

航空工程建设

AERO-INDUSTRY ENGINEERING CONSTRUCTION

2019年第2期 总第142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

贵安新区高温合金涡轮叶片生产基地建设项目

项目名称：贵安新区高温合金涡轮叶片生产基地建设项目

建设单位：贵州优材新艺涡轮叶片制造有限公司

设计单位：航空工业规划动力工程设计研究院

项目简介：

项目建设用地位于贵安新区高端制造产业园区北区。贵安新区位于贵阳市和安顺市之间，距离国际机场龙洞堡机场30km，距离高速公路贵阳南环高速3km，交通便利。

《周礼·考工记》说：“匠人营国，方九里，旁三门；国中九经九纬，经涂九轨；左祖右社，面朝后市，市朝一夫。”唐朝长安就是按《考工记》建设都城，里坊制度，都城呈网格状、元大都和明清北京道路也是依照《考工记》规划整齐、经纬分明。由于城市轮廓方整，街道砥直规则，使城市格局显得格外壮观。

本园区规划来源于古代都城的理念，整齐方正，体现了工业园区高效集约大气的布局特点。设计强调以人为本的思想，处理好人与建筑、人与环境、人与交通以及人与空间之间的关系，从整体上统筹考虑建筑、道路、绿化空间之间的和谐，创造一个现代化的工厂环境空间。

设计满足《贵州省城镇体系规划》和《贵安新区总体规划（2013-2030）》的要求，以现状条件为基本依据，发掘园区优势，协调周边关系。

设计综合各厂房的具体生产需求，合理确定园区功能分区及总平面布局，充分利用土地资源及市政公用设施条件，为各厂房协调、便捷运行创造基础条件。规划设计立足当前，统筹发展，总平面布局考虑满足“一次规划，分步实施”的要求。厂区建筑风格一致，简洁现代，体现现代化产业园区的风范。道路规划清晰，结构合理，做到人车分流，同时考虑道路系统和景观完美的结合。设计从城市环境和特性出发，合理组织城市空间，将园区景观与城市景观融为一体。



央企公司制改革全面完成

我国中央企业的公司制改革已全面完成，已有83家央企建立了规范的董事会，有46家央企对3300多名经理实现了契约化管理，在控股的81家上市公司实行了股权激励。在日前召开的博鳌亚洲论坛2019年年会上，国务院国有资产监督管理委员会主任肖亚庆如是表示。

肖亚庆说，党的十八大以来，国企改革坚持问题导向和目标导向，不断推动国有企业改革朝着市场化方向迈进。比如针对企业市场主体地位尚未确立等问题，国资委从最基础的公司制改革抓起，着力破解长期以来存在的障碍，目前央企的公司制改革已全面完成。

针对现代企业制度不健全，国资委大力推进外部董事占多数的董事会建设，有83家中央企业已经建立了规范的董事会；针对市场化经营机制不完善，着力在市场化选人用人、强化中长期激励上下功夫，有46家中央企业对3300多名经理人实现了契约化管理，在控股的81家上市公司实行了股权激励；针对国资监管存在的问题，一方面取消、下放、授权了一批监管权力，另一方面，不断强化重点领域的监督，加大违规责任追究力度，不断提高监管的效率和质量。

（来源：《中国航空报》）

国资委严控央企非主业投资

近日，国资委将加大中央企业战略规划管理力度，严控非主业投资比例，严控金融业务投资，推动企业进一步做强做优做精实业主业。此外，河北、江苏、浙江、湖南、广西、海南等地都在严控国企非主业投资，引导企业更加专注实业发展，集中精力做好主业。

随着国企改革不断深入，做精主业，防止脱实入虚也成为央企工作重点之一。一组数据可以看出央企“回归主业”的决心：2018年中央企业通过产权市场盘活存量资产1011亿元，其中71家企业退出非主业投资项目308项，回笼资金382亿元。

国资委主任肖亚庆在日前召开的记者会上表示，要做强做精主业和实业。中央企业一定要突出主业、突出实业，要进一步明确企业的发展目标和战略定位，严控非主业投资，推动各类要素向实业集中、向主业集中，

不断提升核心竞争力和盈利能力。

记者获悉，2019年国资委将继续严控央企非主业投资，同时包括强化投资管控，严禁超越财务承受能力的投资行为，也不得实施高负债率的项目。与此同时，将严控金融业务新增投资，对主业经营效益不佳、产融结合效果不明显、风险隐患较大的存量业务进行清理整顿。

国资委相关人士表示，近几年，国资委对央企“突出主业”的要求一直都非常严苛，通过重新核定中央企业主业，梳理并调整企业主业，进一步改善央企内部大而全、小而散、重复建设等问题；同时要求央企严格按照主业控制投资方向，加大内部资源整合力度，推动资金、技术、人才等各类资源向主业集中。

坚持聚焦实业主业，央企核心业务盈利能力得到进一步增强。2018年中央工业企业完成固定资产投资1.9万亿元，同比增长6.2%，增幅高于中央企业平均水平，实现净利润6212.2亿元，同比增长21.3%，高于中央企业平均增幅5.6个百分点，增利额占中央企业净利润增量的67.4%。

国务院国资委近日修订印发的《中央企业负责人经营业绩考核办法》中，突出了四个方面的考核，分别是效率效益、创新驱动、实业主业和服务保障。其中特别提出，“一企一策”确定企业负债率的考核，引导企业严控非主业投资和经营业务，聚焦实业，做强主业。

中国企业研究院首席研究员李锦表示，前些年，在经营压力和盲目做大的双重作用下，很多央企都开启大踏步“多元化”步伐，随之而来也出现了很多问题。例如，由于对新行业了解不深，央企容易犯急功近利的毛病，大手笔投资，盲目扩张，不仅导致自身的困境恶化，最严重的是加剧了行业经济环境的恶化。

一位业内专家表示，这些年实体领域的央企在脱实入虚方面的问题并不少见。但是作为国民经济的支柱，民族产业的脊梁，实体央企应当在回归主业、做强实业方面勇于担当，做好表率，切实承担起推动我国实体产业蓬勃发展的重任。实体央企可以在坚守主业的基础上，根据主业发展和企业整体战略需要，合理涉足金融领域，或是走产融结合、以融促产的发展道路，但绝不应完全脱离主业，单纯追求做大金融板块。事实上，这也是今年国务院国资委防风险攻坚战的重要工作内容。

（来源：《中国航空报》）

清溪小学及幼儿园建设项目

建设地点：四川省乐山市

设计单位：航空工业规划动力工程设计研究院

建设情况：初步设计完成

设计亮点

项目所在区县地处我国四川省乐山市，位于川西平原西南边缘，重庆以西、成都以南，乐（山）宜（宾）凉（山）自（贡）四市州交汇处，用地面积约73亩，建筑面积5.6万m²。小学容纳学生4000人，办学规模90个班，教职工200余人。

规划借鉴古镇的建筑布局特点，采用传统合院式的功能布局，将整个校园分隔为不同的功能区域，通过对传统形式的重构和植入来反映校园文化。

建筑序列层次分明，沿中轴布局，既统一又富有变化。不同功能的建筑层层排列，富有韵律感，与中国古代

城市布局中层次分明的布局方式相呼应，是中国传统建筑文化的传承。

规划中除了必要的礼仪空间，如入口空间、活动操场、集散广场等保持在宏观尺度外，其他校园空间均保持在近人的亲切尺度。这些人性尺度的空间与系统景观紧密结合，容纳了最大密度的校园活动，是真正意义的校园公共空间。

建筑形象强调“素”、“雅”，低调内敛的传统建筑风格，追求富有古典韵律的意境空间。项目选材用色均遵循此原则，以青砖的灰色为基调，搭配白色及木色，表现出文化建筑的内敛以及对当地建筑风格的尊重。

建筑造型吸取古镇坡屋顶及内部围合庭院造型，富有浓郁的当地文化元素，给人一种古典大气的直观感受，使整个校园富有学术气息。各建筑形体灵活多变，新颖别致，符合小学生的心理特点，形成了高低起伏，变化多样的传统建筑群的屋面形象。考虑当地湿热气候，设计在建筑屋顶采用通风夹层，屋脊走向与地区主导风向一致，形成通风屋顶，这种做法在传统民居中普遍采用。





中国航空发动机研究院项目

建设地点：北京市

设计单位：航空工业规划动力工程设计研究院

建设情况：一期施工图完成

设计亮点

中国航空发动机研究院项目是建设以基础研究、应用研究及成果转移应用为核心的实验设备及仿真计算平台实验园区。园区位于北京市顺义区首都国际机场东侧，建设用地平坦，交通便捷，用地面积14ha，总建筑面积5.9万²，主要建筑形式为实验厂房，容积率0.84。

园区规划结合顺义航空产业园区的整体规划和地块与周围市政道路的关系，通过生态绿廊对整体空间进行组

团式划分，形成功能相近的组团片区，4个“L”形建筑组团按环绕式矩阵依次排列，形成以中央实验区为核心，以绿色廊道为骨架，4个实验组团围合环绕的整体回字型布局模式，有利于用地的集约并减少交通出行频率，使生产更加高效。

建筑整体呈方形，寓意国之重器——中国玉玺，同时也暗含了航空文化中发动机是“国之重器”之意，体现了行业特色。

中央实验区设计以空气涡旋上升的形态为意向，结合发动机研究院试验区功能，形象地展现了其行业特征——对瀚蓝天空的探索；同时设计以集团公司Logo景观为中心，秉承中国航发“动力强军、科技报国”的集团公司使命，努力为国家打造强劲的“中国心”，景观、建筑汇聚交融，体现一种向心凝聚的企业精神——不忘初心、砥砺前行。

2号实验厂房项目

建设地点：北京市

设计单位：航空工业规划动力工程设计研究院

建设情况：建成

设计亮点

2号实验厂房位于北京市顺义航空产业园内。建筑面积3.3万 m^2 （局部地下1层，地上3层），其中地下部分建筑面积为1254 m^2 ，地上部分建筑面积为3.2万 m^2 。结构形式为钢框架叠合柱结构形式。

厂房内空间复杂，融合了工程化厂房、实验厂房、实验室、技术交流区及公共共享空间等众多功能于一体。地下1层为设备用房。首层主要为工程化厂房及实验厂房，要求大跨度及高挑空，同时要冷、热区，洁净区与非洁净区的分区，甲类防爆房间与其他房间的分隔设计。2层主要包含各类合成实验室、检测实验室及公共技术交流等区。3层主要包含表征实验室、对外客座实验室、产品展示区及技术交流厅等。

体型设计中摒弃了大家对工业建筑方正、死板的形象

认知。建筑形体在长方形四周采取了抹圆角的处理，在满足建筑功能的前提下，提高了建筑的活泼性和新颖度。

建筑立面设计力求符合建筑的功能气质。2、3层的实验部分采用了层间的水平划分与落地长窗的竖向分隔，材料为凹槽的白色铝板。首层厂房部分采用深灰色石材。这两种变化既有颜色的区别，也有材质的对比。理性而优雅地将2号实验厂房从周边的建筑中呈现出来。首层采用横向线条形成了稳定的支撑。2、3层不同方向的隔片分隔出不同宽度的落地长窗，光影疏密，开合有度。

入口室外庭院，极大提升了建筑品质。半围合的入口共享室外庭院在有限的空间中做出公共性的积极回应，体现出空间的“社会性责任”。在连廊中间种植高大树木，把绿色引入到了建筑中间，同时起到了汇聚风水的作用。

室内休闲阳光中庭极大地提升了办公环境。在中庭中充分借用了光在空间中的作用，光线自顶部自由的采光天窗洒落，随时间的变化，光影更迭。中庭空间也是对“小桥、流水”形式的一种转化，光影之下，小桥连接了中庭两侧的实验空间，挑向中庭的平台及景窗则给使用者一种立于河边的感觉。通透性的钢结构木质楼梯，提升了建筑的工业性。





