行包络设计;本地区抗震设防烈度为8度,设计基本地震加速度值为0.20g,设计地震分组为第一组,场地类别为III类,多遇地震特征周期T_g=0.45s,罕遇地震T_g=0.5s。

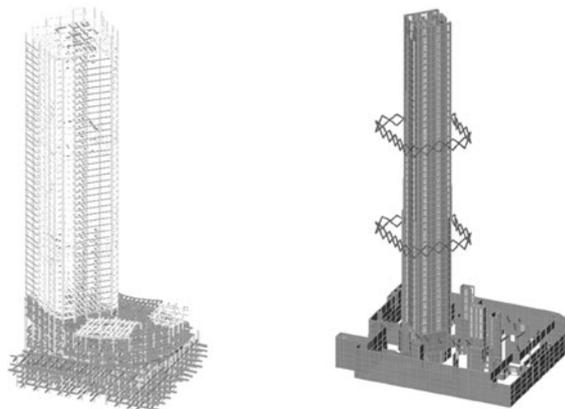
作者简介:樊钦鑫,男,高级工程师,2009年毕业于哈尔滨工业大学结构专业,现就职于航空工业规划建筑设计研究院。

2.2 结构体系确定

主楼结构体系考虑经济性、利用率、施工技术及国内外应用情况等因素,采取框架-核心筒混合结构:高强混凝土剪力墙+圆钢管混凝土柱+型钢楼面梁+现浇混凝土钢筋桁架楼承板(图3、4)。

核心筒采用型钢混凝土墙,外墙厚度从下至上由1000mm减少至500mm。外框架柱采用圆钢管混凝土柱^[5],从下至上截面由 $\Phi 1200 \times 35$ 减少至 $\Phi 800 \times 20$ 。墙柱混凝土强度等级从下至上C60~C40。

塔楼高宽比 $H/B=205.25/43=4.77$,核心筒高宽比 $H/B_1=205.25/21.1=9.73$ 。结合避难层和设备层在F14-1/14-2、F29-1/29-2设置两道环臂桁架加强层,利用外框架柱的轴向刚度有限增加结构整体的抗弯刚度,从而提高侧向刚度。



(a) 外框架模型图 (b) 核心筒模型图

图3 结构体系示意图

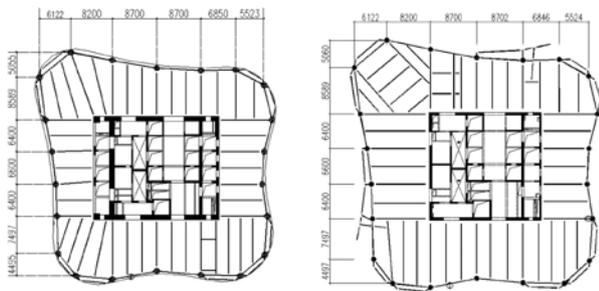


图4 结构体系示意图

钢筋混凝土筒体是抗侧力体系的主要组成部分,抵抗了大部分水平外力,包括风荷载和地震作用。外框架主要承担竖向荷载作用,并构成结构抗侧力的第二道防线。外框架柱间距从6.6m~8.8m不等,与内筒间距8.4m~13.0m不等。

2.2.1 主楼楼面梁选型

为减小施工期间构件竖向变形差引起的附加内力,楼面梁与核心筒采取铰接连接,楼面梁与外框架柱连接综合考虑结构整体指标、内力、施工难度及造价因素最后选取铰接连接,对比如下表:

表1 楼面梁与外框架柱刚铰接对比

楼层	楼面梁与框架柱刚接	楼面梁与框架柱铰接
结构层间位移角	X向1/638 Y向1/645	X向1/631 Y向1/640
基底剪力	X向32501KN Y向32076KN	X向31967KN Y向32524KN
刚重比	X向3.30 Y向3.26	X向3.24 Y向3.38
截面	H600×300×10×16	H500×200×9×14
计算模型	一端固接,一端铰接	两端铰接组合梁
施工附加内力	有	无
造价	标准层采用刚接比较铰接所用钢量约多10吨钢材	

2.2.2 主楼加强层选型

加强层形式、位置的确定根据结构的侧向刚度决定的,先选取三种方案比较如下表:

- 不设置加强层加大外框架梁高度到1.1m;
- 设置仅两道环臂桁架的加强层,外框架高度为0.85、0.95、1.0m。
- 设置两道伸臂+环臂桁架的加强层,外框架高度为0.85、0.95、1.0m。

表2 层间位移角对比

模型	X向层间位移角	Y向层间位移角	限值
模型a	1/569	1/575	1/602
模型b	1/631	1/640	1/602
模型c	1/695	1/700	1/602

根据以上结果可以看出:不设置加强层的模型a层间位移角不满足要求,但是相差不是很多,所以考虑加强有限刚度原则满足层间位移角要求。

只在F14-1/14-2, F29-1/29-2设置环臂桁架加强, 没有设置刚度较大的伸臂桁架, 刚度在加强层附近发生有限突变。外框架柱间设置的环臂钢桁架腹件采用承载能力高、整体稳定性好箱型截面。协调各外围框架柱内力及变形以尽可能发挥结构的空作用。

2.3 地基基础设计

本工程主塔楼为超高层建筑, 荷载较大, 对沉降变形敏感, 天然地基的变形不能满足设计要求, 结合北京地区类似工程的经验, 主楼基础采用桩筏基础。筏板厚度为3m。桩为泥浆护壁钻孔灌注桩(桩侧全长及桩底后压浆), 桩径800mm, 桩长33m, 以卵石、圆砾 \otimes 1层作为桩端持力层, 单桩竖向承载力特征值7200kN。采用JCCAD的桩筏有限元软件计算主塔楼的主体竣工沉降量约为68mm。主塔楼筏板整体挠曲值为0.1‰, 主塔楼和裙房沉降差为0.001L0.满足桩基规范要求。

裙房及纯地下室部分竖向荷载较小, 采用天然地基, 筏板基础。持力土层为 $\textcircled{5}$ 层、 $\textcircled{6}$ 层, 综合考虑的地基承载力标准值为 $f_{ka}=200\text{kPa}$ 。裙房及纯地下室部分的抗浮方案采用抗拔锚杆。

3 超限情况及抗震性能目标

3.1.1 地震动参数确定

多遇地震安评报告设计反应谱曲线与规范设计反应谱曲线的对比图(见图5):

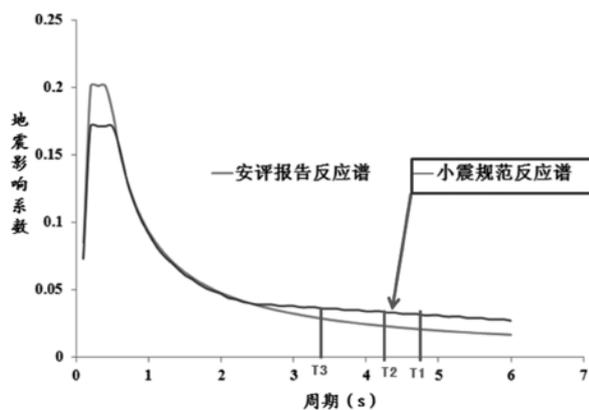


图5 多遇地震动反应曲线图

安评同抗震规范相比, 在多遇地震作用下, 地震影响系数最大值 α_{\max} 更大, 但是长周期衰减更快。从图中看出结构前三阶周期位于反应谱下降段上, 且规范反应谱地震影响系数明显比安评谱大。

通过计算如下表, 规范反应谱比安评谱比较基底剪力更大, 故小震计算时采用规范反应谱进行分析。

表3 基底剪力比较

参数	安评基底剪力KN	反应谱基底剪力KN
X地震	27175	31967
Y地震	28139	32524

设防烈度及罕遇地震安评报告设计反应谱曲线与规范设计反应谱曲线对比图(见图6):

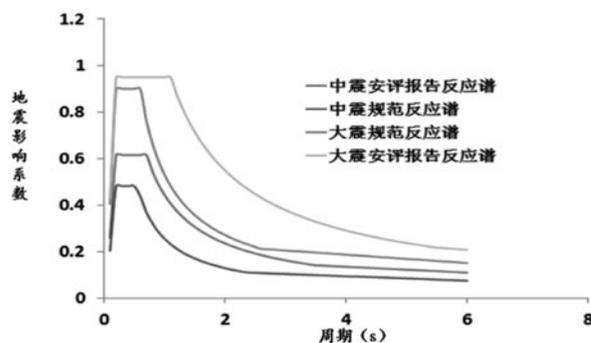


图6 中震、大震地震动反应曲线图

安评报告的中震、大震的反应谱曲线地震影响系数、特征周期均较大, 综合考虑结构设计的经济性, 采用规范地震动反应谱进行中震及大震下重要构件不屈服或弹性的性能目标验算。

3.1.2 超限情况

在《高层建筑混凝土结构技术规程》^[3]表11.1.2中钢管混凝土框架-钢筋混凝土核心筒混合结构系在八度区0.2g适用高度为150m, 本结构在高度上超限36.83%; 结构在平面上塔楼和裙房未设置结构缝, 裙房形体较复杂所以造成平面扭转不规则, 塔楼范围内除一、二、十五、三十、四十二层楼板局部开洞外, 其他楼层楼板连续, 无较大开洞, 不存在其他平面不规则情况; 结构在竖向根据建筑要求在首层布置通高框架柱, 同时为控制结构的位移角, 提高结构刚度, 利用建筑避难层F14-1、14-2、29-1、29-2设置了结构加强层, 导致其下层13、28层抗侧力结构的侧向刚度小于相邻上一层的90%, 造成竖向侧向刚度不规则。

3.1.3 性能化设计目标

综合考虑抗震设防类、设防烈度、场地条件、结构超限程度等因素, 提出在三水准地震作用下的抗震设计性能目标^[4]见表4。

表4 主要构件性能指标

抗震设防水准		多遇地震	设防烈度	罕遇地震
性能目标		完好无损	轻微破坏	中度损坏
层间位移限值		1/602	—	1/100
计算方法		反应谱、时程分析	反应谱	反应谱、时程分析
框架柱	底部加强区	弹性	抗剪弹性、拉压弯不屈服	抗剪截面满足限值：允许抗弯进入塑性保证生命安全
	穿层柱	弹性	抗剪、拉压弯弹性	允许抗弯进入塑性保证生命安全
	加强层			
	除上述框架柱外的柱	弹性	抗剪、抗弯不屈服	
核心筒剪力墙	底部加强区、加强层	弹性	a抗剪弹性、拉压弯不屈服	
	拉应力较大墙肢	弹性	a抗剪、拉压弯弹性 b拉应力不大于2 ftk	允许抗弯进入塑性保证生命安全
	除上述外墙体	弹性	抗剪、抗弯不屈服	
加强层环臂桁架		弹性	抗剪抗弯不屈服	允许进入塑性保证生命安全
塔楼与裙房连接薄弱部位框架柱、框架梁		弹性	抗剪抗弯不屈服	允许进入塑性保证生命安全
混凝土框架梁、连梁		弹性	屈服但具有竖向承载能力	允许进入塑性不倒塌
结构加强层上下水平楼板及裙房细部部位		弹性	弹性	—
关键节点		弹性	弹性	—

注：罕遇地震下构件塑性较发展程度参照美国FEMA356。中、大震等效弹性计算方法考虑结构连梁刚度折减系数0.3。

3.1.4 抗震等级

表5 结构各部分抗震等级

位置	结构部位	抗震等级	
主塔楼及地下室	-2、-3、-4、-5层框架及剪力墙	一级、二级、三级递减	
	-1层~裙房砼框架	特一级	
	-1层~屋顶剪力墙	特一级	
	地上6层及以上框架	一级	
裙房	地上1~5层框架	特一级	
	与塔楼整体计算设计		同塔楼
	单裙房计算	地上剪力墙	一级
地上框架		二级	

注：主楼地上五层为剪力墙底部加强区

4 整体结构抗震分析

结构整体分析时采用ETABS和PMSAP软件进行小震下反应谱分析，采用弹性时程分析法对振型分解反应谱法进行小震下的补充验算，采用振型分解反应谱法考虑部分混凝土构件开裂后刚度折减对关键构件进行中震验算，采用Midas building软件动力弹塑性时程法进行罕遇地震下的承载力和变形验算^{[6][7]}。

4.1 小震下弹性分析

4.1.1 计算模型的选取（见图7）

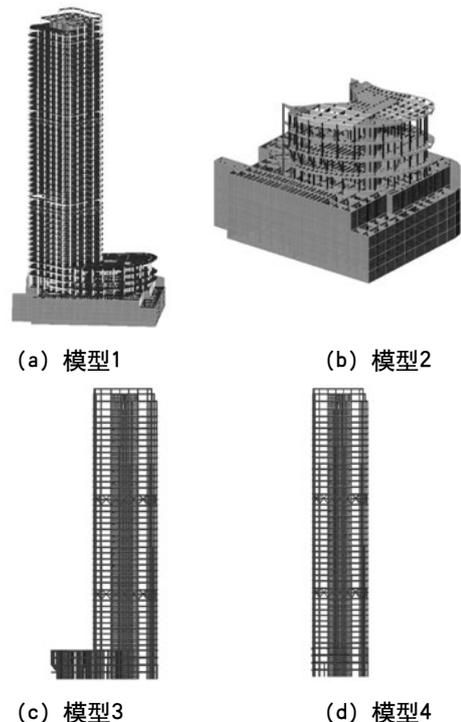


图7 计算模型示意图

表6 模型适用性

模型	适用性
模型1	(塔楼+裙房+地下室) 适用于整体嵌固条件、构件承载力及配筋包络设计
模型2	(裙房+地下室) 适用于裙房构件承载力及配筋包络设计
模型3	(塔楼+裙房) 适用于塔楼+裙房结构整体指标
模型4	(塔楼) 适用于单塔结构整体指标

注：以下各节的计算指标，除特殊注明外均采用模型四验算。

4.1.2 单塔反应谱的主要计算结果

表7 模型4主要计算结果对比

参数		ETABS	PMSAP
振型(s)	第一周期	4.41 (X)	4.79 (X)
	第二周期	4.21 (Y)	4.59 (Y)
	第三周期	2.83 (RZ)	3.37 (RZ)
周期比	T3/T1	2.83/4.41=0.64	3.37/4.79=0.70
剪重比	X向地震	(首层) 2.9% 限值2.7%	(首层) 2.55% 限值2.549%
	Y向地震	(首层) 2.9% 限值2.7%	(首层) 2.59% 限值2.578%
地上首层剪力(kN)	X向地震	35910KN	31967 KN
	Y向地震	35650KN	32524 KN
最大层间位移角	X向地震	1/4455(首层) 1/677(第38层)	1/3553(首层) 1/631(最大第36层)
	Y向地震	1/4412 (首层) 1/686 (最大38层)	1/3564(首层) 1/640(最大36层)
刚重比	X方向	3.49	3.24
	Y方向	3.46	3.38
侧向刚度比	X方向	0.90 (28/29-1层) 0.92 (13/14-1层)	0.84 (28/29-1层) 0.83 (13/14-1层)
	Y方向	0.92 (28/29-1层) 0.95 (13/14-1层)	0.87 (28/29-1层) 0.85 (13/14-1层)
受剪承载力比	X方向	0.8 (28层与29-1层比值) 0.81 (13层与14-1层比值)	0.77 (28层与29-1层比值) 0.78 (13层与14-1层比值)
	Y方向	0.8 (28层与29-1层比值) 0.81 (13层与14-1层比值)	0.77 (28层与29-1层比值) 0.77 (13层与14-1层比值)

位移比 (考虑5%偶然偏心)	X方向地震 (位移比)	1.236 (首层) 1.240 (第二层) 1.228 (第三层) 其余层均小于1.2	1.33首层 1.31 (第二层) 1.28 (第三层) 其余层均小于1.25
	Y方向地震 (位移角比)	1.198 (首层) 1.212 (第二层) 1.202 (第三层) 其余层均小于1.20	1.29 (首层) 1.27 (第二层) 1.26 (第三层) 其余层均小于1.24
底框承担倾覆力矩	X方向	30.4%	31.8%
	Y方向	31.5%	32.2%
累计有效质量	X方向	97%	95.7%
	Y方向	96%	95.6%
结构抗倾覆比	X方向	—	6.27
	Y方向	—	6.23
风舒适加速度	X方向	—	0.03973
	Y方向	—	0.03868
地上总质量(吨)	129006t	128807t	

上述计算结果表明，PMSAP和ETABS的计算结果基本相符，单塔计算周期比、剪重比、刚重比、受剪承载力比、振动质量参与系数、抗倾覆力矩、顶部风舒适加速度等都满足规范要求；主楼结构层间位移小于1/602，考虑偶然偏心影响的地震作用下，由于裙房形体不规则同时塔楼与裙房偏心连在一起无法设置结构缝，扭转位移比大于1.2。由于在加强层14-1/14-2/29-1/29-2设置环臂桁架，使得13、28层刚度发生突变，导致侧向刚度比值为0.83，小于规范规定0.9。13层、28层为薄弱层，对应的地震作用标准值剪力乘以1.25的增大系数。主要指标对比见图8、9、10；

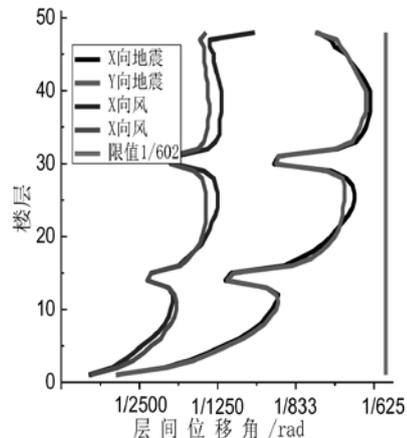


图8 楼层位移角曲线

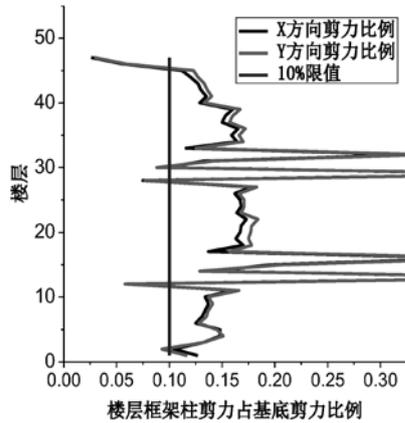


图9 框架承担楼层剪力比值

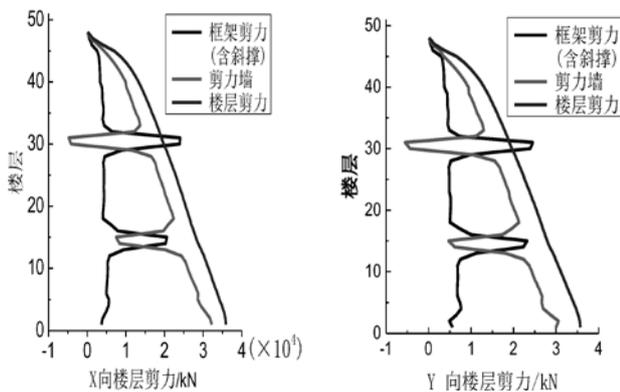
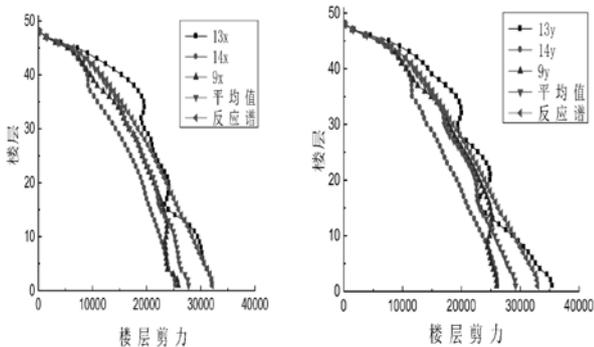


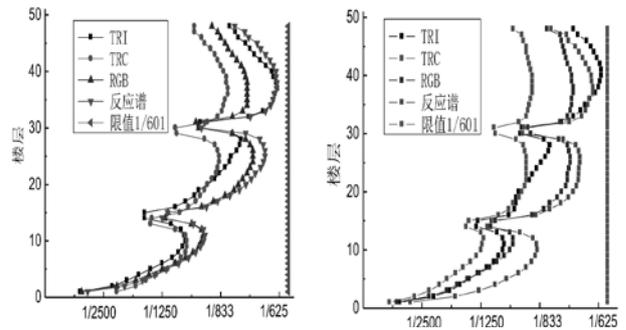
图10 X/Y向墙柱剪力分布图

4.1.4 弹性时程补充分析

本工程结构弹性时程分析采用中国地震局地球物理研究所提供的Ⅲ类场地设计特征周期 $T_g=0.45s$ 的两条天然波(Imperial Valley-06、Chi-Chi, Taiwan)和一条人工波进行整体补充计算。3条地震波平均地震影响系数曲线与振型分解反应谱法所采用的地震影响系数曲线在统计意义上相符满足规范要求,具体计算结果见图11、12。



(a) X向地震剪力比较 (b) Y向地震剪力比较
图11 反应谱与弹性时程地震剪力比较



(a) X向层间位移角 (b) Y向层间位移角
图12 反应谱与弹性时程层间位移角比较

从图中可以看出三条地震波作用下X方向层间位移角最大值为 $1/606$, Y方向层间位移角最大值为 $1/616$,均满足规范层间位移角要求。

每条时程曲线计算的基底剪力不小于反应谱法计算结果的65%,不大于135%,多条时程曲线计算结果的基底剪力平均值不小于反应谱法结果的80%,三条震波计算结果均满足规范要求。

结合地震时程分析结果和地震反应谱分析结果,为合理考虑结构的高阶振型对结构的抗震性能的影响,对结构高区的楼层地震力取弹性时程包络值进行放大设计。

4.2 结构中震、大震等效弹性分析

4.2.1 主要抗侧力构件结构分析

框架柱: 底部加强部位的框架柱在中震作用下,按主楼模型考虑多道防线的剪力调整,偏压承载力按不屈服复核,偏拉和受剪承载力满足弹性的要求;加强部位以上框架柱的偏压和受剪承载力满足中震不屈服的要求。

核心筒: 在双向水平地震作用下,底部加强部位和加强层相关部位的主要墙肢(核心筒外围墙肢),偏拉承载力按拉应力的大、小分别满足中震弹性和不屈服的要求,受剪承载力按中震弹性复核并满足大震的截面剪应力控制要求。加强部位以上的主要墙肢,承载力满足中震不屈服的要求。

4.2.2 加强层结构分析

在中震下,考虑加强层(见图13)14-1、14-2、29-1、29-2其相邻层混凝土楼板未退出工作,对加强层环臂桁架、框架柱、框架梁进行中震不屈服承载力和稳定验算分析。

在大震下,考虑加强层14-1、14-2、29-1、29-2其相邻层混凝土楼板开裂退出工作,对加强层环臂桁架、框架柱、框架梁进行大震不屈服抗剪

截面验算分析;

