

航空工程建设

AERO-INDUSTRY ENGINEERING CONSTRUCTION

2015年第5期 总第121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

顺义发动机总部科研楼

建设地点：北京 顺义

设计单位：中航规划动力院

建设情况：建成

建筑面积：72 273m²

好的建筑不仅仅是关于建筑的样式，更是关于空间的塑造和由空间所产生的总体形象。对于该项目来说，与单独的办公建筑相比，建设一个组合、群落式的总部园区，更能充分地塑造航空产业园的气质形象，反映航空产业间的紧密联系。

该科研楼位于产业园西南角，是发动机产业园的核心建筑，承担发动机的研发任务。建筑主体和与园区建筑对位的轴线上围合形成的礼仪性开放式中心广场成为产业园整体空间的焦点。平面布局以模块化的形式体现在建筑中，形成独特的标志界面。四个相近的方形体量，通过旋转、重复，利用体块间的穿插和虚实对比的手法进行建构，形成具有韵律且相互咬合的连续运动形体和相暗合的精神内涵，以此完成对行业精神的表达。各体量之间通过交流空间及空中连廊来相互连接，既是功能需要，也强化了可发展的空间模块概念。

在室内设计方面，依然以流畅的线条为主，体现出发动机公司特有的气质与内涵。材料和选色映射了园区的景观环境，再次呼应了园内办公区开放现代的风格理念。



国务院力推海绵城市： 每平方公里投资过亿

9月29日，国务院总理李克强主持召开国务院常务会议，要求大力建设海绵城市，提高城镇化质量。

会议要求，自今年起，要在城市新区、各类园区、成片开发区全面推进海绵城市建设，在基础设施规划、施工、竣工等环节都要突出相关要求。增强建筑小区、公园绿地、道路绿化带等的雨水消纳功能，在非机动车道、人行道等扩大使用透水铺装。会议也提出，海绵城市要与地下管廊、棚户区、危房改造和老旧小区更新相结合，加强排水、调蓄等设施建设，快解决城市内涝、雨水收集利用和黑臭水体治理等问题。

保守估算，海绵城市建设将拉动超万亿的投资，国务院发展研究中心市场经济研究所所长任兴洲称，此次国务院常务会议部署加快海绵城市建设，有效推进新型城镇化，与此前拉开序幕的全国城市地下综合管廊、棚户区、危房改造相辅相成，对于经济的拉动作用不容小觑。

住房城乡建设部调整企业资质管理工作 为建筑业企业释放政策红利

住房城乡建设部10月9日下发通知明确，企业申请施工总承包特级资质，不再考核国家级工法、专利等指标；取消建筑工程施工总承包一级资质企业可承担单项合同额3000万元以上建筑工程、特级资质企业限承担施工单项合同额6000万元以上建筑工程的限制。业内人士评价认为，在当前经济下行压力加大的情况下，住房城乡建设部对有关政策及时进行调整，行政审批程序进一步简化，建筑市场进一步放开，为建筑业企业释放政策红利。

此举旨在充分发挥市场配置资源的决定性作用，进一步简政放权，促进建筑业发展。按照通知，取消《施工总承包企业特级资质标准》中关于国家级工法、专利、国家级科技进步奖项、工程建设国家或行业标准等考核指标要求，对申请施工总承包特级资质的企业不再考核上述指标。

住建部：“十三五”期间将有中国建筑 如“搭积木”般建造

住房和城乡建设部副部长王宁在此间举行的第十四届中国住宅博览会上说，我国正酝酿在国家层面研究出台推进住宅产业化发展的指导意见和“十三五”规划。分析人士称，这意味着未来五年我国住宅产业化或将迎来爆发式增长，将有更多中国建筑如“搭积木”般建成。

这种“搭积木”般的盖房模式，用专业术语来说就是住宅产业化。形象地说就是我们现在居住的住宅在未来的建造过程中就像生产汽车一样，将住宅部品和构件交由不同专业工厂进行生产，然后运送到建筑工地进行组装搭建。这样一来就可以大大减少过去现场浇注方式带来的污染、噪音、浪费以及各种质量问题，不仅可以提高建设效率，节省人力，更有利于全面提高建筑工程质量和品质，是未来建筑业发展的方向。

住建部：五大措施促进住宅产业化发展

我国住宅产业化发展速度非常快，截止到2013年底，全国累计新开工的产业化建筑面积1200万 m^2 ，2014年新开工的产业化建筑面积达到1800万 m^2 ，2015年预计将超过4000万 m^2 。

住宅产业化将产生巨大的经济社会环境效益。大力推进住宅产业化，有利于促进建筑业转型升级和创新发展，提高企业核心竞争力，形成新的产业集群，培育产业链条，打造新的经济增长点；有利于消解钢铁、水泥、机械设备以及建材部品等过剩产能，通过产业转型和拉动出口，带动国民经济发展；有利于践行生态文明发展目标，全面推进建设领域节能减排、减少污染、提高资源能源利用效率等工作向纵深发展；有利于促进农民工向产业工人转变，实现农业转移人口市民化，推动新型城镇化发展；有利于解决质量通病和顽症，提高建筑质量、性能和品质，满足不断提升的居住需求。

住建部：坚决打赢治理违法建筑攻坚战

10月17日，住房和城乡建设部在浙江省义乌市召开全国治理违法建筑工作现场会，学习推广浙江经验，部署全国治理违法建筑工作。住房和城乡建设部部长陈政高出席会议并讲话。各省、自治区、直辖市住房和城乡建设部门主要负责人和部分城市政府分管负责人约150人参加会议。

改革开放以来，我国城镇化取得了举世瞩目的成就，但相伴而生的违法建筑也随处可见，破坏了城市形象，破坏了公平正义，破坏了法制尊严，破坏了政府公信力。违法建筑范围广、危害大、影响深，全面推进治违已势在必行。会上，陈政高对下一步工作提出五点要求：一是要争取党委政府的大力支持，力争让治违工作列为党委、政府的一把手工程。二是要形成强大的社会氛围。要充分发挥好我们的体制优势，动员党政部门、社会大众、媒体网络等各方面的力量，在全社会形成治理违法建筑的强大氛围。最大限度地争取群众的理解和支持，最大限度地在全社会形成共识，最大限度地创造治违的有利局面。三是要制订好时间表、路线图。各地要结合学习浙江经验，精心制订本地的治违工作方案。切实摸清违法建筑底数，明确工作目标和工作任务，并向社会公布，给人民群众一个郑重承诺。四是要建立长效机制。从现在开始，以前的违法建筑必须全面治理，以后不再产生新的违法建筑。五是要勇于担当。各级领导干部一定要有强烈的责任心，以抓铁有痕、踏石留印的精神，勇往直前，冲锋陷阵，不达目的决不罢休。

日本建筑垃圾再利用率已达100%

日本从20世纪60年代末就着手建筑垃圾的管理并制定相应的法律、法规及政策措施,以促进建筑垃圾的转化和利用。日本尽量不从施工现场排出建筑垃圾,建筑垃圾要尽可能重新利用,对于重新利用有困难的则应适当予以处理。早在1988年,东京的建筑垃圾再利用率就达到了56%。在日本很多地区,建筑垃圾再利用率已达100%。美国、韩国、奥地利、荷兰等都有针对建筑垃圾再利用的要求或处理办法。

住建部查处挂靠建筑资质企业807家

10月27日，住房和城乡建设部下发通知：企业申请施工总承包特级资质，不再考核国家级工法、专利等指标；取消建筑工程施工总承包一级、特级资质企业可承担相应的单项合同额建筑工程的限制。通知中还明确，对已有资质的建筑业企业，资质换证调整为简单换证，资质许可机关取消对企业资产、主要人员、技术装备指标的考核。这意味着，建筑业企业今后将不再“被迫”挂靠相关工程师证书。

住建部还披露，截至今年9月底，全国各地共查处有转包行为的企业626家，有挂靠行为的企业807家，有出借资质行为的企业235家。对存在违法行为的企业和人员，主管部门分别采取了停业整顿、罚款、限制招投标资格等一系列行政处罚或行政管理措施。

住建部建筑市场监管司相关负责人介绍，下一步，在企业首次申请资质以及资质的升级、增项时，许可机关通过核查主要人员的社会保险证明，一定程度上，也能防止个人执业资格的挂靠问题。

中航规划和中航勘察院共有4个项目获第十四届全国优秀工程勘察设计奖

日前，住房和城乡建设部公布了第十四届全国优秀工程勘察设计奖的评奖结果，中国航空规划设计总院有限公司和中航勘察设计院有限公司共有4个项目获奖，其中，金质奖1项，银质奖3项。

由中航规划与多家研究院及专家合作的“民用建筑电气设计与施工”获金质奖，中航规划“中国计量科学研究院昌平基地”，中航规划与其他三方合作的“成都金沙遗址博物馆文物陈列馆”项目和中航勘察院的“北京飞机维修工程有限公司A380机库岩土工程勘察及沉降咨询”项目获银质奖。

全国优秀工程勘察设计奖是我国勘察设计行业的最高荣誉，涵盖了建筑、交通、铁路、水利、电力、冶金等众多行业。该奖项1980年迄今共完成了14届评选，获奖项目累计达4405项。

BIM与建筑信息化技术应用交流会在京开幕

2015年9月9日，由住房和城乡建设部科技与产业化发展中心主办，北京国建融科信息技术有限公司、全国建筑节能与建设科技推广服务平台承办的“BIM与建筑信息化技术应用交流会”在北京隆重召开。上百名工程建设行业从事建筑信息化技术的专家、学者、技术人员参加本次交流会，共同分享BIM与建筑信息化技术在工程建设中的应用实施与探索经验。

在大会主题演讲部分，来自政府、企业和研究单位的领导、专家学者和一线实践者带来十余场精彩的学术报告，内容涵盖建筑信息模型（BIM）技术与意见解读、BIM在建筑设计施工及产品选型应用与实施、BIM大型数据库介绍及入库流程讲解、BIM在工程建设项目中的应用与实践、绿色建筑设计材料BIM的应用与发展五大热门课题。此外，还有来自各企业代表就在不同系统中BIM的应用展开项目交流。

绿色建筑标准化提速

在新版《绿色建筑标准评价》正式实施大半年后，《既有建筑绿色改造评价标准》、《绿色医院建筑评价标准》、《绿色博览建筑评价标准》目前也已进入报批阶段，有望年内实施。

此次新版标准有四大主要变化，一是将适用范围由住宅建筑和公共建筑中的办公建筑、商场建筑和旅馆建筑扩展至各类民用建筑。二是调整评价方法，对各评价指标评分，并以总得分率确定绿色建筑等级。相应地，将旧版标准中的一般项改为评分项，取消优选项。三是在“四节一环保 运行管理”的六类指标的基础上，增加“施工管理”类评价指标。四是增设加分项，鼓励绿色建筑技术、管理的创新和提高。

最新统计资料显示，今年上半年我国绿色建筑依然呈现出强劲的增长势头，截至2015年6月30日，全国共评出3194项绿色建筑评价标识项目，同比去年数量翻番，总建筑面积则达到3.6亿 m^2 。其中设计标识项目3009项，占总数的94.2%，建筑面积为3.4亿 m^2 ；运行标识项目185项，占总数的5.8%，建筑面积为2194.8万 m^2 。

中国建筑资产财富总值全球第一

全球领先的自然及建筑资产设计和咨询公司凯迪思(Arcadis)于19日最新发布的全球建筑资产财富指数(Global Built Asset Wealth Index)显示，按建筑环境价值计算，中国已成为全球最富有的国家。

凯迪思在报告中称，全球建筑资产财富总值目前约为218万亿美元，相当于人均财富总值30700美元。中国现以47.6万亿美元的资产总值超越了美国的36.8万亿美元建筑资产总值，名列全球第一。该报告分析，自中国于2000年投资33万亿美元于建筑资产并超过其他经济体总和后，中国在其基础设施投资上录得前所未有的增长，投资额相等于国内生产总值的9%，远超美国(仅2%)及全球其他竞争者。

据凯迪思介绍，中国大量依赖投资增长模式，意味着至2025年中国建筑资产库存价值将超过美国2倍多并将超过其他4个经济体的总值总和；建筑资产库存与国家的经济产量有着密切关系，平均而言，约为国内生产总值的2.9倍。

中国建筑工业化与发达国家相差逾10倍

近日，中国工程院土木水利与建筑工程学部院士周福霖在中建一局主办的绿色建造与可持续发展论坛上表示，目前中国建筑工业化程度仅为3%~5%，而欧美建筑工业化达75%，瑞典更是高达80%，日本也能达到70%。这意味着中国的建筑工业化程度与欧美等发达国家相比相差超过10倍。

资料显示，建筑工业化起始于20世纪30年代的欧美国家，在我国起步较晚。建筑工业化通俗地讲就是“像造汽车一样造房子”。传统的建筑方式是在施工现场对各类建筑原材料进行加工、堆砌、浇筑成为建筑物，而建筑工业化是将各类建筑原材料在工厂预制，运输到施工现场后通过装配成为建筑物。建筑工业化具有设计标准化、生产工厂化、施工机械化、管理科学化的基本特点，具有高效快捷、高质量低成本、环保可持续等优势，是现代建筑业的发展方向。

住房城乡建设部关于建筑业企业资质管理有关问题的通知

建市[2015]154号

各省、自治区住房城乡建设厅，直辖市建委，新疆生产建设兵团建设局，国务院有关部门建设司，总后基建营房部工程管理局：

为充分发挥市场配置资源的决定性作用，进一步简政放权，促进建筑业发展，现就建筑业企业资质有关问题通知如下：

一、取消《施工总承包企业特级资质标准》（建市[2007]72号）中关于国家级工法、专利、国家级科技进步奖项、工程建设国家或行业标准等考核指标要求。对于申请施工总承包特级资质的企业，不再考核上述指标。

二、取消《建筑业企业资质标准》（建市[2014]159号）中建筑工程施工总承包一级资质企业可承担单项合同额3000万元以上建筑工程的限制。取消《建筑业企业资质管理规定和资质标准实施意见》（建市[2015]20号）特级资质企业限承担施工单项合同额6000万元以上建筑工程的限制以及《施工总承包企业特级资质标准》（建市[2007]72号）特级资质企业限承担施工单项合同额3000万元以上房屋建筑工程的限制。

三、将《建筑业企业资质标准》（建市[2014]159号）中钢结构工程专业承包一级资质承包工程范围修改为：可承担各类钢结构工程的施工。

四、将《建筑业企业资质管理规定和资质标准实施意见》（建市[2015]20号）规定的资质换证调整为简单换证，资质许可机关取消对企业资产、主要人员、技术装备指标的考核，企业按照《建筑业企业资质管理规定》（住房城乡建设部令第22号）确定的审批权限以及建市[2015]20号文件规定的对应换证类别和等级要求，持旧版建筑业企业资质证书到资质许可机关直接申请换发新版建筑业企业资质证书（具体换证要求另行通知）。将过渡期调整至2016年6月30日，2016年7月1日起，旧版建筑业企业资质证书失效。

五、取消《建筑业企业资质管理规定和资质标准实施意见》（建市[2015]20号）第二十八条“企业申请资质升级（含一级升特级）、资质增项的，资质许可机关应对其既有全部建筑业企业资质要求的资产和主要人员是否满足标准要求进行检查”的规定；取消第四十二条关于“企业最多只能选择5个类别的专业承包资质换证，超过5个类别的其他专业承包资质按资质增项要求提出申请”的规定。

六、劳务分包（脚手架作业分包和模板作业分包除外）企业资质暂不换证。

各地要认真组织好建筑业企业资质换证工作，加强事中事后监管，适时对本地区取得建筑业资质的企业是否满足资质标准条件进行动态核查。

本通知自发布之日起施行。

中华人民共和国住房和城乡建设部

2015年10月9日

2013-2014年度优秀论文评选结果



为活跃学术氛围，鼓励各专业人员钻研技术，提高员工撰写高水平学术论文的积极性。中航规划依据公司“关于印发《中国航空规划建设发展有限公司科技论文管理办法》的通知（建发技[2014]128号）”的规定，对2013至2014年度发表的论文开展评选活动。经各专业技术委员会评定，《巨型钢管桁架在大跨度机库结构中的应用》等5篇论文获得2013-2014年度优秀论文一等奖，《白俄罗斯工程造价计价模式探究》等7篇论文获得二等奖，《地下水源热泵在中关村科技展示中心的应用》等8篇论文获得三等奖（获奖名单见下表）。往期《航空工程建设》刊登过部分获奖论文，本期将刊登余下论文，供交流学习。

奖项	专业	论文	作者	刊登期数
一等奖	结构	巨型钢管桁架在大跨度机库结构中的应用	裴永忠、徐瑞	2012年03期
	结构	汽车所致虎门遗址振动全过程性能化研究	葛家琪、马伯涛等	本期2页
	工程造价	建设项目全过程造价控制要点分析	庞亚玲	2015年04期
	规划	临空经济区空间发展模式及趋势展望	胡赵征、李守旭	本期34页
	暖通	燃气冷热电三联供系统在航空工业园区的应用	刘晓雨、肖武	本期41页
二等奖	结构	高烈度地震区三种超高层结构体系性能比较	谢军、金来建	本期11页
	结构	中国商飞大型客机制造工程技术大楼结构设计	樊钦鑫、景辉、贾洁等	2013年03期
	工程造价	白俄罗斯工程造价计价模式探究	李锐娟	2014年06期
	工程造价	与施工方案相关的措施费计算方法研究	李玲	本期55页
	规划	美国通用航空产业成功经验的启示	马杰、陈阳	2015年01期
	暖通	网架内管道膨胀与固定的分析	申剑、傅建勋	本期49页
	工艺	飞机移动装配线生产管理系统研究	张超	2014年06期
	结构	卢旺达基加利会展中心大跨单层网壳结构设计	裴永忠、林涛、汤红军等	2013年01期
三等奖	结构	高建钢对多层大悬挑结构体系与节点性能影响分析研究	王明珠、葛家琪、王树等	本期19页
	结构	组合楼盖在超高层建筑中的应用	金来建、谢军	本期29页
	工程造价	垃圾焚烧发电项目概算编制体系及实践——以北京首钢生物质能源项目为例	苗宇	本期60页
	工程造价	管桩造价指标影响因素分析	孟繁	本期63页
	规划	民航机场航空业务量预测	王锋刚、王勇传	2013年01期
	暖通	地下水源热泵在中关村科技展示中心的应用	孟凡兵	2013年02期
	工艺	民航维修基地布局研究	闫慧	本期69页

(排名不分先后)

工艺专业



工艺专业青蓝工程启动

9月28日，工艺专业总工艺师、副总工艺师与2015届入职的新同事进行了一次轻松愉悦的座谈会，启动了“青蓝工程”培养计划。

座谈会上，新同事们回顾了半年来的工作情况，充分表达了工作中的喜悦、兴奋、困惑和期盼。工艺总师、副总师从工艺专业的历史、现状、发展与价值等方面，结合自身经历，与年轻人充分交流，谈感受、说期望、提要求，为年轻人答疑解惑。

本次座谈会标志着2015~2106年度工艺专业“青蓝工程”的启动。年轻人的到来，为工艺专业发展注入了新的活力，但也迫切需要系统和全面地学习和成长。未来的一年，工艺总师们将不间断地提供指导和授课，通过“传、帮、带”传承工艺专业的优良传统，希望年轻人加强学习，创新思维，快速成长为适应公司发展需求的青年骨干人才。

结构专业

刘树屯大师莅临公司交流

9月29日，由公司结构专业技术委员会和民航院联合组织，特邀原中国航空规划设计研究院副总结构师、公司首席专家，全国勘察设计大师刘树屯来公司做《奇特钢结构及工程质量事故分析》专题讲座。

刘树屯大师结合自身几十年设计、施工积累的丰富工程经验，以独特的工程见解对鸟巢等一大批国内新颖、奇特钢结构建筑的设计、施工进行了深入剖析，开拓了公司广大结构专业设计人员的眼界，从设计思想上给予启迪。同时，结合国内一些钢结构建筑在建设过程中出现的质量事故，分析总结了钢结构建筑设计、加工、施工中容易出现的问题以及解决的方案，立足培养公司结构设计人员在钢结构建筑设计中发现问题、解决问题的能力，使公司广大结构设计人员受益匪浅。

公司总工程师陆国杰全程参与交流，并在会后会同金来建总结构师及部分副总结构师与刘树屯大师就公司结构专业技术创新、专业发展、质量把控等系列问题展开了亲切友好的交流。



电气专业

公司“质量月”电气专业活动

公司9月份要求各专业开展“质量月”活动，针对近期出现的建筑物漏水、地坪沉降等问题进行分析、总结、举一反三，得出结论在今后的设计工作中尽量减少类似的问题出现，电气专业参加并进行了下述工作。

电气专业深受“漏水”问题的侵扰，近期发生了多次由于“漏水”造成的厂房内部敷设的“密集型”母线发生短路爆炸的现象，造成较大的经济损失。针对这一问题，我们积极参加公司技术质量部组织的技术研讨会，将研讨会后编制的《航空项目整体防水工程管理规定（征求意见稿）》在电气专业技术委员会和室主任间进行讨

论、提出意见；针对近期出现的“密集型”母线发生爆炸事件，在公司电气专业技术委员会和公司室主任两个微信群中发起热烈的讨论；并在9月17日召开的全体电气专业设计人员大会上，由电气专业总师丁杰进行防范漏水造成电气事故问题的技术交流报告，较为详细分析了发生短路的原因；在9月22日召开了电气专业技术委员会和电气专业室主任范围的技术交流。通过上述活动，总结出电气专业在“漏水”的问题上应该采取“惹不起要躲得起”态度，尽量躲开有可能“漏水、事故喷水”的场所、采取措施防止“漏水、事故喷水”造成的电气事故。

公司电气专业参加国防系统设计院电气专业技术交流会

2015年9月10日至11日，国防系统设计院电气专业技术交流会在许昌召开，我公司与航天、核工业、兵器、船舶等国防设计院同为该交流会的创始单位。会上，我公司电气专业总师丁杰做了关于电气安全问题的专题交流讲座，就多起用电安全事故进行了分析，提

醒设计师安全无小事，必须要重视电气安全问题，赢得了与会设计师的好评和共鸣。本届交流会论文投稿共约150篇，其中公司电气专业多篇论文分获一、二、三等奖，这些都对扩大公司电气专业的影响力、巩固公司电气专业在国防系统设计院中的地位起到了积极的作用。

老专家做技术报告

任元会老先生于1954年从华中科技大学毕业后到公司工作，一直从事航空工业、民用建筑的电力系统配电、照明及自动化的管理研究工作。任老先生退休后，也一直没有离开自己工作的领域，积极帮助年轻人进步，在奉献中体现着自身的价值。10月13日，公司请任老先生给公司广大的电气设计人员做了“应选用什么样的LED灯”的主题讲座。

任老先生虽已84岁高龄，但在讲课过程中不仅思路清晰严谨，且又不失风趣幽默。任老先生从大环境、大趋势等多方面分析LED灯的发展与现状，而后又重点解析了LED灯在建筑照明中应如何应用、选用的原则、依据以及如何规定应用LED灯的技术要求，并根据自己多年的研究经验，给出了特别适用于实际情况的建议，最后还从产品标准入手，详细说明了产品的差异性和存在的问题。

给排水专业

给水排水专业2015年质量月总结

根据公司《关于开展公司2015年“质量月”活动通知》的总体部署，给水排水专业技术委员会于9月上旬举行了建筑屋面防水研讨会；另外，给排水专业总师与建筑专业技术委员会成员就屋面排水的系统选择、专业间配合等多方面问题进行了交流。

研讨会上，大家仔细分析了各院所做工程发生的屋面、雨水管

道漏水情况、漏水原因，讨论了避免此类问题的措施，得出了在设计过程中控制、设计图纸深度、设计交底、现场检查四个方面加强控制，可确保整个排水系统质量的结论。具体措施拟汇入正在编制的“航空项目屋面防水工程管理暂行规定”。

工程管理专业

工程管理专业技术委员会举办“工程管理专业培训课程体系”培训会

9月28、29日和10月14、15日，工程管理专业技术委员会和航空业务部连续组织举办两期“工程管理专业培训课程体系”培训会。从事工程管理的相关人员共两百余人参加本次培训。

此次培训课程是工程管理专业培训课程体系的一部分，结合当前公司要求及项目运行实际需求，培训包括三方面内容：一是由外部专家讲授工程项目管理系统软件上线的“项目管理平台系统应用

及操作”；二是由技经专业总师讲授“工程项目采购相关规定、合规性问题及案例讨论”；三是由新版“建筑工程施工质量验收统一标准”主编人员针对国家规范的培训。最后，工程管理专业执行总师希望通过培训交流丰富大家项目的知识、提高项目管理的能力，并希望大家主动应用项目管理的理念和工具使项目的运作更加科学化、专业化、规范化。

工程造价专业

工程造价专业举办2016年概算定额修编定额含量测算评审会

8月27日，工程造价专业举办北京市2016年概算定额修编定额含量测算评审会，会议邀请北京市建筑设计研究院有限公司和北京市市政工程设计研究院有限公司技经专业总师作为外部评委参加，公司参与修编的总师及负责人参加了会议。

会上，公司概算定额修编项目负责人首先介绍了公司对该册概算定额的含量测算范围、测算依据、测算总体及具体情况。之后评审专家针对定额编制说明、项目划分和含量测算表分别提出相关问题和建议，公司各院参与修编的项目负责人针对专家提出的问题，认真解答，详述测算过程及依据，评审专家听取后一致认为，公司定额编制质量较高，测算内容翔实，做了大量细致的工作，待相关建议完善后即可提交北京市建设工程造价管理处。



工程造价专业举办造价负责人专业研讨会

10月9日，工程造价专业技术委员会举办了造价负责人专业研讨会，公司全体工程造价专业人员参加了会议。来自一院、二院、三院的三位项目负责人结合自己负责的项目，对项目全过程造价管理的总体策划、过程管理进行了交流。对于不同项目遇到的典型案例，与会人员各抒己见，热烈讨论，加深了对问题的理解，提高了处理问题的能力。此次研讨会对提高工程造价专业技术人员全过程造价管理业务能力与水平，促进现场经验在公司内共享和指导实践具有重要意义。



中船重工中小型燃气轮机产业园建设项目

建设地点：黑龙江哈尔滨

设计单位：中航规划动力院

建设情况：在建

用地面积：281 956.9m²

总建筑面积：215 078.65m²



中船重工中小型燃气轮机产业园是中航规划动力院在发展历程中重要的一次突破，也是航空和航海的一次完美对接。基地分为科研办公区、零件加工区、装配试车区、物资供应区、动力配套区、生活区等六个功能分区，各功能分区明确、配置合理、流程顺畅。厂前区本着统一有序，相对独立的原则，布置在用地东南部，沿路展开。科研办公楼沿街布置，在主要道路上显示良好的企业形象。预留用地设置在西南三个相对独立地块中，便于灵活使用。



中航商用航空发动机有限责任公司临港基地项目一期工程

建设地点：上海临港

设计单位：中航规划动力院

建设情况：建成

用地面积：33.8ha

建筑面积：161 800m²

该项目造型力求简洁大气、气势磅礴，体现产品特点与现代企业形象，使之与周边建筑相协调，且创造出简洁生动又充满细节的建筑形象。设计突出该公司的高科技性质，其目标是将其形象打造成临港甚至是上海市的地标性建筑群。

现代建筑的建筑语言越来越趋于简洁，往往通过一种肌理形式来统一整个建筑，并为现代人所接受。该项目设计希望通过一种肌理形式体现时代感，表达出企业文脉的延续，突出企业的文化特征。

建筑的立面采用竖向格栅构织整个立面，使整个建筑看起来既有韵律又有秩序，在立面的细部设计和材料运用上遵循少而精的原则，采用模数体系进行控制，使整个立面系统具备合理性和逻辑性；通过玻璃及石材的搭配运用，虚实对比强烈，体现了时代特色而又不失庄重。

整个建筑设计无论从整体形象还是细部构造形式，无不体现出上海本土文化中的“雅”和经济发达地区所孕育出的精巧。



基础院一号楼

建设地点：北京顺义

设计单位：中航规划动力院

建设情况：建成

面积规模：36 776m²

用地面积：1.75万m²

该建筑设计采用方形建筑体量，立面严整、简洁优雅，竖向幕墙肌理令建筑和谐的融入周边环境，同时建筑本身的特质又从异化的周边环境凸现出来。设计从企业特质进行挖掘，建筑采用汉代建筑中高台建筑的处理手法，上部简洁透明的玻璃体块犹如晶莹剔透的玉刻印章，下部敦实厚重的石材基底具有一种历史的厚重感与阳刚之美，与建筑设计所要展现“根基文化”这一理念相契合。平面采用口字型布局，运用中国传统四合院中“四方应合”的构成原理，形成建筑内部七层挑高的核心式中庭，其高大的空间为营造科学殿堂提供基础条件。

基础技术的研发创新是对科学的研究与探索，建筑的立意在于创造一个典雅深邃的“科学殿堂”空间，设计希望表达对中国古典建筑设计规则的遵从，但又不是墨守成规。设计围绕着对规则的遵从与突破，继承与发展，形成了该作品的鲜明特色，是整个建筑作品的点睛之笔。





四川国际航空发动机 保税维修项目

建设地点：四川成都

设计单位：中航规划动力院

建设情况：在建

用地面积：73 840 m²

建筑面积：39 040 m²



该项目规划设计分析了基地周边道路主次关系、人流密度、对城市界面的影响，根据项目自身发展的性质进行功能上的整体布局，形成北生产，南办公的空间划分，主入口设置在用地南侧，整体建筑向北礼仪性退让出前广场，形成厂区及城市人员的景观共享，主要货物入口设置在基地东侧，紧邻主厂房。项目整体规划清晰、便捷，有助于提高生产办公效率。

建筑形体构成上利用办公楼与食堂体量小布局灵活的特点，对固有缺角的“L”型厂房形体进行填补，并通过企业产品——发动机的叶片作为母体把形体重塑、深化，形成灵动均衡的体量构成形式。

建筑群体采用波纹钢板作为主要材料，金属钢板富有工业感，波浪纹理丰富建筑细节。色彩上萃取企业色作为建筑点缀色彩，融合企业文化到建筑创作中。

景观设计在主入口广场处，结合道路、绿地、树木、水系、硬质铺装、景观小品等，创造出空间变化丰富、简洁大气、使整个建筑形象得以更好展示的室外空间环境。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《混凝土用复合掺合料》的公告

现批准《混凝土用复合掺合料》为建筑工业行业产品标准，编号为JG/T486-2015，自2016年4月1日起实施。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《建筑玻璃应用技术规程》的公告

现批准《建筑玻璃应用技术规程》为行业标准，编号为JGJ113-2015，自2016年4月1日起实施。其中，第8.8.2、9.1.2条为强制性条文，必须严格执行。原《建筑玻璃应用技术规程》JGJ113-2009同时废止。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《高性能混凝土评价标准》的公告

现批准《高性能混凝土评价标准》为行业标准，编号为JGJ/T385-2015，自2016年4月1日起实施。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《生活垃圾焚烧厂检修规程》的公告

现批准《生活垃圾焚烧厂检修规程》为行业标准，编号为CJJ231-2015，自2016年5月1日起实施。其中，第4.2.3、4.2.4、4.2.7、6.1.1、6.3.3、6.3.4、6.3.5条为强制性条文，必须严格执行。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《钢绞线网片聚合物砂浆加固技术规程》的公告

现批准《钢绞线网片聚合物砂浆加固技术规程》为行业标准，编号为JGJ337-2015，自2016年5月1日起实施。其中，第5.1.5、5.2.8条为强制性条文，必须严格执行。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《钻芯法检测砌体抗剪强度及砌筑砂浆强度技术规程》的公告

现批准《钻芯法检测砌体抗剪强度及砌筑砂浆强度技术规程》为行业标准，编号为JGJ/T368-2015，自2016年5月1日起实施。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《导光管采光系统技术规程》的公告

现批准《导光管采光系统技术规程》为行业标准，编号为JGJ/T374-2015，自2016年5月1日起实施。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《垂直绿化工程技术规程》的公告

现批准《垂直绿化工程技术规程》为行业标准，编号为CJJ/T236-2015，自2016年5月1日起实施。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《图书馆建筑设计规范》的公告

现批准《图书馆建筑设计规范》为行业标准，编号为JGJ38-2015，自2016年5月1日起实施。其中，第6.1.2、6.1.3、6.2.1、6.2.2条为强制性条文，必须严格执行。原《图书馆建筑设计规范》JGJ38-99同时废止。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《光纤器件生产厂工艺设计规范》的公告

现批准《光纤器件生产厂工艺设计规范》为国家标准，编号为GB51123-2015，自2016年5月1日起实施。其中，第4.1.4、5.4.7条为强制性条文，必须严格执行。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《集成电路封装测试厂设计规范》的公告

现批准《集成电路封装测试厂设计规范》为国家标准，编号为GB51122-2015，自2016年5月1日起实施。其中，第5.3.1条为强制性条文，必须严格执行。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《数字同步网工程技术规范》的公告

现批准《数字同步网工程技术规范》为国家标准，编号为GB/T51117-2015，自2016年5月1日起实施。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《数字同步网工程技术规范》的公告

现批准《数字同步网工程技术规范》为国家标准，编号为GB/T51117-2015，自2016年5月1日起实施。



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 张志良 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 陆国杰
副主任 刘子彦
委员 (按姓氏笔画排序)
丁杰 卜国磊 马培贤
王玉平 王坚 王笃礼
王锋 朱丹 向立学
米敬明 陈丹湖 李中强
李守旭 李纲 肖武
杨杰 陈海风 金来建
周桂 贺宏斌 唐永堃
郭志海 徐克利 黄春晖
傅绍辉 葛家琪 魏旗

总编 陆国杰
主编 陈海风
执行主编 王蕊
责任编辑 李楠
出版 《航空工程建设》编辑部
地址 北京德外大街12号
邮编 100120
E-mail hkgcjs@avic-apc.com
印刷单位 北京奇麒麟印刷有限责任公司分公司
发送对象 公司内部及本系统内部
印刷日期 2015年10月
印数 1500册
电话 (010)62038276 62038235
传真 (010)62038297
封面 顺义发动机总部科研楼

CONTENTS

目录 2015年第5期 总第121期

结构专业

- 02 汽车所致虎门遗址振动全过程性能化研究 葛家琪 马伯涛
11 高烈度地震区三种超高层结构体系性能比较 谢军 金来建
19 高建钢对多层大悬挑结构体系与节点性能影响分析研究
王明珠 葛家琪
29 组合楼盖在超高层建筑中的应用 金来建 谢军

规划专业

- 34 临空经济区空间发展模式及趋势展望 胡赵征 李守旭

暖通专业

- 41 燃气冷热电三联供系统在航空工业园区的应用 刘晓雨 肖武
49 网架内管道膨胀与固定的分析 申剑 傅建勋

工程造价专业

- 55 与施工方案相关的措施费计算方法研究 李玲
60 垃圾焚烧发电项目概算编制体系及实践
——以北京首钢生物质能源项目为例 苗宇
63 管桩造价指标影响因素分析
孟繁 张俊杰 郗利平 钱海静

工艺专业

- 69 民航维修基地布局研究
闫慧 吴祈宗 王仲奇

汽车所致虎门遗址振动 全过程性能化研究

■ 葛家琪 马伯涛 「结构」

摘要: 以虎门炮台旧址范围内文物影响评估为工程背景,在公路交通规划阶段对古建筑文物防振安全性进行全过程性能化分析、实测与防护措施研究。通过现场重载车辆行驶下场地及古建筑文物振动实测,得到有限元分析的关键技术参数,并对包括“车辆、道路、场地、文物”的有限元模型进行校准;采用校准后的有限元模型对车辆轴重、行车速度、多车效应、隔振沟尺寸等参数进行分析研究,得到文物的振动响应;采用性能化指标评价文物振动安全性,并针对分析结果采取合适的振动防护措施。实测与分析表明:本文提出的实测与分析相结合的全过程性能化分析方法能够用于交通规划与文物保护研究,文物与公路净距50m再辅以隔振沟可保证古建筑文物的振动安全性。

关键词: 古建筑; 交通振动; 性能化分析

0 引言

交通是国民经济发展的命脉,经济发展与社会进步离不开大规模交通建设,近年来,我国铁路、高铁、公路和城市轨道交通建设发展迅猛,交通网络不断密集,流量不断增加。工业及交通振动对建筑及文物危害属微振动疲劳损伤,短期内不易发觉,近年逐渐被提起重视,开始研究各种防振技术措施^[1, 2]。交通振动主要包括轨道交通和公路交通。周裕德等^[3]结合上海音乐厅迁址工程,采用类比调查法在衡山路段附近进行了测试,距地铁线8m处,地铁经过时振级约84dB,主要频段在40~100Hz;我国某城市的地铁列车在建筑首层以15~25km/h的速度通过时,建筑3层的楼面实测加速度竟达85dB,西直门城铁附近100m处的一座5层居民楼,当列车通过时室内可感觉到

强烈振动,门窗和家具等玻璃发出响声,甚至一段时间后家具由于振动而发生移位^[4];欧洲某繁忙的公路或轨道交通线附近的一些古砖石古建筑因车辆通过时引起振动而产生裂缝并最终倒塌^[5]。

虎门炮台旧址是我国保存最为完整的近代海防要塞体系遗址,于1982年11月19日被国务院批准为第二批全国重点文物保护单位。为进一步展示鸦片战争历史,弘扬爱国主义教育,在炮台旧址较为密集的威远岛地区拟开放旅游,修建威远岛环岛路。环岛路在定洋炮台区段(如图1),由于道路在山中穿行,且曲率半径不得小于200m,评估前环岛路机动车行车道距文物本体(清兵营房)仅有48m。公路交通荷载引起的振动可能对文物产生不利影响,应进行交通振动下文物性能化评估与预测,充分保证文物在全寿命期内的安全性。文物安全性能化研究是一种综合运用结构高等分析手段和工程方法达到既定文物安全性能目标的系统研究,包括安全指标确定、振动响应预测和振动响应控制三部分,即:依据文物结构形式、材质、重要等级等确定不同的安全控制指

作者简介:葛家琪,男,研究员,1987年毕业于同济大学建筑结构专业,现就职于中航规划工程技术研究院。

标,采用适宜试验实测及分析评估预测方法和防护技术措施。目前我国文物防振保护研究尚处于起步阶段,预测及评估方法有待结合具体工程进一步完善^[6]。

1 防振安全性能化评价标准

针对不同振源对古建筑物的影响,国内外许多国家制订了相应的振动控制标准。《古建筑防工业振动技术规范GB/T 50452-2008》规定:古建筑结构的容许振动速度,应根据结构类型、保护级别和弹性波在古建筑结构中的传播速度选用。古建筑砖结构的容许振动速度如表1。

表1 古建筑砖结构的容许振动速度 [v] (mm/s)

保护级别	控制点方向	砖砌体 V_p (m/s)		
		<1600	1600~2100	>2100
国家重点文物保护单位	水平	0.15	0.15~0.20	0.20
省级文物保护单位	水平	0.27	0.27~0.36	0.36
市、县级文物保护单位	水平	0.45	0.45~0.60	0.60

