

航空工程建设

AERO-INDUSTRY ENGINEERING CONSTRUCTION

2019年第3期 总第143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

陕西关中固体废物处置利用中心项目

项目名称：陕西关中固体废物处置利用中心项目

建设单位：渭南德昌环保科技有限公司

设计单位：航空工业规划市政工程设计研究院

设计亮点：

陕西关中固体废弃物处置利用中心位于陕西省渭南市蒲城县渭北煤化工业园，设计处理规模为60060t/a，其中外来危险废物量为58591t/a，自身产生废物量为1469t/a。

项目设计将传统分散的生产厂房进行整合，结合办公空间与参观空间，形成集生产、办公、参观于一体的工业综合体。通过“廊空间”的引入，形成严整统一的建筑立面，结合主厂房的高大体量特点，建筑长度约179.3m，主厂房高度达到了26m、烟囱45m，以及位于园区中心的重要位置，建筑造型以“莲花盛放”为设计理念，从传统人文文化中的诗情画意、前卫文化中的时尚动感、行业特征中的纯洁再生等角度分别加以设计描述，使设计方案简洁、大气、适用，又富有变化，充满了地域特色和时代精神，实现了工业建筑的多元化、去工业化，人性化和生产过程透明化的设计特点。

在工业建筑参观方式的变革与创新上，本方案首次尝试将主要生产厂房与厂前区结合，入口大厅与参考长廊位于核心位置，形成厂区对外接待的主要立面，这种模仿城市机场、火车站等交通建筑中交通枢纽大厅的设计手法，引入参观展示设计中，简化参观流线，使复杂的工艺流程一目了然地呈现在参观者眼前。



李克强签署国务院令 公布《政府投资条例》

日前，国务院总理李克强签署国务院令，公布《政府投资条例》（以下简称《条例》），自2019年7月1日起施行。

制定政府投资条例是深化投融资体制改革的重点任务，党中央、国务院对此高度重视。将政府投资纳入法治轨道，既是依法规范政府投资行为的客观需要，也是深入推进依法行政、加快建设法治政府的内在要求。《条例》规定了以下内容：

一是明确界定政府投资范围，确保政府投资聚焦重点、精准发力。政府投资资金应当投向市场不能有效配置资源的公共领域项目，以非经营性项目为主；国家建立政府投资范围定期评估调整机制，不断优化政府投资方向和结构。

二是明确政府投资的主要原则和基本要求。政府投资应当科学决策、规范管理、注重绩效、公开透明，并与经济社会发展水平和财政收支状况相适应；政府及其有关部门不得违法违规举借债务筹措政府投资资金；安排政府投资资金应当平等对待各类投资主体。

三是规范和优化政府投资决策程序，确保政府投资科学决策。进一步规范政府投资项目审批制度，重大政府投资项目应当履行中介服务机构评估、公众参与、专家评议、风险评估等程序；强化投资概算的约束力。

四是明确政府投资年度计划的相关要求。国务院投资主管部门、国务院其他有关部门以及县级以上地方人民政府有关部门按照规定编制政府投资年度计划，明确项目名称、建设内容及规模、建设工期等事项，政府投资年度计划应当和本级预算相衔接。

五是严格项目实施和事中事后监管。政府投资项目开工建设应当符合规定的建设条件，并按照批准的内容实施；政府投资项目所需资金应当按规定确保落实到位，建设投资原则上不得超过经核定的投资概算；政府投资项目应当合理确定并严格执行建设工期，按规定进行竣工验收，并在竣工验收合格后办理竣工财务决算；加强对政府投资项目实施情况的监督检查，建立信息共享机制；政府投资年度计划、项目审批和实施等信息应当依法公开。

（来源：《中国建设报》）

航空工业召开会议专题研究国有资本投资公司试点改革工作

4月28日，航空工业在总部召开深化改革领导小组2019年度第六次会议暨国有资本投资公司试点工作领导小组2019年度第一次会议，专题研究国有资本投资公司试点改革工作。领导小组组长、航空工业党组书记、董事长谭瑞松主持会议并讲话，领导小组副组长、党组副书记、总经理罗荣怀，领导小组成员、党组副书记李本正，领导小组办公室主任、党组成员、副总经理吴献东，领导小组成员、党组成员、总会计师张民生，领导小组成员、党组成员、副总经理陈元先、杨伟、郝照平，以及领导小组办公室成员（航空工业总部各部门部长）、2家直属单位代表共30余人参加会议。

吴献东结合航空工业已上报国资委的《中国航空工业集团有限公司国有资本投资公司试点改革方案》，对近期下发的《关于深化中央企业国有资本投资公司改革试点工作意见》（以下简称28号文）进行解读。各领导小组办公室成员、2家直属单位代表结合本部门（单位）职责及相关业务的现有管理模式，对集团公司国有资本投资公司试点改革的思路、工作要点和切入点提出建议；各领导小组成员也提出了各自的想法。

谭瑞松指出，国资委近期下发的28号文明确试点改革要突出产业调整、产业引领、产业整合、产业配需四个功能，实现资源配置效率、经营管理水平的两个提升。同时，谭瑞松提到，国务院刚刚下发了《国务院关于印发改革国有资本授权经营体制方案的通知》，文中明确国有资本投资公司是以对战略性核心业务控股为主，建立以战略目标和财务效益为主的管控模式，重点关注所出资企业执行公司章程和资本回报状况。

谭瑞松强调，推进国有资本投资公司试点改革工作是航空工业解决制约发展弊端的重要举措。我们一定要坚持党的全面领导，按照建立“中国特色现代国有企业制度”的总要求，做好试点改革实施方案的设计；做好结构调整；做好总部改革、授权改革、监督改革等工作。其中，集团公司总部要抓好自我变革，实现从重审批向重资本经营和创造价值等七个方面的转变，使总部在效率、管理水平、竞争力、治理能力、监管能力等方面全面提升；要做好战略规划梳理、做好分类授权、分类管控、分类考核；要强化章程约束、发挥董事作用、加强企业行权能力建设等。谭瑞松要求各部、各单位高度重视并抓住国有资本投资公司试点的契机，全力推进集团公司各项改革工作。

（来源：《中国航空报》）

佛山南海生活垃圾焚烧发电厂提标扩能工程项目

建设地点：广东省佛山市

设计单位：航空工业规划市政工程设计研究院

建设情况：在建

设计亮点

本项目位于广东省佛山市狮山镇，国内知名的广东省佛山市南海固废循环产业园南部，日处理生活垃圾1500吨，总投资约9.7亿元。项目执行欧盟2010最严排放标准，

彻底实现南海区垃圾零填埋、零外运，打造亚洲一流的环保科技教育基地。

佛山市南海区已于2010年11月建成生活垃圾焚烧发电工程一厂（1500t/d），2015年6月建成二期改扩建生活垃圾焚烧发电工程二厂（1500t/d）。因南海区经济发展迅猛，大量输入人口，导致生活垃圾迅速增长，已建成的一、二厂生活垃圾焚烧共3000t/d的处理规模，仍然无法满足南海区的需求，因此启动本次提标扩能工程的建设。

三期工程位于垃圾焚烧发电一厂、二厂南侧，由焚烧厂和配套设施工程两部分组成。日处理垃圾1500t，年处理垃圾量为 54.75×10^4 t，由主厂房（焚烧厂房、汽机厂房和主控楼）、烟囱、坡道、循环泵房、综合水泵房、门房、雨水收集池、地磅等建构构筑物组成。





安徽省宣城市广德县生活垃圾焚烧发电EPC项目

建设地点：安徽省宣城市

设计单位：航空工业规划市政工程设计研究院

建设情况：在建

设计亮点

本项目位于安徽省宣城市广德县桃州镇山关村023乡道北侧，现有生活垃圾填埋场西南侧，距离广德县城区5km，日处理生活垃圾400t，配置1台400t/d炉排焚烧炉/

余热锅炉，安装1台7.5MW凝汽式汽轮发电机组，预留二期扩建场地。

项目由安徽皖能环保发电有限公司负责投资，市政工程设计研究院采用EPC(详勘、初设、施工图设计、采购、建造、调试、竣工图设计、安全设计专篇)总承包方式建设。

该项目全面贯彻“安全、适用、经济、美观”和卫生、环保的方针,根据生产流程、自然条件、建筑材料和建筑技术等因素结合工艺设计进行合理分区,综合解决了防火、防臭、防爆、防腐、防水、防冻、防噪声、交通组织及采光通风等问题。在建筑设计中,方案特别重视了节能环保技术,并做了绿色设计和生态设计。设计过程为使全厂建筑物外观风格一致,对全厂建(构)筑物外立面进行了统一色彩设计。

呼和浩特市三合村热源厂项目

建设地点：内蒙古自治区呼和浩特市

设计单位：航空工业规划市政工程设计研究院

建设情况：在建

设计亮点

呼和浩特市三合村热源厂项目位于内蒙古自治区呼和浩特市新城区爱民路，主要建筑物包括：主厂房、引风车间、脱硫工艺楼、灰渣库、输煤栈桥等。厂房周边布置有宽6m的环形消防道路，全厂建、构筑物平面布局合理，交通流线清晰，功能分区明确。

在立面设计中，方案采用简洁明快的手法，强调虚实对比，材质对比，高低错落的变化，力求建筑体型富于美观实用。建筑色彩以白色颜色为主，与周边现有建筑色彩保持一致，窗的造型设计简洁而赋韵律感，相互协调统一，既有变化区别，又给人以统一、协调的美感。单体立面设计也充分考虑到便于施工，节省造价的因素，通过利用框架结构形式及色彩装饰的效果，使建筑物的立面造型

得以充分体现现代建筑的特点，为原本比较恶劣的工作环境，营造出了良好的工作空间及生活氛围。

在满足使用功能的前提下，方案主题采用白色外挂金属板和灰色外挂金属板组合，局部采用折线线条，呼应呼和浩特城发投资经营有限责任公司企业LOGO及穿梭于厂区栈桥形式，结合良好的绿化设计，营造出富有时代气息的现代工业建筑厂区氛围。

建筑设计在满足工艺流程和生产设备正常运转的基础上，按照“适用、经济、美观”的原则进行设计，主厂房与原有建筑物的建筑造型之间相互呼应，建筑色彩统一协调。在生产区的规划上，结合工艺流程的特点来布置厂区建筑，力求创造出能体现时代特色的建筑风格。整个厂区建筑设计追寻一种简洁、现代的设计理念，建筑外墙外装修采用丙烯酸高级外墙涂料，使全厂区的建筑群风格统一、和谐、美观。

项目设计上力求融于周边的人文、自然环境，实现风格高度统一，并且有创意、有亮点，坚持场地生态化，办公景观化，生产作业科学化为本项目的建筑及规划的设计理念。在满足合理、科学的生产作业流程上，把建筑与场地景观相融为一体作为设计的重点，力求建筑本体景观化。





南昌固废处理循环经济产业园生活垃圾焚烧发电厂项目

建设地点：江西省南昌市

设计单位：航空工业规划市政工程设计研究院

建设情况：在建

设计亮点

本项目位于江西省南昌市蛟桥镇麦园村，厂区占地面积约129.26亩。本项目配备880t/d×3台机械炉排焚烧炉及2台30MW凝汽式汽轮机配2台35MW发电机组，日处理生活垃圾2400t。全厂建、构筑物平面布局合理、交通流线清晰，主要由1号主厂房、1a号烟囱、1b号上料栈桥、2号循环水泵房、3号油泵房、4号渗沥液处理站、5号综合水泵房、6a号、6b号飞灰固化暂存间、7号生活服务楼、

8号门房等组成。

本工程力求通过对整个厂区进行整体规划，赋予新建筑简洁、现代、美观的特点，充分展现现代工业建筑的新形象。主厂房是全厂的核心建筑，建筑造型设计既要满足工艺的使用要求，又要体形丰富。建筑造型通过对建筑结构形式、建造材料和构造的研究，力求整个建筑与周围环境、城市文化有机融合，同时自身形象特点突出。通过金属板幕墙、玻璃幕墙、石材幕墙、真石漆外墙涂料等多种材料互相综合运用，配以清新、细致的细部设计，强化建筑材质的对比，充分表现工业建筑应有的地方属性和时代感。

生活服务楼建筑造型力求自然、美观，在注重功能布局、使用要求的同时体现出“生态、绿色”的设计宗旨，其他附属厂房造型设计、外观颜色和立面风格均与主要生产区建筑物协调，突出全厂建筑物的统一性和整体美感。

广州市第四（南沙）资源热力电厂二期工程项目

建设地点：广东省广州市

设计单位：航空工业规划市政工程设计研究院

建设情况：在建

设计亮点

本项目建设地点在广东省广州市南沙区大岗先进制造业基地东侧，目前厂内已建成广州市第四资源热力电厂一期工程，处理规模2000t/d，本项目二期工程日处理生活垃圾3000t，总投资约37.44亿元。本项目位于一期工程的西南侧，一期工程道路系统相对完善，为本项目提供了良好

的运输条件。

全厂由主要生产区、辅助生产区两部分组成，主要生产厂区由主厂房、烟囱、坡道组成，辅助生产区由循环泵房及冷却塔、综合水处理车间、综合服务楼、渗沥液处理厂房、机修车间、固化飞灰临时堆场、门卫室等组成。综合服务楼位于一期用地办公及环保教育中心西侧。

主厂房是全厂的核心建筑，建筑造型体形丰富，层次分明，同时满足工艺的使用要求，实现了“适用、经济、绿色、美观”的宗旨。建筑造型简洁，与周边已有一期工程相呼应，能体现周边环境特点。通过对建筑结构形式、建造材料和构造的研究，整个建筑与周围环境有机融合，同时自身形象特点突出。通过金属复合板、玻璃、外墙面砖等材料的综合运用，配以清新、细致的细部设计，强化建筑材质的对比，充分表现出金属的工业质感、玻璃的晶莹透亮效果，建筑造型充分展现出现代工业建筑的勃勃生机。





内江城乡生活垃圾处理PPP项目

建设地点：四川省内江市

设计单位：航空工业规划市政工程设计研究院

建设情况：在建

设计亮点

本项目是四川省重点工程，采取“BOT”方式运作。项目覆盖内江市市本级及市中区、东兴区、经开区、隆昌市、资中县、威远县等市辖全部区县，总投资约22.56亿元，包括生活垃圾处理中心填埋场、生活垃圾环保发电、垃圾处理中心配套压缩中转站、生活垃圾处理中心给水工程、农村生活垃圾收转运体系、环卫基础设施综合建设项目、有机废弃物综合处理工程、数字化监管信

息系统等生活垃圾无害化处理设施及道路、给水，安置还房等配套项目，建成后将实现服务范围覆盖内江市城乡生活垃圾处理的基础设施体系。

2018年10月，我院与北京高能时代环境技术股份有限公司、国家开发银行四川投资有限公司等四家联合体单位共同中标，并于2018年12月签署了PPP合同，我公司参与项目公司组建，并承担该项目全部设计任务及部分工程总承包。预计本项目主要工程于2020年12月完工。

近年来，内江市牢固树立、自觉践行“绿水青山就是金山银山”的理念，大力推进沱江流域综合治理和绿色生态系统建设，实施城乡垃圾处理设施建设3年推进方案，着力改善城乡人居环境，助推内江生态环境质量、增强人民幸福指数。本项目的建设，对于内江市深入整改突出环境问题、集中攻坚污水垃圾处理设施建设等重点难点具有重要意义。

祁连山区山水林田湖生态保护与修复试点项目

建设地点：青海省海北藏族自治州

设计单位：航空工业规划市政工程设计研究院

建设情况：在建

设计亮点

2017年9月26日由青海省海北藏族自治州财务局组织了“青海省祁连山区山水林田湖生态保护修复试点项目EPC工程总承包”招标工作，2017年10月10日由内蒙古亿利生态有限公司、新疆兵团水利水电工程集团有限公司、中国航空规划设计研究总院有限公司等4家单位组成的联合体中标，本公司负责全部设计工作。

项目共包括海北藏族自治州祁连山区大通河流域、黑河流域、青海湖北岸汇水区3个片区，按工程类别分为“生态格局安全构建工程”、“水源涵养功能提升工程”和“生态监管与基础支撑工程”，项目实施地点涉及海北藏族自治州祁连、门源、刚察、海晏4个县全境，由流域综合治理、矿山修复、水源地保护、污水处理及管网建设、生态环保旅游、农村综合环境整治和农牧林等7大类73个重点项目组成，分布在海北藏族自治州4县3.45万km²范围内，总投资约15.49亿。

本项目的实施对构建国家生态安全格局、提升水源涵养能力、提高生物多样性和物种丰富度、强化生态环境和自然资源监管能力，对推动海北地区生态修复、产业结构优化调整、群众脱贫致富的步伐，对加快推进祁连山生态保护与建设，促进祁连山冰川与水源涵养功能，最终进一步推进祁连山国家公园建设有着重要而深远的意义。





沈阳市大辛生活垃圾焚烧发电项目

建设地点：辽宁省沈阳市

设计单位：航空工业规划市政工程设计研究院

建设情况：在建

设计亮点

项目位于辽宁省沈阳市沈北新区财落镇大辛村与郎士屯村交汇处，距市中心约30km，占地面积约172亩。厂区建设用地面积为115000m²，由主要生产区（主厂房、烟囱、坡道）、辅助生产区（渗滤液处理站、飞灰暂存

间、综合水泵房、地磅房及地磅、油泵房、门房）、办公生活区（宿舍楼及食堂）等建筑物及构筑物组成，总建筑面积为65983.10m²，日均处理垃圾量3000t，年处理垃圾量为99.9×10⁴t。设计选用4×750t/d的垃圾焚烧炉，配置2×35MW抽凝式汽轮发电机组，焚烧炉在设计上考虑了一定的超负荷能力，意在打造垃圾减量化、资源化、无害化处理的环境保护工程，总投资145427.55万元。

本项目是以“循环经济、绿色工业”的理念来处理城市生活垃圾的环保项目。工程利用焚烧垃圾产生的热能，带动汽轮机产生电力，在“吞噬消灭”大量城市生活垃圾的同时，为城市居民提供清洁能源。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《边坡喷播绿化工程技术标准》的公告

现批准《边坡喷播绿化工程技术标准》为行业标准，编号为CJJ/T292-2018，自2019年4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产品标准《预应力混凝土空心方桩》的公告

现批准《预应力混凝土空心方桩》为建筑工业行业产品标准，编号为JG/T197-2018，自2019年4月1日起实施。原《预应力混凝土空心方桩》（JG/T197-2006）同时废止。

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

住房和城乡建设部关于发布行业产品标准《建筑内外墙用底漆》的公告

现批准《建筑内外墙用底漆》为建筑工业行业产品标准，编号为JG/T210-2018，自2019年4月1日起实施。原《建筑内外墙用底漆》（JG/T210-2007）同时废止。

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

住房和城乡建设部关于发布国家标准《建筑防腐工程施工质量验收标准》的公告

现批准《建筑防腐工程施工质量验收标准》为国家标准，编号为GB/T50224-2018，自2019年4月1日起实施。其中，原国家标准《建筑防腐工程施工质量验收规范》（GB50224-2010）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产品标准《风光互补路灯装置》的公告

现批准《风光互补路灯装置》为建筑工业行业产品标准，编号为JG/T547-2018，自2019年5月1日起实施。

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

住房和城乡建设部关于发布国家标准《含硝基苯类化合物废水处理设施工程技术标准》的公告

现批准《含硝基苯类化合物废水处理设施工程技术标准》为国家标准，编号为GB/T51332-2018，自2019年4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《住宅排气管道系统工程技术标准》的公告

现批准《住宅排气管道系统工程技术标准》为行业标准，编号为JGJ/T455-2018，自2019年6月1日起实施。

本标准在住房和城乡建设部门户网站（www.mohurd.gov.cn）公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国建筑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《长螺旋钻孔压灌桩技术标准》的公告

现批准《长螺旋钻孔压灌桩技术标准》为行业标准，编号为JGJ/T419-2018，自2019年6月1日起实施。

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

（来源“国家工程建设标准化信息网”）



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

顾问委员会

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

编辑委员会

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

总编 沈金龙
 主编 陈海风
 执行主编 王蕊
 责任编辑 范蕊
 出版 《航空工程建设》编辑部
 地址 北京德外大街12号
 邮编 100120
 E-mail hkgejs@avic-apc.com
 印刷单位 北京奇麒麟印刷有限责任公司分公司
 发送对象 公司内部及本系统内部
 印刷日期 2019年6月
 印数 1500册
 电话 (010)62038235
 传真 (010)62038297
 封面 陕西关中国体废物处置利用中心项目

CONTENTS

目录 2019年第3期 总第143期

航空能力建设

- 02 飞行训练中心基本规模测算模型构建 徐可 闫慧 赵施展
 06 基于Unity3D的多学科集成仿真平台技术研究
 王泽鸿 刘珺 王纪尧

研究与探讨

- 10 航空水力测功机循环水系统设计研究
 魏苇 王锋 吴晓莉 徐孝君
 16 多功能涡轮冷却试验器子系统分析及应用
 初广宇 李雪罡 郝悦
 20 项目知识地图构建
 ——以规划环境影响评价领域为例 刘艳菊 李廷锋 朱洪利
 24 航空建设项目的安全设施设计探讨 郭庆伟 吴秋京
 27 板式楼梯抗震设计及注意事项 邹剑强 李慧成
 35 某大型生活垃圾焚烧发电厂动力专业施工问题分析
 徐鸿飞 姜鹏
 41 海绵城市理念在重庆某项目设计中的应用
 韩博涛 朱森 杜宇
 45 某综合医院感染病房楼给排水设计探讨 杜宇 朱森
 51 国外雨洪管理理念与国内海绵城市理论分析 陈洁 李力军
 54 某大型厨房比例空调送风系统模拟分析 李超 张海桥
 58 长三角地区某数据中心空调系统设计 李宏鹏 赵磊

飞行训练中心基本规模测算模型构建

■ 徐可 闫慧 赵施展 [工艺]

摘要: 飞行训练中心作为飞行培训行业的主要设施之一,近年来,国内航空公司和企业多有规划建设项目,本文分析总结了飞行训练中心配套设施建设要求和主导因素,构建了飞行训练中心规模形式测算模型,并通过实例加以验证,为今后同类咨询、工程设计项目提供一定的参考和借鉴。

关键词: 飞行培训;飞行训练中心;建设需求;规模分析

0 引言

飞行训练中心是飞行员培训商业模式中航空公司模式下产生的机构设施。飞行训练中心的业务主要来自航空公司内部需求,航空公司引进模拟机自行培训,可节约成本,改变飞行员训练受制于人的被动局面。近年来,国内航空公司发展势头迅猛,机队及飞行员规模不断增大,飞行培训市场需求巨大,各航空公司和通航产业纷纷涉及飞行培训行业,国内飞行训练中心数量明显增加。

1 飞行训练中心基本模型构建

飞行训练中心是以飞行模拟机设备为核心,以模拟机训练大厅、保障用房、专业教室、理论教室、行政办公用房等为配套的基建设施。培训业务量是飞行训练中心规模的实质控制变量,飞行训练中心的形式受到飞行模拟机配置、课制安排、参训人数等主导因素的影响。

针对上述情况,本节通过对各主导因素进行分析,得出飞行训练中心的配套基建设施规模测

算公式,从而构建飞行训练中心基本建设模型。

1.1 主导因素分析

1.1.1 飞行模拟机配置

全动飞行模拟机由模拟机机舱、运动系统、动力系统、运控系统、视景系统、舱内环境控制系统等组成。为保障上述系统正常运作,飞行训练中心需要配套的基建设施包括:

- 模拟机训练大厅

用于安置模拟机机舱、运动系统和舱内环境控制系统,应满足模拟机机舱安装、运行和维护所需的基础承载、空间、环境和动力管线布置等技术要求,模拟机训练大厅是全动飞行模拟机的基建配套设施终端,直接面向飞行训练任务,不仅需要满足模拟机自身运作要求,同时需要充分考虑教学、示范、观摩乃至外部人员参观等要求。

- 模拟机计算机房

用于安置运控系统,应满足模拟机控制计算机组布置、环境和综合布线技术要求,模拟机计算机房是全动飞行模拟机的运控中心,各系统的数据和信号反馈大部分均需传送至模拟机计算机房,应尽量集中且处于中心位置,以强化中控作用,同时计算机房选位需要便于目视监控模拟机机舱及模拟机训练大厅内情况。

- 专业用房

用于安置模拟机动力系统和飞行训练中心动

作者简介:徐可,男,助理工程师,2015年毕业于南京航空航天大学飞行器设计专业,现就职于中航建设民航工程设计研究院。

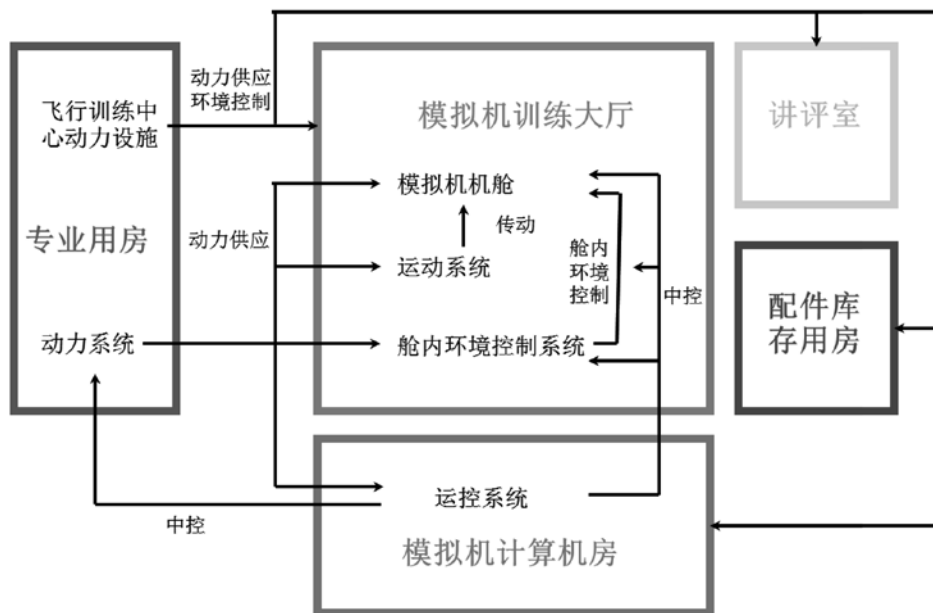


图1 飞行训练中心模拟机系统及配置对应关系

力设施，当前全动飞行模拟机主要为电动力和液压动力两种，应视模拟机动力选型确定是否配置液压泵房，全动飞行模拟机及其控制计算机工作环境技术要求较高，故专业用房规模所占比例较大，专业用房位置既需保证利于动力供应，又需尽力减少其对训练和工作环境的干扰。

▪ 讲评室

用于教员在上机训练前后进行讲评，讲评室规模和设置数量与全动飞行模拟机上机训练课制、人数安排相关，经分析其与飞行训练中心配置的模拟机数量有一定关系。

▪ 配件库存用房

用于储备全动飞行模拟机配件和维护工具。

1.1.2 课制安排、参训人数及理论教室配置

飞行训练中心理论教室配置的思路是：依据承担训练任务的类型，确定课制安排，依据参训人数，测算得理论教学的任务量，由课制安排和任务量得出教室配置方案。实际上，飞行训练中心模拟机数量的配置也是由上述思路确定，但考虑该思路受到飞行训练任务量等诸多不确定因素影响，难以定量分析，本文结合国内成熟飞行训练中心实际情况，按照由模拟机的最大培训负荷能力推算出其可支持的训练人数，作为参训人数，从而确定理论教室配置方案的思路进行分析。

需要说明的是，理论教室不一定与模拟机相关配套设施合并建设，可根据理论教室测算所得规模，视情考虑与模拟机相关配套设施合建或独

立建设，如建设单位具备条件，该部分设施也可采用租用或借用已建教室、电教室的方式解决。

1.2 基本测算模型构建

为增强模型计算可行性，对于影响飞行训练中心规模形式的数据做量化处理，并依据客观事实把数据分为变量和常量。

1.2.1 设计变量

▪ 参训人数 M_i

为模型计算最基本设计变量，参训人数与承担训练任务的机队规模 F_i 有关。 M_i 通常应由建设单位提供，当进行规划预测类项目而业主无法提供该数据时，可依据 F_i 、机组成员人机比 A 、改装升级训练参训人数 M_g 等数据测算， $M_i = M_c + M_g$ 。

▪ 机队规模 F_i

飞行训练中心承担训练任务的机队规模。

▪ 复训人次 M_c

参加复训的飞行员人次，当业主无法提供该数据时，可按照 $M_c = 2F_i \times A$ 进行测算。

▪ 改装升级训练参训人数 M_g

参加初始、新雇员、改装升级等其他专项训练的飞行员人数，改装升级训练参训人数 M_g 与航空公司飞行员编制及引退、晋升计划安排相关。通过对国内主要航空公司历史数据统计，改装升级训练人数 M_g 与复训人数 M_c 存在一定比例关系，约合 $M_c/M_g = 92/8$ ，当业主无法提供该数据时，可按照该经验系数进行推算。

表1 国内主要航空公司飞行员复训和改装升级训练人次比重历史数据对比表

培训业务	2013	2014	2015	2016	2017
Mc	92.24%	91.13%	91.74%	91.13%	92.60%
Mg	7.76%	8.87%	8.26%	8.87%	7.40%

- 模拟机训练量 T_i

模拟机训练任务总量： $T_i = T_c + T_g$ 。

- 复训模拟机训练量 T_c

参加复训的飞行员的模拟机总训练量：

$T_c = C_c \times M_c$ 。

- 改装升级模拟机训练量 T_g

参加改装升级训练的飞行员的模拟机训练总量 $T_g = C_g \times M_g$ 。

- 模拟机需求量 M_f

飞行训练中心需要配置的模拟机数量：

$M_f = T_i / T_d$ 。

- 模拟机训练大厅面积规模 S_f

布置所需数量的模拟机训练大厅的面积需求： $S_f = M_f \times F_f$ 。

- 模拟机计算机房面积规模 S_c

布置所需数量的模拟机计算机房的面积需求： $S_c = M_f \times F_c$ 。

- 专业用房面积规模 S_z

专业用房面积需求： $S_z \approx 30M_f$ 。

- 讲评室面积规模 S_t

保障模拟机训练任务所需讲评室的面积需求： $S_t = M_f \times F_t$ 。

- 模拟机相关配套设施面积规模 S_1

模拟机相关配套设施所需的面积： $S_1 = S_f + S_c + S_z + S_t + S_j$ 。

- 理论教室面积规模 S_2

保障参训飞行员理论训练任务所需的教室面积需求。通过统计国内主要航空公司飞行训练理论课程和课制安排，飞行训练中心理论教室配置方案建议如下：

通过将理论培训课时总量 T_k 导入上表，按照承担课程比例，推算得出各类教室所需数量和规模，汇总得到理论教室面积规模 S_2 。

- 理论培训课时总量 T_k

参训飞行员所需理论训练的总课时数，理论培训课时总量 T_k 与各项理论训练的课程编制和参训人数相关： $T_k = D_c \times M_c + \sum (D_g \times M_g)$ 。当业主无法给出明确课制安排和对应人数时，也可通过经验数据由复训人数 M_c 和改装升级训练人数 M_g 进行估测： $T_k \approx D_c \times M_c + 120M_g$ 。

- 飞行训练中心面积规模 S

飞行训练中心建设规模需求合计，为最终测算结论： $S = S_1 + S_2$ 。需要说明的是当理论教室不与模拟机配套设施合建时， S_2 值为0， $S = S_1$ 。

1.2.2 设计常量

- 机组成员人机比 A

经统计国内各主要航空公司机队规模及飞行员规模，人机比 A 取值10。

- 单人次复训模拟机训练量 C_c

经统计国内各主要航空公司模拟机训练课制安排，单人次复训模拟机训练量 C_c 取值6h/人次。

- 单人次改装升级模拟机训练量 C_g

经统计国内各主要航空公司模拟机训练课制安排，单人次改装升级模拟机训练量 C_g 取值30h/人次。

- 单台模拟机设备年时基数

单台模拟机设备年时基数约为6120h。

- 单台模拟机运作面积 F_f

考虑全动飞行模拟机外形尺寸、运动包线、物流空间、安全距离等因素，单台模拟机运作面

表2 飞行训练中心理论教室配置方案表

教室规格	人均面积	辅助面积	学生人数	教室规模/ m^2	日课时数	年使用天数	年课时数	承担课程比例
12人教室	3	0.1	12	40	8	100	9600	15%
24人教室	3	0.1	24	80	8	250	48000	50%
48人教室	2.5	0.1	48	132	8	100	38400	30%
96人教室	2	0.1	96	212	8	50	38400	5%

积需求 F_f 取值 $270\text{m}^2/\text{台}$ 。

- 单台模拟机计算机配置面积 F_c

根据模拟机计算机机组配置要求，单台模拟机计算机配置面积 F_c 取值 $40\text{m}^2/\text{台}$ 。

- 单台模拟机对应讲评室面积需求

根据模拟机训练安排，一般按照“一课两班”进行，故单台模拟机通常配套2间讲评室，单间面积约为 25m^2 ， F_t 取值 $50\text{m}^2/\text{台}$ 。

- 配件库存用房面积规模 S_j

保障飞行训练中心模拟机日常维护所需的配件库房面积需求，通常不受其他变量影响，取值 120m^2 。

- 单人次复训理论培训课时数 D_c

经统计国内各主要航空公司理论课时课制安排，单人次理论培训课时数 D_c 取值 $8\text{h}/\text{人次}$ 。

2 测算模型实例验证

通过将国内成熟飞行训练中心案例部分主导因素变量代入上节测算模型，比较模型测算结果与实际情况，验证测算模型准确性。

该实例为国内某家大型航空公司飞行训练中心，承担该航空公司各分、子公司飞行员训练任务。

代入模型的测算变量为机队规模 F_i ， F_i 值为494架飞机。变量代入模型后测算所得结果和实例实际数据对比如表3所示：

通过上表对比发现，作为核心业务量和核心设备配置需求的模拟机训练量 T_i 和模拟机需求量 M_f ，模型测算值与实例实际数值基本保持一致，考虑全动飞行模拟机为贵重设备，各航空公司均有在特殊时段（如训练高峰期）增加课时安排，提升其运作时数，故模拟机训练量 T_i 实际数值较测算值略大。模拟机训练大厅面积规模 S_f 测算结果与实际值基本一致，保证了飞行训练中心的核心需

求，飞行训练中心面积规模 S 测算结果较实际值稍大，经调查，原因是该航空公司现有一定数量和规模的理论教室，故此类设施建设规模偏小。

故本模型测算准确性相对较高，具备一定的参考借鉴价值。

3 结论

本文总结了飞行训练中心配套设施要求，分析了飞行训练中心建设形式的主导因素，对影响规模的数据做了量化处理，构建了飞行训练中心规模形式测算模型，并通过实例验证该模型测算准确性，对于航空公司飞行培训相关配套设施建设规划预测项目具有一定指导意义。

飞行培训行业在国内属于相对新兴的航空行业，因其相对其他航空产业投资少、见效快、门槛低，没有明显行业壁垒，行业监管难度不大等优势，近年来得到了广泛的发展。本文论述的飞行训练中心只是航空公司模式下的产物之一，飞行培训行业还包括航校、模拟机制造商、飞机制造商等其他运营模式，这些机构或企业都具备一定的飞行培训资源，对于航空公司的飞行培训业务产生一定影响。与此同时各航空公司的飞行培训中心在保障自身需求的前提下也均在积极开拓第三方业务。这些因素都将影响未来飞行训练中心建设规模和形式，需要相关从业者继续不断的研讨。

参考文献

- [1] 《中国民航驾驶员年度发展报告2017》。
- [2] 《我国飞行员培训市场的SWOT分析与对策研究》。
- [3] 《CEAFTC飞行培训项目管理规划的应用研究》。

表3 变量代入模型后测算所得结果和实例实际数据对比

序号	变量	模型测算值	实例实际数值	备注
1	机队规模 F_i	494架	494架	代入变量
2	模拟机训练量 T_i	85080h	88785h	
3	模拟机需求量 M_f	13台	13台	
4	模拟机训练大厅面积规模 S_f	3510m^2	3450m^2	
5	飞行训练中心面积规模 S	14100m^2	12500m^2	