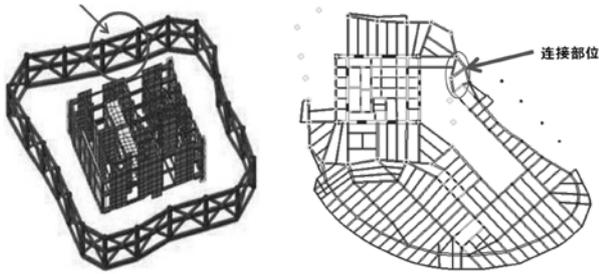


图13 加强层14-1/14-2结构图 图14 首层塔楼与裙房连接薄弱部位

4.2.3 塔楼与裙房连接薄弱部位分析

为加强塔楼与裙房连接的薄弱部位(见图14)的安全度,对相连接的框架柱采用钢管混凝土柱,框架连为钢管混凝土梁,满足中震不屈服的性能化设计目标。

4.2.4 考虑楼板应力分析

中震作用下,结构主受力构件开始出现屈服,为有效保证剪力墙筒体和外框架及环臂桁架的变形协调,关键部位楼盖体系应具有足够的刚度,在中震作用下,验算加强层及相邻层楼板应力状态。并能根据分析结果有针对性地对楼板的薄弱部位进行加强。计算原则:a)在中震弹性作用下采用弹性楼板模型;b)楼面主剪应力由楼板来承担,验算楼板的厚度,最终确定楼板厚度为130mm;c)楼面主拉应力由钢筋承担,确定地震下双层双向钢筋网,配置双向双层钢筋网,配筋率不小于0.25%,而竖向荷载作用下的钢筋作为附加钢筋设计;d)在加强层及相邻上下楼盖设置交叉水平支撑,保证楼板开裂后仍能承担地震力的有效传递。

4.2.5 穿层柱设计

在中震情况下,首层8根双向穿层柱(通高11m),15层6根单向穿层柱(通高10m)、30层8根单向穿层柱(通高10m)、42层5根单向穿层柱(通高10m)应达到预先设定的结构中震弹性验算下的性能目标(见图15)。

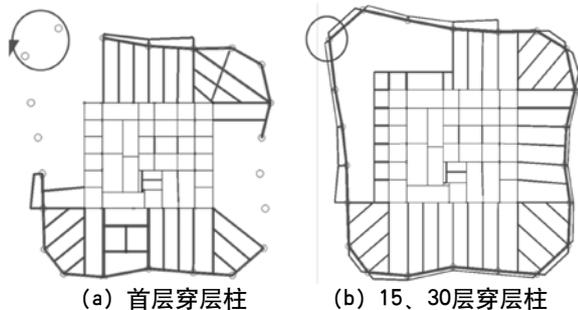


图15 最不利内力控制点位置图

计算原则:

(1)双向穿层柱按压弯构件进行中震弹性验算,根据单向地震确定合力方向的计算最大弯矩设计值,并沿框架平面内方向考虑穿层柱柱的剪力放大系数来调整弯矩设计值,剪力放大系数为该方向本层所有非穿层柱的最大楼层剪力与穿层柱楼层最大剪力标准值的比值。计算结果见表8。

(2)单向穿层柱进行平面外中震弹性验算,平面内程序已经考虑。沿框架平面外通高方向考虑穿层柱柱的剪力放大系数来调整弯矩设计值,其中剪力放大系数为本层与穿层柱受力特点相同的非穿层柱最大剪力标准值与穿层柱楼层最大剪力标准值的比值。

表8 首层的中震性能指标情况

楼层	首层最不利位置	
	X方向	Y方向
截面	钢管混凝土柱 Φ1300X35	钢管混凝土柱 Φ1300X35
穿层柱楼层 最大剪力	403.7KN	321.3KN
同层非穿层柱楼层 最大剪力	925.6KN	877.3KN
剪力放大倍数	2.29	2.73
根据剪力调整前弯矩 组合值(调整后 弯矩组合值)	6551KN.M (15020KN.M)	4772KN.M (13030 KN.M)
轴压力组合值	57032KN	47831KN
偏心率	0.428	0.443
套箍比	1.26	1.26
计算长度系数	1.87	1.87
长细比	27.79	27.79
最大应力比	0.899	0.766

4.3 罕遇地震下结构动力弹塑性时程分析

根据性能化设计目标对塔楼进行罕遇地震作用下结构动力弹塑性时程分析,重点通过对结构整体指标和构件性能两个方面来评判结构体系是否安全可靠,详细结果见参考文献^[10]。

5 关键技术难点设计

本工程位于高烈度区,超高层结构设计的主要难点在于底部墙肢拉应力的控制,从受力角度设置伸臂、环臂桁架充分发挥框架轴向刚度最有效降低核心筒拉力;但是从经济性考虑,每层伸臂桁架造价约为1000万,而且施工复杂,侧向刚度突变更严重;所以综合考虑结构高度、内筒布置、受力情况及经济性等,通过仅设置环臂桁架、合理调整结

构核心筒布置来有效控制核心筒的拉应力^{[8][9]}。

5.1 中震下核心筒拉应力验算

拉应力较大墙肢为底部加强区与加强层区域的核心筒外墙肢(如图示意),尤其是角部墙肢;控制指标:中震作用时双向水平地震下墙肢全截面由轴向产生的平均名义拉应力不大于2倍混凝土抗拉强度标准值(5.7 MPa);列取了典型墙肢W7、W12拉应力计算结果见图16、17。

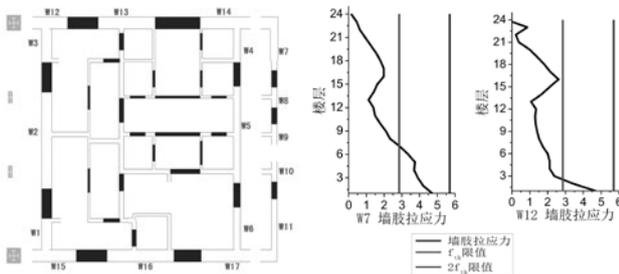


图16 墙肢编号图 图17 核心筒墙体典型墙肢拉应力图

表9 中震作用下拉应力详细结果

W12	X向 拉力 KN	Y向 拉力 KN	Y+0.85X	压力 KN	墙面积 m ²	应力 N/mm ²
1层	24403	40843	45808	30510	3.2	4.78
2层	24166	35298	40840	29687	3.2	3.49
3层	23090	30774	36500	28659	3.2	2.45
4层	22744	28689	34595	27626	3.2	2.18
5层	20855	26864	32186	25945	2.9	2.15
W7	X向 拉力 KN	Y向 拉力 KN	X+0.85Y	压力 KN	墙面积 m ²	应力N/ mm ²
1层	45989	39333	56857	37291	4.537	4.31
2层	44107	37811	54574	36412	4.537	4.00
3层	42203	36552	52406	35184	4.537	3.80
4层	40393	35374	50355	33926	4.537	3.62
5层	38852	34205	48526	32686	4.537	3.49

根据计算结果,核心筒外墙肢在底部加强区角部墙肢拉应力出现最大值达到4.78MPa,大于 f_{tk} ,但仍小于 $2f_{tk}$,满足抗震性能化设计目标。

为提高核心筒外围主要墙体在中震偏拉作用下的抗震性能,在核心筒墙体内设置型钢暗骨,并设有暗梁形成整体,避免出现分离式型钢暗柱,保证1~24层所有拉力均匀的由钢骨承担。在24层以上根据构造要求在核心筒内大洞口及角部设置钢骨暗柱。底部加强区钢骨布置(见图18):

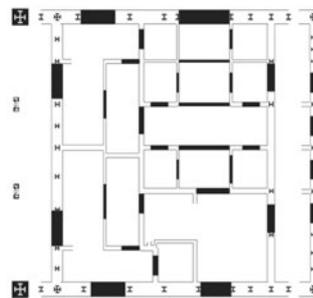


图18 核心筒墙体底部加强区钢骨布置图

5.3 二道防线设计

框架核心筒体系是外围框架与核心筒协同工作的双重抗侧力结构体系,由于柱距较大梁高较小造成外框刚度过低,核心筒刚度过高,结构主要剪力由核心筒承担。在强震作用下,核心筒墙体损坏严重,经内力重分布,外框将承担更大的地震作用,所以应保证外框架体系能够成为结构抗震的二道防线。

在小震作用下,框架柱地震剪力取 $0.20Q_0$ (底部总剪力,不含裙房)和 $1.5V_{max}$ (楼层框架承担最大地震剪力,加强层、突变层除外)较大值调整,框架梁地震剪力取 $0.20Q_0$ 和 $1.5V_{max}$ 较小值调整。不考虑节点刚域对框架刚度的影响,给出框架承担地震剪力与楼层地震剪力比值曲线图、地震剪力放大系数曲线图19如下。

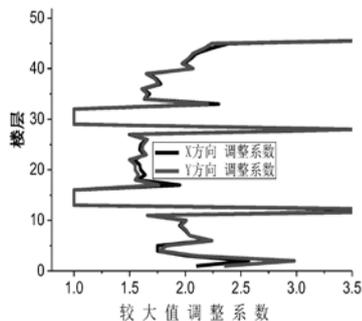


图19 框架柱调整系数曲线

从图中可以看出:低区楼层框架承担地震剪力占底部总地震剪力10%~15%;中高层楼层绝大部分框架承担地震剪力占底部总地震剪力16%~20%;可以看出 $1.5V_{max}$ 比 $0.20Q_0$ 调整更为不利,低区、高层框架柱的调整系数较大,中区框架柱的调整系数较小;在加强层处,带环臂桁架的框架部分所承担的剪力比核心筒大,框架的调整系数应为1。

在中震作用下,为保证在设防烈度下外框架

仍具备一定的刚度及承载能力, 框架柱地震剪力取 $0.20Q_0$ 和 $1.5V_{max}$ 较小值调整, 地震剪力放大系数曲线图20如下。

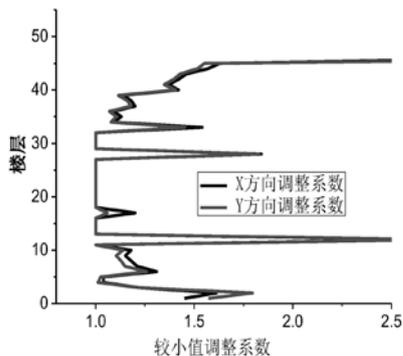


图20 框架柱调整系数曲线

最后根据中震作用下 $0.20Q_0$ 和 $1.5V_{max}$ 的较小值与小震作用下 $0.20Q_0$ 和 $1.5V_{max}$ 的较大值对框架柱进行包络设计。

6 针对超限的加强措施

本工程是平面、竖向不规则的复杂超高层结构。针对超限情况, 根据抗震超限审查专家意见采取以下加强措施, 提高结构的抗震性能:

(1) 为提高框架作为二道防线的的作用, 尽量满足楼层框架承担的地震剪力大于基底剪力的10%。应在角部设置两根角柱, 避免设置单角柱因剪力滞后效应而内力过大。

(2) 核心筒外墙四角的墙肢约束边缘构件应提高设置, 加强层及其相邻层墙肢、剪力墙轴压比大于0.25的墙肢均应设置约束边缘构件。

(3) 因角部楼面梁原布置为垂直布置, 而且跨度较大, 楼面舒适度较差, 故需要把楼面梁布置改为斜向布置而且与框架柱连接端部改为刚接加强。

(4) 在地下室钢管混凝土设计时, 考虑地下室梁柱节点施工便利, 把 $\Phi 1200 \times 35$ 钢管混凝土外包200mm混凝土形成 $\Phi 1600$ 的钢骨混凝土。

(5) 裙房与塔楼连接关键部位设置为钢骨梁, 提高抗震承载能力。裙房中斜柱设计也考虑设置钢骨提高延性, 斜柱连接框架梁内设置钢骨抵抗斜柱水平分向拉力。

7 结论

(1) 本工程结构体系采取较为成熟且已经广泛应用的高强混凝土剪力墙+圆钢管混凝土柱+型

钢楼面梁+现浇混凝土楼板的框架—核心筒混合结构多重抗侧力体系。并针对结构高度超限、平面及竖向不规则等特点, 对构件和整体提出抗震性能化设计目标。

(2) 该结构在多遇地震作用下采用两种软件进行反应谱和弹性时程分析, 结构能够保持弹性, 周期比、位移比、刚度比、受剪承载力比等整体指标均满足现行规范要求。

(3) 在设防地震作用下, 能够通过设置环臂桁架、优化核心筒布置等措施, 使得结构底部墙肢拉应力在双向地震组合下均小于 $2ft_k$ 。同时加强层、框架柱(包括穿层柱)、框架梁等抗侧力构件均满足性能化设计目标; 在罕遇地震作用下, 综合整体与构件性能指标认为满足“大震不倒”的设防目标。

致谢: 衷心感谢全国超限审查专家徐培福、戴国莹、陈富生、柯长华和中国建筑科学研究院杨金明对本工程结构设计提出的宝贵建议和意见。

参考文献

- [1] 中航投资大厦超限工程抗震设防专项审查报告[R]. 2013
- [2] 超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点[R]. 20150521
- [3] JGJ3—2010高层混凝土结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011
- [4] GB50011—2010建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010
- [5] CECS280:2010钢管结构技术规程[S]. 北京: 中国计划出版社, 2010
- [6] 徐培福. 复杂高层建筑设计[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005
- [7] 陆道渊, 路海臣, 任涛, 昆钢科技大厦超高层建筑抗震设计[J]. 建筑结构, 2012, 42(5): 48—52.
- [8] 刘鹏, 殷超, 李旭宇, 刘光磊, 黄晓芸, 何伟明, 天津高银117大厦结构体系设计研究[J]. 建筑结构, 2012, 42(3): 1—10.
- [9] 雷强, 刘冠亚, 侯胜利, 深圳京基金融中心超限高层结构初步设计[J]. 建筑结构, 2012, 41 S1: 8—13
- [10] 徐志坚, 杨超杰, 吴继中, 樊钦鑫, 金来建, 付锦龙, 谢军, 中航投资大厦塔楼动力弹塑性分析初步设计[J]. 建筑结构, 2016, 46(1): 38—43

EPC模式下 工程变更对造价影响分析研究

——基于设计单位风险承担角度

■ 周雅飞 王玉平 [工程造价]

摘要: 基于设计单位主导EPC模式下建设项目造价管理经验, 本文对EPC项目工程变更发生的原因、类型进行定性分析, 并建立数学统计模型, 通过案例数据对工程变更对造价影响进行了定量分析, 为设计单位承接EPC项目投标报价和成本控制提供建议。

关键词: 设计单位; EPC模式; 工程变更

1 引言

EPC模式作为一种重要的承发包模式, 以其合同关系单一、业主参与程度低、可以充分发挥设计的主导作用、缩短建设周期、降低投资等诸多优点而受到业主与承包商的青睐。目前, 国内多家大型设计单位已战略转型进入了工程总承包市场, 以设计单位为主体的EPC总承包合同额呈逐年上升趋势。

实行以设计单位为主体的EPC总承包, 可以使设计单位将其技术优势和资源优势融入到初步设计、施工图设计、设备选型采购、施工方案、调试运行等各个建设环节中。在使项目建设始终处于及时、有力的技术支撑的同时, 设计单位也面临着挑

战。众所周知, EPC模式下设计单位与业主签订的合同一般为总价合同, 而且合同签订阶段一般为可研或初步设计批复后, 还没有进入到施工图设计阶段, 因此设计单位需要承担大部分工程风险。尤其是在投标阶段, 报价既要满足业主的投资需求, 又要实现自身的合理利润; 就需要在项目实际建安成本的基础上充分考虑未来风险引起的成本变化。此外, 工程变更往往是由于工程建设项目的不确定性引起的, 而工程变更的发生又会导致工程不确定性和风险的增加, 从而导致工程反复变更。处理变更的费用也成了“无底洞”, 极易造成结算价超“合同价”。因此, 工程变更也是成本控制所需考虑的重要因素。本文依据笔者多年在设计单位对EPC项目的造价管理实践, 在定性分析工程变更对造价影响的基础上, 结合项目案例数据, 应用统计学原理对工程变更对造价的影响进行了定量分析, 从而为设计单位EPC项目投标报价和成本控制提供依据。

作者简介: 周雅飞, 女, 高级工程师, 2006年毕业于北京交通大学技术经济及管理专业, 现就职于航空工业规划飞机工程设计研究院。

2 工程变更定义、类别及形成原因

2.1 工程变更定义

工程变更的范围极其复杂，很难对其作一个全面的定义。国内学者对其定义主要包含以下几个方面：

1. 合同履行过程中，由于合同状态的改变，采取对原合同的修改与补充，以及调整对应合同工期和价格的一种措施，保证工程能够顺利推进。

2. 工程项目实施中，对合同约定的工艺、材料、尺寸、工程量、施工顺序等方面做出的任何改变。

3. 工程变更是因为施工条件改变、业主需求改变、监理工程师的指令、设计错误或遗漏以及其他方面的原因导致工程任何部位的形式、数量、质量发生了改变。

综上所述，工程变更可以理解为：由于工程项目的实施环境或者条件的变化，为保证工程项目的顺利推进，导致工程项目的实际操作与原合同的约定发生了差异，从而对原合同进行修改和补充的现象。

具体可以阐述为两个大的方面：

1. 原合同规定的工作发生了变化；
2. 发生了原合同之外的附加工作^[2]。

2.2 工程变更分类

工程变更由于分类的不同角度，会采取不同的分类原则。基于设计单位主导的EPC模式下，本文将工程变更分类为业主方引起的变更、设计单位引起的变更和其他方引起的变更。

1. 业主方引起的变更包括：推迟提交业主应提交的项目文件；工作范围变更；工期变更；合同暂停或终止等。工作范围变更是最普遍的工程变更，通常表现为工作范围的增减。实践中，工作范围变更主要表现为新增工程。

2. 设计单位引起的变更包括：设计变更；材料设备变更；设备供应商变更；未能按计划开工；施工措施变更；分包商履行合同的失败；供应商履行合同的失败；有缺陷的工序和低劣的工程和工期延误等。设计变更管理是设计单位成本管理的重中之重，设计质量的优劣直接影响项目的经济效益。因设计错误、缺陷引起的设计变更，引起的费用、工期变化均由设计单位自行承担。

3. 其他方引起的变更一般包括下列内容：不可预见的工地地质条件及其他自然条件的改变；管

理机构的变更；国家法律、法规和规范的变更；劳动纠纷等，当这些变更发生时设计单位应根据合同条款的规定向业主提交变更申请^[3]。

2.3 工程变更形成原因

诱发工程变更的因素众多，本文根据2.2工程变更类别将变更原因归纳为以下几类：

2.3.1 业主原因

由业主导致的工程变更原因主要有：工程前期准备不足，资料收集不到位，尤其是地勘等资料；业主对工程的建设内容、工艺需求、建设标准等提出新的要求；建设过程中投资政策发生较大变化；自身管理体制混乱，如建设现场管理条理性差，在处理工程变更过程中分工不够清晰，由此会产生额外的工程变更。

2.3.2 设计单位原因

设计单位引起的工程变更原因包括：设计人员专业技能较差，在进行施工图设计工作时出现较大差错；对建设项目所在地市场考察不够充分，设计单位采取的建筑材料在当地市场中很难购买，导致材料采购难以达到建设要求；设计工作本身的局限性，因设计与施工两阶段的工作不具有同步性，无法对实际施工过程中所有的因素进行准确的预见，导致工程部分设计无法满足施工现场实际施工环境要求；还有设计超出施工技术水平，施工分包商工人技术水平较差，导致施工水平难以达到设计要求等原因。另外，在EPC模式下，分包商调整施工手段和工序、采用先进的施工技术等也会引起相应的工程变更。

2.3.3 政策法规方面原因

政策法规方面的原因导致的工程变更主要是指政府机构所颁布一些利于建筑行业更加健康全面发展的法律、法规、规范，导致各参建单位所做出的相应调整。如提倡绿色建筑、低碳环保建筑、提高节能设计要求、强制性淘汰或者限制使用技术落后、高排污的材料、技术或工艺等。

2.3.4 其他方面原因

其他方面主要包括：自然条件的变化，如工地地质、水文环境发生变化；不可抗力事件发生，如建设过程中发现文物、地质灾害、洪水等情况；社会环境的变化等^[4]。

3 建立统计模型及案例实证分析

EPC项目投标报价阶段，造价人员不仅需要

根据设计内容计算工程造价，还需要考虑设计单位应承担的变更风险，才能得到合理的投标报价。目前，国内对工程变更的研究大多停留在定性阶段，少有定量分析。为了得到设计单位承担变更风险幅度，本文收集了工作实践中的案例数据，对数据进行归类整理、并构建数学统计模型对其分析。

本文研究的变更、洽商不仅包含狭义上的“设计变更、工程洽商”，而且包含项目建设周期内，影响工程造价的全部因素，如工程量调整、政策因素、市场价格暴涨暴跌等。

3.1 选取调查因素

为了得到工程变更与工程造价之间的数据关系，本文将工程变更从费用归属角度进行重新归类，主要包括业主方承担费用的工程变更和设计单位承担费用的工程变更两类，并分别将两类变更细分为调查所需的因素。

3.1.1 业主方承担费用的工程变更

根据模型构建要求，将业主方承担费用的工程变更又细分为工艺需求变更、建设标准变化、平面布置变化、规范调整、政策调整和其他原因六类。

1. 工艺需求变更：是指在EPC合同已经签订后，由于业主提出新的工艺需求的变化导致工程投资发生调整的情况，如由重大非标设备方案细化带来的土建及安装专业投资的变化；

2. 建设标准变化：项目实施过程中，业主对EPC合同范围内的材料等级、装修标准、设备指标参数提高或降低标准导致工程发生变更的情况；

3. 平面布置变化：因业主要求，对建筑物已实施完成的部分及整体平面布局进行调整导致变更发生的情形，如房间平面位置、用途的调整；

4. 规范调整：是指因国家新颁布的规范导致正在实施的工程产生变更的情形，如防火规范、抗震支架规范的实施引起的工程变更；

5. 政策调整：是指因国家政策导致的工程变更，如环保、雾霾防治等政策导致工程发生的变更，一般此类变更发生的费用应由业主方来承担；

6. 其他原因是指除以上原因外发生应由业主方承担变更费用的其他情况。

3.1.2 设计单位承担费用的工程变更

设计单位承担费用的工程变更包括设计失误、现场管理疏漏、深化设计影响和其他原因四类。

1. 设计失误：是指由于设计工作本身出现错误导致的变更情形，如专业之间管线的碰撞等；

2. 现场管理疏漏：是指由于设计单位驻施工

现场管理人员工作失误或配合不当引起的变更情形，如对现场土方施工组织不利，导致现场出现大量土方二次倒运、外运的情况等；

3. 深化设计影响：是指由于二次设计和原设计之间衔接时发生的变更，如幕墙深化设计时墙面发生的变更，此类变更是由设计工作的局限性引起的，无法避免，一般此类变更费用由设计单位自行承担；

4. 其他原因是指除以上原因之外的必须由设计单位承担费用的变更情形。

3.2 案例实证分析

3.2.1 设计单位承担的工程变更费用风险比例分析

本文收集了笔者工作实践中已完成结算的25个工业类建筑进行案例分析，对每个项目实施过程中发生的工程变更按照费用归属原则进行分类汇总计算，并将工程变更的费用金额占项目结算价格的比例进行统计，数据分析按如下步骤进行：