注:当 V_p 介于1600~2100m/s之间时,[v]采用插值法取值;控制点位置位于承重结构最高处。

2 计算机仿真模型与试验验证研究

2.1 重车激振现场实测

现场实测采用55t的重型卡车,以60km/h的车速驶过待建公路路基,同时测量兵房拱顶、兵房基座及公路路基(位置关系示意图2)的三方向振动,测试结果见表2。

由表2可以得到公路路基到兵房基座的衰减系数(后者与前者的速度比)在顺路向、横路向和垂向三个方向分别为0.192、0.469和0.363,兵房拱顶相对于兵房基座在顺路向、横路向和垂向三个方向分别放大了2.27、3.69和2.62。

2.2 性能化模型分析与校准

根据相关地形图资料及地质勘查资料,建立有限元模型。模型采用solid95实体单元模拟土体,采用shell63壳单元模拟兵房,有限元模型如图3、图4所示。土体模型中最大单元格尺寸为2m,可以满足所需结果的精度,边界条件采用粘弹性人工边界^[7],以避免边界反射等造成的影响^[8]。

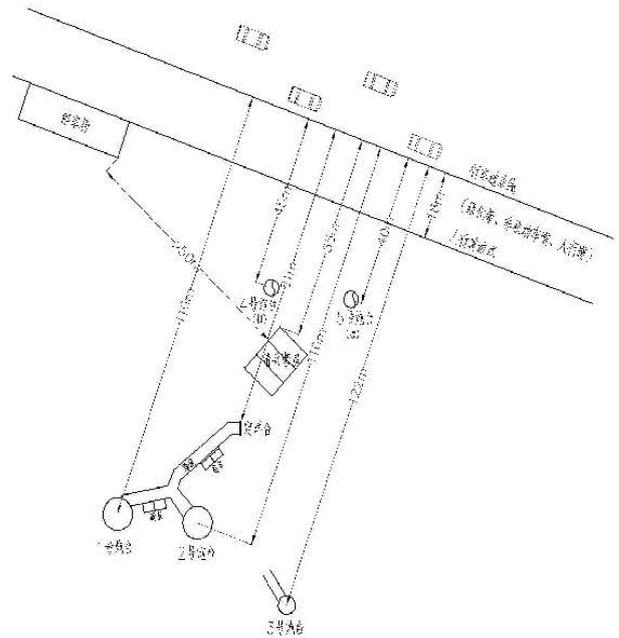


图2 公路、兵房、炮台位置关系示意

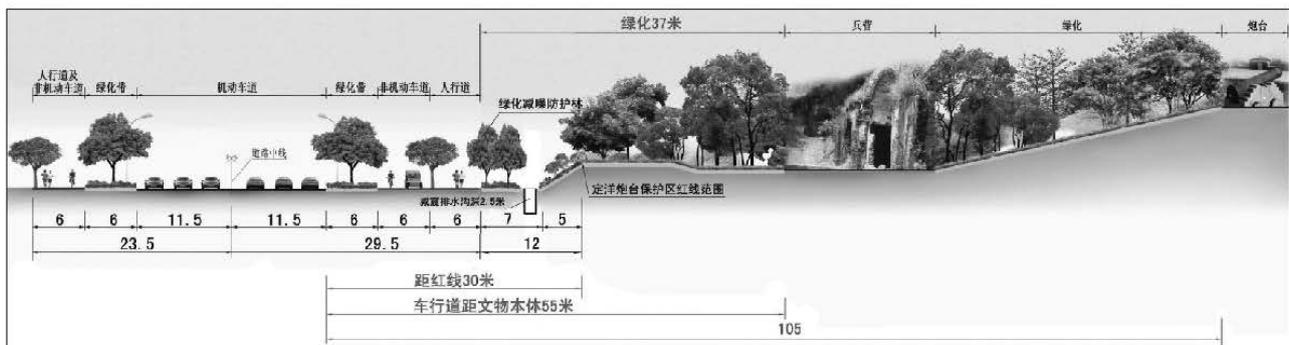


图1 环岛路与文物关系示意

表2 公路临近地面测试记录峰值统计

测量位置	振动速度 ($\mu\text{m/s}$)		
	顺路向	横路向	垂向
兵房拱顶	139.4	205.5	130.8
兵房基座	61.5	55.6	49.8
公路路基	319.4	118.5	137.1

注: 顺路向指沿着公路走向; 横路向指垂直公路走向; 垂向指垂直于地面方向。

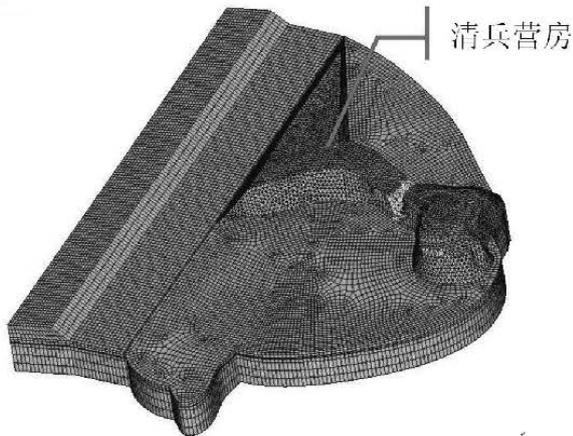


图3 影响区土体分析模型

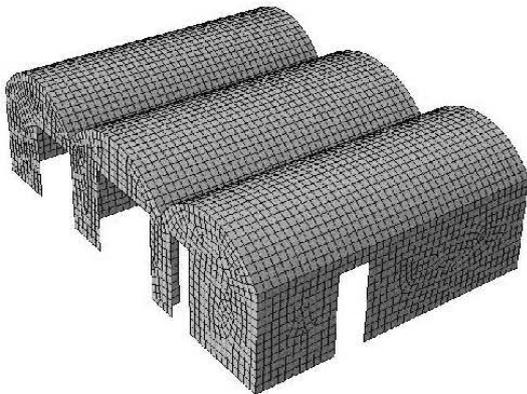


图4 清兵营房子结构模型

为验证有限元模型的正确性与可靠性, 对模型所施加的车重、速度及行车位置均与实测情况相同, 即: 车重55t, 速度60km/h, 路边测点距离行车线约7m远。本模型车辆荷载以接地压力的形式传递给路面单元, 按等效节点荷载的形式施加在单元节点上。汽车荷载以移动荷载列的形式在有限元模型中加载^[4]。

提取有限元模型中与工程实测点相同位置处的动力响应, 如表3。分析可见, 有限元分析结果与实测结果吻合较好, 个别数值差别较大, 原因主要为: 公路交通振动能量较小, 且公路正处于施工阶段, 路面不平, 容易造成汽车摇摆, 甚至其他外界干扰(如人员在测试仪器周围走动等)对测试结果也有较大影响。综上所述, 用现有有限元模型模拟本工程的实际振动情况可认为是可行的。依据上述模型对道路上不同工况车辆荷载进行分析, 给出各种工况振动激励对文物保护区的各方向振动响应, 评估文物的安全性。

3 性能化分析研究

3.1 分析荷载选取

本工程中公路等级为二级, 为提高安全储备, 采用一级公路标准计算。依据《公路工程技术标准JTG B01-2003》规定: 一级公路为专供汽车分向、分车道行驶, 并可根据需要控制出入的多车道公路; 六车道高速公路能适应将各种汽车折合成小客车的年平均日交通量25000~55000辆。《中华人民共和国道路交通安全法》规定: 机动车在高速公路行驶, 当车速超过100km/h时, 安全车距为100m; 当车速低于100km/h时, 最小安全车距不得小于50m。

3.2 工况

为了研究不同车速、车重及隔振沟深度对振动传递及振动响应的影响, 本文考虑如下工况:

工况1: 动力效应研究。计算无隔振沟时土体的衰减规律及兵房拱顶的动力放大系数。主要分析如下情况: 固定车重(55t), 改变车速, 分别为40km/h、60km/h和80km/h; 固定车速(60km/h), 改变车重, 分别为5t、10t和55t。

工况2: 隔振沟尺度研究。计算有隔振沟时土体中振动的衰减规律。采用车重为55t, 车速为60km/h的重型车激励, 沟宽为1m, 改变沟深, 深度分别为0m、1.5m、3m和6m。

工况3: 多车效应研究。依据工况2确定的沟深, 考虑多车行驶时对振动的影响。多车行驶分为多车道同向并行和同车道多车同向行驶两种。依据一级公路及相关法规中的相关规定, 考虑最不利情况的多车组合。考虑55t、10t两种情况, 三车道三车并行及同车道两车同向行驶时, 分别分析古建筑文物的振动响应。

表3 有限元计算与现场实测速度对比

测量位置	现场实测振动速度 ($\mu\text{m/s}$)			有限元计算振动速度 ($\mu\text{m/s}$)			偏差		
	顺路向	横路向	垂向	顺路向	横路向	垂向	顺路向	横路向	垂向
兵房拱顶	139.4	205.5	130.8	138.35	89.5	201.01	0.75%	56.45%	-53.68%
兵房基座	61.5	55.6	49.8	60.69	28.49	59.02	1.32%	48.76%	-18.51%
公路路基	319.4	118.5	137.1	127.29	86.74	120.8	60.15%	26.80%	11.89%

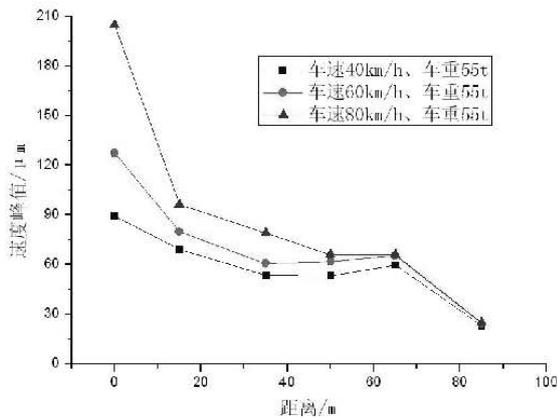
注: 偏差指“有限元计算振动速度”与“现场实测振动速度”二者的差被“现场实测振动速度”除。

3.3 各种工况计算结果分析

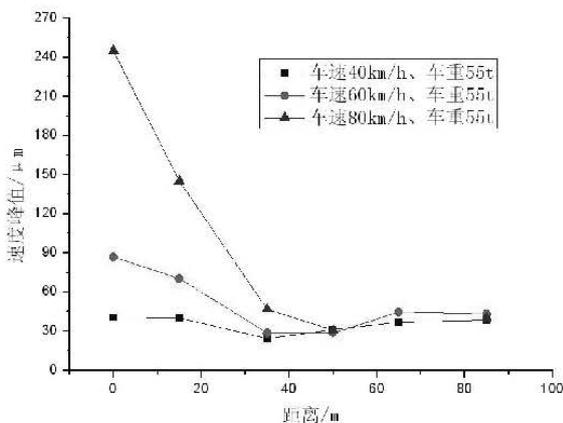
3.3.1 工况1: 动力效应研究

(1) 车重为55t, 车速分别为40km/h、60km/h和80km/h, 分析不同车速对地面振动的影响。

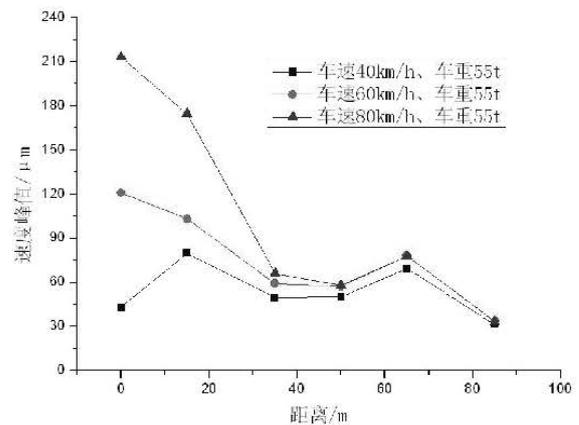
采用有限元分析得到顺路向、横路向和垂向三个方向的峰值速度随距离的变化规律如图5所示。图中可见, 随着距离增加, 地面振动响应随之减小。



(a) 顺路向



(b) 横路向



(c) 垂向

图5 改变车速时的振动响应

兵房底座(35m)和炮台处(85m)的振动速度响应相对于公路路基的衰减情况如表4所述。表中可见, 随车速增大, 顺路向、横路向和垂向三个方向衰减越明显, 距行车道距离越近, 衰减速率越快。综合考虑兵营底座处的速度衰减系数可取0.35, 即考虑65%的衰减; 炮台处的速度衰减系数可取0.25, 即考虑75%的衰减。

表4 改变车速时的衰减系数对比

车速 (km/h)	传播方向					
	顺路向		横路向		垂向	
	δ_1	δ_2	δ_1	δ_2	δ_1	δ_2
40	0.598	0.258	0.597	0.945	1.146	0.724
60	0.477	0.191	0.328	0.495	0.489	0.278
80	0.386	0.122	0.191	0.162	0.309	0.156

注: δ_1 表示兵房基座与公路路基的比值; δ_2 表示炮台与公路路基的比值。

兵房拱顶的最大速度及兵房拱顶相对于兵房基座的放大系数如表5所示。对比不同车速时拱顶动力放大系数，顺路向和垂向兵房拱顶的动力放大系数变化分别为2.3~2.6和2.7~3.4，横路向兵房拱顶的动力放大系数随速度增加而减小，且车速每增加20km/h，动力放大系数减小为50%。

表5 改变车速时兵房拱顶最大速度及动力放大系数

速度 (km/h)	顺路向/横路向/垂向		
	兵房基座 ($\mu\text{m/s}$)	兵房拱顶 ($\mu\text{m/s}$)	放大系数
40	53.4/24.2/49.5	134.3/179.3/132.1	2.5/7.4/2.7
60	60.7/28.5/59.0	138.4/89.5/201.0	2.3/3.1/3.4
80	79.1/46.8/65.9	208.9/76.8/200.4	2.6/1.6/3.0

(2) 车速为60km/h，改变车重分别为5t、10t和55t，分析不同车重对地面振动响应的影响。

计算分析得到顺路向、横路向和垂向三个方向的峰值速度随距离的变化规律如图6所示。图中可见，随着距离的增加，地面振动响应随之减小，车辆载重增加，振动响应基本呈线性增加。

改变车重，兵房基座(35m)和炮台处(85m)的振动速度相对与公路路基的衰减情况见表6。表中可见，改变车重，三个方向的衰减变化不明显，兵房基座在车重为5t、10t和55t时分别衰减了51%~68%、51%~68%、51%~67%，炮台处在车重为5t、10t和55t时分别衰减了50%~85%、54%~80%、60%~85%。综合考虑兵房基底处的速度衰减系数可取0.35，即考虑65%的衰减，炮台处的速度衰减系数可取0.2，即考虑80%的衰减。

表6 改变车重时的衰减系数对比

车重 (t)	传播方向					
	顺路向		横路向		垂向	
	δ_1	δ_2	δ_1	δ_2	δ_1	δ_2
5	0.375	0.151	0.328	0.495	0.489	0.278
10	0.477	0.193	0.327	0.455	0.487	0.287
55	0.375	0.151	0.329	0.397	0.487	0.287

注： δ_1 表示兵房基座与公路路基振动速度的比值； δ_2 表示炮台与公路路基振动速度的比值。

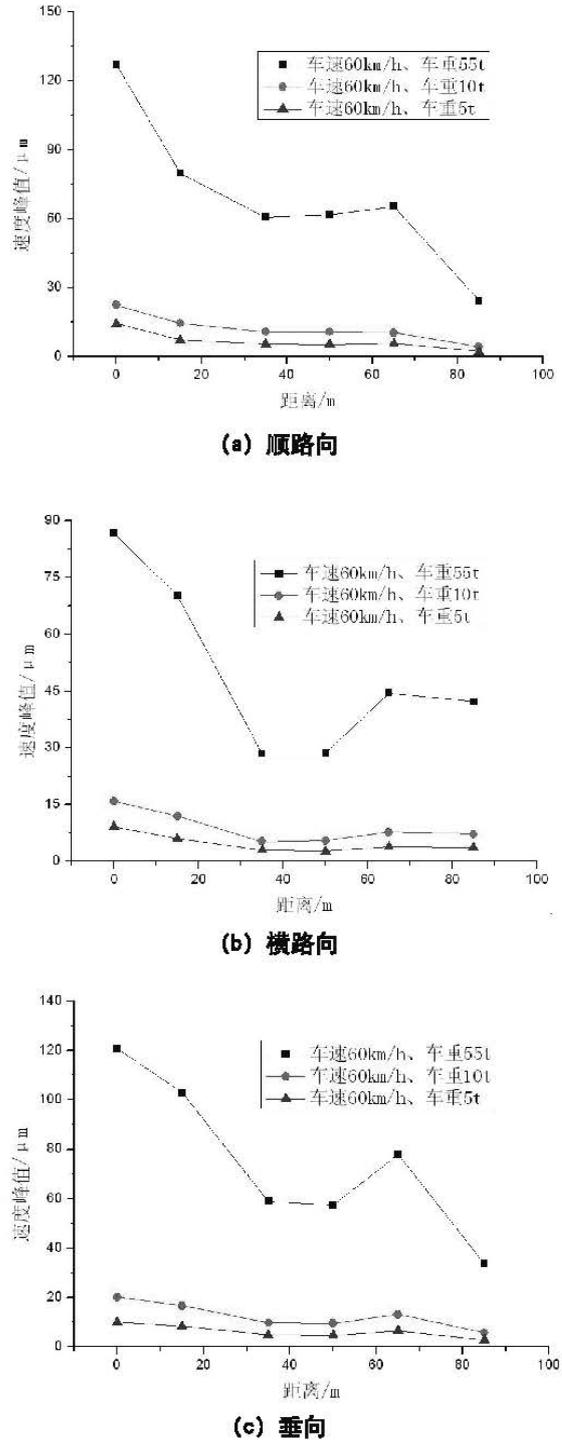


图6 变车重时的振动响应

兵房拱顶的最大速度及兵房拱顶相对于兵房基座的放大系数如表7所示。对比不同车重时拱顶动力放大系数可知，顺路向和垂向兵房拱顶的动力放大系数变化分别为2.3~2.5和3.4~3.7，横路向兵房拱顶的动力放大系数随着车重的增加而增加，但车重越大，动力系数增加越缓慢。

表7 改变车重时兵房拱顶最大速度及动力放大系数

车重 (t)	顺路向/横路向/垂向		
	兵房基座 ($\mu\text{m/s}$)	兵房拱顶 ($\mu\text{m/s}$)	放大 系数
5	5.40/3.00/4.94	13.31/7.44/18.23	2.47/2.48/3.69
10	10.73/5.19/9.87	26.60/14.86/36.39	2.48/2.86/3.68
55	60.69/28.49/59.02	138.35/89.5/201.0	2.28/3.14/3.41

通过以上固定车重变车速和固定车速变车重两种情况分析,及表1中性能化控制指标,当车重为55t时,不采取任何减振措施,汽车行驶造成兵房拱顶的水平速度接近或超过表1中限值0.15mm/s,55t车重运行情况下对兵房可能造成损坏,车重分别为5t、10t的单辆汽车以40、60、80km/h三种速度行驶所致兵房拱顶的水平速度远小于0.15mm/s,不会对兵房造成破坏。

3.3.2 工况2: 隔振沟尺度研究

采用车重55t、车速60km/h的重型卡车,改变隔振沟深度,分别取无沟(0m)、1.5m、3.0m和6.0m进行计算,研究隔振沟对振动响应衰减规律的影响,得到顺路向、横路向和垂向三个方向的峰值速度变化曲线,如图7所示。兵房基座处振动速度响应相对于公路路基的衰减情况见表8。结果可见,兵房基座处横路向和顺路向振动速度随隔振沟深度增加而减小,沟深达6m时振动速度比无沟时降低了12%,垂向速度响应衰减不明显,沟深达6m时降低了7%;炮台处横路向和顺路向振动速度随隔振沟深度增加而降低,沟深达6m时振动速度比无沟时降低了8%,垂向速度响应衰减不明显,沟深达6m时衰减了8%。

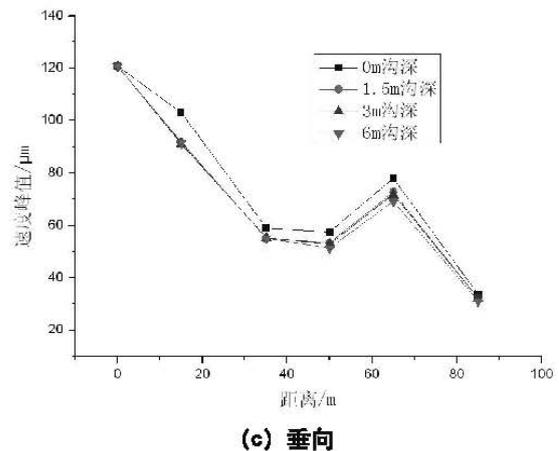
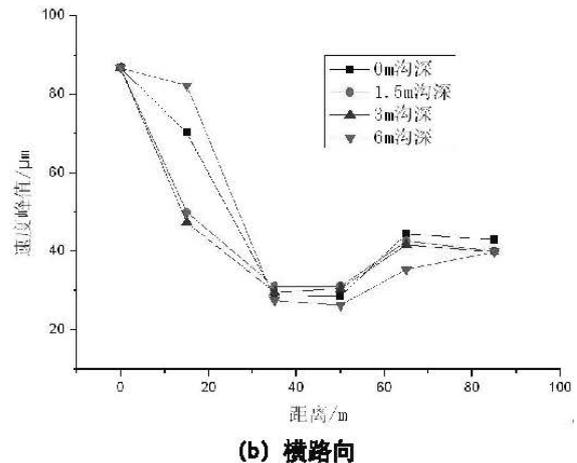
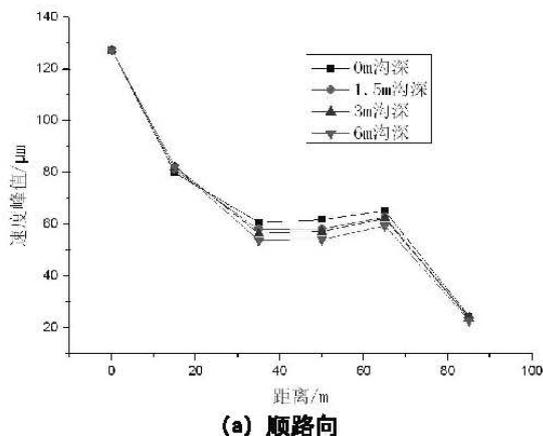


图7 改变隔振沟深时的振动响应

由上面的分析可以发现,在路边设置隔振沟有利于控制土体的振动响应,而且隔振沟深度和隔振效果成正相关,即隔振沟愈深,隔振效果愈明显;水平隔振效果优于竖向隔振效果。但考虑工程实际实施情况,隔振沟不宜设置太深,限制了隔振沟效率发挥,本工程建议排水沟兼做隔振沟,深度取为3m,此时隔振沟可使振动速度减小

表8 改变沟深时的衰减系数对比

沟深 (m)	衰减系数					
	顺路向		横路向		垂向	
	δ_1	δ_2	δ_1	δ_2	δ_1	δ_2
无沟	0.477	0.191	0.328	0.495	0.489	0.278
1.5	0.456	0.188	0.358	0.461	0.455	0.266
3	0.443	0.186	0.341	0.460	0.457	0.266
6	0.422	0.180	0.317	0.460	0.455	0.257

注： δ_1 表示兵房基座与公路路基振动速度的比值，即：兵房基座处速度衰减系数； δ_2 表示炮台与公路路基振动速度的比值，即：炮台处速度衰减系数。

8%左右。结合工况1中表5及表7的计算结果可知，控制车速在60km/h以下时，上述三种车重情况引发的兵房拱顶水平最大速度不会超过0.15m/s，满足表1规定的振动速度要求。

3.3.3 工况3：多车效应研究

利用工况2计算得到的结论，取沟深3m，分析多车行驶情况下地面振动响应。考虑多条车道并行和同车道多车的影响，通过施加在有限元模型上同向、同速的两辆移动车辆荷载，分析同车道上多车的振动效应叠加影响。

多车道主要参考相关规范对于单车道、多车道的荷载、荷载组合及折减方法。对于多车道而言，车道数越多，可能性(即同时出现最不利加载的几率)越小。当桥涵设计车道数 ≥ 2 时，汽车荷载产生的效应按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2004)规定的多车道横向折减系数进行折减，如表9所示，折减后的效应不得小于两条设计车道的荷载效应。

情况1——多车道并行

考虑：(1)车重为55t、速度为60km/h的三辆汽车并行及(2)车重为10t、速度为60km/h的三辆汽车并行的情况，采用表9中相关折减系数对上述两种多车并行情况计算，结果如图8、图9所示。

由图8、图9可知，与工况1中的情况2分析结论一致，地面的振动响应与车重近似成正比关系。当车重为55t时，依据工况1计算中得到的兵房拱顶动力放大系数规律，三车并行对应的兵房拱顶的最大速度峰值超过了表1规定的限值0.15mm/s，在实际行车过程中应避免上述情况出现；对于车重在10t以下三车并行时引起的振动远小于0.15mm/s，不会对古建文物产生破坏。

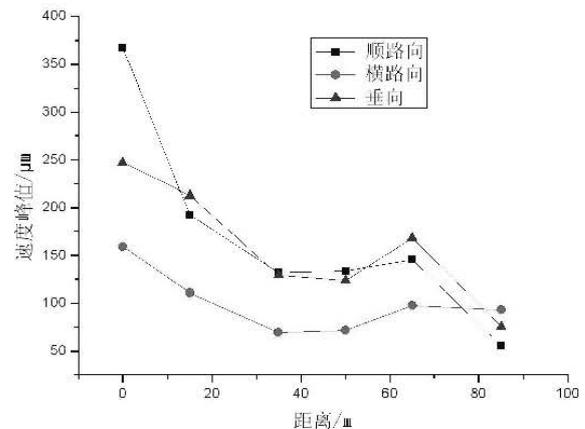


图8 车重为55t、三车道时的振动响应

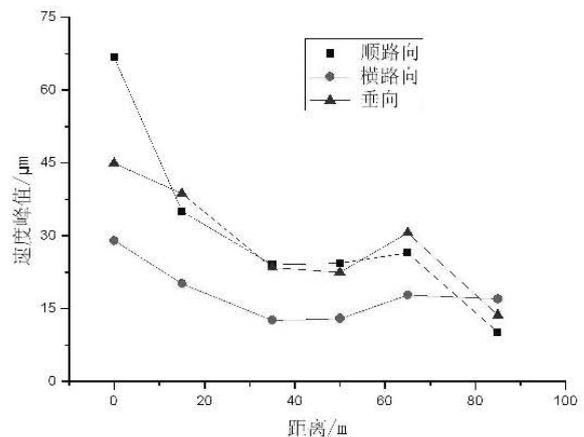


图9 车重为10t、三车道时的振动响应

情况2——同车道多车行驶与单车对比

考虑：(1)车重为10t，速度为60km/h，两车相距60m同车道行驶和(2)车重为55t，速度为60km/h，两车相距60m同车道行驶，与对应单车行驶情况对比，如表10所述。

表9 多车道横向折减系数

设计车道数	2	3	4	5	6	7	8
横向折减系数	1.00	0.78	0.67	0.60	0.55	0.52	0.50

表10 单车与多车振动响应对比

车重 (t)	方向	同行车辆数 (辆)					
		1			2		
		公路路基 / μm	兵房基座 / μm	炮台 / μm	公路路基 / μm	兵房基座 / μm	炮台 / μm
10	顺路向	22.49	10.26	4.31	47.51	24.90	4.80
	横路向	15.88	5.38	7.25	25.04	17.41	10.80
	垂向	20.25	10.04	5.84	19.25	16.37	7.71
55	顺路向	127.29	56.43	23.70	260.15	136.36	26.38
	横路向	86.75	29.60	39.89	137.73	95.76	59.41
	垂向	120.80	55.24	32.12	105.92	90.05	42.41

由表10可知：10t时，公路路基处两车产生的振动响应分别是单车时的0.9~2.1倍，兵房基座处两车产生的振动响应分别是单车时的1.6~3.2倍，炮台处两车产生的振动响应分别是单车时的1.1~1.5倍；55t时，公路路基处两车产生的振动响应分别是单车时的0.8~2.0倍，兵房基座处两车产生的振动响应分别是单车时的1.6~3.2倍，炮台处两车产生的振动响应分别是单车时的1.1~1.5倍。

根据分析结果，多车振动响应与单车振动响应的比值不会随着车重的改变而改变，除兵房基座附近外，多车的速度响应不会超过单车响应乘以车辆数；兵房基座处多车的响应超过单车响应乘以车辆数，其原因是由于两车产生的振动波在此处叠加且可能发生驻波所致。综合考虑三向振动情况，在有限元分析中模拟单车道多车振动响应可以采用相同数量的单车振动响应折减得到，折减系数的范围是0.44~1.05，建议取0.8。

依据上述三种工况分析情况，当距离行车道大于35m后，地面的振动响应局部略有增加，分析产生地面振动增加的原因，与振动传播中不同土层间的反射、土体参数及地形地貌等因素有关，文献^[8]中在现场实测中也发现了振动加强的规律。

4 结论及建议

本文以环岛路建设与运营对虎门炮台旧址影响评估为工程背景，提出全过程性能化分析方法，通过有限元分析与现场实测等手段对古建文物进行振动安全性评估，主要得出如下结论与建议。

1) 现场实测确定关键技术参数、及有限元分析进行参数化研究和预测的性能化分析方法，可用于预测公路交通所致古建文物振动安全性及公路交通规划，方法可靠、可行。

2) 给出了古建文物振动速度与车辆运行车重、车速、同行车辆数的变化规律及与隔振沟尺度的变化规律。

3) 城市内公路按设计车辆（非超载、超速）运行情况下，本文建议的古建文物振动控制指标可以实现。

4) 本文土体采用弹性计算模型，由于土体为非线性材质，但是对于如此大的有限元模型进行非线性分析难度较大，后续应进一步研究更能模拟土体非线性的近似简化分析方法。

为充分保障文物安全，在性能化分析基础上，对工程建设提出如下建议：

1) 定洋炮台区段整个文物建设控制地带内，

路边应设置隔振沟,建议沟宽为1m,沟深为3m。

2) 文物相关路段应合理安排施工计划,先行进行隔振沟的施工。在确保工程质量的前提下,文物区段应采用振动最小的小型机械设备,确保道路施工过程中,路面三方向最大振动速度实测值分别不应大于0.15mm/s,三方向最大振动加速度实测值分别不应大于3.0mm/s²。

3) 文物相关路段路面设计时宜选用减振效果良好的路面和路基结构,确保道路实际设计运营期间(15年)内,在设计车流量及60km/h设计车速时,实际工程路面三方向最大振动速度实测值不应大于0.15mm/s,三方向最大振动加速度实测值不应大于3.0mm/s²。

4) 文物区段车速应控制在60km/h以内,运营车流量不应超出二级公路限值。

5) 道路与文物本体间在不影响景观效果的前提下尽可能多的种植高大植被。

6) 建议尽早对危险古建文物进行修缮加固。

参考文献

- [1] 王晓, 严中保, 杜涵文. 上海自由电子激光工程隔振沟减振数值分析[J]. 振动与冲击, 2012, 31(15): 190-194. (WANG Xiao, YAN Zhong-bao, DU HAN-wen. Numerical analysis of vibration-attenuation effect of trenches in the engineering project of Shanghai free electron laser[J]. Journal of Vibration and Shock, 2012, 31(15): 190-194. (in Chinese)).
- [2] 时刚, 高广运. 饱和地基中二维空沟远场被动隔振研究[J]. 振动与冲击, 2011, 30(9): 157-162. (SHI Gang, GAO Guangyun. Two-dimensional analysis of open trench used as passive barriers in saturated soil[J]. Journal of Vibration and Shock, 2011, 30(9): 157-162. (in Chinese)).
- [3] 周裕德, 祝文英, 应乐惇, 等. 地铁振动对上海音乐厅迁址影响分析及对策措施[A]. 上海市环境科学学会第11届学术年会论文集[C]. 上海: 上海市环境科学学会, 中国环境科学学会, 2004. (ZHOU Yu-de, ZHU Wen-ying, YING Le-dun, etc. The subway vibration influence analysis and Countermeasures on the relocation of the Shanghai Music Hall [A]. Shanghai Environmental Science Institute of the eleventh Academic Symposium [C]. Shanghai: Shanghai Environmental Science Institute, China Environmental Science Society, 2004. (in Chinese)).
- [4] 申跃奎. 地铁激励下振动的传播规律及建筑物隔振减振研究[D]. 同济大学工学博士学位论文. 2007: 1-8. (SHEN Yuekui. Study on the propagation laws of subway-induced vibration and isolation or reduction methods of building vibration[D]. Shanghai: Tongji University, 2007: 1-8. (in Chinese)).
- [5] 夏禾. 交通环境振动工程. 北京: 科学出版社. 2010: 1-10. (XIA He. Traffic induced environmental vibrations and controls. Beijing: Science press. 2010: 1-10. (in Chinese)).
- [6] 贾颖绚, 郭猛, 刘维宁, 等. 列车振动荷载对古建筑的动力影响[J]. 北京交通大学学报, 2009, 33(1): 118-122. (JIA Yingxiu, GUO Meng, LIU Weining, et al. Dynamic effect of train induced vibration on historic buildings[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2009, 33(1): 118-122. (in Chinese)).
- [7] 刘晶波, 王振宇, 杜修力, 等. 波动问题中的三维时域粘弹性人工边界[J]. 工程力学, 2005, 22(6): 45-51. (LIU Jingbo, WANG Zhenyu, DU Xiuli, et al. Three dimensional visco-elastic artificial boundaries in time domain for wave motion problems[J]. Engineering Mechanics, 2005, 22(6): 45-51. (in Chinese)).
- [8] 黄菊花, 何成宏, 杨国泰, 等. 地基中振动波的有限元分析[J]. 振动与冲击, 1999, 18(1): 38-43+91. (HUANG Juhua, HE Chenghong, YANG Guotai, et al. Finite element analysis of vibration propagation in foundation soil[J]. Journal of Vibration and Shock, 1999, 18(1): 38-43+91. (in Chinese)).
- [9] 马伯涛, 杨国莉, 庞玉涛, 等. 大跨度及长悬挑楼层钢结构运动场人员舒适度分析研究[J]. 建筑结构学报. 2012, 33(4): 95-103. (MA Botao, YANG Guoli, PANG Yutao. Study on comfort analysis of sport field structure with large-span and cantilevered steel floor[J]. Journal of Building Structures, 2012, 33(4): 95-103. (in Chinese)).
- [10] 张玉红, 陈茂庆, 汤卓文, 等. 地铁列车运行的环境振动影响分析(I)——场地时域振动分析[J]. 佛山科学技术学院学报(自然科学版), 2009, 27(3): 41-44. (ZHANG Yuhong, CHEN Maoqing, TANG Zhuowen, et al. Influence analysis of vibration induced by moving subway train(I)— the vibration analysis of soil in the domain time[J]. Journal of Foshan University(Natural Science Edition), 2009, 27(3): 41-44. (in Chinese)).