注：部分变量实际数值未能获取，此表仅列出重要结论性数据。

基于Unity3D的多学科集成仿真平台技术研究

■ 王泽鸿 刘璐 王纪尧 [工艺]

摘要: 针对机电液多学科仿真和试验数据可视化的需求,本文提出了以Unity3D为主平台,集成调用AMESim、MATLAB-Simulink等专业分析软件进行联合仿真,在Unity3D中实现仿真过程的总体控制和仿真结果的显示。该技术的主要难点是Unity3D与专业分析软件之间的接口设置和仿真过程的同步控制。本文以一个典型的阀控缸模型进行了用例测试,该技术旨在充分发挥Unity3D的开放性设计环境、跨平台发布、丰富的类库、友好的人机交互等优势,并结合专业分析软件的求解能力形成多学科集成仿真平台。

关键词: Unity3D; 多学科集成仿真; AMESim

1 前言

在航空领域的液压、飞控、环控等专业的调研中反映出多学科联合仿真的需求日益迫切。飞机分系统的设计中机电液的耦合关系紧密,前期的设计工作中需要考虑更多的综合因素,因此需要一个集成平台来实现多学科仿真的功能。此前各个行业的学者都意识到了这方面的需求,包括利用ADAMS(动力学分析)和AMESim(液压系统分析)联合仿真分析六自由度平台^[1],利用AMESim和Simulink(控制算法分析)联合仿真进行四缸同步回路分析^[2]。另一方面,本人发现Unity3D在虚拟培训^[3]、虚拟拆装实验^[4]、可视化管理系统^[5]等方面应用广泛,展现了该软件强大的开发环境和可视化能力,因此本文提出了在Unity3D基础上建立多学科集成仿真平台。

作者简介:王泽鸿,男,助理工程师,2017年毕业于北京航空航天大学机械工程专业,现就职于航空工业规划飞机工程设计研究院。

2 平台特点

本次研究的平台是以Unity3D为主平台进行联合仿真的总体控制,在Unity3D中通过挂载的脚本调用AMESim、Simulink等后台软件运行相应的仿真模型,并且利用Unity3D主程序控制仿真步长及同步性。

2.1 Unity3D主平台

Unity3D是一款专业的三维游戏引擎,具有三维实时渲染、支持多种开发语言、可跨平台发布、可视化编辑、VR快速开发等优势。Unity3D已逐步应用于工业领域的场景仿真,其优势应用如下:Unity3D的三维实时渲染能力可形象的展现机械结构、流体等物理状态的变化;Unity3D支持Java、C#等开发语言,具有多元的可塑性,可实现与多种类型的软件对接,但也需要较大接口开发工作;Unity3D可在Windows、Android、WebGL等多种平台发布,以独立的可执行文件形成成果;Unity3D的可视化编辑能力极大缩减了开

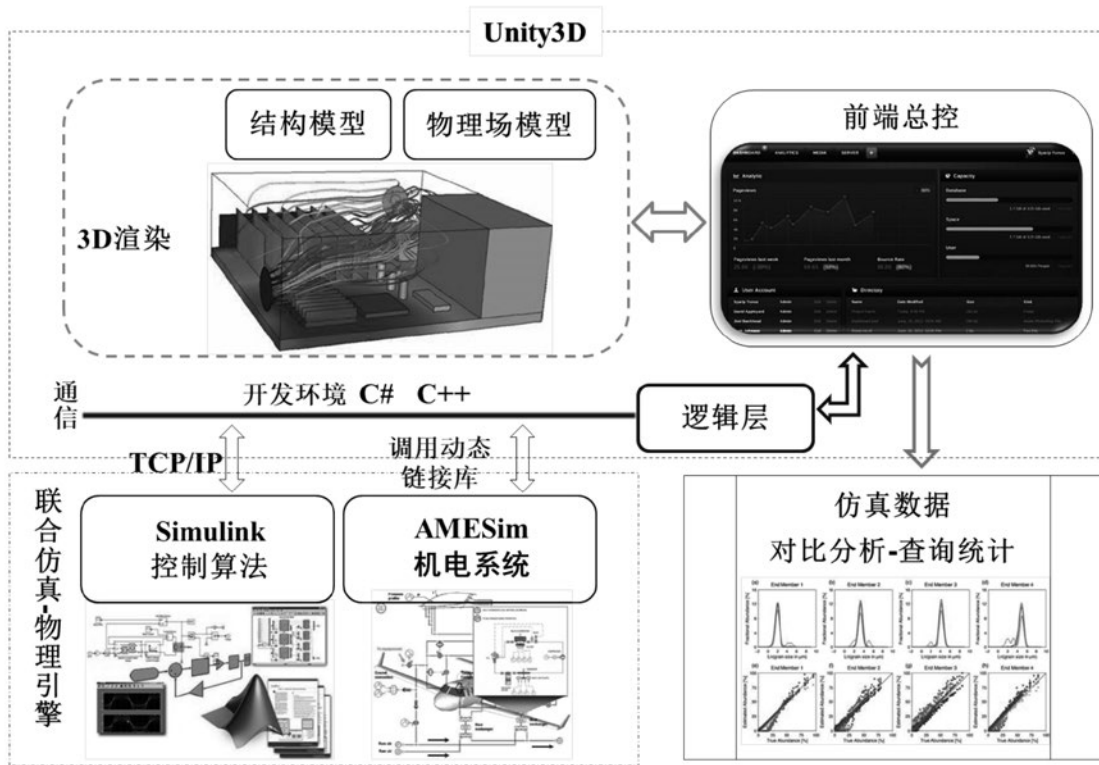


图1 平台总体框架

发人员的工作量，从而在保证其开放性的同时保证了其可操作性。Unity3D的VR快速开发功能进一步提升了仿真数据的可视化呈现效果，可让操作者对于仿真过程及结果一目了然。

2.2 后台软件

本次设计的平台主要调用的后台软件是AMESim、Simulink等专业分析软件，其中AMESim主要用于液压系统、电气系统的分析，其内部设置有与常用CAE软件的交联接口（Standard Interface）。Simulink主要用于控制算法分析，该软件中也内置了与常用分析软件的接口。AMESim与Simulink的联合仿真已有先例，但在此基础上继续扩展其他软件十分困难，而且两者之间的数据传递方式十分有限，数据后处理和可视化仍然停留在各自的软件中。

3 集成仿真架构

集成仿真主要解决的问题是接口通讯和仿真过程控制。本文设计的平台中Unity3D作为前端运行仿真过程控制主程序，通过调用AMESim的API

函数控制AMESim中的模型启停，通过TCP/IP与Simulink之间进行数据通讯。整体架构如图1所示。

4 技术实现

本文设计的平台暂时只实现了简单机电模型仿真过程的控制与显示，基本验证了平台集成仿真功能的可行性。

4.1 测试用例

平台的测试用例选择的是在AMESim中搭建的阀控缸伺服控制系统，如图2所示，将液压缸的进出口压力（ p_1 、 p_2 ）和活塞杆位移（ x_p ）设置为3个输出信息，将伺服阀的电流（value）和油泵转速（pump）设置为2个输入信息。输出的位置信息传输给Simulink中作为PID控制模块的输入，将计算后的值发送至Unity3D进行数据对比，最后由Unity3D将控制信息（value）输入至AMESim。

控制前端Unity3D的过程显示信息如图3所示，Time为仿真时间（步长为0.1s），#0、#1、#2分别为 p_1 、 p_2 、 x_p 的数值。

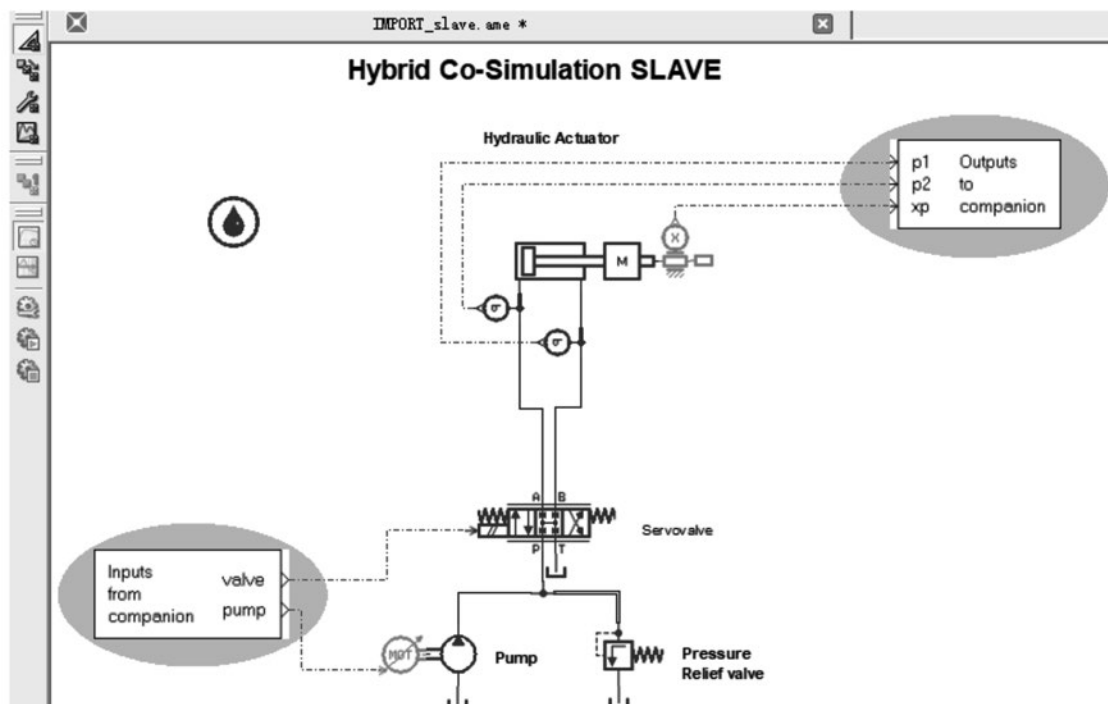


图2 AMESim中的阀控缸模型

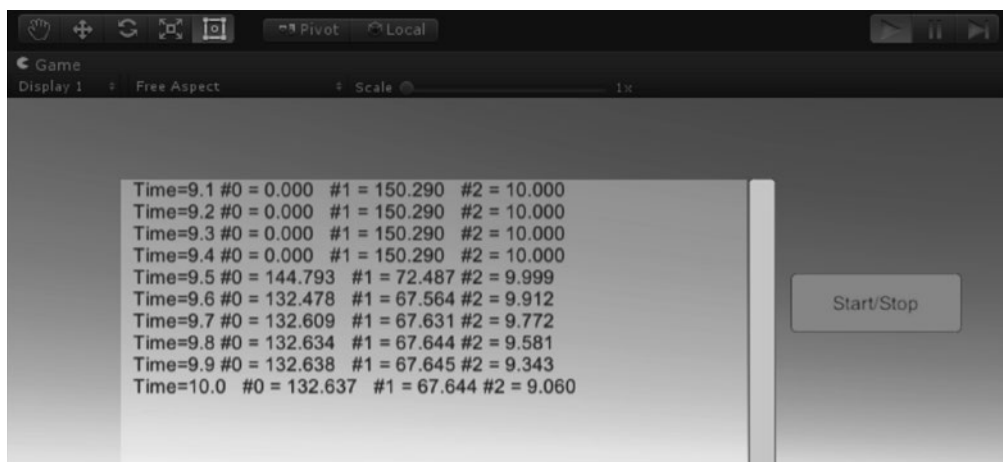


图3 Unity3D控制界面

4.2 接口配置

AMESim与第三方软件联合仿真是通过VC调用动态链接库实现的，而Unity3D提供了该编译环境。首先在AMESim中阀控缸伺服控制系统模型的草图绘制模式下添加接口模块，下一步进入仿真模式，此时会在文件根目录下生成一个与模型文件名称相同的.dll文件，该文件可作为slave被Unity3D的脚本程序调用，具体的调用函数可参考AMESim官方提供的API帮助信息，注意Unity3D脚本的工程文件中必须包含必要的.h头文件和编

制好的.c文件。

Unity3D与Simulink的数据通讯是通过C#建立TCP/IP连接，其中Unity3D作为服务端，Simulink作为客户端。服务端与客户端需要建立套接字(socket)连接，之后服务端与客户端之间通过套接字进行数据交互。一般情况下服务端和客户端应各自运行一个线程进行交互数据的接收，具体流程：服务端开启套接字→运行监听客户端接受的线程→客户端建立与服务端的连接→调用socket发送数据→调用socket的receive方法接受数据→在

```

void FixedUpdate()
{
    BT_01 = Button_1.Button_01;//启停按键
    //计算并输出结果
    if (Time <= FinalTime && BT_01)//判断是否达到仿真时间且按钮触发
    {
        for (int i = 0; i < InputsLength; i++) //初始化输入数组
        {
            if (i == 0) InputsArray[i] = 1450.0;
            else if (i == 1) InputsArray[i] = 40.0 * Math.Sin(Time);
            else InputsArray[i] = (i + 1) * Math.Sin(Time);
        }
        AMESim.AMEDoAStepSec(Time,InputsLength,OutputsLength, InputsArray,
        OutputsArray); //单步执行
        string temp = ""; //输出结果
        temp += string.Format("Time={0:0.0}\t", Time);
        for (int i = 0; i < OutputsLength; i++)
        {
            temp += string.Format("#{0} = {1:0.000}\t", i, OutputsArray[i]);
            Debug.Log(temp);
            AMESim.LogOutput(temp);
            T.text += (temp + "\n").ToString();
            Time += Interval; //更新时间节点
        }
    }
    else if (!Ended && BT_01)
    {
        AMESim.AMETerminate();//结束仿真
        Ended = true;
    }
}
}

```

图4 脚本部分代码及思路

socket发送关闭信号后关闭本地套接字。

4.3 协调同步

Unity3D作为主平台需要承担仿真过程中各软件之间的协调同步。部分脚本程序及控制思路如图4所示。

5 结论

本文针对基于Unity3D的多学科集成仿真平台的技术研究基本验证了该技术的可行性，实现了Unity3D与AMESim、Simulink等软件之间的仿真数据交联以及仿真过程控制，但该阶段的研究仍然比较粗浅，后期还需要进行复杂模型仿真、大数据量传输、仿真同步性等多项性能的检测。

在此平台的核心仿真分析功能基础上可以结合Unity3D的优势，扩展VR显示、数据管理、数据挖掘等功能，将该平台打造成综合型仿真环境。

参考文献

[1] 韩寿松,晁智强,刘相波.基于ADAMS和AMESim的液压六自由度平台联合仿真研究[J].机床与液

压,2013,41(9):157-159.

[2] 刘少龙,魏聪梅,丁鼎.基于AMESim/MATLAB的四缸同步回路仿真研究[J].流体传动与控制,2017(03):34-37.

[3] 相茂英,马纯永,韩勇等.基于Unity3D的化工设备虚拟培训系统研究[J].计算机技术与发展,2014,24(07):196-200.

[4] 冯桂珍,池建斌.基于Unity3D的减速器虚拟拆装实验[J].图学学报,2018,39(2):304-308.

[5] 王双,廉东本.基于Unity3D的仓储可视化管理系统[J].计算机系统应用,2016,25(7):72-75.

航空水力测功机循环水系统设计研究

■ 魏苇 王锋 吴晓莉 徐孝君 [给排水]

摘要: 航空发动机研发制造和维修的每个阶段都伴随着大量的地面试验,通过各种测试来检验发动机的性能。水力测功机是测试发动机轴功率的重要设备,在试车过程中,水力测功机工作的稳定性决定了测试数据的准确性,功率是评定发动机性能的重要参数,高精度稳压是水力测功机稳定工作的重要保障。根据设计和现场调试经验,通过对试车数据、排故报告进行问题分析,深入研究水力测功机的内部流场,拟定出高精度稳压的优化解决方案,并根据实验及模拟计算论证了方案的可行性。

关键词: 水力测功机;吸收功率;输出轴功率;循环冷却水系统;高精度稳压

0 引言

航空发动机作为飞机的心脏,被誉为“工业之花”,它直接影响飞机的性能、可靠性及经济性,是一个国家科技、工业和国防实力的重要体现。航空发动机(aero-engine)有多种类型,在不同的飞行领域发挥着各自的作用,其中涡轮轴、涡轮螺旋桨发动机和燃气轮机占据重要的一席之地,这一类型发动机输出功率是通过水力测功机来测试的。国产发动机是中国航空事业发展的核心,发动机的研发制造,离不开各种性能检测。发动机输出轴功率是评定发动机性能的重要参数,由于输出功率检测在试车中的重要性,水力测功机循环水系统设计成为试车台建设重点工作之一。

航空水力测功机供应商在设备技术说明书中,一般都会有要求循环冷却水系统设置高位水池或水塔,或是水泵-背压调节器-气压罐的技术要求,主要目的是为水力测功机正常运转提供连续流动的水流量,一个稳定、无脉动的供水水源,并能满足在应急状态下一定的水流量。高位水池或水塔供水方案,由于受到地势或场地面积等因素的制约,在许多工程中无法实现。水泵-背

压调节器-气压罐的稳压供水方案适用性强,但在满足水力测功机高精度稳压方面存在诸多问题,这些问题导致发动机功率测试不准。由于发动机试车所用到的材料、装置、能耗都十分昂贵,发动机功率加载迅速,水力测功机循环水系统入口压力调整时间受到限制。如果调压时间过长就会影响试车效率,导致试车成本增高。这些问题引起业内人士的高度关注,也成为给排水专业必须解决的难题。

1 水力测功机及循环冷却水系统

1.1 水力测功机吸收功率

水力测功机的主体为水力制动器,它是利用水对旋转的转子形成的摩擦力矩吸收并传递动力机械的装置。发动机通过连轴节带动水力测功机主轴上的转子组件同步旋转,在水流的作用下,发动机的机械能转化为水流的热能,可以通过改变工作腔充液率来改变吸收功率的大小。与此同时,与转子做相对运动的定子,在水流的作用下,产生制动力矩。

水力测功机吸收功率:

$$\text{功率KW} = (\text{扭矩Nm} \times \text{转速rpm}) / 9550.$$

(其中扭矩可以通过安装在水力测功机外壳上的拉压力传感器测出,转速可通过转速传感器测出。)

作者简介:魏苇,女,高级工程师,1989年毕业于南昌航空大学环境工程专业,现就职于航空工业规划动力工程设计研究院。

1.2 水力测功机对循环冷却水系统的要求

为了准确测出扭矩和转速，确保功率测试的精确度，水力测功机对循环水系统具有一系列的技术要求，包括对水源、水压、水温、水质以及设备、组件、管路安装都有具体的规定。

1) 对水源的要求：水力测功机工作的稳定性要求有一个稳定、无脉动的水源。水力测功机本质上是一种被动装置，因此水源的脉动将导致扭矩和转速的脉动，功率与转速的3次方成正比，系统任何微小的压力变化都可能引起测量值大幅度波动，不能正常测功。为此，拥有稳定的水源是非常重要的。根据以往的设计经验，压力波动值一般要求控制在 $\pm 0.007\text{MPa}$ 范围内。

2) 对水温的要求：水力测功机工作时，是将发动机的机械能转化为水流的热能，所需要的水流量取决于所要吸收的功率以及温升的大小。

$$Q=14.33P/(T_2-T_1);$$

Q = 水流量l/min, P = 吸收功率kW;

T₁=进水温度°C;

T₂=出水温度°C;

这一规律适用于所有型号的水力测功机。

水温过高容易形成水垢，一般情况下出水温度不应超过60°C。如果发生出水温度超过60°C，则需降低功率和转速。对于温度的要求应根据具体型号产品的技术要求确定。

3) 对水质的要求：水质过硬会导致石墨端面密封件的过早磨损。高度酸性的水质会在不同金属之间导致电解腐蚀。水质指标：

pH值：7.0~8.5;

总固体颗粒物含量：≤750ppm;

当量碳酸钙含量（水的硬度）：<50ppm;

氯含量：≤50ppm 导电率：≤120mS/m。

1.3 水力测功机工作特性曲线

水力测功机的工作范围由其功率（KW）—转速（RPM）特性曲线表示。图中OA曲线表示测功器进水阀全开时，随转速变化所能吸收的最大功率线；AB直线表示测功器最大扭矩保持不变时，随转速变化所能吸收的最大功率线；BC直线表示测功器不超过允许排水温度时，随转速变化所能吸收的最大功率限制线；CD直线表示测功器允许的最高转速限制线；OD曲线表示测功器进水阀全关时，随转速变化所能测量的最小功率，即制动功率线（空气摩擦阻力）。曲线OABCDO所包围的区域表示了该型水力测功机所吸收的功

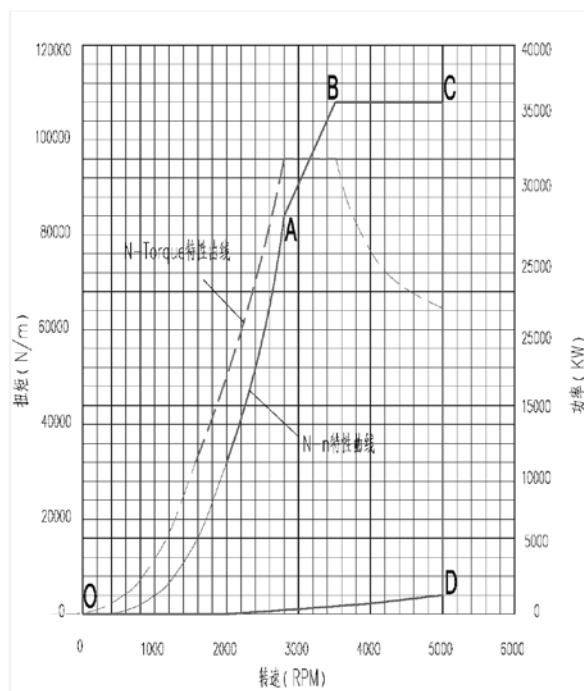


图1 水力测功机特性曲线图

率范围，凡发动机的特性在曲线图形所包围的范围内，一般均能在该型水力测功机上进行特性试验。上述各种工况，是通过水力测功机内部自动调节装置控制排水执行器，由排水执行器控制水力测功机出水口阀门开度，来改变工作腔水环层厚度从而改变吸收功率大小。由此可以看出，发动机在试车过程中，水力测功机流量变化范围非常大，幅度为零流量到最大流量。

2 循环冷却水系统优化方案研究

2.1 优化方案

水力测功机内部流场复杂，在试车过程中工况变化多样，发动机功率加载迅速，调压时间受到限制，要消除各种因素带来的供水压力波动，控制值在 $\pm 0.007\text{MPa}$ 范围内，确实非常困难。根据近年来的设计和现场调试经验，结合试车记录和排故报告，我们对水力测功机循环水系统进行了科研课题立项，在研究的过程发现优化水泵—背压调节器—气压罐稳压供水方案是十分有必要的。

在以往的设计当中，为了提高背压调节器工作的灵敏度，所选离心泵都是具有较陡的压力特性曲线，带来的问题是，水量大的系统调压幅度大，调压时间就长，相对压力波动时间也长，不

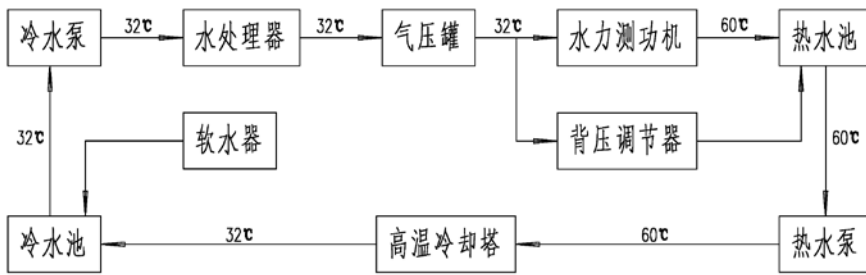


图2 现状采用的工艺流程图

能满足测功机要求。当采用水力泄压持压阀时，由于水力泄压持压阀的构造和工作原理，决定了它的调压能力，单独使用时不能满足水力测功机压力精度的要求，系统尚需配置气压罐和空压机辅助调压，但对于流量大的系统依然存在调压时间较长的问题。当系统配置气压罐和空压机辅助调压时，只适用于较小流量的项目。

发动机试车有多种模式，从一种工况变化到另一工况，测功器和发动机稳定下来需要一个时间间隔。为了提高试车效率，确保功率的测量精度，水力测功机循环水系统的压力除在这个调整时间内，其他任何时候都应该保证压力波动值不超过 $\pm 0.007\text{MPa}$ ，所以快速准确地调定压力是水力测功机稳定工作的关键环节。

带着上述问题，课题着重研究水力测功机进口端压力控制问题，具体的技术措施如下：

环调节，对系统压力进行精确调定。

现状采用的工艺流程见图2。

优化方案采用的工艺流程见图3。

2.2 实验和模拟计算

以优化方案的技术路线为指导，对水泵及阀门进行了大量的测试，通过动态实验台数据和模拟计算，对研究方案的工艺流程进行了可行性验证。

1) 阀门实验

通过多项阀门动态试验，采用气动泄压阀代替水力泄压持压阀，在试验中，气动泄压阀快速而准确，但是由于瞬时压力波动过大，变化幅度超出了预先设定的压力范围，由于在实际运行时试车有安全压力范围，这样的后果会直接造成停车。水力泄压持压阀及气动泄压阀均不适用于高精度稳压工况。

经过详尽的调研和大量实验室数据，最后

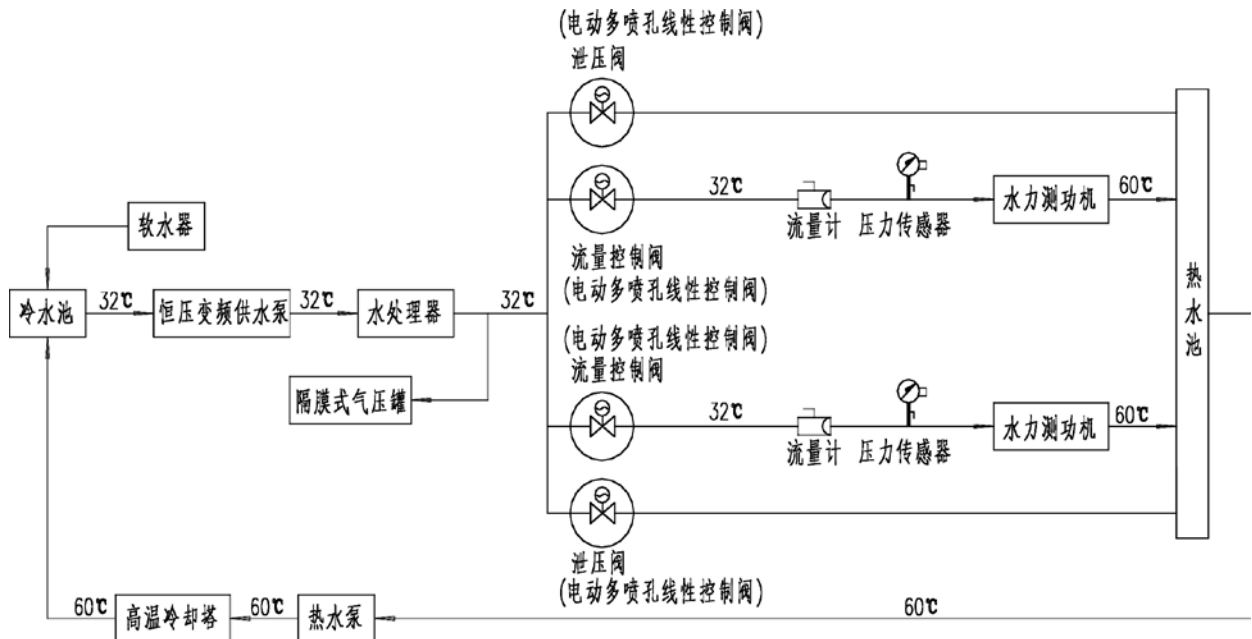


图3 研究方案工艺流程图

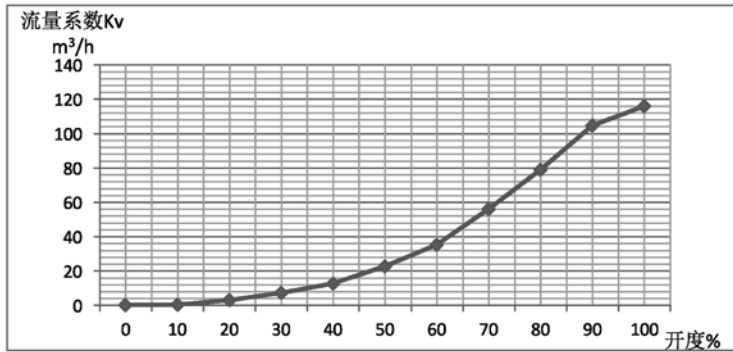


图4 多喷孔阀流量特性曲线

选定多喷孔线性控制阀作为优化方案的背压调节器。多喷孔线性控制阀适用于高压差并精确控制流量的工况，为了保证阀门的控制精度，多喷孔线性控制阀喷管的开孔在整个行程内均布，开度和喷管的开孔率呈线性，非常适合做流量和压力控制。当循环冷却水流过阀门内部滑套件上特制排列的小孔，对撞消能，能有效地防止汽蚀，适用范围大，调节灵敏，线性度高。图4是管径DN200多喷孔阀的开度百分比与流量系数Kv的流量特性曲线图。

通过阀门动态实验台，测试通过水力测功机进口端流量控制阀及旁通泄压阀调节进口端压力稳定在35m水柱，测试系统阀门配置如图5。进水控制阀和旁通的泄压阀均选用多喷孔线形控制

阀，管径DN200。测试系统中，测功机可能一台工作，也可能两台同时工作。针对可能出现的工况，模拟计算流量控制阀的工作状态，见表1。

2) 水泵实验

在以往的设计中，曾尝试采用恒压变频泵作为供水泵，但由于水力泄压持压阀的工作原理和自动控制的水平等方面的原因，系统的压力更难稳定。目前，日新月异的科技技术如比例积分微分调节器PID控制、PLC闭环控制的普

遍应用，采用恒压变频泵在泵出口处消减大部分的压力变化具备了可能性。

通过小型变频供水机组试验台，实测流量为 $200\text{m}^3/\text{h}$ 变频恒压泵从零流量到最大流量的扬程的变化，系统采用全变频和比例积分调节器PID控制，变频恒压泵流量从 $0\sim 160\text{m}^3/\text{h}$ 变化时，扬程变化 $19.4\sim 17.6\text{m}$ 。流量变化幅度大，而压力波动较小。目前国内很多水泵生产厂，通过设定比例积分微分调节器PID的精度，在变流量恒压精度方面取得了很大的进展，尤其是在大流量恒压方面，图6是某泵业公司经过模拟计算得出的流量为 $Q=1500\text{m}^3/\text{h}$ 变频恒压泵的性能曲线图。在实际运行当中，随着水泵流量变化，压力仍然存在一定程度的波动，不能满足水力测功机高精度稳压的要

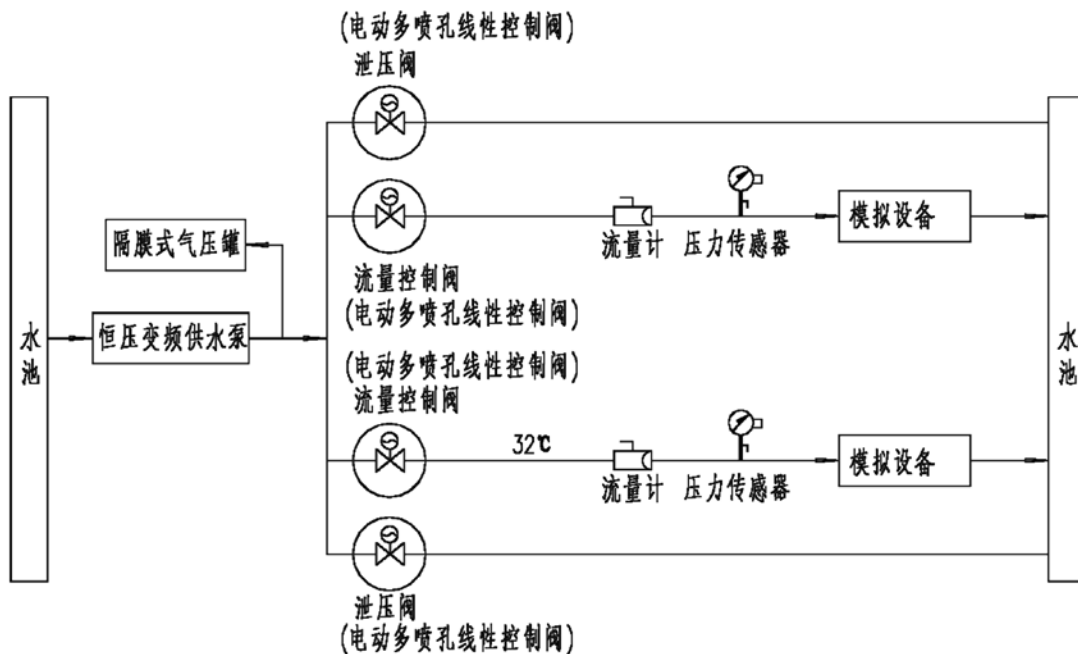


图5 阀门动态实验台阀门配置图

表1 模拟计算流量控制阀工作状态

测功机各种可能的工况					
说明: 1水泵为稳压变频泵,水泵出口压力稳定为55m水柱; 2水泵与流量控制阀之间的水力损失忽略不计; 3水力测功机单台最大流速3m/s(最大流量339.1m ³ /h); 4多喷孔线性控制泄压阀设计最大流速5m/s,单台最大流量565m ³ /h,泄放压力35m,工况气蚀指数0.29。					
单台测功机工况					
多喷孔线性流量控制阀流量					
水泵出口流量 (m ³ /h)	进口压力	出口压力	流量控制阀流量 (m ³ /s)	流量控制阀流阻系数	流量控制阀理论开度%
0	55	35	0	∞	0
34	55	35	0.009444	1303.284706	18
68	55	35	0.018889	651.6423529	26
102	55	35	0.028333	434.4282353	34
136	55	35	0.037778	325.8211765	44
170	55	35	0.047222	260.6569412	52
204	55	35	0.056667	217.2141176	6
238	55	35	0.066111	186.1835294	64
272	55	35	0.075556	162.9105882	68
306	55	35	0.085	144.8094118	73
339.1	55	35	0.094194	130.6743733	82

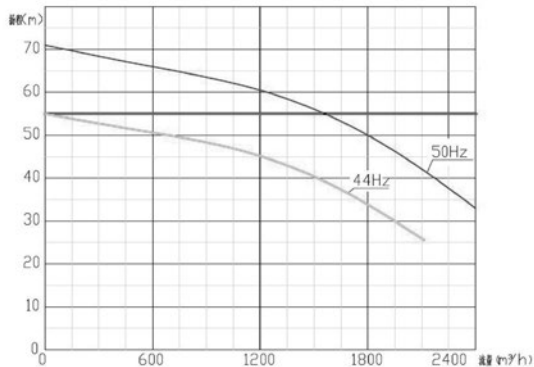


图6 变频恒压泵的性能曲线图

求,需要通过背压调节器进一步精调压力。

2.3 技术说明

从对阀门及水泵的试验和测试结果,可以得出较为明确的结论,优化方案采取的技术措施是可行的,下面对优化方案进行技术说明:

优化方案的工艺流程见图3,以系统有两台水力测功机为例,阀门与传感器的具体分布与系统控制见图7。

变频恒压泵与电动多喷孔线性控制阀的工作原理,都是通过压力传感器检测管网的水压,与设定压力经过比较后输出偏差信号来进行压力调整的,使管网压力不断向设定压力趋近是一个动态的过程,如何使两者在不断检测、不断调整的程中协调工作是需要着重解决的问题之一。为