1. 对每个案例的变更数据按照3.1的划分原则进行归类；

2. 计算项目工程变更金额占工程结算价格的比例，此处的工程结算价格为设计单位与全部分包商之间的工程结算价格之和，并对25个案例计算所得出的变更比例进行平均数分析；

3. 按照业主方承担的工程变更费用金额和设计单位承担的工程变更费用金额分别计算双方应承担的工程变更比例及其平均数。

统计结果见表1。

通过25个项目数据的统计分析，可以看出工程变更金额占项目结算价格的比例平均数为10.34%，其中业主方承担的平均变更比例为7.48%，设计单位承担的平均变更比例为2.86%。

对表1的三组数列分别进行方差分析，其方差分别为0.37%，0.07%和0.58%，说明数据的集中趋势明显，统计结果具有代表性。

基于设计单位投标报价角度，需进一步分析工程变更金额对项目造价的影响区间，本文对数列2进行了分组赋值处理。按照3%为一个步距，对全部数据进行划分，比例在0%~3%之间的数据赋值为1，3%~6%之间的数据赋值为2，6%~8%之间的数据赋值为3，并对其赋值结果进行众数和频率分析。赋值结果和分析结果见表2及表3：

从表2和表3可以看出，赋值数列的众数为1。即说明在所分析的案例中，设计单位承担变更金额占项目结算价格的比例在0~3%区间内出现次数最

表1 项目工程变更统计表

序号	项目编号	建筑面积(m ²)	变更洽商分类		合计(数列3)
			业主方承担比例(数列1)	设计单位承担比例(数列2)	
1	项目1	40542	8.27%	7.75%	16.02%
2	项目2	10164	11.11%	4.51%	15.62%
3	项目3	25689	0.65%	4.58%	5.23%
4	项目4	2000		3.14%	3.14%
5	项目5	19880	13.60%	0.09%	13.69%
6	项目6	1650	26.42%	8.76%	35.17%
7	项目7	44370	8.72%	0.85%	9.56%
8	项目8	3280	1.56%	0.08%	1.64%
9	项目9	15610	3.52%	2.73%	6.25%
10	项目10	42150	9.17%	0.89%	10.07%
11	项目11	12490	0.79%	2.91%	3.70%
12	项目12	15299	2.50%	0.18%	2.68%
13	项目13	8031	3.50%	1.75%	5.24%
14	项目14	38068	8.69%	0.97%	9.66%
15	项目15	10957	4.90%	0.87%	5.77%
16	项目16	2410	1.79%	1.24%	3.03%
17	项目17	7393	11.10%	0.63%	11.73%
18	项目18	9500	13.02%	3.04%	16.06%
19	项目19	13844	13.54%	3.76%	17.30%
20	项目20	23670	6.57%	2.89%	9.47%
21	项目21	6870	15.87%	7.19%	23.06%
22	项目22	16720	5.63%	0.58%	6.22%
23	项目23	6949	2.55%	0.95%	3.50%
24	项目24	7530	3.33%	6.85%	10.18%
25	项目25	11000	10.28%	4.24%	14.52%
26	汇总平均		7.48%	2.86%	10.34%

多,其次是在3%~6%区间。结合之前的设计单位承担变更洽商比例平均数为2.86%,可以推断出设计单位所需承担的工程变更金额占项目结算价格的比例在0%~3%之间的可能性最大。因此,设计单位在EPC投标报价时,就至少要考虑3%的变更风险成本,对于项目周期长且工艺复杂的项目,可适当提高变更风险比例。

表2 数列2分组赋值表

序号	项目名称	建筑面积(m ²)	变更洽商分类	
			设计单位承担比例(数列2)	分组赋值
1	项目1	40542	7.75%	3
2	项目2	10164	4.51%	2
3	项目3	25689	4.58%	2
4	项目4	2000	3.14%	2
5	项目5	19880	0.09%	1
6	项目6	1650	8.76%	3
7	项目7	44370	0.85%	1
8	项目8	3280	0.08%	1
9	项目9	15610	2.73%	1
10	项目10	42150	0.89%	1
11	项目11	12490	2.91%	1
12	项目12	15299	0.18%	1
13	项目13	8031	1.75%	1
14	项目14	38068	0.97%	1
15	项目15	10957	0.87%	1
16	项目16	2410	1.24%	1
17	项目17	7393	0.63%	1
18	项目18	9500	3.04%	2
19	项目19	13844	3.76%	2
20	项目20	23670	2.89%	1
21	项目21	6870	7.19%	3
22	项目22	16720	0.58%	1
23	项目23	6949	0.95%	1
24	项目24	7530	6.85%	3
25	项目25	11000	4.24%	2

表3 变更频率统计结果

设计单位变更洽商比例	频率	比例%
1 (0%~3%)	15	60%
2 (3%~6%)	6	24%
3 (6%~9%)	4	16%
		100.00%

3.2.2 工程变更原因分布

本文还对25个项目发生的工程变更按照3.1.1和3.1.2所列原因逐条进行归类,并对每条原因在工程变更中所占比重进行分析,分析结果见图1和图2:

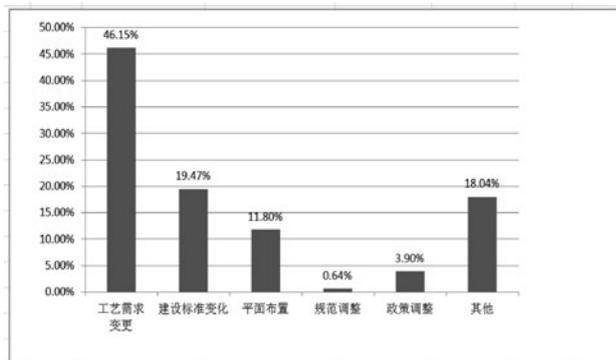


图1 业主承担的工程变更原因分布

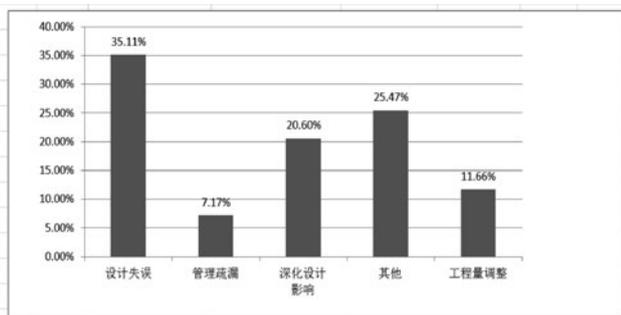


图2 设计单位承担的工程变更原因分布

从图1和图2可以看出，业主方承担的变更金额最多的原因来自于工艺需求变化的变更，其次是建设标准变化引起的变更；而设计单位承担变更金额最多的主要原因是设计失误。

4 结论及建议

EPC模式是一种先进的项目组织管理模式，对设计单位的管理水平有很高的要求。目前，建筑行业已属微利行业，设计单位在追求利润的同时也承担着相应的风险。根据上述案例分析，可以看出由于设计单位自身原因导致的工业类建筑的工程变更金额约占项目结算价格的3%，复杂项目的工程变更金额占项目结算价格的比例更高。因此，设计单位在项目投标报价时需要合理考虑这部分风险因素，进而计算出合理的投标报价。

通过对工程变更原因分布的研究，可以看出，设计单位最大的变更风险在于设计失误。为此，有如下三条建议：

1. 严格控制设计质量。对所承担的EPC项目，应严格控制设计质量，尤其是细节部分的图纸设计；加强设计、采购、施工紧密配合，促进设计工程师、采购工程师和施工工程师之间的沟通、交

流，取长补短，有效避免以往项目建设模式中设计、采购、施工无法有效沟通而产生的错误和问题；实现方案设计科学合理、造价经济、工期优化的目的，打造精品工程，实现设计单位为主导的EPC模式的良性、健康、持续发展。

2. 重视项目前期的勘察报告，尤其是地勘报告。根据案例分析，地基处理包括砂石回填、土方回填工程等变更一旦发生，产生的变更洽商金额都比较大。因此，在项目实施前期，设计单位要特别重视地勘报告，及早明确项目现场地质情况。如果确实无法得到明确的地质情况，应在EPC合同里明确权利和责任，保留追索权。

3. 明确工艺需求，重视方案论证。工艺需求变化是引发工业项目变更的最主要原因，这类变更对成本控制以及进度控制均会产生巨大影响。因此建议工业项目在实施前期，尽可能地与业主明确工艺需求并落实工艺方案，尤其是重大非标设备的方案论证。避免在建筑物已基本建成、实施工艺设备安装时，发现建筑物不满足工艺设备的使用需求，发生大量的拆改工作，造成投资浪费。

参考文献

- [1] 蔡广毡, 徐仲平, EPC总承包模式与传统模式比较分析——基于交易成本理论【J】建筑经济, 2013 (10), 59.
- [2] 阳林, 工程变更因素对成本的影响评价及控制研究【D】.重庆大学硕士论文, 2015.
- [3] 罗雪英, 陆姣, 浅谈EPC总承包模式下的工程变更管理【J】建筑工程, 2011 (10), 225.
- [4] 杨磊, 基于变更拟合分析的输变电工程造价控制方法研究【D】.华北电力大学硕士论文, 2015.

大型电动隔音门设计

■ 周天送 郗方 [设备]

摘要: 对组装式大型电动工业隔音门的结构、隔声量计算和漏声缝的处理方法进行了详细阐述, 提供了大型隔音门的结构设计方法。通过在企业的实际运用, 取得了良好的效果, 为同行业大型电动隔音门的设计提供了技术参考。

关键词: 大型隔音门; 结构设计; 缝隙漏声处理

1 应用背景

随着我国制造业水平的显著提高, 部分设备不断朝大型化方向发展。为满足大型设备进出厂房的灵活性要求, 工业厂房的大门尺寸也越来越大, 面积超过 50m^2 的大门早已屡见不鲜。风洞、燃机等大型试验设备, 试验过程会产生较大的噪声($130\sim 160\text{dB}$), 为减少噪声对室外作业人员的影响, 厂房所需的隔音门要求具有良好的降噪功能。同时作为设备进出厂房的通道, 隔音门还要具有启闭灵活、经久耐用、免维护等优点。

中航工程集成设备有限公司为国内某单位设计的大型跨声速空气动力学风洞, 高速气流在风洞内流动过程中会产生较大的噪声, 最高可达 $120\text{dB}(\text{A})$ 。为降低噪声对环境的影响, 保证风洞厂房外 1m 处噪声值不超过 $60\text{dB}(\text{A})$, 需在进出厂房通道处设置隔声大门, 进出厂房时门体处于开启状态, 风洞运行时门体处于关闭状态。为便于大门启闭, 采用电动平开结构。已知门洞尺寸

14.2m (宽) $\times 12\text{m}$ (高), 要求降噪量不小于 $60\text{dB}(\text{A})$ 。

2 隔音门结构设计

对于这种大型隔音门, 由于受到国内运输限高、限宽和集装箱尺寸的限值, 难以实现在专业厂家加工后整体运抵现场的需求。若采用现场直接组焊的形式, 由于现场设施一般相对简陋, 安装周期会大幅延长, 而且现场焊接质量差, 引起的焊接变形不仅影响美观, 还会降低隔音门的使用性能, 同时也增大了加工成本。为有效解决上述问题, 可以设计一款组装式隔音门, 将门体拆分成多块独立的单元分别预制, 运输到现场后再进行组装、调试、运行。

综合考虑国内运输限高、限宽的规定以及加工制造的最大尺寸限制, 本设计根据强度和刚度需要, 将隔音门分割成网格状布局, 依次拆分为下门扇1块单元($2.1\text{m} \times 16.1\text{m}$)、上门扇6块单元($(2.4\sim 2.8\text{m}) \times 10.4\text{m}$), 下门扇充当所有上门扇的支撑, 其网格状布置方式如图1所示。

作者简介: 周天送, 男, 助理工程师, 2016年毕业于大连理工大学安全工程专业, 现就职于中航工程集成设备有限公司。

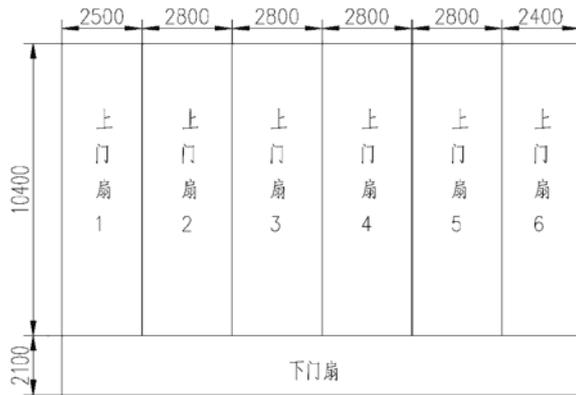


图1 门扇布置方式

为便于组装点位, 并保证各门扇之间连接的强度、刚度和隔声密封要求, 将相邻两门扇结合处的框架均设计成独特的凹凸型组装结构^[1], 凹型框架和凸型框架之间相互咬合, 组装时只需在结合面间加装橡胶密封板, 然后用销钉定位、螺栓连接即

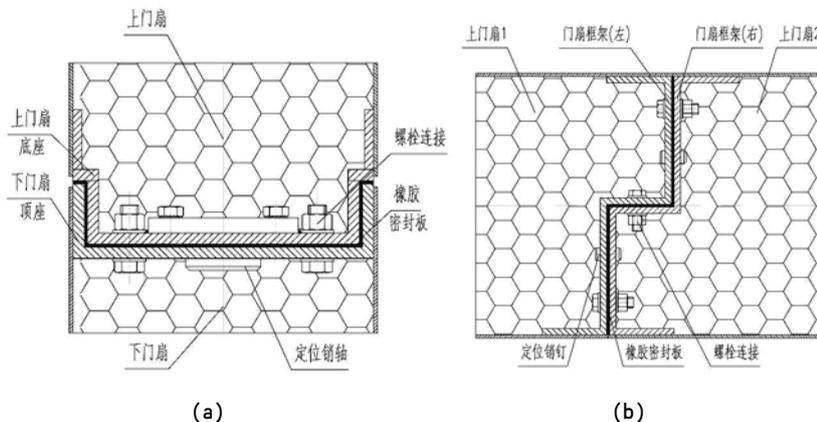


图2 门扇组装结构

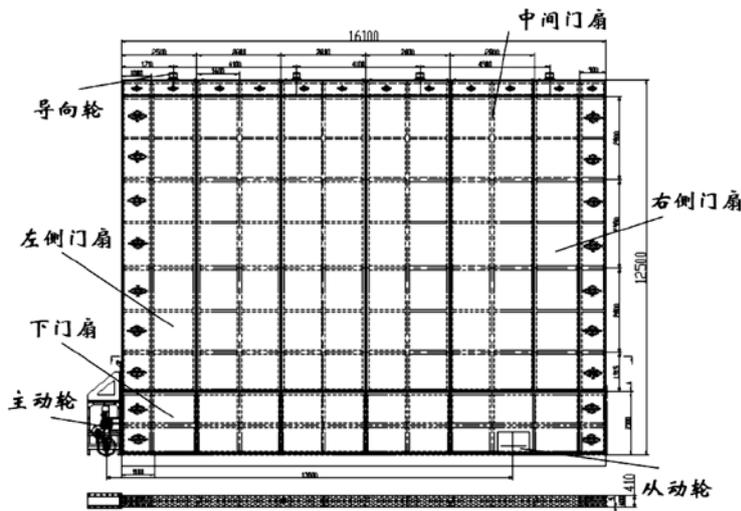


图3 单扇大门整体结构示意图

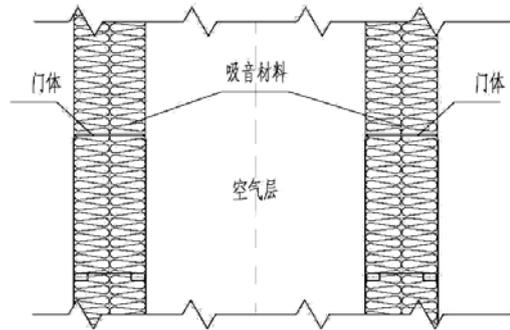


图4 双层门结构示意图

可。其中下门扇主要用于承重, 并决定了隔音大门组装后的平面度, 故上下门扇之间采用双槽钢咬合结构、销轴定位、螺栓连接, 其连接结构如图2 (a) 所示。通过合理设计上下槽钢的尺寸, 可以有效控制上下槽钢之间的间隙值, 既能保证下门扇受力的均匀性, 也便于上门扇的定位调整和隔音门整体的平面度和垂直度。由于上下门扇之间已经通过销轴定位, 若上门扇1~6之间仍采用双槽钢咬合结构会引起组装的过约束, 故将上门扇之间的连接板设计为中间折弯、两边呈直段面的开放式咬合结构, 如图2 (b) 所示。

在门洞地面中心铺设隔音大门行走轨道QU120, 门体顶部设置导向滚轮, 门体底部设置主动/从动车轮组, 由减速电机独立驱动控制隔音大门的开闭。上、下导轨中心线处于同一竖直平面, 主动轮、从动轮与门扇位于同一中心平面内。每扇门体均采用钢结构框架支撑, 表面覆盖5mm厚钢板, 内部填充岩棉板和离心玻璃棉, 并确保吸音材料的压缩量不低于10%。门体总厚度410mm, 单扇大门门体结构如图3所示。

采用双层门设计理念, 并排布置两扇规格相同的隔音大门, 由两组驱动电机独立驱动。两扇大门保持一定的间距且无任何刚性连接, 形成一定厚度的空气附加隔声层, 进一步提高了隔声量, 其具体隔声结构如图4所示。

采用双层门设计理念, 并排布置两扇规格相同的隔音大门, 由两组驱动电机独立驱动。两扇大门保持一定的间距且无任何刚性连接, 形成一定厚度的空气附加隔声层, 进一步提高了隔声量, 其具体隔声结构如图4所示。

3 门体隔声量理论计算

大门门体采用双层门结构，具体隔声量遵循双层板构造隔声量计算的公式^[2]：

$$\bar{R} = 16 \lg(M_1 + M_2) + 8 + \Delta R$$

$$\text{其中}(M_1 + M_2) \geq 200 \text{kg/m}^2 \quad (1)$$

$$\bar{R} = 13.5 \lg(M_1 + M_2) + 14 + \Delta R$$

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

其中 M_1 和 M_2 分别为两层门扇的面密度 (kg/m^2)， ΔR 为空气层附加隔声量，具体数值如图5所示。

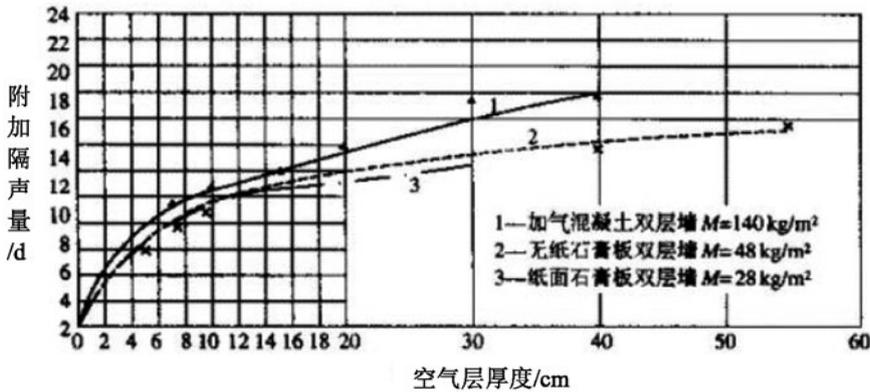


图5 双层板空气层厚度和附加隔声量的关系图

单层门隔声结构为左侧面5mm穿孔钢板、中间填充400mm厚吸声棉、右侧面5mm钢板，根据双层门的隔声结构，计算如下：

$$M_1 = 0.005 \times 7900 + 0.4 \times 100 + 0.005 \times 7900 = 109 \text{kg/m}^2$$

$$M_2 = M_1$$

当空气层厚度大于200mm时，由图查取空气层附加隔声量的最小值为 $\Delta R = 16 \text{dB}$ ，计算平均隔声量为 $\bar{R} = 62 \text{dB}$ ，余量为2dB。

4 驱动电机选型计算

单扇大门的运行阻力：

$$P_f = G \cdot \left(\frac{2K + \mu d}{D} \right) \cdot K_f$$

$$= 5.4 \times 10^5 \cdot \left(\frac{2 \times 0.8 + 0.015 \times 110}{600} \right) \cdot 1.5$$

$$\approx 4300 \text{N}$$

手摇轮驱动力：

手摇轮转一周大门的运行距离：

$$P = P_f \times D / 2 \times \left(\frac{Z_1 \times Z_3}{Z_2 \times Z_4} \right) / (D_2 / 2) = 420 \text{N}$$

驱动电机参数：

$$n_a = 46 \text{ r/min}, P_m = 5.5 \text{ Kw}, M_a = 1140 \text{ Nm}$$

5 缝隙漏声处理

隔音大门的缝隙漏声源主要分布在门扇组装

咬合的接缝处和门体四周的行走通道内。其中门扇咬合的接缝处采用加装橡胶密封板的方式降低声波透射，门体四周行走通道处的缝隙通过设计合理的外围结构降低声波透射，具体结构如下：

(1) 隔音门关闭时，门体前端和上端门洞设计成U型凹槽土建结构，门洞尺寸大于门体尺寸，使门体嵌装在门洞的凹槽内^[3]。噪声沿凹槽走向传播，形成迷宫式密封消声通

道，根据弯头消声原理，通过增加传声弯头数量和长度，使声波沿曲折的迷宫传播，可以大幅提高噪声的衰减，声波的传播路径如图6所示。

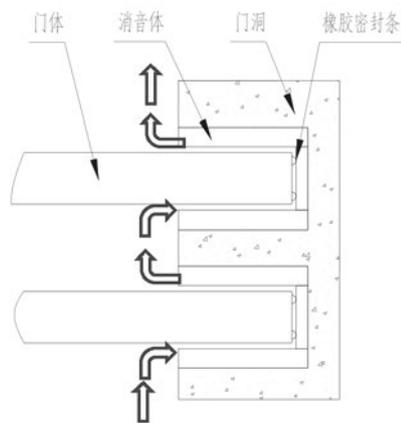


图6 门洞迷宫密封消声通道

(2) 为进一步强化噪声穿过门洞凹槽的衰减，在门洞与门体之间加装三面环绕的消音体^[4, 5]，加装位置见图6。消音体内部填充吸声

表1 实测噪声衰减值

频率 /Hz 尺寸 /m × m	31.5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	降噪量/ dB	降噪量/ dB(A)
4.5m × 4.5m	32.6	37.7	48.8	54.1	63.7	65.4	69.5	75.8	83.2	46.7	66
6m × 12m	37.5	48.8	50.9	54.8	58.9	60.7	67.7	70	75.2	35.9	62
8m × 12m	41.4	49.7	57.0	62.5	65.4	67.5	67.6	70.2	81.4	51.9	67

棉，外表面铺设穿孔钢板作为护面层。根据吸声原理，缝隙处噪声将被大幅吸收。同时在保证门体无障碍运行基础上，严格控制门体与消音体之间的间隙，使该处吸声效果达到最佳。

(3) 在门体端面加装充气密封条，既可以保证门体关闭时门体与消音体之间无间隙，进一步阻碍噪声的传播；又可以避免门体关闭时与消音体硬碰撞，对门体和消音体起保护作用，充气密封条的加装位置见图6。

(4) 隔音门的启闭是通过门体下方的主/从动轮在地面钢轨上的滚动来实现的。在整个门洞长度范围内，门体、车轮与轨道之间将形成较大的缝隙，是噪声泄漏的重点区域之一。设计时同时采用弯头消声原理和吸声原理，将轨道铺设在地沟内，使轨道上表面与地面齐平，在门体边缘加装通长的挡板^[6]，使挡板深入地沟底部，并在挡板左右两侧用消音体包围。声波的传播路径如图7所示。

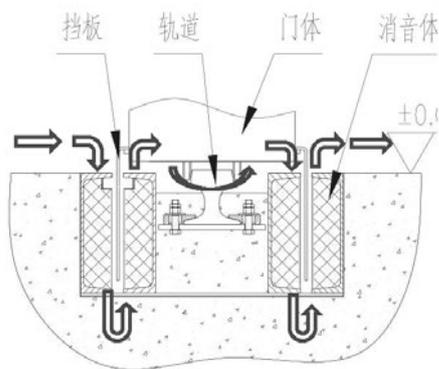


图7 门底迷宫密封消声通道

6 使用效果

采用以上隔音门设计方法和消声技术，我公司独立设计的电动隔音大门已在多个项目中成功运用，不仅启闭灵活、维护简单，隔声效果均到了设

计要求。同类型大门的现场实测数据如表1所示，所有隔音门的实际工程降噪量均超过了60 dB(A)。

参考文献

- [1] 中国航空规划建设发展有限公司. 一种组装式隔音门[P]. 中国: 201220341526.2, 2013.03.13.
- [2] 马大猷. 噪声与振动控制工程手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002. 261-262.
- [3] 中国航空规划建设发展有限公司. 一种大型隔音门密封结构[P]. 中国: CN200920276182.X, 2011.03.30.
- [4] 陈强, 尹志春, 庄晓忠, 钟小金, 林显耀. 双工位加工中心隔音房设计[J]. 金属加工(冷加工), 2016(24): 43-44.
- [5] 黄军军, 鲁祥, 李仕栋, 王子瑞, 李秀艳. 大型加工中心移动式隔音房[J]. 机械工程师, 2013(09): 37-38.
- [6] 谢红青. 移动式隔音房[J]. 机械工程师, 2008(10): 136-137.