高烈度地震区三种超高层结构体系性能比较

■ 谢军 金来建 [结构]

摘要: 以实际工程为背景,采用简化模型,对带加强层结构体系、密柱深梁结构体系、外桁架筒结构体系三种在超高层建筑中常用的结构体系进行分析。采用ETABS, MIDAS Building软件,通过弹性、静力弹塑性及动力弹塑性时程等分析方法,比较三种常用超高层结构体系在高烈度区的结构性能,从而分析得出每种结构体系的整体受力、变形特点。

关键词: 超高层建筑;高烈度区;带加强层;密柱深梁;外桁架筒

0 引言

近些年我国涌现出大量的超高层建筑,据资料统计,截止2012年,中国大陆拥有152m以上非住宅类摩天大楼470座,在建332座,规划516座。然而,我国处于环太平洋地震多发带,地震对超高层建筑的危害很大,在追求超高层建筑雄伟壮丽的同时,更应充分考虑建筑结构的安全性及经济的合理性。超高层建筑结构体系形式多样,其中框架-核心筒结构形式已广泛应用于超高层建筑中,且不同的外框架形式有着各自的结构受力特点,因此有必要对不同的外框架形式进行对比分析。本文以实际工程为背景,采用简化的计算模型,研究带加强层结构、密柱深梁结构、外桁架筒结构三种典型体系的性能,并对比其在多遇地震、罕遇地震作用下的表现。

1 三种结构体系介绍

本文对中航投资大厦这一实际工程的结构平面布置进行了简化,简化后的标准层平面布置图见图1。结构位于8度区,地震加速度设计值0.2g,Ⅲ类场地,地震分组为第一组,采用钢管混凝土柱-钢框架梁-剪力墙核心筒混合构体系,其整体性更优于钢结构体系和混凝土结构体系^[1]。计算模型共50层,高228m,其中首层高为5.5m,17层和34层为设备层,层高为5.5m;其余层层高均为4.5m。参考大量实际工程,最终选择带加强层结构、密柱深梁结构、外桁架筒结构三种结构体系见图2,模型主要构件材料和截面见表1。通过弹性、静力弹塑性和动力弹塑性等分析方法比较三种结构体系的受力特点和变形性能。

1.1 带加强层结构体系

超高层建筑的侧向变形较大,为了增加结构刚度,通常设置加强层。加强层可增强核心筒和周边框架柱的共同工作,克服剪力滞后效应,更有效地发挥框架柱的轴向刚度作用,并使之承担更多的由水平荷载产生的倾覆力矩^[2]。在计算模型

作者简介:谢军,男,助理工程师,2014年毕业于中国航空规划设计研究总院有限公司,现就职于中航规划建筑设计研究院。

表1 三种结构模型主要构件截面及材料

带加强层	材料等级		钢管混凝土边柱	核心筒外墙	核心筒内墙
	柱	墙			
43~50层	C45	C45	$\phi 800 \times 20$	500	200
1~5层	C60	C60	$\phi 1200 \times 50$	950	500
环臂	Q345B		H950 \times 950 \times 80 \times 80		
伸臂	Q345B		H950 \times 950 \times 80 \times 80		
密柱深梁	材料等级		钢管混凝土边柱	核心筒外墙	核心筒内墙
	柱	墙			
43~50层	C45	C45	$\phi 600 \times 20$	500	200
1~5层	C60	C60	$\phi 900 \times 35$	950	500
外桁架筒	材料等级		钢管混凝土边柱	核心筒外墙	核心筒内墙
	柱	墙			
43~50层	C45	C45	$\phi 600 \times 20$	500	200
1~5层	C60	C60	$\phi 900 \times 35$	950	500

注：外桁架筒结构体系外撑截面尺寸：1~10层为700 \times 500 \times 30 \times 30；11~20层为600 \times 500 \times 30 \times 30；21~30层为500 \times 400 \times 25 \times 25；31~40层为400 \times 300 \times 25 \times 25；41~50层为300 \times 200 \times 20 \times 20

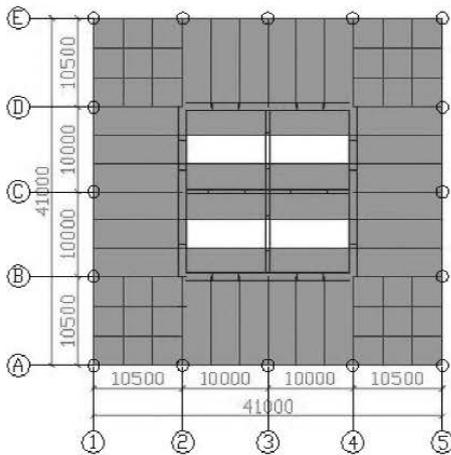


图1 简化结构平面布置图

对应的实际工程中可以利用设备层及避难层在顶部、结构的34层（中部）、17层（下部）设置加强层，加强层布置见图3。

为比较不同加强层位置和设置形式对结构变形的影响，分别考虑以下6种布置方式：1) 方式

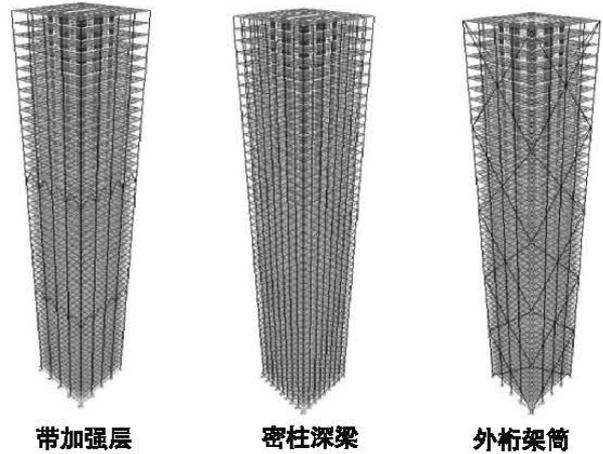


图2 三种结构体系示意图

- 1: 无加强层；2) 方式2：设置三道环臂桁架；
- 3) 方式3：在中部和下部设置伸臂桁架；4) 方式4：在结构顶部和中部设置伸臂桁架；5) 方式5：在结构中部和下部设置伸臂和环臂；6) 方式6：在结构顶部和中部设置伸臂和环臂。

不同加强层布置方式下的楼层位移角见图4，由图4可见，布置方式5对结构的刚度贡献最大，因此在简化模型中采用了这种布置方式，即在结构的中部和下部分别设置伸臂和环臂桁架，并增大相应上下层的框架梁，作为桁架的有效弦杆。

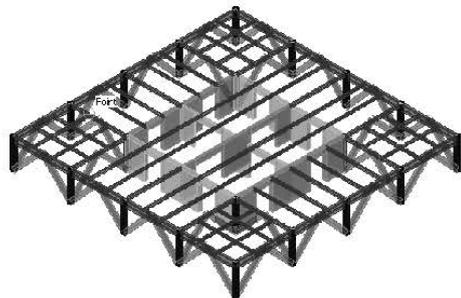


图3 加强层布置

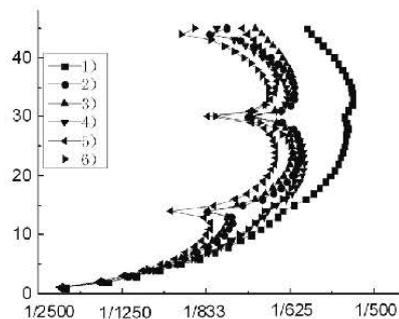


图4 不同加强层的层间位移角

1.2 密柱深梁结构体系

密柱深梁结构体系可以增大外框筒的整体刚度，从而分担部分核心筒的受力。在无加强层结构布置的基础上加密柱网，每两根柱中增加一根柱，并将外围框架梁高设置为1350mm，跨高比约为3.7，可形成密柱深梁的空间整体作用。

1.3 外桁架筒结构体系

外桁架筒结构体系为一种改善框筒效能的经典方法，筒体表面的斜撑可有效地消除翼缘及腹板框架的剪力滞后效应，增加其用于更高建筑以及更大柱距的潜力^[3]。同时，外桁架筒的斜撑形式可以简化结构的传力路径，增大结构的刚度^[4]，充分利用斜撑的轴向刚度来抵抗侧向倾覆荷载及控制结构扭转^[5]。研究表明，斜撑角度为45°时，不但可以满足建筑和要求，还能充分节约材料，提高经济性^[6]。本文计算模型每隔10层（高约45m）设置X形巨型外桁架，倾斜角度为47.7°。

2 多遇地震作用下结构抗震性能对比

2.1 层间位移角

由于结构平面对称，以下仅考虑X方向的作用。在高烈度地震区，地震作用往往处于主导地位，在反应谱分析工况下，三种结构的层间位移角如图5所示。

对比图5中带加强层和无加强层结构形式的层间位移角曲线，可以很明显地看出加强层对结构刚度的贡献，相比无加强层结构，带加强层结构的最大层间位移角约减小60%。加强层处的变形突然减小，两道加强层相当于给整个结构在17层和

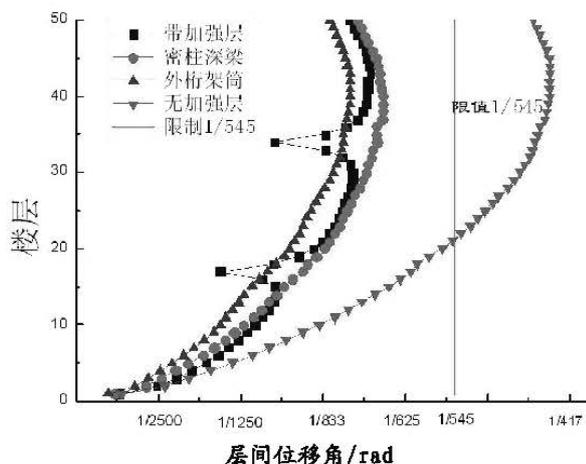


图5 三种结构体系的层间位移角

34层增加了两道“整体转动嵌固约束”，几乎把结构整体分为3段^[7]。另一方面，结构刚度的突然变化易使其下层形成薄弱层，因此宜将加强层设计成“有限刚度”，并注意上下层的延性设计。相比之下，外桁架筒结构体系的刚度最大，且外桁架筒和密柱深梁结构体系的变形均匀。

2.2 剪力

图6为带加强层结构的剪力分布，除加强层外，框架承担的剪力从上到下分布均匀且调整前数值较小，楼层主要剪力由核心筒承担。然而，在加强层处，加强层的“嵌固”作用使得外框架承担的剪力远大于其上下层承担的剪力（约为7.4倍），且为本层总剪力的1.6倍。导致本层核心筒剪力发生反向，楼层剪力为外框架剪力与核心筒剪力绝对值的差值。加强层上下两层的框架（无桁架）剪力亦发生相应的突变，故在设计时应提高这两层框架的强度和刚度，避免出现薄弱层。

相比之下，图7所示的密柱深梁结构体系外框架承担的剪力分布比较均匀，仅在框架柱变截面处有所变化。外桁架筒结构体系的框架剪力在每个区段（每10层一个区段）范围内的变化规律基本相同。

2.3 轴力

图8为X向地震作用下三种结构体系的翼缘框架（1轴框架）基底轴力。从图8中可以看出，密柱深梁结构体系和无加强层结构体系的角柱轴力比中柱轴力大很多，而带加强层与外桁架筒结构体系的轴力分布比较均匀。

在密柱深梁结构体系中，梁的刚度很大，由于梁的变形作用，使翼缘框架各柱的压缩变形向中心逐渐递减，轴力也逐渐减小，形成明显的剪力滞后效应，中柱不能被充分利用。而在带加强

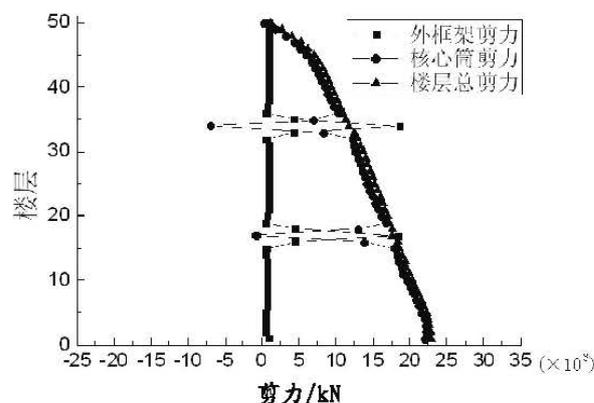


图6 带加强层结构剪力分布

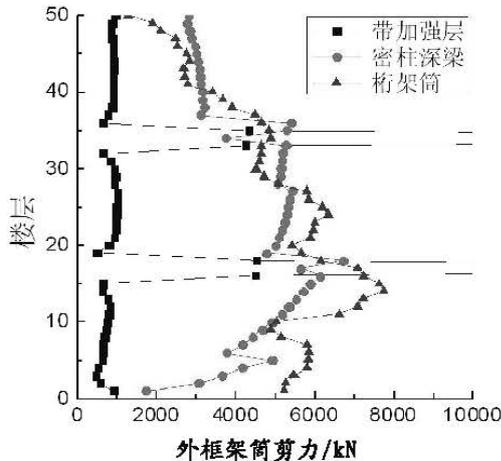


图7 三种体系外框架筒剪力

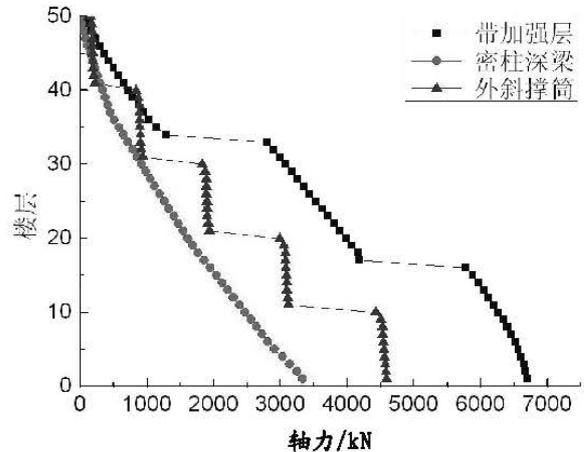


图9 角柱A1轴力

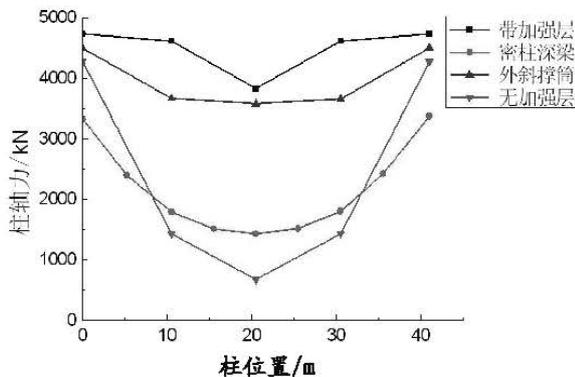


图8 A轴框架柱底部轴力

表2 轴力突变

带加强层			外桁架筒		
楼层	A1轴力/ kN	突变值 /kN	楼层	A1轴力/ kN	突变值 /kN
34层	1280	1515	40层	217	619
33层	2795		39层	836	
			30层	938	888
17层	4188	1588	29层	1826	
16层	5776		20层	1935	1051
			19层	2986	
			10层	3121	1304
			9层	4425	

表3 结构自重及刚重比

结构体系	带加强层	密柱深梁	外桁架筒
结构总质量/t	974900	939300	849900
刚重比	2.233	3.350	3.680

层结构体系中，加强层的伸臂桁架增大了框架柱与核心筒的协同变形和受力，同时，环臂桁架可均衡外框架柱的轴力，避免角柱受力过于集中。外桁架筒结构体系具有同样的效果，其值略小于带加强层结构体系。这体现了桁架结构的优越性，即通过增大构件的轴向受力来提高材料利用率和结构的整体刚度。

另一方面，通过对比A轴/1轴（角柱）框架柱在地震作用下的轴力可知，在带加强层结构体系和外桁架筒结构体系中，桁架位置以下的柱轴力发生了显著突变，如图9所示。其中带加强层结构体系的轴力变化最为明显，约为上层的2.2倍，具体值见表2。

外桁架筒结构体系的巨型斜撑不但增大了结构的抗侧刚度，还有效减少了结构的材料用量，降低了结构自重。从表3可以看出，相比带加强层结构体系和密柱深梁结构体系，外桁架筒结构体系的自重约降低了10%，而刚重比最大。

2.4 倾覆力矩

在框架-核心筒结构体系中，核心筒作为主要的受力构件，是结构的第一道防线。在核心筒退出工作后外框架需要具备足够的承载力，以形成结构的第二道防线，确保结构安全。图10为三种结构体系外框架倾覆力矩，从图10可以看出，三种结构体系楼层倾覆力矩接近；在带加强层结构体系中，设置加强层可以明显增大外框架所承担的倾覆力矩，数值发生突变，而另外两种结构体

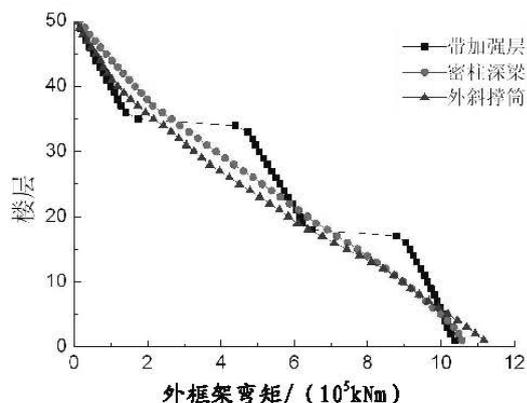


图10 外框架倾覆力矩

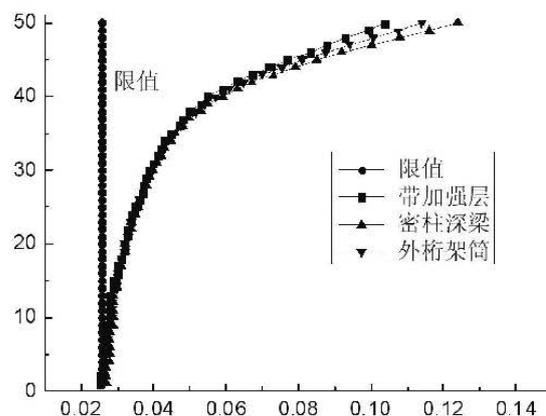


图11 三种结构体系剪重比

表4 底层倾覆力矩 / ($\times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m}$)

结构体系	带加强层	密柱深梁	外桁架筒
框架	1.038	1.304	1.426
楼层	4.162	3.875	3.845
框架所占比例	24.9%	33.7%	37.1%

表5 结构周期比和底层位移比

结构体系	带加强层	密柱深梁	外桁架筒
周期比	0.50	0.42	0.49
位移比	1.136	1.132	1.12

系的倾覆力矩变化均匀。

表4反映了三种不同结构体系底层框架承担的倾覆力矩占总倾覆力矩的比值。一般认为该比值在30%~40%左右时，外框架可以作为有效的二道防线。因此，密柱深梁结构体系和外桁架筒结构体系的外框架表现良好，而带加强层结构体系则有待提高。

2.5 剪重比

三种结构体系的楼层剪重比如图11所示。带加强层结构体系底部2层的剪重比数值略小于《建筑抗震设计规范》(GB 50011-2010)^[8](简称抗规)第5.2.5条规定的限值，但在10%控制范围内，可根据抗规第5.2.5条进行修正。密柱深梁结构体系和外桁架筒结构体系的剪重比均满足抗规的要求。

2.6 周期比和扭转位移比

表5给出了三种结构体系的周期比和底层的扭转位移比。由表5可以看出，三种结构体系的整体抗扭性能良好。

3 一榀平面框架性能对比

上述分析表明，在多遇地震弹性分析时，在

三种结构体系中，外桁架筒结构体系的抗侧刚度最大。然而，在罕遇地震作用下，结构进入弹塑性阶段，结构的延性、耗能能力等成为衡量其抗震性能的标准^[9]。

考虑到三种结构体系的本质区别在于其外框架的不同，故可通过对平面框架这一基本元素的分析，来比较它们的不同性能。应用ETABS软件，选取三种结构体系的一榀50层框架进行静力弹塑性(pushover)分析。其中，在框架柱两端设置了PMM铰，梁两端设置了弯曲M铰，在受拉压的斜撑杆中设置了轴力P铰。

图12为三种结构体系塑性铰的发展及分布状况，其中IO表示“立即入住”，LS表示“生命安全”，CP表示“防止倒塌”。从图12中可以看出，带加强层结构体系和密柱深梁结构体系的塑性铰较多，外桁架筒结构体系相比较少。

图13为三种结构体系基底剪力-顶点位移关系曲线，从图13中可知，带加强层结构体系和密柱深梁结构体系的延性较好，有较长的屈服平台；而在弹性阶段刚度较大的外桁架筒结构体系，其基底剪力峰值远大于其他两种结构体系的，但过峰值点之后承载力迅速下降，没有明显的屈服平台，结构整体的塑性变形能力较弱。

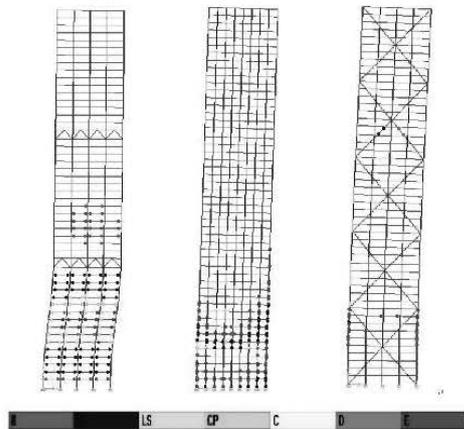


图12 三种结构体系“塑性铰”的发展及分布

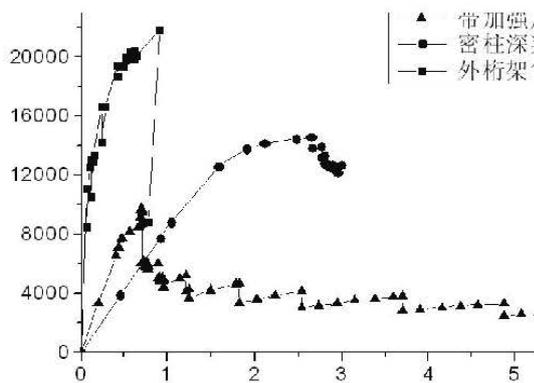


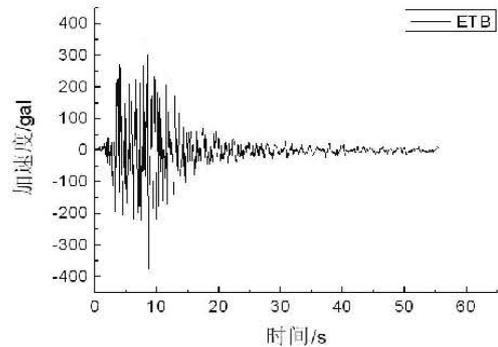
图13 三种结构体系基底剪力-顶点位移关系曲线

4 罕遇地震弹塑性时程分析

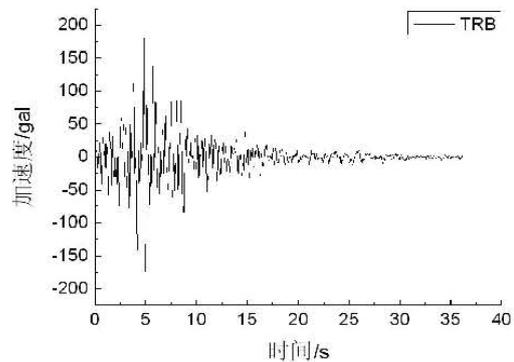
为了研究结构在罕遇地震作用下的反应,现取三条地震波(两条天然波,一条人工波),如图14(a)-(c)所示,并根据抗规表5.1.2-2要求对峰值加速度进行调值(罕遇地震400gal),通过动力弹塑性时程分析,比较三种结构体系的结构性能。其中,钢管混凝土柱采用修正武田三折线滞回模型,钢梁和钢斜撑采用理想双折线滞回模型,混凝土剪力墙采用纤维模型。

4.1 罕遇地震作用下的位移

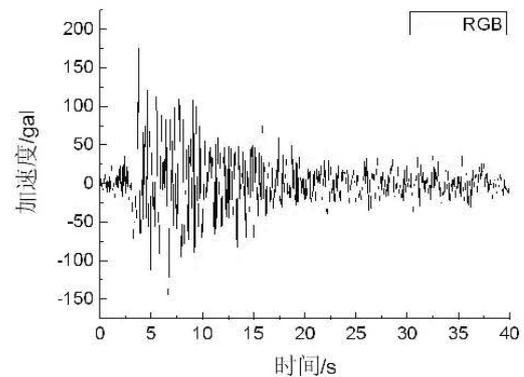
对比三种结构体系在三条罕遇地震波作用下的层间位移角发现,带加强层结构体系的层间位移角在三条波的作用下变化规律相同,而密柱深梁结构体系和外桁架筒结构体系在天然波TRB作用下层间位移角分别在37层和34层发生突变。分析认为进入弹塑性阶段后,结构内力发生重分布,在结构的顶部1/3的范围内,剪切变形成分所占有的比例增大,导致其层间位移角有较大的增长^[10]。



(a) 天然波ETB



(b) 天然波TRB



(c) 人工波RGB

图14 三条地震波

图15为人工波RGB作用下三种结构体系的弹性和弹塑性顶点位移时程曲线。从图15中可以看出,在地震波输入初期,由于结构处于弹性阶段,材料刚度和强度退化不严重,弹性分析和弹塑性分析曲线的顶点位移一致。但随着地震波的输入,弹塑性时程曲线的顶点位移数值开始小于弹性时程的数值,并出现明显的滞后现象。此外,三种结构体系的基底剪力时程曲线的变化趋势与此类似。

经分析可得,在罕遇地震作用下,结构发

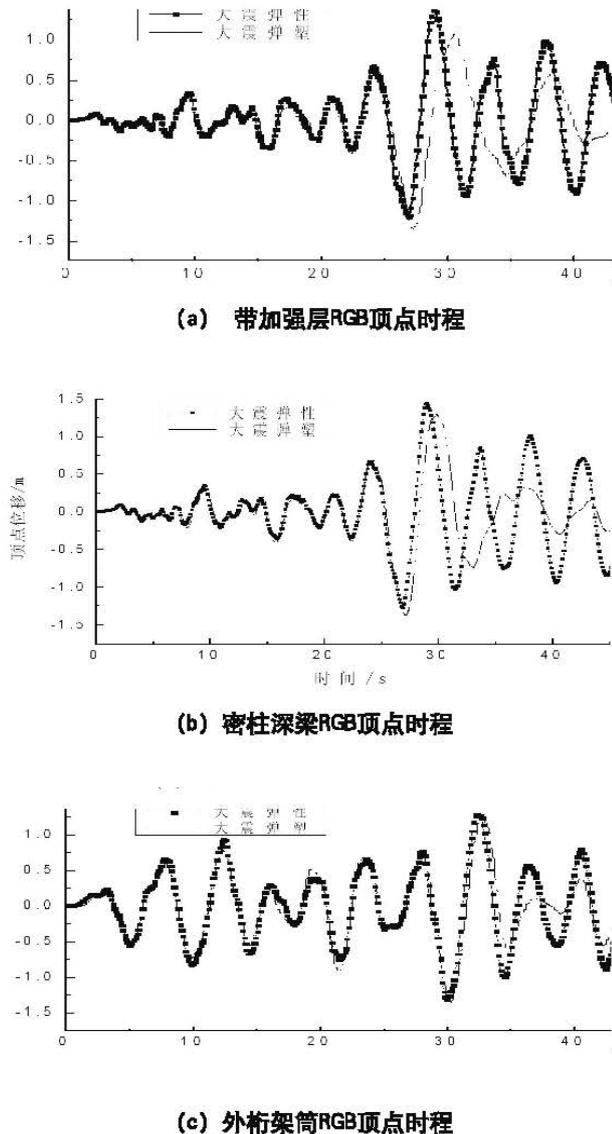


图15 人工波RGB作用下三种结构体系的顶点位移时程曲线

生塑性损伤，刚度下降，结构基底剪力减小，而自振周期的增大，导致了时程曲线的相对滞后现象。时程曲线的下降、滞后程度可以反映结构体系的塑性开展程度。

本文还对三种结构体系在多遇地震和罕遇地震作用下的顶点位移最大值进行了比较。表6的数值可以体现三种结构体系不同的变形能力，即在罕遇地震作用时，相比于外桁架筒结构体系，带加强层结构体系和密柱深梁结构体系具有较好的变形能力。

4.2 塑性铰分布

采用MIDAS Building软件分析三种结构体系的出铰状态带加强层结构体系剪力墙剪切变形如图16所示，带加强层结构体系首先在加强层的连

梁处出铰，该层的剪力墙变形也较大；随后，低区、高区的连梁相继发生屈服，核心筒基本起到了结构第一道防线的作用，建议设计时要提高其延性，必要时可以埋入钢板或钢筋。此外，加强层及底部加强部位的剪力墙塑性变形明显，设计时应予以加强。结构的外框架则基本保持弹性，伸臂和环臂桁架亦能保持不屈服。

密柱深梁结构体系的塑性发展顺序与上述带加强层结构体系基本一致，均为连梁先发生破坏，进而底部剪力墙产生塑性变形，而框架基本保持弹性。但密柱深梁结构体系的外框架柱轴向变形在平面内呈现出明显的V字形，即角柱大中柱小，体现出剪切滞后效应，见图17。

在外桁架筒结构体系中，巨型斜撑主要承受轴力，斜撑的轴向刚度增大了结构的整体刚度，但在罕遇地震作用下，其耗能能力相比另外两种结构体系较小。地震作用开始时，底部斜撑的受力大，上部受力小，而随着时程的输入，高阶振型的参与增多，上部斜撑的变形逐渐增大，见图18。设计时，需在保证结构刚度的同时，合理选择斜撑截面尺寸，确保结构本身的延性，并可以采用耗能斜撑，或加设阻尼器来增大其耗能能力。

表6 多遇地震和罕遇地震作用下结构顶点位移

顶层位(mm)	带加强层	密柱深梁	外桁架筒
多遇地震	123	202	100
罕遇地震	1000	928	708

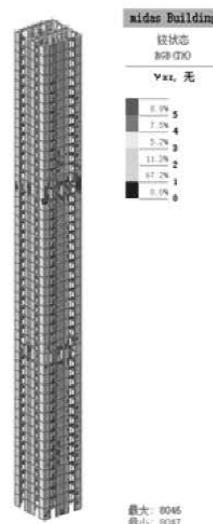


图16 带加强层结构体系剪力墙剪切变形

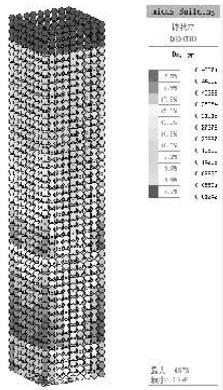


图17 密柱深梁结构体系出铰状态

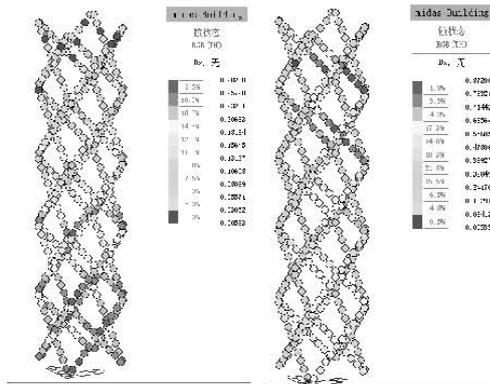


图18 外桁架筒结构体系斜撑出铰状态

5 结论

(1) 加强层可以有效增大结构刚度,减小层间位移角。但同时,由于刚度的突变,在加强层下层容易形成薄弱层,故设计时要考虑加强层的合理刚度,适当提高其下层楼层刚度。

(2) 加强层处外框架承担的剪力明显增大,核心筒剪力出现变号,应局部提高承载力,相比于其他两种结构体系,带加强层结构体系的外框架承担的倾覆力矩与总倾覆力矩的比例较小。

(3) 密柱深梁结构体系有明显的剪切滞后效应,不能充分发挥材料效用,但其延性及耗能能力较好。

(4) 外桁架筒结构体系通过斜撑的轴向刚度来提高结构的整体刚度,可有效减小结构侧移,减轻结构自重,并能够获得经济的材料用量。因此,在低烈度区,外桁架筒结构体系具有明显优势。但在罕遇地震作用下其变形能力较差,设计时要合理掌控刚度与变形的平衡,同时要注意斜撑与柱连接处的节点设计。

(5) 弹性设计时,外桁架筒结构体系的刚度优势较为明显,而在罕遇地震作用下,带加强层结构体系和密柱深梁结构体系的变形能力则略胜一筹。

(6) 考虑建筑的要求,综合评价结构体系在多遇地震和罕遇地震作用下的表现,文中实际工程中采用了带加强层结构体系。结构设计时对底部核心筒、加强层上下层进行了特殊加强,以减小剪力墙的拉力和由加强层引起的刚度突变。由于结构超限,对多遇地震作用下框架柱进行了 $0.2Q_0$ (Q_0 为底层总剪力)和 $1.5V_{max}$ (V_{max} 为各层框架承担的地震总剪力中的最大值)较大值的调整,以确保结构的二道防线。

参考文献

- [1] 汪大绥,周建龙.我国高层建筑钢-混凝土混合结构发展与展望[J].建筑结构学报,2010,31(6):62-70.
- [2] 傅学怡.实用高层建筑结构设计[M].2版.北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [3] 本格尼·S·塔拉纳特.高层建筑钢、混凝土组合结构设计[M].2版.北京:中国建筑工业出版社,1998.
- [4] JI TIANJIAN. Concepts for designing stiffer structures[J].The Structural Engineering,2003,11(4):36-42
- [5] 吕西林,程明.超高层建筑结构体系的新发展[J].结构工程师,2008,24(2):99-106.
- [6] KYOUNG SUN MOON. Sustainable structural engineering strategies for tall buildings[J]. The Structural Design of Tall and Special Buildings, 2008, 17(5):895-914
- [7] 徐培福,傅学怡,王翠坤,等.复杂高层建筑结构设计[M].北京:中国建筑工业出版社,2005.
- [8] GB 50011-2010 建筑抗震设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [9] 周健,汪大绥.高层斜交网格结构体系的性能研究[J].建筑结构,2007,37(5):87-91.
- [10] 聂建国,田淑明.大震下高层型钢混凝土结构弹塑性分析[J].清华大学学报:自然科学版,2007,47(6):772-775.

高建钢对多层大悬挑结构体系与节点性能影响分析研究

■ 王明珠 葛家琪 「结构」

摘要: 内蒙古伊旗全民健身体育中心为多层空间大悬挑结构体系,大悬挑结构根部构件应力高度集中。本工程在高应力区的关键构件及节点处应用了高建钢。在不同应力比条件下,通过调节悬挑结构根部构件的截面面积,对采用高建钢与采用普通钢悬挑结构的静力弹塑性性能、抗震性能、关键节点的静力性能进行了对比分析。结果表明:在悬挑结构应力集中部位采用高建钢能够有效减小构件吸收的应力,大幅减少用钢量,同时悬挑结构的大变形能力、整体结构在罕遇地震下的抗震性能以及关键节点的承载力和变形能力均有一定提高,而节点转角延性系数虽然降低但仍有足够的延性安全系数。

关键词: 高建钢; 应力比; 延性性能; 弹塑性性能

1 工程概况

蒙古伊旗全民健身体育中心建筑总高度30m,建筑总面积51120m²。地下1层,层高10.60m,局部设夹层;地上3层,层高分别为5.75m,6.50m,8.50m。建筑造型下部收进、上部多层大悬挑(图1),地上1层平面为正八边形,最大尺寸为89m×89m,见图2。地上2层及以上向外悬挑呈正方形,最大悬挑43m,最大平面尺寸为120m×120m,见图2、图3。

结构外形整体呈下部收进、上部大悬挑形状,为多层空间大悬挑结构体系,见图4。主体柱网分为内环柱网和外环柱网两部分,内环柱网直径为71.2m,环形柱网9°均分,外围柱网呈八边形与内环柱网位于同一经线上,内外柱网之间对称设置4个通高钢框架—支撑核心筒;沿径向每隔18°设置一道大悬挑转换桁架,悬挑桁架共20榀,其中12榀伸入核心筒,由悬挑桁架支承地上



图1 内蒙古伊旗全民健身中心实景图

2,3层楼面;屋面采用放射状布置的大跨度钢管相贯桁架结构,通过外围密肋斜交网格将转换桁架及屋面悬挑桁架联系为整体,共同工作^[1]。

本工程用钢量9536t,其中使用Q345GJC焊接箱形构件1339t,Q420GJD焊接箱形构件1636t,高建钢总用量2975t,主要用在核心筒柱、楼层悬挑桁架根部梁、外围斜网格等受力较大的部位。大悬挑桁架结构的根部构件应力集中,适合采用高性能建筑结构钢材(简称高建钢)^[1,2]。高建钢已在中央电视台新楼、国家体育场等重大工程中得到

作者简介:王明珠,男,工程师,2007年毕业于中国航空规划设计研究院,现就职于中航规划工程技术研究院。

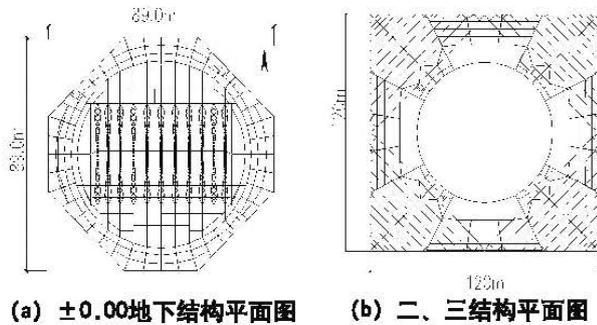


图2 结构平面图

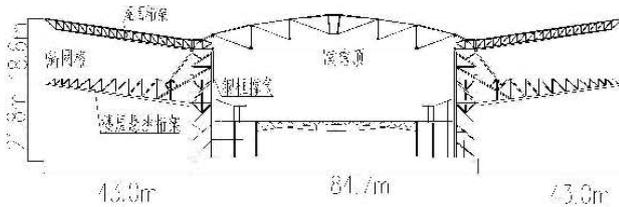


图3 结构剖面图(沿平面对角线剖切)

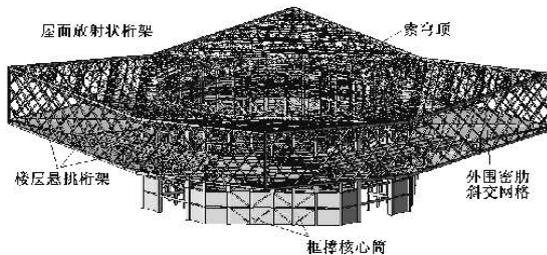


图4 结构三维模型

应用^[3,4]。与普通结构钢材(简称普通钢)相比,高建钢的强度高,变形能力、Z向性能、可焊性、冲击韧性、冷弯性能等虽较低但下降并不显著。目前国内外对采用高建钢结构体系的静力延性性能、抗震延性性能均缺乏系统认识,无明确的设计方法。本文结合工程实践,研究高建钢对结构体系承载力与延性性能的影响^[5,6]、对关键梁柱节点承载力及变形能力的影响^[7,8],相应的成果为高建钢结构的系统研究和工程应用提供参考。

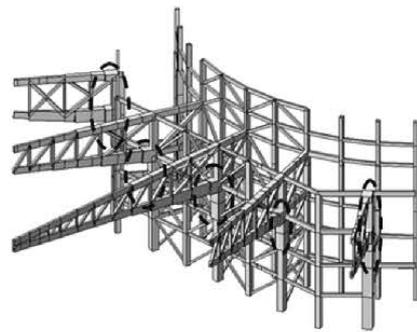
2 高建钢对结构体系性能影响分析

2.1 结构计算模型

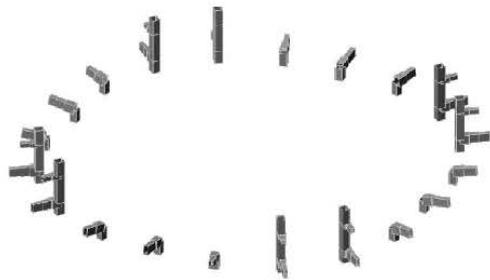
本工程悬挑桁架根部弦杆及相连的柱是结构受力的关键部位,均采用了高建钢。为了分析高建钢对结构性能的影响,对分别采用高建钢和普通钢的关键构件进行了对比分析,关键部件布置见图5。

根据构件材料的不同,通过控制构件应力比确定构件截面,建立3组计算模型:1)高建钢模型(1a~1c);2)按材料屈服强度对等原则直接代换为普通钢的模型(2a~2c);3)按构件计算应力比相等原则代换为普通钢模型(3a~3c)。模型具体参数见表1。

所有计算模型均采用包括索穹顶在内的整体结构模型,进行静力作用下的弹性、弹塑性分析计算,研究结构的静力延性性能并给出安全评价;进行罕遇地震作用下动力弹塑性时程分析,对关键构件的延性性能、多层大悬挑结构的竖向变形能力进行分析和安全评价。



(a) 悬挑桁架三维图



(b) 关键构件布置图

图5 关键构件位置示意图

结构进行塑性分析时,钢材采用双线性本构模型(图6),其屈服强度 f_y 和抗拉强度 f_u 的取值,参考《碳素结构钢》(GB/T 700—2006)、《低合金高强度结构钢》(GB/T 1591—2008)和《建筑结构用钢板》(GB/T 19879—2005)等的有关规定,钢材弹性模量均为206000MPa,泊松比均为0.3,分别取其力学性能要求的下限值,破坏极限应变 ε_u 近似取以上规范中由拉伸试验量测得到的延伸率,不同钢材的材料性能参数见表2。

2.2 静力弹性性能

根据图5中给出的关键构件布置及表1的设

表1 设计模型参数

模型	用钢量/t	钢材种类	模型参数
第1组	1a	Q345GJC ($t \geq 50\text{mm}$): $f_{yGJ}=325\text{MPa}$; Q420GJD ($t \geq 50\text{mm}$): $f_{yGJ}=400\text{MPa}$	关键构件应力比为0.7 (工程用设计模型)
	1b		关键构件应力比为0.8
	1c		关键构件应力比为0.9
第2组	2a	Q345B ($t \geq 50\text{mm}$): $f_{yO}=305\text{MPa}$	模型1a关键构件替换为普通钢材, 按 f_{yGJ}/f_{yO} 等比例增大其截面
	2b		模型1b关键构件替换为普通钢材, 按 f_{yGJ}/f_{yO} 等比例增大其截面
	2c		模型1c关键构件替换为普通钢材, 按 f_{yGJ}/f_{yO} 等比例增大其截面
第3组	3a	Q345B ($t \geq 50\text{mm}$): $f_{yO}=305\text{MPa}$	关键构件替换为普通钢材, 增大截面控制其应力比为0.7
	3b		关键构件替换为普通钢材, 增大截面控制其应力比为0.8
	3c		关键构件替换为普通钢材, 增大截面控制其应力比为0.9