中航设备生产试验楼项目

建设地点：北京市

设计单位：航空工业规划动力工程设计研究院

建设情况：方案设计完成

设计亮点

中航设备生产试验楼项目位于中航工程集成设备有限公司院内，五环与六环路之间，八达岭高速东侧，北侧紧邻沙河水库，距离总院20km。

项目用地面积1.5万 m^2 ，方案计划拆除地块内现有的厂房、料棚及部分研发楼，在原址上新建生产试验楼并考虑与保留研发楼的连接。项目总建筑面积约3万 m^2 ，其中地上1.8万 m^2 ，地下1.1万 m^2 ，容积率1.2，建筑高度18m。

通过对场地现状的调研，基地仅有西侧临城市道路，在此设置地块主入口。考虑到保留研发楼的位置与体量，经过多方案比较，最终确立了一个舒展的4层“长

龙”形建筑，并与保留建筑形成围合，在北侧形成独立的外院。考虑到北方南入口的需要，设计在基地东南角退让出入口广场，结合景观共同打造建筑的主入口空间。南北两院通过新建建筑分隔，使景观绿化可以最大化的被利用，削弱周边现状对本地块的影响。

地下1~2层布置设备机房及车库，1层设置主入口空间、展厅、档案室、餐厅与实验厂房，每个功能空间都有单独的出入口，流线独立，互不干扰。2~4层为办公空间，每层设置3个独立办公单元，可分可合，方便日后的运营与管理。在3层设置与保留科研楼相连接的廊桥，建立新老建筑之间的联系。

立面设计是平面功能的延续，2~4层采用横向带形开窗，通过具有模数化的竖向线条的分割，强调办公建筑的功能性与整体性。1层根据不同使用需求，采用底层架空，虚实对比，体块穿插等手法，营造灵活可变的入口空间。外墙材质选用灰白色石材，既符合航空特色，也是对总院的一种呼应。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《电子工业厂房综合自动化工程技术标准》的公告

现批准《电子工业厂房综合自动化工程技术标准》为国家标准，编号为GB51321-2018，自2019年3月1日起实施。其中，第4.3.10、4.4.12、4.4.13、4.8.2、4.8.3、4.8.5、4.8.6条为强制性条文，必须严格执行。

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

住房和城乡建设部关于发布国家标准《工业安装工程施工质量验收统一标准》的公告

现批准《工业安装工程施工质量验收统一标准》为国家标准，编号为GB/T50252-2018，自2019年3月1日起实施。原国家标准《工业安装工程施工质量验收统一标准》（GB50252-2010）同时废止。

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

住房和城乡建设部关于发布国家标准《电动汽车分散充电设施工程技术标准》的公告

现批准《电动汽车分散充电设施工程技术标准》为国家标准，编号为GB/T51313-2018，自2019年3月1日起实施。

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

住房和城乡建设部关于发布国家标准《生产建设项目水土保持技术标准》的公告

现批准《生产建设项目水土保持技术标准》为国家标准，编号为GB50433-2018，自2019年4月1日起实施。其中，第3.2.3、3.2.5条为强制性条文，必须严格执行。原《开发建设项目水土保持技术规范》（GB50433-2008）同时废止。

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

住房和城乡建设部关于发布国家标准《通信管道工程施工及验收标准》的公告

现批准《通信管道工程施工及验收标准》为国家标准，编号为GB/T50374-2018，自2019年3月1日起实施。原《通信管道工程施工及验收规范》（GB50374-2006）同时废止。

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

住房和城乡建设部关于发布行业产品标准《建筑排水用高密度聚乙烯（HDPE）管材及管件》的公告

现批准《建筑排水用高密度聚乙烯（HDPE）管材及管件》为城镇建设行业产品标准，编号为CJ/T250-2018，自2019年4月1日起实施。原《建筑排水用高密度聚乙烯（HDPE）管材及管件》（CJ/T250-2007）同时废止。

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

住房和城乡建设部关于发布国家标准《历史文化名城保护规划标准》的公告

现批准《历史文化名城保护规划标准》为国家标准，编号为GB/T50357-2018，自2019年4月1日起实施。原国家标准《历史文化名城保护规划规范》（GB50357-2005）同时废止。

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

住房和城乡建设部关于发布国家标准《船厂工业地坪设计标准》的公告

现批准《船厂工业地坪设计标准》为国家标准，编号为GB51303-2018，自2019年4月1日起实施。其中，第1.0.4、3.1.6、3.2.5条为强制性条文，必须严格执行。

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

（来源“国家工程建设标准化信息网”）



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

顾问委员会

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

编辑委员会

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

总编 沈金龙
 主编 陈海风
 执行主编 王蕊
 责任编辑 范蕊
 出版 《航空工程建设》编辑部
 地址 北京德外大街12号
 邮编 100120
 E-mail hkgejs@avic-apc.com
 印刷单位 北京奇麒麟印刷有限责任公司分公司
 发送对象 公司内部及本系统内部
 印刷日期 2019年4月
 印数 1500册
 电话 (010)62038235
 传真 (010)62038297
 封面 贵安新区高温合金涡轮叶片生产基地建设项目

CONTENTS

目录 2019年第2期 总第142期

航空能力建设

- 02 航空航天装备领域增材制造技术 张凯
 08 激光超声检测在无损检测中的应用 郝悦 姜煜霞 李雪罡

研究与探讨

- 13 武汉国际航空工程中心结构设计
 杨会杰 张晓彤 张富华 赵伯友
 18 体外预应力技术在某挡土墙加固中的应用研究
 刘金鹏 高宗瑞 曹汉涛
 22 昆明市某超限钢结构抗震分析 韩川 周青 邢纪咏
 29 飞行区水泥混凝土道面基层研究 宁利鹏 殷小棠 张睿
 33 工业厂房低压无功补偿相关参数计算 史金春
 36 机场油库罐区储罐监控系统 赵鑫 张琪
 39 无人机配送站选址规划算法研究 吴潇钰 张姿
 45 收发组件厂房设计要点分析 孙星
 47 电气工程结算审核常见问题分析 王丹爽 宋素春
 51 常用地漏的功能特性及设置要点 陈达 李力军

工程设计

- 56 云南某超高层办公建筑空调系统设计 康亚盟 孟凡兵
 60 土壤源与水源多联机复合能源系统在某生态城市客厅中的工程应用
 刘鑫 孟凡兵

航空航天装备领域 增材制造技术

■ 张凯 [工艺]

摘要: 本文介绍了5种增材制造技术工艺原理及优势,并从6个方面归纳了增材制造技术在航空航天装备领域的具体运用,最后对增材制造技术的发展进行了展望。

关键词: 增材制造; 航空航天装备; 应用

1 引言

增材制造(Additive Manufacturing, AM)技术诞生于20世纪80年代末,被认为是制造技术的一次革命性突破。世界上主要发达国家均将增材制造、激光制造、智能制造等作为“再工业化”、“重新夺回制造业”、“重振经济”的国家战略。我国也将增材制造与激光制造列入《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020年)》和《中国制造2025》,并于2016年启动实施“增材制造与激光制造”重点专项。

由于可以在无需模具和锻造的情况下制造极其复杂的零件,一体成型大型承力结构件,减少零部件重量,缩短生产周期,节省成本,提高可靠性^[1]。因此,增材制造技术在航空航天领域得到了快速发展。

2 增材制造技术原理及优势

根据增材制造能量源、材料、材料输送方式

等的不同,航空航天装备领域涉及的增材制造技术主要包括以下5种:

(1) 选择性激光烧结成形技术(SLS)

SLS成形原理(图1):激光束按截面轮廓扫描压辊预先铺放的一层粉末,粉末温度升至熔化点,进行烧结,并与下面已成型的部分实现粘结,如此层层堆积,形成所需实体模型。

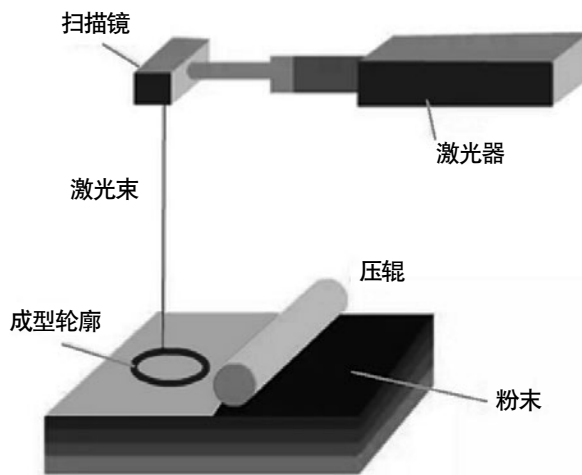
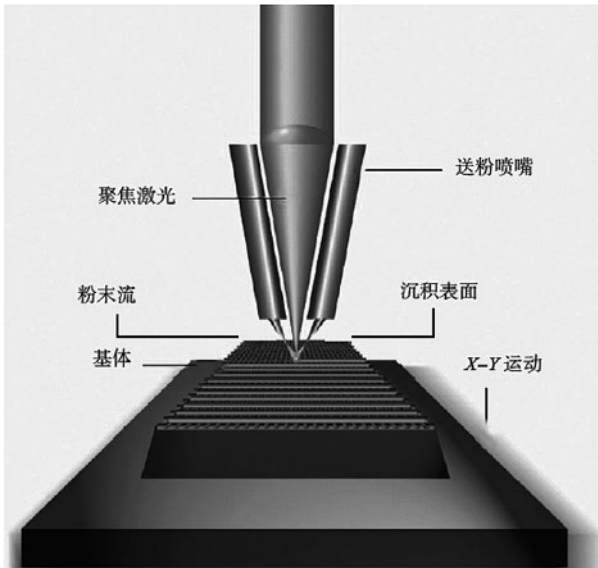
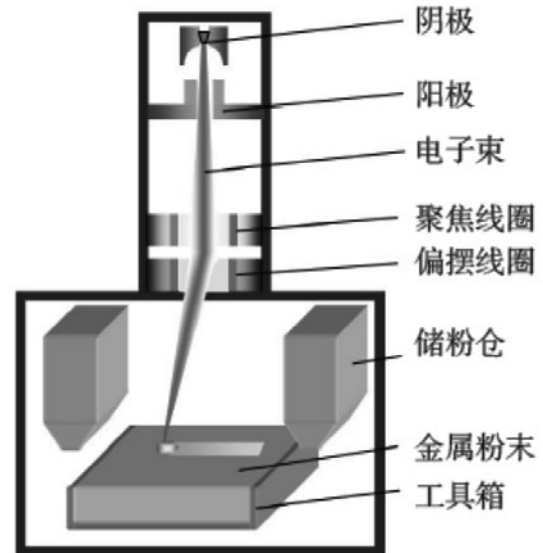
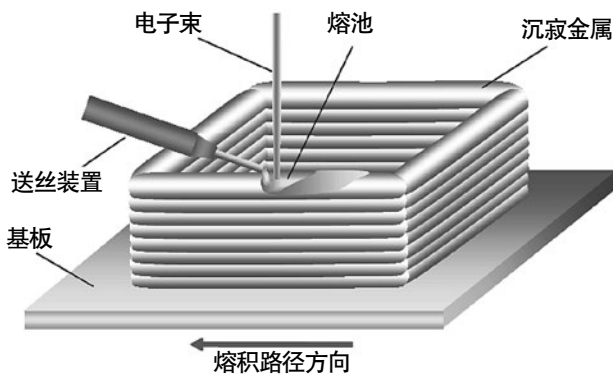
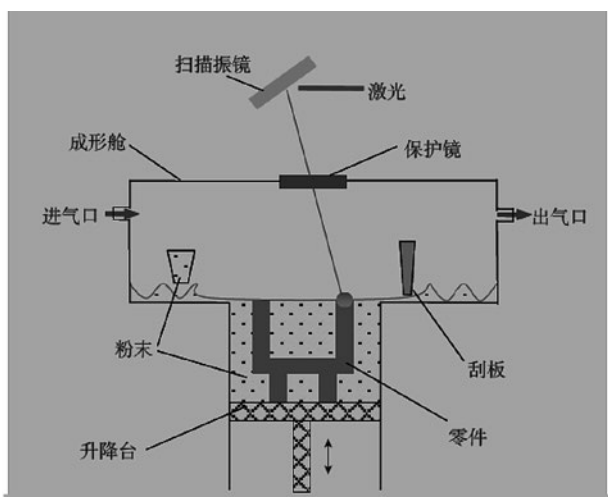