教育建筑的供配电设计方案

——以云南民航学院为例

■ 郑迪 陈泽毅 [电气]

摘要: 根据《教育建筑电气设计规范》JGJ310-2013对不同建筑类别的负荷分级、通过单位面积用电指标法,估算教育建筑各单体的负荷容量,确定变电所的所址及重要负荷的第二电源供配电方案。

关键词: 教育建筑; 负荷分级; 供配电

1 绪论

教育建筑是人们为了达到特定的教育目的而兴建的教育活动场所,其使用性质决定了学校类项目建筑数量多、建筑类别多、各单体建筑间隔远等特点。如何在保证使用功能和供电可靠性的前提下最大限度地优化供配电系统、减少业主投资就成为了此类项目的重点、难点。本文结合云南民航学院项目,重点介绍电气专业如何在教育建筑项目前期确定供电方案,针对不同类型负荷进行配电。

2 工程概况

云南民航学院项目分教学实训区、生活区、运动区三大区域,教学区主要含:综合楼、实验楼、教学楼、大空间模拟教室、图书馆、会堂、航空博物馆等;生活区主要含:学生宿舍、食堂、大学生活动中心、对外服务交流中心等;运动区主要含:体育馆、体育场看台、室外游泳池、室外体育场地等。项目总用地面积67.2ha,总建筑面积

329000m²,其中地上建筑面积约315530m²,地下建筑面积13470m²。

3 负荷分级及负荷容量的估算

3.1 负荷分级

根据《教育建筑电气设计规范》JGJ310-2013、《民用建筑电气设计规范》JGJ16-2008,各单体建筑负荷分级见表1。

3.2 负荷容量的估算

根据《教育建筑电气设计规范》JGJ310-2013、《全国民用建筑工程设计技术措施》(2009版),单位面积用电指标法,估算各单体负荷容量,见表2。

3 供电方案

3.1 市政电源引入:

经与云南当地电力公司沟通,云南当地1路10kV进线电源的供电容量上限为8000kVA,则本项目需要4路市政10kV进线。

3.2 10kV配变电所设置原则:

根据《教育建筑电气设计规范》JGJ310-

作者简介:郑迪,男,助理工程师,2013年毕业于北京交通大学电气工程与自动化专业,现就职于中航建设建筑设计研究院。



图1 各单体建筑总平面图

表1 负荷分级

楼号	建筑物类别	用电负荷名称	负荷级别
1#	综合楼 (二类高层)	主要通道及楼梯间照明	二级
2#	图书馆(藏书未超过100万册)	计算机检索系统及安全技术防范系统	一级
3#	会堂	舞台照明、电声设备	二级
4#、13#、 14#、15#	实验楼	对供电连续性要求较高的其他实验室、主要通道照明	二级
11#、12#	教学楼	主要通道照明	二级
7#、23#	风雨操场 (体育馆)	乙、丙级体育馆的主席台、贵宾室、新闻发布厅照明, 计时记分装置、通信及网络机房, 升旗系统、现场采集及回放系统用电 乙、丙级体育馆的其他与比赛相关的用房, 观众席及主要通道照明, 生活水泵、污水泵等	二级
8#、17#	食堂	厨房主要设备用电, 冷库, 主要操作间、备餐间照明	二级
18#-22#	学生宿舍	主要通道照明	二级
9#	航空博物馆	安防系统用电	一级
10#	对外交流服务中心	经营及设备管理用计算机系统用电, 客梯, 电话	二级

表2 负荷估算

建筑编号	建筑名称	建筑面积 (m ²)	层数	用电指标 (VA/m ²)	变压器容(kVA)	是否设置空调
1#	综合楼	45200	9F/-1F	55	2486	是
2#	图书馆	16560	4F	25	414	否
3#	会堂	5900	3F	120	708	是
4#	计算机实验楼	14400	5F	85	1224	否
5#	大空间模拟教室	12000	3F	200	3700	是
6#	大空间模拟教室	6500	3F/-1F			是
7#	体育馆	9500	3F	50	475	否
8#	食堂	6400	2F	120	768	否
9#	航空博物馆	8000	2F	120	960	是
10#	对外交流服务中心	13790	5F	120	1655	是
11#	教学楼	12400	5F	25	310	否
12#	教学楼	11100	5F	25	278	否
13#	物理实验楼	11600	5F	30	348	否
14#	计算机实验楼	11600	5F	85	986	否
15#	计算机实验楼	11700	5F	85	995	否
16#	大学生活动中心	6200	4F	30	186	否
17#	食堂	9500	3F	120	1140	否
18#	学生宿舍	15350	6F	25	384	否
19#	学生宿舍	15350	6F	25	384	否
20#	学生宿舍	15350	6F	25	384	否
21#	学生宿舍	15350	6F	25	384	否
22#	学生宿舍	11100	6F/-1F	25	278	否
23#	体育场看台	1500	2F	20	30	否
24#	污水处理站	400	1F/-1F		100	否
25#	水泵房、垃圾站	300	1F		130	否
26#	水泵房	300	1F/-1F		90	否
27#	门房	98	1F	30	3	否
28#	门房	12	1F	30	0.36	否
29#	门房	20	1F	30	0.6	否
30#	门房	20	1F	30	0.6	否
	体育场灯光(1片)				120	-
	篮球场(25片)灯光				450	-
	网球场(5片)灯光				60	-
	排球场(7片)灯光				84	-
合计:					19513	

2013,《建筑电气专业技术措施》(第二版),教育建筑内配变电所设置原则如下:

- 1) 配变电所的所址应深入或接近负荷中心。
- 2) 各变电所的低压供电半径应控制在200m以内。
- 3) 附设在教育建筑内的变电所,不应与教室、宿舍相贴邻。
- 4) 容量较大的季节性负荷(如空调机组)或专用设备组,可设专用变压器。
- 5) 配电变压器负荷率不宜大于85%。当低压侧电压为0.4kV时,单台变压器容量不宜大于1600kVA。
- 6) 《云南省民用建筑绿色设计导则》(试行)规定:变压器的长期运行负载率不宜大于80%。

3.3 10kV配变电所的设置

1) 1#楼总配变电所

本项目用地东侧为已有市政道路,建设用地形状为南北狭长型。根据地理位置,1#综合楼位于场地中部,靠近东侧道路,建筑面积大,确定将1#楼10kV总配变电所设置在1#综合楼首层,作为作为全校区的10kV配电中心,有人值守。

在1#楼10kV总配变电所设置2台1250kVA的干式变压器,负担1#综合楼、24#污水处理站、26#水泵房的用电。

2) 4#楼分变电所

设置4#楼10kV分变电所,安装1台1250kVA的干式变压器,负担4#实验楼、27#门房、室外停车场汽车充电桩的用电。

3) 9#楼分变电所

设置9#楼10kV分变电所,安装1台1000kVA的干式变压器,负担9#航空博物馆的用电。

4) 3#楼分变电所

设置3#楼10kV分变电所,采用2路10kV进线,安装1台1000kVA的干式变压器,负担3#会堂、11#教学楼的用电。

3#会堂主要用电设备舞台照明、电声设备均为二级负荷,除11#楼外,距其他单体建筑距离均超过200m。因此,3#楼10kV分变电所采用2路10kV进线,保证其平时重要负

荷供电可靠性。

5) 10#楼分变电所

设置10#楼10kV分变电所,安装1台1600kVA的干式变压器,负担10#对外交流服务中心、29#门房的用电。

6) 13#楼分变电所

设置13#楼10kV分变电所,安装1台1000kVA的干式变压器,负担12#教学楼、13#物理实验楼、16#大学生活动中心的用电。

7) 14#楼分变电所

设置14#楼10kV分变电所,安装2台1000kVA的干式变压器,负担14#计算机实验楼、15#计算机实验楼的用电。

8) 17#楼分变电所

18#~22#楼为学生宿舍,《教育建筑电气设计规范》JGJ310-2013第4.3.3条规定:“附设在教育建筑内的变电所,不应与教室、宿舍相贴邻”,该条为黑体字强制性条文,因此在17#食堂设置17#楼10kV分变电所,安装2台1250kVA的干式变压器,负担17#食堂、18#~22#学生宿舍、25#水泵房、30#门房、室外停车场汽车充电桩的用电。

9) 8#楼分变电所

设置8#楼10kV分变电所,安装1台1000kVA的干式变压器,负担2#图书馆、8#食堂的用电。

表3 10kV母线段负荷容量分组表1

变电所名称	I段10kV母线 变压器安装容量 (kVA)	II段10kV母线 变压器安装容量 (kVA)	第二电源 来自
1#10kV总配变电所	1-1T/1250	1-2T/1250	
9#楼10kV分变电所		9-T/1000	1-1T
5#楼10kV分变电所	5-T/1000		6b-T
6a#楼10kV分变电所	6a-1T/630	6a-2T/630	
6b#楼10kV分变电所		6b-T/1600	5-T
7#楼10kV分变电所	7-T/1000		8-T
8#楼10kV分变电所		8-T/1000	7-T
13#楼10kV分变电所	13-T/1000		14-2T
14#楼10kV分变电所	14-1T/1000	14-2T/1000	
17#楼10kV分变电所	17-1T/1250	17-2T/1250	
合计	7130	7730	

表4 10kV母线段负荷容量分组表

变电所名称	I段10kV母线 变压器安装容量 (kVA)	II段10kV母线 变压器安装容量 (kVA)	第二电源 来自
4#楼10kV分变电所	1250		1-2T
3#楼10kV分变电所	3-T/1000		10-T
10#楼10kV分变电所		10-T/1600	3-T
合计	2250	1600	

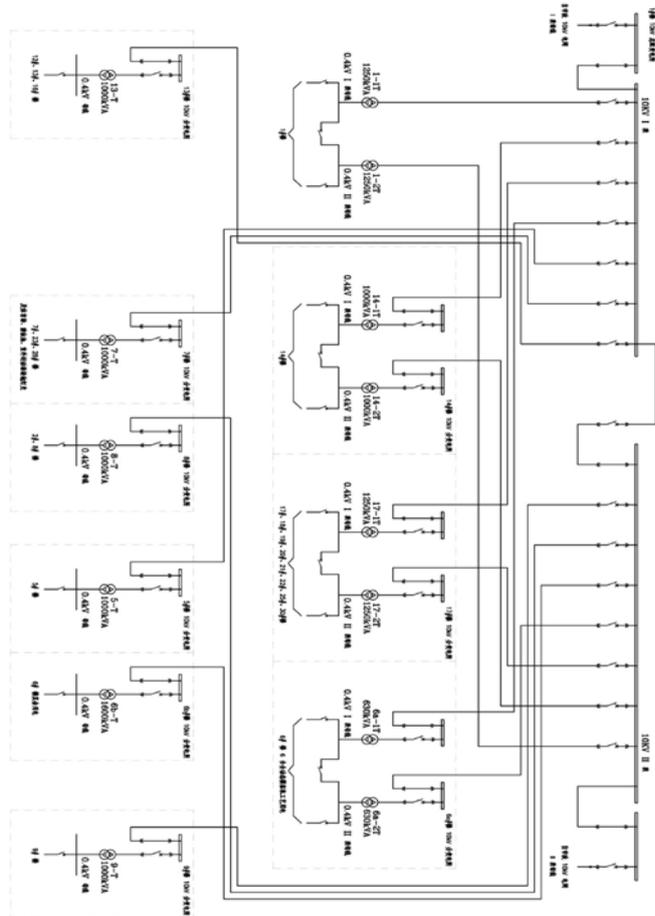


图2 第 1、2 回市政10kV线路供电网络图

10) 7#楼分变电所

设置7#楼10kV分变电所，安装1台1000kVA的干式变压器，负担7#体育馆、23#体育场看台、28#门房、各体育场地的用电。

11) 5#、6a#、6b#楼分变电所

由于6#大空间模拟教室内安装了全动模拟机，因此设置1座专用6a#10kV分变电所，安装2台630kVA的干式变压器，仅向全动模拟机供电。

设置5#楼10kV分变电所，安装1台1000kVA的干式变

压器，负担5#大空间模拟教室的用电；设置6b#楼10kV分变电所，安装1台1600kVA的干式变压器，负担6#大空间模拟教室除全动模拟机的其余用电。

4 重要负荷的第二电源解决方案

一级负荷和二级负荷都属于重要负荷。一级负荷应由两个电源供电，当一个电源发生故障时，另一个电源不应同时受到损坏。二级负荷的供电系统宜由两回线路供电。

云南民航学院项目的重要负荷主要为二级负荷。少量的一级负荷可以采用双电源加UPS的供电方案。

因本项目场地大，外线电缆的投资很大，对于仅设1台变压器的变电所，其重要负荷的第二电源应从距离较近的变电所相互提供；同时需要考虑主供、第二电源应来自不同母线段，从而保证该双电源的独立性。

对互相取得第二电源的建筑进行分组，保证其供电变压器的10kV进线应分别来自两个10kV市政电源的高压母线段，汇总如下：

表4中3#楼10kV分变电所的第二电源是指消防用电的第二电源，平时重要负荷的负荷容量超过400kW，第二电源为备用10kV电源，通过高压母联保证其供电可靠性。

根据表3、表4可以绘制出10kV供电网络图（见图3）。

5 结束语

对于教育建筑项目，尤其是高校，建筑类别较多，且建筑设置比较分散，需要设置多个变电所，供配电设计难度较大，通过本项目的的设计，笔者针对此类项目配电总结出以下几点：

1) 对于负荷容量小于800kVA的单体建筑，且距离其他建筑较远的单体建筑，可采用低压供电。

2) 对于单体建筑负荷容量小于

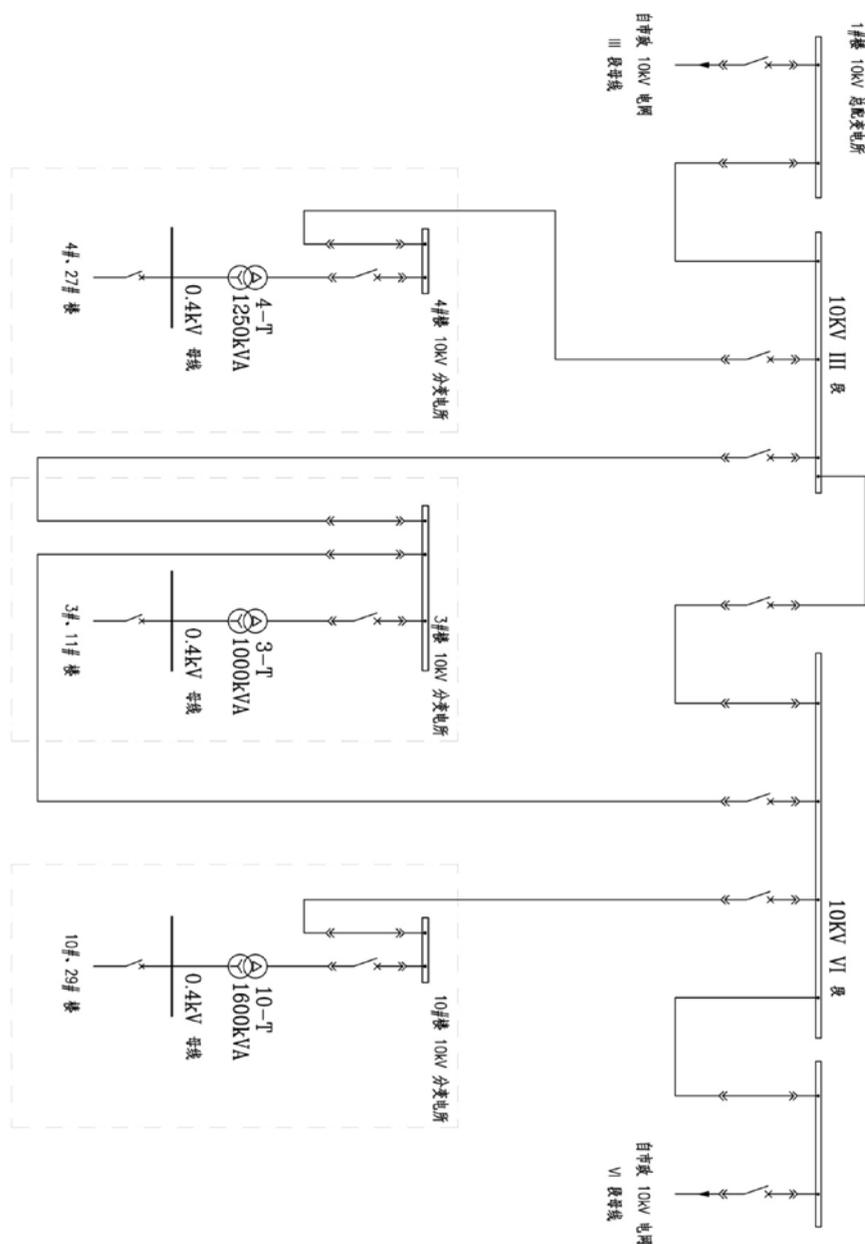


图3 第3、4回市政10kV线路供电网络图

800kVA的建筑群，可于负荷中心处选择适当位置，根据负荷容量，设置变电所。

3) 对于重要负荷较少，负荷容量大于800kVA、小于1600kVA，且距离其他建筑较远的单体建筑，可采用一路高压进线，设置安装一台变压器的变电所，其重要负荷的第二电源取自就近相邻变电所。

4) 对于重要负荷较多，负荷容量大于800kVA、小于1600kVA，且距离其他建筑较远的单体建筑，可采用两路高压进线，设置安装一台变

压器的变电所。

5) 对于负荷容量大于1600kVA的单体建筑，可采用两路高压进线，设置安装两台变压器的变电所。

参考文献

- [1] 中国航空规划设计研究总院有限公司组编.《工业与民用配电设计手册》(第四版).北京:中国电力出版社,2016.12.
- [2] 中华人民共和国公安部.《建筑设计防火规范》GB50016-2014.北京:中国计划出版社,2014.
- [3] 清华大学建筑设计研究院有限公司,同济大学.《教育建筑电气设计规范》JGJ310-2013.北京:中国建筑工业出版社,2014.
- [4] 北京市建筑设计研究院有限公司.《建筑电气专业技术措施》(第二版).北京:中国建筑工业出版社,2016.5.
- [5] 中国建筑标准设计研究院.《全国民用建筑工程设计技术措施》(2009)-北京:中国计划出版社,2009.
- [6] 中国机械工业联合会.《供配电系统设计

规范》GB50052-2009.北京:中国计划出版社,2010.

[7] 中国建筑东北设计研究院.《民用建筑电气设计规范》JGJ16-2008.北京:中国建筑工业出版社,2008.