表2 钢材材性能参数

钢材	$\xi_y (\times 10^{-6})$	f_y/MPa	f_u/MPa	ϵ_u
Q235B	1040	215	370	0.24
Q345B	1480	305	470	0.20
Q345GJC	1580	325	490	0.22
Q420B	1750	360	520	0.18
Q420GJD	1940	400	520	0.19

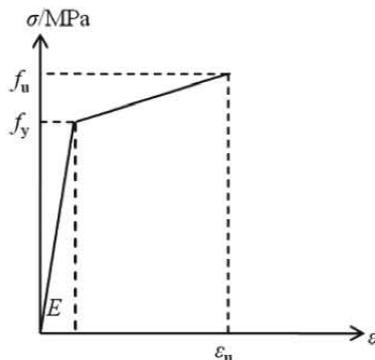
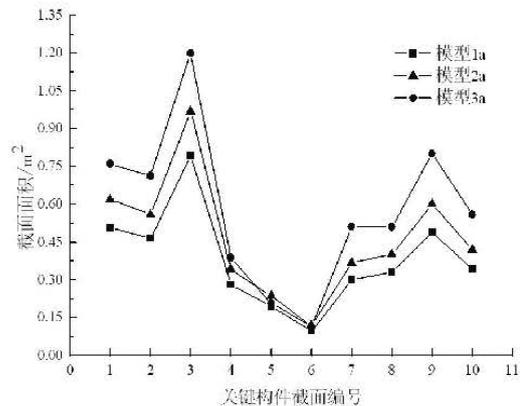


图6 钢材应力应变模型

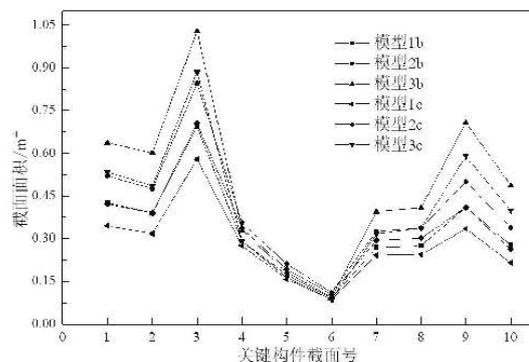
附注: f_y 为屈服强度, f_u 为抗拉强度, ϵ_u 为破坏极限应变

计模型参数, 确定计算模型中关键构件的截面特性, 由于结构的对称性, 选取10根构件进行比较。1~3为桁架根部相连的柱, 5~6为转换桁架上弦根部, 7~10为转换桁架下弦根部。以构件应力比为0.7控制条件的各模型关键构件截面面积见图7(a), 应力比为0.8, 0.9控制条件下各模型的截面面积见图7(b)。

第1组模型与第2组模型关键构件的应力比见表3。对于结构体系中受力较大部位的悬挑桁架根部及与之相连柱的应力比第2组模型比第1组模



(a) 模型1a~3a



(b) 模型1b~3b, 1c~3c

图7 不同设计模型关键构件的截面面积

型高约10%~15%; 对于受力较小部位的换桁架上弦, 在控制应力比为0.7的条件下, 模型2与模型1应力比相近, 在控制应力比为0.8, 0.9条件下, 模型2的应力比模型1低约10%。

各模型方案关键部位的用钢量和在标准荷载组合作用下悬挑端最大位移见表4。

表3 模型1、2关键构件应力比

模型	关键构件截面号									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1a	0.70	0.70	0.71	0.72	0.71	0.75	0.72	0.71	0.73	0.72
2a	0.81	0.82	0.84	0.75	0.726	0.77	0.85	0.82	0.84	0.83
1b	0.79	0.79	0.81	0.83	0.830	0.84	0.81	0.81	0.82	0.81
2b	0.91	0.92	0.92	0.76	0.732	0.79	0.91	0.92	0.96	0.94

表4 模型的用钢量与结构竖向位移

模型	用钢量/t	最大位移/mm	模型	用钢量/t	最大位移/mm	模型	用钢量/t	最大位移/mm
1a	869	124.6	1b	742	126.9	1c	643	129.2
2a	1058	122.1	2b	899	124.3	2c	778	126.4
3a	1290	119.9	3b	1060	122.2	3c	895	124.4

根据图7、表3、4分析可得如下结论:

第1组与第3组模型相比,构件截面面积均有不同程度的减小。在构件控制应力比相同的条件下,结构体系受力较大部位采用高建钢后其构件截面面积大幅减小、受力较小部位构件截面尺寸基本不变。采用高建钢后结构内力发生了由原高应力区向低应力区转移的内力重分布现象,受力较小部位构件承担结构内力的比例加大,多层大悬挑结构的内力集中现象得到缓解,提高了整体结构的安全性能。

第2组与第1组模型相比,构件计算应力比发生了较大变化。在结构体系的低应力区采用高建钢,其高强度性能得不到充分发挥。采用高建钢进行结构设计时,不能简单地按构件材料屈服强度比进行构件截面代换设计,宜将高建钢用于结构体系中受力较大部位,进行整体结构力学分析,才能保证高建钢性能得到充分发挥。

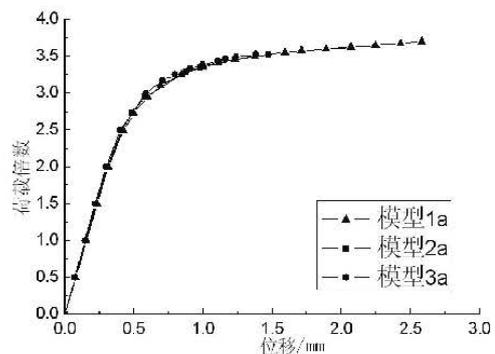
用钢量方面,采用高建钢的第1组模型用钢量最低,仅统计1~10构件,模型1a比模型2a,3a用钢量分别减小189,421t。可见采用高建钢可得到比材料屈服强度比例更大的用钢量节约幅度。采用高建钢后结构刚度减小,大悬挑端部最大竖向位移有所增大,但增幅均小于4%,对结构变形影响不大。

2.3 静力弹塑性性能

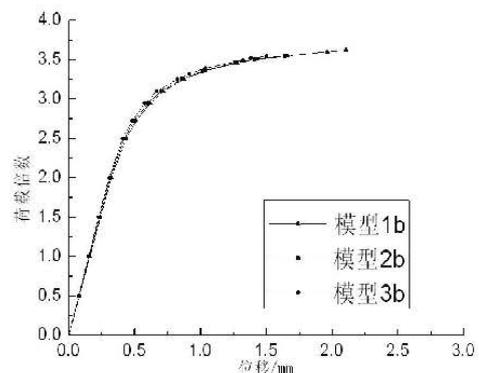
应用ANASYS软件对结构的3组模型进行静力弹塑性全过程屈曲分析,研究采用不同性能钢材对结构体系在竖向荷载作用下的弹塑性性能的影响,模型中梁柱及桁架弦杆单元用BEAM188单元,桁架单元采用LINK8单元。

考虑结构几何非线性和材料线性,对结构全进行过程屈曲分析,得到结构能承受的最大极限承载力,即结构体系的破坏荷载。破坏荷载与设计荷载标准值之比为结构的破坏荷载系数^[9]。

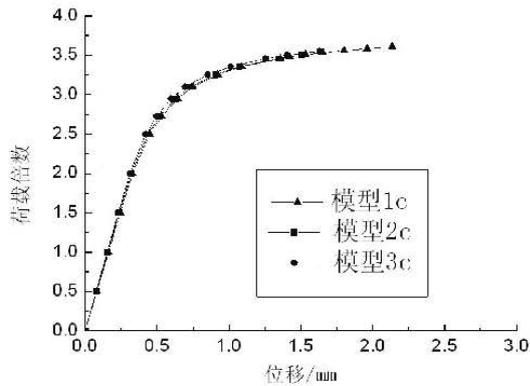
在竖向荷载作用下,结构的最大位移发生在悬挑端,绘制结构的荷载—位移曲线,如图8所示,曲线的拐点位置为体系的屈服系数,即拐点的荷载与设计标准荷载的比值。主要计算结果见表5。



(a) 应力比0.7



(b) 应力比0.8



(c) 应力比0.9

图8 整体结构双非线性分析荷载-位移曲线

表5 双非线性结构稳定承载力性能

模型	承载力及系数						
	P_u	P_y	$P_u / 1.4$	$P_{1/40}$	K	D_u	D_u/L
1a	3.70	2.89	2.64	3.39	2.62	2.58	1/16.6
1b	3.62	2.87	2.59	3.37	2.59	2.10	1/20.4
1c	3.61	2.81	2.58	3.35	2.58	2.13	1/20.1
2a	3.53	2.72	2.52	3.40	2.52	1.47	1/29.2
2b	3.55	2.78	2.54	3.38	2.54	1.64	1/26.2
2c	3.50	2.72	2.50	3.35	2.50	1.51	1/28.6
3a	3.53	2.74	2.52	3.42	2.52	1.38	1/31.1
3b	3.54	2.79	2.53	3.40	2.53	1.50	1/28.6
3c	3.55	2.80	2.54	3.38	2.54	1.63	1/26.4

注： P_u 为结构体系破坏荷载系数； P_y 为结构体系屈服系数； $P_{1/40}$ 为悬挑长度的1/40对应的荷载系数；K为结构稳定承载力系数^[9]，取 P_y 、 $P_{1/40}$ 、 $P_u/1.4$ 中的较小值； D_u 为结构发生失稳破坏时最大位移；L为结构悬挑长度。

根据图8及表5分析可得：

(1) 结构整体失稳时的破坏荷载系数在3.50~3.70范围内，采用高建钢的结构稳定承载力系数略高于采用普通钢的。结构达到破坏荷载时发生极限变形，且采用高建钢模型的变形比采用普通钢的提高约40%。对多层大悬挑结构体系，关键构件采用高建钢时，尽管其材料延性性能(伸长率)有所降低，但其结构稳定承载力系数K不但未降低，还较大幅度地提高了体系的大变形能力。

(2) 从表5可知，发生失稳破坏时各模型的变形均大于悬挑跨度的1/40。当以变形悬挑长度的1/40作为结构延性安全性能控制指标时， $P_{1/40}$ 在3.35~3.42范围内，3种模型的 $P_{1/40}$ 本相等。说明

以1/40的悬挑长度为结构大变形安全性能控制指标时，在关键部位选用不同钢材对结构定承载力系数影响不大。

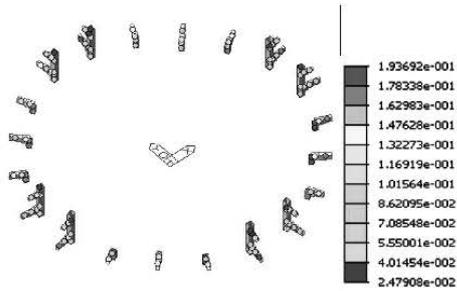
2.4 抗震延性性能

文献^[1]对本工程结构在地震作用下的延性性能进行了研究，研究表明，结构在地震作用下的破坏模式主要是框撑筒的斜撑构件出铰，而受力较大的关键构件在罕遇地震作用下仍处于弹性。为了研究罕遇地震作用下高建钢对结构抗震性能的影响，本文选取地震响应最大的El Centro波(1940年)，采用MIDAS/Gen软件对模型1a, 2a, 3a进行了罕遇地震作用下的弹塑性时

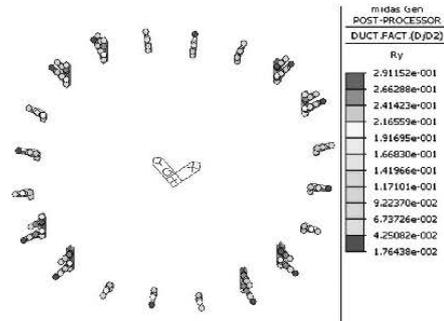
程分析，地震输入采用三向输入，三向地震峰值之比 $a_x:a_y:a_z=1:0.85:0.65$ ，最大峰值加速度为 220cm/s^2 。

分析结果表明，在罕遇地震作用下3种模型的关键构件均处于弹性状态，采用构件的变形系数来描述其地震作用对结构的影响，见图9。

在7度罕遇地震作用下采用高建钢的关键构件(图3)均处于弹性阶段，无塑性铰出现。最大轴向变形比值为模型1a:模型2a:模型3a=1:1.04:0.83，最大弯曲变形比值为模型1a:模型2a:模型3a=1:1.04:0.87。采用高建钢模型关键部位的变形系数较大，但关键构件在大震下远未达到塑性状态，故对结构安全性不起控制作用。



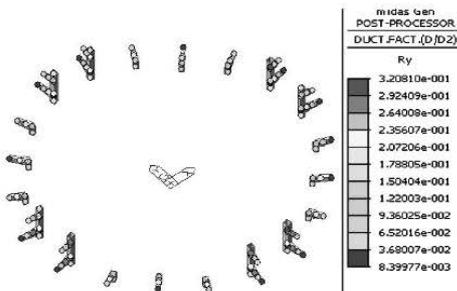
a) 1a号模型关键部位轴向变形系数(Dx)



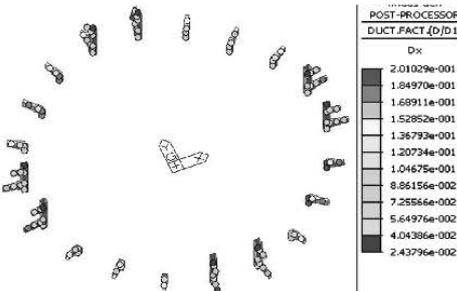
f) 3a号模型关键部位弯曲变形系数(Ry)

注: 变形系数: 构件当前变形和构件屈服变形的比值。

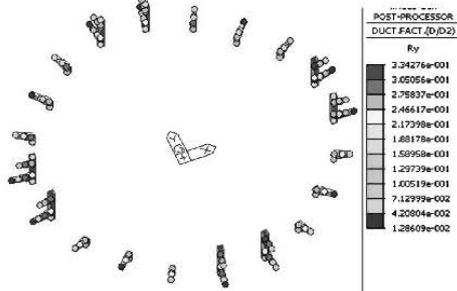
图9 弹性时程分析构件变形系数



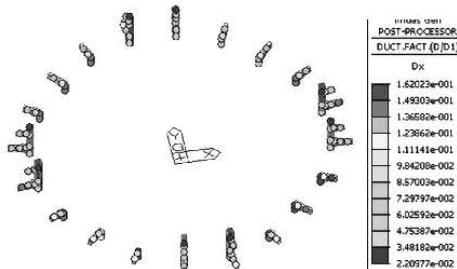
b) 1a号模型关键部位弯曲变形系数(Ry)



c) 2a号模型关键部位轴向变形系数(Dx)



d) 2a号模型关键部位弯曲变形系数(Ry)



e) 3a号模型关键部位轴向变形系数(Dx)

3 高建钢对关键节点性能影响分析

关键节点采用高建钢的强度比普通钢Q235B提高约150%~200%，材料的极限应变 ϵ_u 低约20%。本工程大悬挑桁架弦杆与柱相交节点处应力高度集中、受力复杂。设计采用的高建钢对节点延性性能的影响国内外也少有研究。

选取结构中受力最大的悬挑根部梁柱节点，位置如图10(a)所示，梁柱均为焊接箱形截面，采用全熔透对接焊缝连接，在柱内梁翼缘对应部位设置横向加劲板。

3.1 节点模型

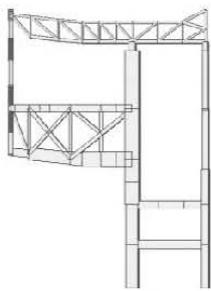
为了研究钢材对节点性能的影响，建立两类节点模型：1)梁柱截面不变化，仅改变构件材料的节点模型(I型)。2)保证节点的构件应力比相同，梁柱截面随钢材强度增大而减小的模型(II型)。模型具体参数见表6，所用模型在柱内梁翼缘对应部位设置的横向加劲板厚度均为70mm。

采用ANASYS软件对节点进行极限承载力的非线性全过程分析，分析时采用SOLID186，SOLID187实体单元节点有限元模型约束柱底截面所有单元节点的平动自由度，梁端和柱顶自由，并建立了刚度很大的端板，以传递荷载和消除应力集中对内部节点、单元力学性能的影响，见图10(b)。

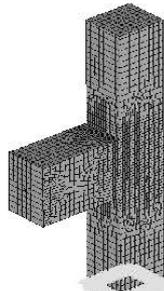
根据结构整体计算结果，将构件端部内力作为节点外荷载，该节点柱顶部内力设计值为：轴向压力 $N=14020\text{kN}$ ，弯矩 $M=29435\text{kN}\cdot\text{m}$ ，计算应力比为0.317，梁端内力设计值为：轴向压力 $N=18510\text{kN}$ ，弯矩 $M=42135\text{kN}\cdot\text{m}$ ，计算应力比为0.555，剪力相对于轴力和弯矩来说，其值很小，故忽略不计。为了研究梁柱节点的受力性能

表6 节点模型参数

模型	长度/m		钢材种类	截面尺寸/mm	备注
I 型	梁	3.1	Q235B, Q345B, Q345GJC, Q420B, Q420GJD,	2020×1600×70×50	梁柱截面不随钢材强度的变化而变化
	柱	9.0		1800×1600×85×85	
II 型	梁	3.1		2020×1600×140×100	通过保证不同钢材的构件应力比相同, 调节梁柱截面, 其中Q420GJ级节点 I 型和 II 型同为工程实际所用设计模型
				2020×1600×94×67	
				2020×1600×87×62	
				2020×1600×78×56	
	2020×1600×70×50				
	柱	9.0		1800×1600×184×184	
1800×1600×117×117					
1800×1600×108×108					
1800×1600×96×96					
1800×1600×85×85					

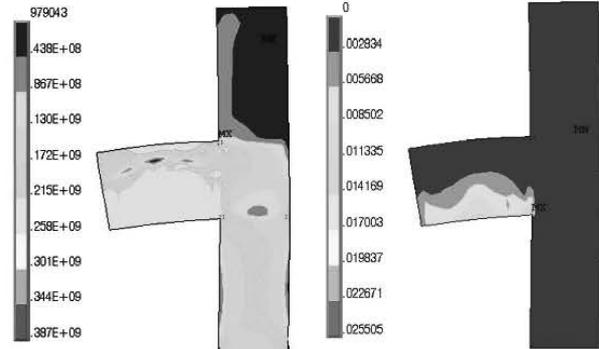


(a) 节点位置

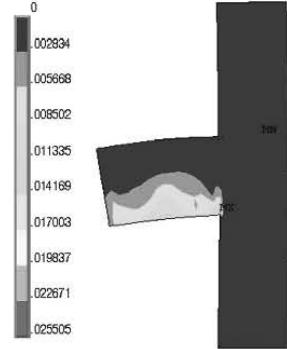


(b) 有限元模型及网格划分

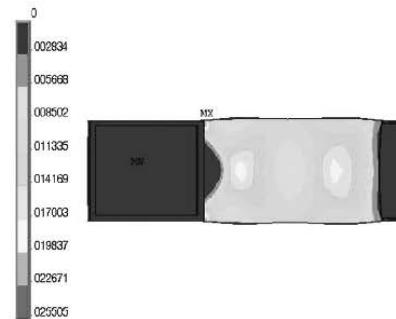
图10 节点位置、有限元模型及网格划分



(a) 等效应力云图/Pa



(b) 等效塑性应变云图



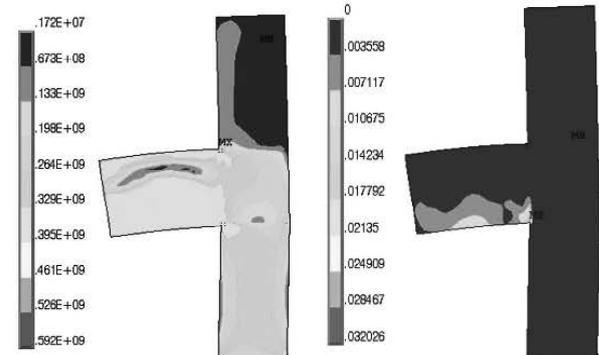
(c) 梁下翼缘等效塑性应变云图

图11 Q235B I 型节点破坏时应力应变云图

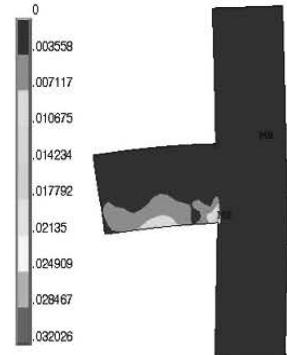
及梁端的变形能力，假设在柱端内力不变的情况下增大梁端荷载，进行有限元计算时，非线性求解过程分为两个荷载步：第一荷载步，在柱顶施加荷载达到设计内力；第二荷载步，在梁端施加荷载达到设计内力，并继续逐步增大荷载直至有限元模型失效。

3.2 应力应变分布规律

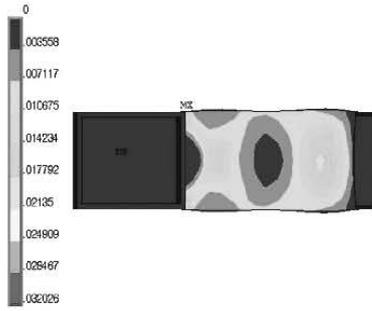
图11、12给出Q235B, Q420GJD两个 I 型节点破坏时的应力应变云图。由图可以得出：1) 由于箱形截面柱的刚度很大，而且在柱内布置了水平加劲肋，对梁翼缘传递来的拉压应力进行有效扩散，柱最大应力小于235Mpa，没有超出弹性范围，基本未出现塑性应变，在梁柱节点核心区具有足够的强度和刚度。2) 梁上的应力分布呈典型的压弯状态，梁下翼缘首先产生塑性变形，然后扩展到梁腹板。对于Q235B钢的模型，加载破坏时，塑性变形发展到梁腹板中和轴位置；对Q420GJD钢材的模型，破坏位置约在梁下部1/3处的腹板，扩展范围较小。3) 梁柱相交的下角部单元最先进入塑性状态，但梁塑性区发展最大部位不



(a) 等效应力云图/Pa



(b) 等效塑性应变云图



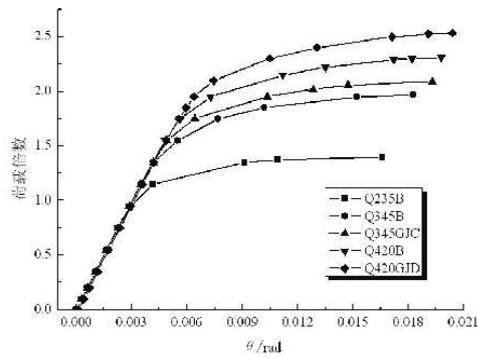
(c) 梁下翼缘等效塑性应变云图

图12 Q420GJD I型节点破坏时应力应变云图

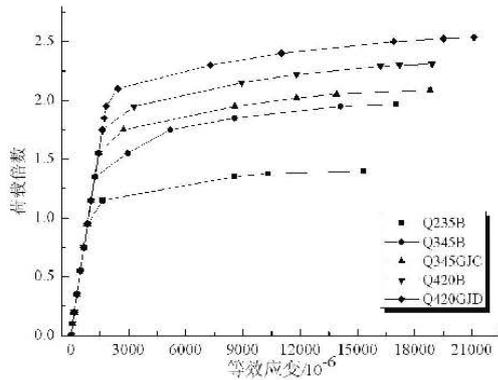
在梁柱相交处，而是在距梁根部约0.5倍梁高处，可见柱的刚域约束作用导致梁的塑性区域外移。4) 在弯矩作用下，梁出现了明显的转角，梁端的转角应作为节点安全控制的重要参数。

3.3 节点承载力

节点加载历程全过程性能曲线见图13~图15，节点转角发展最快最不利部位出现在梁悬挑端，图中 θ 为梁悬臂端截面中性轴上单元相邻两节点竖向位移差值与单元长度的比值。

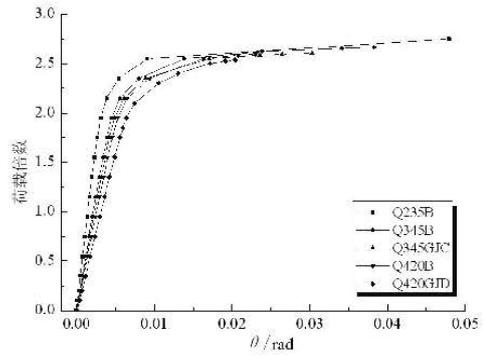


(a) 荷载-转角曲线

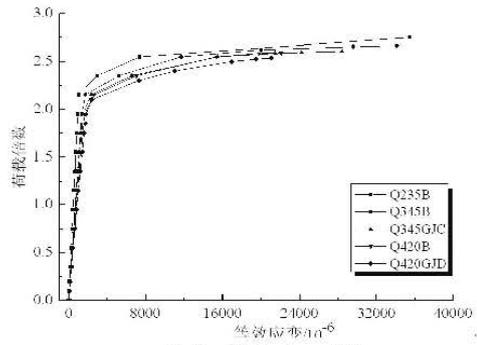


(b) 荷载-等效应变曲线

图13 I型节点加载历程分析

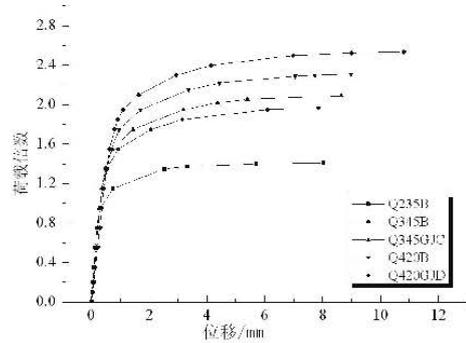


(a) 荷载-转角曲线

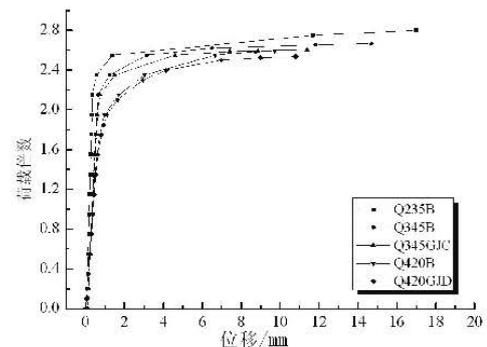


(b) 荷载-等效应变曲线

图14 II型节点加载历程分析



(a) I型节点荷载-腹板平面外位移曲线



(b) II型节点荷载-腹板平面外位移曲线

图15 节点荷载-位移曲线

由图13~图15分析可知:

(1)无论是I型节点,还是II型节点,节点的梁下翼缘极限塑性等效应变 ε_{max} 、梁端极限弯矩位移角 θ_{max} 的节点屈服荷载系数、弹塑性破坏荷载系数均接近于同步到达最大值。可见梁柱节点的轴向应变塑性发展历程与弯矩位移铰塑性发展历程有着内在关联,梁端转角和应变是同步增加的。

(2)表7给出了I型节点性能参数,高建钢对节点屈服荷载系数的提高程度比材料强度的提高程度高约5%,节点弹塑性破坏荷载系数的提高程度都比材料强度的提高程度低约3%。 P_y/f_y 与 P_u/f_y 基本接近于1。节点弹性极限承载力及弹塑性极限承载力基本与节点材料强度基本成正比。

(3)表8给出了II型节点的性能参数,采用Q235B钢材节点的弹性极限承载力比采用Q420GJD钢材的约高9%,但采用Q420GJD钢材节点的用钢量比采用Q235B的低48%,经济效果明显。节点的弹性极限承载力和弹塑性破坏极限承

载力虽均有所下降,但下降幅度不大。总之,高建钢节点具有良好的技术经济效果。

3.4 弹塑性变形能力

由分析可知,梁、柱和节点域的变形很小,梁的变形能力即为节点的变形能力。表9列出了模型梁端弹性最大转角 θ_y 、极限转角 θ_u 以及延性系数 $\eta_\theta = \theta_u / \theta_y$ 。

由表9分析可得出如下结论:

(1)节点腹板破坏荷载对应的最大变形在10~17mm,Q235B钢节点变形最大为17mm,水平变形与腹板宽度的比值为1/118,不至于发生节点局部过度屈曲,可见梁腹板局部屈曲不是节点弹塑性安全控制因素。

(2)节点下翼缘屈服主应变基本接近材料的屈服应变,但节点破坏时主应变远大于材料破坏极限应变。节点作为“微体系”,在部分材料破坏时整体仍具有很大的变形能力,这从节点安全设计原则考虑是合理的。

表7 I型节点性能

材料	Q235B	Q345B	Q345GJC	Q420B	Q420GJD
f_y	215	305	325	360	400
P_y	0.98	1.35	1.55	1.75	1.95
P_u	1.40	1.97	2.09	2.31	2.54
P_y/f_y	1.00	0.97	1.05	1.07	1.07
P_u/f_y	1.00	0.99	0.99	0.98	0.97

注: P_y 为梁下翼缘开始进入塑性时对应的荷载倍数; P_u 为节点压弯破坏极限承载力荷载倍数,即模型节点计算终止对应的荷载系数;荷载倍数为梁加载值与梁设计内力标准值的比值。

表8 II型节点性能

材料	Q235B	Q345B	Q345GJC	Q420B	Q420GJD
f_y	215	305	325	360	400
P_y	2.15	1.95	1.95	1.95	1.95
P_u	2.75	2.61	2.67	2.61	2.60
用钢量	1.00	0.69	0.64	0.58	0.52

表9 II型节点弹塑性变形性能

钢材	θ_y/rad	θ_u/rad	η_θ	$\varepsilon_y/10^{-6}$	$\varepsilon_u/10^{-6}$	D_y/mm	D_u/mm
Q235B	0.0038	0.0479	12.605	1035	35406	0.63	17.0
Q345B	0.0045	0.0383	8.511	1355	34100	0.77	14.66
Q345GJC	0.0048	0.0303	6.321	1505	28400	0.78	11.37
Q420B	0.0053	0.0230	4.339	1620	22100	0.81	9.72
Q420GJD	0.0064	0.0204	3.187	1831	21100	0.86	10.77

注: θ_y , ε_y , D_y 分别为点梁端屈服转角、屈服等效应变、腹板平面外屈服位移; η_θ 为节点转角延性系数; θ_u , ε_u , D_u 分别为节点梁端破坏极限转角、破坏极限应变、腹板平面外破坏极限位移。

(3)节点梁端屈服转角 θ_y 随着钢材强度的增大而逐渐增大,增幅在18%~68%之间;破坏极限转角 θ_u 随钢材强度的增大而逐渐降低,降幅在20%~57%之间。这导致延性系数 $\eta_o = \theta_u / \theta_y$ 随着钢材强度的增大而大幅减小,降幅在34%~75%之间。这说明在同应力比条件下,采用高建钢节点的延性系数较普通钢小,产生这种结果的原因之一是采用高建钢节点的截面减小,导致其变形加大;但采用Q420GJD钢材节点的延性系数仍有3,足以满足结构设计的延性性能要求。

4 结论

结合实际工程对多层大悬挑结构以及结构中采用普通钢和高建钢的、应力较集中的关键构件进行了对比分析研究,得出以下结论:

(1)结构受力较大部位采用高建钢后其截面面积大幅减小、构件刚度降低,同时受力较小部位构件截面基本不变,结构内力发生了由原高应力区向低应力区转移的内力重分布现象,使多层大悬挑结构内力高度集中得现象得到缓解。在保证结构整体承载力的同时有效底降低了材料用量,具有较好的经济效益。

(3)在大震作用下,采用高建钢模型的关键构件变形系数较大,其延性性能略有降低,但在大震下远未达到塑性状态,可见适当提高关键构件的应力储备可保证其大震安全性。因此在使用高建钢进行结构抗震设计时,应考虑其延性性能较低的影响,适当提高建钢构件的安全度。

(4)采用高建钢可大幅度提高梁柱节点弹性承载力和弹塑性极限承载力。节点弹性承载力与弹塑性极限承载力的提高程度基本与节点材料强度的提高程度成正比。采用高建钢等应力比替换普通钢时,高建钢节点的延性系数大幅降低,但本工程采用Q420GJD钢材其延性系数仍大于3,满足结构设计的延性要求,对于节点来说是安全的。但在进行结构节点设计时,应适当预留一定的应力储备,以弥补节点延性性能降低造成的不利因素。

参考文献

[1] 王树,王明珠,张国军,等.多层大悬挑钢结构体系静力与性能化设计[J].建筑结构学报,2012,32(4):77-86.

[2] 杨维国,洪国松,王明珠,等.多层大悬挑钢结构施工全过程仿真分析研究[J].建筑结构学报,2012,32(4):87-93.

[3] 国际桥梁与工程协会.高性能钢材在钢结构中的应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2010.

[4] 陈禄如.中央电视台新台址主楼钢结构用钢特点[J].钢结构,2007,22,(1):1-4.

[5] 沈世钊,陈昕.网壳结构稳定性[M].北京:北京科学出版社,1999.

[6] 葛家琪,张国军,王树,等.2008奥运会羽毛球馆弦支穹顶结构整体稳定性分析研究[J].建筑结构学报,2007,28(6):22-30.

[7] 刘鑫刚,葛家琪,张国军,等.承受弯矩大直径空间相贯节点足尺模型试验与设计研究[J].建筑结构,2010,40(12):25-34.

[8] 张国军,王树,王耀峰,等.弦杆受压大直径空间相贯节点足尺模型试验与设计研究[J].建筑结构,40(12):10-19.

[9] 葛家琪,张爱林,杨维国,等.基于延性的大跨度结构设计研究[J].建筑结构学报,2011,32(12):29-36.