了保证变频恒压供水泵与阀门的控制协调一致,水泵的频率控制信号以及水泵的启动停止信号都由阀门控制柜给出,采用变频泵来调节水力测功机进水口端的流量控制阀的前端压力,实现对测功机进水压力进行粗调。在水力测功机进水主管上设置流量控制阀来调节测功机进水口的流量,在其旁通管上设置了泄压阀来控制水力测功机的进水口压力,实现对水力测功机进水压力进行精调,流量控制阀和泄压阀均采用电动多喷孔线性控制阀,采用压力传感器和流量传感器检测电动多喷孔线性控制阀的出口压力与流量;泵出口也安装压力传感器来检测水泵的出口压力。

变频泵控制参数设置:设置变频泵的频率控制范围,即设置控制频率的上限值与下限值,然后设置水泵出口压力的误差值范围。

阀门控制参数设置:分别设置每台测功机进口端的流量值以及每台测功机进口的压力值。

水泵启动后控制系统会自动将水泵出口压力控制在设定压力范围内;测功机的工作状态有3种情况:①1#测功机单独测试;②2#测功机单独测试;③两台测功机同时测试;现以两台测功机同时测试为例说明,将控制柜面板上的“测试模式”选择开关拨到“两台”的位置。当两台测功机同时进行测试时,需要同时调节1#、2#多喷孔线性流量控制阀,并将其流量调节到每台测

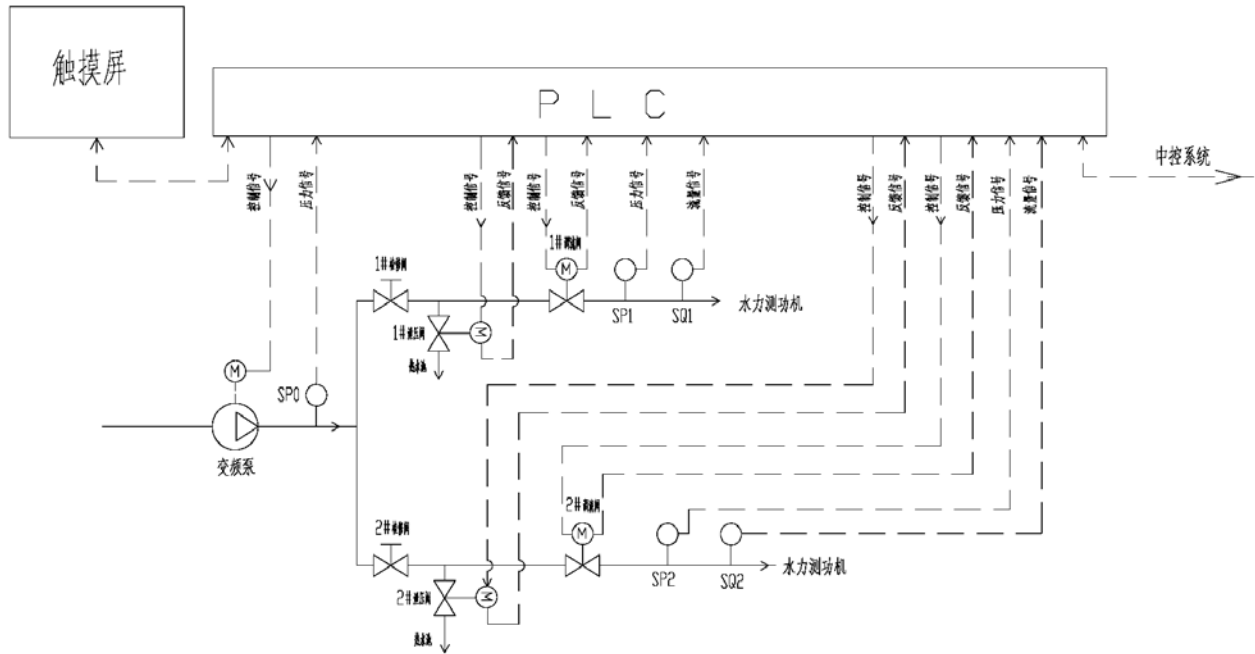


图7 控制系统图

功机所需的测试流量值。为了确保两台阀门同步工作，采用自动控制模式进行操作。按下“自动启动按钮”，1#、2#多喷孔线性流量控制阀自动开启，当多喷孔线性流量控制阀工作时，系统压力将会发生变化，这时水泵会自动进行动态压力调节，在压力调节控制中，先由变频泵进行粗调，然后泄压阀进行精调。当变频泵的控制频率达到设定的上限或下限频率或压力值达到设定的误差范围时，水泵停止调节。这时若压力值仍不能满足测试需求时，则由1#、2#多喷孔线性泄压阀来分别调节其所对应的测功机的进口压力，使得每台测功机的进口压力值满足测功机的测试需求值，其压力自动调节过程均由PLC自动运算处理，使水泵与阀门的控制协调一致，无需人工干预。1#、2#测功机单独测试的工作原理与两台测功机同时测试类似。测试前，只需将控制柜面板上的“测试模式”选择开关拨到1#或2#即可。

3 结论

综上所述，是对水力测功机循环冷却水系统设计做出的新的尝试，如果设计项目没有条件设置高位水池或水塔，可采用该优化方案进行设计。同时，还应采取其他技术措施以保证系统运行的稳定，如稳压水罐采用隔膜式气压罐气水分离，旁通式接入系统；选用带自动反冲洗功能的

过滤器，试车前检查过滤器压差大小，消除阀门阻滞现象；管路的布置应避免出现紊流。优化方案是经过大量的实测、复杂的计算及不断调整得出的，但尚未经过实际工程检验，我们希望该方法能对今后的工程设计有所借鉴，并在应用当中发现问题使其进一步完善。

参考文献

- [1] 航空发动机试车台设计规范 GB 50454—2008
- [2] KAHN公司文件2802J4.
- [3] 张朝升,许仕荣. 泵与泵站(第六版). 中国建筑工业出版社.
- [4] 林坤,张世伟. 变频恒压供水系统理论分析及方案设计. 舰船防化. 2010.
- [5] 曹蓄,洪雪峰. 基于PLC和变频器的恒压供水系统研究. 变频世界. 2007.
- [6] 姚新芳. 水力测功机内部流场分析及参数匹配研究. 中国知网. 2014.
- [7] 安路强,陈成. PLC及变频调速技术在泵站恒压供水中的应用. 中国知网. 2016.
- [8] 多喷孔套筒阀. 中国知网. 2011.
- [9] 浅析多喷孔水力控制性能特点及具体的实施方法. 中国知网. 2017.

多功能涡轮冷却试验器子系统分析及应用

■ 初广宇 李雪罡 郝悦 [工艺]

摘要: 本文以某涡轮冷却试验器为例,分析其子系统组成,并从系统工艺原理角度出发,分析其建设中对于建安配套的需求产生的原因,最终通过搭建试验器,以实验验证试验器建设的正确性,为今后同类试验器建设提供参考。随着国家对于发动机研制投入的增加,将会有越来越多的同类试验器投入建设,分析总结试验器建设的影响因素并归纳总结,对今后同类试验器建设是很有必要。

关键词: 涡轮冷却试验器;建安工程

1 引言

发动机涡轮是将高温高压燃气的能量转变为轴功输出的叶轮机械,是发动机的重要组成部分之一。通过分析发动机热力循环增加压气机增压比、提高涡轮进口温度是提高涡轮性能的重要手段。随着涡轮入口温度的不断提高,涡轮部件所承受的热应力不断增加,涡轮部件工作环境急剧恶化。为保证涡轮叶片正常工作,需要研制许用温度更高的材料或研发更先进的涡轮部件冷却技术。由于现阶段材料耐温极限以每年8K的速度发展^[1],远远落后于涡轮进口温度的提升速度,因此研究更先进的冷却技术成为涡轮研究的一项重要任务。基于以上原因,在各个发动机研究所及研究机构内均建有研究涡轮冷却技术试验器。为配合建设,需要从试验器工艺子系统组成出发,结合具体试验器使用,探究工程建设中配套设施需求。

2 涡轮冷却试验器分类

涡轮部件试验主要包括平面叶栅试验、环形叶栅试验、涡轮性能试验、涡轮导向器试验等^[2]。其中,平面叶栅试验、环形叶栅试验、涡轮导向器不涉及旋转试验件,试验器系统较为单一,因

此本文以一种多功能旋转涡轮盘试验器为例,分解各个子系统并总结其需求。该试验器结构图如图1所示。

3 系统组成及建安工程需求

本试验器由进气系统、排气系统、试验件、支撑台架、传动系统、测试系统、动力系统组成。

(1) 进气系统及建安需求

进气系统的主要作用是将工质输送到试验件当中,并通过进气调节阀调节进气流量。本试验器进气系统主要包括稳压罐、过滤器、进气调节阀、流量计等部件组成。根据试验对进口流场品质的需求及进口温度的需求,试验器进气系统还可以增设进气加热器及整流段。本试验器主要进行常温试验且室内部分管道较短,因此采用 Π 型弯进行自然补偿。

进气管道沿壁面敷设,配套设置有管道支架。进气加热器可以分为燃烧直接加热及电加热两种,采用直接加热时需增设油泵间或燃料间为燃烧器供应燃料。通常燃料间为防爆房间,房间火灾危险性根据燃料的物性,依据《建筑设计防火规范》确定,采用电加热器时有两种安装方式——卧式和立式。卧式暗转需要空间较宽,立式需要空间较高,因此房间内设有电加热器时需根据设备安装方式确定试验间宽度及下弦标高。

作者简介:初广宇,男,助理工程师,2017年毕业于北京航空航天大学航空工程专业,现就职于航空工业规划动力工程设计研究院。

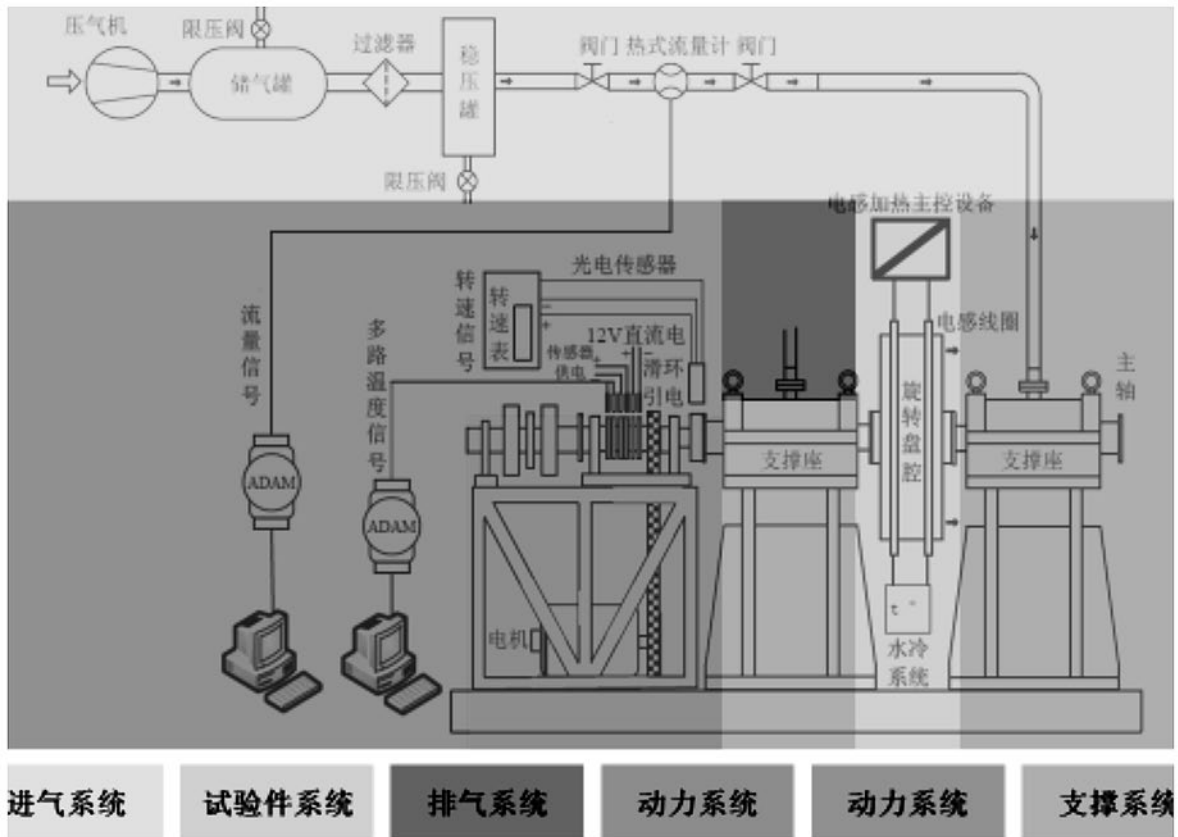


图1 多功能旋转涡轮盘试验器

(2) 排气系统

排气系统主要作用是将试验后的尾气收集并经过降温后有组织的排放，以满足环境及噪音排放要求。本试验器排气系统主要由排气收集器，排气管道、排气背压阀门、排气管道消音器组成。

由于流量较小，本试验器尾气收集器为环形腔体。腔体位于试验件下游支撑座内。腔内设轴支撑传动系统中心轴。试验后的尾气在试验件内流入中心轴中并沿中心轴进入尾气收集腔内，最终通过排气管道排入大气。

常规涡轮试验器排气收集装置为排气蜗壳。蜗壳有顶排与侧向排气两种。顶排排气塔位于排气蜗壳顶部，排气流程短，不会影响试验间内物流通道。侧向排气不会对厂房内电动起重机运行造成影响，同时相对于顶排，对屋内梁柱承重要求小，因此，需要综合考虑设备方案以提出合理的房间工艺布局。另外，排气蜗壳有检修、更换的需求，因此厂房下弦标高及宽度需要预留不小于蜗壳外径的空间。

(3) 试验件

试验件时试验器的主体，也是试验器所有部

件中心标高的确定依据。由于蜗壳、电机、水力测功机等部件需要与试验件中心标高一致，因此试验件标高同样会影响厂房下弦高度。

(4) 动力系统

动力系统主要用于驱动试验件进行高速旋转，并维持试验件转速恒定。动力系统主要包括动力电机、电机控制柜等部件。

(5) 测试系统

测试系统主要包括传感器受感部、传输导线、采集卡及数据处理显示计算机组成，主要用于收集并存储实验的测试结果。依据测试的种类不同，需要的配套建安工程条件也不同。例如，在进行光学测试时，光源对于地面隔振要求高，需要在试验间内设置隔振基础等。本试验器仅进行常规的温度、压力测试，无特殊要求。

4 应用实例

4.1 试验器参数

按照上述试验器组成及建安工程技术要求搭建试验器，试验器各子系统参数如下：

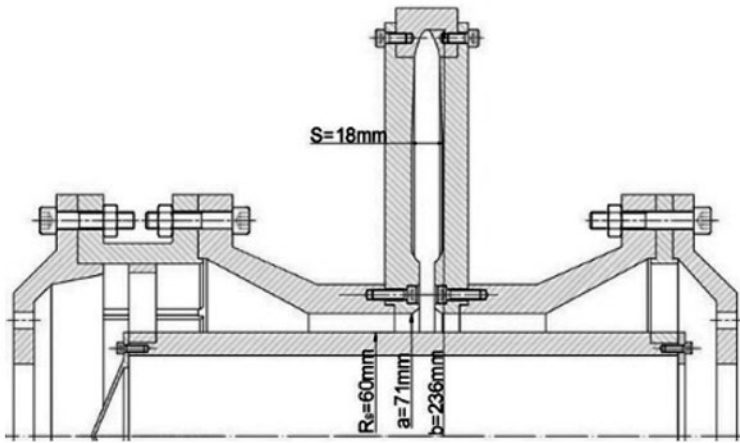


图2 探头实物图

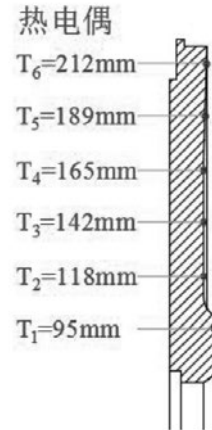


图3 温度测点分布

(1) 进气系统：试验采用压缩空气作为试验工质，进气流量不大于600kg/h，进气压力不大于0.8MPa，试验件进口温度常温。

(2) 排气系统：最大排气流量不大于600kg/h。

(3) 动力系统：试验器采用直流电机驱动试验件高速转动，电机额定功率30kW，额定转速3000rpm。

(4) 试验件：试验件为轮缘开孔的旋转腔。腔体间隙最大处 $s=18\text{mm}$ ，底部进气段间隙9mm。实验由外径120mm的中心轴及内径142mm的盘面连接件之间的环形间隙进气。如图2所示。

上下游盘盘面外半径 $b=236\text{mm}$ ，内半径 $a=71\text{mm}$ 的曲面盘，盘平均厚度15mm。

(5) 测试系统：试验中采用T型热电偶测量温度，热电偶测温精度为 $\pm 0.5\text{K}$ ，最高测量温度 200°C ，满足使用要求。试验中沿盘面径向分布有6个温度测点，测点位置分布如图3所示。

该试验系统的具体工作流程如下：

试验通过测量在不同进气流量条件下，壁面不同位置的温度，得到壁面径向温度梯度及其分布规律，并与国外实验结果进行对比，确认试验器及配套工程设计的可行性。

试验中，压缩空气经由进气系统调节阀调节流量后进入试验台中心轴中，通过中空的中心轴沿轴向进入试验件。试验器采用电感加热的方式对试验件外缘加热，以模拟真实发动机涡轮盘外缘工作条件。通过控制排气背压阀控制进气压力以确保试验结果具有可比性。

4.2 试验结果处理

为得到具有通用性的试验规律，进气流量及得到的温度需要进行无量纲化分析。

定义无量纲质量流量 Re_z 、旋转雷诺数 Re_ϕ 、无量纲温度 Θ ：

$$Re_z = \frac{m}{\mu R_b}$$

$$Re_\phi = \frac{\omega R_b^2}{\nu}$$

$$\Theta = \frac{T - T_0}{T_{sh} - T_0}$$

式中， m 是入口质量流量， ω 是转盘旋转速度， ν 为空气的运动粘度， μ 为空气动力粘度， T 为测点温度， T_{sh} 为轮缘加热温度， T_0 为试验件进口温度。

4.3 试验结果

试验测量了在 $T_{sh}=80^\circ\text{C}$ 条件下，不同进气流量下 ($Re_z=0.75 \times 10^4$ 、 1.5×10^4 、 3.0×10^4 、 4.5×10^4) 壁面温度，试验结果如图4所示。

从图4与图5对比中可以看出，上游盘无量纲温度高于下游盘温度，两者之间的温度差异随转速增加而减小，随着轴向雷诺数的增加而增加，同时上下游盘温度的差异沿径向逐步减小，盘面无量纲温度分布梯度在高半径出较大。Farthing (1988)^[3]曾采用相似的试验件，进行了实验以及数值计算，其得到的壁面温度分布规律如图6所示。

Farthing进行了不同数据记录时间的同工况实验，可以看到在横坐标无量纲测试位置不大于

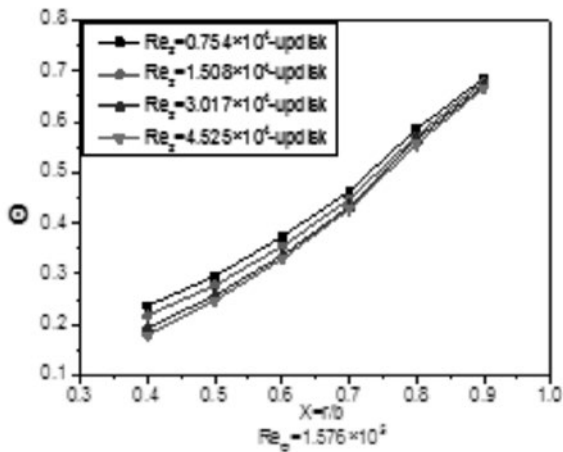


图4 上游盘盘面无量纲温度分布

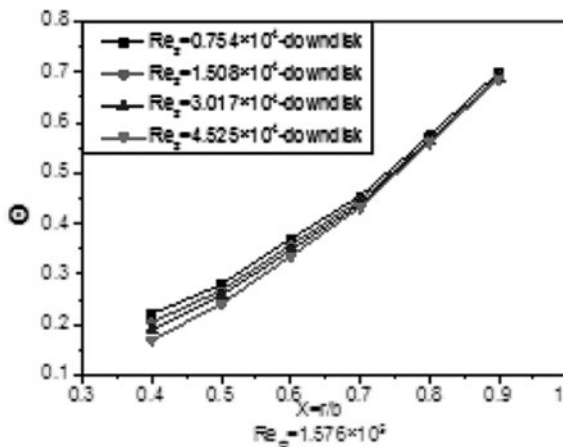


图5 下游盘盘面无量纲温度分布

0.9的径向位置内, Farthing得到的无量纲温度分布规律与本次试验结果是相近的。结合Chew^[4], Morse^[5], Owen(1979)^[6]的研究,产生这种温度分布规律的原因是在轴向进气径向出气的腔体中,气体会在腔体进口段形成一个小的诱导涡团,同时气体受到惯性力的作用,使得气体沿着下游盘壁面流入到腔体中。径向出气腔内气体的径向速度较轴向出气腔大,因而在经过进口端之后,会在进入腔体后再上游盘壁面处形成一个大涡团。这个涡团阻碍了上游盘低半径处的换热,因而出现上下游盘面温度差沿径向减小的无量纲温度分布。

5 结论与展望

本文从分析一种多功能旋转涡轮盘试验器各个子系统工艺组成及原理出发,提出其工程建设的需求,并结合实验论证了做提出的建设需求的

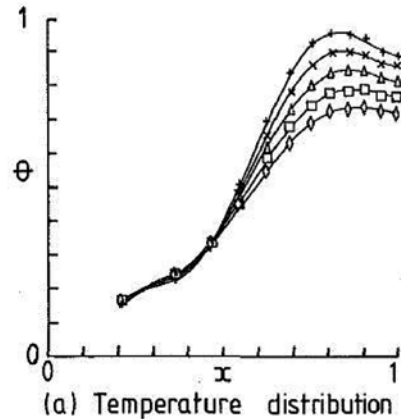


图6 Farthing实验结果

正确性。从实验结论上看,新建设的试验器可以满足使用要求。

随着国家对于发动机及燃气轮机投入的增加,越来越多类型、功能、参数的试验器逐步进入到实施阶段。通过分析不同试验器试验任务需求,得到试验器应有的子系统组成,并分析出相应的土建技术要求对于未来试验器建设有很大的帮助,在未来也必将得到更多的应用。

参考文献

- [1] Henneche D K. Turbine Cooling in Aeroengines[R]. Von Karman Inst. LS 1982-02.
- [2] 黄庆南. 《航空发动机设计手册》 航空工业出版社 2001.
- [3] P.R. Farthing and J.M. Owen, The Effect of Disk Geometry on Heat Transfer in a Rotating Cavity With a Radial Outflow of Fluid[J], ASME Paper No.87-GT-163.
- [4] Chew, J. W. Computation of flow and heat transfer in rotating cavities[D]. University of Sussex, 1982.
- [5] Morse A P. Numerical prediction of turbulent flow in rotating cavities[J]. Journal of Turbomachinery, 1988, 110(2):202-212.
- [6] Owen J M, Pincombe J R. Velocity measurements inside a rotating cylindrical cavity with a radial outflow of fluid[J]. Journal of Fluid Mechanics, 1980, 99(1):111-127.

项目知识地图构建

——以规划环境影响评价领域为例

■ 刘艳菊 李廷锋 朱洪利 [环评]

摘要： 知识地图能够起到良好的知识导航和隐形知识显性化的作用，是进行知识获取、共享、应用和创新的有效方法。自2017年，公司围绕项目管理、专业技术领域等开展了知识管理，截至2017年底，已完成64项专业知识地图。本文基于公司知识管理的要求，以规划环境影响评价领域为例，浅谈项目知识地图的构建。

关键词： 知识地图；规划环境影响评价

工程咨询服务涉及面广，需要具备很多领域的知识：有相关的国家政策、法律法规、技术、市场等方面内容，也有工程技术、设计规范等方面的知识。这就要求工程咨询从业人员的知识储备量大，知识结构全面，知识内容丰富，但企业对知识的储备、调取、检索和使用也影响着知识的使用效率。知识地图的使用，可以帮助企业在使用知识资源时更容易达到全面性、及时性以及准确性等要求。通常情况下，每一个项目都有自己的特点，企业很难将以前的“经验”直接复制到后面的项目中去，但是可以对其中的重要知识点进行提炼，形成关键节点，为后面的知识索引提供方向，提高工程咨询工作效率。

本文以规划环境影响评价领域为例，基于知识地图的理论，对规划环境影响评价领域的关键知识和方法进行总结、归纳和整合，建立规划环境影响评价领域知识库，使得专业的知识使用更加有序化、信息化，提升规划环评领域知识信息的交流和分享。

1 知识地图构建思路

本次知识地图的构建基于规划环境影响评价

工作的主要内容开展。

第一步，知识地图拆分，结合规划环评工作的流程、主要工作内容等对知识进行拆分、细化，确定知识地图子库构成；

第二步，知识总结，对各子库内容总结、填充，并确定关键子库重点内容。

2 知识地图拆分

横向拆分：根据规划环评重点工作内容，确定规划环评领域5个知识库，包括政策法规库、案例库、数据库、工具库以及方法库。

纵向拆分：依据各子库特点进一步细化拆分，将5个知识库进一步细化为22个子库。

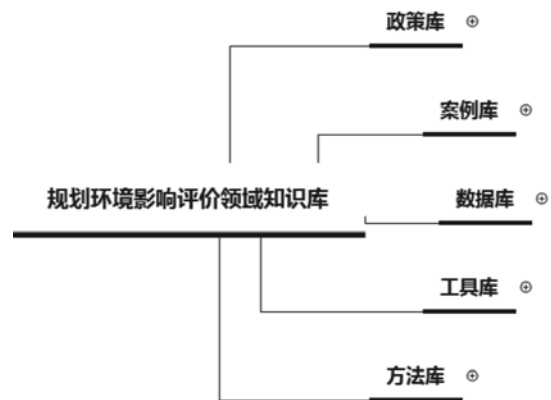


图1 规划环评领域知识库横向拆分

作者简介：刘艳菊，女，高级工程师，2010年毕业于北京师范大学人口资源与环境经济专业，现就职于航空工业规划环境保护咨询中心。

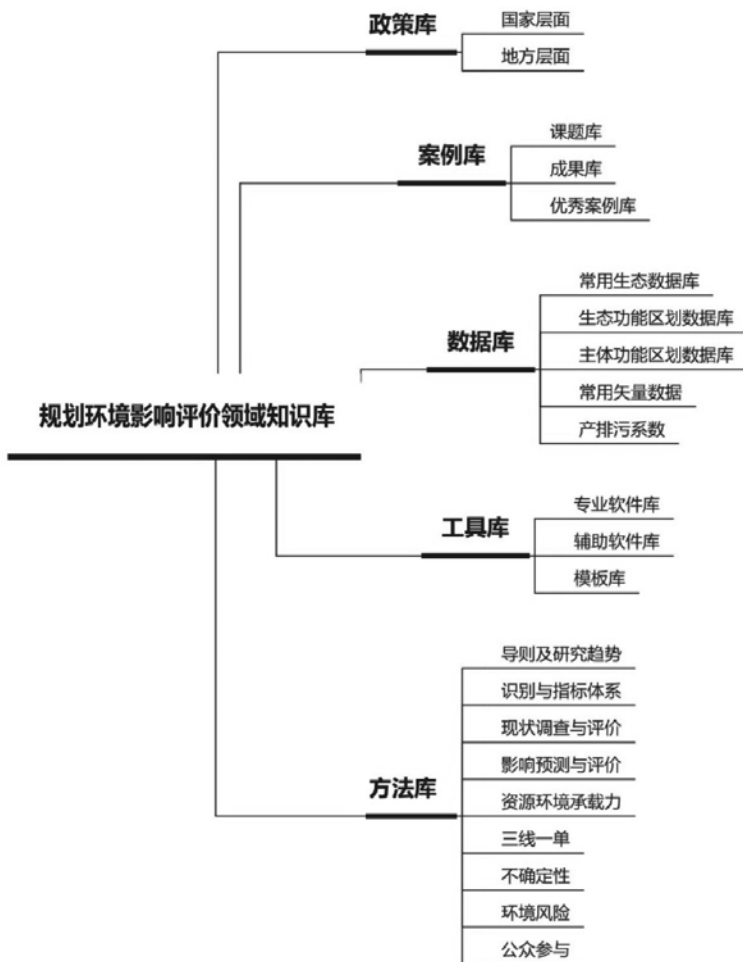


图2 规划环境影响评价领域知识库纵向拆分

3 知识地图主要内容

依据上述拆分结果，建立22个子库。

3.1 政策法规库

环境领域政策法规包含我国及地方省市颁布的法律、行政法规、规章制度、科技标准等规范性文件，大部分政策法规同时适用于项目环评和规划环评。在本知识库中仅对国家和地方颁布的针对规划环评的政策法规进行梳理。

政策法规库下含两个子库：国家层面和地方面面。

(1) 国家层面

主要内容：梳理自2004年~2018年生态环境部颁发的规划环评方面的政策法规。

存储格式：.doc、.docx、.pdf。

(2) 地方面面

主要内容：梳理自2004年~2018年各省/直辖市颁发的规划环评方面的政策法规。按省/直辖市分别建立文件夹，按名称拼音排序。未发布相关政策法规的省/直辖市存储以备后续补充。

存储格式：.doc、.docx、.pdf。

3.2 案例库

案例库包括3个字库，分别是课题库、成果库和优秀案例库。

(1) 课题库

主要内容：整理公司自2011年~2018年开展的与规划环评相关的课题并汇总。

存储格式：.doc、.docx。

(2) 案例库

主要内容：自2011~2018年开展的规划环评项目，并将规划文本、图集、审查意见汇总。

存储格式：.doc、.docx、.pdf、.jpg。

(3) 优秀案例库

主要内容：选取完成质量较高，采用的方法具有一定的创新性、实用性和可操作性的案例，主要来源于原国家环境保护部环境影响评价司组织编写的《战略环境影响评价案例讲评》（第1辑~第5辑）。这些案例包含了国家发展战略及综合规划、流域综合规划、区域开发、能源规划、交通规划、旅游规划、城市建设规划、产业园区等不同类型。

存储格式：.pdf，图书，其中案例辑第1、3~5辑为图书，第2辑进行扫描存储为电子版。

3.3 数据库

结合规划环评工作内容的需求，汇总并整理规划环评常用数据，包括常用生态数据库、生态功能区划数据库、主体功能区划数据库、常用矢量数据库、产排污系数库。

(1) 常用生态数据库

主要内容：常用生态数据包括地貌、地质灾害、公路、干燥度、社会经济、生态功能区、生态区、生态亚区、数字高程、铁路、土地利用、土壤、土壤侵蚀等；并按照省/直辖市分类，按拼音排序。

存储格式：.shp、.img。

(2) 生态功能区划数据库

主要内容：全国2015年版生态功能区划，各省/直辖市生态功能区划，按省/直辖市拼音排序。



图3 常用生态数据目录示意

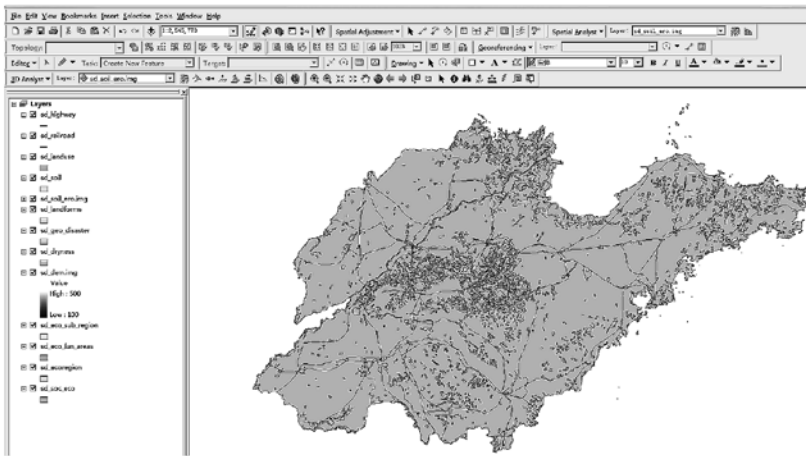


图4 山东省生态数据示意

存储格式：.pdf、.jpg。

(3) 主体功能区划数据库

主要内容：全国主体功能区划数据，各省/直辖市主体功能区划数据，按拼音排序。

存储格式：.doc、.docx、.pdf、.txt、.ceb。

(4) 常用矢量数据库

主要内容：国界、省界、县界。

存储格式：.shp。

(5) 产排污系数数据库

主要内容：第一次全国污染源普查数据，工业污染源产排污系数和城镇生活源产排污系数。

存储格式：.pdf、.ppt、.doc。

3.4 工具库

(1) 专业软件库及辅助软件库

主要内容：专业软件包括 ArcGIS、ENVI5.1、Fragstats4.2、GlobalMapper；辅助软件包括Google Earth和Photoshop。

存储格式：.exe安装文件及相关文件。

(2) 模板库

主要内容：报告格式模板、调研流程模板、调研资料清单模板、监测方案模板、方案讨论记录表模板。

存储格式：.dotm、.docx。

3.5 方法库

方法库从两个方面对规划环评常用方法进行总结、分析和提炼。一是对环境保护部环境影响评价组织编写的《战略环境影响评价案例讲评》（第1辑~第5辑）技术方法进行总结；二是对规划环评技术方法的相关文献进行总结。

(1) 优秀案例方法总结

主要内容：从筛选和识别、现状调查、预测与评价、资源环境承载力及公众参与5个方面整理和统计研究案例中应用的技术方法。

除上述统计外，结合优秀案例分析目前我国规划环评技术的应用情况；同时结合案例完

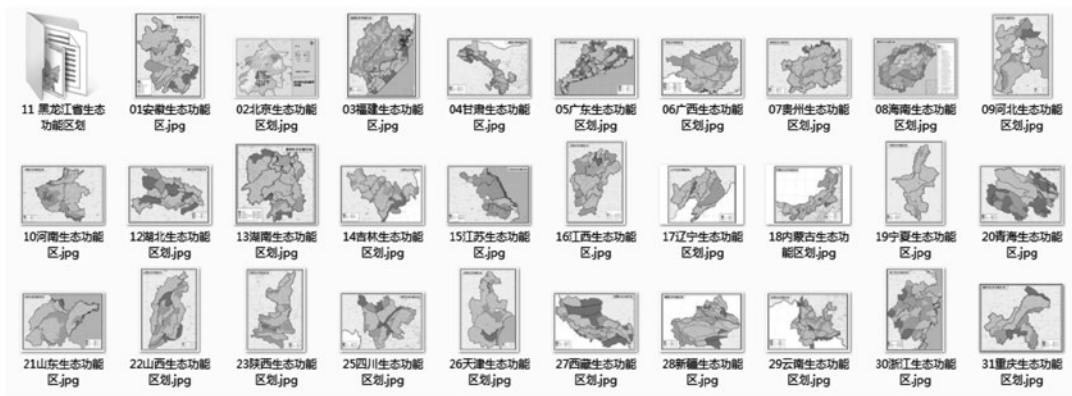


图5 各省/直辖市生态功能区划数据

序号	案例名称	筛选和识别	现状调查与评价	预测与评价	资源环境承载力	公众参与
1	内蒙古自治区国民经济和社会发展第十一个五年规划纲要战略环境影响评价	专家判别、清单法	资料收集	情景分析、GIS分析	压力分析法、供需平衡分析	咨询会、问卷调查
2	江苏省沿长江地区火电规划建设项目区域环境影响评价	清单法	资料收集	数学模型、类比分析	数学模型	论证会
3	四川省大渡河干流水电规划调整环境影响评价	专家判别、矩阵法	实地勘测、资料收集、专家判别	类比分析、数学模型、GIS叠图、情景分析	情景分析	专家咨询、问卷调查、座谈会
4	江苏省高速公路网规划环境影响评价	清单法	资料收集	数学模型、类比分析、GIS叠图		群体访谈、个体访谈、专家咨询
5	上海市城市快速轨道交通近期建设规划环境影响评价	列表法	资料收集	情景分析、类似分析、多目标评价分析	数学模型、供需平衡分析	专家论证会、媒体公示
6	营口港总体规划环境影响评价	矩阵法	资料收集	趋势分析、数学模型、情景分析		专家咨询、问卷调查
7	营口市城市总体规划环境影响评价	清单法	资料收集	对比分析、数学模型	数学模型	问卷调查
8	邢台市城市总体规划(2003-2020)环境影响评价	矩阵法	资料收集、类比分析	投入产出法、类比分析、数学模型	数学模型	专家咨询
9	内蒙古自治区锡林郭勒盟胜利矿区总体规划环境影响评价	矩阵法、清单法	资料收集	数学模型、GIS分析	数学模型	问卷调查、专家咨询
10	大连城市发展规划(2003-2020)环境影响评价	矩阵法	资料收集、GIS分析	产业经济耦合模型、数学模型、GIS分析	数学模型、土地人口承载力、能源利用效率、生态足迹法	
11	平顶山化工新城总体规划环境影响评价	矩阵法、清单法	资料收集、GIS分析	数学模型、情景分析	数学模型	专家咨询、媒体公示、部门座谈
12	宁东能源化工基地规划纲要环境影响评价	清单法	资料收集、现场监测	情景分析、对比分析、数学模型	供需平衡分析、数学模型、资源利用效率分析	
13	广州市城市高压电网规划环境影响评价	矩阵法	资料收集	数学模型、情景分析	生态系统承载力	专家咨询、部门问卷

图6 方法库示意图

成情况的分析,总结、归纳和分析目前规划环评案例中应用比较成熟的和应用不足的技术方法,形成规划环评常用方法分析文件。

(2) 文献方法总结

主要内容:选取CNKI数据库中近10年与规划环评技术方法相关的文献,并从导则及方向研究、三线一单、现状评价、环境影响识别与评价指标体系、影响预测、承载力、公众参与、不确定性分析、风险评价等9个方面进行分类总结。同时形成文献目录,对文献主要内容进行提炼。

文献选取标准:文献来源为核心期刊或硕博学位论文数据库,同时作者单位应为国内规划环评领域技术或经验领先的单位。

存储格式:.pdf、.caj、.nh。

4 小结

本文根据规划环评工作的流程、主要工作内容等对知识进行拆分,确定了规划环评领域知识地图子库,包括政策法规库、案例库、数据库、工具库以及方法库;选取技术方法作为关键知识点进行总结分析。基于上述工作,本次规划环境影响评价领域知识地图共包含5个专业知识子库、5个标准作业文件、58个优秀案例、119篇专业文献以及475条常用专业数据,基本涵盖了规划环评领域的全部内容。其他领域知识地图的建立可参

考本方法。

参考文献

- [1] 丁小芳.基于大数据技术的参考咨询服务知识库构建研究[J].图书馆学刊,2018,40(06):58-61.
- [2] 柯立秋.基于知识地图的学习资源融合系统设计与实现[D].华中师范大学,2018.
- [3] 杨光.基于知识地图的微课程设计研究[D].沈阳师范大学,2016.
- [4] 伯鑫,田军,葛春风等.战略环评中大气环境影响评价技术体系研究[J].环境工程,2016,34(11):127-130+135.
- [5] 高吉喜,吕世海,姜昀.战略环境影响评价方法探讨与应用实践[J].环境影响评价,2016,38(02):48-52.
- [6] 郑雯,詹存卫,林齐.规划环评中资源环境承载力评价存在问题与对策[J].环境影响评价,2015,37(05):1-4.
- [7] 冯小娟.规划环评中环境承载力的量化分析与研究[D].西安建筑科技大学,2015.
- [8] 杜静.城市发展规划环境影响评价综合技术与案例研究[D].大连理工大学,2013.
- [9] 熊学锋.规划环境影响评价技术方法分析[J].能源与环境,2013(04):79-80+82.