现场总线技术 在数字化垃圾焚烧电厂设计中的 研究分析

■ 王政一 苏丹 (电气)

摘要: 数字化电厂是近些年来电厂发展的热点,它是利用现代信息技术,促进生产工作与管理工作的数字化发展,是企业管理工作中的新突破。将数字化管理应用到企业整个管理流程,不仅能对相关数据进行预测,也能促进生产能力的提升。随着工业信息化的高速发展,现场总线控制技术已经成为数字化电厂的发展趋势,现场总线控制系统可以实现现场设备的数字化和网络化,是实现数字化控制的基础。本文对现场总线技术进行了简单的介绍,并结合郑州某垃圾焚烧电厂项目和北京某垃圾焚烧电厂项目,对现场总线技术在数字化垃圾焚烧电厂设计中遇到的问题进行了简单的研究,并分析了相应的解决办法。

关键词: 现场总线;网段;数字化电厂;垃圾焚烧电厂;现场总线控制系统

0 引言

数字化电厂,从电厂设计、建设、运行和管理全生命周期角度提出的实施方案,实现电厂设计数字化、建设管理数字化和生产运行数字化,将电厂所有信号数字化、所有管理内容数字化,利用先进的控制技术和信息技术,实现电厂可靠而准确的控制和管理。数字化电厂是一个复杂的体系,主要包括以下内容:

(1) 对象数字化。电厂数字化的对象是工程,它能够二维系统、三维模型以及各种成品文件或设备资料等有机地联系起来,从而形成统一的数字化信息系统,保证电厂信息化建设的顺利进行;

(2) 工程设备与装置的数字化。在电厂工程设备和装置数字化的过程中,工作人员要将现场总线

技术、智能型仪表与各种配电装置有效结合起来;

(3) 过程控制的数字化。这主要是指厂级和机组级的过程控制的数字化;

(4) 生产经营与管理的数字化。这主要指电厂各种业务处理的数字化,通过对各种基础数据的加工、分析和研究,得出有利于生产经营的决策。

现场总线控制系统可以很好地提升电厂的数字化水平,实现了现场设备的数字化和智能化,对控制系统进行了很好地优化。

1 现场总线控制系统简介

1.1 现场总线控制系统的概念及应用现状

根据国际电工委员会IEC61158标准的定义,现场总线是安装在制造或生产过程区域的现场装置与控制室内的自动控制装置之间的数字式、串行、双向、多点通信的数据总线。通俗地讲,现场总线就是安装在生产过程区域的现场设备/仪表与控制

作者简介:王政一,男,助理工程师,2016年毕业于华北电力大学控制工程专业,现就职于航空工业规划市政工程设计研究院。

室内的自动控制装置/系统之间的一种串行、数字式、多点、双向通信的数据总线。由现场总线与现场智能设备组成的控制系统成为现场总线控制系统。现场总线控制系统是一种全计算机、全数字、双向通信的新型控制系统。它与DCS的本质区别在于现场级设备的数字化、网络化,实现了控制装置与现场装置的双向通信,消除了生产过程监控的信息“盲点”。可以说,现场设备级的数字化、网络化是电厂信息化管理的基础。

现场总线控制技术已广泛成功地应用在石化、化工、冶金、市政工程、建材、电力等多个行业,目前国内多个大型火电机组已成功实施,但在垃圾焚烧电厂过程控制中的实质性实施却不是很多。

1.2 现场总线技术的特点

(1) 开放性的互联结构:它摒弃了传统DCS系统的专用通信网络,而是强调了标准的一致性和公开性,采用了一个完全开放的系统,用户可以根据自己的需求,在附近的现场总线接入。

(2) 可互操作性:现场总线的可互操作性是通过对其模块化统一的协议标准来实现的,即使是不同厂家生产的设备,因为执行同一协议标准,所以可以实现互换,从而节约开支。

(3) 全数字化通信:相对于DCS而言,现场所有设备的输入输出信号全部采用数字号,而省略了DCS中的模拟信号,有利于系统抗干扰能力,保证可靠地实现过程控制。

(4) 现场设备智能化:它体现在现场设备可以完成自控的基本功能,具备信号的传感测量及调理、计算和控制功能,并且可随时监测设备的工作状态,仅用一台设备就可以实现DCS的多台设备联合的功能,同时也易于设备的管理和控制。

(5) 降低系统及工程成本:由于现场设备的智能化,从而节省了硬件的投资,节约了设备的安装和维护费用,从而降低了成本。

1.3 与常规控制系统的技术优势

传统控制系统的局限性:信号与电缆一一对应,信号单向传输。数字化电厂需要大量的现场实时数据,会使I/O信号成倍增长,传统DCS难以承担“信息爆炸”的重负。现场总线技术不仅能够提供I/O数据,而且能够提供设备状态、诊断以及历史统计数据。这些数据通过通信线传送到控制器、数据库。

现场总线技术使现场设备与控制器间实现信号双向传输,这样就能够对设备远程维护、管理。

1.4 现场总线控制系统在电厂建设阶段的优越性

减少控制机柜数量,可节省电子设备间的空间。减少了大量的I/O电缆。

调试中可减少查验点,能够远程监视和诊断现场设备,节省工作量和时间。

1.5 现场总线控制系统在电厂运行阶段的优越性

可组态设备实时状态和诊断显示、报警等,快速发现设备故障位置、原因,快速维修,节省人力和提高系统可用性。

采用设备管理软件,记录和积累设备运行状态、诊断信息,预测设备故障,提前维护,降低故障发生率。

综合实时和历史数据,开发有针对性的软件,能够实现“状态维修”、“性能优化”、“寿命评估”等功能,便于电厂的设备维护和管理。

1.6 常用现场总线

目前,广泛应用于数字化电厂的现场总线有两种,分别为FF现场总线和PROFIBUS现场总线。

(1) FF现场总线

基金会现场总线(Fieldbus Foundation,简称FF)是一种应用于工业过程控制控制的总线,是仪表和过程控制向数字化方向发展而形成的技术。它主要应用于监控各种现场总线设备的过程参数。

(2) PROFIBUS现场总线

过程现场总线(Process Field Bus,简称PROFIBUS)实现了过程现场设备层到车间级的分散式数字控制和现场通信网络化,从而为实现工厂综合自动化和现场设备智能化提供了可行解决方案。它包含三种类型,即PROFIBUS-DP、PROFIBUS-PA和PROFIBUS-FMS。其中PROFIBUS-DP是专门为自动控制系统和分散的I/O设备级之间进行通讯使用;PROFIBUS-FMS主要用于解决车间级通用性通讯服务,适用于楼宇自动化、可编程控制器等方面的应用;PROFIBUS-PA适用于过程自动化。

2 现场总线技术在数字化垃圾焚烧电厂的设计应用

目前,现场总线技术在数字化垃圾焚烧电厂的应用还处于发展阶段,受厂家技术限制和其自身工程安装、调试要求高的原因,大部分主控系统与辅助控制系统已普遍采用总线通讯技术,但现场总线设备的采用并不多见。下面,结合郑州某垃圾焚

烧电厂项目和北京某垃圾焚烧电厂项目对场总线技术在数字化垃圾焚烧电厂中的设计应用作简单的研究分析。

2.1 项目概况

郑州某垃圾焚烧发电厂项目设置6台垃圾焚烧炉和3台抽凝式汽轮发电机组以及其配套设施。中央控制室与电子设备间布置在主控厂房二层，一、二层之间设有电缆夹层，中央控制室电气与热工合用，为全厂的控制中心。在中央控制室内安装有DCS操作员站、DEH操作员站、电气控制操作员站、值长站、火灾报警盘、打印机、工业电视监控系统（含汽包水位与炉膛火焰工业电视）、大屏幕等。在电子设备间内安装DCS机柜、汽机机柜、电气机柜等。同时在焚烧间8.0m层每3台锅炉设置1个锅炉就地机柜室，安装焚烧线控制系统机柜（可减少进入中控室的电缆量）。除中央控制室外，另设置化水、渗沥液、垃圾吊、渣吊等就地控制室。

北京某垃圾焚烧发电厂项目设置4台垃圾焚烧炉和2台抽汽凝汽式汽轮发电机组以及其配套设施。本工程采用集中监视、分散控制的控制方式。设立一个中控室，布置在主厂房的主控及展示区的三层，二层为电缆夹层。在主控及展示区三层电子设备间内安装汽机机柜、电气机柜等，在焚烧间设置锅炉就地机柜室，在综合水处理厂房设置水处理控制室，另设置垃圾吊、渣吊控制室安装设备配套的控制系统。

上述两个项目均采用可靠性高、技术先进的集散控制系统（DCS）为核心，完成对垃圾焚烧锅炉、烟气净化系统、汽机发电机组、除氧系统及其它辅助系统的集中监视和分散控制、异常工况的紧急处理和停机，保证机组安全经济运行。控制系统采用现场总线技术，以成熟的DCS为基本系统，无缝嵌入现场总线网络通信模块，形成现场总线的各级网络，连接现场总线仪表、设备，实现数据采集、控制和设备驱动。

2.2 现场总线设计应用范围

郑州项目和北京项目的现场总线类型采用了PROFIBUS-DP总线和FF（H1）总线。其中，采用PROFIBUS-DP总线的设备主要包括：汽水系统、风烟系统、凝结水系统、给水系统、抽汽系统等执行机构和马达保护器，采用FF（H1）总线的设备主要包括：风烟系统、疏水系统、除氧系统、循环冷却水系统、空压机系统等的检测仪表。

在垃圾焚烧电厂中，工艺系统数量较多，而

各个系统的重要性及控制回路的处理速度要求不尽相同。PROFIBUS-DP总线现场设备本身基本不具备控制功能，FF（H1）总线设备具有一定的控制和运算功能，只能够完成较单纯的单回路或串级调节任务，而对于存在多回路耦合的复杂控制，就可能影响控制的实时性，进而影响到工艺系统及设备的安全运行。对于垃圾焚烧电厂工艺系统中与机组安全运行有重要关系、且回路处理速度要求高的相关系统，即上述两个项目涉及到锅炉、汽机安全保护的系统，例如：锅炉炉膛安全保护系统（FSSS）、汽机数字电液控制系统（DEH）、汽机本体紧急跳闸系统（ETS）等，这些系统关系到整个机组的安全稳定运行，应用现场总线技术风险较大，仍采用常规成熟的DCS控制方式。一些带有控制联锁、多重触点值的重要测点，电动调节阀，也依然采用常规的DCS控制方式。而随着总线技术的进一步发展，待积累了较多的应用经验以后，可逐步研究以上系统、电动调节阀及测点应用总线的可行性。

汽机/发电机本体温度测量、水泵电机本体温度测量等模拟量信号，从技术上来说，这些测点的控制可以应用现场总线技术。但从经济性上来说，与采用常规I/O相比，现场总线具备的大量节省电缆及安装费用的优势不够突出，性价比不够高。因为使用带现场总线接口的智能温度仪表，需要使用智能温度变送器，对于垃圾焚烧电厂的温度测点，成本比较高。

上述两个项目对于电机的控制是比较谨慎的，北京项目大部分电机依然采用硬接线的方式接入控制系统，仅将锅炉灰渣输送机 and 渗滤液泵、尖峰冷水泵及风机、辅机冷却水泵及风机、辅机冷却塔风机纳入现场总线系统，而郑州项目所有电机均未纳入现场总线系统。

大部分分析仪表（如PH计、ORP计等）、机械量检测仪表（如测振装置、测速装置等）、磁翻板液位计等，目前市场上没有相关的总线型仪表，所以也采用常规的DCS控制方式。

基本上，重要的设备选用常规设备，不是很重要的设备选用现场总线设备。

2.3 现场总线网段划分

PROFIBUS-DP总线的网段上的所有设备由DP电缆串联起来，通讯速率与串行通讯距离成反比。上述两个项目的PROFIBUS-DP总线的传输速率要求在500kbit/s以上，所以电缆敷设距

离不得过远，一般不超过400m。FF总线需要设置现场采集盒，采集盒到现场仪表的电缆长度尽量不要超过30m。受厂家技术及现场干扰的影响，上述两个项目的每个PROFIBUS-DP总线网段连接设备数量最好不要超过10个且不低于5个，每个FF总线网段连接设备数量最好不要超过8个且不低于4个。

总线网段的划分遵循两个原则：

(1) 满足工艺要求：根据工艺流程及控制要求，将一些互为主、备或者并列运行的设备分配在不同的网段上，避免由于一个卡件的故障导致相关设备全部失控。在上述两个项目中，一些水泵、风机有主、备或者并列运行的工艺需求，虽然彼此距离不远，但在进行总线网段划分的时候，一定要划分在不同的网段上，以保证任意一台设备所属的网段出现问题时，另一台设备仍可以保证正常运行。

(2) 就近原则：在满足工艺要求的前提下，尽量满足就近原则，即同一网段的设备不要距离过远。而就近原则，不仅仅指的是空间和距离上的就近，在上述北京项目中，汽机间PROFIBUS-DP总线网段的划分就遇到了这样的问题：两个电动阀门在空间上的距离很近，但不在同一层平台上，在设计时将二者划分在了同一个网段内。而在现场进行电缆敷设时发现，二者之间的电缆没有办法就近套管敷设，只能进入相应的电缆桥架敷设，最终电缆通过两层平台的桥架进行敷设，这样无疑增加了DP总线电缆的长度。由于每个PROFIBUS-DP总线网段的电缆敷设距离不能超过400m，上述网段的划分方式势必会对该网段的电缆敷设造成影响。

现场总线网段的划分在垃圾焚烧电厂的热控设计中占据了很大的一部分时间，在保证上述两个划分原则的基础上，对于设计而言，快速的进行总线网段划分十分必要。通过对上述两个垃圾焚烧电厂项目的总结，得出了一套快速进行总线网段划分的方法：

首先，要求设计者对主厂房就地设备的布置一定要特别了解，这是前提。

其次，深度细化KKS编码规则，对全厂各个系统、设备、元件等进行详细、完整的编码划分。同时要求设备厂家按照同样的编码原则对其设备的各个零部件和测点等进行KKS编码。KKS编码结构层次分明，不易发生混乱或重复，能够清楚地标识、区分所有设备及分系统，KKS编码是能够贯穿电厂生命周期整个过程的编码，可以使电厂在设计、建设施工、启动调试及运行维护的各个阶段产

生的信息都能被设计、施工、设备生产厂家、信息管理软件商和工程业主等各方准确理解和交流，同时易于计算机处理，是电厂的资产及信息从设计开始一直到运行维护都能够处于最佳配置，从而为实现“数字化电厂”的建设要求奠定基础。现在国内的大型火电机组，均采用了KKS编码原则。

KKS编码分为系统代码、设备代码、元件代码三个部分。对全厂系统、设备进行编码后，每个KKS编码都是唯一、不重复的编码，运用Excel对所有编码进行筛选。首先筛选具有相同或相近系统代码、设备代码的编码，然后对于筛选出来的设备，根据实际的工艺布置进行进一步的划分。

例如，上述北京项目一段抽汽、二段抽汽、三段抽汽的电动阀门KKS编码，系统代码均以61MAL开头，设备代码均以AA开头，所以在Excel中筛选含61MALAA的编码，可以很快地将一段抽汽、二段抽汽、三段抽汽的电动阀门筛选出来，这三个抽汽系统的电动阀门满足总线网段划分的两个原则，是可以划分在同一个PROFIBUS-DP总线网段上的。同样，低压给水和高压给水压力测点的KKS编码，系统代码均以10LAC开头，设备代码均以CP开头，所以在Excel中筛选含10LACCP的编码，可以很快地将低压给水和高压给水的压力测点筛选出来，这些压力测点满足总线网段划分的两个原则，是可以划分在同一个FF总线网段上的。

最后需要注意的是，同一个网段的设备最好在同一层平台上，尽量不要出现跨平台的情况。PROFIBUS-DP总线网段设备在保证位于同一层平台的基础上，设备顺序尽量按区域划分，不要出现设备“东一处，西一处”的跨区域情况。

值得一提的是，在北京项目的PROFIBUS-DP总线网段中，有几个网段的设备均是I/O总线箱。在一些温度相对集中的位置设置I/O总线箱，将多个热电阻或热电偶接入I/O总线箱，然后将多个I/O总线箱划入一个PROFIBUS-DP总线网段。

2.4 现场总线电缆敷设

上述两个项目对总线电缆的敷设要求很高，均为总线电缆设计了专用的桥架，在现场实际敷设中，是不允许出现动力电缆或普通控制电缆与总线电缆共用同一桥架的情况。北京项目中，在焚烧间、汽机间、中控室电缆夹层等区域设计了三层桥架，最上层敷设动力电缆，中间敷设普通控制电缆，最下层敷设总线电缆；郑州项目中，在焚烧

间、汽机间、中控室电缆夹层等区域设计了两层桥架，最上层敷设动力电缆及普通控制电缆，最下层敷设总线电缆，这样很好地避免了其他电缆对总线电缆信号的干扰。

上述两个项目中的总线电缆敷设，有以下几种情况需要注意：

(1) 郑州项目的汽机厂房距主控厂房的中控室较远，拿PROFIBUS-DP总线来说，最近的总线设备至中控室DCS机柜的电缆长度大约有110m，而每个PROFIBUS-DP总线网段的电缆敷设距离不能超过400m，这样只能在地设置远程终端电阻柜，这对于现场的检修极为不利，建议终端电阻最好设置在中控室的DCS机柜中。所以在涉及现场总线的垃圾焚烧电厂项目中，前期的总图规划工作一定要做好，焚烧厂房、汽机厂房和主控厂房的距离不宜太远。

(2) 总线电缆敷设一定要规划好路由。对于PROFIBUS-DP总线，保证DP电缆总长度尽量短。对于设计来说，每个PROFIBUS-DP总线网段的电缆设计长度尽量保证不要超过350m，例如在北京项目，个别PROFIBUS-DP总线网段的电缆设计长度为370m、380m、390m，在现场实际的电缆敷设中，该网段的电缆长度很容易超过400m。对于FF总线，设计者更多关注的是检测仪表的取源点而不是变送器的安装位置。在北京项目中，空压机房的FF总线，个别压力变送器在现场的实际摆放位置和设计有一定的偏差，结果导致压力变送器到FF接线盒的电缆长度超过了30m。所以，总线电缆敷设钱，设计者需和现场安装人员进行沟通，进一步核实电线路由、检测仪表位置、总线箱位置等，避免出现电缆绕路、电缆长度过大的情况。

(3) 设计电缆桥架时不可能覆盖全厂每个设备的位置，一些区域对总线电缆进行套管敷设不是特别合适，对于距离电缆主通道较远设有总线设备的区域，可以和现场安装人员沟通后，在此区域增加电缆槽盒接入电缆主通道。而电缆槽盒和电缆主通道的连接处往往是切割而成的，此处需添加保护措施，避免总线电缆被切口割坏。

2.5 现场总线电缆接线

现场总线易受现场环境的干扰，所以其对于接线的要求十分严格，现场总线发生故障的原因很大一部分是因为接线问题。在北京项目中，一些总线的接线没有满足接线要求，导致总线设备调试不

成功。所以设计单位和总线厂家应及时和现场安装人员进行相关沟通，建议对现场安装人员进行考核培训、竞争上岗。

DP接线注意事项：

DP电缆有专用的连接头，连接头的接线一定要用DP总线专用的拨线工具；

当DP总线网段距离太长或干扰太大时，建议在DP总线中加装DP光电转换器。在北京项目中，油泵房设备所在的DP网段，最近的设备距离中控室DCS机柜的电缆长度大约有500m，这已经超过了DP网段400m的距离限制，因此加装了DP光电转换器，并用了光缆敷设；

对于端子盘接线的电动门建议直接将进出的DP电缆屏蔽层短接并用绝缘胶带包好；

DP总线电缆最好用DP9连接头连接到设备，对于端子接线的马达控制器DP电缆保护套尽可能地保留到接线端子处。同时保证DP电缆芯线裸露长度尽可能短，减少干扰。设备间总线电缆的长度要求大于1m；

DP电缆应从侧面进入电气开关柜，避免从后面进入，因为后面一般都是强电电缆，易受干扰。

DP电缆在敷设过程中要避免绷紧、被折起来或者出现过小的弯曲半径。DP电缆采用多点接地。

FF接线注意事项：

FF电缆必须压接冷压端头（线鼻子）；

FF电缆的线芯由多股金属细丝组成，剥线芯外皮时应注意保护好金属细丝；

FF屏蔽排流线上要安装绝缘套管（黑色），屏蔽排流线也要求压接冷压端头；

接线箱及总线仪表及仪表架通过接地/条与钢结构可靠接地；

现场仪表最好采用下进线，要密封好防水防潮，端子生锈将影响通讯；

接入设备的FF电缆屏蔽电缆要减掉并包扎好，进入设备的FF电缆要留有余量；

保证电缆端子接线处不受力，且仪表要求可靠接地；

FF电缆内层护套尽可能地保留到接线端子处，尽量降低干扰。绞合导线接线时剥离大约12mm的绝缘层。

FF电缆在敷设时不要绷得过紧，否则会引入应力。同时，不要出现过小的弯曲半径，否则会降低电缆屏蔽效果。FF推荐单点接地。

3 现场总线在数字化垃圾焚烧电厂中的故障分析与处理

3.1 故障原因

现场总线发生的很多故障主要来自网段上的干扰，而干扰的主要原因是现场总线的不规范施工及设计引发的，根据调试及维护发生的故障分析，主要原因有以下几个方面：

(1) 现场总线网段没有终端电阻或者终端电阻拨码没拨到位，使电缆阻抗不连续，从而产生信号反射，影响通信质量；

(2) 总线屏蔽线连接不规范，接线质量不高，使得网段多点接地或接地不良，对线路形成干扰；

(3) 现场总线电缆敷设及使用不规范。电缆打结，弯曲半径小，与可能造成干扰的动力电缆间隔距离过小。电缆通过复杂电磁环境或离开桥架后未使用金属套管保护等；

(4) 现场总线网段划分设计不合理，网段电缆长度超出设计要求。

3.2 处理措施

针对以上现场总线故障，结合规范和使用经验，可从以下几个方面改善系统的安全性、稳定性：

(1) 保证每个总线网段首端和终端各有一个终端电阻，且接线正确、供电正常；

(2) 现场总线的电缆屏蔽层处理应规范，保证每个网段屏蔽层的连续性，每个网段屏蔽层在现场总线箱处与系统等电势相连，可靠接地；

(3) 电缆敷设要符合要求；

(4) 对总线网段长度进行检测、路由优化，保证总线长度在规定范围内；

(5) 总线设备使用环境要符合要求，尽量安装在温度适宜的地方，现场设备也要注意防雨、防潮。

4 结论与展望

现场总线技术有着许多优越性，目前仍处于发展的阶段，厂家的技术和实际的设计和施工、安装等，仍有许多待改善、进步的地方，尤其是厂家的技术限制。今后厂家技术实现突破后，现场总线的使用率将会有很大的提高。现场总线技术代表着自动化发展的方向，对数字化电厂起着重要的基础和支撑作用，发展前景广阔，其应用范围、广度和深度都需要我们在未来不断的研究和探索。

参考文献

- [1] 杨浚,姜春敏. 现场总线技术在数字化电厂中的应用[J]. 山东电力技术,2012.
- [2] 官翔,卓勇. 数字化电厂现场总线技术的应用[J]. 低碳世界, 2014.
- [3] 王锦标. 现场总线控制系统[J]. 微机计算机信息,1996.
- [4] 刘宇穗,张振全,李军. 数字化电厂架构及现场总线控制系统的设计[J]. 热力发电,2008.
- [5] 危元华. 数字化电厂的概念及方案研究[J]. 发电技术,2013.
- [6] 郑慧莉. 电厂迈入现场总线技术新时代[J]. 仪器仪表用户,2013.
- [7] 黄冬兰. 现场总线技术在数字化电厂中的应用范围及投资分析[J]. 工业控制计算机,2011.