图1 SLS原理图

作者简介:张凯,男,工程师,2012年毕业于西北工业大学材料加工工程专业,现就职于航空工业规划动力工程设计研究院。

图2 LSF原理图^[2]图5 EBM原理图^[2]图3 EBF3原理图^[2]图4 SLM原理图^[2]

(2) 激光立体成形技术 (LSF)

LSF成形原理（图2）：以金属粉末为原料，在惰性气体保护环境，以高能量密度的激光作为热源，按照预定的加工路径，将同步送进的粉末逐层熔化堆积，从而实现金属零件的直接制造与修复。

(3) 电子束熔丝沉积技术 (EBF3)

EBF3成形原理（图3）：在真空环境下，高能量密度的电子束轰击金属表面形成熔池，金属丝材通过送丝装置送入熔池并熔化，同时熔池按照预先规划的路径运动，金属材料逐层凝固堆积，形成致密的冶金结合，直至制造出金属零件或毛坯。

(4) 激光选区熔化成形技术 (SLM)

SLM由SLS发展而来，其工作原理（图4）为在惰性气体舱室中，激光按特定路径扫描铺粉器预先铺放的一层金属粉末，金属熔化并与前一层形成冶金结合，如此层层堆积，形成所需实体。

(5) 电子束选区熔化成形技术 (EBM)

EBM原理（图5）与SLM类似，它是在真空环境中，电子束按特定路径扫描熔化预先铺放的一层金属粉末，层层堆积，形成所需实体。

表1对上述5种增材制造工艺成形特点进行了总结分析。

表1 增材制造工艺的比较分析

工艺	能量源	材料	材料输送方式	加工零件	优势	劣势
SLS	激光	蜡、树脂砂、潮模砂等	先铺粉，后选择性烧结	蜡模、砂模	(1) 制造工艺简单，可加工多种材料；(2) 精度高，粉末粒径 $\leq 0.1\text{mm}$ 时，精度可达 $\pm 1\%$ ；(3) 可实现快速铸造、快速模具制造。	不适合金属材料成形
LSF	激光	金属粉	同步送粉	大型复杂结构件	(1) 适用于难加工金属材料制备；(2) 可实现复杂零件近净成形；(3) 内部组织均匀，力学性能优异；(4) 可实现材料混合制造、梯度材料的制备；(5) 可实现损伤零件的快速修复；(6) 加工柔性高。	效率低于EBF3
EBF3	电子束	金属丝材	同步送丝		(1) 输出功率大、沉积速度可达 $2000\sim 3000\text{cm}^3/\text{h}$ ，约 $15\text{kg}/\text{h}$ ，成形速度优势明显。(2) 真空环境有效避免杂质污染金属零件，适用于大中型钛合金等高活性金属零件的成形制造；(3) 内部冶金质量好、缺陷少。	精度较差
SLM	激光	金属粉	先铺粉，后选择性熔化	中小尺寸复杂精密结构件	精度高，尺寸精度($\pm 0.05\text{mm}$)和表面质量(粗糙度 $Ra \leq 10$)，可实现无余量加工；适合加工传统方法难以加工的任意形状的复杂结构。	成形尺寸小、效率低、成本高
EBM	电子束	金属粉			(1) 真空环境成形，避免杂质污染；(2) 精度可达 $\pm 0.1\text{mm}$ ，表面粗糙度 $Ra = 15\sim 50$ ；(3) 电子束能量大可达 3000W ，是激光发生器的10多倍，成形速度快，可达 $60\text{cm}^3/\text{h}$ ，是SLM的4~5倍，可达 $80\text{cm}^3/\text{h}$ ；(4) 控温性能好，适合加工TiAl等金属间化合物。	成形尺寸小、精度低于SLM，成本高；难以加工形状高度复杂结构



(a) 塑料模型

(b) 蜡模

(c) 树脂砂型

图6 SLS快速制造铸造模型实例

3 增材制造在航空航天装备领域的具体应用

(1) 快速制造铸造模型

快速制造铸模是增材制造对原始铸造工艺最好也是应用最广的技术支撑。与模具制造相比，

SLS缩短了铸造熔模准备时间，速度快、成本低，特别适用于需进行反复铸造工艺试验的航空航天器复杂铸件研制阶段。图6为SLS快速制造铸造模型实例。

(2) 大型整体结构件、承力件的制造
为提高结构效率、减轻结构重量、国内外飞

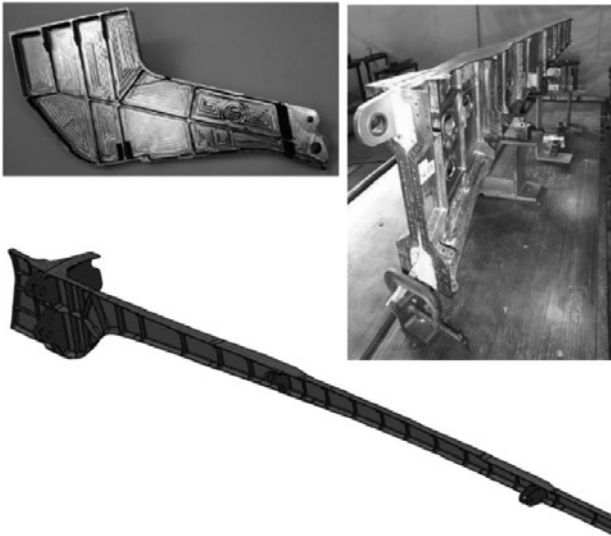


图7 F-35飞机襟副翼梁

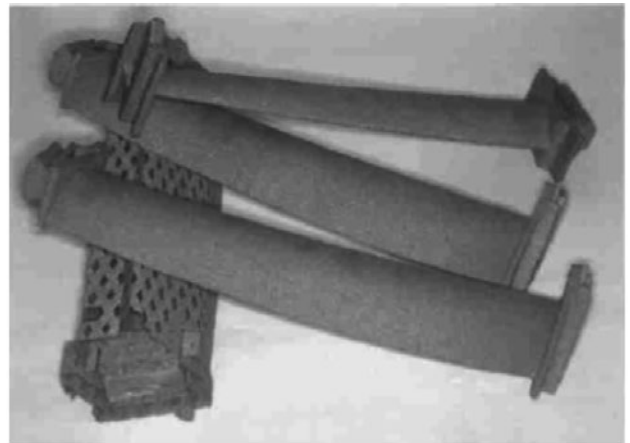


图8 激光增材制造的飞机大型钛合金加强框

图9 LEAP 发动机燃油喷嘴^[6]

飞行器结构越来越多地采用大型整体钛合金结构，但这种结构设计给传统制造带来极大的困难。

2002年AeroMet公司率先实现激光直接沉积

图10 电子束选区熔化技术制造的TiAl低压涡轮叶片^[4]

Ti-6Al-4V 钛合金次承力构件在F/A-18等飞机上的装机应用^[5]。洛克希德·马丁公司采用电子束熔丝沉积成形代替锻造生产的F-35飞机的襟副翼梁（见图7），成本降低30%~60%。

图8为北京航空航天大学激光增材制造的“眼镜式”飞机大型钛合金加强框。与锻造工艺相比，材料利用率提高了5倍，制造周期缩短了2/3，成本降低了一半以上。该零件通过了装机评审，使我国成为世界上首个掌握飞机钛合金大型主承力结构件激光快速成形技术并实现装机应用的国家。

(3) 中小型复杂精密结构件的制造（燃油喷嘴、叶片、机匣等）。

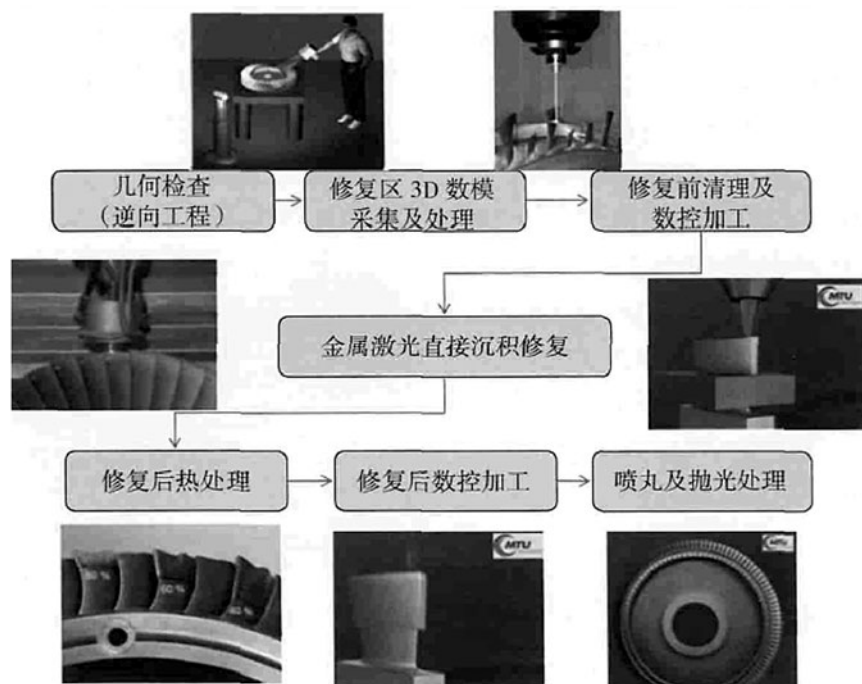
GE公司SLM成形的燃油喷嘴（图9）目前已应用于LAEP-X 发动机，进入批量生产阶段。与传统的燃油喷嘴相比，减少了大量的零件焊接组装工作，同时设计了更为复杂的内部结构，提高了零部件性能。该项技术被评为全球2013年十大技术突破之一，技术成熟度TRL>8，已经通过FAA适航认证。

意大利Avio公司采用EBM生产了Genx发动机的TiAl低压涡轮叶片（图10），解决了传统TiAl叶片铸造过程中出现粗大枝晶组织或成形率低等问题。

(4) 大型复杂构件的快速修复（整体叶盘）。

飞机、发动机的修理过程中需要经常更换零部件，并对部分受损零件进行修复。利用增材制造修复受损伤部位，不仅可以实现在线修复，而且修复后的零件性能仍能达到甚至超过锻件标准。

2009年3月，美国Optomec公司宣称其采用激

图11 MTU 公司整体叶盘修复过程流程图^[4]

光成形修复技术修复的T700整体叶盘通过了军方的振动疲劳验证试验。图11为MTU公司制定的整体叶盘修复过程流程图。图12为Fraunhofer研究所激光增材制造修复叶片过程。

北京航空制造工程研究所对某型号航空发动机钛合金斜流整体叶轮损伤部位进行了修复(图13),目前已顺利通过试车考核。

(5) 异种材料混合制造

现代航空的发展时常要求同一结构的不同部位在不同环境下服役,同时为实现减重增效,甚至要求同一零件的不同部位具有不同的强度,基于增材制造技术的异质材料梯度结构(图14)为实现上述性能提供了有效的解决途径。

西北工业大学采用LSF制备的航空发动机轴承后机匣(图15),下部为In961合金铸件,上部为GH4169合金,成功地解决了我国某型先进航空发动机研制中长期不能解决的技术难题,为异种材质增材制造的首个应用案例^[6]。

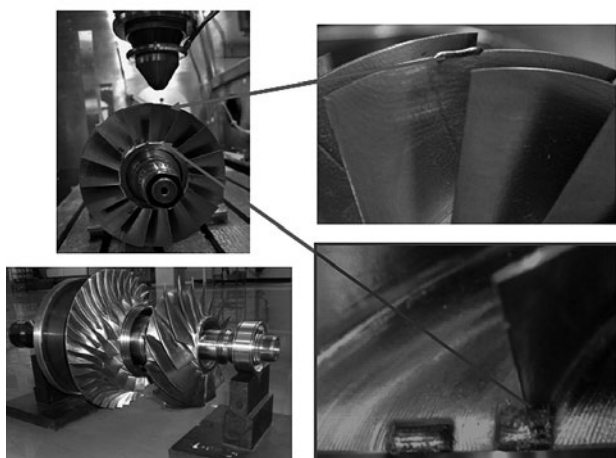
(6) 推动产品结构革命性创新设计

增材制造技术的出现,颠覆了传统制造技术的局限,解决了产品研发存在的“制造决定设计”问题。

图16是空客公司依托3D打印对A380和A320飞机舱门铰链进行创新设计的范例。传统设计零件局部最大应力已接近材料的极限强度,采用拓扑优化进行均匀应力设计之后,最大应力减小了一半,零件重量只有原来的40%。