组合楼盖在超高层建筑中的应用

■ 金来建 谢军 「结构」

摘要: 在谈论超高层结构时,人们往往更关心竖向体系形式,然而作为横向体系的楼盖体系在超高层建筑中同样起着重要的作用。虽然超高层建筑的楼盖与多高层建筑的楼盖没有本质的区别,但是随着层数的增加,自重和层高无疑成为了超高层更为突出的问题,经实际工程比较,组合楼盖体系应用较广泛。本文简介了超高层的发展、楼盖体系的重要作用及分类,总结了几种超高层建筑中常用的楼盖形式,为类似工程项目提供参考。

关键词: 超高层建筑;楼盖体系;组合楼盖体系

1 超高层的发展

随着城市的高速发展以及人口的不断膨胀,建筑在原有横向发展的同时,也在追求竖向的延伸,这就催生了高层建筑以及超高层建筑的发展。现代最早的高层建筑结构体系可以追溯到美国芝加哥的“家庭保险大楼”(Home Insurance Building),见图1,其被视为建筑结构的一次革命。而随着结构体系的不断发展,以及计算机技术的广泛应用,更加速了超高层建筑的极速发展。典型的建筑见图2~图8。

建筑的不断增高离不开结构技术的发展及人们对结构体系的认识。通常,建筑结构体系主要分为水平分体系和竖向分体系,它们对整体结构都有极其重要的作用。然而,当我们谈论超高层结构体系时,往往首先想到的是竖向分体系,如框筒结构、筒中筒结构、成束筒结构等等,而对水平分体系,尤其是楼盖体系的研究总结相对较少。虽然高层及超高层建筑的楼盖体系与多层建筑差别不大,但随着层数的增加,有些问题变得更加突出和重要。本文总结了现有楼盖体系及其在超高层体系中的应用,为工程设计提供适当的借鉴。



图1 家庭保险大楼 (1885)



图2 帝国大厦 (1931)



图3 约翰汉考克 (1969)



图4 西尔斯大厦 (1973)

作者简介:金来建,男,研究员,2004年毕业于清华大学建筑与土木工程领域工程专业,现就职于中航规划设计研究院。



图5 香港中国银行 (1990)



图6 马来西亚双子星(1998)



图7 台湾101大厦(2003)



图8 上海环球金融中心(2008)

2 楼盖体系

2.1 楼盖体系的作用

楼盖体系一般由板、梁、拉压杆等构件组成,是结构水平分体系的最重要部分,其可以看作是二维的整体构件,在结构中主要有两大作用:第一,通过构件的弯曲承受楼面或屋面的竖向荷载,并把它传递给竖向结构分体系;第二,在水平方向,它起着隔板和支承竖向构件的作用,并保持竖向构件的稳定,以及水平力在结构中的传递和分配。因此,结构对楼盖的要求是:在竖向荷载的作用下,要满足承载力和竖向刚度要求,在楼盖自身水平面内要有足够的水平刚度和整体性;要与竖向结构有可靠的连接,以保证竖向力和水平力的传递。这些都体现了楼盖体系在结构中的重要性。

楼盖体系在超高层建筑中的重要性更加突出。众所周知,以风荷载为主的横向作用是超高层建筑的主要作用,而楼盖体系恰恰起着将横向

作用传递给竖向分体系的作用。楼盖体系的好坏,影响着竖向构件的效用,如剪力滞后效应。同时,楼板的质量和阻尼影响其竖向震动的频率和加速度,从而影响人的舒适感。

此外,在任何高层建筑中,如何抵抗倾覆力矩都是很重要的问题。因此,应尽可能把楼盖上的重量传到最外面的抗倾覆力矩的构件上,由预压力平衡倾覆力矩产生的拉力。这就要求尽可能采用大跨度的楼盖体系,取消内柱^[1]。

其次,楼盖体系也直接影响结构自重和层高。一个建筑物中,楼盖约占土建总造价的20%~30%,在钢筋混凝土高层建筑中,楼盖的自重约占总自重的50%~60%^[2]。自重的增加势必要求较大的柱子和剪力墙截面尺寸,这不但会增加结构的材料和施工费用,同时也会加大基础的用量和造价,及楼板体系的自振频率和舒适度。此外,还会明显增大结构地震作用下的惯性力,增加抗震造价。楼盖体系的结构高度也很重要,会直接影响超高层建筑的经济性,试想如果每层层高可以节省30cm,则一栋60层的建筑便可以节省18m,在同等高度的情况下可以创造出更多的使用面积,这对于寸土寸金的商业建筑十分重要。

2.2 楼盖体系分类

综上所述,选择一个合理的楼盖体系是非常必要的。但是,楼盖体系不是孤立于其他子结构体系的,要根据整个结构的要求适当选取,才能达到安全、适用、经济的要求。超高层建筑楼盖体系受到建筑主体结构、抗震要求、综合造价、工期的影响。常用的楼盖体系种类大概有5种,分别是:

(1)肋梁楼盖(普通肋梁楼盖、井字楼盖、密肋楼盖)

1)井字楼盖

钢筋混凝土井字楼盖是肋型梁板结构的一种,它是由双向板和交叉梁系组成的空间受力结构体系,分为正交井字梁和斜交井字梁两种形式。井字梁受力体系能满足有较大空间使用要求的建筑物,特别是复杂的空间平面布置情况下,不仅可以有效地节省钢材,还可以降低层高,技术经济效益显著,因此广泛应用于工程设计中。井字梁楼盖的平面跨度一般为8m~24m,且两个方向的跨度值宜相等,多用于地下停车场等。

2)密肋楼盖

密肋楼盖与井字楼盖的区别是,密肋楼盖中

梁与梁的间距较小,通常将两个方向梁间距不大于1.5m的楼盖称为密肋楼盖。其优点为^[3]:

a.密肋结构,适用于大跨结构、多层次的建筑,并且可以降低层高。

b.现场整体浇筑,刚度大、荷载大、整体性好、抗震能力强。

c.减轻楼板自重20%~25%,节约混凝土和钢材,降低工程造价。其他经济效益也很显著(如降低层高,节省后处理费用,预制件运费及建筑物基础费用等)。

d.用塑料模板建筑的楼板表面光滑、平整,可省去抹灰工序,后处理简便。

e.塑料模板的使用简便易行,施工进度快,可缩短工程周期。

f.楼板结构美观、新颖,并可根据需要,进行不同水准的装修(如安装灯光、通风、音响等),从而达到更加理想的效果。

(2) 预应力混凝土楼盖

即应用了预应力技术的楼盖体系,可以视作有助于增加传统的钢筋混凝土楼盖跨度范围的一种手段,其增加的幅度约为30%~40%。但是技术要求较高,在超高层中的应用还不是很广泛。

(3) 空心楼盖

空心楼盖有两个突出的特点:一是在楼板内预埋空心圆通形成空心楼盖,二是在框架柱之间设有暗偏梁。其具有结构自重轻、整体性好、提高净空、房间布置灵活等优点,在高端写字楼、酒店等大跨度结构中有广阔的应用前景^[4]。如下某建筑在总高度受限制的情况下,为了给甲方争取更多的建筑面积,建筑方案设计楼层层高均较小,办公层层高仅为3.40m,公寓层层高为3.20m。该项目办公层为一类办公,装修吊顶后净高不小于2.70m,结构梁高必然受限,无法按照普通梁板体系来设计。因此既要满足建筑和设备的要求,又要做到经济合理,楼盖体系选为现浇空心楼盖(见图9)。

当竖向受力构件在平面内布置得比较均匀和对称时,就没有必要再用很强的楼盖结构作为水平刚性楼板。此时,只要将每层楼板的结构自重减轻一点,就可以使整个建筑的重量减轻很多。空心楼盖的特点就愈加突出:

a.板底平整,可以不吊顶而直接粉刷做成天花。安装通风管时可顺利通过,可以减少吊顶空间,节约建筑净高。

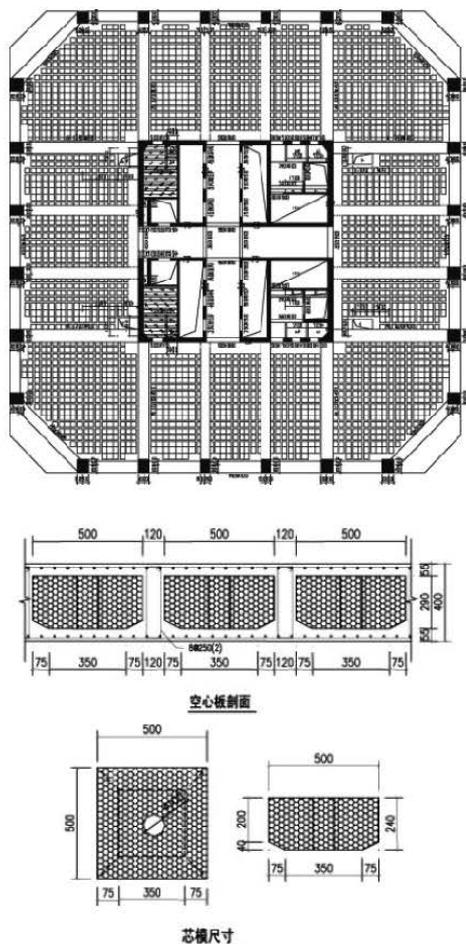


图9 空心楼盖

b.结构高度小,可显著的降低层高;与普通梁式楼盖相比,净高相同的公寓楼,在建筑高度不变的情况下,至少每10层可以增加一层。

c.建造方便,模板及配筋简单,可缩短工期^[5]。

(4) 宽扁梁楼盖

宽扁梁是介于无梁楼盖与肋梁楼盖之间的新型楼盖体系^[6],框架宽扁梁的外形特点是宽扁梁的宽度通常超过柱子横截面宽度,这种梁一般是因建筑净空要求,在结构上并不经济。采用相同断面积,宽扁梁比正常梁惯性矩小,承载力低,且挠度大;但可以节省空间,一般配筋量也稍多些,所以可以采用无粘结预应力宽扁梁等技术。根据建筑平面尺寸及结构平面布置,宽扁梁有单向、双向正交或斜交楼盖结构,此外还有变截面宽度即横向加腋的预应力混凝土框架宽扁梁。

(5) 钢—混凝土组合楼盖

1) 钢梁—压型钢板混凝土组合楼盖(见图10)

利用凹凸相间的压型薄钢板做衬板与现浇混

混凝土浇筑在一起支承在钢梁上构成整体型楼板，主要由楼面层、组合板和钢梁三部分组成，能够充分发挥两种材料的自身特点，底部钢板可以用作混凝土的模板，节约工期，适用于大空间建筑和高层建筑，在国际上已普遍采用。

根据梁上是否开洞分为实腹梁和开孔梁，开洞梁和蜂窝梁见图11、图12。

2) 钢桁架梁——混凝土楼盖

与普通压型钢板相比，钢桁架梁——混凝土楼盖凭借其独特的构造，具有节约材料，降低层高的优点，见图13。

3) 组合短桁大梁^[7]

短桁大梁(图14)是工程师约瑟夫·卡洛可博士发明的，试图解决多专业空间应用并同时减少楼盖体系的用钢量。短桁大梁的关键部件是间断放置并焊接在浅钢梁上翼缘上的短桁。短桁之间有足够的空间安放设备管线。楼盖小梁支撑在浅钢梁上面而不是直接伸到浅梁内。因此楼盖小梁按连续构件设计，节省了钢材并减少了挠度。由短的宽翼缘梁做成的桁放置在楼盖梁之间并与之相垂直。楼盖系统由与短桁上端相连的压型钢板及混凝土面层组成。

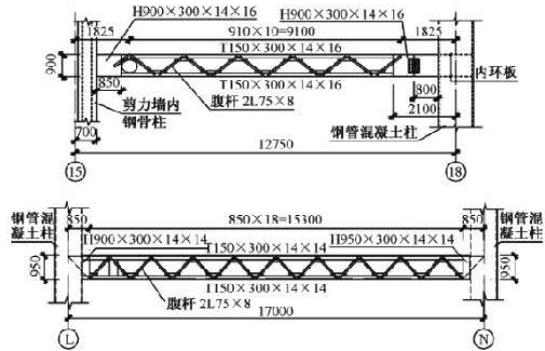


图13 钢桁架梁

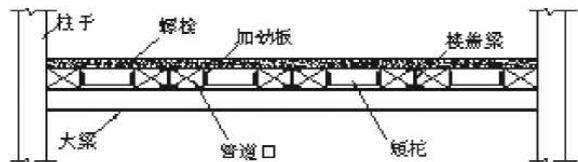


图14 短桁大梁

3 组合楼盖在超高层中的应用

各种楼盖体系都有其自身的特点，以及各自的使用范围。在超高层建筑中，随着层数的增加，自重和层高无疑成为了更为突出的问题，同时考虑到建筑对结构跨度、净高等的要求也会影响到楼盖体系的选择。

如今的高层及超高层建筑是综合了多功能的复合体，包括商场、写字楼、酒店及演播厅等等，使得楼盖体系的选择更加复杂。商业及大空间办公区对大跨度的要求也愈加明显，而且大跨度有利于建筑的抗倾覆。在实际工程中有许多以12m左右的跨度的实例，对于这样的建筑要求，通常选择楼盖怎样的体系呢？

组合楼盖能够充分发挥钢材和混凝土两种不同材料各自不同的力学性能，进一步减轻结构自重，减轻地震的作用，降低基础的造价。与普通楼盖相比，组合楼盖结构的整体刚度和承载力大，特别适用于大跨度、重荷载的高层建筑、超高层建筑和大型公共建筑。可以满足现代高层、超高层建筑的大空间、大跨度的要求^[8]。

3.1 工程实例简介

(1) 武汉保利广场 (209.9m)

标准层内部楼盖梁采用由T型钢作弦杆、双角钢作腹杆的轻钢桁架梁。由于利用了设备管线高度作为结构高度，采用桁架梁比采用H型钢梁的整体高度小，而且用钢量小。主楼标准层楼盖钢桁

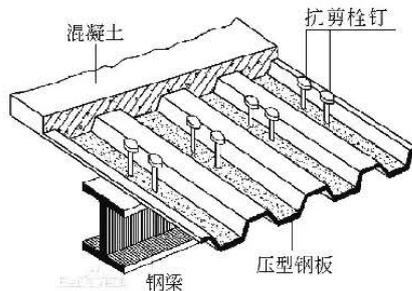


图10 钢梁——压型钢板

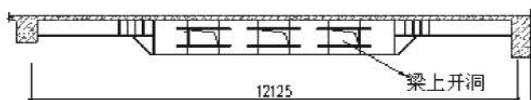


图11 某建筑梁板截面图

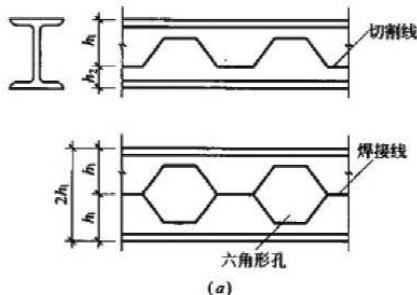


图12 蜂窝梁

架梁跨度为12.75m,副楼钢桁架梁17.0m。楼盖桁架梁在端部转变为实腹H型钢梁^[9]。

(2) 卡塔尔多哈塔部分采用钢梁组合楼盖(231m)

该建筑根据不同楼层的使用要求,在具体位置使用了组合楼盖体系,结构平面图见图15。

(3) 上海中心(632m)

综合考虑建筑室内净空要求,同时为了减少结构用钢量,上海中心平面荷载体系采用了钢梁与组合楼板共同作用的组合梁结构。其中,标准层采用155mm厚组合楼板(75mm高压型钢板+80mm后混凝土表层),混凝土强度等级C35,钢材Q345B。加强层楼板考虑避难层防火的要求以及受力复杂性,故将楼板进行加厚处理,采用200mm厚组合楼板(75mm高压型钢板+125mm厚混凝土表层)^[10]。上海中心结构平面图见图16。

(3) 天津响螺湾T2 (358m)

楼盖采用型钢梁、混凝土楼板组合楼盖体系,型钢梁端铰接,顶面设栓钉。标准层楼板厚100~120mm,设备层楼板厚150mm。高度600mm型钢梁腹板开六边形孔,由高度494mm型钢梁经切割拼接形成(即上述蜂窝梁),同时允许设备管线穿过,以提高建筑净高。天津响螺湾结构平面图见图17。

4 结论

楼盖体系起着传递水平荷载的重要作用,在钢筋混凝土高层建筑中,楼盖的自重约占总自重的50%~60%,故其设计的好坏直接影响超高层建筑的造价及质量。

组合楼盖体系具有自重轻、高度小、跨度大等特点,满足超高层建筑随着楼层数增加对自重、楼层高度及跨度的要求,得到了普遍的应用。其他的一些楼盖体系在不同情况下也有相应应用。

参考文献

- [1] 林同炎, S·D·斯多台斯伯利. 结构概念与体系[M] (第二版). 北京: 中国建筑出版社, 1999.
- [2] B.S.SMITH, A.COULL. Tall building structures analysis and design[M]. New York: John Wiley&Son Inc, 1991.
- [3] R.H.WOOD. Plastic and elastic design of slabs and plates[M]. London: Thames and Hudson, 1961.
- [4] 邓世斌. 宽扁梁空心楼盖结构在工程中的应用[J]. 工程技术, 2010, 06: 60-61.
- [5] 方小中. 宽扁梁与肋梁楼盖体系的抗震性与经济性比较[J]. 上海建设科技, 2007, 6: 13-15.

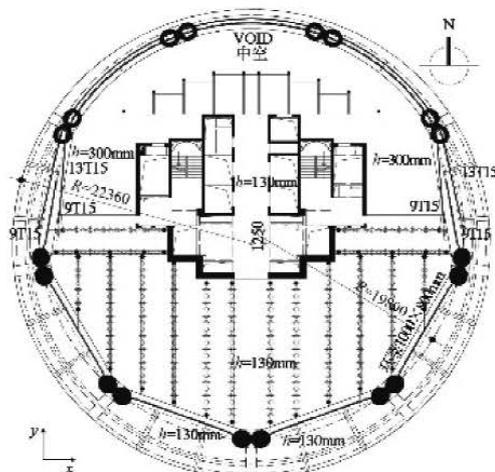


图15 卡塔尔多哈塔结构平面图

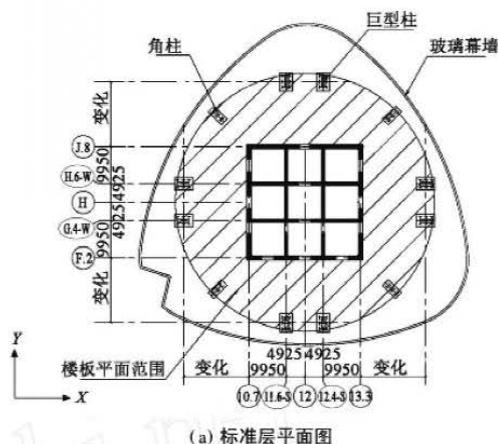


图16 上海中心结构平面图

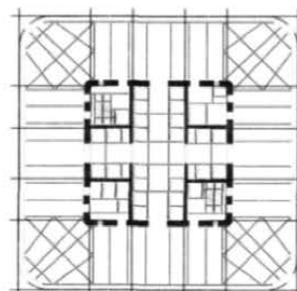


图17 天津响螺湾结构平面图

- [6] 李广斌. 无梁楼盖结构设计和工程应用的探讨[D]. 广州: 华南理工大学, 2009.
- [7] 本格尼·S·塔拉纳特. 高层建筑钢、混凝土、组合结构设计[M] (第二版). 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [8] 刘秋玲, 颜学英, 赵永生. 空间架组合楼盖的可行性[J]. 山西建筑, 2008, 34 (9): 96-97.
- [9] 李霆, 王小南, 范华冰. 等. 武汉保利广场混合减震连体高层结构设计[J]. 建筑结构, 2012, 42(12): 1-7.
- [10] 丁洁民. 组合结构构件在上海中心大厦中的应用与研究[J]. 建筑结构, 2011, 41 (12): 62-67.

临空经济区空间发展模式及趋势展望

■ 胡赵征 李守旭 [规划]

摘要: 随着机场由交通场所向全球节点的跨越转变,临空经济区也随之相应地发生着演变和变化,其产业和空间形态已由孤立的边缘城市向融入区域一体化发展进行转变。因此,需要对临空经济区的产生机理、空间布局规律和特点、未来发展趋势进行总结和展望。本文从梳理国内外临空经济区的研究出发,对临空经济区的概念和空间发展模式进行探讨。从机场与临空经济区的关系出发,研究临空经济区与机场、中心城市、腹地之间在产业与空间上的互动关系——集聚效应与分散效应,勾勒出临空经济空间布局演变过程:独立机场区——机场产业化区——空港都市区,结合临空经济区出现的新变化和特点,探索和展望临空经济区的未来发展趋势——航空市镇群。

关键词: 临空经济区;空间演变;航空市镇群

0 引言

在城市发展的历史长河里,城市总是依托当时最先进的交通方式而发展,如18世纪的水运、19世纪的铁路和20世纪的汽车等交通方式对威尼斯、芝加哥和洛杉矶等城市的发展都起到了积极地带动作用,交通工具和交通方式决定着城市的形态和前途。在全球一体化发展的21世纪,当今国际经济正在创造一个以时间价值为基础的全新竞争体系,人类进入了速度经济时代。机场所具有的速度快和流量大这两个特点是这个全新体系的空间载体和支撑基础之一。依托机场对国家和地区的巨大辐射和带动作用,全球各国都在围绕机场大力发展和建设临空经济区,来促进机场及其周边区域的经济共同发展^[1]。临空经济区的建设,能够借助机场速度快、流量大、网络广的优势,最大限度地利用全球范围内的资源,推动区

域经济、金融和贸易的发展,提升机场所在国家和城市在国际上的竞争力;其次,随着机场的运营和发展,临空经济区将聚集了大量高层次、高附加值的产业,给临空经济区所在的区域和城市带来了产业结构、城市空间结构和交通结构调整和升级的机会。

我国也认识到临空经济区对区域经济发展的巨大带动作用,2012年7月12日,国务院正式颁布指导民航业发展的纲领性文件——《关于促进民航业发展的若干意见》,将我国民航业的发展也上升为国家战略的高度。该《意见》明确指出,“民航业是我国经济社会发展重要的战略产业,应通过航空经济促进区域产业升级和经济发展。”^[2]

随着机场由交通场所向全球节点的跨越转变,临空经济区也随之相应地发生着演变和变化,其产业和空间形态已由紧邻机场的单一产业园区向以机场为核心、面向腹地的分工有序的航空市镇群转化。因此,本文从梳理国内外临空经济区的研究出发,从区域层面对临空经济区空间发展趋势进行探讨。

作者简介:胡赵征,男,高级工程师,2014年毕业于清华大学城市规划专业,现就职于中新规划综合规划研究院。

1 临空经济区的概念及国内外研究评述

1.1 临空经济区概念

目前关于临空经济区的不同名称包括机场城、空港经济区、空港都市区、航空城、航空大都市、临空产业区、临空地区。本人认为上述名称都是临空经济区的不同发展阶段,临空经济区是依托机场的速度经济和流量经济,围绕机场在其场红线范围外半径约30km范围内而形成的一种新型城市形态,是城市的分区域和重要组成部分。

1.2 国外研究

国外对临空经济区理论的研究和实践起步都较早,取得了较为丰富的成果。世界首个临空经济区爱尔兰香农自贸区(1959)在香农国际机场建立^[3]。Mckinley Conway(1965)在“The Fly-in Concept”一文中提出临空经济的概念。剑桥系统研究所(1993)对北美、欧洲和日本等20多个城市的空港进行研究,Weisbrod(1993)在这些研究的基础上,归纳总结出空港邻近地区的发展特征,阐述了新扩建空港对地区经济发展的影响,建立了经济影响预测模型、空港地区土地开发规划模型体系、规划构架和产业类型。John D.Kasarda(1998、2001)分别提出“第五波理论”^[4]和“空港都市区”(Aerotropolis)的概念^[5],并将空港都市区的概念在底特律、台湾、曼谷等城市以及本人与John D.Kasarda合作参与的青岛临空经济区规划建设中进行了运用。2011年,美国国会第658号空港都市区法案(United States Congress H.R.658: Aerotropolis Act of 2011)对空港都市区做出了官方的定义,空港都市区是一个围绕大型机场的、包含客货多式联运交通综合体的经济区域,具有高效率、成本效益、可持续发展的经济特点^[6]。

1.3 国内研究

国内对临空经济区的研究虽然起步较晚,但也取得了较为丰硕的成果,从宏观、中观和微观三个层面对临空经济区的理论、空间布局规律、产业选择、规划建设及管理模式进行了研究。

刘武君(1999)提出航空城分为广义和狭义两个概念,广义航空城指从生产场所到机场不需要交通转换的城市化地区,其不受空间限制,狭义航空城指以机场为核心的周边城市化地区^[7]。曹允春、踪家峰(1999)认为临空经济区要经历航站区、航空港区、临空经济区三个阶段,并在土地利用模式、空间功能结构、建设开发周期等方

面探讨临空经济区的演变规律^[8]。李晓江(2001)编译剑桥系统研究所的Airport area Economic development model报告,提出围绕机场空间可分为空港区、紧邻空港区、空港相邻区及空港交通走廊沿线可达地区、外围辐射区^[9]。王旭(2005)认为空港都市区是美国顺应第五次浪潮过程中出现的城市化新模式^[10]。刘洋(2006)把临空经济区分为机场环、商业服务环、制造配送环和外围环等四个圈层^[11]。曹允春(2009)提出临空产业空间布局的蛛网模型,并认为临空经济空间演化模式包括渐进式和跳蛙式^[12]。练振中(2011)认为临空经济区与中心城市、腹地之间通过生产要素和商品的流动进行联系^[13]。李守旭、胡赵征(2012)提出航空城整合规划理念,建立了航空城发展的规划体系,即以规划作为统领,协同战略、产业、空间、交通、生态、社会、市政等七大专项规划,支撑航空城科学发展^[14]。马亚华(2013)在中国35个大中城市的1997年至2011年面板数据的基础上,对城市经济与空港的长期因果关系进行分析,得出大型枢纽空港是城市经济增长的内生因素,对城市具有永久效应和衍生效应;中小型支线空港属于外生因素,对城市经济仅具备短期效应^[15]。曹允春、沈丹阳(2013)对临空经济区的研究进一步拓展到空港都市区发展阶段,认为空港都市区是一种新型城市形态,由空港运营区、临空产业区、空港居住区三部分构成,可分为航空货运枢纽驱动型、航空制造产业驱动型、区域资源环境导向型和综合枢纽导向型四种类型^[16]。李守旭、胡赵征、John D.Kasarda(2014)提出精益航城的概念,认为在航空城规划中不仅应充分利用机场的速度经济,更应在物流、生态、建设和理念等四方面体现航空城的高效率和高效益^[17]。

1.4 国内外研究评述

通过上述研究可以发现,目前国内外关于临空经济区的研究偏重于临空经济发展规律、作用机制的研究,对临空经济区空间布局的研究仍以圈层布局普适规律为主,对临空经济区空间布局出现的新趋势研究较少。同时仅以临空经济区本身的发展为研究对象,没有把临空经济区放在城市和区域整体经济框架中,从更大的空间范围研究临空经济区与中心城市——腹地之间的空间演化。对临空经济区高级形态的空港都市区及其未来发展趋势的展望较少。本文结合理论与实践,对临空经济区的空间发展趋势进行总结和判断。

2 临空经济区空间发展模式

2.1 传统圈层布局模式

临空经济区是临空经济聚集的产物。根据距离机场的区位条件,不同产业类型与空港联系紧密程度的不同,临空经济区理想化的空间布局模式是建立在假定空间匀质化的基础上的同心圆式圈层模式。该模式基于区位论的基础,以机场为价值极核进行地理中心空间分布划分,根据其距离机场的远近大致划分为五个发展区域,不同区域内的产业会产生重叠,不同圈层之间是以一个产业过渡带相连(见图1)。圈层影响范围的大小与机场的定位、规模、发展时间长短、腹地和中心城经济的发达程度、区域基础设施的完善有关。

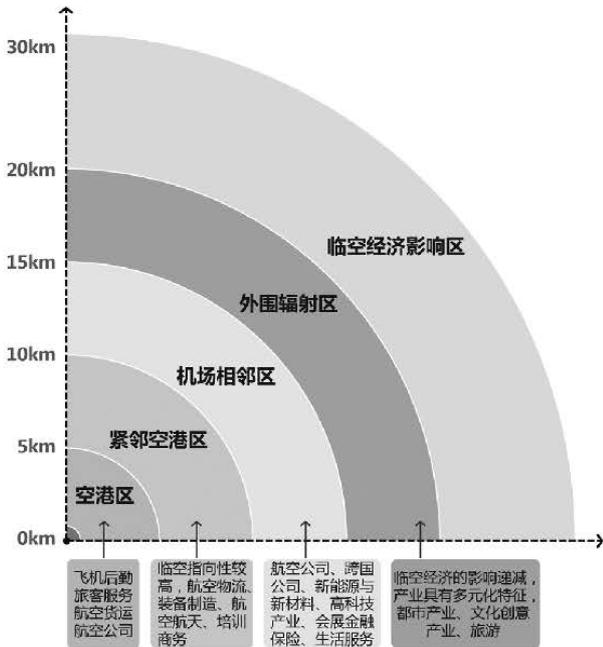


图1 临空经济区圈层空间布局结构

根据国内外临空经济区实践经验总结,临空经济区一般集中在空港交通走廊沿线车程15分钟范围内。根据临空产业与机场联系的紧密程度,临空经济区在空间上形成以空港为核心的、半径30km左右的一个多层次圈层结构,与空港形成相互关联、相关依存、相互促进的互动关系。

2.2 临空经济区空间布局分析

但在现实的发展过程中,以机场为核心的区域空间并不是一个经济均质空间,由于受到地理条件、基础设施、产业基础、规模经济、政策等因素的影响,地区之间存在明显差异,导致地租曲线变

化,直接影响生产者和消费者的区位选择,进而影响临空经济区的空间结构,带来临空经济区各产业圈层结构边界的发生一系列不规则的变化,从同心圆式圈层模式变成多种不同的空间结构形式。例如:受地理环境因子制约则可能呈偏侧式发展;受交通条件等基础设施因子或者政策因子影响,也可能呈点轴式发展;受区域规模经济因子的影响,有的临空经济区就一直处于机场产业化阶段,而没有发展到空港都市区阶段。

总体而言,现实中的临空经济区空间布局按照同心圆式圈层模式,可继续深化为四类模式(见表1)。

(1)组团圈层模式:受自然条件、区域环境干扰较小时,在周边交通便利的条件下,临空经济区通常采取的模式。如北京首都机场临空经济区、广州白云机场临空经济区、迪拜世界中心国际机场临空经济区。

表1 临空经济区空间布局模式表

空间布局模式	临空经济区	产业类型	影响因子	空间布局
组团圈层模式	北京首都机场临空经济区	航空运输业、金融总部、地理信息、航空航天、高科技制造、电子信息、汽车产业	平原地形、产业基础、规模经济、政策	
	广州白云机场临空经济区	航空运输、现代服务业、高新技术产业、先进制造、都市农业	平原地形、行政区划、产业基础	
偏侧模式	香港赤鱓角机场临空经济区	航空物流、商务办公、金融商贸、会展中心、娱乐	滨海地形、区域经济、政策	
	新加坡樟宜机场临空经济区	航空物流转运、高新技术研发、商务金融、医疗健康、航空培训、会议展览	滨海地形、区位优势、政策	
点轴模式	荷兰史基浦机场临空经济区	商务总部、航空航天、航空物流、花卉交易、高科技产业、商业、娱乐	区位优势、基础设施、市区辐射	
	昆明长水机场临空经济区	航空物流、空港配套服务业、航空食品加工、康体休闲、旅游	山地、市区辐射	
星型模式	美国达拉斯-沃斯堡航空城	商务总部、金融服务、航空物流、研发、高科技产业	平原地形、交通设施、区域经济	
	北京新机场临空经济区	商务总部、金融服务、会议会展、研发、战略新兴产业、生产性服务业	平原地形、交通设施、区域经济、政策	

(2)偏侧模式:受自然条件、行政区划等因素影响,在圆形模式的基础上呈一侧局部发展。如香港赤鱘角国际机场临空经济区、新加坡樟宜国际机场临空经济区、韩国仁川国际机场临空经济区等属于填海型机场,其临空经济区空间往往向陆地一侧发展。

(3)点轴模式:由于机场与中心城市之间具备强大的经济联系和便捷的交通联系,临空经济区会沿此路径发展。如荷兰阿姆斯特丹史基浦机场临空经济区、德国法兰克福国际机场临空经济区、昆明长水国际机场临空经济区。

(4)星形模式:临空经济区依托高速公路、轨道交通等交通廊道进行轴向发展,形成星形外缘。如美国达拉斯沃斯堡机场临空经济区、北京新机场临空经济区。

3 临空经济区空间发展趋势研究

在当今时代,临空经济区早已不是一个孤立的边缘城市,临空经济区必须融入区域一体化发展的格局中,临空经济的产生和演进是在机场、中心城市和腹地经济的互动中实现的。临空经济区同所有经济区域一样,具有较完整的经济结构和自组织演进的特性,能够相对独立地组织内部及其与外部的经济联系^[18]。因此,需要对临空经济区的发展历程进行总结,并从区域层面分析临空经济区与中心城市——腹地之间的空间演化,判断其未来空间发展趋势。

3.1 临空经济区发展历程

3.1.1 临空经济区时间发展脉络

目前,综观世界临空经济区的发展历程,大致经历四个发展阶段:

雏形期:以航空运营、航空基地公司、航空支撑为主的相关产业;

成长期:以航空制造业、临空高科技制造业发展为主的发展阶段;

繁荣期:城市综合功能发展阶段,现代服务业和城市综合功能发展完善;

成熟期:临空经济对区域经济带动作用加大,区域经济一体化发展阶段。

我国临空经济区大多处于临空经济发展的雏形期和成长期之间,三大枢纽机场如首都机场、广州白云机场、上海虹桥机场的临空经济区则介于成长期阶段与繁荣期阶段之间,正逐步完善临

空经济的金融保险、信息服务等高端服务业功能和居住、休闲、文化、医疗等城市综合功能,从单一的临空制造园区向航空城市转变。

欧美发达国家枢纽机场的临空经济区则大多处于繁荣期阶段,如孟菲斯航空城、法兰克福航空城、史基浦航空城等。少量欧美临空经济区如伦敦希思罗、芝加哥奥黑尔、达拉斯沃斯堡临空经济区和亚洲近年一些全新规划建设机场临空经济区如韩国仁川,逐步向成熟期阶段发展,通过枢纽机场和临空经济区的辐射能力,带动区域一体化发展,引领临空经济区的建设潮流。

3.1.2 临空经济区空间发展脉络

随着机场的带动作用日益增强,大多数机场及其临空经济区的空间演变进程经历了以下阶段:

(1)独立机场区(Airports):此阶段机场是传统意义上交通设施场所,仅单一地运送旅客和货物,机场规模不大,以航空运营为主,包括机场跑道、航站楼、航空货运以及配套的机场航空公司办公基地、机场中转过夜酒店、餐饮等必须功能。此阶段中城市化作用大于机场的影响力,在机场周边布局的企业更多的是没有临空指向的产业。

(2)机场产业化区(Airport Industrial Areas):此阶段通过机场航空运输能力的提高使得机场的集聚和辐射效应对周边区域的影响不断加强。这时具有时间价值取向、以柔性化方式生产的企业,由于其产品具有“高、精、尖、轻”和生命周期短的特点,单位产品承担运费能力高,因此在选择区位时会自发聚集在机场周边5~10km范围内。此阶段中临空指向的产业布局显著提高,包括航空制造、临空高科技制造、商务办公等产业出现在临空经济区。同时航空服务业也快速发展,如航空地勤服务业、航空货运服务业等。

(3)空港都市区(Aerotropolis):空港都市区由围绕枢纽机场并与机场紧密关联的各类临空产业功能聚集区以及居住、游憩配套功能区构成,它是城市的分区域。在空港都市区中,产业从制造业到现代服务业集聚,以金融、会展、研发、物流、信息为代表的现代服务业促进临空制造业的发展,降低成本、提高效率,为企业提供良好的服务环境,临空产业链呈集群发展,促进临空经济区形成高级自我经济循环。空间上开始逐步扩散,临空经济区的范围也随之扩大到机场10~15km范围的空港相邻区和主要交通走廊15分钟车程范围内,临空经济对区

域经济的贡献将增强。

(4)航空市镇群(Airport town Cluster):随着枢纽机场的驱动辐射能力和枢纽机场所在区域的腹地经济增强,临空经济区的辐射范围扩大至机场周边15~30km,出现了围绕枢纽机场而构建的航空市镇群这一崭新的城市空间形态模式。航空市镇群是在空港都市区的基础上,将空港都市区所在区域内受临空经济辐射且相互联系的城镇群体纳入研究范围,由空港都市区和外围航空新市镇两部分组成。航空市镇群在机场强大的辐射和带动作用,形成了在临空经济的统筹下分工互补的城镇群,基础设施共享,空间上呈现组团网络化。依托枢纽机场巨大的流量经济和便捷的全球可达性,区域贸易自由度逐步增加,航空市镇群将在产业和空间层面上与区域进行不断的互动、融合,重构区域城镇体系结构,最终在枢纽机场强大的辐射带动作用成为城市副中心和新的增长极,为区域经济的持续发展做出贡献。航空市镇群比空港都市区的空间辐射能力更强,对区域经济一体化的带动作用更大。作为临空经济区的高级形态,基于机场、城市及腹地三者空间互动关系的研究,航空市镇群的空间模式是相对

集中、局部分散的模式,即航空市镇群内部(空港都市区)相对集中,而航空市镇群外部(航空新市镇)相对分散。

上述这四个阶段的划分(见表2),是在对国内外典型临空经济区进行总结归纳而得出,阶段之间没有明显的时间节点界定,同时临空经济区空间演进也不一定按照这四个阶段循序渐进,也会出现由本阶段跨越下阶段而进入更高级层次。总的说来,欧、美洲大部分的枢纽机场临空经济区已经历了机场城市化区的过程,正向空港都市区阶段发展,这是由于欧美的枢纽机场往往建设较早,随着时间的推移,机场周边地区的发展是按照临空经济的内在规律而逐步发展起来。而新兴的亚洲包括中国在内的枢纽机场,由于后发优势,在规划之初就采用优惠的产业政策和整体的空间发展规划,直接将机场周边地区规划成空港都市区或航空市镇群,如北京的新航城、台湾的桃源航空城、阿联酋迪拜的世界中心航空城、曼谷的苏凡纳布航空城、印度的海德拉巴航空城等,这类临空经济区虽然规划起点很高,但由于建设时间较短,要实现临空经济相关产业的规模集聚发展还需要一个过程。

表2 临空经济区发展历程表

发展阶段	第一代临空经济区	第二代临空经济区	第三代临空经济区	第四代临空经济区
空间形态	独立机场	机场产业化区	空港都市区	航空市镇群
产业类型	航空服务业	先进制造业、航空物流业	先进制造业、航空物流业、现代服务业、居住、商业	先进制造业、航空物流业、现代服务业、都市服务业、居住、商业、文化休闲业
空间布局位置	空港区	空港区、紧邻空港区	空港区、紧邻空港区、外围辐射区	空港区、紧邻空港区、外围辐射区、临空经济影响区
辐射半径范围	5km	10km	15km	30km
产业空间协同	机场客货流量小,主要为航空运营及配套业务	具有时间价值取向、以柔性化方式生产的企业在选择区位时会自发聚集在机场周边的临空经济区	临空经济区高端制造业趋于成熟,产业呈集群发展,相应的临空区商务功能、生活设施及商业配套得到发展。机场成为功能多元化的新型城市	临空经济对区域经济带动作用加大,区域经济一体化发展阶段。按照区域分工协作的规律,对其产业和空间进行升级和重组。机场、空港、临空经济区和区域全面一体化发展

3.2 临空经济区空间模型演变

临空经济区从独立机场发展到航空市镇群的过程中,其空间与产业布局出现了绝对集中、相对集中、相对分散的过程,并相应的导致空间的集聚效应、分散效应和溢出效应(见图2)^[19]。

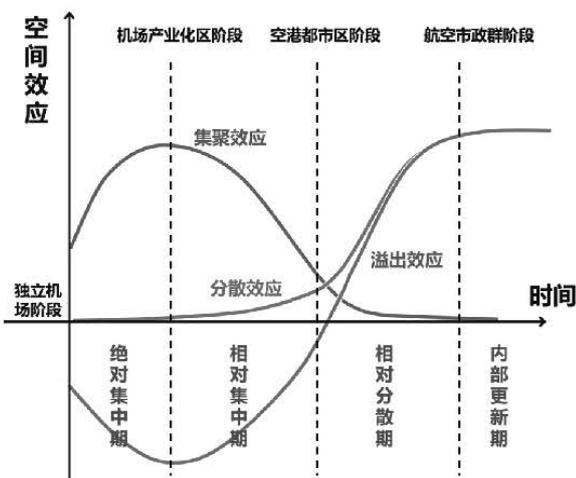


图2 临空经济区空间布局演变的四大阶段

(1)绝对集中期

此时临空经济区属于独立机场发展到机场产业化区的发展阶段,临空经济区的空间集聚效应逐渐增强,围绕机场半径5~10km范围内空间呈集中发展态势(见图3)。受中心城市经济辐射的影响,临空经济区面向中心城市一侧往往会发展得比其他区域更快。在空港区和紧邻空港区会出现临空指向性高的高科技制造园区、物流园区、商务区。

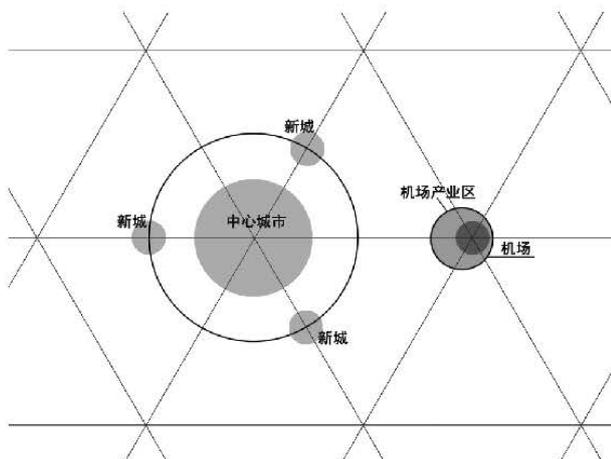


图3 临空经济区绝对集中中期空间演变

(2)相对集中期

此时临空经济区属于机场产业化区到空港都市区的发展阶段,临空经济区的空间集聚效应逐渐减弱,开始出现分散效应和溢出效应(见图4)。空间在以机场为中心半径10km范围内的紧邻空港区仍以集中发展为主,但在半径10~15km范围内机场相邻区和交通干线廊道沿线,开始吸引大量具有高附加值、高知识含量的现代服务业入驻,如国际商务中心、会展中心、研发区、休闲娱乐区等。现代服务业与先进制造业相互融合,共同促进临空经济区的加速发展。

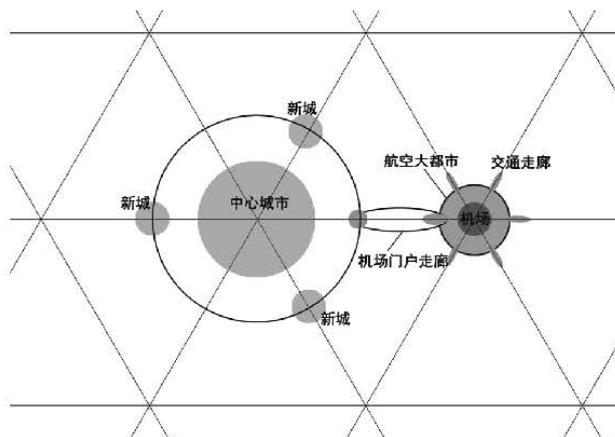


图4 临空经济区相对集中中期空间演变

(3)相对分散期

此时临空经济区属于空港都市区到航空市镇群的发展阶段,临空经济区的空间扩散效应和溢出效应加速(见图5)。空间以分散发展为主,扩散到外围辐射区,在空港都市区的外围会出现新的航空新市镇,而已有的城镇则在通过临空经济的辐射和带动作用,对其产业和空间进行升级和重组。空港都市区加航空新市镇共同组成航空市镇群,按照区域分工协作的规律,推动机场、空港、临空经济区和区域全面一体化发展。

(4)内部更新期

临空经济区不可能无限制的蔓延和发展,其空间规模和产业规模最终将受制于机场客货流量规模、中心城和腹地经济等条件。当临空经济区发展到航空市镇群后期,其发展空间扩散效应和溢出效应将逐渐平缓。此时临空经济区的将是内涵式发展,对其现有产业中不符合临空经济规律的进行升级和重组,对腾退或衰落的空间进行更新。

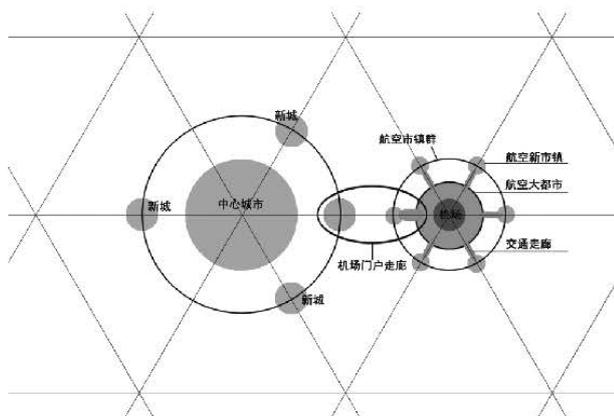


图5 临空经济区相对分散期空间演变

4 小结

临空经济区空间布局的根本目的在于最大化机场与临空经济区土地的使用效率,因此需要按照与机场联系的紧密程度,将不同类型的临空产业进行合理化的空间布局,使得机场与临空经济区高效率的联动,最终将机场的速度优势转化为临空经济区的速度优势。临空经济空间布局应符合圈层结构规律来协调各类产业的布局,其圈层的空间布局形态会受到自然地形、交通走廊、城市腹地经济的影响而产生变形。随着机场功能的提升和周边基础设施的完善,临空产业与空间的协同会由机场与产业空间的互动逐步向空港都市区与城市空间之间的互动转变。机场与城市之间已不是原先的割裂关系,出现围绕机场建设城市以及航空小市镇的趋势,航空市镇群则是临空经济空间布局的高级形态。最终,随着临空经济发展,其极化效应和扩散效应会优化原有城市空间结构,临空经济区成为大都市区多中心的组成部分,与区域经济融合发展。

参考文献

- [1] 李守旭, 胡赵征, 郭璟珅. 2049 新机场 新航城 新北京[J]. 北京规划建设, 2012(4): 106-110.
- [2] 中华人民共和国中央人民政府网站. 国务院关于促进民航业发展的若干意见[EB/OL]. [2012-07-12].
- [3] Thomas L. Friedman, "The world is Flat", Distributed in Canada by Douglas & McIntyre Ltd, Printed in the United states of America, first edition. 2005: 9-11.
- [4] John D. Kasarda. Time-Based Competition &

Industrial Location in the Fast Century. Real Estate Issues. Winter 1998/1999, Vol.23, No.4:24-29

[5] John D.Kasarda. Logistics and theories of the Aero-tropolis. Real Estate Issue.2001.43-48.