蒸汽锅炉安全阀排汽管道的设计

■ 鲍立斌 吴坤 [动力]

摘要: 蒸汽锅炉安全阀是指安装于锅筒和蒸汽集箱上的一种自动超压保护装置,本文介绍了蒸汽锅炉安全阀排汽管道设计中参数的计算和主要附件的选取,并介绍了排汽管道和支吊架布置的注意事项。

关键词: 安全阀;排汽管道;设计

1 绪论

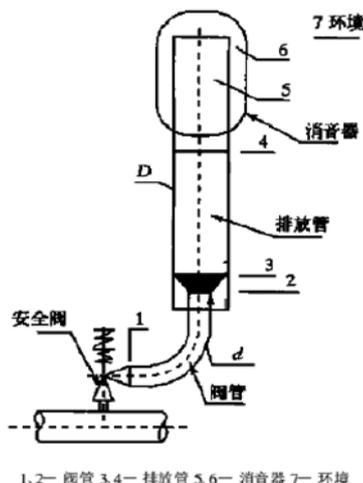
蒸汽锅炉安全阀是指安装于锅筒和蒸汽集箱上的一种自动超压保护装置^[1],当系统的压力达到安全阀的开启压力值时就将自动地开,通过排汽管道排出超量的蒸汽,而当系统的压力降至安全阀的回座压力值时又自动地关闭。

蒸汽锅炉安全阀排汽管道设计的一般流程为计算排汽管道设计参数,主要包括蒸汽的流量、压力和温度,然后根据参数选择管道及其附件,最后再根据现场实际情况布置管道走向和支吊架。蒸汽锅炉安全阀排汽管道分为闭式排放气系统和开式排放系统两种,因为锅筒和蒸汽集箱内蒸汽温度较高,排放过程中排汽管道有较大的热位移,开式排放系统可以利用安全阀出口管道与排汽管道之间的间隙吸收热位移,所以一般蒸汽锅炉安全阀排汽管道多采用开式结构,如图1所示,本文主要介绍开式安全阀排汽管道的设计。

2 安全阀排汽管道设计参数的计算与选取

2.1 流量

蒸汽锅炉安全阀排汽管道的蒸汽流量即安全阀的排汽量一般由锅炉厂家提供,当锅炉厂家不提供时需要设计者进行计算,蒸汽锅炉安全阀排放量的计算有多种方法^[2],一般按照《蒸汽锅炉安全技术监察规程》和《火力发电厂汽水管道设计规范》推荐的蒸汽安全阀排放量的计算公式进行核算。



1.2—阀管 3.4—排放管 5.6—消音器 7—环境

图1 开式安全阀排汽系统示意

《火力发电厂汽水管道设计规范》中还介绍了排汽系统各个截面（示意图中2、3和4截面）蒸汽比容的计算方法,据此设计过程中可进一步计算各截面的蒸汽流速。

2.2 排汽管道设计压力和温度

按照《火力发电厂汽水管道设计规范》规定,安全阀后排汽管道的设计压力和设计温度应根据排汽管道的水力计算结果确定,2016版新规范中尤其强调了由于计算方法已经比较完善,设计温度也需要根据计算来确定。

关于排汽管道设计压力的确定,《火力发电厂汽水管道设计规范》给出了排汽系统各个截面（示意图中截面2、3和4）压力的计算方法,该方法主要假设安全阀出口管道端面（截面2）蒸汽处于临界流动状态,并通过滞止压力和滞止温度计算临界压力,即截面2的压力。

作者简介:鲍立斌,男,助理工程师,2016年毕业于哈尔滨工业大学动力工程及工程热物理专业,现就职于航空工业规划市政工程设计研究院。

《火力发电厂汽水管道设计规范》也详细介绍了排放管道入口和出口截面压力的计算方法，但是该方法计算比较复杂，不借助计算软件很难实现，但是对于多数锅炉来说，安全阀进出口压力相差很多，安全阀阀管出口截面的压力已经比较低，设计上如果采用截面2的蒸汽压力作为设计压力并不会增加工程成本。例如，沈阳某垃圾焚烧电厂余热锅炉锅筒安全阀整定压力7.78MPa，温度278℃，通过计算安全阀阀管出口蒸汽压力0.24MPa，压力较小，再进一步计算排汽管进出口压力对选材来说意义不大。

《火力发电厂汽水管道设计规范》并未给出排汽管道中蒸汽温度的计算方法，但是根据临界流动状态的流速和滞止焓可以计算出出口截面2处蒸汽的焓值，计算公式如下：

$$h_2 = h_0 - \frac{1}{2} \omega_2^2$$

式中：

h_2 — 出口截面2处蒸汽焓值，J/kg；

h_0 — 滞止焓值，J/kg；

ω_2 — 出口截面2处蒸汽流速，m/s；

得到焓值和压力之后即可用计算或者查表的方法确定出口截面2处的温度。

3 安全阀排汽管道附件的选取

对于开式蒸汽锅炉安全阀排汽管道来说，附件主要有两个，即疏水盘和消音器。

疏水盘除了有疏水的功能外，如前文所述，还有吸收热位移的作用。疏水盘的选取主要是确定入口与出口的管径，一般入口管径根据安全阀出口管径进行选取，出口管径的选择需要保证疏水盘处不发生蒸汽反喷，《火力发电厂汽水管道设计规范》给出了详细的计算公式，在满足不反喷的条件下尽可能选择较小的管径，进而避免排汽管道出口处出现亚临界流动情况的发生^[3]，同时可以节约成本。

此外，安全阀工作时，在排放管道的出口端，气流将达到或接近临界流速，对于采用开式排放结构的排汽管道，其排汽初始参数较高、流量较大、气流排放速度大，此时如果直接排放到大气会产生很大的噪音，在排放管道上安装消音器是降低噪音污染的主要手段^[4]。此外，选择消音器，也可以避免排汽管道出口达到亚临界流动状态^[1]。消音器应该根据排放蒸汽的流量和参数进行选择，在结

构设计必须考虑消音器自身重量增加的载荷。

4 排汽管道及支吊架的设计注意事项

为保证排汽的通流量和尽快泄压，排汽管的布置路径宜短捷，少转弯，管径应不小于出口法兰的通路。如果安全阀出口水平管道较长，有条件设置支吊点，应尽量设置成刚性支吊架承受排汽反力冲击载荷的作用，如果应力计算不允许，只能设计成弹簧支吊架。排汽反力需要按照《火力发电厂汽水管道设计规范》给定的公式进行计算。

出于对排汽管道支吊架防振和安全运行的考虑，对于排汽管道应在排出的垂直管上设置固定点，在有条件的垂直管段应设置多个“导向—弹簧联合吊架”来防止振动^[5]。例如，北京某垃圾焚烧发电厂集汽集箱安全阀排汽管道由焚烧厂房屋顶排出，在屋顶网架下弦布置弹簧吊架，在网架上弦布置导向支架，进而避免排汽过程中管道发生震动或者支架脱空。

5 结语

本文按照设计流程介绍了蒸汽锅炉安全阀排汽管道的设计要点，主要包括安全阀排放量的计算、安全阀排汽管道设计和设计温度的计算和选取、管道附件的选择以及排汽管道和支吊架布置。安全阀的主要设计参数，除温度外都可以按照《火力发电厂汽水管道设计规范》给定的公式进行计算，温度可以根据焓值和压力进行计算或查取。疏水盘的选择要保证不发生反喷，消音器要保证有足够的流通能力。管道和支吊架的布置要考虑排汽反力和热位移，保证排汽管道的稳定和安全。

参考文献：

- [1] 林燕，杨道宏. 安全阀排汽的两种计算方法比较[J]. 科技创新导报，2009(29):57-59.
- [2] 刘秀雯. 蒸汽锅炉安全阀排放量的计算与分析[J]. 安全、健康和环境，2007(1):19-20.
- [3] 张馨. 电厂安全阀排汽管道热力计算及应用[J]. 华电技术，2011，33(11):9-11.
- [4] 丁岩峰，樊泉桂. 锅炉主安全阀排汽管的连接方式[J]. 节能与环保，2006(1):58-59.
- [5] 张巍. 安全阀排汽管道排汽反力计算及支吊架设计[J]. 低碳世界，2013(11x):41-42.

蒸汽锅炉房除氧器用减压阀选型

■ 赵光耀 安玉生 (动力)

摘要: 本文针对某蒸汽锅炉房除氧器用减压阀进行选型, 首先对减压阀的基本概念及阀门分类进行概述; 其次, 根据蒸汽锅炉房规模与蒸汽参数, 对减压阀进行选型计算, 通过计算确定蒸汽减压阀型号规格等参数; 最后, 为了保证减压阀的正常使用, 对减压系统的设计进行描述。

关键词: 减压阀; 选型; 蒸汽锅炉房; 蒸汽减压系统

1 前言

在蒸汽锅炉房中, 为保证锅炉给水溶氧量不超过相关标准要求, 一般需要在锅炉房中设置除氧器, 较大型的锅炉房一般采用大气式热力除氧器。多数锅炉房中缺少合适压力的低压蒸汽, 只能采用锅炉主蒸汽经减压阀减压后作为除氧汽源, 因此, 减压阀的正确选择对锅炉房除氧系统的正常运行起着重要作用。若减压阀设计不合理, 将会对除氧器的稳定工作产生影响, 并造成除氧气耗过高、除氧效果差等不利影响。

2 减压阀基本概念及分类

减压阀是一种通过调节流通面积, 将进口压力减至设定的出口压力, 并依靠流体自身的能量, 使出口压力维持稳定的阀门, 其作用一是减压, 二是稳压。减压阀分为活塞式减压阀、薄膜式减压阀、波纹管式减压阀。

(1) 活塞式减压阀 (见图1)

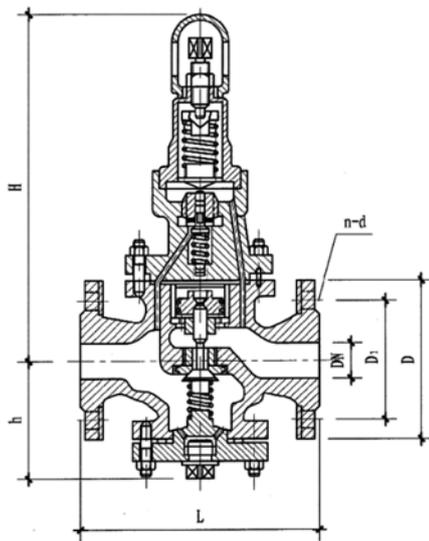


图1 活塞式减压阀

活塞式减压阀由阀座、主阀盘、活塞、缸套、弹簧等零件构成。在高压流体未进入减压阀时, 阀芯 (即活塞) 在弹簧力作用下, 处于下壳体内腔底部, 阀门处于开启状态。当高压流体进入上壳体通道, 一部分流体通过串接的节流小孔进入呼吸器的呼吸系统; 一部分流体沿着虚线指出的通道进入下壳体底部, 下壳体底部空间内的压力升高, 致使阀芯克服弹簧力而上升, 阀芯的上升使阀门开

作者简介: 赵光耀, 男, 助理工程师, 2015年毕业于北京工业大学动力工程及工程热物理专业, 现就职于航空工业规划市政工程设计研究院。

度减小, 流体压力减小, 下壳体内压力也减小。经过不断的自我调整, 最终阀芯不再运动, 达到受力平衡, 完成高压流体的减压。采用活塞作为敏感元件来带动阀瓣运动的减压阀, 工作可靠, 维修量小, 占地面积小。活塞式减压阀适用于承受温度、压力较高的蒸汽和空气介质管道上。

(2) 薄膜式减压阀

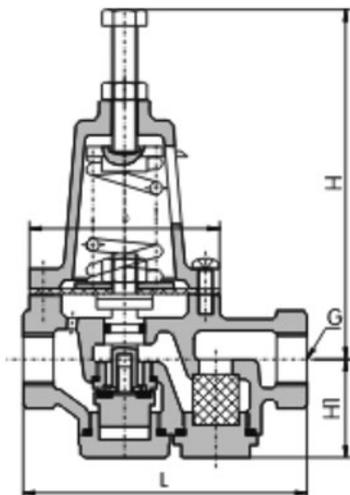


图2 薄膜式减压阀

薄膜式减压阀由阀座、阀瓣、膜片、弹簧、调节弹簧等零件组成。通过调节弹簧压力设定出口压力, 利用膜片反馈减压阀出口压力变化, 驱动阀芯移动, 调节阀门节流部位过流面积, 实现减压稳压功能。该种减压阀的双膜片代替了活塞式减压阀中的活塞。增大的膜片面积能够打开更大的主阀, 并且在相同的管道尺寸下, 其容量比活塞式减压阀更大, 且采用膜片反馈阀出口压力变化, 调节精度更高。薄膜式减压阀宜用于承受温度、压力不高的水和空气介质管道上。

(3) 波纹管式减压阀

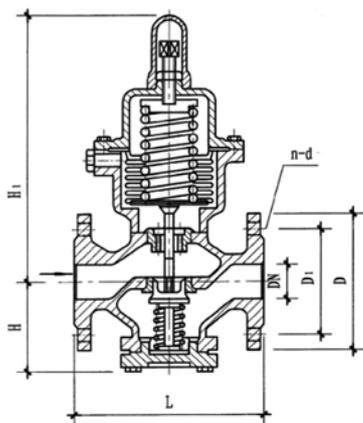


图3 波纹管式减压阀

波纹管式减压阀由阀座、阀瓣、波纹管、弹簧、复位弹簧等零件组成。采用波纹管代替膜片, 当减压阀后压力改变时, 介质压力通过压力反馈孔作用于波纹管, 推动波纹管动作, 在阀芯复位弹簧作用下, 带动阀芯运动, 改变减压阀的流通面积, 使减压阀后压力逐渐调整趋于平衡。该种减压阀调节范围大, 可适用于高温介质。波纹管式减压阀宜用于介质参数不高的蒸汽和空气介质的管道上, 不能用于液体的减压, 更不能含有固体颗粒。因此, 宜在减压阀前加过滤器。

3 减压阀的选型

针对某蒸汽锅炉房的热力除氧器的蒸汽需求, 对减压阀进行选型计算。蒸汽锅炉房规模为2台20t/h的饱和蒸汽锅炉, 锅炉设计压力为1.25MPa, 配套2台30t/h的热力除氧器。

(1) 蒸汽母管确定

为了进行减压阀选型计算, 首先需确定除氧器蒸汽耗量。已知锅炉用除氧水水量为44t/h, 除氧器进/出水温度为20℃/104℃, 除氧器入口蒸汽压力为0.4MPa, 除氧器蒸汽耗量由下式计算:

$$G_z = \frac{G_w(h_2 - h_1)}{0.98(h - h_2)}$$

其中,

G_z 为除氧器蒸汽耗量, kg/h;

G_w 为除氧水水量, kg/h;

h 为除氧器入口蒸汽焓值, kJ/kg;

h_1 为除氧器进水蒸汽焓值, kJ/kg;

h_2 为除氧器出水蒸汽焓值, kJ/kg;

计算可知, 除氧器蒸汽耗量为7003kg/h。根据相关规范, 选定饱和蒸汽的流速为35m/s, 根据计算可知, 除氧器用蒸汽管道减压前母管的公称尺寸为DN125。

(2) 减压阀阀芯流通能力计算

流体经过减压阀节流后, 单位阀孔面积的理论流量与流体性质和状态有关, 也与阀后和阀前的压力比值有关; 压力比值越小, 流量越大。但是当压力比值减小到某一定值时, 流量不再随压力比的减少而增加, 称此极限值为临界压力比。气体临界压力计算公式如下:

$$\sigma_x = \left[\frac{2}{(k+1)} \right]^{\frac{k}{k-1}}$$

其中,

σ_x 为流体临界压力比, k 为流体绝热指数;

饱和蒸汽: $k=1.135$

过热蒸汽: $k=1.3$

压缩空气: $k=1.4$;

经计算:

饱和蒸汽: $\sigma_x=0.577$

过热蒸汽: $\sigma_x=0.546$

压缩空气: $\sigma_x=0.528$ 。

减压阀阀芯流通面积的计算根据蒸汽通过减压阀的流动特性分为两种情况: 临界和超临界流体, 亚临界流体。若流体减压后与减压前的压力比 $P_2/P_1 \leq$ 临界压力比, 则该流体为临界和超临界流体; 若 $P_2/P_1 >$ 临界压力比, 则该流体为亚临界流体。

对于临界和超临界流体, 减压阀每 cm^2 理论流量按下式计算:

$$G = 36 \sqrt{9.8 \cdot k \cdot \frac{P_1}{v_1} \cdot \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k+1}{k-1}}}$$

对于亚临界流体, 减压阀每 cm^2 理论流量按下式计算:

$$G = 36 \sqrt{2 \times 9.8 \cdot \frac{k}{k-1} \cdot \frac{P_1}{v_1} \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{2/k} - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]}$$

其中,

G 为减压阀每 cm^2 理论流量, $\text{kg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$;

P_1 为减压阀前蒸汽压力, kgf/cm^2 (绝对压力);

P_2 为减压阀后蒸汽压力, kgf/cm^2 (绝对压力);

v_1 为减压阀前蒸汽比容, m^3/kg ;

已知减压阀前的蒸汽压力 P_1 为1.25MPa, 减压阀后的蒸汽压力 P_2 为0.4MPa, 流体减压后与减压前的压力比 $P_2/P_1=0.37$, 故该处蒸汽为超临界流体。通过计算可知, 减压阀每 cm^2 理论流量为 $639.4\text{kg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$ 。

(3) 减压阀阀芯面积计算

已知除氧器用蒸汽流量为 $7003\text{kg}/\text{h}$, 考虑阀孔流量系数 μ (蒸汽为 $0.45 \sim 0.6$, 暂定 $\mu=0.5$)。根据下式:

$$A = \frac{q_m}{\mu \cdot G}$$

其中,

q_m 为通过减压阀的蒸汽量, kg/h ;

μ 为流量系数;

A 为减压阀阀座面积 (cm^2);

计算可得减压阀阀座面积为 21.9cm^2 。根据减压阀阀座面积, 从减压阀厂家样本中选取减压阀, 确定减压阀的公称尺寸为DN100, 规格型号为Y43H-25。

4 减压系统及减压阀的安装

蒸汽锅炉房中减压阀正确的选型是系统稳定运行的重要因素之一, 同时减压阀合理的布置也至关重要。

第一, 减压阀内的蒸汽均是以高速在阀体内流动, 若蒸汽携带水滴或杂物, 将对阀芯、阀座表面产生严重的冲蚀或磨损, 阀门寿命将会大大降低, 因此在减压阀前需安装汽水分离器和蒸汽过滤器。

第二, 减压阀应安装在便于操作和维修的地方, 且须直立安装于水平管路上, 使介质流向与阀体上箭头保持一致。

第三, 考虑对减压阀的维修, 减压干管须设置旁通管, 旁通阀应安装于减压阀的上部或同与减压阀相同高度, 且旁通管直径与减压阀干管直径相同, 切忌安装于减压阀干管下部, 避免减压阀常闭状态下积水长时间腐蚀管件。

第四, 减压阀后需设置安全阀, 确保减压后阀门和设备的安全。

第五, 为了保证减压阀的性能, 核算阀门流量满足要求的前提下, 阀门前后宜设置变径, 异径管应使用偏心异径管, 避免管道局部积水, 形成水锤而冲击管件, 造成管件的损毁。

5 结论

本文针对某蒸汽锅炉房除氧器用减压阀进行选型计算, 通过计算确定, 除氧器用蒸汽母管的公称尺寸为DN125, 减压阀的公称尺寸为DN100, 规格型号为Y43H-25, 减压阀前后的压力为1.25MPa/0.4MPa, 减压阀的蒸汽流量为 $7003\text{kg}/\text{h}$ 。

疫苗分包装车间工艺设计中 需要注意的问题

■ 伍雅欣 张焱 [工艺]

摘要: 本文根据疫苗注射剂产品生产特点,结合工程实践,对疫苗分包装厂房的工艺设计、工程设计等方面进行分析,总结出在疫苗分包装车间工艺设计中需要注意生物安全级别的确认,车间工艺布置和车间设备选型等问题。

关键词: 疫苗分包装; 厂房设计

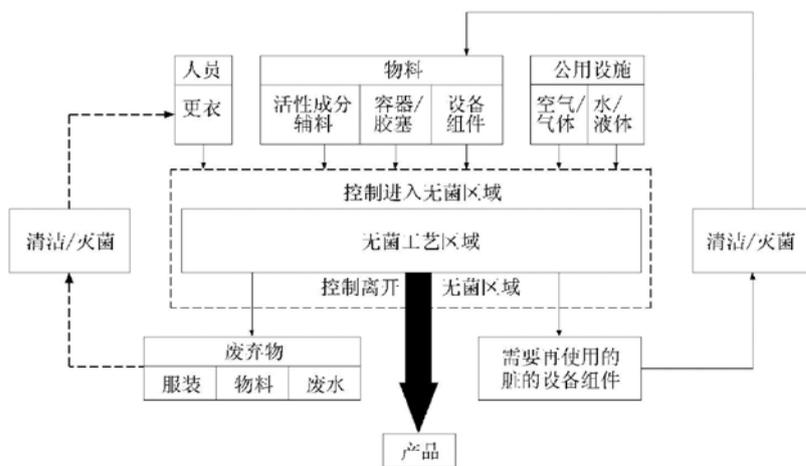
1 疫苗分包装车间的基本组成和特点

疫苗分包装车间是指将疫苗原液进行配制、除菌过滤、分装成规定剂量并完成内外包装的注射剂生产车间。由于疫苗属于生物制品,因此,该类车间不仅具有一般注射剂生产车间的特点,而且还具有许多生物制品生产车间所独有的特殊性。在进行该类车间设计时,要充分考虑产品的生物学特性,并具有针对性地进行设计,这样,才能设计出更适合疫苗类产品的分包装车间。

参照《国际制药工程协会》的分类方法可以分为以下两类:

- 1) 开放式疫苗生产
- 2) 密闭式疫苗生产

使用密闭/密封的设备生产时,产品、原料、关键组件或容器/胶塞的表面不与外部生产环境接触。



开放式疫苗分包装车间工艺流程图

密闭式生产举例

- 物料采用密闭无菌容器转运
- API重结晶容器
- 产品或原料经密闭无菌管路转运
- 全密闭玻璃瓶或密闭安瓿的转运和储存

采用密闭生产方式,通过合理设备设计和操作来确保系统的完整性,日常生产检测数据证明其完整性,不需对设备所处环境进行特殊控制。

下面根据工程设计经验,谈谈疫苗分包装车间工艺设计中需要注意的主要问题。

作者简介:伍雅欣,男,研究员,1984年毕业于中国药科大学化学制药专业,现就职于航空工业规划医药工程设计研究院。

(1) 疫苗分包装车间生物安全级别的确定
(按医药工程设计2016年12月修改内容)

(2) 常用疫苗

对于常用疫苗(如:水痘疫苗,甲、乙肝疫苗、流感疫苗等),其生产车间的生物安全级别的确定可以根据我国“生物安全实验室建筑技术规范(以下简称“生物安全规范”)”进行确定。

在确定以前,首先要对所生产的疫苗按照《中华人民共和国药典》(2015版第三部),生物制品生产检定用菌毒种管理规程进行分类。

该表明确指出,生物制品、菌苗、疫苗生产用各种减毒、弱毒菌种及不属于上述3类的各种低致病性的微生物菌种均属具有微度危害性的第4类(国外称第1类)。按此对照“生物安全规范”中的生物安全实验室的分级表(见表二),此类产品实验室应属于一级。

从“生物制品生产检定用菌毒种管理规程”附录常用生物制品生产用菌毒种危害程度分类可以看出,除个别使用较少的品种为二类外,其他品种均属于具有低度和微度危害性的第三、四类(国外成为2、1类),按此对这些生物安全规范中的生物安全实验室的分级表,此类实验室危害属于一、二级。但是,针对各种疫苗,特别是减毒活疫苗的特性,以及对某些易感人群的危害性,疫苗生产车间按二级生物安全实验室标准进行设计是比较合适的。

(3) 特殊疫苗

对于特殊疫苗,应该针对不同情况进行具体分析。如:天花疫苗已经灭绝,目前,在易感人群中是免疫空白的。这个产品的生产车间的设计就应该按三级生物安全实验室标准进行。

2 车间工艺布置设计中应注意的问题

1) 根据疫苗的种类确定分包装生产线的数量和组合

当进行疫苗分包装车间设计时,首先要确定需要分装的疫苗是活疫苗还是灭活疫苗以及所属的种类。

当疫苗全部为活疫苗时,根据GMP规范第二十二條,不同种类的活疫苗的处理及灌装应彼此分开。因此,对于活疫苗每个品种必须设计独立的生产线进行分包装。

当疫苗全部为灭活疫苗时,根据GMP规范附录五、生物制品第15条,各种灭活疫苗(包括重组

DNA产品)、类毒素及细胞提取物,在其灭活或消毒后可以与其他无菌制品交替使用同一灌装间和灌装、冻干设施。但在一种制品分装后,必须进行有效的清洁和消毒,清洁和消毒效果应定期验证。因此,对于灭活疫苗各种品种可以交替共用同一灌装间和灌装、冻干设施。在设计时,一般设计一个生产能力大的生产线供各种灭活疫苗分包装使用。