4 结束语

由于在快速原型制造、大型整体结构承力件的制造、复杂精密结构件的制造、大型复杂构件修复、异种材料混合制造等方面得天独厚的优

图12 激光增材制造修复叶片^[1]图13 采用激光直接沉积技术修复的钛合金整体叶轮^[2]

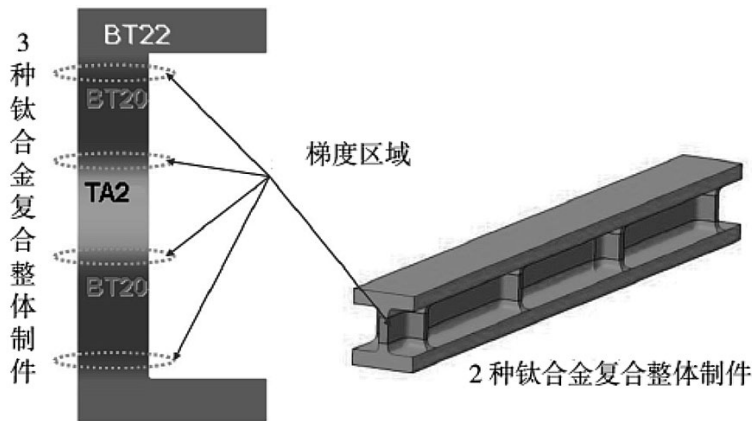


图14 异质材料梯度结构

势，增材制造在航空航天装备制造领域的研究和应用越来越广。先进增材制造技术发展的同时，也将推动新一代航空航天飞产品结构革命性创新，二者相互融合、相互促进，必将对航空航天装备领域产生深远的影响。

参考文献

[1] 田宗军, 顾冬冬, 沈理达, 谢德巧, 王东生. 激光增材制造技术在航空航天领域的应用与发

展[J]. 航空制造技术, 2015(11): 38-42.

[2] 巩水利, 锁红波, 李怀学. 金属增材制造技术在航空领域的发展与应用[J]. 航空制造技术, 2013(13): 66-71.

[3] Douglas C Hofmann, Scott Roberts, Richard Otis. Developing gradient metal alloys through radial deposition additive manufacturing [J]. Sci Rep, 2014, 4:1.

[4] 闫雪, 阮雪茜. 增材制造技术在航空发动机中的应用及发展[J]. 航空制造技术, 2016(21): 70-75.

[5] 王华明. 高性能大型金属构件激光增材制造: 若干材料基础问题[J]. 航空学报, 2014, 35(10): 2690-2698.

[6] 黄卫东. 材料3D 打印技术的研究进展[J]. 新型工业化, 2016, 6(3): 53-70.



图15 异种材料混合制造的航空发动机轴承后机匣

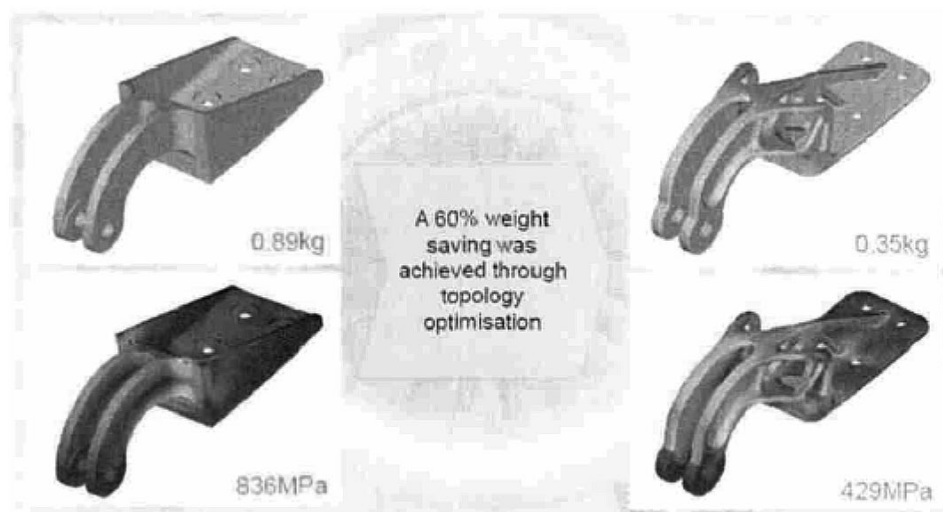


图16 A380和A320飞机舱门铰链
左: 传统设计 右: 新设计

激光超声检测 在无损检测中的应用

■ 郝悦 姜煜霞 李雪罡 [工艺]

摘要: 激光超声检测是一种极有应用前景的无损检测技术,是现代无损检测技术的一个新的研究方向。为提高超声检测的灵敏度及精度,对声场的研究极其重要。本文搭建激光超声实验平台对声场扩散情况进行研究,为无损检测的研究提供了一种新的实验技术手段,为激光超声检测技术的发展提供一种技术支持,有利于激光超声检测技术的发展。

关键词: 激光超声; 超声检测; 无损检测

1 引言

超声检测因其灵敏度高、穿透能力强、成本低、对操作人员及环境无害等优点,广泛的应用在无损检测中。传统的超声检测方法有很大的局限性,如在某种恶劣(如有毒、高温高压等)的检测环境中,探头的使用受到很大限制,给检测带来困难。因此需要探讨和研究一种新型无损检测方法来弥补传统超声检测的不足。

激光超声检测技术是一种涉及光学、热学、电学以及材料等多个学科交叉在一起的新兴超声无损检测技术激光超声检测不光具有传统超声检测的优点,还具有更大的优势,如具有非接触性、能远距离遥控、在线检测、波形丰富、时空分辨率高、应用范围广等优点,是目前国际上声学检测中的研究热点^{[1]-[4]}。

2 激光超声检测方法

激光激发的超声波信号需要用一定的方法进行接收,通常将超声波信号的接收方法分为电学检测法和光学检测法两类。其中电学检测法主要利用换能器接收超声波信号,常见的换能器有压电陶瓷换能器(PZT)、电磁换能器(EMAT)等^[5],但此方法必须与试样接触或者非常接近试样表面来实现检测^[6]。

光学检测方法是利用连续的检测激光照射在试样表面,接收表面的反射光,并从反射光的相位、振幅、频率等变化得到超声波信号的方法^[7],此方法可以远距离检测,实现了真正意义上的非接触检测,克服了传统超声检测需要耦合剂的缺点。光学检测方法可分为零差干涉、外差干涉等。

2.1 电学检测法

(1) 压电陶瓷换能器 (PTZ)

压电陶瓷换能器(PTZ)是常规超声无损检测方法中比较常用的一种超声换能器,其主要部分

作者简介:郝悦,女,助理工程师,2017年毕业于南昌航空大学仪器仪表工程专业,现就职于航空工业规划动力工程设计研究院。

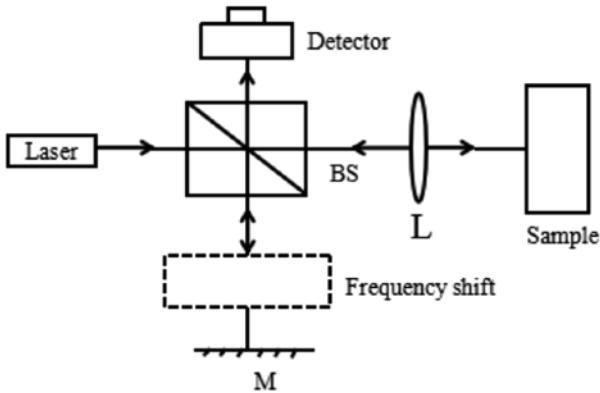


图1 零差干涉技术原理图



图2 激光接收仪器

就是压电晶片。压电晶片的作用是接收超声波。

(2) 电磁换能器 (EMAT)

电磁换能器 (EMAT) 是由高频线圈和磁铁两部分组成。

电磁换能器适用于表面粗糙的试样^{[8]-[9]}，主要适用于铁磁性材料，转换效率比压电换能器低。

2.2 光学检测方法

(1) 零差干涉技术

激光器发射的脉冲激光束经过分束镜 (BS)

被分为两路光束，一束是经过透镜 (L) 聚焦照射在试样表面，被表面反射后经过分束镜进入光电探测器 (Detector)；另一束是经过反射镜 (M) 反射后，进入光电探测器。这两路激光束进入光电探测器中发生干涉，通过对干涉光的相位解调，就可以检测出试样的振动位移。零差干涉技术的原理图如图1所示。

(2) 外差干涉技术

若在参考光束的光路中加入声光调制器

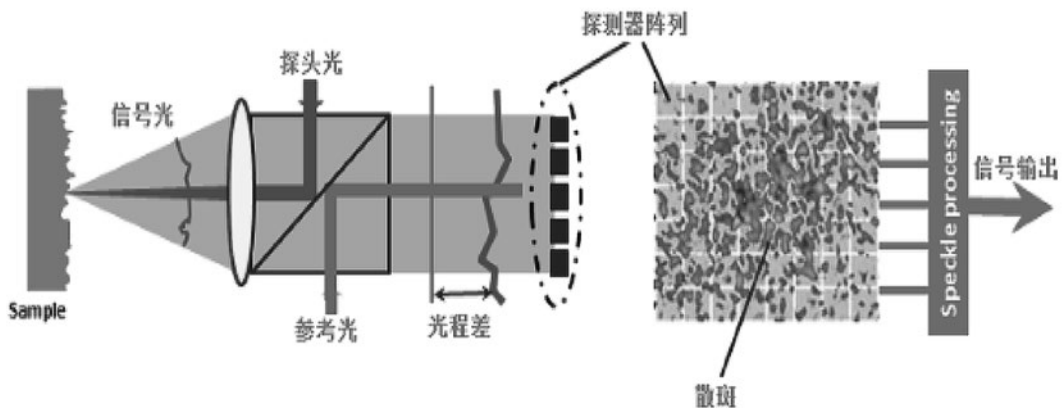


图3 激光超声接收原理

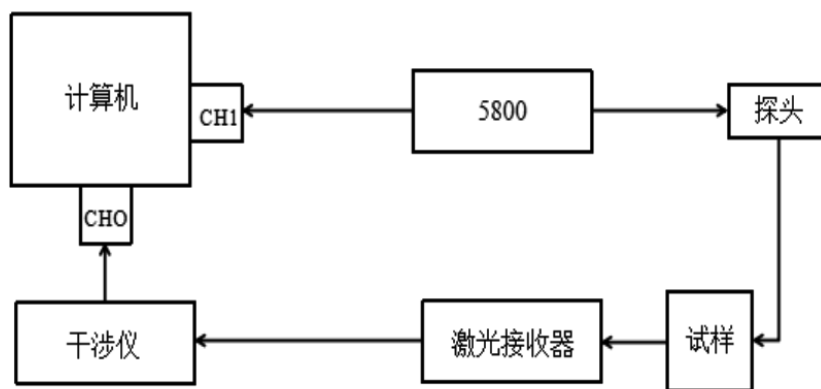


图4 声场可视化实验系统

(Bragg) 当作频移装置 (Frequency shift), 使其参考光束在射频范围内产生频移, 就可以构成光外差干涉技术了^[10]。

与零差干涉技术相比, 外差干涉技术具有较宽的频带, 适用于粗糙表面的检测, 对环境振动有较强的抗干扰能力以及信噪比较高等优点^[11]。但外差干涉技术灵敏度较低, 要和其他技术配合使用, 以弥补其不足^[12]。