[6] United States Congress, House of Representatives bill 658, Aerotropolis Act 2011.

[7] 刘武君. 21世纪航空城——浦东国际机场地区综合开发研究. 上海科学技术出版社, 1999.

[8] 曹允春, 踪家峰. 谈临空经济区的建立和发展. 中国民航学院学报, 1999, 3: 60-63.

[9] 李晓江编译, 王辑宪校译. 航空港地区经济发展特征. 国外城市规划, 2001, 2: 35-37.

[10] 王旭. 空港都市区—美国城市化的新模式. 规划师, 2005, 5: 12-17.

[11] 刘洋. 谈临空经济与临空经济区的发展. 浙江学刊, 2006, 35.

[12] 曹允春. 临空经济——速度经济时代的增长空间. 经济科学出版社, 2009.

[13] 练振中, 刘晓峰, 薛泽海. 临空经济空间作用机制探析. 经济视角, 2011, 3: 69-61.

[14] 郭璟珅, 胡赵征. 北京新航城临空经济区发展规划研究[J]. 规划师, 2012(12): 74-77.

[15] 马亚华, 杨凡. 空港与中国城市经济增长: 一个长期因果关系检验. 热带地理, 2013, 6: 711-719.

[16] 曹允春, 沈丹阳. 以空港为核心构建航空大都市的关键要素研究. 港口经济, 2013, 1: 42-47.

[17] 李守旭, John D. Kasarda, 胡赵征. 青岛新机场临空经济区概念总体规划国际咨询方案[Z]. 2014.

[18] 临空经济发展战略研究课题组编著. 临空经济理论与实践探索. 中国经济出版社, 2006, 5.

[19] 胡赵征. 临空产业与空间协同规划研究——以北京新航城为例[硕士学位论文]. 北京: 清华大学, 2014.

燃气冷热电三联供系统在航空工业园区的应用

■ 刘晓雨 肖武 「暖通」

摘要: 航空是高能耗工业行业,为降低能耗,必须提高能源利用效率。针对中航工业建筑的典型案例进行调研和建模分析,本文对比分析了上海和天津两个案例的冷、热、电负荷及其动态特点,研究了航空工业园区自身的负荷特征,通过合理配置三联供系统以及优化的运行策略,可实现全年节能环保。

关键词: 热电冷三联供;能效;航空工业园区;运行策略;经济性分析

0 前言

中国近几年能源总消费量已经超过30亿t标准煤,其中70%为工业部门所耗用,航空属于高能耗工业行业。我国政府已经开始国防军工企业在投资体制和军方采购体系方面的变革,国内外的航空产品需求未来都将保持快速增长,这必将带动航空工业园区的快速发展。因此,分析航空工业厂房能耗的基本情况、探索其节约能源的途径,是中国能源、环境与经济社会协调和可持续发展的重要课题。在新能源技术尚未成熟的情况下,如何最大限度地提高能源的利用效率,成为降低航空工业厂房能源消耗的重要手段。近年来,天然气热电冷三联供技术由于其高效、清洁的显著优势,逐渐走入人们的视线,能否在航空工业厂房中使用三联供技术,有效减少能源消耗量,是需要探讨的一个技术问题。

1 航空工业建筑负荷模拟分析

针对不同地区的航空工业建筑的典型案例进行调研和建模分析,重点分析其冷、热、电负荷及其动态特点。

1.1 上海和天津案例分析

(1)上海某航空工业园区,规划建筑总规模约100万 m^2 。主要建设内容包括:试飞交付、实验测试、总装基础、整机喷漆、关键零部件制造、工艺研究、科研生产数字化工程及其他配套辅助设施。本次模拟区域建筑面积26.95万 m^2 ,其中生产区建筑总面积21.05万 m^2 ,综合保障区总面积5.9万 m^2 。各单体建筑物围护结构热工性能参数均满足DGJ08-107-2012《上海市公共建筑节能设计标准》的要求。

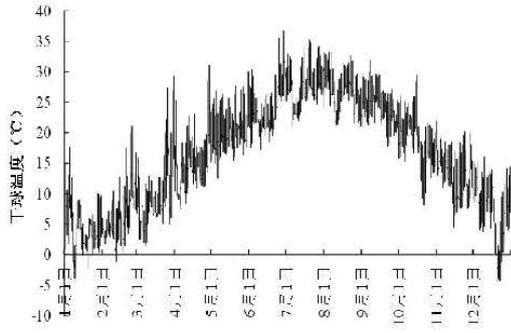
(2)天津案例分析。空客A320系列飞机总装线厂区的全厂区总热负荷为25358kW,总冷负荷为22384kW。按照建筑功能可分为两类:一为办公服务类型建筑,二为飞机制造类型建筑,其中办公服务类热负荷为7637kW,冷负荷为6906kW,制造类热负荷为20738kW,冷负荷为17297kW。本厂房未有集中的工艺用汽负荷需求。

1.2 气象条件(见图1)

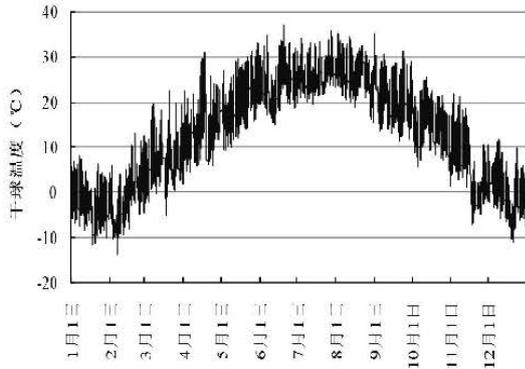
1.3 冷热负荷模拟分析

利用清华大学建筑能耗模拟软件DeST,分别选择四座具有代表性厂房建筑进行详细建模模拟,将四个厂房模拟结果叠加,可得到生产区建筑的冷热负荷动态特性;依据典型办公楼和住宅模型,得到综合保障区建筑的冷热负荷动态特性。按照厂区建筑情况进行叠加,得到总厂区的冷热负荷,见图2、3、4。

作者简介:刘晓雨,女,高级工程师,1993年毕业于哈尔滨建筑工程学院热能工程系,现就职于中航规划民航工程设计研究院。

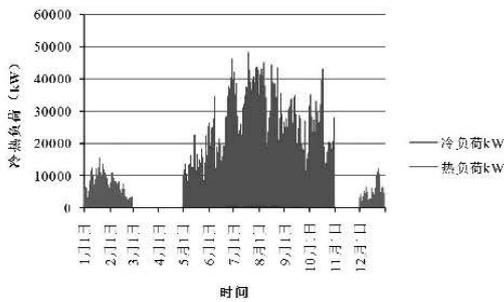


(1) 上海

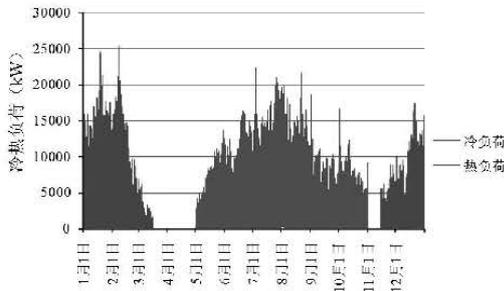


(2) 天津

图1 全年8760h的逐时干球温度

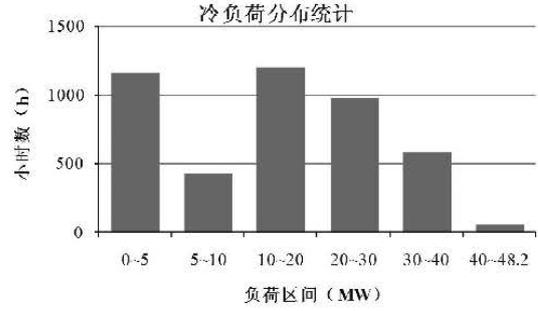


(1) 上海案例

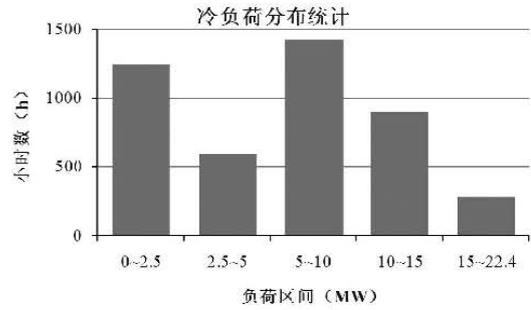


(2) 天津案例

图2 总厂区冷热负荷逐时的动态特性

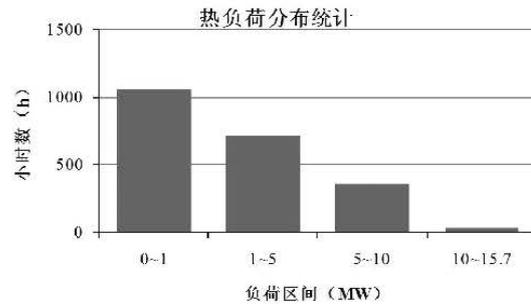


(1) 上海案例

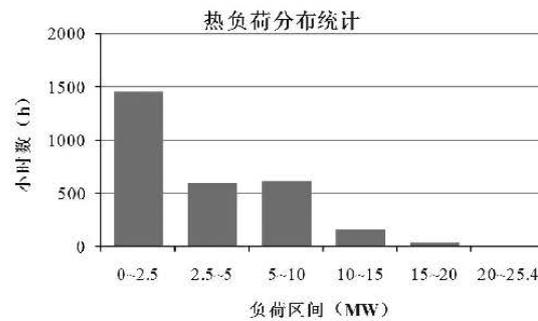


(2) 天津案例

图3 总厂区冷负荷分布统计



(1) 上海案例



(2) 天津案例

图4 总厂区热负荷分布统计

上海市属于夏热冬冷地区，供暖期短，供冷期较长，热负荷需求小，冷负荷需求大，热负荷约为冷负荷的33%，供暖季耗热量约为供冷季耗冷量的7%。而天津市属于寒冷地区，供暖期和供冷期均较长，热负荷需求约为冷负荷需求的113.3%，供暖季耗热量约为供冷季耗冷量的36.4%。

1.4 电负荷分析（见表1、2、3）

1.5 小结

(1) 航空工业建筑厂区主要可分为生产区和综合保障区，建筑规模较大，热、电、冷负荷以生产区为主，上海和天津案例生产区热负荷分别占总厂区热负荷的87%和82%，适宜采用热电冷三联供系统。

(2) 从动态负荷特点来看，工业建筑冷热电负荷均远高于民用建筑，工业建筑负荷需求与生

产班次及照明设备作息相关，冷负荷时间长，耗冷量大，不同气候地区的供暖耗热量差别大，非供暖地区热电比比供暖地区的小，且冷、热负荷的部分负荷率高。

2 航空工业建筑三联供系统配置分析

本课题研究所采用的方案，电力：燃气内燃机发电，承担峰电期间负荷，不足电量由市电补充。供冷：燃气内燃机发电后的高温烟气和高温缸套水驱动吸收机制冷，承担基本冷负荷，冷量不足部分则由电制冷机补充。供暖：利用燃气内燃机发电后高温烟气驱动吸收式热泵供热，并回收烟气中的冷凝热量，高温和中温热水直接供热，热量不足部分由燃气锅炉补充。

表1 上海案例模拟厂房的电负荷值

分项	1008号复合材料厂房	1010号工装与加工车间	1011号数控加工中心	1012号钣金
厂房面积 (m ²)	20499	9060	9065	9072
厂房总负荷 (kW)	14454.5	1339.95	1018.4	1419.9
设备总负荷 (kW)	14214.2	1238.25	946.4	1329.9
照明总负荷 (kW)	240.3	101.7	72	90
厂房单位总负荷 (W/m ²)	705.13	147.90	112.34	156.51
设备单位面积负荷 (W/m ²)	693.41	136.67	104.40	146.59
照明单位面积负荷 (W/m ²)	11.72	11.23	7.94	9.92

表2 模拟厂房的热电冷负荷值（上海）

分项	厂房1	厂房2	厂房3	厂房4
电负荷 (W/m ²)	705.13	147.90	112.34	156.51
冷负荷 (W/m ²)	202.5	169.2	225.0	200
热负荷 (W/m ²)	38.0	92.3	94.0	110
热电比	0.054	0.624	0.837	0.703

表3 模拟厂房的热电冷负荷值（天津）

分项	厂房8	厂房9	厂房19	厂房21
电负荷 (KW)	1701		901	492
冷负荷 (KW)	230	4000	560	580
热负荷 (KW)	720	3700	2530	2198
热电比	2.598		2.808	4.467

2.1 上海案例

(1) 三联供系统配置(见表4)

该BCHP系统能流图(见图5), 系统冬季能源利用总效率达到94% (发电效率38%, 供热效率达到56%), 夏季能源利用总效率达到76% (发电效率38%, 供冷效率达到38%)。

表4 BCHP系统方案

设备配置	设备容量
燃气内燃机	2×1.95MW
吸收机	冷量2×1.94MW, 热量2×2.86MW
锅炉	4×3.5MW
电压缩冷机	8×6.0MW

(2) 运行策略

冬季, 三联供系统承担建筑的基础热负荷, 燃气锅炉作为调峰热源用, 这样以保证三联供系统的运行时间; 当热负荷小于单套BCHP系统额定供热能力的50%时, 运行效率较低, 建议关闭三联供系统, 仅采用燃气锅炉进行供热。

夏季, 三联供系统在电价的峰电时段开启, 以减少从电网买电, 同时BCHP系统制冷亦可减少电制冷机耗电, 会具有较好的经济性。因此夏季BCHP系统在峰电时段开启, 谷电时段停止运行, 电制冷机在谷电时段承担全部冷负荷, 峰电时段

则三联供系统承担基础冷负荷, 电制冷机用于制冷调峰用。

过渡季, 由于没有冷热负荷需求, 三联供系统仅用作发电时系统能源利用效率很低, 因此不建议运行。

另外, 根据厂区总体规划, 其用电设备总安装功率为60995kW, 计算功率为46412kW, BCHP系统的发电量同电负荷相比, 尚不足设计电负荷的十分之一, 因此可以认为BCHP系统发电可以完全自用。

(3) 全年运行能耗及经济性分析 (经济性比较见表5)

根据建筑的全年负荷模拟数据以及上述运行策略, 可得出全年的系统运行能耗以及运行费用。

经过计算, 在冬季, BCHP系统耗天然气约71.6万Nm³, 发电量约为268.7万kWh, 其中谷电时段发电量约为4.0万kWh, 峰电时段发电量约为264.7万kWh, 年供热量约为1.43万GJ, 燃气锅炉耗天然气约为10.7万Nm³, 供热量约为0.34万GJ。

在夏季, BCHP系统耗天然气约288.0万Nm³, 发电量约为1080.5万kWh, 年供冷量约为3.9万GJ, 电压缩制冷机年耗电量约为1149.8万kWh, 其中谷电时段耗电量约为171.9万kWh, 峰电时段耗电量约为977.9万kWh, 供冷量约为20.7万GJ。

三联供系统在冬季相对于分产系统约节能28.2万Nm³天然气, 在夏季相对于分产系统约增

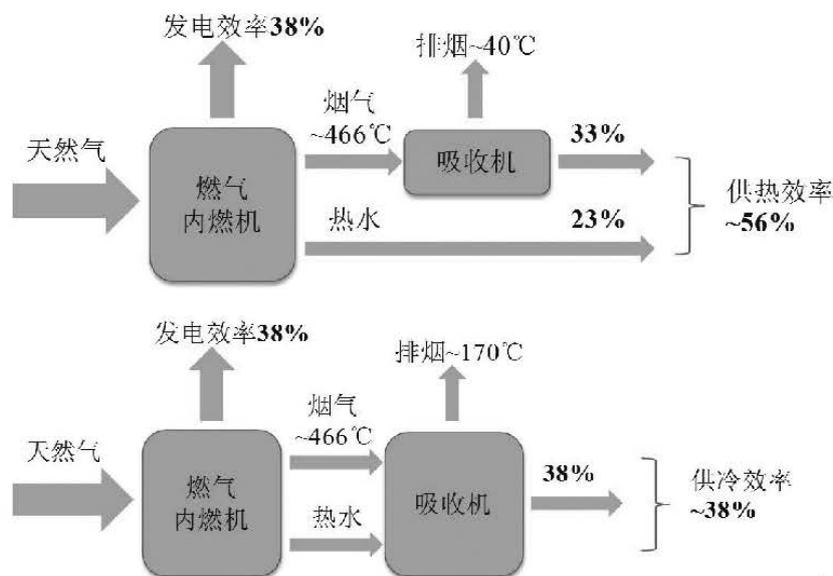


图5 BCHP系统能流图

表5 方案经济性比较

项目列表	常规方案			三联供方案	
	单位投资	锅炉+冷机+城市电网		内燃发电机+锅炉+冷机+城市电网	
	(元/kW)	设备容量 (kW)	费用 (万元)	设备容量 (kW)	费用 (万元)
内燃机	4000	—	—	2×1950	1950
冷机	500	53000	2650	48000	2400
燃气锅炉	150	17300	260	14000	210
吸收机	700	—	—	2×1940	270
换热器		—		80	
机房土建		1460		1480	
总初装费		4370		6390	
运行费(万元)					
年运行燃气费		130		850	
年运行电费		2650		1080	
年维护费		0		150	
年运行费		2780		2080	

加能耗22.7万Nm³天然气，全年节能共约5.5万Nm³天然气。

热电冷分产模式的电力从市政电网购得。天然气价格为2.3元/Nm³，市政电网电价采用分时电价，其中22时—次日6时为谷电时段，6时~22时为峰电时段，谷电时段在夏季价格为0.483元/kWh，非夏季价格为0.458元/kWh，峰电时段在夏季价格为1.014元/kWh，非夏季价格为0.989元/kWh。

尽管燃气三联供系统的设备投资远远大于常规系统的设备投资，折旧费用也很高，但三联供系统在买电方面节省了大量的费用，联产系统相对于常规系统静态增量投资回收年限约为2.89年，具有较好的经济效益。

2.2 天津案例

(1)三联供系统配置(见表6)

(2)运行策略

冬季及过度季节运行策略与上海案例相同。

夏季运行策略有所不同，由于天津热电比较大，采用发电上网的运行模式，三联供系统承担系统的基础冷负荷，电制冷机用作调峰。

(3)系统全年运行能耗及经济性分析(经济性比较见表7)

经过计算，在冬季，BCHP系统耗天然气约

176.14万Nm³，发电量约为660.75万kWh，年供热量约为3.49万GJ；燃气锅炉耗天然气约为9.82万Nm³，供热量约为0.31万GJ。

在夏季，BCHP系统耗天然气约576.71万Nm³，发电量约为2163.37万kWh，年供冷量约为7.75万GJ；电压压缩制冷机年耗电量约为148.84万kWh，其中谷电时段耗电量约为7.07万kWh，平电时段耗电量约为85.61万kWh，峰电时段耗电量约为56.16万kWh，供冷量约为2.68万GJ。

燃气热电冷三联供系统在冬季相对于分产系统约节能69.37万Nm³天然气，在夏季相对于分产系统约增加能耗45.53万Nm³天然气，全年节能共约23.84万Nm³天然气。

表6 BCHP系统方案

设备配置	设备容量
燃气内燃机	4×1.95MW
吸收机	冷量4×1.94MW， 热量4×2.86MW
锅炉	6×2.8MW
电压压缩制冷机	8×2.1MW

表7 方案经济性比较

项目列表	常规方案			三联供方案	
	单位投资	锅炉+冷机+城市电网		内燃发电机+锅炉+冷机+城市电网	
	(元/kW)	设备容量 (kW)	费用 (万元)	设备容量 (kW)	费用 (万元)
内燃机	5000	—	—	4×1950	3900
冷机	500	25000	1250	16800	840
燃气锅炉	150	28000	420	16800	250
吸收机	700	—	—	4×1940	540
换热器		—		160	
机房土建		840		900	
总初装费		2510		6590	
运行费(万元)					
年运行燃气费		280		1750	
年运行电费		2520		140	
年维护费		0		300	
年运行费		2800		2190	

联产系统相对于常规系统，静态增量投资年限约为6.69年，由于天津采用发电上网的模式运行，上网电价考虑补贴约为0.7元/kWh，则年运行费用可以减少1260万元，静态增量投资回收期约为2.2年，具有较好的经济效益。

3 节能性分析

3.1 供热工况节能性

根据节能率计算公式绘制图6^[11]：

$$x = \frac{\eta_e / (\eta_{ge_cc} \times \eta_{grid}) + \eta_h / \eta_{boiler} - 1}{\eta_e / (\eta_{ge_cc} \times \eta_{grid}) + \eta_h / \eta_{boiler}}$$

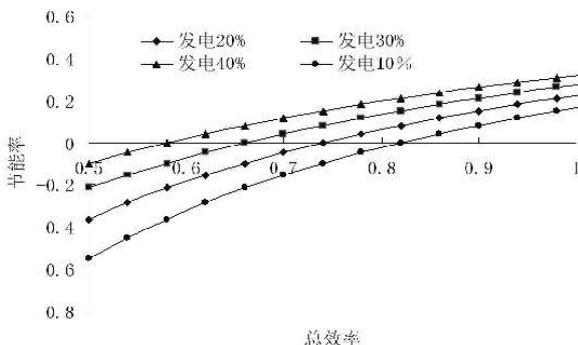


图6 热电联供系统的节能率与发电效率和总效率之间的关系

式中：x——电联产系统的节能率，

η_{ge_cc} ——联合循环电厂发电效率，计算时取55%，

η_{grid} ——电网输配效率，计算时取值90%，

η_{boiler} ——燃气锅炉供热效率，计算中取90%，

η_e ——热电联产发电效率，

η_h ——热电联产总效率(供热效率和发电效率之和)。

3.2 供冷工况节能性

根据节能率计算公式绘制图7^[11]。

$$x = \frac{(\eta_e + \eta_h \text{COP}_{\text{absorption}} / \text{COP}_e) / (\eta_{ge_cc} \times \eta_{grid}) - 1}{(\eta_e + \eta_h \text{COP}_{\text{absorption}} / \text{COP}_e) / (\eta_{ge_cc} \times \eta_{grid})}$$

$$= \frac{\eta_e + \eta_h \text{COP}_{\text{absorption}} / \text{COP}_e - \eta_{ge_cc} \times \eta_{grid}}{\eta_e + \eta_h \text{COP}_{\text{absorption}} / \text{COP}_e}$$

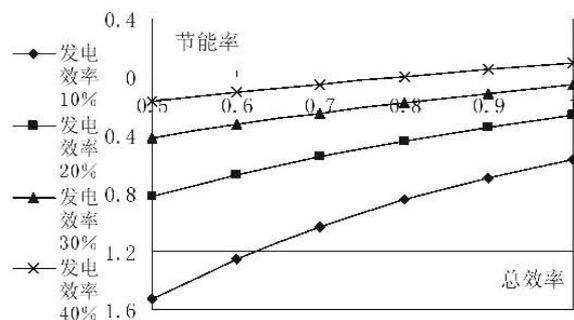


图7 供冷工况下热电联供系统的等效发电效率

式中:

$COP_{\text{absorption}}$ ——吸收式制冷机COP, 计算时取值1.2;

COP_c ——压缩式制冷机COP, 计算时取值5。

只有当天然气热电冷联产系统的发电效率为40%时, 系统整体能源利用率超过80%以上, 系统工作于联产制冷模式下才具有一定的节能性。

3.3 小结

对于上海地区和天津地区, 其负荷特征有着明显差异, 上海冷负荷较多, 热负荷相对而言较少, 而且上海的供暖时间也较短, 而天津属于寒冷地区, 热负荷较大, 这就决定了两种地区的BCHP系统配置和运行模式存在一定的区别。

上海地区由于冷负荷远大于热负荷, 如果按照冷负荷配置机组, 则冬季BCHP系统的负荷率很低, 设备运行效率低下, 甚至无法开启机组, 而冬季BCHP具有较高的节能性, 夏季相对于分产系统而言实际是耗能的, 因此按照冬季热负荷配置机组, 而且由于机组的发电容量远小于电负荷, 可以采取孤岛运行的模式, 发电用于自用, 减少从市政电网的买电量。冬季采取以热定电的运行策略, 夏季采取峰电时段开启, 谷电时段停止运行的策略。

天津地区的冷热负荷几乎相当, 为了保证冬季高效运行, 仍按照热负荷配置机组, 但由于天津地区热负荷显著高于上海地区热负荷, 因此BCHP机组规模较大, 由于天津地区热负荷高于电负荷, 鉴于以往的工程经验, 可以在天津地区采取发电上网的模式, 在冬季和夏季采取以热或以冷定电的运行策略。

经过合理的系统配置和运行策略分析, 对两个地区的全年耗能、运行费用进行了分析。

(1) 对于上海地区, 燃气三联供系统在冬季工况下相对于热电分产节能28%以上, 在供暖季减少能耗约28万 Nm^3 , 夏季多耗能8%以上, 在供冷季增加能耗约23万 Nm^3 , 全年减少能耗约5万 Nm^3 , 冬季减少运行费用约为200万元, 夏季减少运行费用约为650万元, 全年减少运行费用约为850万元, 考虑设备投资和维护费用, 三联供系统相对于常规系统的静态增量投资年限约为2.9年。

进一步分析, 对于长江以南地区, 影响三联供系统经济性的主要是电价和燃气气价, 当现行平均电价低于0.64元/kWh时, 该方案年运行费用同常规方案相比优势已经不大, 因此在发电自用的运行模式下, 建议平均电价不要低于0.64元/kWh,

才能有一定的经济性, 在电价不变的情况下, 天然气价格高于4.0元/ Nm^3 时, 该方案同常规方案相比, 运行费用已不占优势, 因此在天然气价高于4.0元/ Nm^3 , BCHP系统不具有经济性。

当该地区采用发电上网的模式时, 由于上网电量远高于由于BCHP夏季制冷所减少的电制冷机耗电量, 因此经济性评价主要考虑发电上网电价变化所造成的影响, 经过计算, 当发电上网价格低于0.6元/kWh时, 同常规方案相比, 经济性优势已不大, 因此建议发电上网价格最好不低于0.6元/kWh, 在发电上网价格为0.7元/kWh的前提下, 燃气价格高于2.8元/ Nm^3 时, 经济性已经不占优势, 因此建议在发电上网模式下, 天然气价格不高于2.8元/ Nm^3 , 这同时也可以看出, 在市电价格高于上网电价的情况下, 发电上网模式同发电自用相比, 经济性要差很多。

(2) 对于天津地区, 燃气三联供系统在冬季工况下相对于热电分产节能28%以上, 在供暖季减少能耗约69万 Nm^3 , 夏季多耗能8%以上, 在供冷季增加能耗约45万 Nm^3 , 全年减少能耗约24万 Nm^3 ; 冬季减少运行费用约为310万元, 夏季减少运行费用约为590万元, 全年减少运行费用约为900万元, 考虑设备投资和维护费用, 三联供系统相对于常规系统的静态增量投资年限约为6.7年, 若发电可以上网, 经计算, 静态增量投资回收期约为3.2年。

进一步分析, 对于长江以北地区, 先分析发电上网模式, 由于上网电量远远高于由于BCHP夏季制冷所减少的电制冷机耗电量, 因此经济性评价主要考虑发电上网电价变化所造成的影响, 经过计算, 当发电上网价格低于0.58元/kWh时, 同常规方案相比, 经济性优势已不大, 因此建议发电上网价格最好不低于0.6元/kWh, 在发电上网价格为0.7元/kWh的前提下, 燃气价格高于2.8元/ Nm^3 时, 经济性已经不占优势, 因此建议在发电上网模式下, 天然气价格不高于2.8元/ Nm^3 。

当采用发电自用模式时, 当现行平均电价低于0.60元/kWh时, 该方案年运行费用同常规方案相比优势已经不大, 因此在发电自用的运行模式下, 建议高峰电价不要低于0.60元/kWh, 才能有一定的经济性, 在电价不变的情况下, 天然气价格高于3.8元/ Nm^3 时, 该方案同常规方案相比, 运行费用已不占优势, 因此在天然气价高于3.8元/ Nm^3 , BCHP系统不具有经济性。

4 结论和建议

(1)从静态负荷来看,航空工业建筑的采暖空调负荷和电力负荷均大于民用建筑,电力负荷大有利于三联供系统的配置。同时,三联供系统又有利于工业电力安全的保障。

(2)从动态负荷特点来看,工业建筑负荷需求与生产班次及照明设备作息相关,冷热负荷的部分负荷率高;不同气候地区的冷热负荷特征有着明显差异,决定了系统配置和运行模式存在一定的区别。

(3)相对于热电分产,三联供方案在冬季工况下节能28%以上,但在夏季工况下多耗能8%以上,耗冷量大将不利于系统的全年节能性,从全年来看,合理配置三联供系统,可实现全年节能环保。

(4)在热电冷三联供系统设计时,应在技术上重点关注三联供系统在发电效率、余热利用效率、系统容量配置以及并网上网政策等问题。

(5)在对象选择时,应选择天然气供应充足、稳定的地区,或电力安全保障要求高的重点航空工业建筑。

(6)在系统配置上,应考虑系统的余热利用方式,实现余热梯级利用和深度回收利用,同时选择发电效率高的机组,提高系统的能源综合利用效率,建议能源综合利用效率大于80%为宜;另外,在设计阶段必须考虑冷热电动态负荷特点,优化运行策略,保证机组的年运行时间,建议年运行时间尽量超过50%以上。

(7)在系统规模上,应以中小型热电冷三联供系统为主,当工业建筑规模量较大、负荷需求较大时,设计区域热电冷三联供系统时,还应重点关注夏季供冷方案的设计,针对区域供冷,需要更多的特殊适用条件和更多的技术保障。

(8)在系统运行管理上,因为三联供系统中的设备和机组的运行策略相对复杂,涉及到燃气、电力和热力系统,因此对运行管理人员的技术水平要求较高。

(9)在经济性方面,应依据不同燃气、电力价格和电力并网上网等外部条件,合理设计系统配置和运行模式,使得系统运行成本低,工程总投资回收期短。

总的来说,通过合理设计,依据科学的指导原则和准入标准,三联供系统在航空工业建筑应用可实现节能、减排和良好的经济效益。

参考文献

- [1] 付林,李辉等.天然气热电冷联供技术及应用[M].中国建筑工业出版社,2008.5.
- [2] 清华大学建筑节能研究中心.中国建筑节能年度发展研究报告2009[M],中国建筑工业出版社.
- [3] 惠荣娜,徐奇等.我国区域供冷的现状及发展[J].建筑节能,2007(3).
- [4] 朱颖心,王刚,江亿.区域供冷系统能耗分析[J].暖通空调,2008,38,(1),36-40.
- [5] 马宏全,龙惟定.区域供冷系统的能源效率[J].暖通空调,2008,38(11),59-64.
- [6] 祝达康.美国分布式供能系统电气并网分析.上海节能,2005(6).
- [7] 王振铭.燃煤热电联产与燃气分布式能源站冷热电联产的新发展,2009.
- [8] 康慧.燃气分布式能源系统综述(之二)[J].沈阳工程学院学报(自然科学版),2009年第5卷第3期.
- [9] 侯震林.区域燃气冷热电联供的发展及其特点分析[J].机电信息,2011,(24).
- [10] 华贲.建设工业园区冷热电联供的能源系统[J].上海电力,2009,(5).
- [11] 高思静,李兴泉,郭畅,石丹阳.燃气冷热电三联供制冷系统节能分析《山东建筑大学学报》2013年01期.
- [12] 清华大学《三联供在航空工业的应用研究报告..》2011.11.