当疫苗中既有活疫苗,又有灭活疫苗时,应设计两条完全独立的生产线,分别供活疫苗和灭活疫苗分包装使用。

2) 必须设计待验库

疫苗制品在灌装、冻干、扎盖以后得待验品,一般先保存在2~8℃待验库内,待检验合格后,再进行灯检、装盒、装箱等工序得到成品。由于生物制品的半成品检验周期较长,一般半个月到一个月,因此,在工艺布置设计时必须设计足够面积的待验库,以满足生产需要。

3) 合理设计配液间

对不同的品种有不同要求,要具体情况,具体分析。

(1) 对于病毒性疫苗来说:灌装前的工作,如:溶化、合并等工作都是在原液车间完成,送到分包装车间就直接灌装。对于这种情况,不需要再在分包装车间内设计配液间。如:水痘疫苗的分包装就是如此。

(2) 对于细菌性疫苗来说:由于灌装前,来自原液车间的疫苗原液还需要稀释,因此,该类疫苗的分包装车间内一般都设计配液间。生产多联疫苗的车间还需要根据情况设计若干个配液间。

(3) 对于冻干疫苗来说:在疫苗灌装的间隙,还需要灌装无菌注射用水。对于这种车间,通常设计一间配液间供制备无菌注射用水使用。

3 疫苗外包装间的要求

根据《中华人民共和国药典》(2015版第三部)的要求,疫苗的外包装间室温要求 $<25^{\circ}\text{C}$,外包装间的使用面积不仅考虑设备放置与人员操作,还应考虑成品暂存以及通过传送带或机器人进行货物转移等工序需要的使用面积。

(1) 活疫苗灌装间传出的物品需经灭菌柜灭菌后才能移除该区域

(2) 要求特殊的成品库

疫苗的成品库中存放的产品包括待销售成品

和等待批签发产品，库温一般为2~8℃。根据国家批签发政策，疫苗类生物制品分装后，包装前每一批都必须经过国家检测合格后，方可销售。一般疫苗国家批签发检测时间约60天，狂犬疫苗检测时间56天。因此，在疫苗工厂成品库设计时要充分考虑等待批签发产品的存放面积，以保证正常生产运转的需要。

4 工艺设备选择时应注意的问题

国内楚天生产的灌装机已达到国际先进水平，该设备采用智能。

化和机器人为国际先进的技术。一般适用于高附加值的产品生产。智能灌装机用于西林瓶和预充制注射器产品的灌装，该设备可实现废品自动剔除、在线清洗及在线灭菌，降低染菌风险。

(1) 工艺设备选型方面：

1. 采用全自动配液系统；
2. 暴露区采用隔离器或RABS；
3. 外包装区采用全自动外包装生产线以减少操作人员的数量。

(2) 合理确定生产时间

由于疫苗类生物制品的特殊性，从配制到灌装完成要求在3小时内（水痘疫苗2小时），分装时间过长会影响疫苗的毒力。因此，在选择工艺设备灌装机时，每批的生产时间只能按3小时计算（水痘疫苗2小时计算），而不能超过3小时。这样才能选择合适数量的灌装机，以满足生产需按要。

(3) 洗灌封连动线要配冷却水

一般注射剂生产车间使用的洗灌封连动线灭菌烘箱都是采用风冷，玻璃容器从灭菌烘箱中经风冷以后，温度仍然较高，对保证制品的质量很不利。因此，疫苗分包装车间洗灌封连动线灭菌烘箱都是采用水冷，这样可以进一步降低灌装前玻璃容器的温度，有助于保证制品的质量。

(4) 对冻干疫苗分装线的要求

有些冻干疫苗分装线仅有一条分装线和两台冻干机就配备AGV小车用于自动进出料，性价比不合理，对资金雄厚的项目影响不大。但对于资金紧张的项目应该有所选择，以提高资金收益率。

根据设计经验，一般3台以下（含3台）冻干机使用固定式进出料系统，4台以上（含4台）冻干机用AGV小车式自动进出料系统，3台以下（含3台）冻干机两种方式价格相差较多，约相差30%；

4台以上（含4台）冻干机价格相差不大，但AGV小车可以用于冻干产品的进出料。

5 结论

以上是作者多年的疫苗工程项目设计过程中积累的疫苗分包装车间工程设计中需要注意的问题总结，提出来供同行参考。随着疫苗工程技术的进步，有些观点可能有不同意见，值得商榷，请有关专家给予批评和指正。

参考文献

- [1] 《医药工程设计》，2012年第6期。
- [2] ISPE国际制药工程基准指南系列：《无菌生产设施》第二版/2011年9月。

BIM技术在某工业厂房暖通系统设计中的应用与分析

■ 王洲 李晓谊 [暖通]

摘要: 本文简述了现阶段BIM技术在我国暖通领域的发展现状;对某工业厂房的工程概况和空调、通风、防排烟系统作了介绍;运用Revit软件对该厂房暖通空调系统进行了建模,并对建模过程中遇到的问题进行了总结和分析,以期对BIM技术在工业厂房暖通系统设计中的应用具有一定的指导意义。

关键词: 建筑信息模型(BIM);工业厂房;暖通设计;管线综合

0 引言

BIM(建筑信息模型, Building Information Modeling, 简称BIM)技术是以建筑工程项目的几何、物理、性能数据为基础的全生命周期建筑模型, 是对工程的数字化表达。它具有可视化、协调性、模拟性、优化性、可出图性等特性。目前, BIM在国内建筑业的应用已渐趋成熟, 在国内较多的建筑行业中已得到了使用^[1]。BIM技术融入设计工作, 通常有根据二维图纸建模的逆向设计和直接应用BIM技术进行设计工作的正向设计两种方式, 据了解^[2], 目前国内主要以逆向设计为主。笔者以某工业厂房暖通空调系统BIM建模为例, 进行了BIM技术应用的初步尝试和探索, 总结和分析了建模过程中遇到的问题, 提出了提高建模效率的建议。

1 工程概况

1.1 建筑形式

该项目位于四川省成都市, 总建筑面积55982m², 建筑高度14.5m, 火灾危险性为戊类, 主要包括主厂房、辅助生产间、办公辅楼等功能区

域。厂房为门钢结构, 辅楼为三层框架结构。建筑效果图如下:

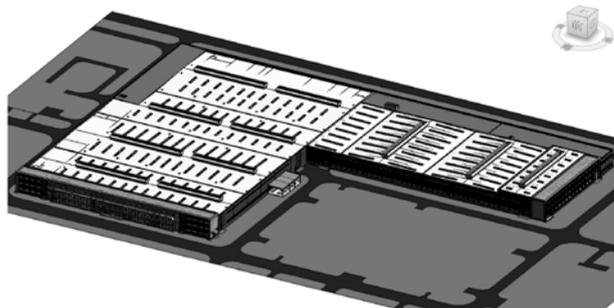


图1 建筑效果图

1.2 暖通空调系统介绍

1.2.1 空调、供暖系统

主厂房采用远程射流机组加新风的分层空调形式, 厂房内的辅助生产间采用风机盘管系统; 办公辅楼设计了风冷热泵型分体多联机系统, 在值班室及弱电间等有独立运行要求的空调房间, 设计了风冷热泵式分体空调; 三坐标测量间、计量站等温湿度要求严格的房间设计了全空气精密空调系统。

1.2.2 通风、防排烟系统

主厂房设计了机械通风系统, 风机置于厂房屋面; 抛光间、管子下料间等设计了除尘性通风系统, 机匣水清洗间、叶片水清洗间等设计了防腐性通风系统, 汽油清洗间、煤油清洗间等设计了防爆

作者简介: 王洲, 男, 助理工程师, 2016年毕业于哈尔滨工业大学暖通专业, 现就职于航空工业规划动力工程设计研究院。

性兼事故通风系统。

办公辅楼的内走廊设计了机械排烟系统，系统竖向并联，排烟风机置于辅楼屋面。

2 Revit建模及管线综合

2.1 暖通系统建模过程简介

本项目运用Autodesk Revit软件进行暖通空调系统建模，在暖通系统建模之前，由建筑专业建立基础三维模型，基于此三维模型建立中心文件，并按照各专业要求及设计师权限建立相应工作集，各专业设计师将中心文件复制到本地，针对本地文件进行个人相应工作，并实时上传到中心文件，实现多人、多专业之间的协同工作，提高设计效率及设计质量。

1) 不同于民用建筑，工业建筑暖通专业系统复杂，设备种类繁多，为了后期工作方便，此次建模从建立设备族库开始，相关设备族示例如下：

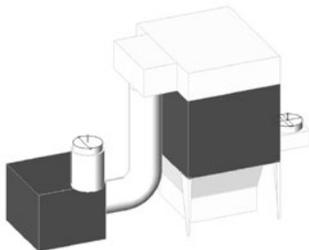


图2 烟尘净化器

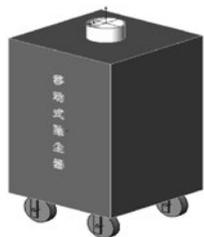


图3 移动式除尘器

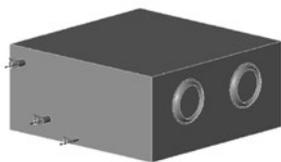


图4 远程射流机组



图5 锥形风帽

2) 由于此次建模是逆向设计，建模前已经有了完整的CAD图纸，因此，工作时只须将CAD底图链接进来，然后进行各个系统的建模即可。全专业BIM模型局部示意如下：



图6 全专业BIM模型局部示意

暖通专业各个系统模型示例如下：

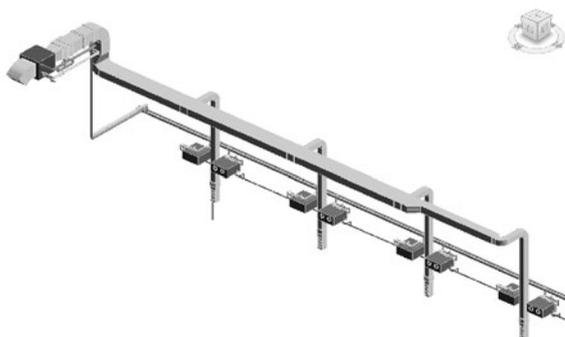


图7 主厂房空调系统



图8 除尘系统

通过该项目，各专业均建立了比较完善的设备族库，各系统的BIM模型也建立的比较细致，得益于此，该项目BIM模型获得了第八届“创新杯”建筑信息模型（BIM）应用大赛优秀工业工程BIM应用奖。

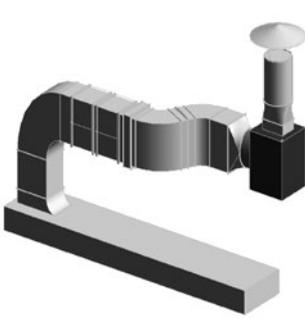


图9 主厂房机械通风系统



图10 机械排烟系统

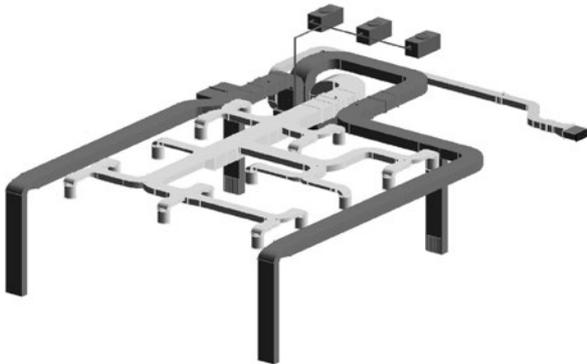


图11 精密空调系统

2.2 碰撞检测与管线综合

应用Revit MEP软件自带的碰撞检测功能可以检测各专业之间的管道、设备碰撞等，界面如图12所示，运行完碰撞检测之后会生成一个冲突报告，如图13所示：



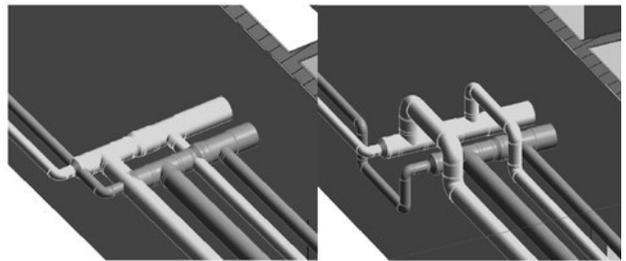
图12 碰撞检测功能界面



图13 冲突报告界面

通过分析冲突报告可以发现，与暖通专业相关的碰撞主要有三类：本专业内部的管线碰撞、本专业与其他机电专业之间的管线碰撞、本专业与建筑结构的碰撞。

图14为一处空调供、回水管碰撞调整前后的对比示意：

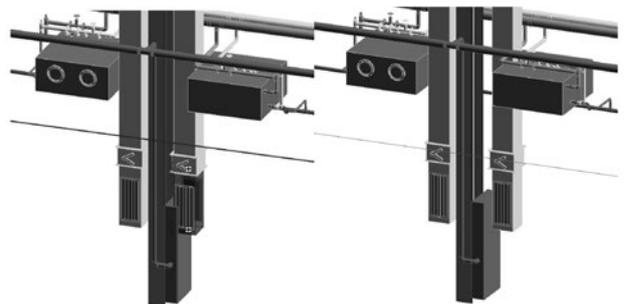


a调整前

b调整后

图14 空调水管碰撞调整

图15为一处新风管与消火栓碰撞调整前后的对比示意：

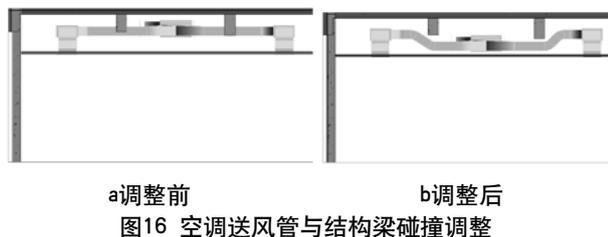


a调整前

b调整后

图15 新风管与消火栓碰撞调整

图16为空调送风管与结构梁碰撞调整前后的对比示意:



a调整前 b调整后
图16 空调送风管与结构梁碰撞调整

以上各种碰撞调整均属于管线综合的范畴,通过合理的管线综合设计,可以将建筑物内各专业的管线统一安排,合理布置,为管线工程的施工运行使用、管理维修创造有利条件^[3]。

3 建议与展望

结合此次项目经验,对于提高建模效率和建模质量,笔者特提出以下建议:

1) 完善设备族库。如前所述,该项目暖通专业系统复杂,涉及到的设备种类繁多,建立设备族库占用了大量的时间,严重影响了建模效率和设计周期,因此,公司应从全局出发,参照各专业常用的产品样本,逐步完善设备族库。

2) 各专业模型应及时更新,及时协调。Revit MEP软件虽然具有碰撞检测功能,但若在全部建模工作完成后再进行碰撞检测,一方面由于碰撞点多,导致调整起来费时费力,另一方面,一些无法协调的地方可能会导致某些专业方案的翻车,因此,各专业模型应及时更新,及时协调,不断提高建模效率和质量。

3) 不断推进BIM技术应用。BIM技术应用能力不足也是一个影响建模效率和质量的因素,但一线设计人员工作繁忙,无暇学习新的软件技术,从而制约了BIM技术的高效应用。BIM技术的学习需要经过一段时期的艰苦努力和投入,充分发挥主观能动性,才能掌握并应用BIM技术,从而提高工作效率。

4 结语

BIM技术目前更多的应用于根据二维设计图纸翻模的逆向设计中,在推广的过程中还存在着各种各样的问题,但其可视化、协调性、参数化性等特点,势必会使其成为将来设计的主流,因此,广

大设计师应该主动改变观念,积极学习BIM技术,相信在不久的将来,BIM技术在建筑工程暖通设计中的应用会越来越广泛,并且能大大提高建筑工程设计质量。

参考文献

- [1] 张志柳, 石晓庆. BIM在某核电厂AL厂房给排水设计过程中的应用[J]. 给水排水, 2017(s2):172-175.
- [2] 董大纲, 蔡悠笛, 张杰,等. BIM技术在暖通空调设计中的应用初探[J]. 暖通空调, 2013(12):105-109.
- [3] 毛璐阳, 冯卫闯, 张建飞,等. 基于BIM工业厂房建设项目综合管线应用研究[J]. 建设科技, 2014(5):61-63.

上海地区某办公楼防排烟系统设计

■ 刘茜 张晓莉 [暖通]

摘要: 本文以上海地区某高层办公楼为例,介绍防排烟系统设计,并结合上海地区防排烟规范、建筑设计防火规范。阐述不同分区内的防排烟系统设计原则、设计过程及不同规范之间的不同点,并总结该建筑设计后的心得体会,为以后类似建筑设计提供参考。

关键词: 上海地区;二类高层建筑;防排烟系统

1 工程概况

本建筑为上海地区某工业园内技术办公楼,建筑面积为58965m²,地上六层,地下一层。地上为训练中心、实验室、办公等房间,地下为车库、设备用房等。耐火等级地上二级,地下一级。地下车库防火分类为I类。

2 防排烟系统设计

2.1 确定防火分区

防火分区根据建筑专业划分,地下设有6个防火分区。地上一层设有6个防火分区,二层设有3个防火分区,三至六层分别设有2个防火分区。

2.2 防烟系统设计

2.2.1 楼梯间防烟系统

1) 地上部分楼梯间的防烟形式采用自然通风方式,每五层内自然通风面积不小于2m²,且楼梯间顶层设有不小于0.8m²的自然通风面积。^[1]

2) 当封闭楼梯间首层有直接开向室外的门或有不小于1.2m²的可开启外窗式,可不采用机械加压送风方式。^[1]

3) 其余不能采用自然通风方式的封闭楼梯间均设计机械加压送风方式。

2.2.2 加压送风量的计算

楼梯间的机械加压送风量按以下公式计算:

$$L=L_1+L_2+L_3$$

$$L_1=0.827A\Delta P^{1/n}1.25\times N_1$$

$$L_2=FvN_2$$

$$L_3=0.083A_F N_3$$

以本建筑中地下一层1号楼梯间为例,计算并设计防烟系统:

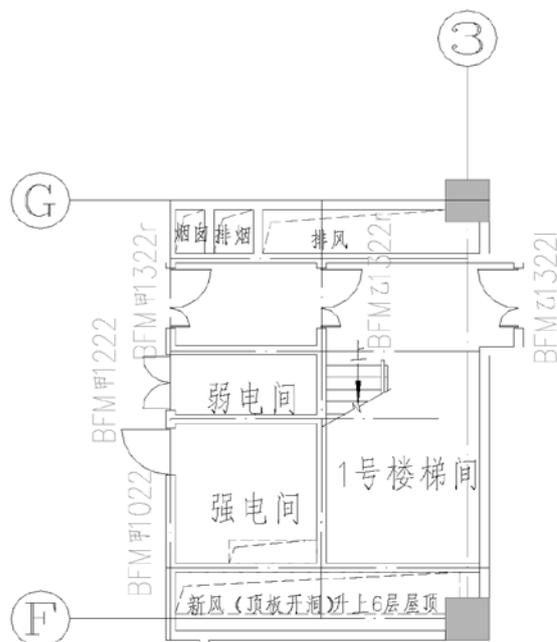


图1 地下一层1号楼梯间建筑平面图

作者简介:刘茜,女,助理工程师,2013年毕业于北京建筑大学建筑环境与设备工程专业,现就职于航空工业规划飞机工程设计研究院。

地下一层1号楼梯间加压送风
 楼梯间门为 $1.3 \times 2.2\text{m}$
 $L_1 = 0.827 \times 0.0368\text{m} \times 50^{1/2} \times 1.25 \times 1$
 $= 0.27\text{m}^3/\text{s}$
 $L_2 = 1.3 \times 2.2 \times 1.2 \times 1 = 3.432\text{m}^3/\text{s}$
 $L_3 = 0.083 \times 1.2 \times 1 = 0.0996\text{m}^3/\text{s}$
 $L = 0.27 + 3.432 + 0.0996 = 3.8\text{m}^3/\text{s}$
 $= 13680\text{m}^3/\text{h}$

防烟系统控制说明

地下1号楼梯间设加压送风系统。风口采用加压送风口，当火灾发生时，由消防值班室控制开启加压送风机。

经过对比，发现楼梯间的自然通风方式在上海规范和国家规范之中有一点不同。上海地区除了在楼梯间每五层内的自然通风面积不应小于 2m^2 之外，还有一条是顶层设有不小于 0.8m^2 的自然通风面积。这个要求对于建筑专业来说容易忽略，针对本建筑，如果不详细核对每一个楼梯间，就会造成漏项，会导致整个系统的设计改变，从而重复设计，增加设计周期。

2.3 排烟系统设计

2.3.1 自然排烟系统

对可以满足自然排烟要求的场所设计自然排烟措施，满足自然排烟的场所可开启外窗面积不小于该区域面积的2%。根据本建筑的可开启外窗形式，建筑专业设计并计算房间的可开启外窗面积。若该房间可开启外窗面积不能满足要求，可考虑与建筑协商外窗开启形式或增加外窗数量，以满足要求。若可开启外窗的面积不能满足自然排烟要求，则本（暖通）专业设计机械排烟系统。

2.3.2 机械排烟系统

1) 排烟量计算^[1]

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

2) 若有以下场所，可按以下规定确定排烟量：

a. 无喷淋的客房，或单元的建筑面积小于 100m^2 且设有喷淋的房间，其走道或回廊的机械排烟量应不小于 $13000\text{m}^3/\text{h}$ ；当走道两侧自然通风面积均不小于 2m^2 时可不设置机械排烟系统。

b. 隔间面积小于 500m^2 的房间，其排烟量可按 $60\text{m}^3 / (\text{h} \cdot \text{m}^2)$ 计算，或设置不小于室内面积2%的排烟窗。