3 激光超声检测实验装置

本实验采用的激光超声接收系统为 Bossa Nove 公司的 QUARTET-1000 Linear 型激光散斑干涉仪, 该激光接收器的探测激光波长 532nm, 离面位移检测灵敏度 $1 \times 10^{-5} \text{nm/Hz}^{1/2}$, 带宽为 100kHz~20MHz, 输出功率 1W。该探测器为连续激光接收器, 实验中使用点聚焦透镜焦距为 100mm。激光超声接收系统实物图如图 2 所示。

激光超声的接收部分采用“多通道随机积分检波技术”, 是一款多通道工业级激光超声检测仪, 使用两个 5×5 的阵列干涉仪接收反射激光, 利用零差干涉和多通道检测的方法, 实现粗糙表面微小离面位移的高灵敏检测。由于采用连续激光, 该激光器在静止或移动的试样上都具有很高



图5 探头实物图

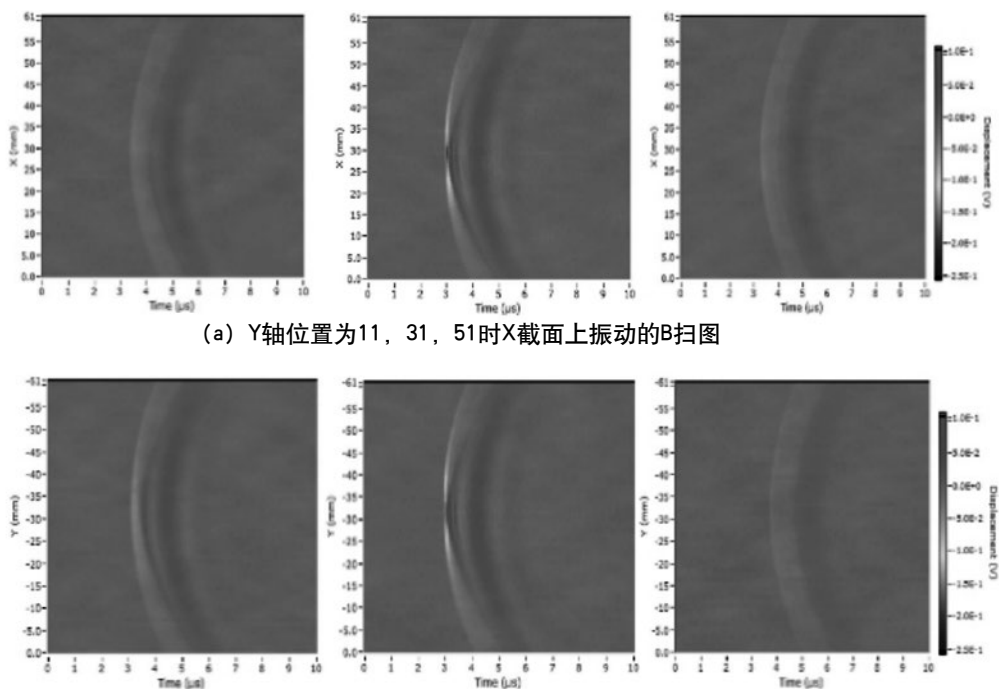
的灵敏度, 可与低能量激光配合使用, 其接收原理如图 3 所示。

4 应用实例

4.1 实验平台

本文利用超声换能器发射-激光接收超声波的方式进行探测, 即利用压电超声换能器产生超声波, 通过激光干涉方法接收检测信号。

搭建出一套超声波声场可视化实验系统。该



(a) Y轴位置为11, 31, 51时X截面上振动的B扫图

(b) X轴位置为9, 29, 49时Y截面上振动的B扫图

图6 不同截面上振动的B扫图

系统由激光超声干涉仪、激光接收器、信号发生器(5800)、计算机、机械扫描系统、试样和压电探头组成如图4所示。

(1) 激光超声干涉系统：它是由激光接收器和激光干涉仪组成，激光接收器置于光学平台上。通过接收试样表面散斑信号，将表面微小振动转化为电信号。

(2) 信号发生器(5800)：作为探头提供激励信号并与干涉仪实现信号同步。

(3) 计算机：装有一块125MHz采样频率的双通道信号采集卡，通道CH1与信号发生器同步，通道CH0接收干涉仪输出的电信号。扫描控制同样由计算机完成。

(4) 机械扫描系统：扫描系统带动样品台运动，扫描时X轴行程：1000mm，Y轴行程：600mm，控制精度：不低于0.1mm。

(5) 试样：实验中使用厚度为59mm的铝合金试样进行实验研究。

(6) 压电探头：本实验中采用纵波直探头作为发射探头，探头型号为V109。V109探头参数为：频率5MHz，晶片直径0.5英寸(12mm)，探头实物如图5所示。

该实验系统的具体工作流程如下：

当信号发生器5800给探头一个激励信号的同时，给通道CH1一个同步信号，使计算机开始计时准备接收由通道CH0传来的信号，实现信号发生器5800与干涉仪的同步。直探头发射的超声波在试样中传播后，在试样背面某一点产生表面振动，该振动被激光接收器接收，并通过干涉仪形成电信号，经通道CH0传给计算机，最终形成A扫图，再通过机械扫描对试样进行二维扫描，得到全部扫描点的表面振动情况，以此反映探头产生的超声场。

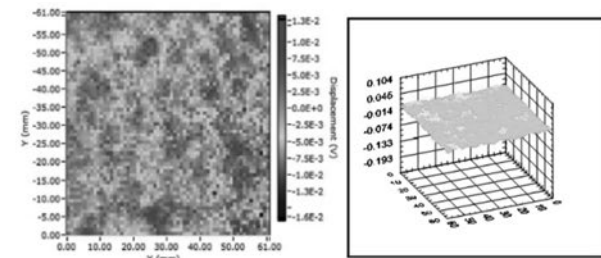
4.2 实验结果分析

采用纵波直探头V109和厚度为59mm的铝合金试样，采用对穿法对试样表面位移进行二维扫描，声场扫描范围为 60×60 mm，扫描点数 $N_x=61$ 、 $N_y=61$ ，扫描间隔 $dx=1$ mm、 $dy=1$ mm。通过全波采集，获得某一截面上振动幅值随时间的变化，形成B扫图，图6给出了不同截面上振动幅值，可反映出超声传播所形成的声场。

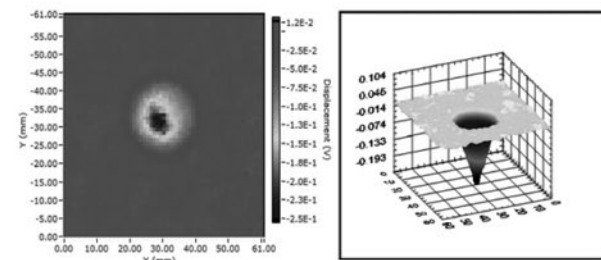
可以看到，在同一截面上超声波引起的振动以圆弧形传播，结合两个方向的B扫图可以看到，这一振动在三维空间上以球面波的形式向外传播。检测结果与理论一致。

另一方面，通过全波采集，可以获得任意时刻所有位置的振动幅值，绘制C扫图，从而反映超声波的动态传播。图7给出了不同时刻表面振动的C扫图。

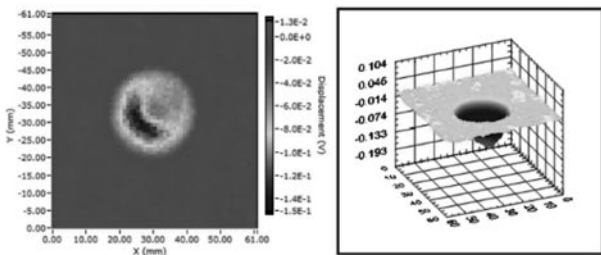
图7(a)显示超声波在试样中传播时间为 $T=1.515 \mu s$ 时刻的超声场图像，此时超声波尚未引起表面振动；图7(b)显示的是超声波在试样中传播时间为 $T=3.02 \mu s$ 时刻的超声场图像，此



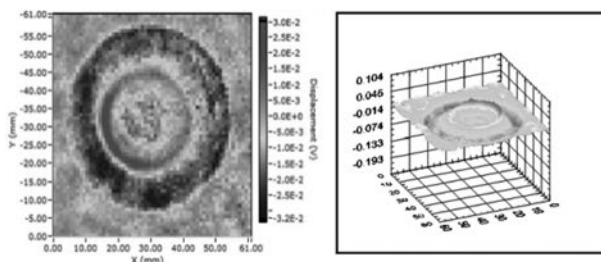
(a) 传播时刻 $T=1.515 \mu s$ 的表面振幅C扫图



(b) 传播时刻 $T=3.02 \mu s$ 的表面振幅C扫图



(c) 传播时刻 $T=3.07 \mu s$ 的表面振幅C扫图



(d) 传播时刻 $T=3.6 \mu s$ 的表面振幅C扫图

图7 试样厚度59mm表面振幅C扫图

(左侧为二维图、右侧为三维图)

时是超声波引起的振动位移幅值最大时刻，超声波信号振动幅值约为 -0.25V ；图7(c)显示的是超声波在试样中的传播时间为 $T=3.07\ \mu\text{s}$ 时刻，超声波信号振动幅值约为 -0.15V ，此时超声波引起的振动幅值已经减弱；图7(d)显示的是超声波在试样中的传播时间 $T=3.6\ \mu\text{s}$ 时刻的超声场图像，超声波信号振动幅值约为 -0.032V ，表面振动幅值由负转正，显示超声脉冲的主要能量已经过去，表面质点因惯性作用产生正向位移，在常规超声波信号中表现为回振或拖尾。

根据图7(b)、(c)、(d)中所显示的振幅情况可以看到，随时间增加，振动范围逐渐扩大，表面振动以圆形方式向外传播，这显示了超声波在该截面上的扩散情况：随着超声波扩散范围增加，表面位移逐渐减小，显示出超声波的能量随其与轴线距离增加而逐渐减弱。

5 结论与展望

本文利用激光超声检测技术实现了非接触检测。利用激光超声检测，对声场扩散情况进行研究。此方法能够直观的了解探头声场的传播规律，为超声检测的声场研究提供了一种新的实验技术手段。

从现状来看，激光超声检测方法对工件试样表面缺陷、力学性能的研究、特殊环境下对材料的远距离检测等方面，都有了相应的研究。未来激光超声在无损伤检测领域的研究工作还有一段很长的时间要走，随着激光超声检测技术不断的深入研究，激光超声检测技术将会得到更广泛的应用，在各方面取得新的进展和突破。

参考文献

- [1] 韩昌佩. 激光超声波检测金属表面缺陷的理论及实验研究[D]. 南京理工大学, 2012.
- [2] Hoyes J B, Shan Q, Dewhurst R J. A non-contact scanning system for laser ultrasonic defect imaging[J]. Measurement Science & Technology, 1991, 2(7): 628.
- [3] 刚铁, 王东华. 表面缺陷的超声检测与识别[J]. 无损探伤, 2000(3): 12-14.
- [4] 苏琨, 任大海. 基于激光超声的微裂纹检测技术的研究[J]. 光学技术, 2002, 28(6): 518-519.
- [5] 蒙廷庆. 压电陶瓷换能器的研究与应用[J]. 山东轻工业学院学报(自然科学版), 2012, (03): 56-58.
- [6] 钱梦. 激光超声检测技术及其应用 [J]. 上海计量测试, 2003, (01) 1-9.
- [7] 陈清明, 蔡虎, 程祖海. 激光超声技术及其在无损伤检测中的应用[J]. 激光与光电子学进展, 2005, (04): 53-57.
- [8] 张淑仪. 激光超声与材料无损评价[J]. 应用声学, 1992, (04): 1-6.
- [9] 杨理践, 李春华, 高文凭等. 铝板材电磁超声检测中波的产生与传播过程分析[J]. 仪器仪表学报, 2012, (06): 1218-1223.
- [10] 曾宪林, 徐良法. 激光超声技术及其在无损伤检测中的应用[J]. 激光与红外, 2002, (04): 224-227.
- [11] 尹向宝, 赵玉华. 激光超声无损检测技术[J]. 现代物理知识, 2003, (05): 25-27.
- [12] 尤政, 胡庆英. 用于表面缺陷检测的激光超声技术[J]. 宇航计测技术, 1998(6): 43-48.