网架内管道膨胀与固定的分析

■ 申剑 傅建勋 「暖通」

摘要: 暖通专业的冷、热水管敷设在网架内时,不仅有水流流动引起的管道推力,还因其特有的冷、热膨胀的存在,使网架的受力情况更加复杂,本文通过分析计算管道固定支架水平推力对网架的影响,以提请广大设计者的重视。

关键词: 管道膨胀;固定支架;方形补偿器;波纹管补偿器

0 引言

随着建筑行业的发展,钢结构厂房越来越普遍,且跨度越做越大,建筑及工艺对专业的要求也在不断增加,导致大量专业管线只能敷设在网架内,暖通专业的冷、热水管,不仅有水流流动引起的管道推力,还因其特有的冷、热膨胀的存在,使网架的受力情况更加复杂,为了能更加直观、深入地了解管道对网架的作用力,现通过实际案例计算分析管道固定支架水平推力对于网架的影响。

1 管道固定支架的水平推力计算

1.1 计算方法

本文仅分析固定支架轴向水平受力对于网架的影响,故仅进行其水平受力计算。同时由于现工程当中采用的补偿器主要为方形补偿器和波纹管补偿器,故本文以此两种补偿器为例,进行相应的计算。计算方法分别如下:

1.1.1 方形补偿器水平受力: $F=P_k+F_m$

P_k 查表所得,见表1;

$$F_m = \mu \cdot q \cdot L$$

上表中公式符号为:

F ——水平推力, N;

P_k ——方形补偿器弹性力, N;

F_m ——管道摩擦力, N;

q ——管道自重+流体重量+保温层重量, N/m;

l ——管道支架间距, m, 当两侧间距不等时,取平均值;

μ ——活动支架的摩擦系数,见表1;

1.1.2 波纹管补偿器水平受力: $F=P_b+P_{bn}+F_m$

$$P_b = K_x \times \Delta L$$

$$P_{bn} = d_n^2 \cdot P$$

$$F_m = \mu \cdot q \cdot L$$

上表中公式符号为:

F ——水平推力, N;

P_b ——波纹管补偿器的弹性反力, N;

P_{bn} ——波纹管补偿器的内压推力, N;

K_x ——波纹管补偿器的轴向刚度, N/mm;

ΔL ——补偿量, mm;

F_m ——管道摩擦力, N;

q ——管道自重+流体重量+保温层重量, N/m;

l ——管道支架间距, m, 当两侧间距不等时,取平均值;

μ ——活动支架的摩擦系数,见表2;

d_n ——受内压推力面的直径, m;

P ——工作压力, MPa

作者简介:申剑,男,高级工程师,2000年毕业于天津大学暖通专业,现就职于中航规划飞机工程设计研究院。

表1

序号	DN(mm) D _w ×s(mm) H(mm)	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	500	600
		32×2.5	38×2.5	45×2.5	57×3.5	73×3.5	89×3.5	108×4	133×4	159×4.5	219×6	273×7	325×8	377×9	426×9	529×9	630×9
1	250	660	1020	1480	3270	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	500	330	510	740	1630	3040	4250	7250	11200	18100	48000	83500	—	—	—	—	—
3	750	220	340	500	1090	2020	2830	4800	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	1000	170	260	370	820	1520	2120	3600	5600	9030	22900	41700	67700	103000	—	—	—
5	1250	—	—	300	650	1220	1700	2900	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	1500	—	—	250	550	1020	1420	2400	3740	6000	15300	28000	45250	68500	—	—	—
7	1750	—	—	210	470	870	1220	2100	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	2000	—	—	190	410	760	1050	1800	2800	4500	11500	20800	33900	51500	66300	103500	148000
9	2250	—	—	170	360	680	950	1600	—	—	—	—	—	—	—	—	—
10	2500	—	—	150	330	610	850	1450	2240	3600	9150	16300	27600	41200	53000	82800	118500
11	2750	—	—	140	300	550	780	1320	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	3000	—	—	120	270	510	710	1200	1870	3000	7650	14000	22600	34300	44000	69000	98700
13	3250	—	—	—	—	470	660	1100	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	3500	—	—	—	—	440	610	1030	1600	2600	6550	12000	19350	29400	37800	59000	84500
15	3750	—	—	—	—	410	570	970	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	4000	—	—	—	—	380	530	910	1400	2260	5750	10500	16850	25700	33100	51750	74000
17	4250	—	—	—	—	360	500	850	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	4500	—	—	—	—	340	470	800	1250	2000	5100	9250	15000	22900	29400	46000	66500
19	4750	—	—	—	—	320	450	760	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	5000	—	—	—	—	310	430	730	1120	1800	4600	8350	13600	20600	26500	41300	59000
21	5250	—	—	—	—	—	410	690	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22	5500	—	—	—	—	—	390	660	1020	1650	4200	7600	12300	18700	24000	37800	53700
23	5750	—	—	—	—	—	370	630	—	—	—	—	—	—	—	—	—
24	6000	—	—	—	—	—	360	600	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25	6500	—	—	—	—	—	—	—	940	1500	3800	6950	11300	17200	22000	34500	49200
26	7000	—	—	—	—	—	—	—	860	1400	3500	6400	10400	15800	20400	31800	45500
27	7500	—	—	—	—	—	—	—	800	1300	3270	5950	9700	14700	18900	29600	42000
28	8000	—	—	—	—	—	—	—	750	1200	3050	5550	9050	13700	17700	27600	39400
29	8500	—	—	—	—	—	—	—	700	1130	2860	5200	8500	12900	16600	25800	36900
30	9000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2700	4900	8000	12100	15600	24300	34700
31	9500	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2540	4650	7500	11450	14700	23000	32800
32	10000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2410	4400	7150	10850	13900	21800	31000
											2300	4200	6800	10300	13200	20700	29500

1.2 方形补偿器及弹性自然转弯补偿管段的计算公式及简图(见表2)

表2公式中符号为:

F、F_x——固定支架所承受的轴向推力, N;

F₁、F₂——介质从不同方向流动时, 作用在固定支架上的轴向推力, N;

F_y——固定支架承受的侧向推力, N;

P_x、P_y——自然转弯管段在x、y轴方向的弹性力, N;

P_k——方形补偿器的弹性力, N;

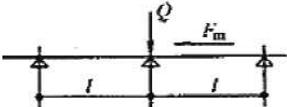
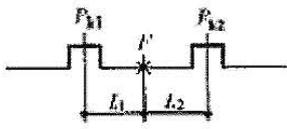
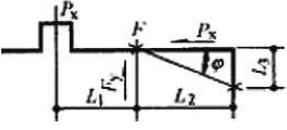
L₁、L₂、L₃、L₄——管段长度, cm;

μ——摩擦系数;

q₁、q₂——管道单位长度重量, N/m;

φ——管道拐弯处的夹角, 度。

表2 方形补偿器及弹性自然转弯补偿管段计算公示表

序号	计算简图	计算公式	备注
1		滑动支架垂直荷载: $Q = q \cdot l$ 轴向摩擦推力: $F_m = \mu \cdot q \cdot l$	计算活动支架受力
2		$F = P_{k1} + \mu \cdot q_1 \cdot L_1 - 0.7(P_{k2} + \mu \cdot q_1 \cdot L_1)$	计算固定支架受力
3		$F = P_k + \mu \cdot q_1 \cdot L_1 - 0.7[P_x + \mu \cdot q_2 \cdot \cos \phi (L_2 + L_3/2)]$ $F_y = P_y + \mu \cdot q_2 \cdot \sin \phi (L_2 + L_3/2)$	计算固定支架受力

1.3 波纹管补偿器的管段计算公式及简图(见表3)

P_b ——波纹管补偿器的弹性反力, N;
 P_{bn} ——波纹管补偿器的内压推力, N。

1.4 实际案例计算

案例条件如下:网架内管线长度>200m,管径从DN50~300mm,工作压力为1.0MPa,热媒温度为95℃,安装温度为10℃,分别按不同间距设置固定点进行计算。

固定点受力: $F_{总} = F1$ (受力大的一侧) - $F2$ (受力小的一侧) $\times 0.7$

1.4.1 方形补偿器(见图1)

固定点间距分别取20m,40m,60m,方形补偿器的高度b分别取500mm,1000mm,1500mm,2000mm,其计算结果见下列图形(计算结果是在方形补偿器宽度a一定的情况下确定的,a的取值

请参考《实用供热空调设计手册》(第二版)P655页表7.5-3),见图2。

图2中:

N1——管道固定点间距20m,方形补偿器b=500mm时水平推力,KN;

N2——管道固定点间距20m,方形补偿器b=1000mm时水平推力,KN;

N3——管道固定点间距40m,方形补偿器b=1000mm时水平推力,KN;

N4——管道固定点间距40m,方形补偿器b=1500mm时水平推力,KN;

N5——管道固定点间距60m,方形补偿器b=1500mm时水平推力,KN;

N6——管道固定点间距60m,方形补偿器b=2000mm时水平推力,KN。

表3 波纹管补偿器计算公示表

序号	计算简图	计算公式	备注
1		$N_0 = P_b + P_{bn} + \mu q_1 L_1 - 0.7 \mu q_2 L_2$	热终, 全开
		$N_0 = P_b + P_{bn} + \mu q_2 L_2 - 0.7 \mu q_1 L_1$	冷始, 全开
		$N_0 = P_b + P_{bn} + \mu q_1 L_1$	流向→, 全闭(单路)
		$N_0 = P_x + \mu q_2 L_2$	流向←, 全闭(单路)
		$N_0 = P_b + P_{bn} + \mu q_1 L_1 + \mu q_2 L_2$	全闭(环路)
		$N_0 = P_y$	
2		$N_0 = P_b + P_{bn} + \mu q L$	

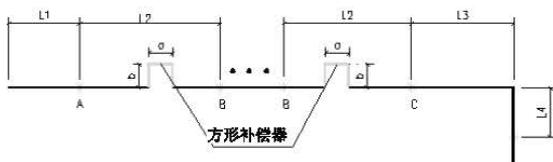
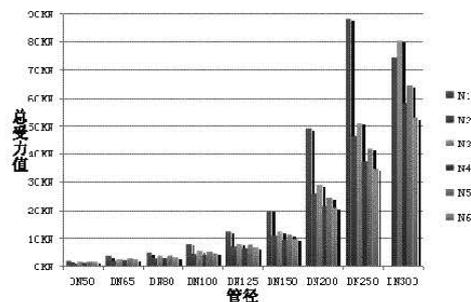


图1



A点

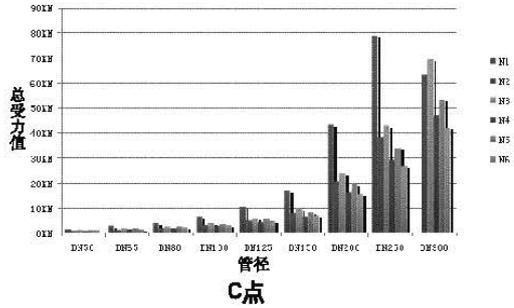
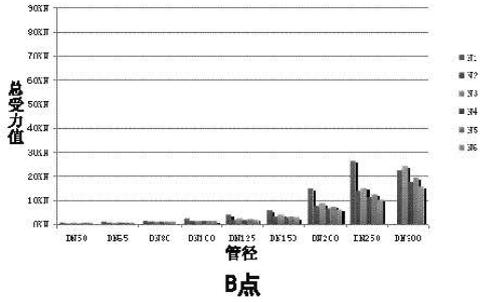


图2

1.4.2 波纹管补偿器(见图3)

常用的轴向型波纹管补偿器有轴向内压型波纹管补偿器、轴向外压型波纹管补偿器、内外压平衡型波纹管补偿器和全外压平衡型波纹管补偿器,现固定点间距分别取20m,40m,60m,其水平推力见图4。

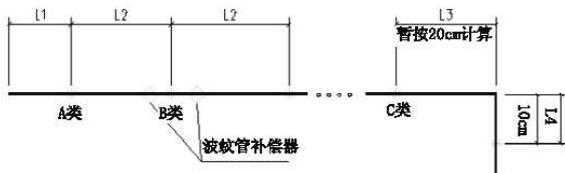


图3

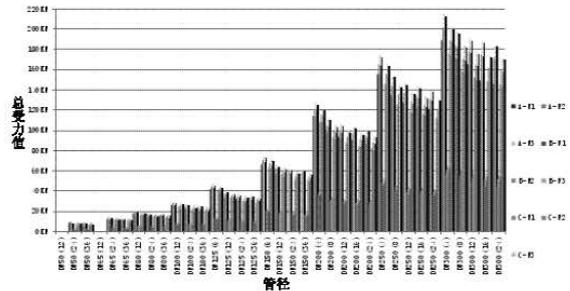


图4-b 轴向外压型

图4-b中: A——管道固定点A;
B——管道固定点B;
C——管道固定点C;
N1——管道固定点间距20m时水平推力,KN;
N2——管道固定点间距40m时水平推力,KN;
N3——管道固定点间距60m时水平推力,KN;
管径DN50(8)——管道公称直径,mm,(补偿器波数)。

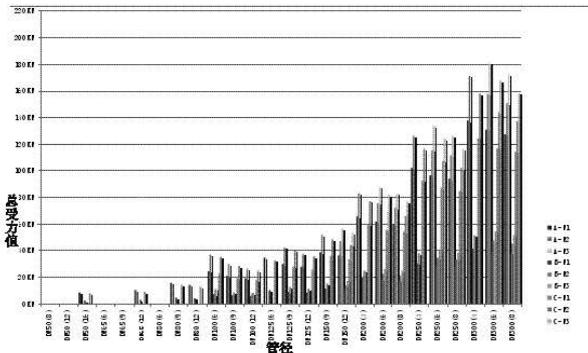


图4-a 轴向内压型

图4-a中: A——管道固定点A;
B——管道固定点B;
C——管道固定点C;
N1——管道固定点间距20m时水平推力,KN;
N2——管道固定点间距40m时水平推力,KN;
N3——管道固定点间距60m时水平推力,KN;
管径DN50(8)——管道公称直径,mm,(补偿器波数)。

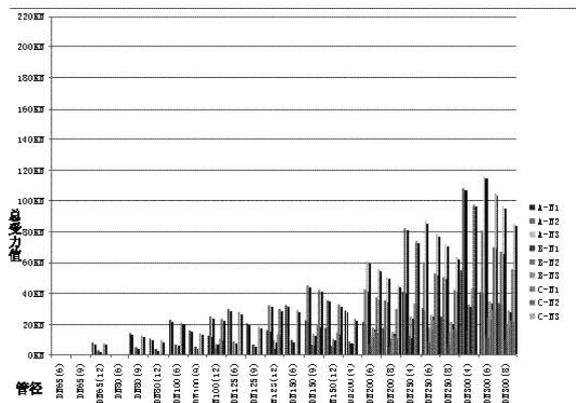


图4-c 轴向内外压平衡型

图4-c中: A——管道固定点A;
B——管道固定点B;
C——管道固定点C;

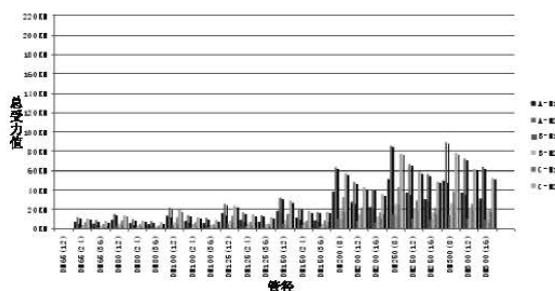


图4-d 全外压平衡型

N1——管道固定点间距20m时水平推力, KN;
 N2——管道固定点间距40m时水平推力, KN;
 N3——管道固定点间距60m时水平推力, KN;
 管径DN50(8)——管道公称直径,mm;(补偿器

波数)。

图4-d中: A——管道固定点A;

B——管道固定点B;

C——管道固定点C;

N1——管道固定点间距40m时水平推力, KN;

N2——管道固定点间距60m时水平推力, KN;

管径DN50(8) ——管道公称直径,mm;(补偿器波数)。

1.5 受力分析

经结构专业分析,网架自身承载水平推力的能力较强,但对于受力还是有一定的约束,可划分为4个受力范围:

(1)水平推力 $\leq 30\text{kN}$,对网架影响很小,可采用以上任意补偿方式;

(2) $30\text{kN} < \text{水平推力} \leq 80\text{kN}$,对网架影响一般,但需要提供结构专业进行核算,同时应对固定支架的做法进行详细设计;

(3) $80\text{kN} < \text{水平推力} \leq 200\text{kN}$,对网架影响较大,需提交结构专业进行网架的受力计算,(较大的工程时,可在不影响网架杆件的设计情况下实现,当工程较小时,该水平推力可能成为结构设计的控制性因素之一,不建议采用),同时应对固定支架的做法进行详细设计;

(4) $200\text{kN} < \text{水平推力}$,对网架影响很大,其将成为网架杆件设计的主要控制性因素之一,且直接影响网架设计,不建议出现此种情况。

通过以上计算和对结构的影响,可以看出以上两种补偿器的优缺点。

(1) 方形补偿器

方形补偿器采用无缝钢管煨制(亦可采用

热压弯头拼制),其具有加工方便,轴向推力小(管道内压力内部抵消了),不需要经常维修的优点,但其有占地面积较大,不易布置的缺点。

在网架内,空间较大,为实现方形补偿器提供了条件,而其水平推力只有补偿器的弹性反力和管道摩擦力,故方形补偿器的水平推力较小,根据以上实例计算,其最大推力为 80kN (在管径为DN300,固定支架间距为 40m ,方形补偿器高度 $b=1000\text{mm}$ 情况下),而如果减少固定支架间距或增加方形补偿器的高度,它的水平推力将更小(在管径为DN300,固定支架间距为 40m ,方形补偿器高度 $b=1500\text{mm}$ 情况下,其水平推力为 58kN),基本可以满足网架的受力范围而不会对网架的安全形成大的影响。

(2) 波纹补偿器

波纹补偿器具有配管简单、安装容易、维修管理方便等优点。

a. 轴向内压式波纹补偿器

轴向内压式波纹补偿器补偿量较小,当管径 $\leq \text{DN}80$ 时,补偿器的最大补偿量只有 32mm ,如在小管径时采用此补偿器,将大大减少固定点间距,而使补偿器的数量增加,故在小管径时,不建议采用内压式波纹补偿器;当 $\text{DN}80 < \text{管径} \leq \text{DN}200$ 时,补偿器的最大补偿量为 $59 \sim 91\text{mm}$,可基本满足管道膨胀量的需求(此时固定点的间距为 $40 \sim 60\text{m}$),其水平推力均 $\leq 80\text{kN}$,亦满足一般网架的受力范围,故此管径范围内,可以选用内压式波纹补偿器;当管径 $> \text{DN}200$ 时,其水平推力均 $> 100\text{kN}$,故不建议采用。

b. 轴向外压式波纹补偿器

轴向外压式波纹补偿器补偿量较大,同时存在内压推力,而由于其截面积加大,内压推力也较大。管径 $\leq \text{DN}150$ 时,补偿器的最大补偿量为 $87 \sim 408\text{mm}$,满足管道膨胀需求(此时固定点的间距为 $40 \sim 60\text{m}$),其水平推力均 $\leq 80\text{kN}$,亦满足一般网架的受力范围,故此管径范围内,可以选用外压式波纹补偿器;当管径 $> \text{DN}150$ 时,其水平推力均 $> 120\text{kN}$,对网架影响较大,不建议采用。

c. 轴向内外压平衡式波纹补偿器

轴向内外压平衡式波纹补偿器补偿量与内压式波纹补偿器相同,但由于没有内压推力(内部自身抵消),其水平推力较小。基于与内压式波纹补偿器同样的原因,在小管径即管径 $\leq \text{DN}80$ 时,不建议采用轴向内外压平衡式波纹补偿器。

表4 各补偿器使用范围汇总表

补偿器形式	管径范围			
	DN50~DN80	DN100~DN150	DN200~DN300	>DN300
方形补偿器	可用	可用	可用	可用
轴向内压型		可用		
轴向外压型	可用	可用		
轴向内外压平衡型		可用	可用	
轴向全外压平衡型	可用	可用	可用	

当 $DN80 < \text{管径} \leq DN300$ 时, 补偿器的最大补偿量为 $59 \sim 114\text{mm}$, 可基本满足管道膨胀量的需求, 其水平推力均 $\leq 80\text{kN}$, 亦满足一般网架的受力范围, 故此管径范围内, 可以选用轴向内外压平衡式波纹补偿器, 当管径 $> DN300$ 时, 其水平推力均 $> 80\text{kN}$, 不建议采用。

d. 轴向全外压平衡式波纹补偿器

轴向内外压平衡式波纹补偿器补偿量较大, 由于没有内压推力(内部抵消), 其水平推力较小。当管径 $\leq DN300$ 时, 补偿器的最大补偿量为 $114 \sim 268\text{mm}$, 基本满足管道膨胀量的需求, 其水平推力均 $\leq 80\text{kN}$, 亦满足一般网架的受力范围, 故此管径范围内, 可以选用轴向内外压平衡式波纹补偿器, 当管径 $> DN300$ 时, 其水平推力均 $> 80\text{kN}$, 不建议采用。

2 结论

根据以上分析, 各补偿器使用范围汇总见表4。

由此可见, 当管道敷设在网架内时, 采用方形补偿器进行管道补偿, 固定点对于网架的水平推力较小, 是一种比较理想的选择。

参考文献

- [1] 《实用供热空调设计手册》(第二版) 陆耀庆 主编.
- [2] 《波纹补偿器》 北京兴达波纹管有限公司.

与施工方案相关的措施费 计算方法研究

■ 李玲 「工程造价」

摘要: 在编制招标控制价时,由于没有详细的施工组织设计和施工方案,一些与其密切相关的措施费难以准确计算,本文基于常规施工方案和施工机械配备,归纳总结出施工机械的常用参数、配备原则和费用计算方法,为措施费的计算提供可借鉴依据。

关键词: 措施费;常用参数;配备原则;计算方法

1 引言

在编制招标控制价时,除按照图纸完成相应实体项目的计算外,措施费用的计算也是不容忽视的一部分。措施费的多少往往与施工方案密切相关,但是项目招标阶段却无详细施工组织设计和施工方案,无法满足详细计算措施费的要求,所以,为了快速、有效地完成招标控制价编制,造价人员需要掌握一些常规的施工方案、施工机械的配备的知识。

根据建设工程工程量清单计价规范(GB50854-2013)要求,措施项目中的安全文明施工费为投标报价中不可竞争部分;脚手架、模板费用可根据图纸及各地定额计算规则准确计算。因此本文主要介绍与施工组织设计相关的措施费计算方法,重点介绍机械的适用情况及配备原则,选定适用的机械和数量,然后进行费用计价。

2 大型机械进出场费及安拆费

大型机械设备进出场及安拆费是指机械整体或分体自停放场地运至施工现场或由一个施工

地点运至另一个施工地点所发生的机械进出场运输、转移费用,以及机械在施工现场进行安装、拆卸所需的人工费、材料费、机械费、试运转费和安装所需的辅助设施的费用。需要特别注意的是进场费用除运输机械往返的运费,含一次安拆及路基铺垫和轨道铺拆等的费用。能够自行行走的机械不计取机械进出场费,只有必须依靠其他运输机械搬运的机械才计取进出场费,部分大型、需要拆分后运输的机械需同时计取进出场费及安拆费。

一般工程的大型机械设备包括塔吊、土方机械、打桩机械等,计算大型机械进出场费的前提是计算出机械的配备数量,再按照进出场次数及安装拆卸台次进行计算。

2.1 塔式起重机的进出场费计算

塔式起重机在建筑工程中应用非常广泛,特别适用于多高层建筑的施工,塔吊的分类方式较多,按照安装方式有行走式和固定式;按照变幅方式有动臂式和平臂变幅式;按照自升方式有附着式和内爬式。

从各省市定额中规定的计算方法来看,塔式起重机的进出场费主要取决于塔吊起重量及起重力矩,个别省市根据起升高度来计算,见表1。

2.1.1 塔吊型号及数量的确定

各省市定额中以“台次”计取塔吊的进出场费,但塔吊台次的确定却没有具体的规定,故计

作者简介:李玲,女,高级工程师,2003年毕业于河北工程大学土木工程专业,现就职于中衡规划动力工程设计研究院。

表1 各省市起重机进场费定额计价分类

机械名称	塔式起重机	自升式塔式起重机	履带式起重机
福建省	6t或10t以内	起重力矩 1000/ 1250/ 1500/ 2000/ 2500kN.m	30t/ 50t/ 70t以内
广东省	起重力矩 600/ 800/ 1500/ 2500kN.m	不区分	30t/ 50t以内
贵州省	起重力矩 600/ 800/ 1500/ 2500kN.m	不区分	30t/ 50t以内
河北省	起重力矩 600/ 800/ 1500/ 2500kN.m	不区分	30t/ 50t/ 50t以外
河南省	起重重量6t/ 8t/ 15t/25t	不区分	30t/ 50t/ 60t以内
黑龙江省		高度 30m/ 50m以内/ 50m以外	30t/ 50t/ 70t以内
江苏省	起重力矩 600/ 800/ 1500/ 2500kN.m	不区分	15t/ 30t/ 50t/ 70t以内
江西省	起重重量 2~6t/ 3~8t/ 15t/ 25t/ 60t/ 125t以内	不区分	30t/ 50t/ 70t以内
辽宁省	起重力矩 600/ 800/ 1000/ 1500/ 2000kNm	不区分	30t/ 70t以内
四川省	起重力矩 600/ 800/ 1500/ 2500kN.m	不区分	30t/ 50t以内
天津市	起重重量 2~6t/8t	不区分	30t/ 50t以内

价时一般应先选择相对合理的布置方案,然后确定塔吊的类型、型号及数量。

确定塔吊的布置方案,要先确定所用塔吊的主要参数,包括幅度参数、起升高度、起重量和起重力矩等,其中起重力矩反映塔机的起重能力。然后结合工程的现场情况选取塔吊型号。选取型号时需考虑以下三个主要参数:

(1) 臂长。根据建筑物的长、宽、高尺寸,即可初步确定塔吊的臂长,选定的臂长确保能覆盖全部工程,最好稍有余量。目前经常见到的塔吊,臂长一般为30m、40m、50m、55m、60m、70m几种。

(2) 起升高度。选取的高度至少要比建筑物的最大高度高出10~15m。

(3) 臂端吊重。一般由塔吊需起吊的材料及设备的重量决定。

2.1.2 其他需考虑因素

(1) 塔吊距建筑物间距。正常取值为4~6m,最小不能小于标准节宽度2倍的距离。

(2) 建筑物的体型和平面设计、建筑层数、层高和建筑总高度、建筑工程实物量、材料和设备搬运量、建筑工期、以及施工进度安排等。

2.1.3 费用计价

综合考虑塔吊的设备参数、现场的实际情况后,造价人员在编制招标控制价时即可初步确定塔吊的型号、数量,根据起重量,或起重高度,或起重力矩套用相应费用,计算出所需的进出场或安拆费用。另外除塔吊的进出场费用外,有些省市还需要另外计算塔吊的设备基础费用,一般固定式基础按“座”为单位计取,轨道式按“m”为单位计取。

2.2 土方机械进出场费

一般土方工程中常见的土方机械有挖掘机、推土机和铲运机。

2.2.1 机械适用情况

(1) 挖掘机。土方开挖机械,按行走装置的不同,分为履带式 and 轮胎式;按工作装置不同,分为正铲、反铲、拉铲和抓铲四种。正铲与反铲均适用于独立基坑及边坡开挖,正铲常用于含水量小的I~IV级土,反铲用于含水量大的I~III级砂土或黏土;拉铲与抓铲均适用于水下挖土,拉铲一般开挖停机面以下的I~II级土。

(2) 推土机。自行式的挖土、运土机械。按铲刀操作方式不同,分为有索式和液压式;按行

走方式不同,分为履带式和轮胎式。经济运距在100m以内,以30~60m为最佳运距。

(3) 铲运机。可独立完成铲土、运土、卸土、填筑、压实等工作的机械,分为拖式铲运机和自行式铲运机。适用于坡度在20度以内的大面积场地平整,适宜运距为600~1500m,在200~350m时效率最高。

2.2.2 机械数量的确定

当挖土机挖出的土方需要运土车辆运走时,挖土机的生产率不仅取决于本身的技术性能,而且还决定于所选的运输工具是否与之协调。

由技术性能,可按下式算出挖土机的生产率 $P(\text{m}^3/\text{台班})$ 。

式中 t ——挖土机每次作业循环延续时间(s);

$$P = \frac{8 \cdot 3600}{t} \cdot q \cdot \frac{K_c}{K_s} \cdot K_b$$

q ——挖土机斗容量(m^3);

K_c ——土的最初可松性系数(一类土1.08~1.17,二类土1.14~1.28,三类土1.24~1.30,四类土1.26~1.32,五~七类土1.30~1.45);

K_s ——土斗的充盈系数可取0.8~1.1;

K_b ——工作时间利用系数,一般为0.6~0.8。

依据上述公式计算出挖土机的生产率后,首先计算出工程的土方量 Q ,再从工期定额中查取土方施工的定额工期 T 后,最后计算出相应需配备的理论机械台数 N (按理论条件考虑工期1天=8小时=1台班)。

$$N = \frac{Q}{P \cdot T}$$

2.2.3 费用计价

根据各省市定额规定,土方机械进出场费一般以使用“台次”为单位计取费用。一般履带式挖掘机区分斗容量 1m^3 以内及以外,履带式推土机区分功率90KW以内及以外,例如广东省、贵州省。有的省市推土机、挖掘机配自卸汽车运土均按照实际发生的土方量来计算土方机械的进出场费,例如陕西省。

2.3 室外工程道路施工机械

一般建筑工程项目内室外工程涉及到的大型机械有强夯机械、压路机、沥青摊铺机。

2.3.1 机械类型及适用情况

(1) 强夯机械。有蛙式、震动式等。

(2) 压路机。静压式适用于各种作业；钢轮式适于沥青路面压实作业；轮胎式适用于垫层的压实；羊足碾适用于路基、垫层的压实。

(3) 沥青摊铺机。有履带式、轮胎式。

2.3.2 费用计价

根据各省市有关室外工程机械进出场费的规定，强夯机械、压路机一般以使用“台次”为单位计取费用，例如辽宁省、四川省。沥青摊铺机有的省市区分轮胎式、履带式计取费用，例如河北省；有的省市区分12t以内、24t以内计取费用，例如江苏省。

2.4 打桩机械

工程图纸确定后，即已经确定了桩基的类型、打桩机械的类型，根据工程量及打桩机械的台班产量，来计算所需打桩机械的台次，确定台次后，即可根据定额计取打桩机械的进出场费。根据已实施项目的统计结果，以静压桩及泥浆护壁灌注桩为例，静力压预制桩时考虑压桩及接桩的时间，一个台班产量大约14根。泥浆护壁成孔灌注桩，桩径 $\phi 800$ ，桩长60m，一个台班产量大约1根。其他桩径及桩长的台班产量可以据此进行推算。

3 垂直运输机械费用

垂直运输机械费用是指工程施工时为完成劳动力和材料的垂直运输以及施工部位的工作人员与地面联系所采取措施发生的费用。檐高3.6m内的单层建筑物和围墙，不计算垂直运输机械费用。常用的垂直运输机械有塔吊、卷扬机等。

3.1 机械的选用

常用的垂直运输机械有塔吊及卷扬机。在编制招标控制价时应根据工程的实际情况选择适用的机械类型，一般考虑主要因素即可：结构施工阶段，层数小于6层，檐高小于20m，选用卷扬机即可；当建筑面积较大，工期要求紧时，选用塔吊是比较合理的方案。在二次结构施工及室内装修阶段选用卷扬机即可满足施工要求。

3.2 费用计价

根据各省市的定额规定，垂直运输机械费的计算最常用的是采用建筑面积（ m^2 ）；有的省市以发生的工日数量或者实际台次来计算，例如天津市、湖南省。个别省市按照机械使用的时间（天数）来计算，例如江苏省。

建筑面积按照计算规则计算即可。塔吊使用时间为建筑主体结构（包括地下室）的施工时间，不能明确时可按（总施工工期-基础工期） $\times 60\%$ 计算。卷扬机使用时间为建筑基础以上全部施工工期（不包括基础工期）。

目前很多工业厂房采用钢结构居多，如单纯的按照建筑面积来计算，则相对不科学、不准确，计算时可借鉴黑龙江省定额有关规定，如：钢结构垂直运输项目执行现浇钢筋混凝土框架结构子目乘系数0.34，钢结构构件安装部分执行吊装的相应项目。

在现浇混凝土结构施工中一般均会采用泵送混凝土，也可借鉴黑龙江省规定，相应定额项目乘系数0.75来进行换算。

在实际工程中通常是塔吊与卷扬机配合使用，从各省市垂直运输费的组成来看，也是按两种机械配合使用来计算垂直运输机械的摊销。经综合测算塔吊与卷扬机同时使用发生的垂直运输费用，比单纯使用卷扬机发生的费用高约25~35%。

4 施工降排水

施工降排水费用常发生在开挖基坑或沟槽遇到地下水时，或现场施工排水时。

一般厂房的独立柱基或桩承台的埋深比较浅，常见的约为1~3m，遇到地下水的情况比较少。另地下水位比较高的地区地基承载力较弱，常通过地基处理或打桩的形式提高地基承载力，所以基础埋深低于地下水位的情况也很少见，因此一般厂房的基础形式不会涉及到整体基础降水的问题。但有地下室的办公楼、住宅楼、地下水池等由于存在地下结构，地下室层高一般大于3m，经常会低于地下水位，所以常会发生降水费用。

4.1 明排水法

4.1.1 适用情况及设置原则

明排水法适用于粗粒土层或渗水量小的黏土层。

明排水一般设置在基础范围以外，地下水走向的上游。集水坑设置间距为20~40m，直径一般为0.6~0.8m，深度要低于挖土面0.7~1.0m。基础挖至设计标高后，集水坑底应低于基础底面标高1~2m，并铺设碎石滤水层一般为0.3m厚。

4.1.2 费用计价

根据设置原则分别计算集水坑的数量，人工开挖集水坑与排水沟的土方量，坑底铺设碎石层

表2 各种形式井点降水适用范围及设置参数

井点类别	土的渗透系数(m/d)	适用范围	降低水位深度(m)	井点管/管井间距(m)	参数要求
轻型井点(一级)	0.1~50	一般的细砂和粉砂土	3~6	0.8、1.2	每套泵带动总管长100~120m,井点管直径38、51mm,长5~7m,集水总管直径100~127mm,滤管长2m,直径38~55mm,弯联管为软管,其他管材均为无缝钢管
轻型井点(二级)	0.1~50	一般的细砂和粉砂土	6~12	0.8、1.2	
喷射井点	0.1~50	基坑深、地下水位高的粉土、极细砂和粉砂	8~20	2~3	每套井点井管数量20~30根
管井井点	20~200	土渗透系数大、地下水量大的土层、砂层	3~5	20~50	每个管井配备一台水泵,管井直径150~250mm,管井深度8~15m
深井井点	10~250	降水深度超过15m,有流砂和重复挖填土方区	大于15	10~30	

表3 轻型井点降水平面布置适用范围

类型	适用范围	备注
单排布置	基坑、槽宽度小于6m,且降水深度不超过5m	布置在地下水上游,两端延伸长度各自不小于坑宽
双排布置	基坑宽度大于6m或土质不良	
环形布置	大面积基坑	
U形布置	土方施工机械需进出基坑	不封闭的一边设在地下水的下游方向

的工程量,按各省市相关规定计价。发生的机械费用按照抽水泵考虑,费用发生时间从发现地下水开始一直到基坑回填完毕,需24小时不间断抽水,每天合计3台班。当计算现场施工排水措施费时,可查阅本地区每年平均的降雨天数作为参考计算时间。

4.2 井点降水

4.2.1 适用情况及设置原则

井点降水适用于细砂和粉砂土质。

各种形式井点降水的设置参数及适用范围参见表2。

资料来源根据文献^{[1][2]}绘制

工程中经常采用的类型一般为轻型井点降水,其类型及适用范围见表3。

4.2.2 费用计价

根据现场的地质情况、建筑物的首层形状选择适用的降水方式及布置方式,再计算降水费用。如:井点施工费用,所用管材的材料费用,水泵系统的租赁或购买费用,水泵运转的台班费用(每天24小时不间断抽水)及操作工人的人工费用。有些地区按井点的套数为单位计价,如辽

宁省。轻型井点50根为一套;喷射井点30根为一套;大口径井点45根为一套;电渗井点10根为一套。基坑开挖过程中均有费用发生,需要不间断的抽水。

5 结语

施工方案对造价的影响约占工程造价的20%,因此对施工方案的了解和选用适合的施工机械对造价人员是必备的技能,以上为通过工作实际应用,对涉及到的机械布置及相应措施费用的计算方法,如大型机械进出场费、垂直运输费、施工降排水费计算方法的总结,供大家在今后的工作中参考、应用,为准确计算工程造价带来便利。

参考文献

- [1] 常建立,曹智.建筑工程施工技术[M].北京:北京理工大学出版社,2011.
- [2] 吴志钧.建筑施工使用技术[M].江西:江西科学技术出版社,1999.

垃圾焚烧发电项目概算 编制体系及实践

——以北京首钢生物质能源项目为例

■ 苗宇 「工程造价」

摘要: 结合垃圾焚烧发电项目作为市政和发电工程的双重属性,以北京首钢生物质能源项目为例,从概算编制分类、编制框架、定额及市场信息价选用、工程建设其他费用、造价指标和影响造价指标的特殊因素等方面对垃圾焚烧发电项目的编制体系进行了详细阐述,为后续垃圾焚烧发电项目的概算编制提供参考。

关键词: 垃圾发电;项目;概算编制;实践

1 引言

随着社会主义市场经济的蓬勃发展,城市规模不断扩大,人口规模不断增加,但随之而来的城市环境问题治理,特别是垃圾处理问题也变得日益突出^[1]。以北京市为例,据有关文献显示,北京市目前生活垃圾实际产生量18400t/日,已建成设施的处理能力已远远不能满足需求,大部分填埋场均处于超负荷运转状态。因此,焚烧发电的垃圾处理方式已经成为未来垃圾处理的重要方向。

垃圾焚烧发电项目是以垃圾为燃料,处理垃圾为主要功能,利用垃圾焚烧余热进行发电的市政工程,这种特点决定了其具备市政工程和发电厂的双重属性。本文以北京首钢生物质能源项目为例,结合垃圾焚烧发电项目垃圾处理和发电的双重属性,对初步设计阶段垃圾焚烧发电项目概算编制体系进行研究。

2 项目概况^{[2] [3]}

北京首钢生物质能源项目(以下简称项目)位于北京市门头沟区鲁家山,现北京首钢鲁矿南区厂区内,厂址三面环山。项目设计规模日处理垃圾3000t,远期考虑日处理垃圾5000~6000t,年处理能力100万t。该项目总占地面积为207503m²,项目建筑面积约6.6万m²。项目采用4台750t/日的机械炉排式生活垃圾焚烧炉和2套30MW直接空冷式汽轮发电机组的配置方案。建设内容包括生产工程(垃圾储存及上料系统、焚烧系统、热力系统、烟气净化系统、压缩空气系统、水处理系统、点火及辅助油系统、给排水系统、循环冷却水系统、污水及渗沥液处理系统、电气系统、热工控制系统、灰渣输送及处理系统等)及附属生产工程。项目建成后将成为世界单体一次投入规模最大的垃圾焚烧发电厂。

项目初步设计批复概算总投资为214139.50万元(不含建设期贷款利息和铺底流动资金)。其中工程费194405.31万元,工程建设其他费13520.42万元,基本预备费6213.77万元。

作者简介:苗宇,男,高级工程师,2007年毕业于华北电力大学管理科学与工程专业,现就职于中航规划飞机工程设计研究院。

3 垃圾焚烧发电项目概算编制分类

目前,垃圾焚烧发电项目概算编制国家和相关行业没有统一的标准和格式,概算编制的格式与方法要求往往与以下几种因素相关:

- (1)项目资金来源;
- (2)项目审批单位;
- (3)项目概算的用途;
- (4)项目评审专家背景;
- (5)建设单位的投资背景及相关意见。

根据以上几种因素,不同建设背景的垃圾焚烧发电项目概算衍生出以下三类编制体系:

(1)完全电力定额形式:定额套用与相关调价取费标准和格式完全参照电力行业相关文件规定;

(2)电力与地方定额相结合:建筑工程按照项目所在地工程定额套用,设备及安装工程参照电力行业相关定额和取费标准;

(3)地方定额辅助补充电力定额:建筑和设备及安装工程优先参照项目所在地工程定额套用,无法适用当地工程定额的项目内容参照电力行业相关定额和取费标准取定。

本项目采用的是第三种概算编制方法。

4 整体编制框架体系

考虑到垃圾焚烧发电属性和工艺流程特点,本项目工程概算整体编制体系结合具体设计内容并参照《火力发电工程建设预算编制与计算标准》(2007)进行编制,具体概算编制体系如下^[4]:

- (1)编制说明;
- (2)总概算表;

总概算表主要包括:主辅生产工程、与厂址有关的单项工程、工程建设其他费用、基本预备费、建设期贷款利息和铺底流动资金(本项目未计入)。

其中,主辅生产工程按照垃圾焚烧工艺流程分为受料及供料系统、垃圾焚烧系统、余热利用系统、除灰渣系统、烟气净化系统、水处理系统、供水系统、电气系统、热工控制系统和附属生产工程十大系统。

与厂址有关的单项工程主要与项目的交通位置和自然环境有关,包括土石方工程费、水土保持工程费、边坡工程费和市政盘山路桥费用四部分内容。

- (3)建筑工程汇总概算表;

主要包括按照系统化分项目所有房号的土建

工程及房屋本身附属给排水、消防、采暖、通风空调、电力照明的概算投资;全部室外工程及与厂址有关的单项工程两部分投资也属于建筑工程汇总范畴。

- (4)设备及安装工程汇总概算表;

主要包括按照系统化分项目工艺设备及为生产工艺所服务的专业设备投资、设备安装及其附属管线投资。

- (5)其他费用概算表;
- (6)单位工程概算表(建筑工程部分);
- (7)单位工程概算表(设备及安装工程部分);
- (8)附录。

- 1)引进设备价格计算表;

主要包括项目范围内所有进口设备的投资,此表主要是计算汇总项目所用外汇额度,详细列示项目设备进口环节各项费用和税费。

- 2)环境保护工程概算表;
- 3)劳动安全卫生工程概算表;
- 4)职业卫生工程概算表。

5 定额及市场信息价选用

本项目资金来源为北京市政府投资占总投资50%,企业自有资金占总投资10%,其余40%为银行贷款。项目审批主管部门为北京市发展和改革委员会。按照北京市发改委《政府投资项目初步设计概算投资构成及计费依据》,本项目定额套用优先执行2004年《北京市建设工程概算定额》和《北京市建设工程概算费用定额》;工业安装不足部分(如安装专业中部分设备、中高压部分管道及附属构件)套用2001年《北京市建设工程预算定额》和1996年北京市《建设工程概算定额》(2010安装工程单位估价表)。

由于本项目具有发电系统的属性,对于北京地方概算和预算定额没有适用的工程内容,如垃圾卸料大门、大型电动桥式起重机、汽轮发电机组、减温减压器、脱硫除尘装置等设备安装费借用《电力建设工程概算定额(2006年版)》以补充定额的形式体现单位工程概算中,对于既没有地方定额又无行业定额套用依据的项目内容,如焚烧炉及砌筑工程、干性脱酸药剂喷射系统、石灰浆制备系统、活性炭喷射系统、还原剂制备系统、催化剂反应塔、集束钢烟囱、水处理系统、空冷岛等设备安装费参照设备安装费指标进行估算。

本项目人工和材料价格选用编制期的《北京工程造价信息》中的市场信息价,设备采用协议订货价或逐台市场询价。

6 工程建设其他费用

本项目其他费用设置主要参考北京市发改委《政府投资项目初步设计概算投资构成及计费依据》关于工程建设其他费用的构成和北京市和国家其他相关费用规定进行编制,主要包括建设单位管理费、招标代理服务(施工、设备、监理、设计、勘察)、招投标交易服务费、建设工程监理费、设备监造费、施工人员意外伤害保险费、项目前期工作咨询费、工程勘察费、工程设计费、工程造价咨询服务费、施工图文件审查费、劳动安全和职业卫生评价费、特种设备安全监测费、电气防火检测收费、避雷装置检测费、水土保持项目验收及补偿费、项目用地控规、岩土工程勘察、水文地质勘察工程测量、工程物探、鲁矿地形图测绘、地震安全性评价、水土保持方案报告编制、地质灾害危险性评估、水资源论证报告编制、环境影响评价报告编制、人防易地建设费、联合试运转费、生产准备费、引进技术及设备其他费用、城市基础设施建设费和电力接入系统等费用。

有些垃圾焚烧发电项目根据具体情况可能还涉及到建设场地征用及清理费、BOT中标服务费、设备成套技术服务费、项目后评价费、电力建设标准编制管理费、分系统调试及整套启动调试费等费用。

7 造价指标经济性分析和影响造价指标的特殊因素

7.1 造价指标经济性分析

依据价值工程原理和垃圾焚烧发电项目以处理垃圾为主、兼顾发电的市政工程属性,按照《火力发电工程建设预算编制与计算标准》(2007)以发电量为单位的单位造价指标考核项目的经济性已不能反映项目实际技术经济状况,本项目以建设总投资除以垃圾焚烧炉的总吨数即3000吨作为项目的造价指标(万元/t),以考核其经济合理性。

7.2 影响造价指标的特殊因素

由于本项目建设场地自然条件和交通环境较一般建设项目偏差,生产区建设场地自然标高

最高约为258.5m(位于场地西南部),最低约为171.5m(位于场地西侧沟谷),最大高差达87m,地貌形态为低中山。南区场地地形高程变化较大,部分区域第四系覆盖层厚度变化很大,市政配套及土石方工程量大(整个建设用地仅土石方工程一项工程量达290万 m^3),为使其达到设计、施工和运营条件的建设投资达48777万元,占整个项目总投资的近23%,这是本项目由于自然条件方面的劣势而增加的建设投资;但另一方面,由于本项目位于北京首钢鲁矿南区厂区,属于关停的石灰石废弃矿厂区,本项目充分利用废旧矿区作为建设用地,除利用垃圾燃烧余热发电外,还可年最大供热量为48.9兆瓦——可承担门头沟地区100万 m^2 建筑的供热任务,不但节省了建设场地征用的费用,而且发挥了巨大的经济效益和社会效益。

本项目还采用众多绿色环保和循环利用技术——SCR脱硝、防白烟技术、直接空冷系统、沼气发电系统、灰渣的资源化、厂区污泥干化系统和水处理系统,尽管比一般垃圾焚烧项目增加约10%的建设投资,但是大大降低项目后期的运行成本,体现了科技、环保、节能的绿色理念。

8 结束语

垃圾焚烧发电项目是一类工艺系统性强的市政类建设项目,而投资概算是其进行投资控制的核心文件,本文系统地对比垃圾焚烧类项目的概算编制进行整体阐述,为这类项目后续的概算编制和造价管理工作提供有益的参考。

参考文献

- [1] 金通. 垃圾焚烧产业的产品特征及其政策含义[J]. 财经论丛, 2007(2).
- [2] 陈晓峰等. 北京首钢生物质能源项目初步设计总说明[M]. 北京: 中国航空规划建设发展有限公司, 2011: 1-4.
- [3] 苗宇等. 北京首钢生物质能源项目初步设计概算[M]. 北京: 中航工业规划, 2011: 4-30.
- [4] 沈维春等. 火力发电工程建设预算编制与计算标准[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007: 142-153.
- [5] 刘海丽, 彭新坡. 垃圾焚烧发电厂概算编制初步探讨[J]. 工业建筑, 2011(S1).
- [6] 樊京春, 时璟丽, 秦世平. 垃圾焚烧发电电价补贴方法探讨[J]. 可再生能源, 2010, 28(2).