综合以上排烟量的计算方法，以本建筑中某个排烟系统为例，计算该排烟系统的排烟量。

排烟量计算：

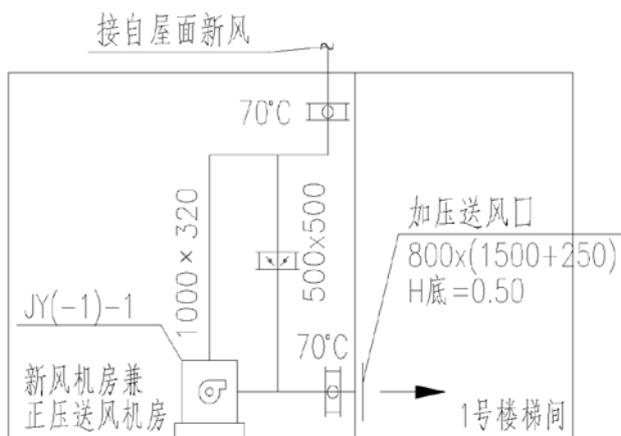
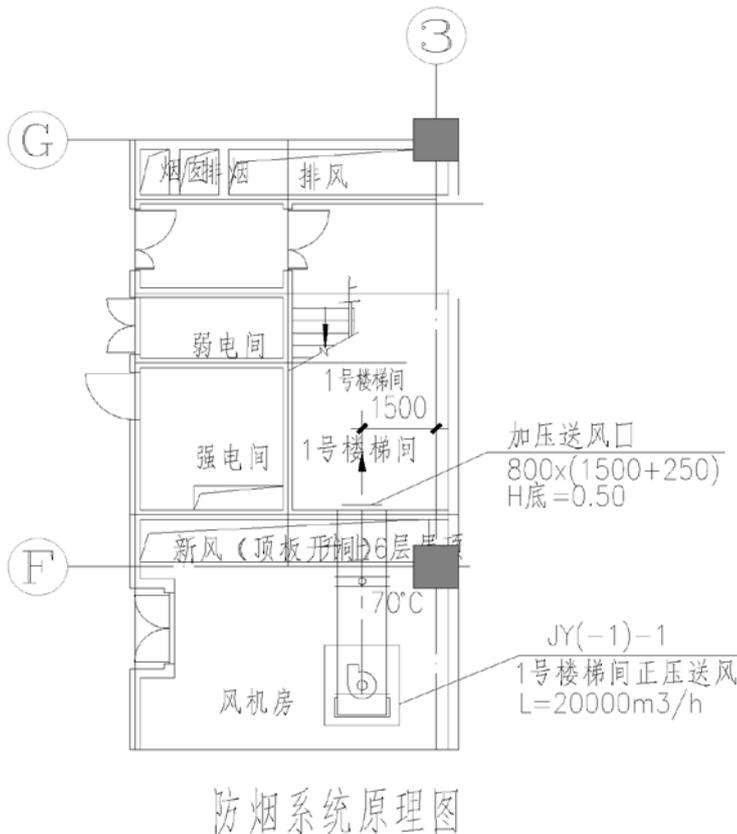


图2 地下一层1号楼梯间防烟系统平面图及原理图

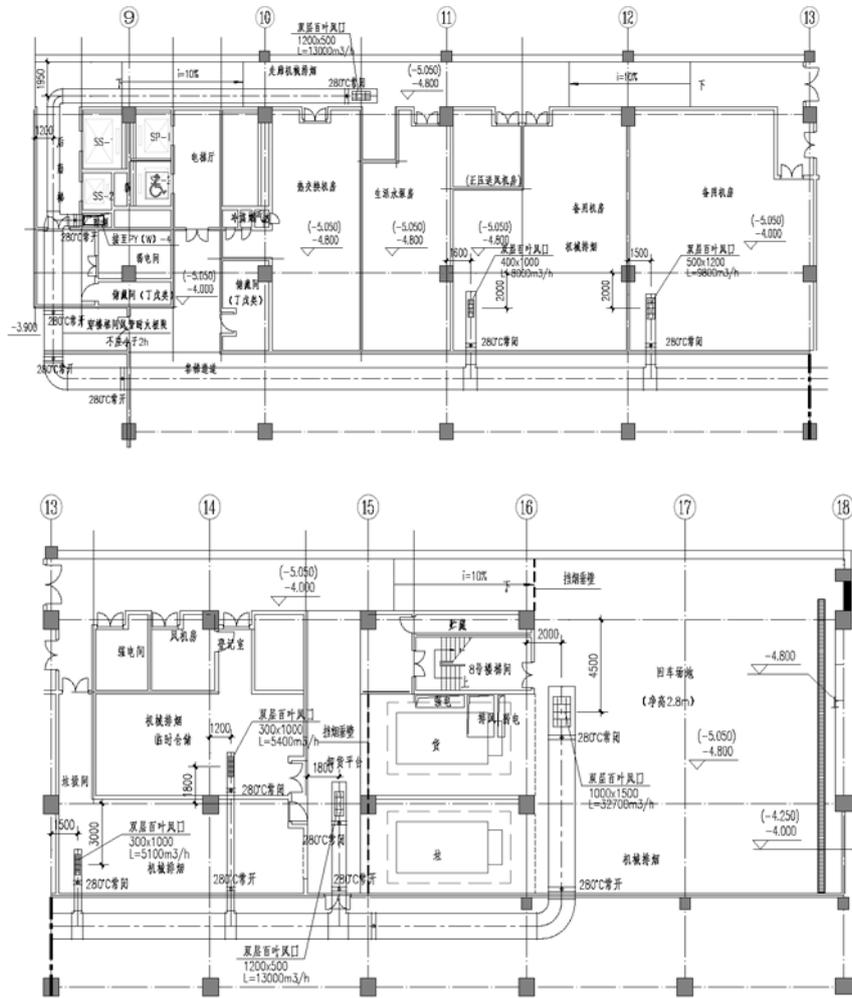


图3 地下一层排烟系统平面图

地下：走廊 $L=168 \times 60=10080\text{m}^3/\text{h}$ ，取 $13000\text{m}^3/\text{h}$ 。

回车场地 $L=32700\text{m}^3/\text{h}$ （此区域按汽车库排烟量计算）

临时仓储（食物库） $L=300 \times 60=18000\text{m}^3/\text{h}$

垃圾间 $L=78 \times 60=4680\text{m}^3/\text{h}$

临时仓储（家具库） $L=77 \times 60=4620\text{m}^3/\text{h}$

一层至六层排烟系统内各防烟分区的排烟量均按 $60\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ 计算，从而得出各防烟分区的排烟量。

设计原理图及控制说明见下图：

排烟系统控制说明

1)当地下房间H着火时，远程或手动开启该房间内的排烟阀，连锁相应排烟风机启动运行。当风机入口处烟气温度超过 280°C ，风机入口处的排烟防火阀关闭，连锁排烟风机停止运行。

2)当地下房间I、房间J、走廊A中任一区域着火时，远程或手动开启此3个防烟分区内的排烟阀，连锁相应排烟风机启动运行。当风机入口处烟气温度超过 280°C 时，风机入口处的排烟防火阀关闭，连锁排烟风机停止运行。

3)当地下房间K、房间K'及走廊B中任一区域着火时，远程或手动开启此三个防烟分区内的排烟阀，连锁相应排烟风机启动运行。当风机入口处烟气温度超过 280°C 时，风机入口处的排烟防火阀关闭，连锁排烟风机停止运行。

4)当一层生产辅助、走廊，二层、三间中型实验室中任一区域着火时，远程或手动开启本层内的排烟阀，连锁相应排烟风机启动运行。当风机入口处烟气温度超过 280°C 时，风机入口处的排烟防火阀关闭，连锁排烟风机停止运行。

5)当三至六层任意一层走廊、休息室等着火

时, 远程或手动开启相应着火层内的排烟阀, 联锁相应排烟风机启动运行。当风机入口处烟气温度超过 280°C 时, 风机入口处的排烟防火阀关闭, 连锁排烟风机停止运行。

本建筑为高层建筑, 且每层需设置排烟系统的房间区域比较分散, 每个排烟系统负担一个或多个防烟分区的排烟, 排烟风机的风量按各防烟分区中最大的一个分区的排烟量、风管(风道)的漏风量及其他防烟分区的排烟口或排烟阀的漏风量之和计算。针对本建筑这个特殊情况, 调整每个排烟系统的控制原理。使该系统内发生火灾时排烟风机的风量与着火区域的排烟风量相匹配。

通过本建筑的排烟量计算及排烟系统设计, 发现上海规范与国家规范的不同之处在于当隔间面积小于 500m^2 的排烟量计算时, 上海规范按 $60\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ 计算, 而国家规范在负担两个及两个以上防烟分区时按 $120\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ 计算。本建筑排烟量按上海规范执行计算。

3 结语

根据以上防排烟计算及设计过程, 总结上海地区防排烟设计应注意以下几点:

1) 前室及楼梯间的防烟系统要核实自然通风面积及外窗开启形式。机械防烟系统的加压送风量按公式直接计算而得。

2) 汽车库注意防烟分区面积的划分。

3) 排烟系统的排烟量计算应注意所在地区地标与国际规范的区别, 并合理选择并执行规范

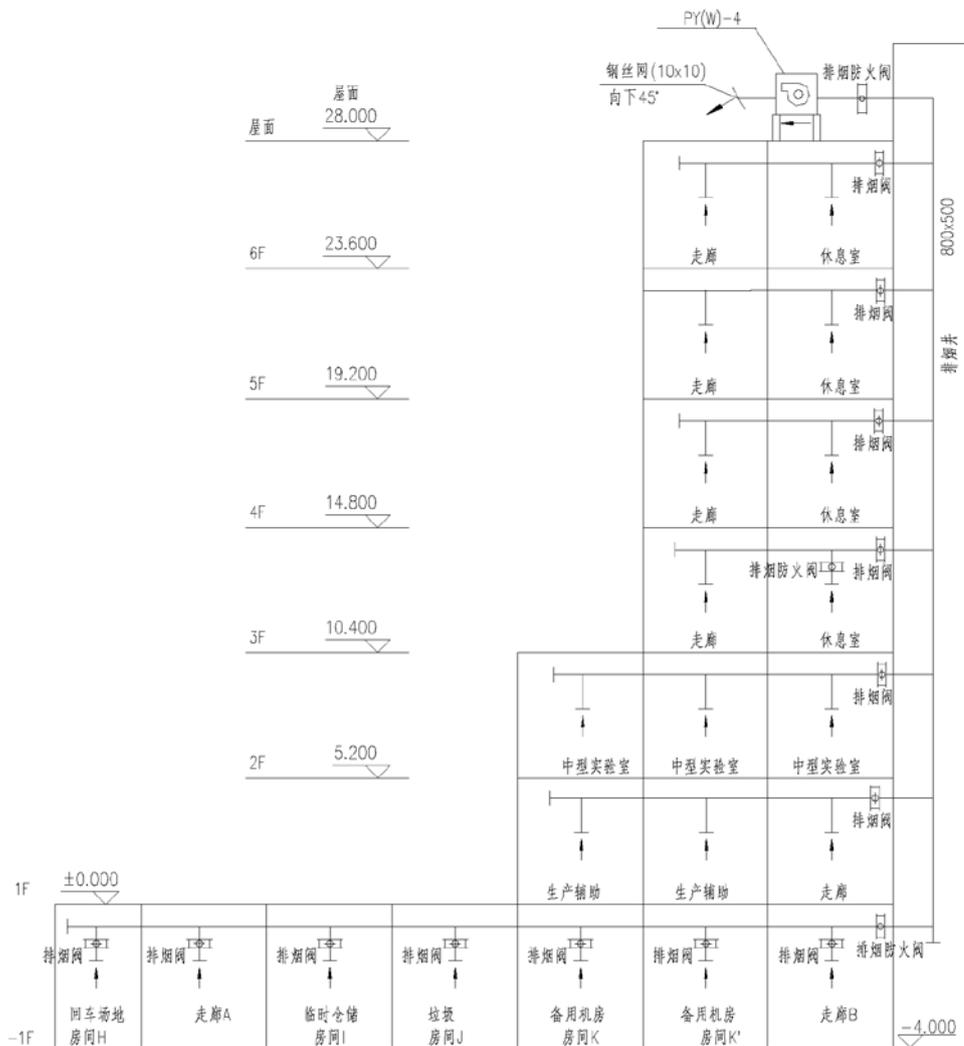


图4 排烟系统原理图

要求。

参考文献

[1] 《建筑防排烟技术规程》DGJ08-88-2006.
 [2] 《汽车库、修车库、停车场设计防火规范》GB50067-2014.
 [3] 《建筑设计防火规范》GB50016-2014.
 [4] 陆耀庆, 实用供热空调设计手册 第二版 中国建筑工业出版社, 2008.

某固体制剂生产厂房洁净空调设计

■ 程鹏 董秀芳 [暖通]

摘要: 以某固体制剂生产车间为例,阐述了适用于固体制剂生产性质、产品特性对环境要求的洁净区压差梯度、合理设计气流组织、风量及温湿度控制等,对固体制剂生产车间的洁净空调系统设计提供一定的工程应用价值。

关键词: 固体制剂; 洁净空调系统; 气流组织; 温湿度控制

1 工程概况

本工程为某固体制剂生产厂房,为多层工业厂房,厂房火灾危险性为丙类。总建筑面积约为2万m²,地上4层(局部5层),地下一层。地上一至四层均为5.5m,出屋面水箱间3.5m,地下一层6.8m。建筑高度23.9m。

地下一层为公用工程站房;一层为暂存库、提取车间及精烘包车间;二层为固体制剂包装车间;三层为固体制剂及口服液生产车间;四层为固体制剂中试车间、集中洗衣区及质检区。

空调冷源采用集中冷源形式,由一层制冷站提供7/12℃冷冻水。冷源保证全年供应。本工程地处集中采暖地区,建筑物不设散热器集中采暖,空调机组加热,加湿采用0.3MPa蒸汽。

2 洁净空调系统设计

2.1 空调设计参数

2.1.1 室外设计参数

该固体制剂生产厂房位于江苏省常州市,其

空气调节室外设计参数见下表1。

表1 室外设计参数

	室外计算干球温度/℃	室外计算湿球温度/℃ 室外计算相对湿度/%
夏季	34.5	28.1
冬季	-3.5	75

2.1.2 洁净空调系统的划分

洁净区空调系统的划分通常遵循以下几个基本原则:

- (1) 相同的空气洁净级别宜合用一个系统;
- (2) 温湿度差别较大宜分开设置;
- (3) 运行班次或使用时间不同宜分开设置;
- (4) 防爆区单独成为一个系统。

因此,本厂区共划分6套普通空调系统,7套常温洁净空调系统,2套低温洁净空调系统。其中一层精烘包车间JD级区一套系统,库房根据面积划分系统;二层固体制剂包装车间JD级区一套系统,K级区一套系统,外围走廊及周边K级房间一套系统;三层固体制剂及口服液生产车间按照主要生产房间与辅助房间分开,产尘、低湿房间分开的原则划分空调系统,其中防爆房间直排,不单独设置空调系统其余区域空调系统的划分本着就近和使

作者简介:程鹏,男,助理工程师,2015年毕业于沈阳建筑大学建筑与土木工程专业,现就职于航空工业规划医药工程设计研究院。

用时间的原则划。

2.2 空调系统的计算

为了维持洁净室较高的洁净度，往往需要较大的换气次数，即较大的送风量。医药洁净室的送风量通常取以下三者的最大值：

- (1) 根据换气次数、工作区截面风速或按室内发尘量计算；
- (2) 按洁净室室内热、湿负荷计算的送风量。
- (3) 医药洁净室所需的新鲜空气量。

医药洁净室由于生产过程中产生的废热、废气、粉尘等较多，所以导致的排风量较大，需要补充的新鲜空气量也较多。医药工业洁净室所需要的新鲜空气量通常取下列两者的最大值：

- (1) 补充室内排风和保持正压所需要的排风量；
- (2) 室内每人所需新鲜空气量不小于 $40\text{m}^3/\text{h}$ 。

2.2.1 常温洁净空调系统

本厂房洁净区域采用了二次回风全空气系统，该系统构成如图1所示，主要由新风初效段G4、回风段、新风预冷段、表冷、加热、加湿段、送风机段、中间段、高中效段F8、出风段、排风机段、中效段、排风段组成。

空气处理过程夏季工况：一次回风N与经过初效过滤的新风W混合，混合的空气C进过预表冷器冷却去湿处理至露点L，经过处理的空气与二次回风进行混合，混合后的空气经过二次表冷后送入室内。空气处理过程如图1所示：

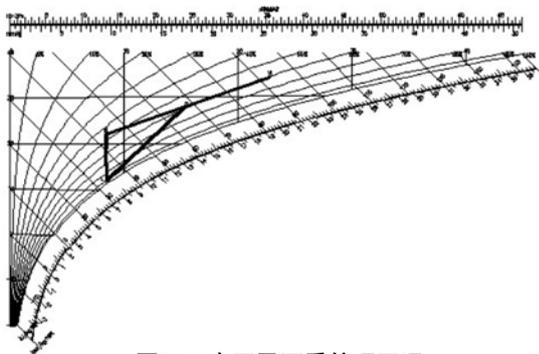


图1 二次回风夏季处理工况

冬季工况：经过初效过滤的新风W先与一次回风进行混合，可避免当冬季室外温度过低时，新风直接通过盘管产生冻结，混合后的空气再与二次回风进行混合，经过等湿加热和等温加湿处理到送风状态点，送入室内，处理过程如图2所示。

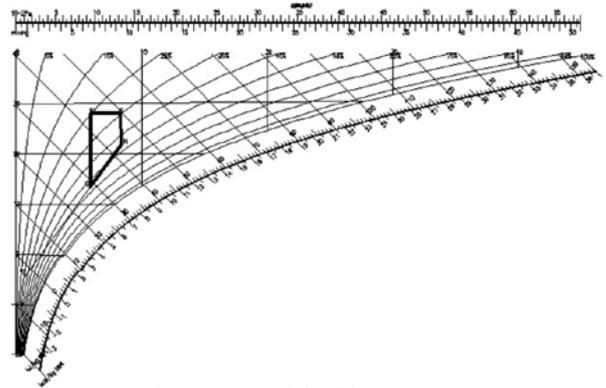


图2 二次回风冬季处理工况

2.2.2 低湿洁净空调系统

本厂房三层固体制剂及口服液生产车间胶囊填充间一、胶囊填充间二、囊壳存放间、压片间一、压片间二要求湿度小于40%，经过方案的分析比较，在原有的空气处理机组上增加了转轮除湿段，来达到房间的湿度要求，机组主要由新风初效段G4、回风段、新风预冷段、转轮除湿段（带旁通断）、表冷、加热段、送风机段、中间段、高中效段F8、出风段组成。

新风经过初效过滤器后与回风混合，防止温度过低时造成盘管冻结，混合后的空气经过新风预冷段去除空气中的大部分含湿量，在经过转轮除湿段进行进一步的除湿，再与二次回风进行混合经过二次表冷后送入室内，满足房间的温湿度要求。

2.2.3 洁净系统消毒

本工程生产区域采用臭氧灭菌的消毒方式；在空调机房内每台洁净机组均配置一台臭氧消毒器，将其连接至洁净空调系统的送风管道中，消毒运行时，由臭氧发生器向空调系统内鼓入臭氧进行消毒，每台洁净空调系统均设置一台消毒排风机，消毒完毕后，迅速排除刺鼻气体恢复生产。

3 空调系统的运行控制

空调系统正常运行时，新风电动阀及送风机均开启，空调系统排风机P（KJ3-1）-1开启正常排风。空调系统的消毒排风机PKJ3-1处于关闭状态。同时，回风电动阀Mh开启，排风电动阀Mp1关闭。为了使空调系统节能运行设置了值班工况，值班工况运行时空调系统排风机PKJ3-1关闭，送风机低频运行，Mh开启、Mp1关闭。消毒运行时关闭新风电动阀，关闭所有排风机，Mh开启、

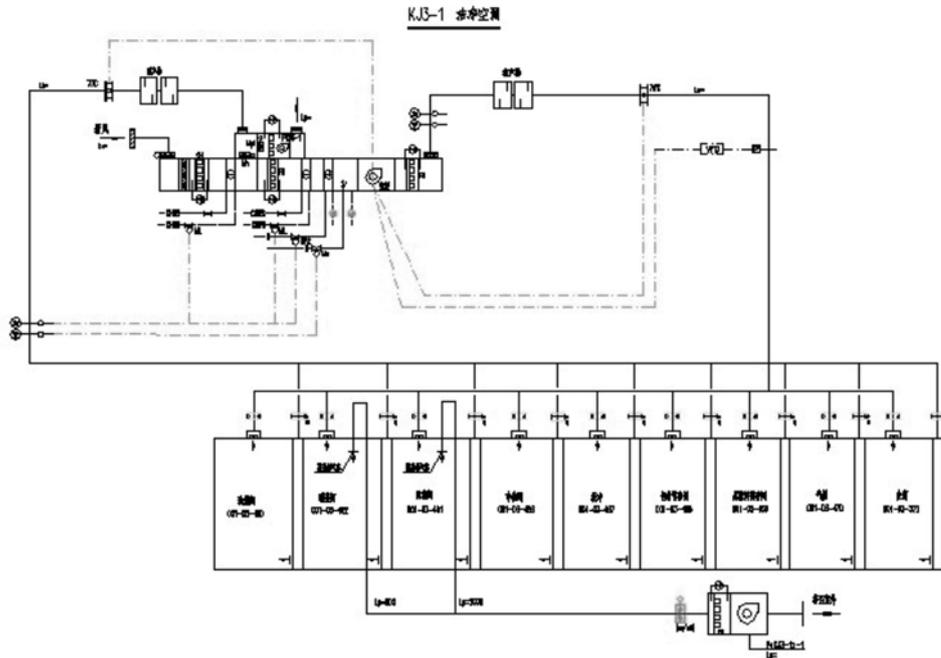


图3 空调系统自控原理图

Mp1关闭。由臭氧发生器向空调系统送臭氧，空调系统送风机循环并进行消毒。消毒完毕后，送风机低频运行，开启送风机及新风阀，开启消毒排风机PKJ3-1及其排风阀。Mh关闭、Mp1开启，消毒完毕后消毒气体浓度达标后，操作人员方可进入工作区，系统正常运行。在每个房间的总送风管上设置定风量阀，总回风管上设置变风量阀，通过调节阀门的开度调节风量，保证房间的洁净度和压力要求。空调系统及自控原理图见图3。

4 结论

净化空调系统是一项系统化和综合化的大工程，其空调系统划分、气流组织形式、空调机组形式、房间洁净度要求、管线排布与综合相比于普通空调系统均有很大的不同，在设计过程中必须反复推敲，才能确定合理的系统方案。

(1) 合理划分空调系统形式，满足不同房间的不同工作时间和不同洁净等级要求。

(2) 合理设计压差梯度，避免房间之间的相互交叉感染。

(3) 对于发热量较大的房间，应设置相应的局部送排风系统，使房间满足相应的温湿度要求。

(4) 气流组织形式对于净化空调来说至关重

要，合理的气流组织设计可提高房间的温湿度场的均匀程度，使室内空气的流动符合洁净室设计要求，满足房间的洁净等级要求。

(5) 净化空调系统的管线布置相对来说比较复杂，必须进行细致的管线综合排布，提高建筑的使用空间，降本增效。

参考文献

- [1] 许钟麟. 药厂洁净室设计、运行与GMP认证(第二版) [M]. 上海: 同济大学出版社, 2011.
- [2] 朱启明等. 某研发中心实验室的房间压差控制 [J]. 暖通空调, 2013, 43(5): 46-48.
- [3] GB 50073-2013. 洁净厂房设计规范[S]
- [4] 侯利娟. 医药净化空调系统消毒方式的探讨与应用 [J]. 医药工程设计, 2013, 34(3): 54-56.
- [5] 中国医药工程设计协会. 医药工业洁净厂房设计规范. GB 50457-2008.

2018年第3期（总第137期）
2018年6月出版



南航北京新机场维修基地项目