武汉国际航空工程中心结构设计

■ 杨会杰 张晓彤 张富华 赵伯友 [结构]

摘要: 武汉国际航空工程中心项目是目前亚洲通用机场单体最大的机库,同时具备飞机维修和大型展厅功能,由机库大厅及附楼两部分组成。由于工程工期紧张,主体结构全部采用钢结构,基础采用预制管桩基础。通过方案比选,确定了机库大厅支承体系采用钢柱,并加密了山墙柱,屋盖采用平面主次桁架+屋面水平支撑的形式。本文介绍了机库大厅主要的节点形式,分析了温度作用对超长结构的影响。对附楼的结构体系、楼板选型进行了分析比选,对基础设计进行了简要介绍。

关键词: 机库大厅;平面桁架;钢框架;钢筋桁架楼承板

1 工程概况

武汉国际航空工程中心项目(如图1)位于湖北省武汉市经济技术开发区的汉南通用机场内,二期跑道西侧。航空工程中心的机库由机库大厅及机库附楼两部分组成(如图2),总建筑面积为29618.52m²。其中机库大厅19815.13m²,附楼9803.39m²,是目前亚洲通用机场单体规模最大的机库,主要功能是飞机维修、举办大型活动或展会时作为展厅。2017国际航联世界飞行者大会时作为静态展室内展馆,也将为2019年第七届世界军人运动会提供比赛场地。

机库大厅宽度288m,进深68m,柱网为(36×8)m×(34×2)m,下弦标高为12m。机库大门采用推拉门,门高8.7m,每扇门宽9m,大门上



图1 效果图(附楼一侧)



图2 平面分区示意图

设置有人行小门。机库大厅下弦布置8台3.2t吊车。

附楼平面尺寸为288m×10m,宽度方向为单跨;主要柱网为9m×10m,地上3层,1层层高为6m,2、3层层高为4m。

本工程设计使用年限为50年,结构安全等级为二级,结构重要性系数为1.0。抗震设防烈

作者简介:杨会杰,男,高级工程师,2007年毕业于天津大学结构工程专业,现就职于中航建投民航工程设计研究院。

表1 机库大厅荷载取值表

荷载类型		荷载取值 (kN/m ²)
上弦	恒荷载	0.55
	活荷载 (雪荷载)	0.5 (0.6)
	太阳能板荷载	0.4
	灯具桥架	0.1
下弦	展厅吊挂荷载	0.4
	8台3.2t吊车	

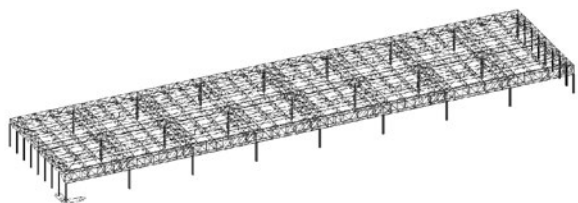


图3 钢桁架计算模型

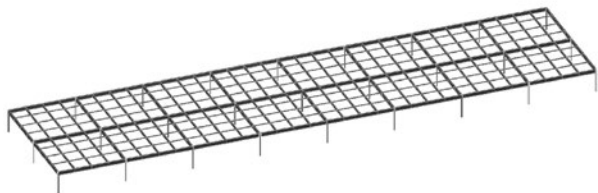


图4 钢框架计算模型

度为6度，场地类别为Ⅲ类，设计地震分组为第一组，多遇地震场地特征周期为0.45s，抗震设防类别为标准设防类（丙类）。基本风压为0.35kN/m²（R=50），地面粗糙度类别为B类，基本雪压为0.50 kN/m²（R=50，附楼）、0.60 kN/m²（R=100，机库大厅）。

2 机库大厅结构选型

机库大厅宽度方向柱距为36m，共8跨，进深方向柱距为34m，共2跨。屋盖荷载见表1。

2.1 方案比选

机库大厅两个方向的柱距分别为36m和34m，从结构合理性考虑，钢桁架（方案一，图3）和钢框架（方案二，图4）均为可采用的方案，分别采用这两种方案进行了计算，见表2。

表2 方案一、二计算结果比较

方案	结构高度 (m)	杆件数量	总用钢量 (t)	每平方米用钢量 (kg/m ²)
一	3.0	5156	1463	73.8
二	2.0	1441	2365	119.4

屋盖的结构高度方案一比方案二约高1m，用钢量方案二比方案一约高62%，由于杆件数量少，方案二的施工速度比方案一快。考虑到本工程并无超高要求，采用方案二总造价较高，且美观效果不如方案一，所以综合考虑结构形式采用钢桁架形式（方案一）。

2.2 机库大厅结构设计

(1) 支承体系

机库大厅宽度288m，进深68m，长宽比约为4.2，平面较为狭长，支承体系除提供可靠的竖向支承外，尚需有较为适宜的抗侧及抗扭刚度，分别采用以下3种支承体系进行计算比较。方案一：36m×34m柱网（图5）；方案二：36m×34m柱网+左右山墙密柱（图6）；方案三：36m×34m柱网



图5 方案一-36m×34m柱网



图6 方案二36m×34m柱网+左右山墙密柱



图7 方案三36m×34m柱网+左右山墙及后山墙柱间支撑

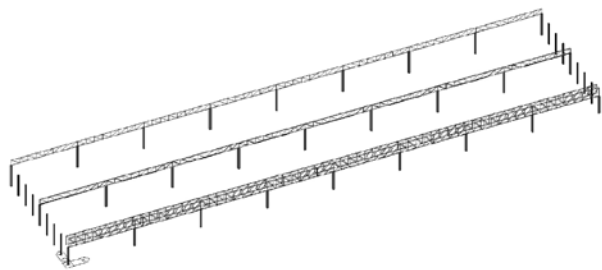


图8 主桁架布置图

表3 周期计算结果比较

方案	第一平动周期	第二平动周期	扭转周期	扭转/第一平动
一	1.552	1.547	1.403	0.904
二	1.534	1.519	1.349	0.879
三	0.727	0.658	0.447	0.615

+左右山墙及后山墙柱间支撑（图7）。

从表3可见，由于平面狭长，方案一的支承体系抗扭能力较弱，周期比超过了0.9，较为不利。方案二通过两侧山墙增设的柱子可以有效加强结构整体的抗扭能力，改善整体受力性能。方案三在左右两侧山墙和后山墙增设柱间支撑后，抗扭能力明显加强，为3种方案中抗扭能力最好的，但由于结构平面长度较长，集中设置的柱间支撑集中了过多的水平力，导致支承体系应力集中和屋盖在柱间支撑位置受力突变，对结构整体受力有一定的不利影响。

通过以上分析，支承体系采用方案二，即36m×34m柱网+左右山墙密柱。

(2) 屋面桁架布置方式

屋面桁架采用平面主次桁架^[1]+屋面水平支撑的方式。主桁架沿288m方向设置，机库大门开口边结合大门安装需要设置两榀主桁架，中列柱和后山墙柱分别设置一榀主桁架，如图8，一个柱跨的典型主桁架布置如图9。

次桁架与主桁架垂直，沿68m方向设置，由于每个横向柱距内有一台四支点悬挂吊车，结合吊车轨道位置设置次桁架，每个柱距内为4榀，次桁架间距为9m和4.5m，如图10，典型次桁架布置如图11。

桁架下弦支撑沿纵横向柱列设置，同时设置一定数量贯通柱网的X型交叉支撑，保证桁架下弦面内的整体性，从而将屋盖承担的水平风荷载、吊车荷载、地震作用等有效的传给下部支承柱，下弦支撑布置如图12。上弦支撑沿桁架平面周边设置封闭支撑，并沿3个纵向柱列设置交叉支撑及一定数量的水平系杆，保证上弦桁架整体性，如图13。

(3) 节点形式

考虑到机库兼做展厅，出于室内美观的要求，桁架主要节点连接形式采用相贯焊，上下弦水平支撑和桁架连接也采用相贯焊的形式。

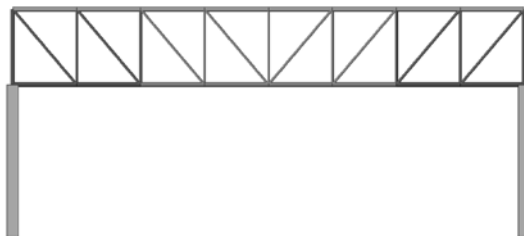


图9 典型主桁架示意图

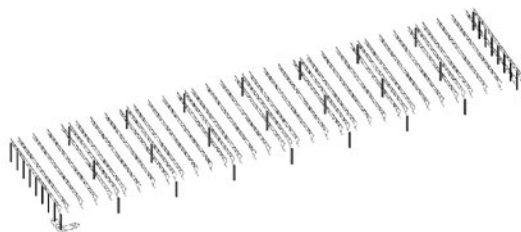


图10 次桁架布置图

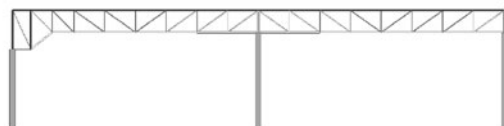


图11 典型次桁架示意图



图12 下弦支撑布置图



图13 上弦支撑布置图

吊车与桁架连接节点（图14）采用连接板贯通桁架下弦管的方式，保证吊车荷载可靠的传到桁架下弦。

桁架与支承柱的支座节点采用平板压力支座^[2]，节点做法见图15。

(4) 超长钢结构温度影响分析

机库大厅宽度为288m，超过了规范规定的温度区段长度^[3]，属于超长钢结构，温度作用对结构的影响不容忽视。根据当地气候条件，计算

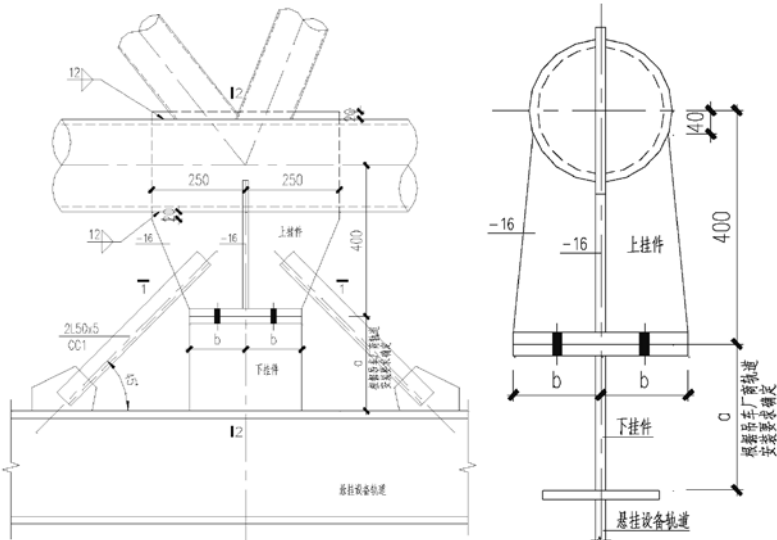


图14 吊车与桁架连接节点

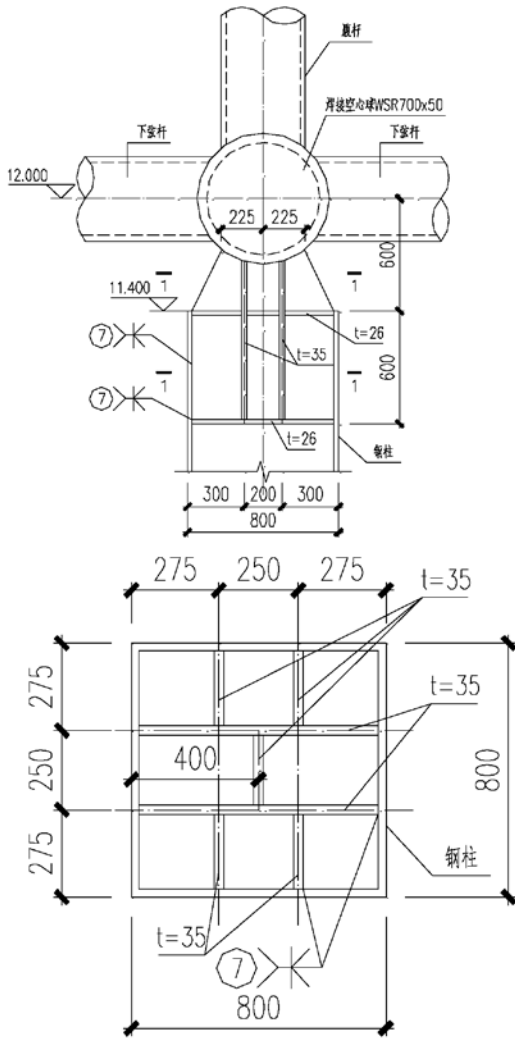


图15 桁架支座节点

3 附楼结构设计

3.1 结构体系

附楼平面尺寸为288m×10m，长宽比达到了28.8，体型过于狭长，需设置防震缝划分结构单元，设置3道防震缝，分割为4个结构单体，每个单体平面尺寸为72m×10m，虽然平面长宽比仍较大，但通过合理的加强措施，可以保证结构整体受力。