管桩造价指标影响因素分析

■ 孟繁 张俊杰 鄢利平 钱海静 「工程造价」

摘要: 桩基估算在可行性研究阶段通常采用类似项目指标估算法,然而对于类似因素并没有统一、比较确切的认识。本文以管桩为例,通过桩基受力机理入手,分析桩基造价指标的主要影响因素、分类因素,提出需要固定地质、桩基类型因素,再做类似估算,并设计桩基造价估算流程。

关键词: 桩基造价指标;影响因素;桩基造价流程

0 前言

通常桩基造价占工程造价的10%左右,投资份额较高,不确定性大。在可研估算中,我们利用已有类似工程做桩基估算费用。然而,什么是类似的标准?用什么作桩基造价参数,我们还是凭经验。有的造价指标用书用建筑基底面积作为桩基造价指标单位,也有的书是用建筑面积做造价指标单位。本文以管桩为例,探讨上部结构对桩基造价的影响因素、初步确定指标单位、提出桩基造价指标应用流程设计等。本文通过桩基受力机理、限定假设条件及计算一组数据,并进行对比分析,找到解决问题的路径。

1 桩基受力机理分析

1.1 受力机理及模型简化

桩是深入土层的柱型构件,桩与连接桩顶的承台共同组成基础,其作用是将上部结构的荷载,通过桩穿过较弱地层(淤泥等土层)传递到深部较坚硬的、压缩性小的土层或岩层。一般房

屋基础工程中,桩主要承受垂直的轴向荷载,但在高耸塔型建筑等以及抗震工程中,桩还需承受来自侧向的风力、波浪力、土压力和地震力等水平荷载。

1.2 桩基造价研究流程

从桩基的设计流(见图1)可以看出上部荷载对于桩基造价影响的对应关系。上部荷载又与单位面积荷载相应(见表1),不同建筑有不同的单位面积荷载。桩基承载力与土层的性质、桩型的选择相关。通过专家调研,在参考类似桩基造价指标预测桩基造价时,我们需要固定土层、桩基选择类别作为不可变因子,再做同类型造价对比。

1.3 上部荷载分类、计算

不同的建筑物荷载与结构形式、建筑类别及功能、工程结构安全等级相关。下面以工程结构安全等级二级为例,表1列出几种结构形式、建筑功能的单位面积荷载标准参考值。

2 高强预应力管桩(简称PHC桩)造价要点

2.1 管桩清单造价组成

管桩造价定额通常按照 m^3 单位,而实际市场报价中根据不同类型采用 m 为单位。按08清单包含的工作内容进行组价,包含以下费用:

1)桩基分部分项费用包含桩基材料费、机械

作者简介:孟繁,女,高级工程师,1999年毕业于哈尔滨工程大学建筑工程专业,现就职于中航规划建筑设计研究院。

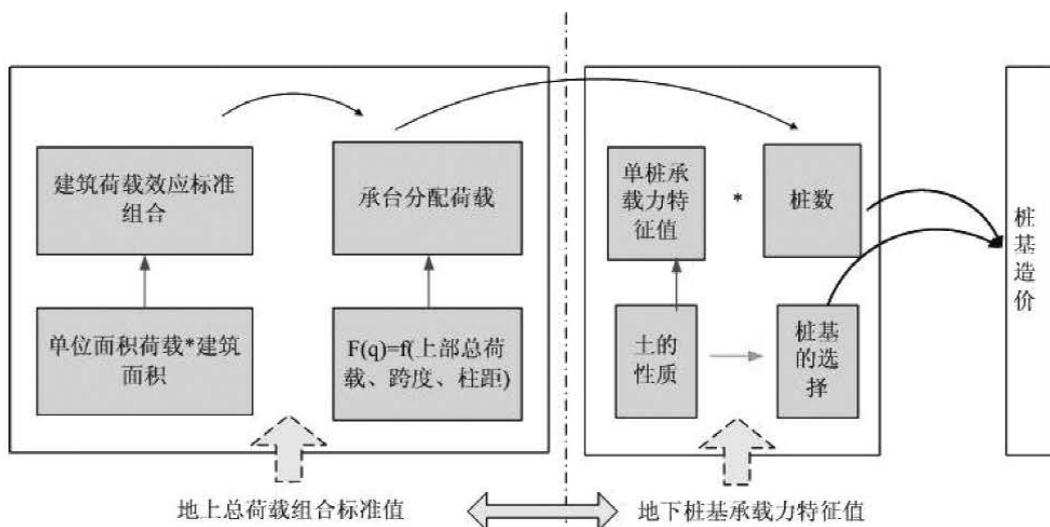


图1 桩基造价研究的流程

表1 单位面积荷载参考值 单位: KN/m²

	框架钢筋	框架钢筋+ 钢结构	钢结构
办公类	15~20	15~25	10~15
大型公建	20~30	15~35	15~25

费、人工费、管理费、利润、风险费，清单项中的管桩填充材料，防护材料要根据设计要求特殊关注，不要漏项；

2)措施费：安全文明、临时设施、冬雨季施工、大型机械进出场等费用；

3)暂列金额：包含10~15%的预备费，在有设计变更、工程变更时发生此费用；

4)规费、税金 按照有关规定约占桩基造价的6%。

2.2 桩基检测费

桩的检测分承载力和桩身质量检测，详见《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008。对于检测的范围、数量 JGJ 106-2003 《建筑桩基检测技术规范》中有规定，另外《工程勘察设计收费标准》（2002修订版）对于收费也做出了相关规定，但较市场实际收费有差距，我们以市场实际报价为参考数据加以说明。

2.2.1 承载力检测

施工期应采用静载试验确定单桩竖向抗压承载力特征值。通常检测桩数不少于3根，且不少

于桩数的1%；当工程桩数在50根以内，不应少于两根。其每根检测桩检测费用按照设计承载力 $\times 2 \times 100$ 元/t（400t以上）或者80元/t（400t以下）计算。例如某桩设计承载力为1600KN，则其造价为 $1600/9.8 \times 2 \times 80 = 26080$ 元。

2.2.2 桩身质量检验

不区分设计等级，桩基质量检验即对基桩动力检测。检测桩数占总桩数30%，且每个承台下不少于一根，总检测数不少于10根。检测单价约200元/根。

这两项检测费用通常由甲方承担，并在概算中列在其他费用中，桩基综合单价不包含此部分费用。

3 假设验算及造价指标因素分析

我们以管桩作为算例，选择上海某地区土质为计算前提，分析桩基造价指标变化规律。

3.1 变柱网

下面以框架结构办公、普通装修标准、风荷载 0.45kN/m^2 、讨论 $8\text{m} \times 8\text{m}$ 、 10×10 、 12×11 、 10×8 、 $12 \times 12\text{m}$ 框架柱网等情况，算例忽略水平力荷载偏心影响，仅考虑竖向荷载对下部桩基传力的影响，分析桩基造价指标变化规律。

3.1.1 计算假设

1)建筑面积在 10000m^2 左右，6层钢筋混凝土框架，层高 $4.2+3.6 \times 5\text{m}$ ；

2)屋面恒载： $g_k=7.5\text{KN}/\text{m}^2$ ， $q_k=0.5\text{KN}/\text{m}^2$ ；楼层恒载： $g_k=6.5\text{KN}/\text{m}^2$ ， $q_k=2\text{KN}/\text{m}^2$ ；

3)加气混凝土砌块墙体荷载：
($10\times 0.25+1$) $\times 3.4=12\text{KN}/\text{m}$ ；

4)选择持力层①，粉砂；

5)PHC AB500 125,桩长27m,单桩承载力特征值1500KN,桩综合造价260元/m(不含承台及筏板)；

6)抗震设防烈度 7° 或者8°，II类场地土。

3.1.2 计算结果及分析

计算结果见表2。

按照不同抗震烈度、柱网做出单位建筑面积管桩造价指标见图2。

资料分析及结论：

相同建筑面积，同类型建筑，桩基造价接近，单位承载力造价指标接近。同时我们通过SPSS软件进行相关数据分析显示，桩基造价可以用单位面积桩基造价指标来表示，见公式1，或者用单位承载力造价来表示，见公式2。

$$C_{ZJ}=S\times K_1 \quad \text{公式1}$$

$$\text{或 } C_{ZJ}=Tf\times K_2 \quad \text{公式2}$$

其中：

表2 变柱网管桩基造价指标

序号	柱网	建筑面积	抗震烈度	总恒载(KN)	总活载(KN)	总桩数	桩承台下总荷载(KN)	单位面积荷载(KN/m ²)	平米造价指标(元/m ²)	承力造价指标(元/KN)
1	8×8	9600	7°	10612	2080	104	154416	16.09	76.05	4.73
2	8×8	9600	8°	10882	2080	120	157218	16.38	87.75	5.36
3	10×10	9600	7°	8958	2000	89	137427	14.32	65.08	4.55
4	10×10	9600	8°	9132	2000	89	139081	14.49	65.08	4.49
5	12×11	9504	7°	8994	1980	90	135134	14.22	66.48	4.68
6	12×11	9504	8°	9148	1980	90	136775	14.39	66.48	4.62
7	10×8	9600	7°	9046	2000	98	141983	14.79	71.66	4.85
8	10×8	9600	8°	9264	2000	98	144176	15.02	71.66	4.77
9	12×12	10368	7°	10117	2160	100	151442	14.61	67.71	4.64
10	12×12	10368	8°	10291	2160	100	153654	14.82	67.71	4.57

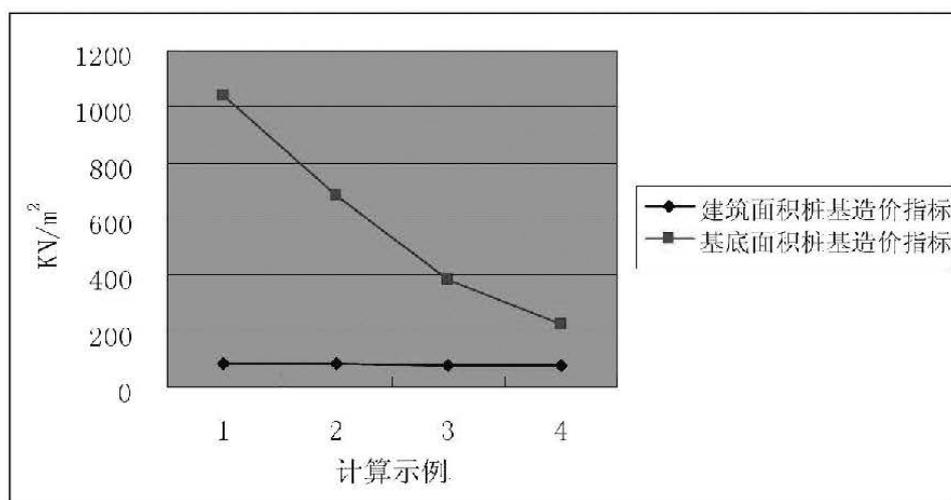


图2 柱网、地震烈度对桩基造价的影响

C_{zj} ——表示桩基造价，单位元；

S ——表示建筑面积，单位 m^2 ；

T_f ——表示上部总荷载，可以简化为用单位建筑面积荷载 \times 建筑面积表示，单位KN；

K_1 ——表示类似工程单位建筑面积造价指标，单位元/ m^2 ；

K_2 ——表示类似工程单位承力造价指标，单位元/KN。

不同柱网的单方造价曲线趋近于一条水平直线，说明柱网对桩基单位建筑面积造价指标的影响不大。

桩基单位建筑面积造价指标对地震的反应不明显。

3.2 桩基指标单位的确定

指标单位的确定是编制工程造价指标的重要环节，只有合理的单位才能合理的反应指标数据。我们通过计算同建筑面积、不同高度、不同基底面积建筑的桩基造价，选择合适的桩基造价指标单位。

3.2.1 计算假设

- 1) 建筑面积在10000 m^2 左右，层高3.6m。
- 2) 柱网8 \times 8m。
- 3) 抗震设防烈度7°、II类场地土情况。
- 4) 其他假设同3.1.1中的2、3、4、5条。

3.2.2 计算及分析

计算表如表3。

资料分析如图3。

结论及判断：这里我们对建筑面积还是基底面积哪个做桩基造价指标进行讨论。我们应用相对标准偏差概念RSD(relative standard deviation)，即用样本的标准差除以样本均值。相对标准偏差用来分析测量的不确定性、测量结果的精度，结果越小，说明精度越好。公式如下：

$$S = \sqrt{\frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

相对标准偏差 $RSD = \frac{s}{\bar{x}}$

表3 变柱网管桩造价指标

序号	建筑面积	层数	基底面积	总恒载 (KN)	总活载 (KN)	总桩数	桩承台下总荷载 (KN)	单位面积荷载 (KN/ m^2)	建筑平米造价指标 (元/ m^2)	基底平米造价指标 (元/ m^2)
1	9984	13	768	12508	2342	114	183998	18.43	80.16	1042.03
2	10240	8	1280	12141	2304	124	184811	18.05	85.01	680.06
3	9600	5	1920	10508	2016	104	153936	16.04	76.05	380.25
4	9408	3	3136	10123	1725	100	155233	16.50	74.62	223.85

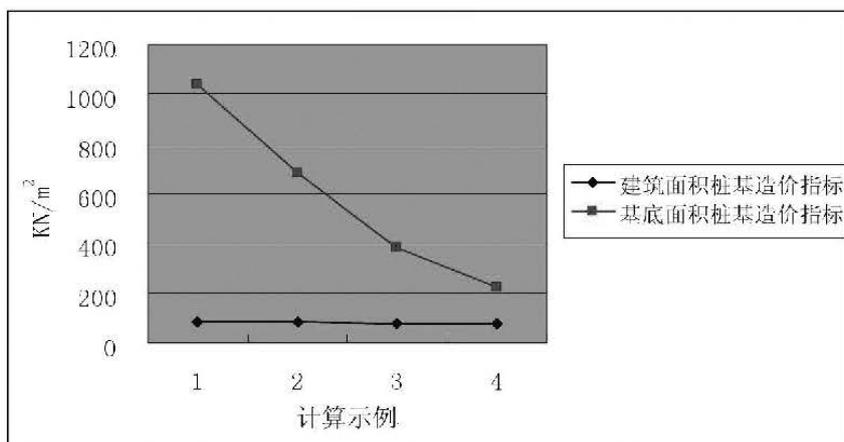


图3 建筑面积、基底面积做桩基造价指标单位分析图

计算得到用样本建筑面积桩基造价指标的相对标准偏差0.059,以样本基底面积桩基造价指标的相对标准偏差0.620,可以得到结论:

1)用建筑面积桩基造价指标比基底面积造价指标更合理。

2)采用建筑面积桩基指标,基底面积、高度在一定范围内对桩基造价影响不大。

4 依地质条件判断是否需做桩基

4.1 理论计算依据

不是所有的建筑物都要做桩基,同样的建筑物,建在内蒙古和建在上海用不用桩基的状况不同,不仅与建筑物上部荷载相关,还与土的状态,建筑物的埋深有关。是不是采用天然地基,《地基设计规范》GB50007-2011,对此做出规定。

4.2 示例

示例1:内蒙古某办公楼,二层地下室,埋深-8m,地上30层,层高3.6m,基础在③粘土层, $f_{ak}=200\text{Kpa}$ 。

示例2:内蒙古某办公楼,无地下室,独立基础埋深-2m,地上10层,层高3.6m,基础在②卵石层, $f_{ak}=260\text{Kpa}$ 。

判断是否做桩基步骤:

1)假设:上部每层面积与基底面积相同;单位面积荷载为 $16\text{KN}/\text{m}^2$,案例1中基底单位面积荷

载为 $521\text{KN}/\text{m}^2$,案例2中基底单位面积荷载为 $160\text{KN}/\text{m}^2$ 。

2)案例1,代入规范中的公式,修正后地基承载力为:

$$f_a = f_{ak} + \eta_b \gamma (b-3) + \eta_d \gamma_m (d-0.5) \\ = 200 + 0.3 \times 16 \times (6-3) + 1.6 \times 16 \times (7-0.5) = 380.8 \text{ KPa} < 521 \text{ KN}/\text{m}^2, \text{ 需要做桩基。}$$

3)案例2,代入规范中的公式,修正后地基承载力为:

$$f_a = f_{ak} + \eta_b \gamma (b-3) + \eta_d \gamma_m (d-0.5) \\ = 260 + 3.0 \times 16 \times (3-3) + 4.4 \times 16 \times (7-0.5) = 717.6 \text{ KPa} > 160 \text{ KN}/\text{m}^2, \text{ 不需要桩基。}$$

是否需要计算桩基造价,首先判断是否做桩基是一个必要过程。

5 造价流程

针对不同地区土质、桩型选择,我们可以参考同类桩基建筑面积造价指标或者荷载造价指标做桩基造价估算,流程见图4。

5.1 流程说明

对上图桩基估算造价流程说明如下:

- 1)判断是否需要做桩基/地基处理。
- 2)选择同地区、同处理形式,做类似造价指标参考。
- 3)同荷载标准(同类建筑、同结构形式、同

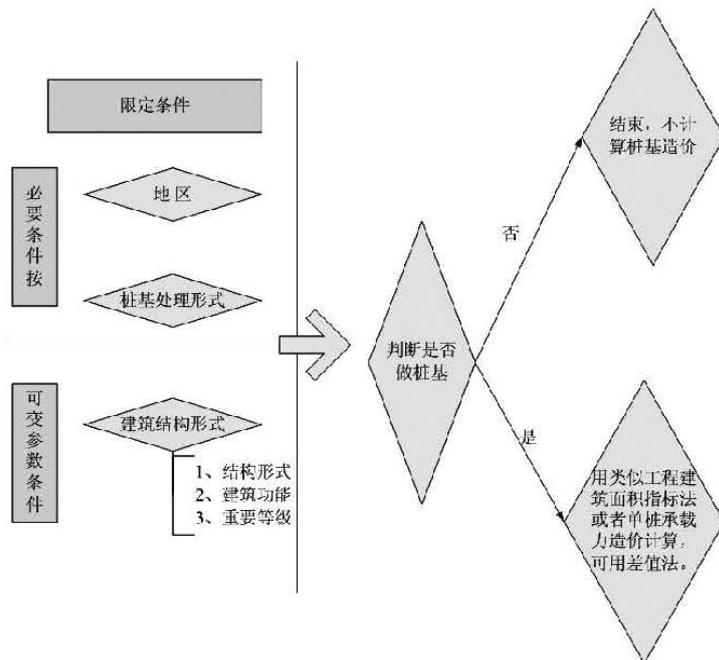


图4 桩基造价估算流程

建筑使用功能)进行类比。参照相近地勘的基础造价准确性高,采用单位面积造价指标法或单位承载力造价指标法进行计算,可以采用插值法计算造价指标。

5.2 案例

我们分别采用单位面积指标法和单位荷载造价指标法计算桩基造价。

案例1:上海某办公楼,建筑面积为10000m²,判断需要做桩基,采用管桩,参照已经建成临近建筑物,桩基造价指标为80元/m²,再乘以其建筑面积10000m²,即可得到桩基造价80万元。

案例2:上海某办公楼,建筑面积为10000m²,判断需要做桩基,采用管桩,参照已经建成临近建筑物,桩基单位荷载造价指标为5.2元/KN,乘以单位面积荷载(假如16KN/m²)。再乘以建筑面积10000m²,则可得到桩基造价83.2万元。

6 结论与建议

通过在一定范围及假定计算的基础上,我们可以得到以下管桩造价指标测算的一些结论,同时在现有情况下,针对造价指标的编制提出一些建议。

6.1 结论

1)根据相应的土质、上部建筑荷载判断是否做桩基。

2)选择类似桩基指标做参考时首先要固定定性变量:即同类地区土质及桩型。

3)用建筑面积桩基造价指标单位比基底面积造价指标单位更合理。

4)柱网、地震的反应影响造价不大。

5)基底面积、建筑高度在一定范围内对桩基造价影响不大。

6.2 建议与思考

国家有关部门可以通过组织收集施工结算资料,进行数据分析,得到造价指标数据,并应用计算机和网络技术实现数据共享。通过不断改进,建设工程造价指标对建设工程造价控制方面将会起到有效地、科学地、有指导作用。

参考文献

- [1] 段德意.浅谈工程造价指标的编制.[J]. 科技传播.2011.3 (上) P28.
- [2] 张红俊,孟盟.工程造价指标应用分析.[J].

科技向导.2011年第23期 p186.

[3] 康章.单位工程造价指标编制方法的探讨.第三届海峡两岸土木建筑学术研讨会.2007.

[4] JGJ 94-2008《建筑桩基技术规范》[S].

[5] JGJ 106-2003《建筑桩基检测技术规范》[S].

[6] GB 50500-2008《建设工程工程量清单计价规范》[S].

[7] GB 50007-2011《地基设计规范》[S].

民航维修基地布局研究

■ 闫慧 吴祈宗 王仲奇 「工艺」

摘要: 本文提出了一种解决民航维修基地布局的多属性决策方法,首先给出了影响基地布局的6个属性,分别是维修量、机队规模、竞争力、机场容量、经济效益和城市化水平。针对属性值可能是实数、区间数或模糊语言表示的多元化属性决策问题,通过对实数和模糊语言的区间化,并结合可能度计算公式,提出了基于可能度的多元化属性决策方法。结合算例,验证了该算法的可行性和合理性。

关键词: 维修基地; 布局; 多元化属性决策

1 引言

我国航空业正处于快速发展时期,国内现有机场的扩容,各地新航空枢纽的建设和规划,为中国的航空业提供了极大的发展空间。随着航空公司的实力日益增强,在航空运输业务迅速发展的同时,为保证飞行安全和经济高效的运营,各航空公司都在加紧建设维修基地。民航维修基地围绕飞机的运营展开,包括机务维修、配餐、货运、运行控制指挥、综合办公、培训及后勤辅助设施等,它的核心业务是机务维修。就民航系统内部而言,合理的基地布局是保证航空运输持续快速、有序发展的需要,可以达到航空维修资源的优化配置和有效利用。

因此,维修基地的布局是航空公司管理者经常面对的现实决策问题。目前这方面的研究很少,大部分以定性判断为主,缺少科学系统的决策分析。维修基地布局其实是排序问题,问题转化为有限个方案的多目标决策即多属性决策。本文采用基于可能度的多属性决策方法解决维修基地的布局问题,并给出具体算例。

2 多元化属性决策方法

2.1 属性指标的设定

利用多属性决策方法进行维修基地布局时关键是属性指标的合理构建和确定合理的属性权重。属性指标的建立应考虑到数据的系统性、准确性、可比性和易获得性等。为了选出符合实际的维修基地,本文根据国航、东航、南航等航空公司和首都机场、上海浦东机场及广州白云机场等机场相关调研,参照国内外研究现状,结合我国实际情况,设计了6个属性指标,权重的确定结合调研信息获得,具体的属性指标和相应权重见表1。

表1 维修基地属性指标及权重

属性指标	权重
维修量	0.25
机队规模	0.18
竞争力	0.12
机场容量	0.16
经济效益	0.2
城市化水平	0.09

作者简介: 闫慧,女,高级工程师,2008年毕业于西北工业大学航空宇航制造工程专业,现就职于中航规划民航工程设计研究院。

其中维修量指航空公司在此基地的年维修总工时,按照A、B、C、D检分别计算再累加后得到,采用时间序列分析预测得到维修量的一个区间数。机队规模指航空公司在此基地投放运营的飞机总数,此属性值可用具体数值表示。竞争力,比较本公司与其他公司在此基地的竞争力,包括市场占有率、安全记录、维修能力、维修质量、维修效率,经过专家评判得到,此属性值使用模糊语言表示。机场容量,指机场规模和使用情况、空域结构和导航设施、场址的物理和环境特性、周围土地的目前使用情况和规划、对周围环境的影响、机场系统规划,此属性值可使用模糊语言表示。经济效益,航空公司能否盈利是关系基地布局的重要因素,如果不能达到保本的最低要求,没有航空公司愿意进行基地建设,这就证明基地布局不合理,此属性值可通过预测得到一个区间数。城市化水平,指维修基地所在城市的政治、经济、贸易、旅游、文化功能。城市规模的大小直接决定了航空资源的大小,此属性值可使用模糊语言表示。

2.2 算法原理及步骤

1) 算法原理

在上述的多属性决策问题中,有些决策属性值为实数,有些为区间数,而另外的用模糊语言描述,本文将此类问题称为多元化属性决策。目前,关于属性值为实数的多属性决策的理论与方法较为完善^[1-2];对属性值为区间数的多属性决策已引起人们的重视并得到了深入研究^[3-5];对属性值为模糊语言的多属性决策问题,也做了探讨^[5]。

对于属性值为混合型的多元化属性决策问题,可设 $X = \{x_1, x_2 \dots x_m\}$ 为方案集, $U = \{u_1, u_2 \dots u_n\}$ 为属性集, $W = \{w_1, w_2 \dots w_n\}$ 为权重向量的集合,并且 $\sum_{j=1}^n w_j = 1, w_j \geq 0$ 。方案 $x_i \in X$, 按第 j 个属性 u_j 进行测度,得到 x_i 关于 u_j 的属性值 a_{ij} , 由 $a_{ij} (i \in M, j \in N)$ 构成初始决策矩阵 $A = (a_{ij})_{m \times n}$ 。 a_{ij} 可能为实数,也可能为区间数,或用模糊语言表述,对于模糊语言的表述可以用实数或区间数进行标度,把实数可当作特殊区间处理,对于实数 a , 可用 $(a - \varepsilon, a + \varepsilon)$ 表示。因此对于多元化属性的决策问题便转化为属性值为区间数的多属性决策问题,属性值 $a_{ij} = [a_{ij}^L, a_{ij}^U]$ 。在属性值为区间数的多属性决策问题中,最常见的属性类型为效益型和成本型,在将决策矩阵 A 转化为规范化决策矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$ 时, $r_{ij} = [r_{ij}^L, r_{ij}^U]$, 采用的规范化公式为^[5]:

对效益型属性可采用如下公式:

$$r_{ij}^L = \frac{a_{ij}^L}{\sum_{i=1}^m a_{ij}^U}, \quad r_{ij}^U = \frac{a_{ij}^U}{\sum_{i=1}^m a_{ij}^L} \quad (\text{公式2.1})$$

对成本型属性可采用如下公式:

$$r_{ij}^L = \frac{1/a_{ij}^U}{\sum_{i=1}^m (1/a_{ij}^L)}, \quad r_{ij}^U = \frac{1/a_{ij}^L}{\sum_{i=1}^m (1/a_{ij}^U)} \quad (\text{公式2.2})$$

由属性的权重与规范化决策矩阵 R , 构造加权规范化决策矩阵 $Z = (z_{ij})_{m \times n}$, 其中 $z_{ij} = w_j r_{ij}$, 则方案 x_i 的综合属性值与属性权重的关系为

$$z_i = \sum_{j=1}^n w_j r_{ij} \quad (\text{公式2.3})$$

当属性值和属性权重均为确定的值时,由方案综合属性值的大小可以确定方案的优劣。否则不能直接由公式2.3确定综合属性值。为解决上述问题,结合文献^[6],给出了一种基于可能度的多元化属性决策的新方法。下面给出可能度的定义:

定义2.1: 设区间数 $a = [a^L, a^U]$, $b = [b^L, b^U]$, 记 $l_a = a^U - a^L$, $l_b = b^U - b^L$, 则称

$$P(a \geq b) = \max \left\{ \min \left\{ \frac{a^U - a^L}{l_a + l_b}, 1 \right\}, 0 \right\} \quad (\text{公式2.4})$$

为 $(a \geq b)$ 的可能度。其中 a, b 可以是实数,当为实数时,可以作为很小的区间来处理。

根据已知的权重向量 w , 由公式2.3求出方案的综合属性值 $z_i (i \in M)$, 再利用区间数比较的可能度公式(公式2.4), 算出区间数 z_i 之间的可能度, 建立可能度矩阵 $P = (p_{ij})_{m \times m}$, $p_{ij} = P(z_i \geq z_j)$ 。该矩阵包含了所有方案相互比较的全部可能度信息,对区间数进行排序,就转化为求解可能度矩阵的排序向量。可能度矩阵 P 是一个模糊互补判断矩阵,文献^[7]提出求模糊互补判断矩阵排序向量的计算公式

$$\eta_i = \sum_{j=1}^m p_{ij}, i \in M \quad (\text{公式2.5})$$

利用公式2.5可以得到可能度矩阵 P 的排序向量,并按其分量大小即得各方案排序。

2) 计算步骤

(1) 设 $X = \{x_1, x_2 \dots x_m\}$ 为方案集, $U = \{u_1, u_2 \dots u_n\}$ 为属性集, $W = \{w_1, w_2 \dots w_n\}$ 为权重值的集合。

(2) 得出初始决策矩阵 $A = (a_{ij})_{m \times n}$, 将模糊语言表述的属性用实数或区间数进行标度,可采用5个等级赋值给出评定值^[8], 具体参考表2。

(3) 利用公式2.1和2.2由初始决策矩阵得到规范化决策矩阵 R 。

表2 模糊语言的评定值

模糊语言	实数评定值	区间数评定值
优	0.9	[0.8,1.0]
良	0.7	[0.6,0.8]
中	0.5	[0.4,0.6]
差	0.3	[0.2,0.4]
很差	0.1	[0.0,0.2]

(4)由公式2.3得到各方案综合属性值 $z_i(i \in M)$ 。

(5)由公式2.4求出 $p_{ij}=p(z_i \geq z_j)$ ，得出可能度矩阵 $P=(p_{ij})_{m \times m}$ 。

(6)由公式2.5求出可能度矩阵 P 的排序向量，从而得到各方案的排序。

3 算例分析

某航空公司设想在3个城市(x_1, x_2, x_3)建设民航维修基地，计算在这3个城市建设基地是否合理，并给出建设的先后顺序。选取的属性指标为维修量 u_1 ，机队规模 u_2 ，竞争力 u_3 ，机场容量 u_4 ，经济效益 u_5 ，城市化水平 u_6 共6个属性。给定属性的权重向量 $\omega=[0.25, 0.18, 0.12, 0.16, 0.2, 0.09]^T$ 。决策者对3个城市的基地位置进行评估得到的初始决策矩阵如表3所示。其中 u_1 的单位是万工时/年， u_2 的单位是架， u_3 的单位是万元/年， u_3 、 u_4 和 u_6 无量纲。

问题为多元化属性决策问题，计算步骤如下：

(1)采用实数化评定方法，给出属性 u_3, u_4 和 u_6 的评定值，得到决策矩阵 A ，见表4。

(2) u_1, u_2, u_3, u_4, u_6 为效益型属性， u_5 为成本型属性。由公式2.1和公式2.2得到 A 的规范化决策矩阵 R ，见表5。

表3 初始决策矩阵

	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6
x_1	[10,15]	60	良	优	[2400,2800]	良
x_2	[8,12]	40	优	良	[2500,2700]	优
x_3	[15,18]	50	中	良	[2300,2600]	中

表4 决策矩阵A

	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6
x_1	[10,15]	60	0.7	0.9	[2400,2800]	0.7
x_2	[8,12]	40	0.9	0.7	[2500,2700]	0.9
x_3	[15,18]	50	0.5	0.7	[2300,2600]	0.5

表5 规范化决策矩阵R

	u_1	u_2	u_3	u_4	u_5	u_6
x_1	[0.22,0.45]	0.4	0.33	0.39	[0.30,0.38]	0.33
x_2	[0.18,0.36]	0.27	0.43	0.30	[0.31,0.36]	0.43
x_3	[0.33,0.55]	0.33	0.24	0.30	[0.32,0.40]	0.24

(3)利用公式2.3得到各个方案的综合属性值。

$$z_1=[0.32, 0.39], z_2=[0.29, 0.35], z_3=[0.30, 0.38]$$

(4)利用公式2.4得到可能度矩阵P:

$$P=(p_{ij})_{3 \times 3} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.77 & 0.6 \\ 0.23 & 0.5 & 0.36 \\ 0.4 & 0.64 & 0.5 \end{bmatrix}$$

(5)由公式2.5求出可能度矩阵P的排序向量: $\eta=(\eta_1, \eta_2, \eta_3)=(1.87, 1.09, 1.54)$

由排序向量 η 各分量的取值得到3个城市的排序是: $x_1 > x_3 > x_2$ 。

计算结果表明,城市1最适合该航空公司建设基地,其次是城市3,最后是城市2。而在实际中,该航空公司也已在城市1建设维修基地,收益显著。

4 结论

本文拓展了多属性决策方法,针对属性值可能是实数、区间数或模糊语言表述的多属性决策问题,提出了基于可能度的多元化属性决策方法。结合民航实际,对多元化属性决策方法在维修基地布局中的应用进行了深入探讨。实例表明,该方法对航空公司进行基地布局具有一定的指导意义。

参考文献

- [1] 徐南荣,仲伟俊. 科学决策理论与方法[M]. 南京:东南大学出版社,1996.
- [2] Bryson N, Mobolurin A. An action learning evaluation procedure for multiple criteria decision making problems [J]. European Journal of Operational Research, 1996, 96: 379-386.
- [3] Kyung S L, Kyung S P, Yun S E et al.. Extended methods for identifying dominance and potential optimality in multi-criteria analysis with imprecise information [J]. European Journal of Operational Research, 2001, 134: 369-396.
- [4] 徐泽水,达庆利. 基于相离度和可能度的偏差最大化多属性决策方法[J]. 控制与决策, 2001, 16(S): 818-821.
- [5] 徐泽水. 不确定多属性决策方法及应用[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [6] 徐泽水,达庆利. 区间数排序的可能度法及

应用[J]. 系统工程学报,2003,18(1):67-70.

[7] 徐泽水. 模糊互补判断矩阵排序的一种算法[J]. 系统工程学报,2001,16(4):311-314.

[8] 张跃,邹寿平,宿芬. 模糊数学方法及其应用[M]. 北京:煤炭工业出版社,1992,213-218.

中国航空规划设计研究总院有限公司动力工程院

动力工程院（三院），始建于1951年，前身为航空动力工程设计研究所，经过60多年的发展，在航空、航天、发动机维修、民用建筑规划、咨询、工程设计和工程总承包方面展现出强大的实力，并得到业界的广泛认可。目前，动力工程院在航空发动机修理行业处于国内垄断地位，并获得过国家优秀工程设计奖、部级优秀工程设计奖、科学进步奖等诸多奖项，实施的工程项目遍布全国各地。

动力工程院秉承“航空报国、强军富民”的宗旨，始终致力于为社会提供高端咨询服务，打造了发动机维修、航天、新材料、计量、民用建筑和EPC管理六大精英团队，汇集了数百名工程设计人才，拥有一级注册建筑师10名，一级注册结构工程师17名，一级注册建造师3名，注册设备工程师10名，注册规划师1名，注册造价师2名，电气工程师3名，咨询工程师3名，监理工程师5名。

动力工程院努力践行“规划梦想，建设辉煌”的公司使命，提供咨询、设计、造价、建设等全过程的贴心服务，不断扩大高端领域规划咨询业务的范围与规模，致力于成为以设计为龙头、以专业化为支撑、以市场化为导向的国际一流工程建设领域全价值链服务提供商。



2015年第5期（总第121期）
2015年10月出版



顺义发动机总部科研楼