航空建设项目的安全设施设计探讨

■ 郭庆伟 吴秋京 [环评]

摘要: 随着航空业的不断发展,为满足航空产业发展的需求,航空建设项目随之增多。国家法规要求新、改、扩等建设项目必须进行安全设施设计,力争建设项目达到本质安全,保障员工的生命安全和企业单位财产安全。安全设施设计以建设项目的危险、有害因素辨识分析为基础,对生产中存在的危险、有害因素进行有针对性的安全设施设计,使安全设施符合当前的经济、技术条件,符合国家标准规范,满足建设单位的安全生产要求。

关键词: 安全设施设计; 建设项目; 安全

1 安全设施设计概述

安全设施设计是建设项目在初步设计阶段委托有相应资质的单位按照《建设项目安全设施“三同时”监督管理办法》(国家安全生产监督管理总局令[2010]第36号,依据国家安监总局令[2015]第77号修改)开展项目所必需的安全设施和安全预评价报告提出的安全对策措施实施的具体设计落实活动。

航空建设项目一般具有保密的特点,因此拥有保密资质是开展航空建设项目安全设施设计的基本条件,在选择安全设施设计单位时,应根据建设项目的密级和建设单位的保密要求选择与所设计建设项目密级相符合的设计单位。为便于沟通协调设计,建设项目的安全设施设计一般由初步设计的设计单位进行编制。

航空建设项目的内容一般包括新建、改建或扩建构筑物、新增或改造工艺设备等,有些建设项目还包含或涉及危险化学品或火工品等。因此,在选择设计单位时,应根据建设项目的特点及所包含或涉及的内容选择具有相应资质的设计单位。

安全设施设计编写完成后,由建设单位组织行业内专家对安全设施设计进行评审,评审后设计单位根据专家组意见进行修改,修改完成后经专家组组长签字核实后,建设单位根据国防科工局相关要求存档备查。

2 设计资料

设计资料一般包括建设单位安全基础资料和建设项目技术文件资料。

1) 安全基础资料主要包括:建设单位主要负责人和安全管理人員的安全培训证书;建设单位安全管理组织机构图;建设单位安全管理人員配置情况;建设单位安全管理规章制度;建设单位应急救援预案等相关安全基础资料。

2) 技术文件资料主要包括:相关部门立项批复文件;可行性研究报告;建设单位委托相关评价单位编制的《安全预评价报告》;建设项目总平面布置图;水电暖通相关专业描述与说明;工艺设备布置图;建设项目地理位置图;相关设备的技术协议;生产工艺中的工艺过程描述与说明;生产工艺中的安全系统描述与说明;生产系统中主要设施、设备和工艺数据表等。

3 安全设施设计内容

安全设施设计专篇编制的主要目的为在项目安全预评价的基础上进一步落实建设项目生产过程中所需要采用的安全对策及措施,并提出初步设计方案,为下一步项目安全设施的施工设计打下基础,其主要内容包括:

1) 设计依据。科工局关于建设项目的批复文件;有关国家和地方法律、法规、规章、制度、规范性文件以及主要技术标准、规范;建设项目安全预评价报告及其备案文件;其他设计依据或参考资料,如

作者简介:郭庆伟,男,助理工程师,2015年毕业于昆明理工大学安全技术工程专业,现就职于航空工业规划环境保护咨询中心。

建设项目地质勘探报告、初步设计的工艺设备、水、电、暖通、结构、建筑、总图等相关专业资料。

2) 建设项目概述。主要包括建设单位和设计单位基本情况简介(特别是设计资质情况),工程性质(如新建、改扩建、技术改造等)及设计内容(新建构筑物面积、新增或改造工艺设备台数等内容);项目基本概况包括项目地理位置及选址,厂区总平面布置及功能分区;项目产品方案和设计规模,主要技术方案、生产工艺布置和工艺流程,主要生产装置(设备、设施)及特种设备。配套和辅助工程的能力及来源;主要原辅材料的来源、贮存及使用消耗情况;建设项目新增特种设备;厂内外运输方式,工程概算,主要技术经济指标,组织机构与劳动定员等。改扩建项目应对现有生产规模、工艺、总平面布置、运输等情况作简要概述,说明与改扩建内容相关的生产系统和相同设备、设施目前的安全生产状况。建设项目周边环境状况包括自然环境条件(地理位置、地形地貌和气候气象条件)和社会环境条件(分析建设项目所在地周边环境是否对本项目产生影响)。

3) 建设项目危险、有害因素及危险有害程度分析。危险、有害因素主要指客观存在的危险、有害物质或能量超过一定限值的设备、设施和场所等。所有的危险、有害因素尽管其表现形式不同,但从本质上讲之所以能造成危险、有害的后果,都可归结为存在危险有害物质、能量和危险有害物质、能量失去控制两方面因素的综合作用,并导致危险有害物质的泄露、散发和能量的意外释放。因此存在危险有害物质、能量和危险有害物质、能量失去控制是危险、有害因素转换为事故的根本原因,所以对建设项目的危险有害因素进行充分辨识、分析是做好安全设施设计的关键。

(1) 主要物料有害因素分析:根据《危险化学品目录》(2015版)辨识,分析危险化学品目录中所涉及到的危险物料,如航空制造业常用的工艺有表面处理、电镀、喷漆等工艺过程中使用的原辅材料包括危险化学品,由于各危险化学品的理化性质不同,具有的危害性也不同,重点关注具有易燃、易爆、毒害性、腐蚀性物料的原辅材料。这些危险化学品的使用给项目本身带来了一定的危险,通过分析其潜在的危险、有害因素,以便在后续的安全设施设计采取相应的安全防范措施。

(2) 周边环境危险、有害因素分析;分析建设项目所在地自然环境危险有害因素,比如有地

震、雷击、暴雨、洪涝、高温、大风、暴雪等,通过对自然灾害进行辨识,以便在建筑构筑物设计时采取相应的安全设计措施;分析建设项目周边环境危险有害因素。

(3) 生产工艺危险、有害因素分析;辨识工艺、技术和设备生产过程中可能存在的危险、有害因素:①机械危险。由于机械设备及其附属设施的构件、零件、工具、工件等的机械能作用,导致操作人员受到机械设备的运动部件及工件等夹击、碰撞、剪切、卷入、绞、碾、割、刺等伤害。②火灾。火灾主要有电气设备火灾、易燃可燃物质的火灾。③爆炸。爆炸主要有易燃易爆可燃气体、可燃液体蒸气或可燃粉尘与空气混合并达到一定浓度时,遇火源就会燃烧或爆炸。比如建设项目涉及到航空煤油、氢气、乙炔、甲烷、酒精、汽油、粉尘等易形成爆炸环境的物质。④化学灼伤。由于化学物质直接接触皮肤所造成的损伤。⑤电气伤害。电气伤害包括触电、雷电伤害。⑥车辆伤害。建设项目生产过程中在物料运输、装卸时需要使用各种车辆,存在发生车辆的风险。⑦高处坠落。坠落是指在高处作业时坠落造成人员身体伤害的危险,实验平台、高处设备、高空管架作业及供电线路检修都有可能发生高处坠落伤害事故。⑧灼烫伤害。⑨起重伤害。⑩物体打击等。

(4) 设施的先进性和可靠性分析;对新增工艺设备的先进性和可靠性进行说明,符合“四新”要求。

(5) 重大危险源分析及检测监控;根据《危险化学品重大危险源辨识》(GB18218-2018)中建设项目涉及的危险化学品分别按生产单元和存储单元分别辨识,若生产单元和存储单元内存在危险化学品的数量等于或超过规定的临界量,既被定为重大危险源。

4) 安全预评价报告中安全对策措施建议的采纳情况

对于预评价单位提出的安全对策应予以说明,采纳的说明是如何采纳,如何落实的。未采纳说明理由和依据。

5) 安全设施设计中采取的防范措施

(1) 危险物料防范措施;易燃易爆、有毒有害、腐蚀性等危险物料在输送、贮存、使用等环节应有泄漏防护、监测预警、安全警戒和标识要求等防范措施。对有爆炸危险的甲、乙类厂房、仓库应设置泄压设施,满足《建筑设计防火规范》(GB50016-2014)中泄压面积要求,电

气设备满足《爆炸危险电力环境装置设计规范》(GB50058-2014)的要求,其通风设施、浓度报警装置、防静电等措施满足相关规范要求。

(2) 周边环境危险因素防范措施

针对前期辨识的自然环境对建设项目影响,建设项目的厂区和新建构筑物应根据自然环境要求,采取相应的抗震、防雷、防爆雨等措施。

(3) 总平面布置和建筑设计安全防范措施

根据工艺、建筑等各专业的的设计条件,结合基地要求,建设项目总平面布置应考虑地形、朝向、风向、防火、卫生及周围环境等要求并本着节约用地的原则设计。

建设设计安全时考虑结构安全、防火(如防火分区、防火间距、安全疏散、建筑构件及内部装修、救援窗口)、建筑防爆、建筑防雷接地等问题。

(4) 工艺、设备安全防范措施

新增工艺设备参照《机械工程项目职业安全卫生设计规范》(GB 51155-2016)的有关要求布置,满足相应的安全距离要求。

针对上述生产工艺危险、有害因素分析中辨识出的安全危险有害因素,采取相应的防范措施。

在选用生产设备时除考虑满足工艺功能外,应对设备本质安全性能给予足够的重视;保证设备在按规定使用时不会发生任何危险,不外排超过标准规定的有害物质,尽量选用自动化程度高、本质安全程度高的生产设备。选用的压力管道、压力容器、电梯、锅炉、起重运输机械等特种设备,必须由有资质的企业进行设计、制造、检验和安装,并应符合国家标准规范和有关安全法律法规的要求。

(5) 电气安全防范措施

应从供配电安全、防雷和接地、应急照明和疏散指示灯等方面采取相应的防范措施。厂区内易燃易爆场所的电气设备及相关仪表设备选择应根据不同放入防爆等级确定。

应关注电源及供电系统可靠性,特别是一类负荷供电、备用电源等安全措施;主要供电设备及其他电气设备的选择、配置等;电气设备的接地、防漏电、防过流、防雷、防静电、防过压保护安全措施;厂内易燃、易爆区域电气设备及仪表的选择、配置等措施;不同场合电线、电缆选择说明;电气设备防火、事故应急照明及疏散指示标识等措施。

(6) 消防安全防范措施

建筑物防火安全设计主要包括建筑物的总体防火规划设计、建筑物的耐火等级设计、建筑物内的

防火分区设计、人员安全疏散设计、消防给水和消防栓设计等。

(7) 职业危害因素控制措施

安全设施设计中,对职业病的控制措施,只是简单描述,详细见该建设项目职业病防护设施设计专篇。

(8) 其他安全防范措施

工业管道按照《工业管道基本识别色、识别符合和安全标识》(GB7231-2003)等有关要求涂覆基本识别色、设置识别符号或安全标识,并标注管道内介质的流向。

为了提醒人们注意安全,预防发生伤害事故,凡可能危及人身安全的,按照《安全标志及其使用导则》(GB2894-2008)及《安全色》(GB2893-2008)的有关规定。

6) 事故预防及应急救援措施

(1) 根据建设单位提供的基础资料说明建设单位现有应急救援组织或应急救援人员的设置或配备情况。

(2) 厂区现有应急救援组织情况或者依托情况以及救援器材的配备情况。

7) 安全管理措施

(1) 根据《中华人民共和国安全生产法》和建设项目所在地安全生产条例等相关法律法规的有关规定对建设项目投入生产或者使用后设置安全管理机构及其职责的建议。

(2) 根据《中华人民共和国安全生产法》的有关规定对建设项目投入生产或者使用后配备安全管理人员的条件和数量的建议。

8) 安全设施专项投资概算

说明建设项目总投资概算及安全设施投资概算和分类投资概算。

9) 结论和建议

结论及预期效果,存在的问题与建议。

4 结语

安全设施设计涉及工艺设备、水、电、暖通、结构、建筑、总图等多个专业,除各个专业在设计时相互协作、密切配合外,安全设施设计编制人员更要不断学习,严格按照国家和行业规范标准进行设计,相信安全设施设计的质量可以得到保证,为后续建设项目的设计和安全验收提供有利指导和依据,从而保障航空建设项目的安全运行。

板式楼梯抗震设计及注意事项

■ 邹剑强 李慧成 [结构]

摘要: 在施工图审查中,在板式楼梯滑动支座设计中发现了许多问题,有的甚至严重影响了楼梯安全。本文回顾了滑动楼梯的来历,介绍了国家抗震规范、3个典型地方规定、5本楼梯标准图的要求,分析并指出它们的优点及缺陷,提出楼梯设计不但要注意楼梯对主体结构的影响,也要保障楼梯自身的安全,应根据不同主体结构形式和部位,可分别采用整体浇筑、传统平台脱开、滑动楼梯等方式,相应的梯板构造也不同,并对梯柱、梯梁截面与楼梯挑板挑长等要求提出建议。

关键词: 板式楼梯;抗震设计;滑动支座;滑动楼梯

1 引言

在写此文章之前,作者申明两点:第一,写此文并不代表反对楼梯整体浇筑,也不代表反对采用滑动支座,而是在许多项目审查中,作者发现目前采用滑动楼梯设计的工程基本都存在一些问题,有些做法严重影响结构安全,例如4跑楼梯每段均设计采用滑动支座、挑板长度达到1m以上;有些做法又过于保守,例如梯柱截面达到250mm×500mm、有的休息平台设置5根梯柱,因此想写篇文章,介绍一下滑动楼梯的来历、国家规范及地方规定的要求,对这些问题总结一下,提一些参考建议,尽量使其设计得好一点;第二,并不是所有的楼梯支座一滑就灵,不要只强调“滑动”而不顾楼梯本身安全。文中观点不一定很对,只能供参考。作为“生命通道”的楼梯非常重要,还有许多深层的问题有待研究,希望大家继续深入研究、客观探讨。

2 整浇楼梯、滑动楼梯来历以及抗震规范要求

以前的楼梯设计,梯板在楼层处一直都是与主体结构整浇的,在休息平台处有3种做法:①设3个梯柱,梯梁与主体框架柱直接连成整体,这种做法在首层比较多;②休息平台长度不大于1500mm时设置2个梯柱做悬挑板;③大于1500mm时设4个梯柱做成小框架,这两种做法梯柱及休息平台板均与主体结构设20mm宽缝隙脱开,以尽量减小对主体影响。可以说,①为真正的整体浇筑,②③为传统的平台脱开。

在2008年汶川地震中,不少楼梯损坏,被困者下不来、救援者上不去,这一问题引起了社会各界的广泛关注,如何减小楼梯对主体结构的影响、如何保证楼梯间及梯板自身的安全,成为结构设计关注的焦点^[1]。于是后来就有了滑动楼梯的提法^[2]。《建筑抗震设计规范》GB50011-2010(2016年版)对楼梯间新增了第6.1.15条,“楼梯间应符合下列要求:①宜采用现浇钢筋混凝土楼梯。②对于框架结构,楼梯间的布置不应导致结构平面特别不规

作者简介:邹剑强,男,研究员,1989年毕业于重庆建筑工程学院工民建专业,现就职于航空工业规划技术发展中心。

则；楼梯构件与主体结构整浇时，应计入楼梯构件对地震作用及其效应的影响，应进行楼梯构件的抗震承载力验算；宜采取构造措施，减少楼梯构件对主体结构刚度的影响。③楼梯间两侧填充墙与柱之间应加强拉结。”

其条文解释为：“发生强烈地震时，楼梯间是重要的紧急逃生竖向通道，楼梯间(包括楼梯板)的破坏会延误人员撤离及救援工作，从而造成严重伤亡。本次修订增加了楼梯间的抗震设计要求。对于框架结构，楼梯构件与主体结构整浇时，梯板起到斜支撑的作用，对结构刚度、承载力、规则性的影响比较大，应参与抗震计算；当采取措施，如梯板滑动支承于平台板，楼梯构件对结构刚度等的影响较小，是否参与整体抗震计算差别不大。对于楼梯间设置刚度足够大的抗震墙的结构，楼梯构件对结构刚度的影响较小，也可不参与整体抗震计算。”

对于以上要求，应注意以下几点：

1) 楼梯很重要，设计上应该采取有效的加强措施；

2) 楼梯间周边设置抗震墙时，楼梯间刚度很大，梯板斜支撑作用对建筑主体影响相对较小，原整浇楼梯没有问题，可以不参与整体抗震计算，本文认为有外墙的地下室整体刚度也很大，地下室楼梯采用整浇应该也没有问题；

3) 框架结构中楼梯可采用整浇楼梯，但应采用计入楼梯构件模型进行补充计算。注意原不带楼梯模型的基本计算是必须的，带楼梯模型只是补充计算，配筋取包络，否则层间位移比、扭转位移比等可能无法衡量。采用整浇楼梯时，梯板应按斜撑加强，目前国标16G101-2的做法是设置上钢筋，并在梯板两侧设置暗梁；

4) 主张采取构造措施减少楼梯构件对主体结构刚度的影响，如梯板采用滑动支座，这样楼梯可以不参与整体计算；

5) 目前所有的标准图中，关于滑动支座做法都只有板式楼梯，梁式楼梯没有滑动支座。

3 3个典型的地方规定

下文收集了上海市、新疆维吾尔自治区及内蒙古自治区对于楼梯抗震设计的地方要求，现摘录如下，并从作者自身的工程设计经验及理解进行一点解读，供大家参考。值得注意的是，上海

市对规定宣贯时曾明确指出：“指导意见应该是上海地区钢筋混凝土楼梯间抗震设计的最低标准，设计单位可采用更符合规范要求的、更符合实际情况的手段进行工程设计”。

3.1 上海市于2012年6月提出“钢筋混凝土结构楼梯间抗震设计的指导意见”^[3]

规定比较有代表性，要求如下：

1) 楼梯间的布置应当有利于人员疏散，尽量减少其造成的结构平面特别不规则。楼梯间与主体结构之间应当有足够可靠传递水平地震剪力的构件，四角宜设竖向抗侧力构件。

【作者注：基本做法常常是楼梯间增设1~2个框架柱，尤其是地震设防烈度高、建筑要求楼梯间降梁时应增加竖向抗侧力构件。增设短墙的做法，将形成少墙框架，设计上比较麻烦，我们没有用过。】

2) 对钢筋混凝土结构体系，宜在其楼梯间周边设置抗震墙，其中沿梯板方向的墙肢总长不宜小于楼梯间相应边长的50%，角部墙肢截面宜采用“L”形。

【作者注：主体结构应按框-剪结构或少墙框架进行设计，实际设计中比较难以做到。】

3) 设置抗震墙可能导致结构平面特别不规则的框架结构，楼梯间也可根据国家相关技术规范要求，将梯板设计为滑动支撑于平台梁(板)上，减小楼梯构件对结构刚度的影响。

【作者注：此条为一般审图最认可的抗震措施。】

4) 对符合上述第2或第3条规定的钢筋混凝土结构，其整体内力分析的计算模型可不考虑楼梯构件的影响。

【作者注：楼梯间周边结构刚度增大、或者采用滑动减小楼梯影响后，计算都可以不考虑楼梯构件的影响。】

5) 对不符合上述第2或第3条规定的钢筋混凝土结构，其整体内力分析的计算模型应考虑楼梯构件的影响，并宜与不计楼梯构件影响的计算模型进行比较，按最不利内力进行配筋。

【作者注：应当注意，考虑楼梯影响模型实际上只是对以前传统设计的一种补充，不计楼梯构件影响的计算模型是基本的、必须的，而且考虑楼梯影响模型只是用来计算内力与配筋，对整体指标控制分析时不要求、也不反对考虑楼梯构件的影响，否则扭转位移比、层间抗剪承载力比值等抗震指标很可能不能满足规范要求。】

6) 楼梯间的框架梁、柱(包括楼梯梁、柱)的抗震等级应比其他部位同类构件提高一级(楼梯构件参与整体内力分析时，地震内力可不调整)，并宜适当加大截面尺寸和配筋率。

【作者注：相同抗震等级已经很难，再提高一级就更难设计，实际上强调的主要是箍筋加密，而柱最小边长、

锚固构造等要求都不能满足。】

7) 楼梯构件宜符合下列要求:

(1) 梯柱截面不宜小于 $250\text{mm} \times 250\text{mm}$ 或 $200\text{mm} \times 300\text{mm}$; 柱截面纵向钢筋: 抗震等级一、二级时不宜少于4 Φ 16, 三、四级时不宜少于4 Φ 14; 箍筋应全高加密, 间距不大于100mm, 箍筋直径不小于10mm;

(2) 梯梁高度不宜小于1/10梁跨度; 纵筋配置方式宜按双向受弯和受扭构件考虑, 沿截面周边布置的间距不宜大于200mm; 箍筋应全长加密。

【作者注: 不管梯梁多高, 都要布置抗扭腰筋, 实际设计中有很多遗漏。】

(3) 梯板厚度不宜小于1/25计算板跨, 配筋宜双层双向, 每层钢筋不宜小于10@150, 并具有足够的抗震锚固长度。

【作者注: 以前设计为不小于L/30, 需略微加厚; L/25基本相当于受压柱边长的最小要求; 横向分布钢筋似乎没必要这么大, Φ 8@200较为常用; “足够的抗震锚固长度”有疑议, 一般不考虑抗震的延性需要的锚固采用La; 18G901-2/P34@大样Lab应不对, P33@大样LabE更不对。】

8) 当楼梯间采用砌体填充墙时, 除应符合《建筑抗震设计规范》(GB50011—2010)第13.3.4条要求外, 尚应设置间距不大于层高且不大于4m的钢筋混凝土构造柱。

9) 钢筋混凝土结构楼梯间抗震设计除应符合上述要求外, 尚应符合国家和本市现行有关规范、规程、标准的规定。

3.2 新疆维吾尔自治区2016年7月提出“实施国家2010(建筑结构)系列规范细则”^[4]规定第7.1.8条对于楼梯间结构设计计算及构造, 提出以下地方要求, 更加具体和便于操作:

1) 楼梯间设计应符合现行国家规范《建筑抗震设计规范》GB50011有关规定的各项要求。

2) 楼梯间周边宜优先考虑设置剪力墙, 对框架结构楼梯间周边宜设置落地框架柱, 以形成框架来保证楼梯的安全性。

【作者注: 整体布局要求, 明确要求楼梯间周边设置框架柱来提高抗震, 这也是易于实现的。】

3) 框架结构的楼梯当与主体结构整浇时, 应计入楼梯构件对地震作用及其效应影响, 应进行楼梯构件的抗震承载力验算, 主体结构设计时宜按考虑和不考虑楼梯影响分别计算, 并按包络值设计。

【作者注: 明确整浇楼梯是可以的, 但计算要求按包络值设计。】

4) 为避免和减小楼梯对主体结构的影响, 可采取隔离措施将楼梯及休息平台板与主体结构脱开, 方法如下:

【作者注: 滑动楼梯和平台脱开任意一种构造做法都是认可的; 如果用词“及”改为“或”意思会更加明确; 注意用词“可”。】

(1) 采取楼梯梯段下端设置滑动支座方式;

【作者注: 梯段仅下端可以滑动, 上端必须固接或铰接, 不能滑动; 更不将能将梯段设计成上下端都滑动。】

(2) 采取楼梯梁出挑休息平台方式与主体结构脱开, 并宜沿梯板、平台板周边设置暗梁, 提高楼梯抵抗水平地震作用的能力。

【作者注: 对传统的2个梯柱挑出平台与主体结构脱开的做法是认可的, 但须对梯板和平台板加强。其实, 当平台较宽时采用4个梯柱脱开也可, 前后梯柱之间不要设梯梁, 以减小刚度, 也便于墙体砌筑。此做法已得到新疆维吾尔自治区审图部门的确认。】

5) 楼梯柱及与框架柱、墙、梯柱相连的梯梁应符合抗震构造要求, 其抗震等级不宜低于主体结构, 应确保梯柱的截面面积不小于 0.08m^2 , 梯柱截面最小边长不应小于200mm, 并相应增加另一方向的梯柱截面宽度; 楼梯平台梁尚应考虑水平分力的作用; 梯柱与上部主体结构梁铰接时, 连接方式宜同构造柱与上层梁连接方式。

【作者注: 提出了梯柱的面积要求比上海要求大, 但再放大也没有必要了。楼梯柱、梯梁抗震构造要求的抗震等级比上海要求低, 其实很多要求也还是做不到。注意梯柱顶端与上层梁连接不是按框架柱要求连接的。】

3.3 内蒙古自治区审图员曾提出这样的要求

依据《建筑设计防火规范》GB 50016—2014第3.2.1条, 对于一级等级耐火极限要求不应低于3小时, 对应的梯柱截面不应小于 $300\text{mm} \times 300\text{mm}$ 、或者 $200\text{mm} \times 500\text{mm}$ 。

不仅是地震, 在火灾来临时楼梯间也是安全疏散通道, 因此梯柱满足防火要求也是应该的。不过对于藏在墙内的梯柱来说, 防火性能应该好得多, 本文作者认为要求梯柱耐火极限不低于3小时过于严格, 《建筑设计防火规范GB 50016—2014》(2018年版)第5.1.2条要求耐火等级为一、二级时, 楼梯间和前室的墙耐火不应低于2h, 疏散楼梯分别不应低于1.5小时和1小时; 第3.2.10条“一、二级耐火等级单层厂房的柱, 其耐火极限分别不应低于2.5小时和2小时”, 梯柱不是多层框架柱, 参考单层厂房柱足够, 没有必要取3小时, 这样 $200\text{mm} \times 300\text{mm}$ 为耐火极限为2.5小时, 满足一级要求; $240\text{mm} \times 240\text{mm}$ 为耐火极限为2小

时,也满足二级要求。

本文不主张将梯柱设计过大,否则会宽出墙面,太长对整体结构抗震也不利,截面大小要适当。

这也是在提醒我们,梯柱的长边不要小于300mm、短边不要小于200mm,如截面不小于200mm×300mm、250mm×300mm,这样防火性能才会比较好,能达到不小于2.5小时的防火要求,尤其对于门厅处等主要疏散通道,如果梯柱没有包在墙内,消防问题应该引起设计者重视,边长均不应小于300mm。

4 5本楼梯标准图

目前对于板式楼梯采用滑动支座做法,设计中引用最多的标准图是《混凝土结构施工图平面整体表示方法制图规则和构造详图》16G101-2(现浇混凝土板式楼梯)。《混凝土结构施工图钢筋排布规则与构造详图》18G901-2(现浇混凝土板式楼梯)是对原16G101-2的深化。值得注意的是:

1) 对于Ata、Atb、Atc型号梯板,要求梯

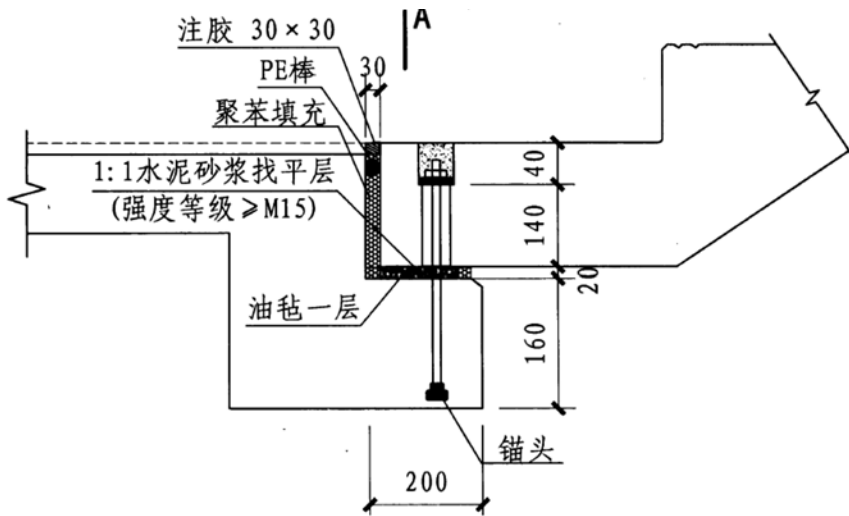


图1 固定滑动端安装大样

板及暗梁钢筋锚入梯梁长度不小于 $0.6L_{aE}$,见16G101-2/P42~46,则:对于 $D=12\text{mm}$ 钢筋, $0.6 \times 40 \times 12 \times 0.9 + 20 = 279\text{mm}$,梁宽至少250mm才行; $D=14\text{mm}$ 钢筋,梁宽 $\geq 304\text{mm}$; $D=16\text{mm}$ 钢筋,梁宽 $\geq 347\text{mm}$ 。另外,16G101-2/P42~44要求Ata、Atb在梯板两侧要附加2 Φ 16纵筋,梯梁宽最小350mm,设计中很少采用如此宽的梯梁。如果按非抗震锚固 $0.6L_a$ 计算,则直径12mm、14mm、16mm钢筋锚固梁宽分别为247mm、

267mm、305mm,梁宽250mm、300mm基本可以满足。

2) 注意到AT~FT非抗震型梯板纵筋在分布钢筋外侧,受力最好;而Ata~Atc抗震加强型则纵筋在箍筋内侧,受力欠合理,梯板宜适当加厚。

《现浇混凝土板式楼梯》15G307中滑动构造做法更加实用,而且有配筋值可以参考。

需要注意的是,该2本标准图均只针对2跑的AT、CT型楼梯。对于其他带折板的梯板、3跑以上梯板的楼梯是否适应,标准图没有说明。即使设计者想要参照采用滑动支座,也须采取一些针对性的加强措施才行,不能简单的照搬照抄,否则楼梯自身会很不安全。

有使用者反映,上述2本标准图中滑动支座端部,在使用中出现上翘、建筑面层开裂现象,影响美观。于是有单位又编写《橡胶支座钢筋混凝土板式楼梯》17CG34,提出了采用橡胶支座的办法,据说可以克服这些个问题。

《预制钢筋混凝土板式楼梯》15G367-1也采用了滑动楼梯,值得参考一下。这种预制楼梯有以下两个特点:

1) 见第8、27页,梯板与梯

梁上端固定铰端、下端滑动铰端均有2M14螺栓拉接,大震时可以防止梯板脱落或者跳起来。

2) 见第10页,梯板上、下端均增加了套箍及构造钢筋,这样可靠多了,而16G101-2第44页只是将梯板纵筋伸过来。

另外,对于第27页②滑动铰端大样,见图1,满足滑动要求作者持怀疑态度:

1) 端部只有30mm缝隙,填聚苯注胶后还能滑动多少?