附楼结构形式采用钢框架，柱子采用方钢管，梁采用焊接H型钢，楼梯采用钢楼梯。附楼柱距以9m×10m为主，考虑到楼板的经济合理跨度，每跨布置3道单向次梁，次梁间距为2.5m左右。

3.2 楼板选型

钢框架结构的楼板可采用无压型钢板的普通混凝土楼板、开口型压型钢板混凝土楼板、闭口

温差按±35℃考虑，图16和图17分别给出了屋盖结构和支承柱在温度单工况下的应力。屋盖桁架温度应力最大值位于左右两侧主桁架接近支承柱的位置，最大应力约为15MPa；支承柱温度应力最大值位于左右山墙四角位置，最大应力约为122MPa。可以看出，温度作用对机库屋盖的受力影响较小，对支承柱影响较大，设计中根据荷载规范要求，考虑温度与恒荷载、活荷载、风荷载的组合，按最不利荷载组合进行构件验算。

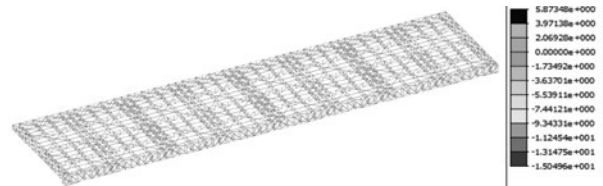


图16 屋盖桁架温度应力

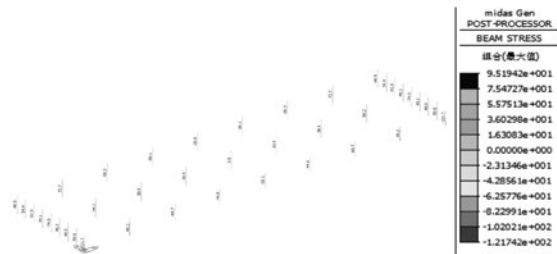


图17 支承柱温度应力

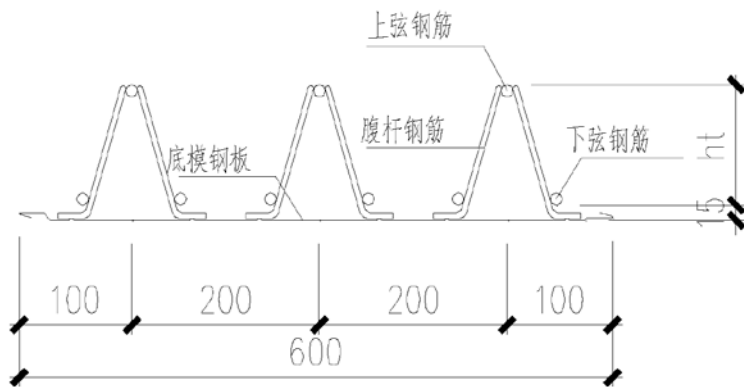


图18 钢筋桁架楼承板大样图

表4 主要土层的地质参数

土层编号	土层岩性	桩侧土摩阻力特征值 q _{sia} (kPa)	桩端土端阻力特征值 q _{pa} (kPa)
1	素填土	10	
2	粉质粘土	20	
3	粉质粘土	9	
4-1	细砂	15	
4-2	粉细砂	18	
5-1	粉细砂夹粉土	20	
5-2	粉细砂夹粉土	25	2500
5-3	粉细砂夹粉土	35	2700

型压型钢板混凝土楼板、钢筋桁架楼承板等。

普通混凝土楼板无压型钢板底模，需要现场支模浇注，现场工作量大，人工成本高，施工不便；开口型压型钢板混凝土楼板由于开口位置楼板有较大削弱，导致楼板刚度较差，舒适度和隔声效果差，属于规范不推荐的形式；闭口型压型钢板混凝土楼板和钢筋桁架楼承板的楼板厚度上无削弱，受力性能和使用性能好，但造价相对其他形式略高；钢筋桁架楼承板底模厚度仅为0.5mm，总体价格较为便宜，钢筋桁架在工厂制作完成，现场钢筋绑扎工作量小，施工速度快，综合效益良好，所以本工程采用钢筋桁架楼承板^[4]。

钢筋桁架楼承板板型选TD4-90，如图18，钢筋桁架上弦钢筋直径为10mm，下弦钢筋直径为10mm，压型钢板底模厚度为0.5mm。

4 基础设计

根据勘察报告，主要土层的地质参数见表4。

机库大厅、附楼均采用预应力混凝土管桩（PHC桩），桩端持力层均为5-3层粉细砂层或5-2层粉细砂夹粉土层。附楼及机库大厅中柱采用抗压桩，机库大厅左右山墙柱采用抗压抗拔桩，桩型选用PHC500A100，单桩竖向抗压承载力特征值为1200kN，单桩抗拔承载力特征值为400kN，桩端全截面进入持力层的深度不小于1000mm。

5 结论

(1) 工程的工期紧，设计采取了多项可缩短工期的措施，比如机库采用预制管桩、主体结构均采用钢结构、楼屋盖采用钢筋桁架楼承板等，提高了预制装配化率，保证了工程的如期竣工，也充分契合了国家的绿色建筑、装配化政策。

(2) 通过方案比选，确定了机库大厅支承体系采用36m×34m柱网+左右山墙密

柱，屋盖采用平面主次桁架+屋面水平支撑的形式，介绍了机库大厅主要的节点形式，分析了温度作用对超长结构的影响。

(3) 通过分析比较，附楼结构形式采用钢框架，楼屋面板采用钢筋桁架楼承板，基础采用预应力混凝土管桩（PHC桩）。

参考文献

- [1] 空间网格结构技术规程：JGJ 7—2010 [S]，北京：中国建筑工业出版社，2010
- [2] 孙宁，杨会杰，张金术，张艳杰. 十堰国际会展中心结构设计[J]. 建筑结构，2015，45(S1)：254~259
- [3] 钢结构设计标准：GB50017—2017 [S]，北京：中国建筑工业出版社，2017
- [4] 杨会杰，赵伯友，周方杰. 北京新机场某航材库结构设计[C]. 河北沧州，第十八届全国现代结构工程学术研讨会论文集，2018，15~19

体外预应力技术在某挡土墙加固中的应用研究

■ 刘金鹏 高宗瑞 曹汉涛 [结构]

摘要: 在钢筋混凝土结构的加固方法中,体外预应力技术是一种简单、灵活、有效的主动加固方法,多用于桥梁的建设与加固工程。本文以某工程挡土墙为例,研究了体外预应力技术在挡土墙加固中的应用,并采用SAP2000有限元软件对加固后的墙体在不同荷载工况下的受力状态进行模拟分析。经计算,加固后的挡土墙满足规范要求。本文为类似工程提供参考和依据。

关键词: 体外预应力技术;挡土墙;加固;有限元分析

0 引言

体外预应力法是通过布置体外预应力束并施加预应力,使既有结构构件的受力得到调整、承载力得到提高、使用性能得到改善的主动加固方法^[1]。通过对受力构件施加体外预应力,抵消受力构件在外荷载下产生的部分内力,调整结构的受力状态,从而达到提高结构的极限承载能力、抗裂性及变形能力的目的。体外预应力技术多用于桥梁等地上建筑的建设与加固工程中,但关于采用预应力加固技术加固地下结构的研究和实践很少。本文通过采用体外预应力加固技术,对某地下基础工程中的挡土墙进行了加固。

1 工程概况

该工程为某热电站储热塔基础工程,为半地下混凝土构筑物。建筑面积为2544m²,长53m,宽48m。基础底标高为7.9m、13.3m。基础底板及四周挡土墙厚度分别为800mm、600mm,基础

平面图及剖面图见图1。在加固作业前,联系第三方检测机构对该工程进行检测。检测结果表明,由于挡土墙设计厚度偏薄,且现场回填工作不满足规范要求,四周挡土墙顶部出现竖向裂缝和斜裂缝,最大裂缝宽度不满足相关规范要求;四周

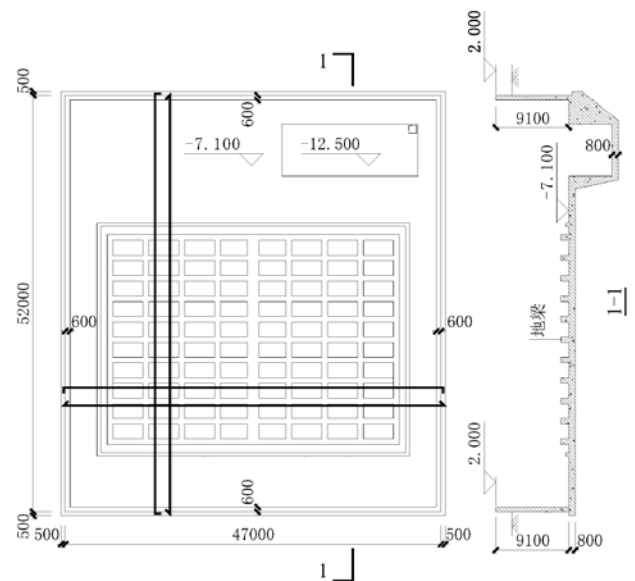


图1 基础平、剖面图

作者简介:刘金鹏,男,助理工程师,2017年毕业于北京工业大学土木工程专业,现就职于航空工业规划市政工程设计研究院。

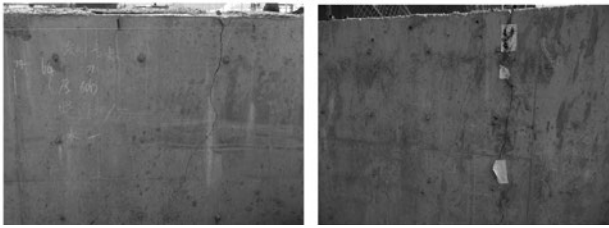


图2 挡土墙裂缝

挡土墙向内侧倾斜，中部位移较大，两侧较小，位移值超出相关规范要求。挡土墙裂缝见图2。

建筑设计基本参数：原结构采用C30混凝土浇筑，四周挡土墙顶部建筑物安全等级为二级，结构重要性系数为1.0，经加固后工程使用年限为30年。

2 施工技术

2.1 主要材料及参数

混凝土：根据《混凝土结构加固设计规范》，结加固用混凝土强度等级应比原结构提高一级，故新增混凝土强度等级采用C35；

钢筋：HRB400；

预应力钢绞线：抗拉强度为1860MPa。

2.2 挡土墙加固技术

体外预应力体系由体外预应力筋、锚固体系、转向块和防护体系组成。体外预应力加固示意图如图3所示。在加固工作开始之前，先将挡土墙四周回填土开挖至筏板基础顶部，并将挡土墙墙面清理干净。在挡土墙4个转角处，每个转角设置5片反力墙，反力墙作为预应力筋张拉端，如图