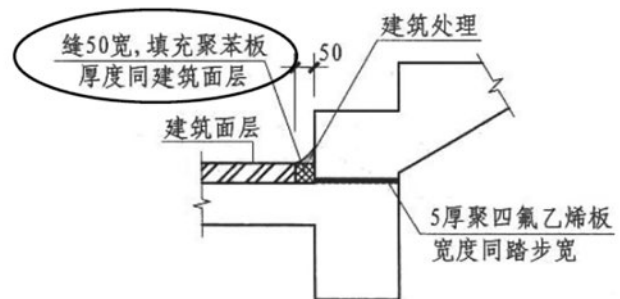


图2 国标16G101-2 滑动端做法采用聚苯

2) 从留孔D50计算, 构造上最多只能滑动 $(50-14)/2=18\text{mm}$; 如果在框架结构中按层高3m计算, 地震下滑动长度 $3000/50=60\text{mm}$, 相差甚远。

3) 图中支承长度 $=200-30-20=150\text{mm}$; 再考虑安装误差20mm, 实际支承长度只有130mm; 如果地震下再滑动60mm, 支承长度只有70mm, 因此, 如果将这种楼梯直接用在框架结构中应该是有疑问的。

还有一个需要注意的问题是防火要求。几本标准图中伸缩缝均采用了“聚苯”填充, 聚苯是一种易燃材料, 燃烧时会产生大量的CO和CO₂, 具有很大的刺激性, 会引起人身中毒。根据《建建筑设计防火规范》GB 50016-2014 (2018年版)第3.2.1级及5.1.2条要求, 在疏散楼梯须采用不燃性材料, 聚苯、油毡、橡胶垫、塑料膜等是严禁使用的, 因此应将“聚苯板”改为岩棉板或者玻璃纤维板。

5 9个应关注其他问题

5.1 什么条件下可以滑动, 什么条件下不要滑动

从规范及地方规定来看, 框架结构内楼梯可以滑动; 剪力墙结构及楼梯间周边设置剪力墙的, 梯板没有必要滑动, 直接整浇最好。

作者认为以下条件也不需要滑动: 1) 设有外

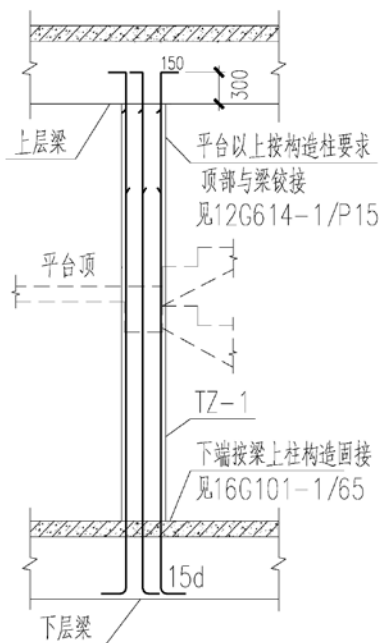


图3 梯柱伸至梁底示意图

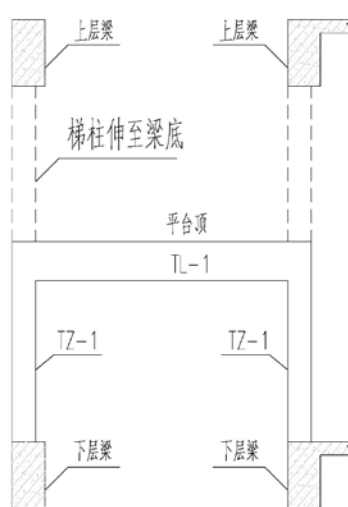


图4 平台侧剖面图

墙的地下室; 2) 与地面或者嵌固层相连的梯板。

以下条件不能滑动: 1) 梁式楼梯; 2) 平面呈“口”型的3折楼梯; 3) 层高大于5m以上的3跑楼体不能每个梯板都滑动, 否则会有危险。

5.2 梯柱设几个合适

图纸审查中发现, 设1~5个梯柱都可。

作者认为: 1) 层高受限、楼梯不长时, 可以1个梯柱; 2) 平台宽度不大于1.5m时采用传统平台设防脱开, 2个梯柱悬挑1.2m休息平台很好; 1.8m时还可以将梯梁外移300mm处理, 仍然只设2个休息平台; 3) 平台长度大于1.8m时, 可以设4个梯柱, 这时顺踏步方向不要设梯梁: 休息平台一般都不宽, 100~120mm单跨板足够; 如果设此梯梁, 刚度增大, 反而不好, 楼梯间隔墙也不好砌; 4) 无论怎样, 设5个梯柱比较多。

5.3 梯柱与框架柱之间留缝宽度应该多少

一般为20mm即可; 有的取50mm, 缝太宽, 建筑难以处理。

建筑物的防震缝宽度, 基本上是按《建筑抗震设计规范》GB50011-2010附录M的表M.1.1-2中设防地震下层间位移角限值控制的。例如15m高的框架结构, 防震缝宽 $2 \times 15000 / (550/2) = 109\text{mm}$, 取100mm; 高度每增加3m时, 缝宽增加 $2 \times 3000 / (550/2) = 21.8\text{mm}$, 取20mm。这样推断, 2.5m高的休息平台, 缝宽 $2 \times 2500 / (550/2) \times 2 = 18\text{mm}$, 可取20mm。文献2也支持这一观点。

5.4 梯柱应该伸到多高

无论何种楼梯, 支承梯板的2个梯柱, 考虑楼梯侧向稳定需要及隔墙构造柱布置要求, 建议伸至梁底。休息平台高度大于2m、以及3跑以上楼梯, 也建议梯柱伸至梁底。只有休息平台高度不大于2m时, 平台外侧的梯柱可伸至平台顶。建议梯柱下端与支承梁固接, 做法按梁上柱见16G101-1/P65; 休息平台以上梯柱纵筋不应断开, 休息平台以上梯柱的箍筋设置、与框架梁的连接均可按构造柱设计, 见图3。

由图4可见, 休息平台支承在框架梁上, 其侧向刚度是很差的, 以前设计楼梯整体浇筑时由于有梯板的固定, 问题不大; 现在改为平台脱开或者支座滑动后, 侧向问题就会非常突出; 如果将梯柱伸至梁底固定后就会好得多。设计者应该高度重视。

5.5 梯柱纵筋该配多少

从图纸审查来看, 梯柱以前采用过4 Φ 14, 6 Φ 16和6 Φ 20也比较常见。采用整浇楼梯或者平台脱开时, 休息平台有梯板支撑着, 梯柱主要承受轴力, 基本上是构造配筋就可以, 不需要计算。但如果梯板采用滑动支座后, 休息平台就失去了梯板的支撑, 梯柱侧向抗震问题就比较大, 不再是构造配筋了。目前, 规范及标准图都没有提供该梯柱配筋的计算方法与构造要求。

作者参照抗震规范(公式13.2.3), 按纯弯构件大致估算了一个梯柱配筋。假设按楼层高4m, 楼梯宽3.2m, 半个梯板长1.5m, 休息平台高2m、宽1.5m, 采用2个250mm \times 350mm梯柱悬挑休息平台, 按8 $^\circ$ 抗震设防。

$$\text{楼梯恒载: } G_1 = (0.25 \times 25 + 1) \times 3.0 \times 1.5 + (0.2 \times 25 + 1) \times 3.2 \times 1.5 = 61.5 \text{ kN}$$

$$\text{隔墙恒载: } G_2 = 2 \times (0.25 \times 8 + 1) \times 4 \times 3.4 (H) = 81.6 \text{ kN}$$

$$\text{楼梯活载: } Q = 3.5 \times 3.0 \times 3.2 = 33.6 \text{ kN}$$

重力荷载代表值:

$$G = 61.5 + 81.6 + 33.6 \times 0.5 = 160 \text{ kN}$$

方法1: 梯柱伸到平台顶, 按2m高悬臂柱计算, 水平地震力: $F = \gamma \cdot \eta \cdot \zeta_1 \cdot \zeta_2 \cdot \alpha \max \cdot G = 1.1 \times 1.0 \times 2 \times 2 \times 0.16 \times 160 = 112.6 \text{ kN}$

$$\text{弯矩设计值: } M = 112.6 \times 1.3 \times 2 (H) = 292.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{梯柱截面有效高度 } h_0 = 250 - (20 + 10 + 25 + 8) = 187 \text{ mm}$$

$$\text{梯柱钢筋计算面积: } A_{s1} = 292.8 \times 1000000 / (2 \times 0.85 \times 187 \times 360) = 2558 \text{ mm}^2$$

该计算值太大, 无法配筋。由此可见, 如果梯柱只伸到休息平台顶, 则应采取其他侧向保证措施, 否则可能存在问题。

如图5, 梯柱支承在梁上, 由于梯柱纵钢筋要弯折才能锚固, 截面有效高度 h_0 只有187mm, 加大纵向配筋也作用不大。

方法2: 梯柱伸到梁底, 按3.4m高简支梁计算。

$$\text{水平地震力: } F = \gamma \cdot \eta \cdot \zeta_1 \cdot \zeta_2 \cdot \alpha \max \cdot G = 1.1 \times 1.0 \times 1 \times 2 \times 0.16 \times 160 = 2.2 \times 0.16 \times 16$$

$$0 = 56.3 \text{ kN}$$

弯矩设计值:

$$M = 56.3 \times 1.3 \times 1.4 \times 2.0 / 3.4 = 60.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{梯柱截面有效高度 } h_0 = 250 - (20 + 10 + 8) = 212 \text{ mm}$$

$$\text{梯柱钢筋计算面积: } A_{s2} = 60.3 \times 1000000 / (2 \times 0.85 \times 212 \times 360) = 465 \text{ mm}^2$$

实配3 Φ 16, $A_s = 602 \text{ mm}^2$, 满足要求。如果再考虑梯柱底部是嵌固在梁上的, 抗震能力会更强一些。

由此可见, 常规4m层高建筑设250 \times 350梯柱, 如果将梯柱伸至梁底、配筋6 Φ 16抵抗完全可以抵抗8 $^\circ$ 地震。

考虑到该水平地震力 F 是按顶层计算的, 有2.2倍的放大系数, 以及1.3分项系数和柱底嵌固作用, 基本可以达到中震不屈服或者中震弹性的水平, 因此再放大没有必要。

5.6 板上悬挑长度、梯板支承长度及挑耳宽度

板上悬挑时, 挑长不宜大于600mm(不应大于800mm), 否则梯梁受扭太大, 有危险。

图6中, 当踏步宽260mm时滑动段支承长度不够, 应补充不小于“最小支承长度+层高 \times 塑性层间位移角”。按5m层高框架估算, 则滑动长度=5000/50=100mm, 最小支承长度取200mm, 则宜不小200+100=300mm。

图7, 在梯梁中部上设置挑耳时, 挑耳宽度不宜小于一个踏步宽度+50, 也不宜小于350mm, 即50mm间隙+200mm支承长度+100mm滑动长度。

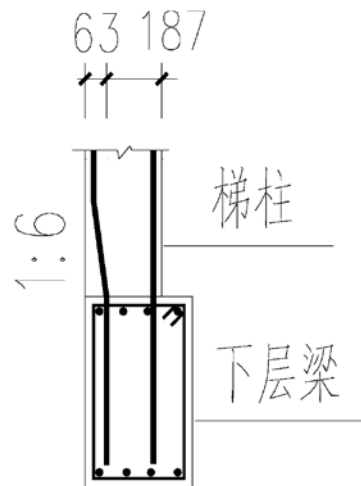


图5 梯柱纵筋下端锚固

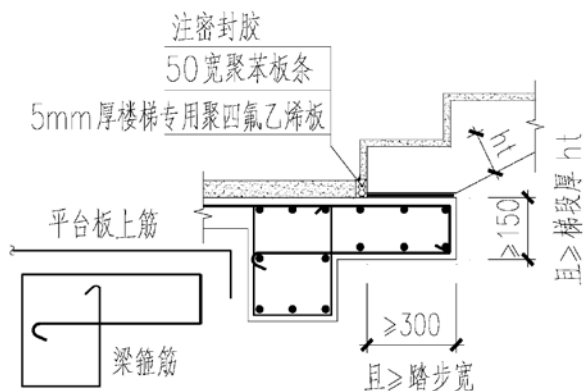


图6 挑板上支承长度

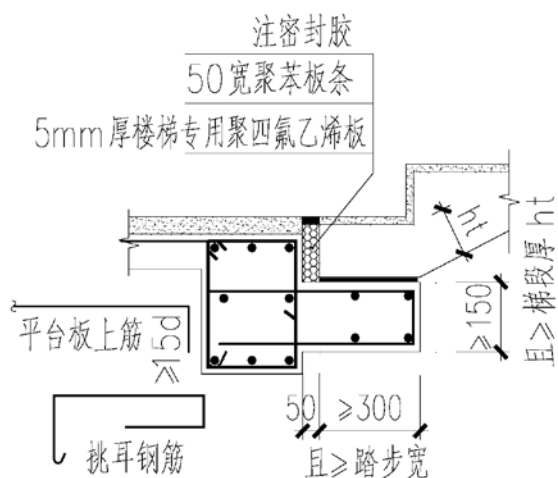


图7 梯梁上挑耳宽度

5.7 梯梁宽度多少合适

梯梁宽度应满足受扭计算，还应满足梯板和挑板钢筋锚固长度。一般来说，板上悬挑时不宜小于250mm，梁上悬挑时不宜小于300mm。有的设计取梯梁宽200mm，梯板钢筋锚固不够。不过，休息平台外侧梯梁宽可以小一点，200mm没有问题。

5.8 梯板应该做多厚

以前梯板两端与梯梁刚接，设计时弯矩按 $ql^2/10$ 计算，梯板厚度一般按不小于 $L/30$ 确定，采用滑动支座时弯矩和挠度会增大，而且纵筋配置在分布钢筋内侧，因此一般要求不小于 $L/25$ ；其实这已经很厚了，没有必要再加大。

5.9 楼梯间墙钢丝网抹灰

楼梯间隔墙采用25mm厚M5水泥砂浆面层加强，内配钢丝网 $\phi 4@200 \times 200$ 、拉筋 $\phi 6@600 \times 600$ 。

有的设计者要求钢丝网 $\phi 6$ ，直径太粗不便于施工。另外，一般设计没有提出钢丝网在楼层处的构造要求，如果施工时断开了的话大震下还是有危险的，建议按《砖混结构加固与修复》15G611/P49“墙筋穿楼板做法”施工。

6 滑动楼梯设计说明

有的设计者楼梯说明写法过于简单，有的又不太准确。现提供一个比较详细的滑动楼梯设计说明，仅供参考：

1)梯柱、梯梁除注明外，靠柱边者与柱边齐平，靠轴线者轴线居中；

楼梯采用平面方法表示，其制图规则及构造详图见16G101-2；

梯段采用上段固接、下端滑动；

滑动层采用5mm厚楼梯专用聚四氟乙烯板；

滑动端前50宽聚苯板改为岩棉板或者玻璃纤维板；

2)楼梯采用C30混凝土浇筑，钢筋保护层厚度：板15mm，梯梁梯柱20mm；

3)楼梯分布钢筋：板厚 <150 时， $\Phi 8@200$ ；板厚 ≥ 150 时， $\Phi 10@200$ ，且每踏步下至少一根，未注明休息平台板厚度 $h=120$ mm，配置双向双层 $\Phi 10@200 \times 200$ 钢筋网；

4)楼梯间采取以下抗震加强措施：

a)休息平台处梯柱、梯梁抗震构造采用的参考抗震等级同主体框架；

梯柱下端与支承梁固接，做法按梁上柱见16G101-1/P65；

梯柱TZ-1上端伸至上部主体结构梁底铰接时，连接方式同构造柱；

b)梯板钢筋锚入长度不小于 L_aE ；

c)梯段构造详图见16G101-2，梯段上部钢筋改为贯通，且侧边设置暗梁，参照P44中ATb剖面1-1；

d)楼梯间隔墙构造柱间距不大于层高且不大于4m；

e)楼梯间隔墙沿墙高设置间距不大于500mm的2 ϕ D6拉筋与框架柱拉结，拉筋应沿墙全长贯通；

6)楼梯间隔墙采用25mm厚M5水泥砂浆面层加强，内配钢丝网 $\phi 4@200 \times 200$ 、拉筋 $\phi 6@600 \times 600$ ；

f) 平台板, 梯柱与框架柱间留缝20mm并采用弹性材料填充;

7) 预留栏杆埋件的位置和做法见建筑图, 栏杆制作时顶部活载标准值不应小于: 水平活载取1.0kN/m, 竖向活载取1.2kN/m, 且水平活载与竖向活载分别考虑;

8) 楼梯间活荷载为3.5kN/m²;

9) 所有梯板翻边定位见建筑图;

10) 楼梯采用条基时, 基础应位于老土层顶面下200mm; 如遇回填土应采用级配砂石换填, 并分层夯实, 压实系数不小于0.96。

7 结论与建议

对于楼梯抗震安全, 我国编制了不少地方规定和标准图, 起到了很好的促进作用, 但也应看到仍有不少缺陷, 尤其是对滑动支座的不当理解, 使设计中产生了一些安全隐患, 应引起设计者注意。总结提出以下建议:

1) 楼梯设计不但要注意楼梯对主体结构的影响, 也要保证楼梯自身的安全, 应根据不同主体结构形式和部位, 分别采用整体浇筑、传统平台脱开、滑动楼梯等方式, 相应的梯板构造也不同。

2) 建议“滑动楼梯”与“平台脱开”两种方法不要同时采用; 3跑以上梯段不能每跑均采用滑动支座。

3) 支承梯板的梯柱、休息平台高度大于2m以及3跑以上楼梯, 建议梯柱伸至上层梁底并可靠拉接。

4) 一般梯柱200mm×350~400mm或250mm×300~350mm是适中的, 不要太大或者太小。

5) 支承梯板的梯梁宽度一般250~300mm是适中的, 200mm梯板纵筋锚固不够, 350mm又显得太宽。

6) 建议滑动楼梯挑板挑长尽量短一点为好, 不宜大于600mm; 梁上挑耳时长度350mm比较适中。

7) 疏散楼梯间须采用不燃性材料, 避免使用聚苯、油毡、橡胶垫、塑料膜等可燃材料。

参考文献

[1] 潘抒冰, 金来建. 框架结构设计中楼梯间的抗震构造措施建议, 第十五届全国混凝土及预应力混凝土学术交流会论文集, 2010, P183-185.

[2] 吴小宾, 雷云, 冯远等. 《现浇混凝土板式楼梯》(15G307) 滑动支座楼梯编制介绍[J]. 建筑结构, 2017年10月上, P108-113.

[3] 上海市楼梯间抗震设计的指导意见, 沪建建管[2012] 16号.

[4] 新疆维吾尔自治区实施国家2010(建筑结构)系列规范细则: XJJ012-2016[S]. 新疆: 新疆维吾尔自治区建设标准服务中心, 2016.

某大型生活垃圾焚烧发电厂 动力专业施工问题分析

■ 徐鸿飞 姜鹏 [动力]

摘要: 某大型生活垃圾焚烧发电厂处理规模为4500t/d, 属特大型生活垃圾焚烧发电厂。项目地处山地, 施工场地极其有限, 建设施工难度较大。结合项目建设过程, 本文分析了动力专业施工过程中发现的部分问题, 包括设备布置、管道布置、专业交叉问题等内容, 并提出了解决方案及应对措施。

关键词: 垃圾焚烧; 建设工程; 管道布置; 解决方案

0 绪论

本生活垃圾焚烧电厂处理规模为4500t/d, 建设过程中挖填方总量600万 m^3 , 最大填方高度60m, 首创高边坡上修建垃圾电厂、空冷系统架空汽机房之上、烟囱设观景平台、空冷+蒸发冷凝汽系统。本项目建设场地复杂, 施工空间狭小, 是国内同类项目中规模最大、难度较高的项目。

根据工程建设过程中发现的问题, 总结动力专业及与其他专业交叉问题, 主要包括优化设备布置, 调整管道路由, 根据现场限制增补临时措施, 根据试运行情况优化工艺系统。

1 项目概述

1.1 项目简介

本生活垃圾焚烧电厂一期日处理能力4500t/d, 配置6台750t/d垃圾焚烧炉及配套烟气净化处理线, 4台25MW凝汽式汽轮发电机组及配套直接空冷凝汽系统。余热锅炉出口额定蒸汽压力为4MPa, 额定蒸汽温度400 $^{\circ}C$ 。项目建成后, 预计年上网发电量约4.45亿 $kW \cdot h$ 。

1.2 建设场地及总平面图布置

本项目建设地点位于山地, 建设场地自然地形西高东低, 西面为较高山体, 北面、东面、南



(a) 效果图



(b) 东侧全貌

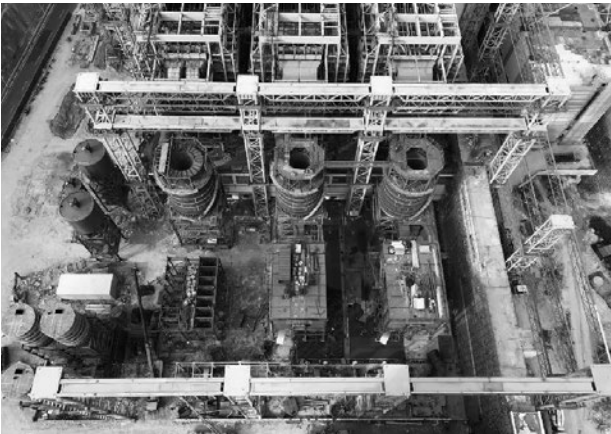
面为较低沟谷, 地势起伏大。

垃圾焚烧电厂用地红线面积76728 m^2 , 折合约115.2亩。整个厂区功能分区分为主要生产区、辅助生产区两部分。根据建设用地主导风向及项目用地狭长的特点, 将主要生产区布置在厂区的中南部, 辅助生产区布置在厂区的北部。主要生

作者简介: 徐鸿飞, 男, 助理工程师, 2017年毕业于华北电力大学热能工程专业, 现就职于航空工业规划市政工程设计研究院。



(c) 北侧全貌



(d) 南侧全貌

图1 现场图片

产区的生产厂房采用联合、合并的布置形式，包括焚烧厂房、汽机厂房、主控厂房，其中焚烧厂房、汽机厂房对称布置，两个焚烧厂房中的卸料大厅集中布置。展示中心位于主控厂房的3层更靠近厂区办公参观流线，将主体建筑中体量变化丰富的一面展示在厂区东面，有助于形成良好的立面效果。辅助生产区自西向东布置有油泵房、110kV升压站、综合水泵房。办公、参观区域位于厂区的东南部，垃圾车、运渣车区域位于厂区的西侧。人流出入口设置在厂区东南角，货流出入口设置在厂区西南角，有利于功能分区，实现了洁污分流、人货分流、交通便利。

1.3 建设周期

2015年9月，园区开始场平工作，2016年6月，电厂开始桩基础施工，2017年陆续完成主体结构施工，2018年陆续完成设备及管道安装。截至2019年3月，已完成6台锅炉及4台汽机本体安装工作，完成2台锅炉烘煮炉、1台汽机冲转任务。全厂系统完成约80%，包括垃圾接收储存供

料系统、垃圾焚烧炉及余热炉系统、汽轮发电机组及辅助系统、锅炉点火及辅助燃烧系统、灰渣处理系统、烟气净化系统、电气厂用电系统、继电保护及安全自动装置、热工控制系统及设备、空压机系统、除盐水系统、汽水取样及加药系统等。

1.4 项目特点

1) 国内首例将电厂建于高填方边坡上的项目，填方边坡高度达60m，汽机及主控厂房采用架空结构；

2) 国内首次在垃圾焚烧厂应用汽轮机凝汽系统直接空冷+蒸发冷凝的工艺；

3) 国内首创将空冷系统架空在汽机厂房之上，节省占地面积10%以上；

4) 国内首个在烟囱92.5m层设置环保监测平台，平台可鸟瞰园区全貌；

5) 烟气净化系统采用“SNCR+半干法+干法+活性炭喷射+袋式除尘器”工艺，烟气排放指标高于国家标准和欧盟标准。

1.5 施工难度

1) 垃圾处理规模为国内同期在建项目中最大：日焚烧处理生活垃圾4500t/d，系统复杂，设备繁多；

2) 高填方边坡，汽机房及主控房立于高达60m的边坡之上，建筑土方量巨大，受地形影响，无任何道路可以抵达。施工器械、材料运输极其不便，施工作业场地十分有限；

3) 汽机房位于山体坡面上，采用箱型基础形式，同时起到边坡支护及汽机基础的作用。地势陡峭、高差较大，桩基数量多、结构尺寸大，施工难度大、周期长；

4) 空冷岛设置于汽机房之上，每台空冷岛重约1000t，由于周边无法安放吊车，只能采用土建施工单位的塔吊，在夜间空闲时吊装。

表1 主要建设时间节点

序号	时间	完成内容
1	2015年8月	初步设计文件通过住房和城乡建设委员会组织的专家审查会审查并取得正式批复
2	2016年3月	项目完成场地交接，土建施工单位进场
3	2017年12月	除7b烟囱外其他主体结构封顶，并完成1号锅炉钢架吊装、水压试验、筑炉工作
4	2018年12月	完成6台锅炉钢架安装筑炉工作以及1、2号汽轮机安装工作，并实现1号焚烧炉2号汽轮机试运行
5	2019年6月	计划完成全厂的安装及调试工作

2 问题总结

2.1 动力专业

1) 全厂公用系统

全厂管道布置时, 应由工艺专业对各专业管道(包括生产系统管道、辅助系统管道、给排水管道、电缆桥架、采暖通风管道等)布置位置全盘考虑, 统一规划。对各专业管道复杂密集区域, 建议绘制剖面图, 表示各专业管线, 例如消防通道、汽机房4.5m层等区域。专业之间在出图前应做好专业间的管道布置沟通以及图纸会签。

全厂各专业设备编号应采用统一标准, 本项目按照“从北到南, 从东到西”编号原则。工艺设备的标号要清晰, 电气和热控专业的电缆接线及逻辑编号是基于工艺设备编号, 正确的顺序和编号对于施工及运行人员极其重要。不同图册间应清晰标明“来自”“接至”, 避免施工单位接错供回水管道、接错水泵出入口管道等现象。

主蒸汽南北厂母管及连通管长度较大, 最低点也需要设置疏水。抽汽管道电动门前应加装疏水管道, 抽汽管道较长时, 电动门后的管道低点也应加装疏水, 尤其是一段抽汽和二段抽汽管道。

由于项目工期紧张, 在较短时间内要实现“一炉一机”试运行状态, 并且化学水处理设施无法及时投运, 导致动力管道的水压试验水源短缺。根据《电力建设施工技术规范第5部分: 管道及系统》DL 5190.5-2012, 主蒸汽管道、高压给水管道可以使用无损检测替代水压试验。主蒸汽、高压给水管道安装完毕后对接焊缝采用100%RT检测合格, 角焊缝采用100%MT检测合格, 且管道上阀门、流量计单独水压试验结果合格后, 主蒸汽、高压给水管道不做水压试验。

北厂1、2、3号锅炉及1、2号汽轮机系统安装速度快于南厂4、5、6号锅炉及3、4号汽轮机系统。为完成试烧垃圾的政治任务, 北厂优先投入运行, 因此需要对全厂公用系统增加隔离措施, 保证南北厂不同阶段安装与运行需求, 当某1台炉、1台机因事故停运时, 能保证其他机组正常运行。增加隔离阀门的系统包括除盐水系统、循环冷却水系统、压缩空气系统、燃油系统、抽真空系统、渗沥液系统。

压缩空气储气罐间排油污管道原设计接至压缩空气间专用废水桶, 考虑到管道要穿越楼梯间, 且安装单位没有预埋套管, 现场额外增加压缩空气储气罐间专用废水桶。

蒸汽空气预热器高压段加热汽源接自锅筒, 低压段加热汽源来自一段抽汽, 两段的疏水都接至同1台蒸汽空预器疏水扩容器, 为避免高压段疏水排挤低压段疏水, 现场将低压段疏水接至除氧器。此项改造效果需要经过后期运行来分辨优劣。

由于设备实际到货与提资不符以及现场运行需要, 以下平台爬梯需要优化: 锅炉7.1m连通平台爬梯, 7.1m疏水排污操作平台, 点火燃烧器平台, 水平烟道卸灰阀操作平台, 省煤器顶层平台, 锅炉本体平台与12.5m连通爬梯, 除渣机检修平台, 引风机基础增加平台、爬梯。电动阀门尽量避免高空布置, 阀门不便操作的位置需要增加平台, 例如一段抽汽及二段抽汽电动阀门。

排污降温池主要用于锅炉定排、连排水的降温, 设计进水温度100°C, 出水温度低于40°C。原设计冷却水采用冷却塔排污水, 由于冷却塔系统安装速度缓慢, 冷却水变更为化学水处理系统浓水管。

2) 锅炉系统

由于焚烧间及烟气净化间厂房钢结构、屋面网架施工进度缓慢, 1号炉烘煮炉阶段, 锅筒安全阀排汽、集汽集箱安全阀排汽及锅炉点火排汽支架无法生根在网架上, 只能使用生根于锅炉钢架临时支架。待屋面网架安装完成后, 正式投运阶段改为生根于网架上的支架。

设计文件中一般应要求“设备基础施工前, 应将设计图纸与到货设备核对, 符合一致后方可施工”。但由于土建施工单位施工时间较早, 同时部分设备正式提资较晚, 原设备基础是典型设计, 实际到货尺寸有偏差, 需要增补基础。这些设备包括取样设备、加药设备、炉墙冷却风机、卸油泵、循环水加药设备、除臭设备等。

水封刮板输送机、除渣机、脱酸塔、除臭设备的中水补水管应设置一次阀门。

渗沥液成分复杂, 为避免长期运行腐蚀不锈钢管道, 渗沥液输送管道改为HDPE管。同时在推料器渗沥液收集口下增加清扫口, 以便堵塞后清理。渗沥液收集的渗沥液螺杆泵入口增加注水措施, 防止螺杆泵启动时空转现象。

燃油储罐布置在室外区域, 南方地区夏季气温较高, 油罐增加喷淋装置, 水源来自给排水专业的消防水, 以确保油罐运行安全。燃油管道原设计在主厂房西侧埋地敷设, 由于此区域岩石较多、开挖困难, 将燃油管道由厂房外整体埋地敷设改为部分埋地敷设部分架空敷设、厂房内采用架空布置。

焚烧炉灰渣由水封刮板输送机、液压除渣机、振动输送机接至除渣间，因此，0m层炉后区域没有纵向贯穿通道，只在焚烧间0m层炉前设有1条纵向检修通道。但由于0m层炉前布置有蒸汽空预器及其相关管道，焚烧间0m层炉前纵向检修通道宽度较小。应优化布置蒸汽空预器相关管道，保证主要检修通道的宽度。

3) 汽机系统

厂房东侧为主立面、高速路接入口，为保证美观，汽机辅机设备的排汽管道调整至厂房西侧，包括除氧器安全阀排汽管、汽机旁路减温减压器安全阀排汽管、汽封减温减压器安全阀排汽管、低压加热器安全阀排汽管、油箱排烟风机排烟管等。

汽机厂房4.5m层布置主油箱、低压加热器、过冷器、漏汽冷凝器等设备，管道众多，通道狭小，布置管道时应避免无压放水管道阻碍通道，保证至少有1条通道与8.5m层顺畅相通。

发电机冷却水接口、汽轮机润滑油管道接口位于汽轮机房8.5m层之上，导致8.5m层布置相应供回水（油）管道阀组，阻碍通道，影响检修。为保证检修空间，将部分阀组调整至汽机厂房-5.3m层。

汽轮机增加顶轴油泵系统，布置在汽轮机4.5m层平台。汽轮机由静止状态到启动，轴径底部尚未建立油膜，启动顶轴油系统，以减小轴径与轴瓦的摩擦。

凝结水泵入口增加滤网，并优化滤网目数，防止增加入泵阻力而使泵汽蚀。

4) 管道冲突问题

项目建设过程中，管道冲突现象容易发生，尤其是工艺专业管道与给排水专业的管道，电气专业的桥架，暖通专业的风管、供热制冷管道，结构梁柱等冲突问题较多。例如本项目汽机房4.5m层主蒸汽管道与消防水管道冲突，焚烧间13.5m层高压给水管道与热控桥架冲突，空压机间压缩空气管道与暖通风管冲突，汽机房0m层高压给水管道与结构梁冲突。

一方面要加强设计图纸管理，做好专业间沟通及图纸会签。主蒸汽、高压给水、一段抽汽等管道应由工艺专业详细核对各专业交叉区域，避免施工现场调整以上高压高温管道。室外工程应由给排水专业牵头对室外给排水、电缆沟、厂区动力管道进行优化设计，避免交叉碰撞。厂房室内吊顶区域及相应管道应由暖通专业牵头，对吊

顶及通风管道进行优化。

另一方面，施工单位应制定详细的施工计划，优先安装有压或大管径管道，施工过程中发现由于设计考虑不周造成管子碰撞或者有碍操作、检修等情况时，应以小管避大管，有压管避无压管为原则现场调整。同时，小于DN80的管道未出布置图，根据实际情况现场安装布置，应注意管道排列整齐，不阻挡通道，阀门应布置在便于操作、维护的位置。

2.2 动力与建筑、结构专业

本项目汽机采用独立基础，汽机岛与周边结构存在缝隙，应做好防水措施。发电机小室及配电室的缝隙应做好防火封堵措施。同时，汽机房8.5m层洞口设置钢格栅，方便工艺设备及管道的吊装检修。

由于土建施工单位建设焚烧电厂的经验较少，主厂房及汽机厂房遗漏处管道预埋件，导致安装单位安装管道时无法生根支吊架。根据现场



(a) 汽机间8.5m层润滑油管道



(b) 焚烧间7.5m层炉前纵向检修通道



(c) 焚烧间13.5m层高压给水管道操作阀组



(e) 汽机间0m层



(d) 引风机基础增加平台、爬梯



(f) 汽机间4.5m层主蒸汽管道

图2 管道安装图片

实际情况，主蒸汽及高压给水管道支吊架根部采用预埋件形式，其他较大尺寸的管道也应采用预埋件的形式，由施工单位补做。部分低压、低温管道采用打膨胀螺丝的方式，由于施工质量的问题，梁底板底的膨胀螺丝很难满足应力要求，因此生根面选择在柱、梁侧为宜。

外围护结构由具有专业资质的厂家二次设计。由于二次设计厂家对动力及给排水专业图纸缺少了解，部分布置在外墙区域的管道与外围护结构冲突。压缩空气管道与外围护结构的立柱冲突，现场对压缩空气管道进行移位。屋面雨水管道与与外围护结构的龙骨冲突，现场调整雨水管路由。

为防止垃圾储存池异味外逸，垃圾卸料平台出入口设置气幕；同时一次风机从垃圾储存池顶部吸风，二次风增加垃圾池卸料平台区域吸风口，以上措施保持储存池内成微负压状态。停炉检修时，垃圾池内设有活性炭吸附装置，消除臭味对周围环境的影响。垃圾池侧壁风管的封堵十分重要，建筑专业要求垃圾池上部、卸料平台、除臭设备间等房间门、窗框与洞口周边墙体、

柱、梁间的缝隙用发泡聚氨酯填实，两侧用水泥砂浆封堵严密。

由于汽机及主控厂房采用架空结构立与边坡之上，同时空冷系统架空在汽机厂房之上，导致汽机房结构柱与梁尺寸相对于其他同规模项目较大，不利于管道布置。汽机房柱侧埋件应设置足够尺寸，避免较多管道错层布置时，三脚架斜撑无法生根。

管道穿越板、墙时应加预留孔洞，尤其是混凝土墙体需准确预留洞口。避免墙面、楼面已经做好面层再重新开洞。汽水取样、炉水加药房间应为多个小管径管道整体预留墙洞。

为方便管道布置及保证使用功能，标高0m层中压缩空气间、制冷间、送风机间、渗沥液收集沟道排风机间，标高8.5m走廊，标高25m走廊、前室、过厅，原设计顶棚为穿孔铝合金方板吊顶，变更为白色无机涂料顶棚。

2.3 动力与电气、热控专业

蒸汽空气预热器的四周布置有电缆沟，阻碍蒸汽空预器排污管接至排水沟，应预留套管。

工艺管道与电气及热控电缆桥架需保证一定

间距, 电缆桥架与各种管道平行架起时, 其净距应满足下列需求:

常温无腐蚀工艺管道(如压缩空气管道、除盐水管道等)与电缆桥架平行布置时不小于400mm, 具有腐蚀性液体管道与电缆桥架平行布置时不小于500mm。电缆桥架不宜在运送具有腐蚀性液体管道的下方或具有腐蚀性气体管道上方平行装置。当无法防止时, 应不小于500mm, 且其间使用防腐隔板隔离。热力管道与电缆桥架平行布置时热力管道有保温层时不小于500mm, 无保温层时不小于1000mm; 间距较小时应采用隔热办法。

设备的启停按钮应布置在所在房间便于操作的位置, 当设备较多时, 应有明显的逻辑关系以及清晰的位置信息, 避免运行时出现突发情况误操按钮。

电源设计存在两台机组辅机设备接入一台机组的汽机变压器现象, 如果1台汽机变压器跳闸, 将停运“3炉2机”。通过调整, 将部分主要汽机辅机调整至相邻汽机变压器。

动力管道流量计应留有足够的前后直管段距离, 部分流量计按照“前10后5”的要求设计, 实际厂家供货流量计要求“前15后10”。

2.4 其他专业

本项目共配套4台空冷系统, 其中单台机组共配置6个空冷换热单元, 3台FQN(Z)-6000蒸发式凝汽器。空冷系统布置在汽机房顶标高23.8m层, 空冷系统最高点标高为49.27m, 空冷叶片直径7.925m, 厂房周围施工场地受限, 安装施工难度大。与空冷厂家的对接涉及动力、电气、热控、给排水、建筑、结构等专业。应保证设计完整性, 避免增补设备及管道、提高施工难度。

由于土建施工单位进场开工较早, 部分土建单位负责安装的管道, 如给排水管道、通风管道等先施工, 高温高压管道如主蒸汽管道、主给水管管道后安装, 导致部分高压高温管道支吊架与土建专业管道冲突。现场管道安装时应优先安装高温高压等重要管道。

综合楼、升压站、油泵房、水泵房、蓄水池布置在主厂房北侧, 此区域各专业管线众多, 2m埋深范围内包括电缆沟、供暖/制冷管道、给排水管道、消防管道、燃油管道、循环冷却水管道等, 应统一设置综合管沟, 避免管线交叉互相冲突。

针对产生噪声较大的设备应综合考虑降噪措施, 设备选型时应选择低能耗、低噪声的设备。例如需要对空冷岛、冷却塔、空气压缩机、引风

机、应急柴油发电机等设备进行降噪处理。

22.5m焚烧炉卸料斗, 厂家设备并无护板斜坡, 为避免垃圾吊卸料时垃圾大量散落在卸料斗附近, 设备应自带卸料护板。

给排水管道、暖通管道应避免穿越参观区域的楼梯间及走廊, 不可避免时, 应使用增加相应装饰措施。也可以在建筑上分区设计, 增设专门的参观楼梯及检修楼梯。

氨水罐间的排水通过管道接至化学水处理间的收集池, 运行时曾发生误操作管道阀门, 导致氨水罐向化水车间溢流大量具有强烈刺激性气味液体。氨水罐应设置相对独立的排水管沟, 接至独立回收的收集池, 避免发生意外对其他区域产生影响。

3 结论

结合处理规模为4500t/d的垃圾焚烧电厂项目建设过程, 总结工艺安装部分, 包括设备布置、管道布置、专业交叉问题等内容。设备布置时, 应严格按照相关规范进行设计, 对全厂各专业所有设备及管道综合考虑, 统一规划, 减少干涉问题, 保证足够的检修空间。加强厂家资料对接, 细化专业间交叉问题。建议施工单位有序施工, 主次分明。

参考文献

- [1] 王莹, 张丽娟, 顾琳琳, 李天明. 生活垃圾焚烧发电技术关键工艺及设备研究[J]. 科技创新与应用, 2016(03):9.
- [2] 秦渊, 陈昕, 李勇. 垃圾焚烧电厂主厂房布置优化[J]. 能源与环境, 2013(03):50-52+57.
- [3] 屠进, 沈又幸. 垃圾焚烧电厂的主厂房布置及前期规划[J]. 华东电力, 2002(12):24-26.
- [4] 鹿丹. 浅谈火力发电厂管道的稳定设计及施工对策[J]. 中国科技投资, 2013(Z2):97.
- [5] 范如君, 陈坤. 发电厂公用管道支吊架的布置和设计分析[J]. 广东电力, 2011, 24(10):73-75.

海绵城市理念 在重庆某项目设计中的应用

■ 韩博涛 朱淼 杜宇 [给排水]

摘要: 本文为重庆某商业性建筑在设计中结合海绵城市建设的相关规范要求,通过对低影响开发(LID)设施的规划与选择,采用雨水花园、绿色屋顶、透水铺装、雨水调蓄池等设施系统,满足了年径流总量控制率、年污染物削减率的要求,并通过对雨水的收集调蓄实现雨水回用。

关键词: 海绵城市;低影响开发;年径流总量控制;年污染物控制

1 前言

随着经济的快速发展,海绵城市理念的全面贯彻,构建低影响开发雨水系统,在实现海绵城市建设目标同时,将生态理念融入设计,以低影响开发(LID)的策略,通过“渗、滞、蓄、净、用、排”等多种生态化技术指导设计思路成为商业类建筑中不可缺少的部分,海绵城市的理念逐渐会融入设计、项目后期运营维护的全过程之中。

本文以重庆某项目为例,结合重庆市山地城市特征和项目商务总部办公特征,因地制宜地确定海绵城市建设的实施路径、技术路线,及LID设施方案,落实重庆政府建设海绵城市的要求,全面贯彻海绵城市理念,打造“湖光杉影,辉映两江”般宜人的商务总部办公园区和重庆海绵城市示范区的标杆和样本。

作者简介:韩博涛,男,高级工程师,2017年毕业于长安大学市政工程专业,现就职于中航建设建筑设计研究院。

2 项目概况

项目地处城市风貌控制区(周边建筑为法式集群),拟整体打造成为办公为主,商业为辅的产业办公集群,未来拟建成创新产业总部办公聚集地。本项目总用地面积103271m²,总建筑面积283827m²。地上建筑面积197519m²,地下建筑面积86308m²,建筑密度40%,容积率1.80,绿地率30%。

3 规划管控要求

根据《海绵城市建设技术指南—低影响开发雨水系统构建》(试行)和《重庆市海绵城规划与设计导则》(试行)的规定,排水分区内年径流总量控制率的加权平均值(权重为地块占所在排水分区的面积比例)应不小于所在排水分区的年径流总量控制率,地块年径流污染去除率的加权平均值(权重为地块占所在排水分区的面积比例)应不小于所在排水分区的年径流污染去除率。

表1

序号	下垫面种类	雨量径流系数 ϕ	面积 (m ²)	面积权重	综合雨量径流系数 ϕ	年径流控制率
1	普通屋面	0.9	32220	31.2%	0.71	29%
2	普通硬质铺装	0.85	40163	38.9%		
3	绿地	0.15	24599	23.8%		
4	水体	1	6289	6.1%		

(1) 本项目年径流总量控制应达到的规划管控指标为70%。

(2) 本项目年径流污染控制应达到的规划管控指标为50%。

4 传统开发模式下年径流控制率效果评估

由上表可以看出,传统开发模式下地块综合雨量径流系数为0.71,年径流控制率仅为29%,达不到控制目标要求70%,雨水管控效果较差。故本地块需要进行低影响开发雨水系统设计才能够达到《重庆两江新区建设管理局关于开展海绵城市专项设计相关事项的通知》对项目雨水指标的要求。

5 海绵规划总体设计思路

5.1 设计原则

1) 以项目建设特征作为设计基本条件,进行因地制宜的低影响开发设计,选用合适的LID设施,使其与景观、建筑有机的结合。

2) LID工程系统的布局与现状排水管网系统有机协调。

3) 本项目主要实现年径流污染控制、年径流总量控制(生态环境保护)和雨水资源利用等目标。

4) 道路、硬质铺装地面的标高宜高于其周边绿地,并宜优先考虑在其周边绿地中就近设置LID设施。

5.2 LID设施的方案

低影响开发设施往往具有补充地下水、集蓄利用、削减峰值流量及净化雨水等多个功能,可以实现径流总量、径流峰值和径流污染等多个控制目标,项目为(大底盘地下车库上的)商务总部办公区,根据城市总规、专项规划及详细明确的控制目标,结合汇水区特征和设施的主要功能、经济型、适用性、景观效果等综合因素,最终选取雨水花园、绿色屋顶、透水铺装、雨水调蓄池等低影响开发设施系统。

1) 雨水花园

雨水花园在集蓄利用雨水、削减峰值流量、净化雨水均具有良好的效果,且经济费用低,污染物去除率高,景观效果好。一般由表面雨水滞留层、种植土壤覆盖层、植被及种植土层、砂滤层和雨水收集等部分组成;其调蓄雨水的有效深度按250mm计算,适用于绿化面积大的项目。考虑重庆地区地面径流流速快,汇流时间短,一旦发生暴雨,低点极易发生内涝,且本项目占地面积大,在雨水花园种植植物,通过植物截流、土壤过滤滞留处理径流雨水,并可对处理后雨水加以收集利用的措施。通过吸附、渗透和过滤等原理对降落在雨水花园内的雨水进行控制利用,使雨水得到净化,并使之逐渐渗入土壤,涵养地下水。

2) 绿色屋顶

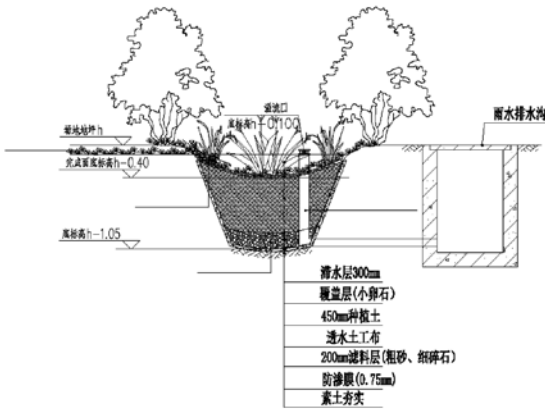
绿色屋顶是一种通过降低城市不透水性面积比例来削减径流的有效方法,不仅可以增加城市绿地面积、改善日趋恶化的城市生存环境、改善由硬质铺装道路所取代的自然土地和植物现状,还能够改善由各种污染导致的城市热岛效应、美化城市环境、改善人居条件。绿色屋顶结构分植被层、种植土层、过滤层等。通过种植草本科植被,可以达到吸收雨水、减少噪音灰尘、调节室内温度等功能。本项目在建筑屋顶、露台进行绿化覆盖,既能有效保护屋面结构,缓解雨水屋面溢流,减少排水压力,还能减少热岛效应,改善办公环境,提高园区办公人员舒适性,保持建筑冬暖夏凉,节约能源消耗。

3) 透水铺装

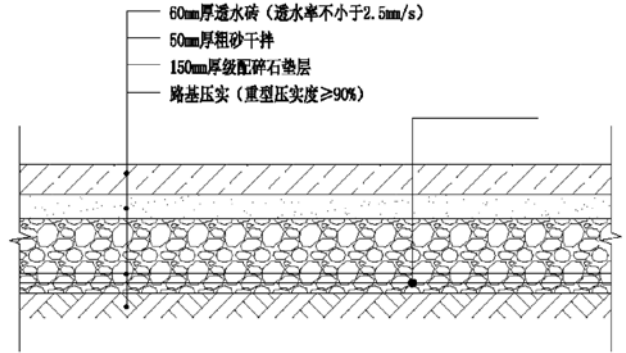
透水铺装通过使用具有透水特性的新型材料对地面进行铺装,以增大地表的透水性,减小径流量,可补充地下水并具有一定的峰值流量消减和雨水净化作用,适用于人行步道、停车场等。本项目地块路基强度高,透水性好的特点,非常适宜在商业外围、内部道路设计为透水铺装,可以有效减缓雨水回流,从而减少地表径流总量,有效防止城市内涝,且建造维护费用低,经济性好。

4) 雨水蓄水池

雨水调蓄设施既能延缓暴雨峰值,又能实现雨水资源化利用,避免初期雨水对受纳水体的污染,对优化城市水生态系统起到积极作用。本场地由于可利用水源条件有限,且系统无中水、可再生



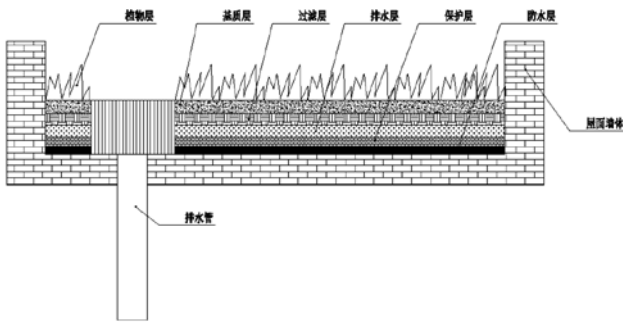
雨水花园



人行透水铺装做法(小区内部)

注:此铺装做法仅适用于人行,不考虑行车。

透水铺装做法应符合《透水铺装技术规程》(CJ/T 213)、《透水沥青路面技术规程》(CJ/T 213)和《透水水泥混凝土路面技术规程》(CJ/T 213)的规定。



拼装式屋顶绿化

图1

水源的回用,为了满足绿建指标,削减峰值径流量,场地设计一套雨水回用系统,雨水经雨水花园等设施进入景观湖,通过景观湖后再进入雨水调蓄池内,经一体化水体净化设备处理后主要回用于绿化浇洒、道路冲洗、景观补水等功能。

5.3 LID技术策略

本项目LID技术策略如图2所示。

6 LID设施规模

重庆地区75%径流控制率对应的设计降雨控

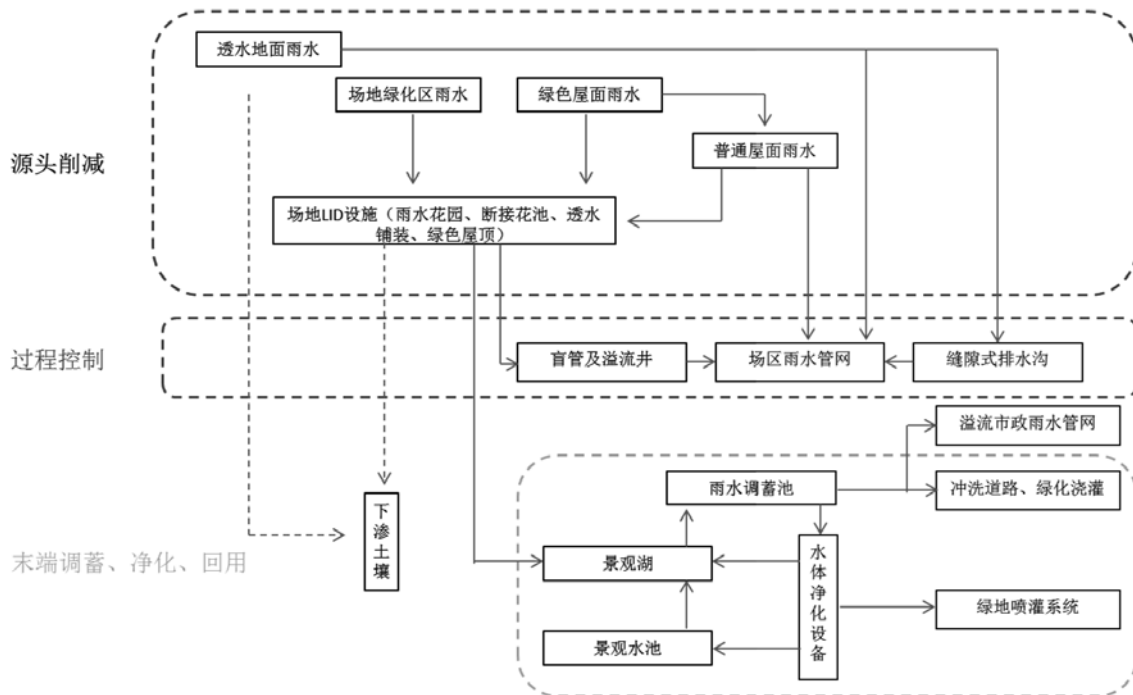


图2 LID技术策略图

表2

汇水分区	服务面积	面积占比	年径流总量控制率加权平均值 (%)	综合径流系数	设计降雨量 (mm)	年径流总量控制容积 VT (m³)	雨水花园					蓄水池				LID设施污染物总去除率	
							实际面积 m²	有效深度 mm	蓄水容积 (m³)	设施容积占比	设施污染物去除率	年径流污染物去除率加权平均值	蓄水池容积 (m³)	设施容积占比	设施污染物去除率		年径流污染物去除率加权平均值
A	B	C	D	E	F	G=C*E*F	H	I	J=H*I	K=J/G	L	M=L*D*Σ(K*C)	N	O=1-K	P	Q=P*D*Σ(O*C)	R=M+Q
分区一	27763	27%	75.00%	0.486	21.90	295.49	555	250	139	47%	80%	43.27%	156.74	53%	80%	16.73%	60.00%
分区二	24403	24%		0.421		224.99	1342		336	100%			0.00	0%			
分区三	17373	17%		0.460		175.02	133		33	19%			141.77	81%			
分区四	33732	33%		0.425		313.96	1408		352	100%			0.00	0%			
总计	103271	100%				1009.46	3438		860			149.96					

制雨量为21.9mm，其中绿色屋顶无调蓄功能，透水铺装受地形条件影响较大，实际调蓄容积较小。本项目仅针对雨水花园及蓄水池进行容积控制。年径流总量控制容积采用《海绵城市建设技术指南》推荐的容积法按下式进行计算。

$$V_t = 10 * H * R_v * F$$

式中： V_t ——设计调蓄容积（ m^3 ）；

H ——设计降雨量（mm），年径流总量控制率75%，对应的设计降雨量为21.9mm；

R_v ——雨量径流系数，多种用地性质时采用加权平均值；

F ——汇水区域面积（ha）。

根据本项目建筑雨水排水系统、室外雨水排水系统等实际情况，项目选择调蓄设施主要为雨水花园及调蓄池，依据《重庆市海绵城市规划与设计导则》（试行）的标准，雨水花园和蓄水池的污染物去除效率均取80%，各LID设施对项目场地的总污染物去除率按下式计算：

$$P = P_t \times P_w \times (\sum (R \times S_w)) ;$$

式中： P ——各LID设施项目整体污染物去除率加权平均值；

P_t ——年径流总量控制率加权平均值；

P_w ——LID设施的污染物去除率（以SS计）；

R ——各LID设施容积与所在汇水分区年径流总量控制容积的比值；

S_w ——各汇水分区面积占比；

经计算，雨水花园设施总面积3438 m^2 ，年径流污染物去除率的加权平均值为43.27%；蓄水池设施的有效容积为150 m^3 ，年径流污染物去除率的加权平均值为16.73%；综合雨水花园和蓄水池的处理效果，等于对应的年径流总量目标控制容积1009 m^3 ，满足年径流总量控制率70%的要求，场地污染物去除率为60%，满足去除率50%的要求，其中调蓄池雨水经一体化水体净化设备处理后主要

回用于景观补水，多余的部分回用于绿化灌溉、道路浇洒等功能。

7 结论

本文根据海绵城市规划设计中的相关要求，通过利用雨水花园、屋顶绿化、透水铺装、雨水调蓄等LID处理设施，满足了年径流总量控制率70%，场地污染物去除率50%的管控要求，并通过雨水收集调蓄实现雨水的回用。对应的规划设计技术方法既作为海绵城市设计的探索，也可以为类似地区的海绵城市设计提供借鉴。

参考文献

- [1] 《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建》（试行）建城函[2014]275号。
- [2] 刘颖.重庆市海绵城市规划建设径流控制关键技术[J].规划师,2016 (z2) .
- [3] 段嘉洵,吴俊奇,翟立晓.基于海绵城市建设的公共建筑改造——以北京市通州文化馆和图书馆为例[J].给水排水,2018,v.54;No.446(08):80-84.

某综合医院感染病房楼 给排水设计探讨

■ 杜宇 朱淼 [给排水]

摘要: 本文以某综合医院感染病房楼为例, 针对其功能及工艺上的需求, 从有利于洁净及防止交叉感染等方面, 介绍了清洁区、半污染区、污染区的给水、热水、排水等系统的设计要点。

关键词: 感染病房楼; 建筑给水排水; 污染区; 清洁区; 交叉感染

0 引言

近年来, 随着、非典、禽流感等一系列传染病的不断爆发, 传染病医院及现代化大型综合医院的建设步伐进一步加快, 其中, 感染病房楼已成为大型综合医院必不可少的一部分。传染病通过空气、水源等进行传播, 其传染性强、传播途径广、潜伏期长, 所以对于感染病房楼的设计应更加严格, 切断传染病的传播途径, 防止交叉感染的可能, 对废气、废水、废物的排放要严格把控, 污染区和清洁区要严格隔离。本文以某综合性医院感染病房楼为例, 探讨一些给排水设计思路及要点。

1 工程概况

该综合医院(见图1)位于内蒙古自治区通辽市, 属严寒地区。感染病房楼位于新院区东北角, 总建筑面积5423.68m², 高度14.75m, 无地

下室, 地上3层, 独立成区, 与院内其他建筑间距大于20m, 满足规范卫生间距要求。首层门诊为肠道、肝炎、呼吸道门诊, 并单独设置出入口, 门诊区域设置各自候诊区、诊室。平面布局中, 病人候诊区与医务人员诊断区分开布置, 并在医务人员进出诊断工作区出入口处为医务人员设置卫生通过室。2层、3层设置病房区, 平面布置划分为污染区、半污染区与清洁区, 并划分洁污人流、物流通道。呼吸道感染病房区, 在医务人员走廊和病房之间设置缓冲前室。

2 感染病房楼人员流线及功能分区特点

为防止交叉感染, 感染病房楼的医疗空间应合理组织, 保证医患分流、洁污分流、人车分流、尽可能地缩短患者就医流线。

患者流线: 感染病房楼就诊者大体分为普通患者、疑似病人、确诊传染病人, 为了尽可能地减少各类就诊人流在检查治疗过程中交叉感染的几率, 肝炎、肠道、发热门诊均相对独立, 分别设置出入口, 住院患者通过远离门诊出入口的电梯及楼梯进入2层及3层病房。当患者治疗康复

作者简介: 杜宇, 男, 助理工程师, 2014年8月毕业于北京工业大学给排水工程专业, 现就职于中航建设建筑设计研究院。

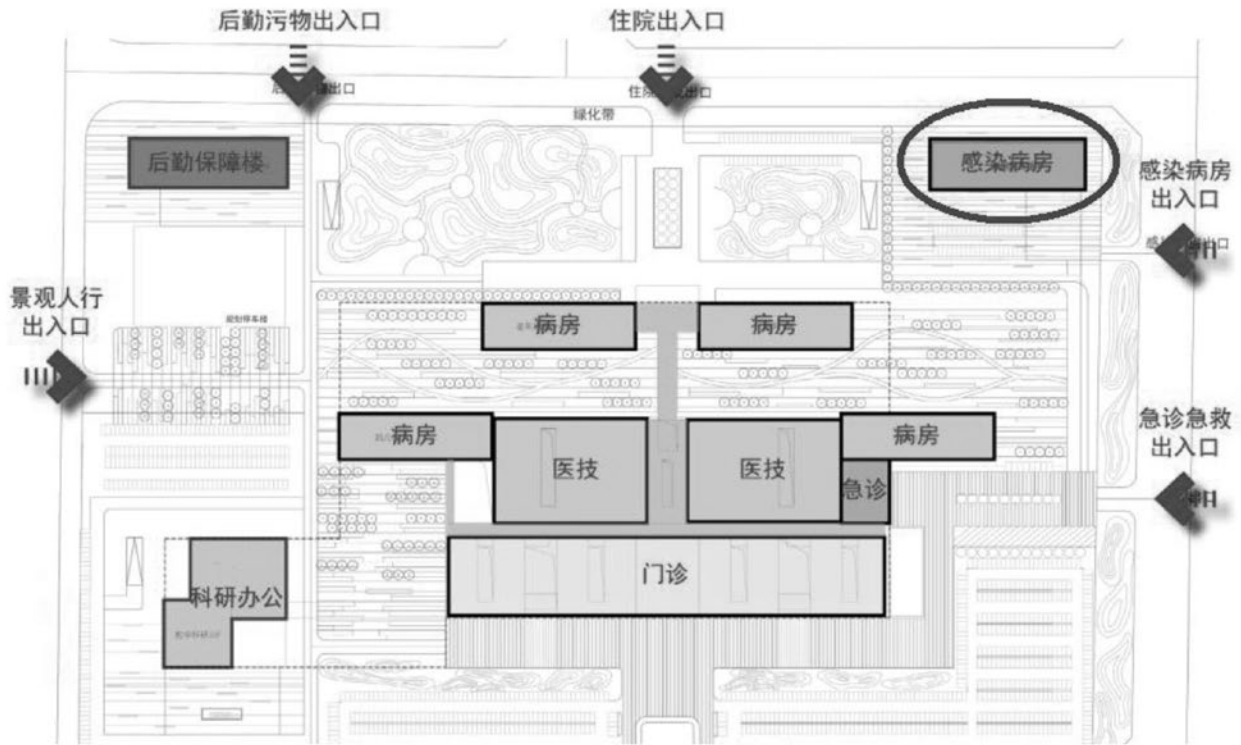


图1 医院总图

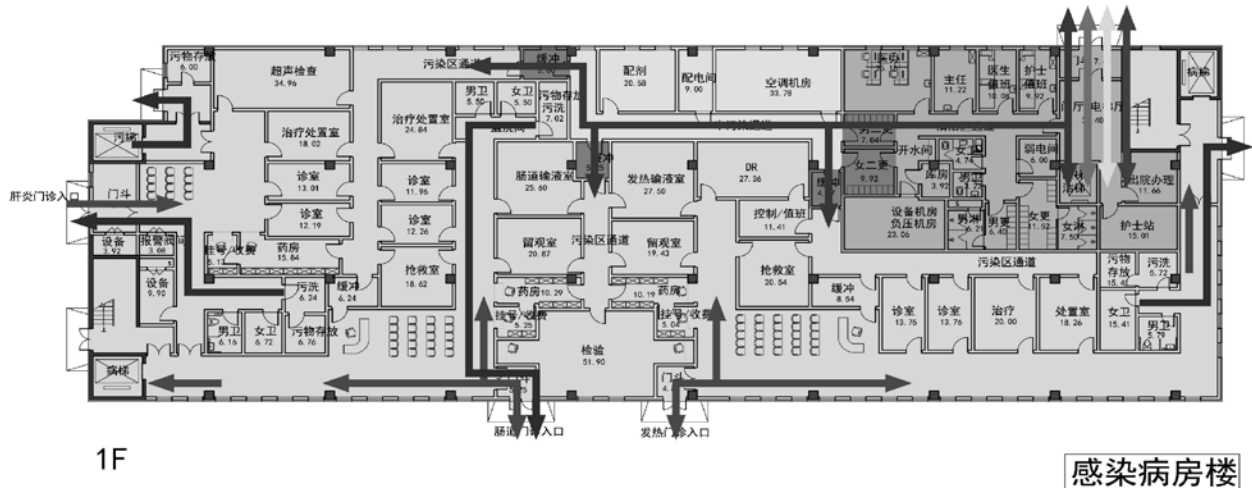
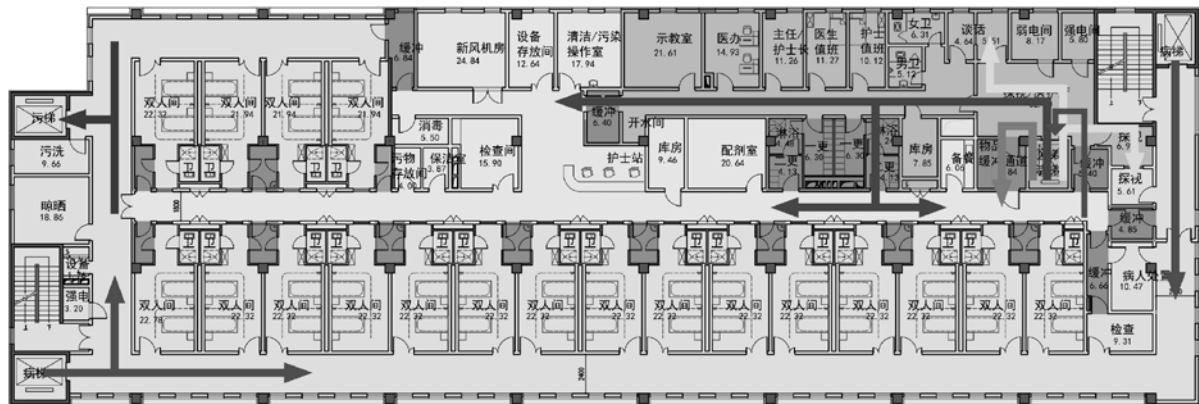


图2 1层平面布置图

后应进入本层缓冲区，经过专用强制通过室清洁后，由康复病人出口离开。

医护流线：医护人员由北侧专用出入口直接进入清洁区，其正常活动区域为清洁区。当医护人员需由清洁区进出污染区时，须强制经过更淋

缓冲区通过。首先经过一次更衣室脱去清洁区工作服装，再进入二次更衣室着污染区防护服，后通过缓冲区进入污染区诊室或病房。医护人员由污染区进入清洁区时，首先要在污染区丢弃污染区防护服，经过更衣、淋浴后，再进入一次更衣



2/3F

感染病房楼

2层为肠道感染病区, 3层为呼吸道感染病区。



图3 2层、3层平面布置图

室清洁区工作服。此套流线能够防止医护人员携带传染病毒进入清洁区, 保障了医护人员工作的安全性。

除上述主要流线外, 还包括污物流线、洁物流线、探视流线等, 详见感染病房楼流线及功能分区图2、图3。

3 感染病房楼给水系统设计要点

为防止感染病房楼水回流造成对市政给水管网的污染, 在感染病房楼所有给水进口处, 除安装必要的检修阀门外, 应设置管道倒流防止器, 能有效防止感染病房楼水质污染外网。

本建筑内根据建筑功能上清洁区和感染区的划分, 分区独立供水, 分别由市政外线引入给水。此种做法, 可以避免感染区病毒通过水源传播至清洁区, 此外也可防止当管道检修放空时, 污染区病毒通过管道传播至清洁区的情况。污染区、半污染区的给水管宜暗装敷设, 避免病毒侵入长期暴露在污染区域的腐化管道通过水流传播。考虑医院使用的特殊性, 应在管道配水干管上适当设置检修阀, 每段给水支管设置检修阀, 做到在管道检修时, 对本建筑的使用造成最小的

影响。为了防止检修人员的交叉感染, 检修阀宜设在清洁区, 由于本建筑清洁区和感染区分区供水, 感染区内给水检修阀门无法做到设置在清洁区, 检修人员在检修感染区内阀门时, 应做好防护措施。

为防止接触交叉感染, 病房楼内相关卫生器具应采用非接触性或非手动开关, 并应防止污水外溅。医护人员使用的洗手盆, 以及细菌检验科设置的洗涤池、化验盆等, 应采用感应水龙头或膝动开关水龙头。公共卫生间的洗手盆应采用感应自动水龙头, 小便斗应采用自动冲洗阀, 坐便器应采用感应冲洗阀, 蹲式大便器宜采用脚踏式自闭冲洗阀或感应冲洗阀。淋浴间的淋浴器采用脚踏开关。

在感染病房楼内设置电开水器时, 为避免交叉感染, 开水器按护理单元设置, 自来水进开水器前应设置过滤器和止回阀。

4 感染病房楼热水系统设计要点

为防止交叉感染, 感染病房楼热水系统的设计要点同给水系统, 包括按建筑功能上清洁区和感染区的划分分区独立供水, 合理设置检修阀门, 管道暗装需求等, 在此章节就不再多做陈

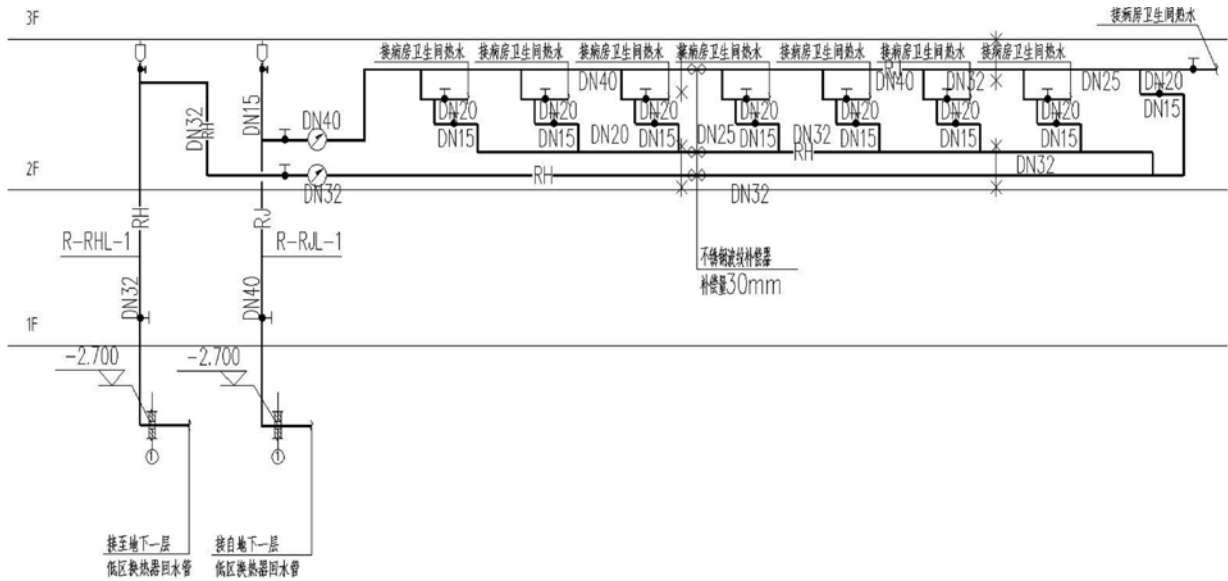


图4 热水系统示意图

述，以下介绍一些感染病房楼系统设置的设计要点。

热水供应需满足用水点的水温要求，采用支管循环系统，考虑到感染病房楼各用水点相对分散且数量较多，配水支管较长，感染病房楼按每层护理单元采用横管配回水布置形式（见图4），回水管同程敷设。在管道井设置热水供回水立管，由每层接出配水横干管，逐一配水到用水点，横干管配水完成后，通过回水热干管回水，再与管道井内的回水立管连接。在配水横干管的起端与完成配水后的回水横干管上设置水表，两块水表的差值即为该层护理单元的热水用水量。此种配水方法，方便计量，而且对每层用水点的布置没有较高要求，比较灵活，方便医院升级改造。在设计过程中，应尽量减少热水管道不循环支管管道长度，保证打开用水开关后10s内出热水的规范要求。

感染病房楼对生活热水的品质要求较高，热水需求量大，供应时段集中，本设计采用太阳能加容积式换热器供应热水的方式，热水热源为太阳能，辅助热源为锅炉高温蒸汽。换热器采用无滞水型，防止滞留热水滋生细菌，感染患者。换热器设置两台，每台换热器耗热量取值大于分区60%的设计小时耗热量。

5 感染病房楼排水系统设计要点

为了防止交叉感染，感染病房楼排水系统采用污、废水分流制。感染病房楼的门急诊和病房

的污水应单独收集处理。本建筑内肝炎门诊、肠道门诊及发热门诊分别设置独立卫生间，排水单独排放，通气管道不与其他区域管道连接。感染病房楼所有排水均排入感染污水处理站。

为保证室内环境的清洁，严格控制因排水系统造成的室内环境污染而感染传播疾病，手术室、诊室不设地面排水地漏，在洗手槽旁可设脚踏开启的密闭地漏；医院浴室、空调机房、卫生间设置带过滤网的无水封直通型地漏加存水弯。为防细菌传播，存水弯的水封高度不小于50mm，为防止细菌存留在水封中造成污染，水封高度不大于75mm。手术室消毒间和准备间采用专用密封地漏，此地漏在不影响地面美观和人员设备行走的同时，还能够在手术中插入排污管，直接排除污液且确保无异味，防止废水倒灌侵入室内，能够减轻医务人员的工作强度。地漏附近有洗手盆时，可采用洗手盆的排水给地漏水封补水，这种情况一般采用多通道地漏，多通道地漏可以同时接纳地面排水和器具排水，适用于地面排水量小、排水间隔长、需要用附近器具排水补充地漏水封的场所。存水弯水封须经常有水补充，防止地漏干涸，避免病毒通过管道传播入室内，如图5。

为防止在排水过程中会形成水塞，管道内产生压力波动，破坏卫生洁具存水弯中的水封，造成臭味外溢这种现象出现，排水系统要设计通气管。本建筑建在严寒地区，考虑严寒地区积雪厚度，排水通气管伸顶至屋顶以上2m处，避开门窗，确保四周有良好的通风环境，将排出的有毒有害气体浓

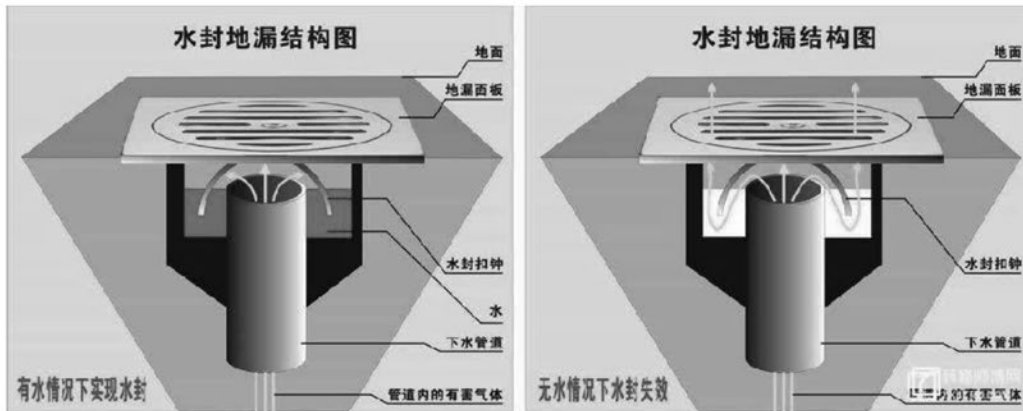


图5 地漏水封示意图

度稀释。

排水管设计应避免穿越环境要求较高的无菌室等，如果必须穿越时，要将管道做防护处理，管道外加设套管，做好防渗漏措施，避免排水管道因渗漏、结露而污染室内环境。

本工程建在严寒地区并考虑医疗排水特殊性，为使污、废水迅速排进检查井，设计中加大污、废水管道设计坡度，避免管道污、废水冻结、污染。室外污水管网系统通过检查井，将污水排放到传染病专用污水处理站，为了防止污水管网中的有害气体外溢，检查井井盖应做成双层，加强密封。

6 感染病房楼污水处理站设计要点

6.1 感染病房楼出水水质标准

医院污水主要由门诊、病房、化验等组成，医院各主要排水点所排污水均经化粪池后流入污水处理站。普通医院污水经收集进入污水处理站集中处理，经处理后达标排放，出水水质应达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）中表1综合医疗机构和其他医疗机构水污染物预处理排放限值。

本项目感染污水经收集进入污水处理站集中处理，经处理后达标排放，出水水质达到《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）中表2传染病、结核病医疗机构水污染物排放限值。

由表可见，传染病医院高于普通医院的水处理标准，首先作为医院，其排放的污水中含有大量有毒化学物质和多种致病菌、病毒和寄生虫卵，对于感染病房楼来说，其排放的污水具有传

染性，污废水中还含有大量的传染病菌，对于环境污染程度更高，所以水处理过程中对于感染污水的处理要求更加严格。

表1 综合医疗机构和其他医疗机构
水污染物预处理标准排放限值

序号	水质项目	出水水质
1	pH	6-9
2	CODcr (mg/L)	≤250
3	BOD5 (mg/L)	≤100
4	SS (mg/L)	≤60
5	氨氮 (mg/L)	-
8	粪大肠杆菌 (MPN/L)	≤5000
9	接触池出口总余氯 (mg/L)	2-8
10	总余氯 (mg/L)	≤0.5

表2 传染病、结核病医疗机构水污染物排放限值

序号	水质项目	出水水质
1	pH	6-9
2	CODcr (mg/L)	≤60
3	BOD5 (mg/L)	≤20
4	SS (mg/L)	≤20
5	氨氮 (mg/L)	≤15
8	粪大肠杆菌 (MPN/L)	≤100
9	接触池出口总余氯 (mg/L)	6.5-10
10	总余氯 (mg/L)	≤0.5

6.2 感染病房楼污水处理工艺特色

感染病房楼污水带有传染病，按照传染病污水性质进行设计，设置预消毒单元，并且在水解酸化+接触氧化工艺上增设了深度过滤单元，保证出水达标，此工艺耐水质冲击负荷，对于化粪池消化不彻底的污染物，能进一步厌氧水解。工艺流程见图6。

在污水处理过程中，沉淀池采用斜管沉淀

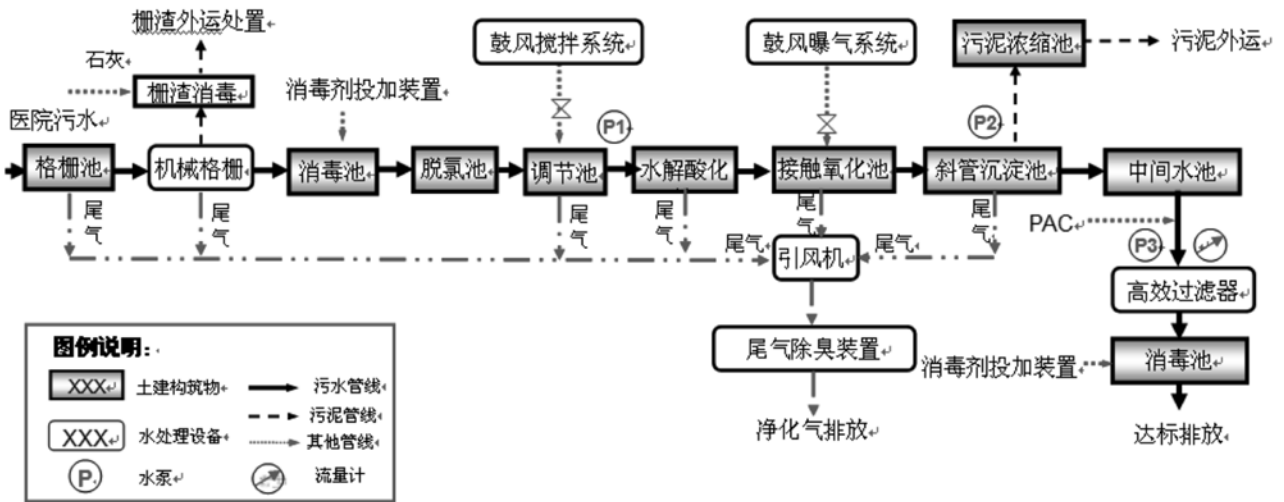


图6 污水处理站工艺流程图

池, 具有占地面积小、沉淀效率高等优点; 采用高能离子除臭装置进行尾气处理, 能彻底去除尾气中各类有味、有毒成分, 对人体及空气均无不良影响, 不会带来二次污染; 使用高效安全的二氧化氯消毒设备, 二氧化氯具有强氧化性, 杀菌效果好, 消毒后水中的余氯稳定持久, 防止再污染的能力强。

7 总结

传染病医院的设计较为复杂, 需要设计者对医院的功能分区、人员流线等都有详细的了解, 做到污染区与清洁区分离。感染病房楼的给水、热水、排水系统均应在设计上采取特殊措施以达到防止交叉感染的目的。给水设计上要将清洁区污染区分区供水, 防止细菌传播, 并且要防止给水回流污染市政管网; 热水设计上要保证热水供给的稳定, 同时防止滞留热水滋生细菌, 感染患者; 排水系统要污、废分开, 各传染病门诊独立排水, 存水弯的水封高度不小于50mm且不大于75mm。

随着科技进步和经济发展, 国家与政府越来越意识到传染病医院建设的重要性, 本文对某严寒地区感染病房楼的给排水设计实例进行分析与总结, 分别阐述了各系统的设计理念及方法, 供给排水设计人员参考。

参考文献

- [1] GB50849—2014 传染病医院建筑设计规范.
- [2] GB50686—2011 传染病医院建筑施工及验收规范.
- [3] CECS07—2004 医院污水处理设计规范.
- [4] GB51039—2014 综合医院建筑设计规范.
- [5] 09S303 医疗卫生设备安装.
- [6] 传染病医院建筑给排水设计初探_姚小宁.
- [7] 传染病医院给水排水设计探讨_欧云峰.
- [8] 关于重症传染病医院建筑给排水设计的思考_戴毓麟, 陈建刚.
- [9] 某非典病房楼给排水设计特点_王新发, 谢思桃.
- [10] 传染病院病房楼建筑设计_刘新波, 刘勃.
- [11] 医院污水处理工艺选择与设计_苏裕昌.

国外雨洪管理理念 与国内海绵城市理论分析

■ 陈洁 李力军 [给排水]

摘要: 近年来,随着我国经济的发展、产业的完善,城镇化发展速度显著。据国家统计局数据显示,2014年城镇常住人口7.5亿人,城镇化达到54.77%。飞速的城镇化,大量常驻居民的融入,使得城市的基础建设受到了前所未有的挑战。本文对国际上典型的雨洪管理理念进行了整理,分析了不同相关理论的适用范围;同时对国内海绵城市的研究和发展进行了总结与探讨,提倡发展与环境和谐共存是新型城市建设的应有之义。

关键词: 雨洪管理;海绵城市;海绵技术

1 国外雨洪管理理念

自20世纪70年代以来,一些西方国家陆续提出了与雨洪管理相关的技术与理念。这些技术与理念主要针对以下3点内容:①城市雨洪灾害应急管理;②雨水径流污染防治;③雨水回收及利用。在这些西方国家中,美国、澳大利亚、英国、德国的雨洪管理比较成熟且具有代表性。

1.1 美国

美国作为首个提出雨洪管理理念的国家,开发出了一系列雨洪管理方法,如:低影响开发(Low Impact Development, LID)、最佳管理措施(Best Management Practice, BMPs)、绿色基础设施(GI)及绿色雨水基础设施(GSI)。

①20世纪70年代提出的BMPs,是首个具有雨洪管理理念的综合城市雨水管理技术体系,其目标是清洁城市水体和控制雨水径流量。BMPs运用水处理设施和工程技术等措施,来控制城市降雨造成的洪涝和径流污染问题;同时,通过立法、

监管、宣传等手段,提高公众参与雨水管理的过程,以完成雨水处理管理体系,其主要推行措施分为六大类:场地建设的雨水径流量控制、违法排放的检查和去除、污染预防/家庭管理、施工后雨水管理、公众教育、公众参与。

②20世纪90年代初提出的LID概念是一种更注重结合生态化措施的分散式雨水处理技术。LID的核心目标是尽力降低人为开发活动对场地水文循环的影响,其主要控制指标包括:径流总量、峰值流量及峰现时间。LID通过增设开发后场地降雨就地处理设施,控制场地径流总量;同时采用场地水量调节等措施,削减雨水峰值、控制延迟峰现时间。LID的处理流程可分为上游调节、中游收集、下游渗透3个部分。

③随着雨洪管理理念的发展,近年来兴起的GI和GSI概念更倾向于针对城市整体生态环境的宏观布局,其目标是优化市政管网设计,保护城市生态格局。

1.2 澳大利亚

20世纪80年代提出的水敏感性城市设计(Water Sensitive Urban Design, WSUD)是一套包含水资源利用、水灾害防治的整体性水系

作者简介:陈洁,女,工程师,2013年毕业于四川大学建筑与土木工程专业,现就职于中航建设建筑设计研究院。

统管理理念。WSUD的目标是降低开发活动对水资源整体循环的负面影响。

WSUD主要以城市水循环系统为核心,通过源头控制综合管控城市雨水,将其将雨水、污水及再生水、地下水、饮用水等全部给排水环节作为一个整体,统筹管理;同时倡导水量水质问题就地解决,降低周边地块影响的分散化处理理念。

1.3 英国

20世纪90年代英国借鉴BMPs的雨洪管理理念,提出了可持续排水系统(Sustainable Urban Drainage System, SUDS)。SUDS的目标是提高城市水系统的可持续能力。

SUDS的实施措施主要分为规划控制、雨水排放监管和建设维护3种。SUDS首先从源头对雨水径流及污染物进行控制,然后再对场地和区域层面进行处理分流,分级削减、控制、利用雨水资源。

1.4 德国

德国的雨洪管理主要由两部分组成:①雨水利用(Storm Water Harvesting, SWH);②雨洪管理(Storm Water Management, SWM),其主要包括地下管网系统、雨水综合利用技术和规划合理的城市绿地建设3个部分。

德国城市中心的管道多采用雨污合流管网,节省地下空间;郊区主要采用雨污分流管网,使水处理工艺更具针对性。

德国推广的“洼地——渗渠系统”理论是将分散的源头雨水处理设施,通过渗渠相连接汇集后与城市排水管网连通,从而减轻城市排水管道的压力。

德国城市公园中的绿地及水景,也对调节气候、保持水土有积极作用。

1.5 小结

总体看来,国际上的雨洪管理理论基本统一,即降低开发区域对原有水环境的影响,各个国家针对自身的气候及地理特征在雨洪管理理念上各有侧重。例如:大陆性气候地区更注重分散式的源头雨水调控,这样有利于保持区域的水环境,并减少对周边环境的影响;干旱及半干旱地区更注重全部水资源的整体循环,这样有利于缓解空间水资源紧张;温带海洋性气候地区更注重雨水的分级削减,这样有利于减缓降雨期间峰值流量,使雨水平缓顺畅排放。

我国国土面积广袤,具有多种特色的地域及气候,国际上这些有针对性的雨洪管理策略,可

表1 各国气候及雨洪管理特点

编号	国家	气候特征	雨洪管理理念特点
1	美国	大陆性气候	分散式雨水处理技术
2	澳大利亚	干旱及半干旱气候	城市水循环系统
3	英国	温带海洋性气候	可持续排水系统
4	德国	大陆性气候	洼地——渗渠系统

以为我国不同地域海绵设计提供实例参考。

2 国内海绵城市理论

自进入21世纪以来,我国城镇化速度大幅提升,基础建设受到了前所未有的挑战。城市发展与生态环境和谐共存的城市建设观念,开始成为新时期城市建设的重要思路。其中,针对解决城市水生态问题的海绵城市理论起步较晚,但因理论技术成熟且丰富,发展十分迅速。

2.1 国内海绵城市的发展历程

①雨水综合利用阶段(2001~2010):这一阶段主要以雨水利用及防洪排涝为主,综合性不强。

②生态城市建设阶段(2010~2013):结合上一阶段的技术成果,这一阶段开始从整体上推动生态化的新型城市。期间,国际上较成熟的雨洪管理理念开始引入国内。

③海绵城市建设阶段(2013~今):2013年海绵城市理念正式提出;2014年,住房城乡建设部发布《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建》、等海绵城市建设标准,并确定了16个城市作为海绵城市建设试点,并要求至2020年,海绵城市建设试点有80%以上达到海绵城市要求。

2.2 国内海绵城市的主要组成设施

国内海绵城市的实践类型,可按照工程范围分为小型、中大型、大型、普遍适用型四种类型。

小型设施包括:流转移到种植床、雨水滞留池、拦沙坑,沉积井。

中大型设施包括:缓冲带、建造的湿地、干燥滞洪区、池塘和沉积井、沼泽地、洼地。

大型设施包括:湖、大颗粒污染物截留设施、恢复的水道/排水沟、开放空间灌溉、城市森林。

普遍适用性包括:渗滤和收集系统,渗透系统,乡土植被,覆盖、滴灌系统,透水铺装。

配套设施根据其服务功能由弱至强分别为：大尺寸管道、水流控制装置、初期雨水弃流设施、干洼地、渗井、地下滞留、滞留塘、雨水涵道、雨水收集器、保持塘、过滤带、地下过滤沙床、表面过滤沙床、墙面绿化、屋顶绿化、可渗透铺装、渗透暗沟、树池过滤、雨水花园、下沉式绿地、滨水缓冲带、生物洼地、渗透盆地、人工湿地。

2.3 国内海绵城市的研究及实例

① 研究

根据国际雨洪管理的经验，以分散式雨水处理为核心技术的LID理论，适合大陆性气候的区域雨洪管理。尽管大陆性气候符合我国大多数区域的气候特点，但国际上LID理论的经验主要针对较分散的低密度居住区域，对国内城市居住集中的特点并不普遍适用，因此涌现了一系列立足中国国情的LID理论拓展与研究。

车伍提出了LID（低影响开发）与GSI（绿色雨水基础设施）的技术方法，用以解决城市洪涝及径流污染等问题。张善峰等以工程实例为依据，探讨了建筑、小区、道路和绿地4种不同类别的LID理论应用模式。

我国还有很多利用模型方法优化LID设施的研究。吴建立运用SWMM模型，优化了透水砖、下凹绿地等LID典型措施的技术参数。王红武等研究了雨水花园、植草沟等设施蓄存雨水和削减径流污染的优化设计。

② 实例

我国目前在海绵城市建设方面已经形成了一系列具有代表性的应用示范基地。这些示范基地，从规划、景观、市政、水利、生态、园林等各部分综合协作，探寻出一些立足于我国国情的海绵城市建设方法。

北京经济技术开发区（亦庄开发区）的海绵城市建设具有北方城市降雨资源相对贫乏的特点。当地的雨水治理按照从城市到街区、再到建设地块这种由大到小的布局思路，统筹规划用地、绿地和防洪等海绵城市重点指标，形成了城市雨水多目标综合利用工程。目前，开发区已基本建成河道+蓄滞洪区的城市防洪排涝系统。规划赋予现状河道防洪排水及景观观赏两种主要功能，并推广建设调蓄池、滞留塘、屋顶花园、植草沟等低影响设施。

嘉兴市的海绵城市建设具有南方水系发达，

但水系污染的特点。嘉兴海绵城市试点“示范区”主要分为旧城、景区、新城、规划四类，因地制宜制定海绵城市建设策略。现已建成了蒋水港绿道、勺园生态停车场等低影响开发示范工程。

3 海绵技术发展展望

随着国民经济与生产技术的发展，设计的逐步精细化是大势所趋。我国在借鉴国外成熟技术，因地制宜开发本国海绵建设的举措上，获得了弥足的进步。

海绵城市建设是规划、景观、水利、管理等多个学科领域的融合，需要技术及研究工作者对各相关领域的知识均有涉猎。同时，海绵城市的数据化也颇具研究价值，国际上兴起的雨水径流模拟模型以及城市地理信息系统，不但能够将海绵城市规划数据化、可视化，还可以通过数据分析对城市未来水资源的发展进行预测，合理规避问题，使城市建设更加节约、绿色、贴近自然。

参考文献

- [1] 住房城乡建设部. 海绵城市建设技术指南[S]. 2014.
- [2] 中华人民共和国建设部. 建筑与小区雨水利用工程技术规范[S]. GB50400-2006.
- [3] 东方勇. 基于水文视角的重庆市海绵城市规划建设研究[D]. 重庆大学. 2016
- [4] 丁兰馨. 山地海绵城市建设机制与规划方法研究——以重庆为例[D]. 重庆大学. 2016
- [5] 王建龙, 车伍, 易红星. 低影响开发与绿色建筑雨水控制利用[J]. 工业建筑, 2009, 39(3): 123-125, 102.
- [6] 张善峰, 宋绍兴, 王剑云. 低影响开发——城市雨水问题解决的景观学方法[J]. 华中建筑, 2012, (5): 83-88.
- [7] Coffman, L. Low Impact Development creating a storm of controversy[J]. Water Resources Impact, 2001, 3 (6): 7-9.
- [8] US EPA. Low Impact Development(LID): A Literature Review[R]. United States Environmental Protection Agency, 2000. EPA-841-B-00-005
- [9] US EPA. National water quality inventory, 2000 report[R]. United States Environmental Protection Agency, 2002. EPA-841-R-02-001.

某大型厨房比例空调送风系统模拟分析

■ 李超 张海桥 [暖通]

摘要: 利用CFD模拟软件Airpak对北京某配餐厂房热厨间的局部排风、补风系统进行模拟分析,设计了一套比例空调送风系统,研究了夏季条件下空调送风风量与室外新风风量二者比例关系对室内热环境的影响,并探讨该系统的节能效果;同时,模拟研究了冬季条件下空调送风温度对室内热环境的影响并给出了其合理取值,分析了比例空调系统在冬季运行的节能效果。

关键词: 比例空调; 岛式灶台; 热环境; 数值模拟

0 背景及问题

随着我国航空业的不断发展,航空配餐厂房的建设数量不断增加,设计任务也越来越多。配餐厂房的暖通空调系统设计较为复杂,而热厨间这种大型厨房的通风空调系统一直以来都是该类项目的设计重点。热厨间具有一个相对复杂的热湿环境,厨房灶台产生的热量及污染物浓度较大,需要合理的方法对其进行控制。工程设计中一般对热厨内的每个灶台进行单独控制,形成“岛式灶台”。“岛式灶台”的局部排风量很大,因此有必要对灶台的局部排风进行补风;另外,为保证热厨内人员的工作环境,房间工作区的温度需要达到一定要求,因此新风补风需要经空调处理后送入室内。这种空调方式虽然可有效降低房间温度,但新风负荷过大会导致空调系统能耗较高。因此,保证热厨工作区的温度需求与降低空调系统能耗之间的矛盾亟待解决。

以上问题可通过设计合理的气流组织形式及优化通风空调系统形式解决。因此,本文提出一种新的热厨空调系统——比例空调送风系统。该系统的送风分为两部分,一部分是未经空调处

理的室外新风,由风机直接送入热厨排油烟罩附近,从而将热量控制在灶台上方,避免其向工作区扩散;另一部分为空调处理后的新风,通过热厨工作区上方均匀布置的风口送入室内,调节工作区的温度。该系统中空调新风占总送风量的比例是本文研究的重点,不仅关系到热厨工作区的热环境,而且对整个通风空调系统的能耗情况起决定性的作用。

本文将以北北京某配餐厂房的热厨间为研究对象,探讨夏季厨房的空调送风比例及温度对热厨工作区热环境的影响,并给出满足设计需求条件下的最小能耗空调送风比例;在此基础上,模拟研究冬季不同送风工况下热厨通风空调系统的运行状况,并给出合理的冬季空调送风温度。

计算流体力学分析方法是国内外公认的室内气流组织设计和评价最简便的方法。目前应用较多的CFD商用软件有FLUENT、STAR-CD、PHOENICS等,其中FLUENT软件下的Airpak软件是专门面向HVAC领域的软件。Airpak具有强大的可视化后处理能力,能够生成速度矢量、云图和粒子流线动画等^[1]。模拟结束后,还可提供强大的数值报告,从而对房间的热舒适性、气流组织等进行全面综合评价。因此,本文将利用Airpak软件对以上问题进行模拟研究。

作者简介:李超,男,助理工程师,2017年毕业于哈尔滨工业大学建筑与土木工程专业(暖通方向),现就职于中航建设民航工程设计研究院。

1 模型的建立及边界条件确立

1.1 物理模型

根据北京某配餐厂房热厨的建筑尺寸与室内设备布置,厨房尺寸模型为 $8\text{m} \times 7\text{m} \times 3\text{m}$ 。东、北墙上各有一单扇门,靠南墙是灶台,灶台高 1m ,顶上 2m 处有一排烟罩。灶台上设置4个燃气灶。在吊顶上布置空调送风口及新风送风口进行补风,空调风口均匀布置。模型如图1所示,其具体设置见表1。

1.2 数学模型

流体的流动和传热过程由最基本的3个物理规律构成,即质量守恒、动量守恒及能量守恒。从数值传热学的角度,在流动和传热问题中这些守恒定律的数学表达式——偏微分方程(称为控制方

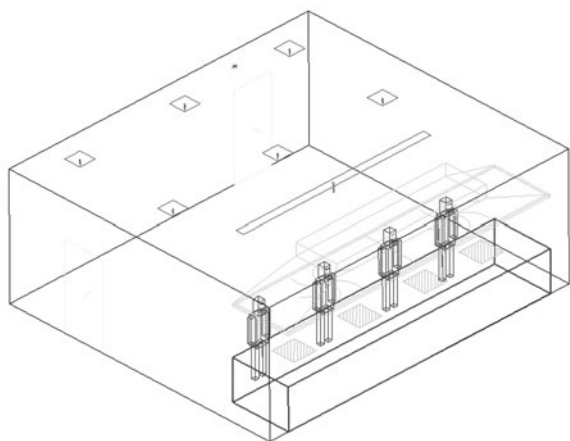


图1 热厨间物理模型

程)都可以表示成以下通用形式^[2]:

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho U\phi) = \text{div}(\Gamma_{\phi} \text{grad}\phi) + S_{\phi} \quad (1)$$

式(1)中, ϕ 为通用变量,可以代表 u 、 v 、 ω 、 T 等求解变量; Γ 为广义扩散系数; S_{ϕ} 为广义源项。(1)式也包括了质量守恒方程,只要令 $\phi=1$, $S_{\phi}=0$ 即可。

为了简化问题,作如下假设:室内气流为不可压缩常物性牛顿流体,稳态湍流流动,且符合Boussinesq假设。

1.3 室内设计参数

热厨夏、冬季节室内设计温度分别为 26°C 和 16°C 。室外新风温度参照北京地区夏、冬季节室外通风温度,分别为 29.7°C 和 -3.6°C 。

2 数值模拟结果分析

本文主要做了以下两个方面的研究:1)夏季热厨空调送风比例及温度对室内热环境的影响,给出最小能耗送风比例;2)研究冬季不同送风工况下热厨通风空调系统的运行状况,并给出合理的冬季空调送风温度。

2.1 夏季空调送风比例研究

分别模拟了夏季10种不同送风工况,具体送风量及风口尺寸见表2。

均匀选取热厨工作区距地面 1.2m 高处的6个点,计算6点的平均温度得到该区域的平均温度值,温度测点位置如图2所示。

表1 物理模型具体参数及边界条件设置

名称	数量	尺寸/m	模型	边界类型	参数值
房间	1间	$8 \times 7 \times 3$	Room	墙壁、地面:绝热	—
				屋面:定热流量	夏: $10\text{W}/\text{m}^2$ 冬: $-16\text{W}/\text{m}^2$
人员	4人	$0.3 \times 0.2 \times 1.7$	Person	定热流量	75W
燃气灶	4套	0.6×0.6	Source	定热流量	15kW
排烟罩	1套	下边缘: 7×1.5	Hood	定风量	$6.278\text{m}^3/\text{s}$
新风送风口	1个	尺寸为变量	Opening	定风速	3m/s
空调送风口	6个	尺寸为变量	Opening	定风速	3m/s
门	2扇	2.1×1	Opening	静压为0	—

表2 热厨的送风量、送风风口尺寸及送风温度表

总送风量 (m ³ /h)	空调风冷 占比 (%)	空调送风口 尺寸 (mm)	新风送风口 尺寸 (mm)	空调送风 温度 (℃)
21600	0	—	7000×280	—
	10	180×180	7000×260	21.44
	20	260×260	6500×250	23.72
	30	320×310	5600×250	24.48
	40	370×360	6000×200	24.86
	50	410×410	5000×200	25.09
	60	450×450	4000×200	25.24
	70	480×480	4000×150	25.35
	80	520×520	4000×100	25.43
	90	550×550	3000×100	25.49

夏季不同送风工况下的送风温度、工作区平均温度及空调能耗如图3所示。

由图可知，计算空调送风温度随空调送风比例的增加而升高，且增幅呈现逐渐平缓的趋势。热厨工作区的平均温度随空调送风量的增加呈现先下降，后小幅缓慢上升的趋势，当空调送风量占比达到40%，送风温度为24.9℃时，工作区温度达到最小值25.4℃；随着空调送风比例由40%增加到90%，工作区平均温度小幅升高约0.2℃。从图中还可以看出，满足工作区温度设计要求的送风比例和送风温度约为34%和24.7℃，该送风状态点处空调能耗约为36kW，相比100%的空调送风工况，该工况下空调整节能约57.0%。因此34%的空调送风比例是满足室内温度需求且空调能耗最小的最佳送风比例。

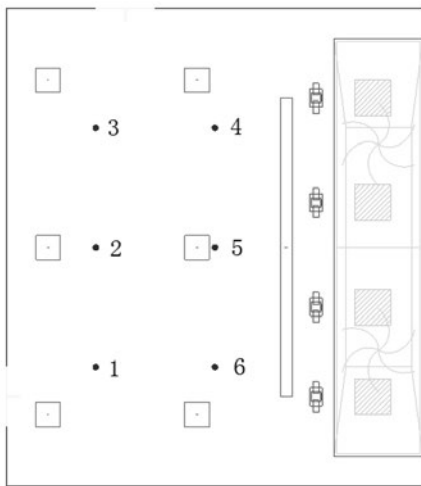


图2 温度测点位置平面图

2.2 冬季空调送风温度研究

根据相关设计参考文献^[3]规定，对于寒冷地区，厨房冬季补风送风温度可按12~14℃选取，在通风空调系统实际运行过程中，厨房工作人员经常会反应房间温度较低，厨房内冷感较强。本文将模拟验证该推荐送风温度值是否能满足热厨内的温度设计要求。本文将模型中空调送风温度设置为推荐值的上限14℃，模拟不同空调送风比例下厨房工作区的温度场分布。该条件下空调送风比例与工作区平均温度的关系见图4。

由图4可知，随着空调风的比例的不断增加，热厨工作区的温度逐渐升高，随着空调风的比例从0增加至80%时，工作区平均温度由-0.3℃升高至14.3℃；在空调风比例从80%增加至100%的过程中，工作区平均温度维持在14.3℃左右，基本不再变化。以上分析说明，即使在100%的空调送风比例工况下，14℃的送风温度也不能达到厨房内16℃的温度设计要求。本文认为随着厨房设备制造工艺水平的提升，“岛式灶台”的排油烟及排热效率不断提高，由灶台扩散到工作区内的热量越来越少，工作区内的得热量也相应减少。因此，本文认为热厨间内空调设计送风温度需要根据实际情况适当提高，以适应室内温度需求。

本文研究了在冬季100%空调送风比例工况下，热厨工作区平均温度与送风温度之间的关系，如图5所示，并给出了要达到室内温度设计要求所需的最小送风温度。

从上图可以看出，在全空调补风工况下，厨房工作区平均温度要达到16℃，空调送风温度至少需要提高至15.8℃。经计算，该工况下空调需

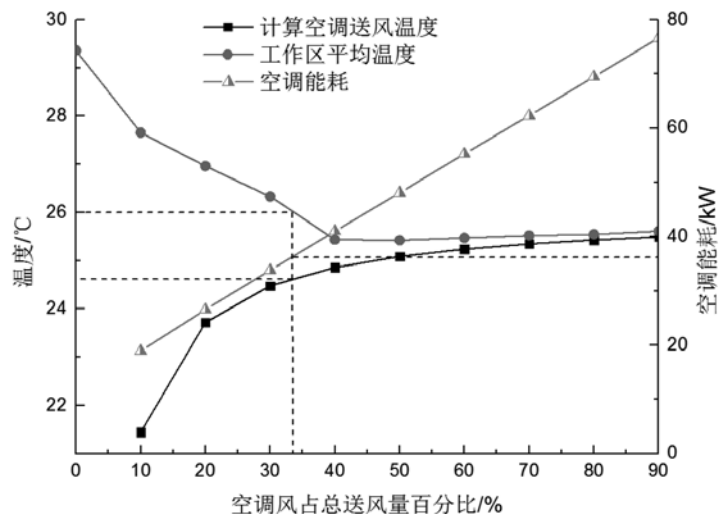


图3 夏季不同送风工况下工作区的平均温度及空调能耗

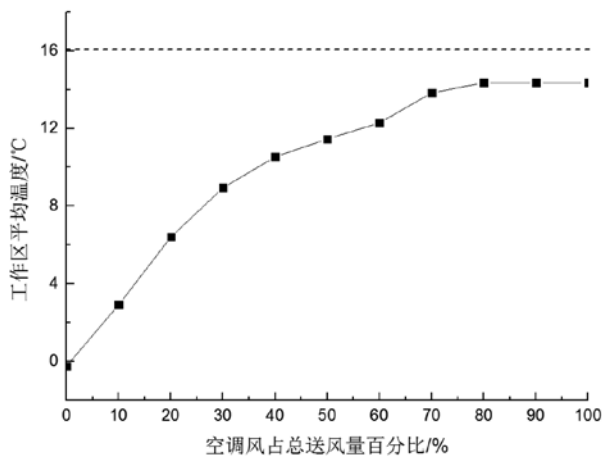


图4 冬季送风温度为14℃工况下工作区的平均温度

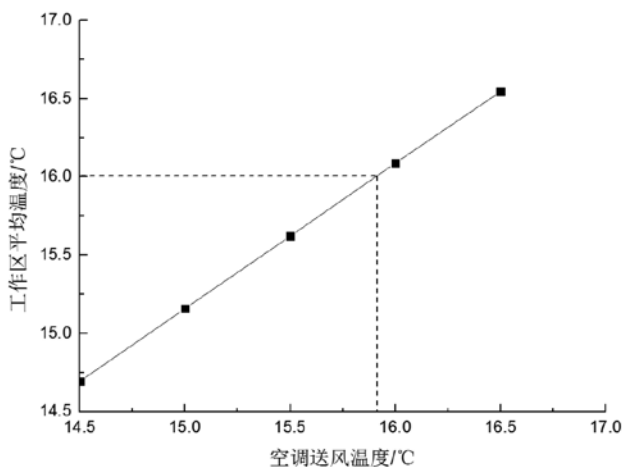


图5 冬季100%空调送风工况下工作区的平均温度

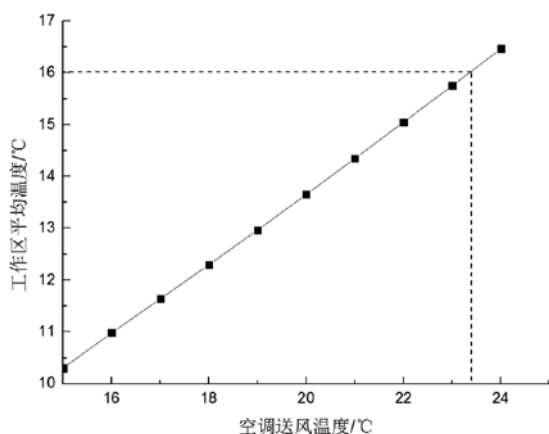


图6 冬季不同送风工况下工作区的平均温度

要处理的新风负荷约为189.7kW。

以上分析可知，冬季热厨采用全空调补风的空调能耗较大，因此，本文将夏季最小能耗的比例空调系统（空调送风比例34%）应用于冬季热厨采暖，研究冬季热厨工作区平均温度与空调送风

温度之间的关系，如图6所示，并讨论该系统在冬季的节能效果。

由图6可知，在空调风比例为34%的条件下，工作区平均温度随空调送风温度的升高而升高，当空调送风温度达到23.3℃时，室内温度可满足设计要求的16℃。经计算，该工况下空调需要处理的新风负荷约为82.7kW，相比于全空调补风工况，可节约56.4%的空调能耗。

3 结论

本文基于计算流体力学，用Airpak模拟软件对北京地区配餐厂房热厨间内温度场、气流组织等进行了数值模拟。模拟结果显示：

1) 夏季条件下，要使热厨间工作区内温度要满足设计要求，需要比例空调系统的最小空调送风比约为34%，该工况对应的送风温度为24.7℃；相比全空调补风工况，该工况可降低约57.0%的空调能耗。

2) 相关设计参考文献中^[3]有关厨房冬季空调送风温度的建议值不能满足厨房内16℃的温度设计要求，因此空调设计送风温度需要根据实际情况适当提高，从而达到室内设计标准；模拟得出，在全空调补风工况下，厨房工作区平均温度要达到16℃，空调送风温度至少需要提高至15.8℃。

3) 在夏季最小能耗送风（空调风占比34%）条件下，冬季空调送风温度达到23.3℃时，热厨工作区温度可满足设计要求的16℃。该工况下空调需要处理的新风负荷约为82.7kW，相比于全空调补风工况，可降低56.4%的空调能耗。

4) 综合以上说明，比例空调系统可有效的降低配餐厂房热厨间的空调能耗，在日后的工程设计中，工程设计人员可考虑应用该系统。

参考文献

- [1] 李自强. 商用厨房气流组织及能耗的仿真分析与实验研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2016.
- [2] 尚少文, 薄士强等. 公共厨房通风、空调及热环境模拟分析[J]. 四川建筑科学研究, 2015, 41(3): 201.
- [3] 《全国民用建筑工程设计技术措施(暖通空调·动力)》建质【2009】124号.

长三角地区某数据中心 空调系统设计

■ 李宏鹏 赵磊 [暖通]

摘要: 本文介绍了长三角地区某数据中心空调系统设计, 主要包括空调冷源、空调水系统、空调风系统等, 并对机房气流组织进行CFD模拟和验证。本数据中心在空调冷源设计上采用磁悬浮冷水机组、大温差高温供冷(18/28℃)、自然冷却以及热通道封闭等措施以保证PUE设计值<1.3。

关键词: 磁悬浮冷水机组; 大温差; 免费供冷; 气流组织; 热通道封闭; PUE

1 项目概况

本项目位于安徽省滁州市。机房标准按照《数据中心设计规范》(GB50174-2017)中规定的A级数据中心设计, 总建筑面积约2.5万m²。本项目主机房区域主体地上3层, 局部4层。本数据中心机柜数共计2446个(含列头柜、普通机柜、网络核心机柜), 全部为功率为4.4 kW的低密柜, 一层共480个机柜, 二层网络交换机共100个机柜, 二层数据机房共916个机柜, 三层共950个机柜。

2 数据中心空调系统

2.1 空调负荷及设计参数

数据中心因安装的均为发热量大的服务器设备, 热负荷构成主要为设备的显热负荷, 相比而言, 围护结构的负荷在总负荷的比例不足5%。空调系统的冷负荷主要受服务器设备数量影响, 因此, 在设计时必须充分考虑工艺专业提供的机柜设备负荷。机房内空调负荷概况如下^[1]:

a) 围护结构的传热: 墙体、窗。

b) 人体散热、灯光等负荷。

c) 新风负荷: 维持室内正压和人员卫生要求, 需要将新风送入机房, 处理这部风新风所需

要的负荷。

d) 设备负荷: 数据设备的发热量产生的负荷, 此部分负荷较大, 占空调负荷比重最高; 此部分负荷计算可按照数据设备的设计电流来计算。

e) 湿负荷: 新风和人员散湿导致的除湿负荷。

数据中心具有高发热量、低散湿量的特性, 其空调系统的负荷特点是显热负荷大、湿负荷小, 具有极高的热湿比^[2]。通过各类机房的计算和分析, 机房空调系统具有以下主要特点: 新风量小、显热负荷大、湿负荷小、空调送风量、全年制冷运行、设备负荷占比非常重等。数据中心负荷的显著特性是来自数据处理设备很大的内热显冷负荷和极高的显热比。数据中心内的主要热源是数据处理设备本身, 这部分热量高度集中、分布不均匀且可变。

本项目数据机房冷负荷为13350kW, 占整个项目冷负荷的94%。因该项目对安全性要求较高, 考虑机房全年无故障运行, 结合项目所在地极端最高温天气, 按照夏季室外计算干球温度39.4℃、湿球温度30.9℃配置冷却塔。本数据中心主机房、辅助区以及支持区等核心区室内设计参数见表1^[3]。

2.2 空调冷源设计

本工程属于大型数据中心, 数据中心的制冷系统占机房总功耗的比重较大。数据中心能耗各部分能耗比重以及空调系统各部分能耗比重如图1所示。从图1中可以看出, 空调系统占数据中心非

作者简介: 李宏鹏, 男, 助理工程师, 2014年毕业于河北工业大学建筑环境与设备工程专业, 现就职于航空工业规划电子工程设计研究院。

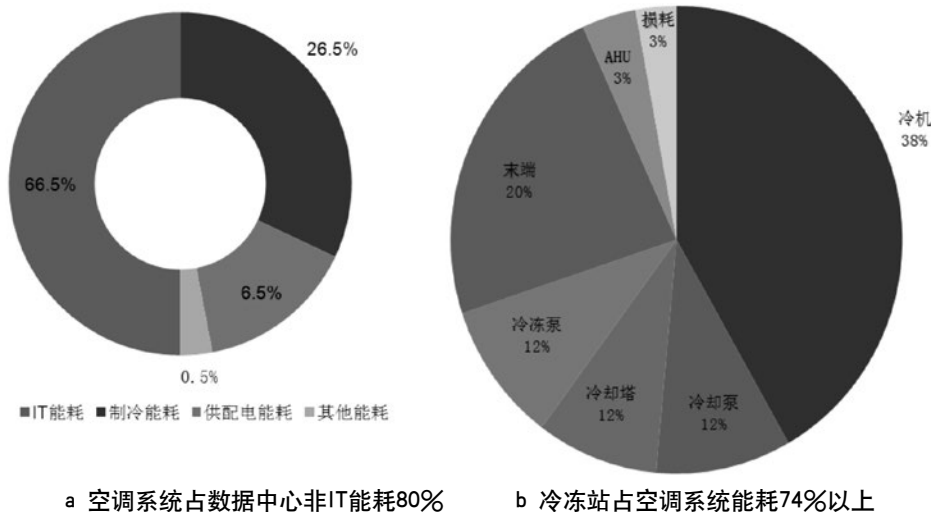


图1 数据中心能耗占比示意图

表1 数据中心室内设计参数表

	干球温度 ($^{\circ}\text{C}$)	相对湿度 (%)	最小换气次 数/新风量	房间压力 (Pa)	温度变化率 ($^{\circ}\text{C}/\text{h}$)
主机房	18~27	30~70	0.5	5~10	<5
主机房(热通道)	<40	---	0.5	5~10	---
主机房(停机时)	5~45	8~80	0.5	5~10	<5
辅助区(开机时)	18~28	35~75	---	---	<5
辅助区(停机时)	18~28	35~75	---	---	<5
不间断电源系统电池室	20~30	---	---	---	---

IT能耗80%，而冷冻站（含冷机、冷却塔、水泵等）占空调系统能耗74%以上。

数据中心机房集中冷源形式常采用方式为水冷式冷源或风冷式冷源，并考虑节能，尽可能地利用自然界的冷源能量（冬季低温时采用自然冷却模式）。

数据中心常见的水冷冷水机组形式有螺杆式冷水机组，离心式冷水机组以及磁悬浮离心式机组等。磁悬浮冷水机组相比传统的冷水机组无机械摩擦，噪音低，能耗低，效率高，能效比可提升20%以上。因此本项目采用了水冷磁悬浮冷水机组。

冷水主机是空调系统的主要用能设备，其能耗占到空调系统总能耗的50%~60%，是节能研究的主要对象。提高水冷式中央空调的供回水温度，则可以提高冷水主机的性能，供回水温度越高，冷水主机的COP越高，所耗电能越少，节能效果越好。当冷却水供回水温度不变（32/39 $^{\circ}\text{C}$ ）时，随着冷水温度提高，冷水主机的COP值变大，效率提高，当冷水温度由7/12 $^{\circ}\text{C}$ 提高到18/28 $^{\circ}\text{C}$ 时，离心式冷水主机的COP值提高了15%以上，节能潜力很大。因此本项目将冷水系统供

水温度确定为18/28 $^{\circ}\text{C}$ 。

本项目冷冻站设置于一层，蓄冷罐设置于室外地面。空调冷源采用磁悬浮变频离心式冷水机组，单台制冷量为：3500kW，冷冻水供回水温度：18/28 $^{\circ}\text{C}$ ，夏季工况冷却水供回水温度：32/39 $^{\circ}\text{C}$ ，冬季工况冷却水供回水温度：16.5/22.5 $^{\circ}\text{C}$ 。制冷系统为4+1冗余设置。制冷系统原理图如图2所示。

空调冷源系统设置蓄冷罐，能提供连续不间断冷源，可提供数据中心空调系统15min的冷水供应，保障数据中心供冷安全。本项目蓄冷罐所需总的有效容积为400 m^3 ，采用闭式蓄冷罐，设置于室外地面。

2.3 空调水系统设计

由于数据中心需要连续运行，因此冷冻水干管采用双回路设计。大型数据中心可能设计成二级或三级环路，这样在局部冷冻水管道或阀门发生故障时，可以关闭相邻的阀门进行在线维护和维修。为了便于日后的维护、维修、更换和扩展，需要安装设计相当多的阀门。冷冻水管和冷却水管不允许经过机房区域。在水管经过的区域需要设置下水道和漏水报警设备。典型的冷冻水循环管道回路如图3所示。本项目冷水管路设计为双母管+末端环路设计，保证系统可在线维护，提高可靠性。

2.4 自然冷却系统设计

本项目冷水系统考虑了自然冷却。水冷冷水系统根据全年室外季节变化，冷却水温度会不断变化，因此水冷系统冷冻水的制备将分3种工况，即采用电制冷模式、部分自然冷却模式和完全自然冷却模式，3种工况切换由自控系统实现。本项目带自然冷却水冷冷水系统中具有以下3种工作方式：

1) 当室外湿球温度 $T_{sh}>22.5^{\circ}\text{C}$ 时，开启完全靠冷冻机制冷模式，通过阀门控制使得板式换热器不工作。

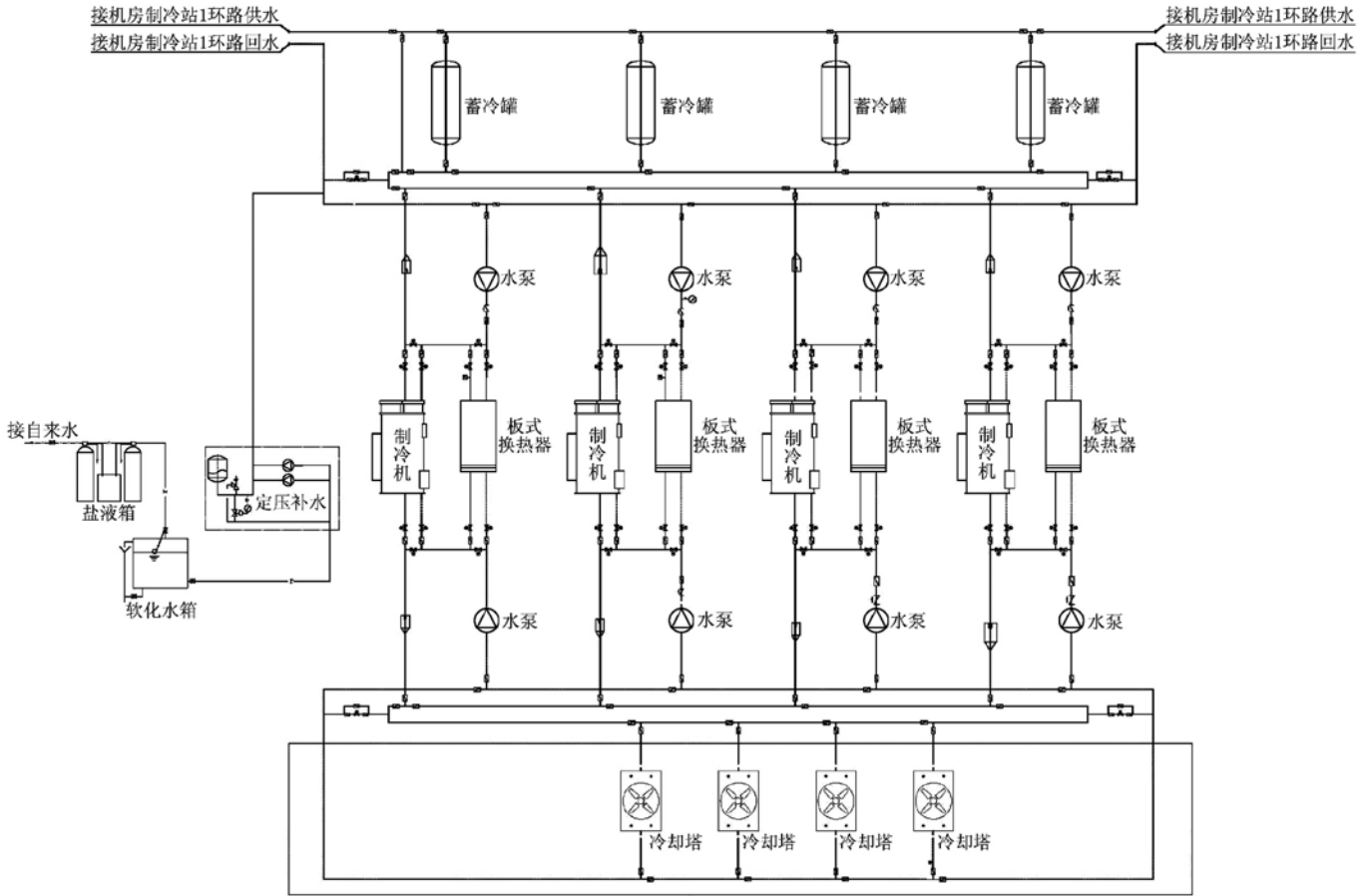


图2 制冷系统原理图

2) 当室外湿球温度 $T_{sh} < 12.5^{\circ}\text{C}$ 时, 采取完全自然冷却模式, 冷冻机关闭, 通过阀门控制冷冻水和冷却水只通过板式换热器。

3) 当室外湿球温度 $12.5^{\circ}\text{C} < T_{sh} < 22.5^{\circ}\text{C}$ 时, 开启部分自然冷却模式。这时冷却水和冷冻水要首先经过板式换热器, 然后再经过冷冻机组。

基于滁州地区的累年气象参数统计^[4], 如图4所示, 全年中约80.4%的时间可以利用自然冷却, 其中48.26%的时间(4228h)为完全自然冷却, 32.2%的时间(2820h)为部分自然冷却。

从以上数据可以看出, 由于本项目采取了高温大温差冷水(18/28 $^{\circ}\text{C}$), 当湿球温度 $T_{sh} < 22.5^{\circ}\text{C}$ 时, 即可利用自然冷却进行部分或者完全的免费供冷。全年统计下来, 约有176d时间可以实现完全的自然冷却, 约有117.5d的时间可以进行部分自然冷却。节能优势明显, 大大降低了本项目的PUE值。

2.5 空调风系统设计

2.5.1 数据机房气流组织形式

数据机房气流组织有多种形式, 通常采用精

密空调加风帽上送风、架空地板下送风、精密空调风管送风、列间空调送风。本项目采用架空地板下送风。架空地板下送风有如下优点:

1) 下送风方式是将低温空气直接从底部送到通信设备内, 吸收通信设备的热量后, 从机房顶部回到空调机组顶部。空调风流动方向与空气特性相一致, 容易得到好的空调效果。

2) 地板下空间比风管断面面积大很多, 形成静压箱, 因此下送风方式送风均匀, 整个机房区域的温差小。

3) 因为送风是在活动地板内, 从而使下风距离与上送风方式在同等条件下, 所需送风风压低, 空调设备和送风噪声相对会低一些。

4) 单从空调专业的角度出发, 下送风方式不需送风风管和送风口, 对于设计施工来说, 相对简单方便。空调设备的摆放就可以灵活进行调整。由于下送风将通信工艺所需的各类管线, 空调专业的管线均隐藏在活动地板内, 从而使得数据机房内显得整齐美观。仅从空调专业投资来说, 相对上送风而言投资会低一点。

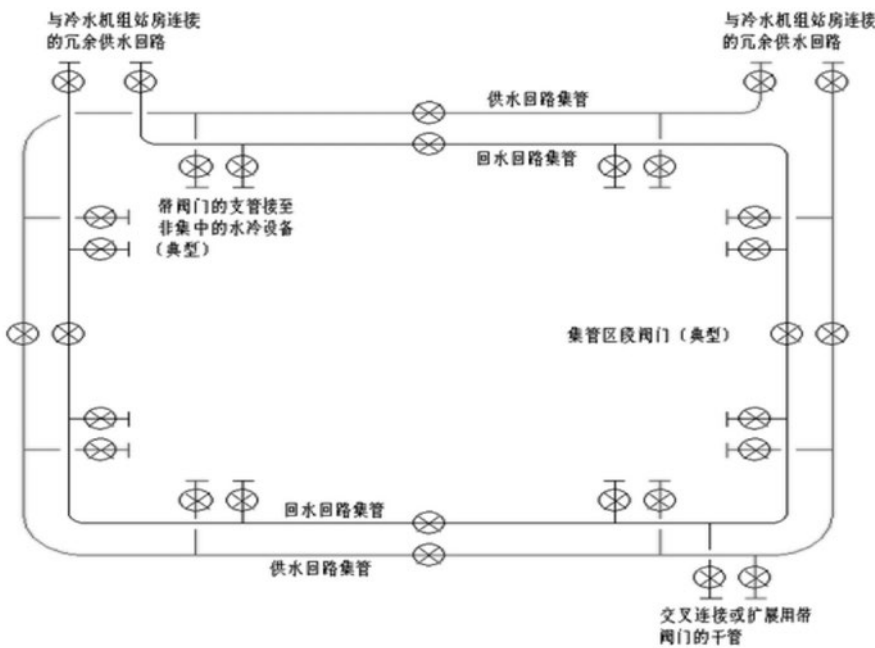


图3 冷冻水循环管道回路示意图

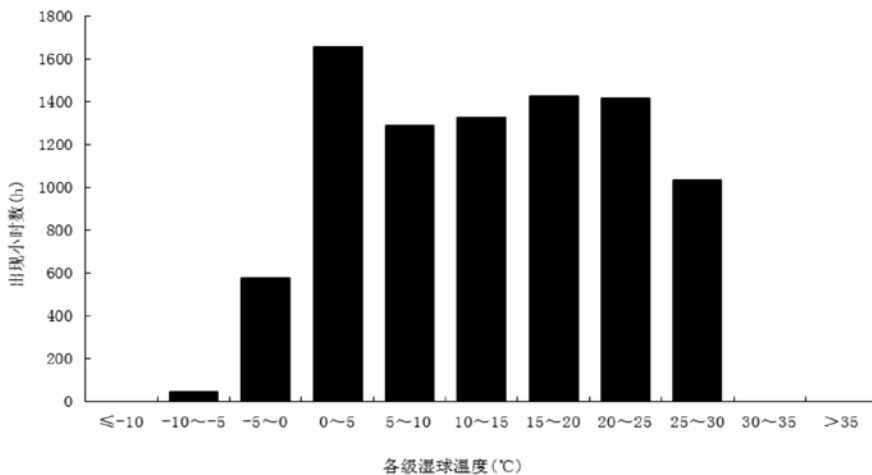


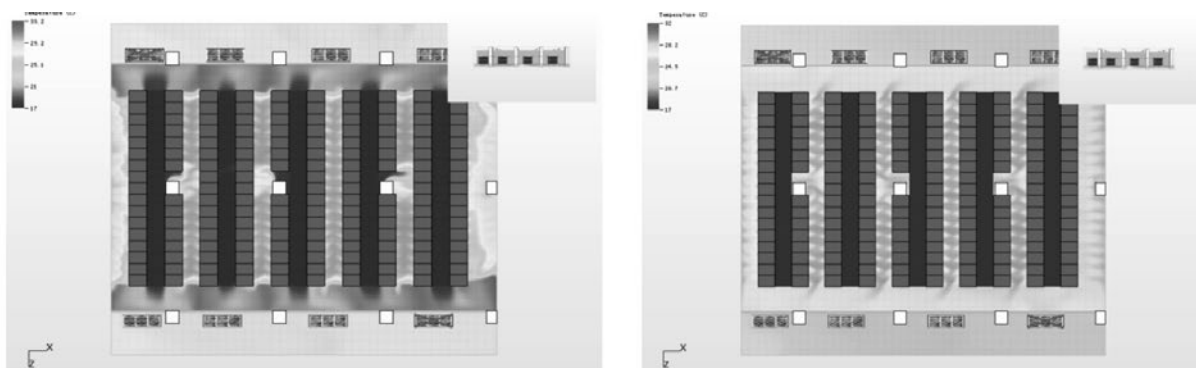
图4 滁州地区全年湿球温度频数图

2.5.2 机房冷、热通道设计

数据机房内的漏风是普遍存在的，研究资料表明，渗漏到其他处的风量占架空地板下送风量的10%~50%，甚至更大^[5]。

漏风对于空调系统的冷却效果会产生不利影响。首先，冷空气与热空气的混合使得空调机组的回风温度降低，使空调机组无法在设计工况下运行，降低了空调机组的实际供冷量。其次，由于漏风的存在，部分冷空气并未对服务器起到冷却作用而直接返回空调机组，降低了冷空气的有效利用率；再次，热空气渗透到服务器进口，与冷空气混合，导致服务器进口温度升高，影响服务器的冷却。

因此，计算机设备及机架采用“冷热通道”的布置方式，将机柜采用“背靠背”，“面对面”摆放，在两排机柜的正面通道中间布置冷风出口或者设置列间空调，形成一个冷空气区“冷通道”，冷空气流经设备后形成的热空气，排放到两排机柜背面的“热通道”，热空气回到空调系统，使整个机房气流、能量流动通畅，提高了机房空调的利用



a 冷通道未封闭

b 冷通道封闭

图5 冷通道封闭前后效果对比示意图

率, 进一步提高制冷效果。

以某机房为例, 通过CFD模拟分析冷通道封闭前后, 机房冷却效果的差异, 如图5所示。根据流体力学的知识可知, 风机的功率与风量的三次方成正比, 封闭通道后的通风量为未封闭通道时的80%, 则封闭通道后风机的功率为不封闭的0.5倍, 节能效果显著。

采用热通道封闭是使冷热气流隔离, 提高冷空气的利用率, 降低风机能耗; 同时, 有利于回风温度提高到 $35\sim 40^{\circ}\text{C}$, 送风温度控制在 $24\sim 26^{\circ}\text{C}$ 。送回风温度提高, 相应的冷水机组供回水温度也可以提高($18/28^{\circ}\text{C}$), 自然冷却时间也可以延长, 进一步提高空调系统制冷效率, 使PUE进一步降低。

本项目采取封闭热通道的制冷及气流组织模式, 送风温度为 24.1°C , 回风温度为 38.5°C 。精密空调设置单独的设备间, 机柜面对面摆放冷通道隔离并实现热通道封闭(防止冷气短路), 示意图如图6所示。现场安装示意图如图7所示。

2.6 CFD模拟

本项目机房主要功能区进行了CFD模拟。

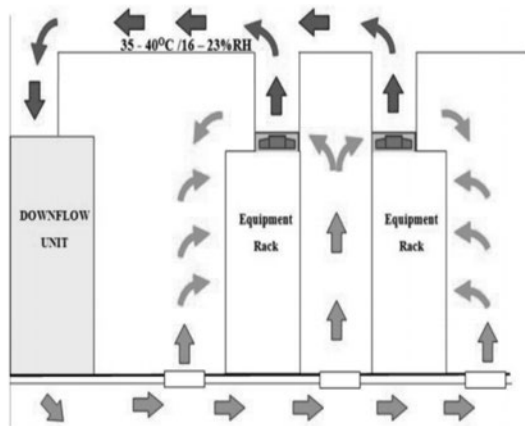


图6 热通道封闭示意图

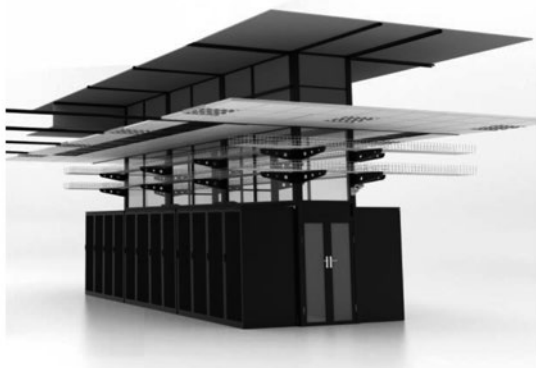


图7 热通道封闭现场安装示意图

CFD是计算流体动力学的简称, 是随着计算机技术而出现的一门新学科。它运用流体力学的基本原理, 通过建立数学物理模型, 根据提供合理的边界条件和参数, 对空调区域内气流的速度场、温度场、压力场等进行模拟计算, 通过电脑模拟出机房内的气流状况, 气流的温度, 流向被形象地演示出来。

模拟结果可用于新建数据中心空调设计方案可能产生的空调效果的模拟验证, 也可用于已经建设的数据中心空调效果的模拟检测, 便于发现数据中心内的热点的存在, 协助调整IT数据中心空调的气流组织形式、送风方式和气流速度等参数, 以提高空调效率, 例如在IT数据中心内增加格栅, 通过格栅定向调节风量使其均匀, 从而大大降低温度, 节省电量。CFD模拟示意图如图8所示。

本项目模块机房面积约 617m^2 , 模块包含234架IT机柜, 12架列头柜, 及10台房间级级空调, 8+2冗余设置, 每台空调显冷量 150KW 。机房整体布局如图9所示, 机房布局3D图如图10所示。

机柜底板以上不同高度位置温度场如图11、图12所示。

从图中可以看出机柜进风温度在 24°C 左右, 机柜出风温度在 $34^{\circ}\text{C}\sim 38.4^{\circ}\text{C}$, 无热点, 机柜进出风温度相差 $10^{\circ}\text{C}\sim 14.4^{\circ}\text{C}$, 满足使用要求。

通过图13可以看出, IT机柜进风温度为 $24^{\circ}\text{C}\sim 24.5^{\circ}\text{C}$, 无机柜过热情况, 整体模块工作情况良好。

根据以上温度云图显示, 机柜的进风口温度处于 $18^{\circ}\text{C}\sim 27^{\circ}\text{C}$ 范围内, 完全满足ASHRAE TC 11推荐的温度范围。机柜出风口温度最高温度为 38.4°C , 满足服务器的使用要求。机柜设备无过热情况, 无局部热点。模块冷热通道相互隔离, 冷热气流无交叉互串现象, 气流组织良好。由此得出, 机柜、密封通道和空调布局合理, 空调选

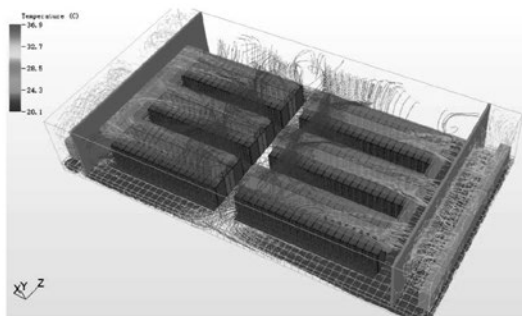


图8 CFD模拟示意图

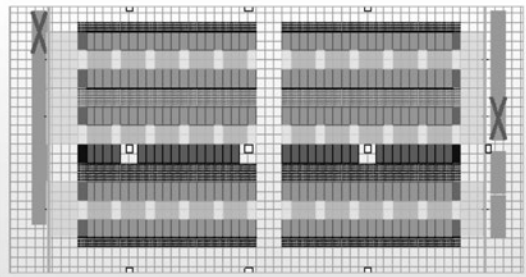


图9 模块机房整体布局图

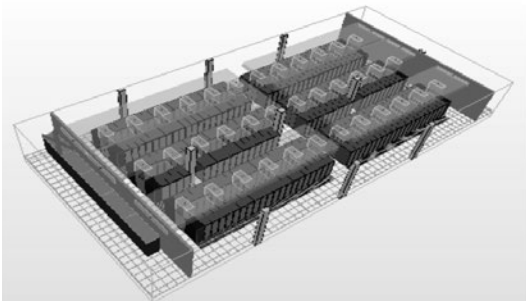


图10 机房布局3D图

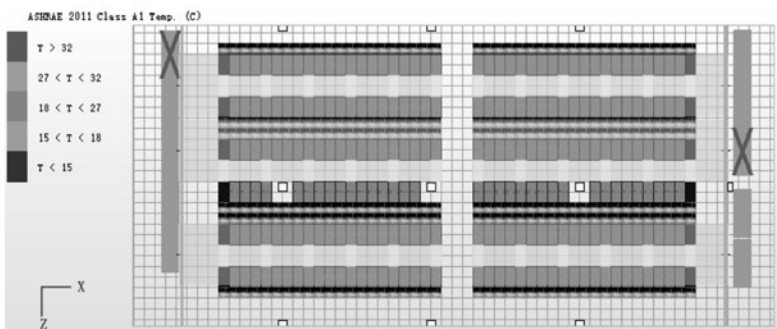


图13 机柜过热情况图

型配置准确,冷通道内温度符合ASHARE标准要求,热温度场均匀,无热聚集,无设备过热,整体气流组织良好,符合设计和使用要求。

3 数据中心节能设计

衡量数据中心是否节能实际上是衡量在保证设备安全稳定运行的前提下,各部分能耗的最佳比例,确保服务器和网络存储等设备能效比的最大化。目前有很多衡量数据中心能效的模型,其中比较有影响的是Malone等人提出的电能利用效率PUE(Power Usage Effectiveness)模型^[6]。全球数据中心的平均PUE是2.0,发达国家数据中心的PUE约为1.8,日本部分数据中心的PUE可达1.5,Google的数据中心PUE可达1.2。在我国,

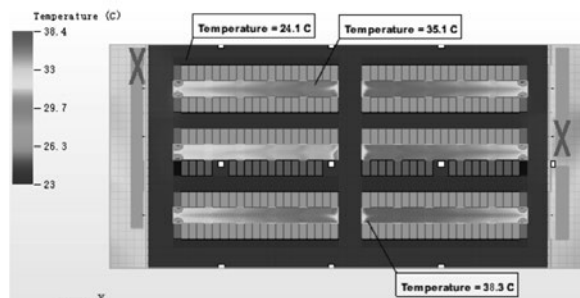


图11 机柜中部温度场视图(机柜底板以上1m处)

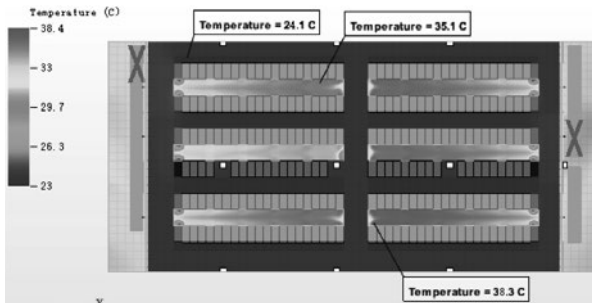


图12 机柜中部温度场视图(机柜底板以上1.8m处)

80%以上的数据中心PUE均大于2.0,有的甚至高达3.0^[7]。

2019年2月12日,工业和信息化部、国家机关事务管理局、国家能源局三部门联合发布了《关于加强绿色数据中心建设的指导意见》。《意见》中明确要求新建大型数据中心PUE达到1.4以下^[8]。本项目建设方设计输入文件中明确要求设计PUE值<1.3。

为了尽可能的降低设PUE值,以满足建设方需求,本项目采取了以下节能措施:

1) 采用自然冷却技术。随着气候环境条件改变,冷冻水的制备可根据控制制冷机出水温度在电制冷模式、部分自然冷却模式和完全自然冷却模式3种模式下切换。

2) 提高空调的供回水温度(18/28℃),同时采用大温差供冷,该措施大大提高了自然冷却的使用时长。

3) 本项目采用热通道封闭技术,较传统方式节能30%以上。

4) 本项目数据机房精密空调送回风温度为25/39℃,自然冷却时间较传统的数据中心项目延长至少30天以上。

5) 机房加湿采用独立式加湿器,采用湿膜加

表2 PUE值计算

	名称	全年总耗电量 (kwh)
1	IT设备总能耗	95203680
2	IT设备UPS损耗	11037600
3	配电系统总能耗	4393461
4	空调末端系统总能耗	6712416
5	冷水机组总能耗	6293902
6	PUE=数据中心总能耗/ IT设备总能耗	1.2987

湿形式, 机组布置在空调间回风区, 根据空气露点控制加湿量。

6) 冷水机组采用水冷磁悬浮变频离心机组, 相比传统的冷水机组能效比可提升20%以上。

本项目设计PUE计算见表2。通过表2可以看出, 本项目计算PUE=1.2987, 满足了设计PUE值小于1.3的要求。

4 结语

1) 无论是哪种自然冷却技术, 其可行性和节能效果均取决于当地气候条件, 因此在设计过程中, 应该对数据中心所在地的历年气象参数进行全面调查, 考虑到全球气候变暖等因素, 所采用的气象参数应该是最新的统计值^[9]。

2) 本项目采用18/28℃高温冷水, 目前在数据中心空调系统中鲜有这么高的供回水温度, 但经过CFD模拟, 证明对于本数据中心项目来说是切实可行并可靠的。随着服务器的功能提升, 数据机房环境温度随之也越来越高, 甚至可以突破目前标准推荐范围。在这种情况下, 空调冷源的供回水温度还可以进一步提高, 冷机能耗也将随之降低。

3) 磁悬浮变频冷水机组应用于数据中心项目明显较常规冷水机组更经济, 每年可节省37%~55%运行费用, 并且磁悬浮机组使用寿命厂, 运行寿命在15万小时以上, 较常规机组寿命长一倍, 因此磁悬浮机组特别适合像数据中心机房这种年运行时间长, 运行工况变化幅度大的场合使用^[10]。

4) 本项目在设计中也注重细节的设计, 比如采用水力计算软件对空调冷冻水、冷却水系统进

行了详细计算, 在满足实际使用需求的前提下可以起到降低能耗的目的; 在空调水系统关键阀门的选择上, 从经济性、安全性等角度综合考虑, 冷冻站内阀门选用对夹式蝶阀, 设置于走廊内的阀门选用凸耳式或法兰式蝶阀, 而对于最重要的机房空调间内, 阀门选用法兰式蝶阀。

参考文献

- [1]中国电子工程设计院. 数据中心设计规范: GB50174-2017[S]. 北京: 中国计划出版社, 2017: 17
- [2]文韬. 某数据中心空调系统设计[J]. 暖通空调, 2017, 47 (1): 55-58
- [3]中国电子工程设计院. 数据中心设计规范: GB50174-2017[S]. 北京: 中国计划出版社, 2017: 40
- [4]中国气象局气象信息中心气象资料室, 清华大学建筑技术科学系. 中国建筑热环境分析专用气象数据集[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005: 97-151
- [5]ASHRAE TC 9.9. 数据通信设备中心设计研究(原著第二版) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010: 121-125
- [6]Malone C, Belady C. Metrics to characterize data center & IT equipment energy use[C] // Proceedings of 2006 Digital Power Forum. Richardson, TX, 2006
- [7]钱晓栋, 李震. 数据中心空调系统节能研究[J]. 暖通空调, 2012, 42 (3): 91-96
- [8]工业和信息化部、国家机关事务管理局、国家能源局. 关于加强绿色数据中心建设的指导意见(工信部联节[2019]24号)[Z]. 2019-02-12
- [9]殷平. 数据中心研究(7) [J]. 暖通空调, 2017, 47 (11): 49-60
- [10]国德防, 祝建军. 数据中心机房中央空调解决方案——磁悬浮变频离心式机组在数据中心机房中的应用[J]. 第七届中国制冷空调行业信息大会论文集, 2014-12-09: 201-207

航空工业规划市政工程设计研究院

市政工程设计研究院（五院）是中国航空规划设计研究总院有限公司的直属实体单位，是公司在市政环境领域的专业团队，长期专注于市政公用工程、城市基础设施建设、生态环保节能等方面的投融资、咨询、设计和总承包业务，包括固体废弃物处理、循环产业园区规划、能源供应、市政水务、风力发电、生态修复和环境治理、交通与地下综合管廊等领域，承揽项目遍布全国，目前已延伸至海外。

市政院拥有完善合理的专业设置和高水平的人才队伍，为客户提供工程建设全价值链的优质服务。现设动力、总图、建筑、结构、给水排水、暖通与空调、电气与自控、运输、工程造价、咨询10个专业室，能源工程、固废处理、生态修复、交通与地下空间4个技术中心，综合管理、计划财务、技术质量安全、经营管理、生产管理、工程管理6个职能管理部门，以及广西象州、安徽广德、广东普宁等多个工程项目部。

市政院以市场为导向，坚持打造企业核心竞争力，细化专业分工，优化资源配置，注重技术创新，努力为客户提供高效、高附加值的服务。近年来，市政院在相关领域完成了多项精品工程，获得了数10项国家和省部级奖项，成果斐然，实现了经营规模的飞跃发展。市政院主要代表作品包括北京鲁家山生物质能源项目（3000吨/日），沈阳大辛垃圾焚烧发电厂（3000吨/日）、广州市东部固体资源再生中心（生活垃圾、餐饮、厨余垃圾及禽畜尸体、生活粪便处理）、郑州市（东部）环保能源工程（4000吨/日）、贵阳市白云区地下综合管廊、祁连山区山水林田湖生态修复与治理EPC工程、赤峰市中心城区给水厂（14万吨/日）等，工程规模均位于全国行业前列，具有广泛的影响力，其中，2013年底投产运营的北京鲁家山项目年均接待参观人员逾10000人，已成为北京市著名环保教育基地。

以“规划梦想，共创辉煌”为理念，市政院已打造出一支有远见、负责任、高执行力的团队，在为客户创造价值的同时，成就自身品牌实力。市政院主要业务领域包括：城市静脉产业园区规划（循环静脉产业园区规划、环保生态园区规划及城市设计、城市热力管网区域规划）；固体废弃物处理工程（生活垃圾焚烧处理工程、危险废弃物处理工程、建筑垃圾处理工程等）；生物质垃圾处理工程（餐饮垃圾处理工程、厨余垃圾处理工程、生活粪便和禽畜尸体处理工程）；能源供应（城市集中供热工程、燃机发电工程、分布式能源工程）；市政水务工程（城市给水工程、污水处理工程、渗沥液处理工程）；生态修复与环境治理工程（大气治理工程、河道治理工程、土壤修复工程）；交通与地下综合管廊工程（路桥工程、管廊与管网工程）。



2019年第3期（总第143期）
2019年6月出版



陕西关中固体废物处置利用中心项目