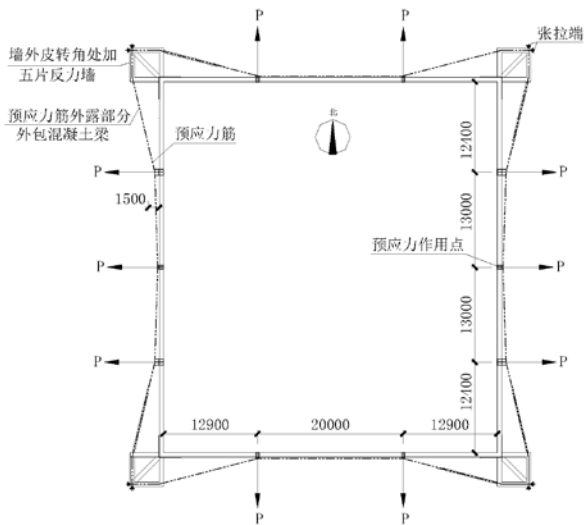


图3 体外预应力加固示意图

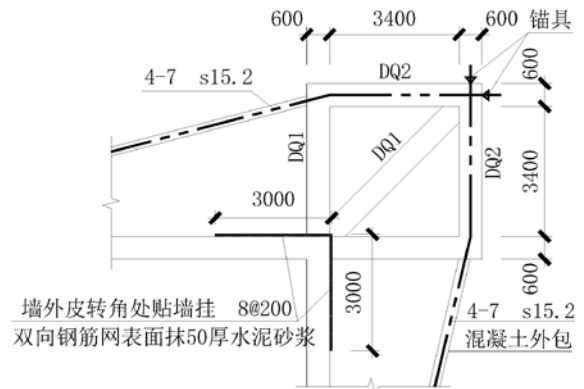


图4 反力墙示意图

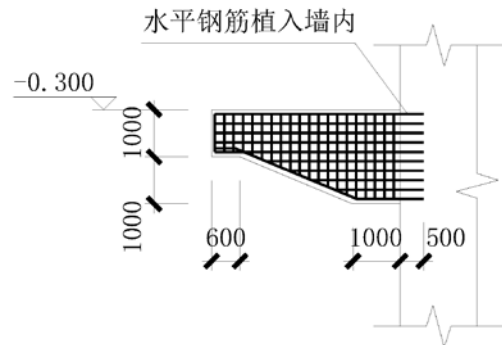


图5 DQ1详图

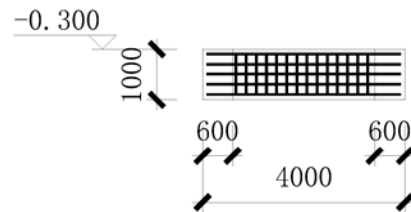


图6 DQ2详图

表1 新增反力墙配筋表

编号	墙厚	水平/竖向钢筋		拉筋
		内侧	外侧	
DQ1、2	600mm	C22@200		C8@400

4所示。反力墙DQ2内设预应力筋管道，反力墙中水平钢筋锚入原有墙体内，做法详图见图5、图6，配筋详见表1。在东西区挡土墙上设置3个转向块（提供预应力作用点），转向块间距13m；南北区片挡土墙上设置两个转向块，间距20m，安装好后将预应力筋从转向块中穿过。

待前期准备工作完成后开始张拉，在反力墙预应力筋管道内布置28根钢绞线s15.2，在反力墙

外汇聚成4束，每束7根。张拉时通过控制千斤顶使预应力筋分3级多次张拉，并且保证挡土墙两侧对称张拉。第一次张拉结束后对挡土墙的墙体裂缝采用碳纤维布修补。张拉过程中实时监测挡土墙的起拱程度和转向块与墙体的连接牢度程度。张拉完毕后应及时对预应力筋外露部分采用混凝土进行包裹。外包混凝土作为预应力保护系统，预防预应力筋锈蚀或受外力冲击。

从图3中可以看出，预应力筋张拉后，相当于对挡土墙在预应力作用点处给予一个“反向力”P，该“反向力”能够抵消回填土对挡土墙施加的部分荷载，改变挡土墙的内力分布，从而有效的约束挡土墙向内侧偏移。

3 有限元分析

3.1 结构建模

采用SAP2000对加固后的挡土墙在不同荷载

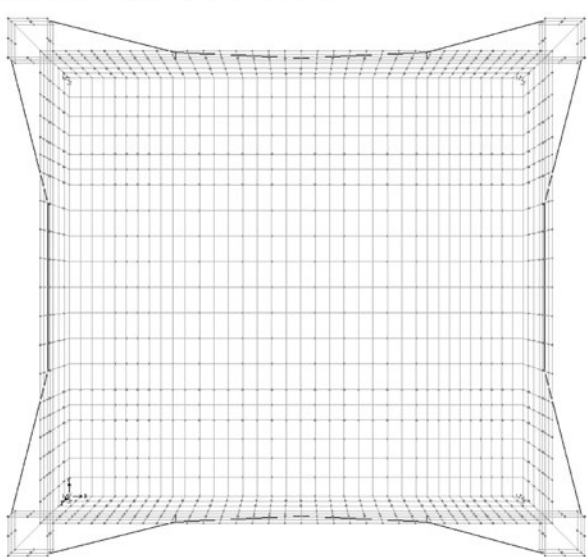


图7 结构有限元模型

工况下的受力状态进行模拟分析。建模时对结构基础底板进行简化。挡土墙和基础底板按照壳元计算，预应力钢绞线按照杆单元计算，预应力通过施加温度荷载实现。结构整体有限元模型见图7。

3.2 计算荷载取值

本工程应考虑挡土墙在不同阶段的实际受力状态。预应力张拉后至肥槽回填之前，此阶段挡土墙承受的荷载有自身恒载与预应力；肥槽回填后，挡土墙承受的荷载有自身恒载、预应力与主动土压力荷载。针对以上两个不同阶段挡土墙的受力状态进行荷载工况组合，如表2所示。

3.3 计算结果

正常使用极限状态下，挡土墙的变形图如图8所示。从图中可以看出，在只有自重的作用下，施加了预应力后墙体的最大变形为72mm；在自重和土压力的作用下，施加完预应力后墙体的最大变形为28mm，规范^[2]限值为：

$$\delta = \frac{l_0}{300} = \frac{52000 + 500}{300} = 175\text{mm}$$

因此，正常使用状态下挡土墙的表型满足规范要求。

承载力极限状态下挡土墙的变形图如图9所示。从图中可以看出，在承载力组合工况Case3下，钢绞线的实际预应力最大值为4562kN。在承载力组合工况Case4下，钢绞线的实际预应力最大值为4671kN。钢绞线的设计强度 $f_p=1320\text{MPa}$ ，截面积 $A_s=3892\text{mm}^2$ 。实际最大应力 $\sigma=1200\text{MPa}<f_p$ ，均满足承载力要求。

4 结论

本文结合实际工程特点，采用体外预应力法对内侧倾斜挡土墙进行了加固修复。结果表明，

表2 荷载工况组合

极限状态设计	荷载工况组合	
正常使用极限状态	Case1	1.0恒载+1.0预应力
	Case2	1.0恒载+1.0土压力+1.0预应力
承载力极限状态	Case3	1.2恒载+1.0预应力
	Case4	1.2恒载+1.2土压力+1.0预应力

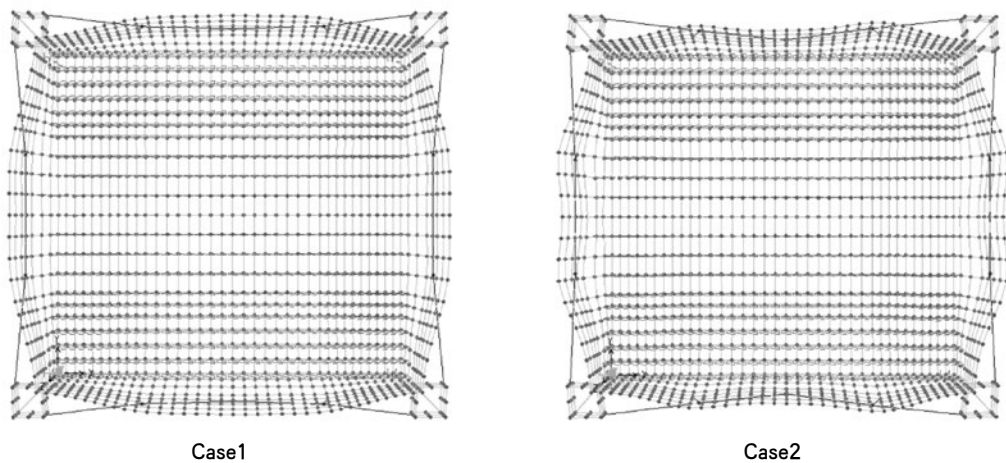


图8 正常使用极限状态下墙体变形图

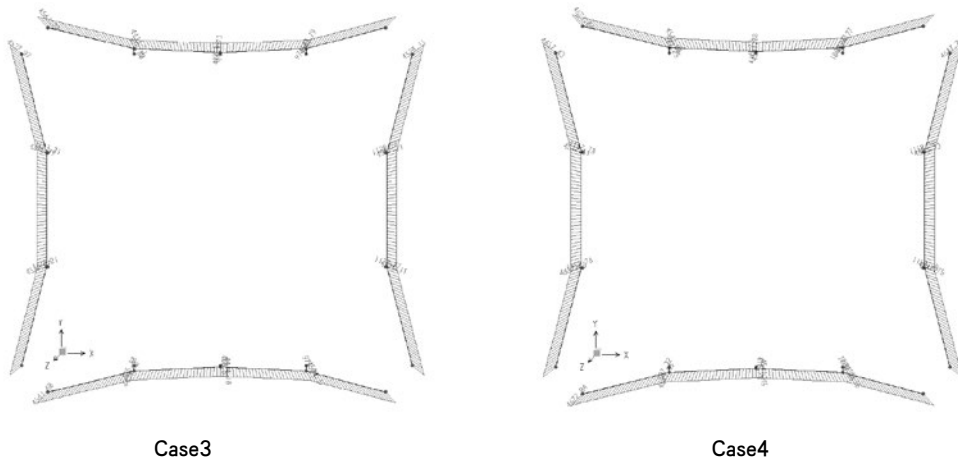


图9 承载力极限状态下钢绞线拉力图

预加应力能够“抵消”挡土墙在土压力作用下的部分荷载，加固后的挡土墙满足工程和规范要求。体外预应力加固技术施工周期短，并且对原有结构影响很小，值得在类似的加固工程中进行推广应用。

参考文献

[1] JGJ/T 279-2012 建筑结构体外预应力加固技术规程[S].北京:中国建筑业出版社.

[2] GB50010-2010 混凝土结构设计规范[S].北京:中国建筑业出版社.

[3] GB50009-2012 建筑结构荷载规范[S].北京:中国建筑业出版社.

[4] GB50367-2013混凝土结构加固设计规范[S].北京:中国建筑业出版社.

[5] JGJ145-2013混凝土结构后锚固技术规程[S].北京:中国建筑业出版社.

昆明市某超限钢结构抗震分析

■ 韩川 周青 邢纪咏 (结构)

摘要: 本文介绍了昆明市某超限高层钢结构建筑抗震分析过程。通过合理设定结构抗震性能目标,采用两个不同的程序进行反应谱法抗震性能分析,采用弹性时程分析法进行小震作用下的地震反应计算,采用弹塑性时程分析法进行罕遇地震作用下的承载力和变形验算,找出结构薄弱部位,采用加强措施,确保结构抗震安全性能。

关键词: 超限高层;抗震;反应谱法;弹性时程分析;弹塑性时程分析

1 工程概况

本工程建设场地位于云南省昆明市,建筑功能为机场公务机楼。建筑通过防震缝分为公务机楼、专机楼、配套服务楼、柱廊等几个单体。其中配套服务楼结构平面尺寸为 $93\text{m} \times 37\text{m}$,主要柱距为 8m (11m) $\times 9\text{m}$ 。主体结构地上7层,建筑总高 38m ,层高分别为 $6\text{m} \times 3\text{m}$ 、 $4.8\text{m} \times 3\text{m}$ 、 5m (高度变化);地下1层,层高 6m ,属于高层钢框架结构。地上2层顶至地上4层顶之间有单层装饰



图1 建筑效果图

作者简介:韩川,男,工程师,2013年毕业于同济大学结构工程专业,现就职于中航建投民航工程设计研究院。

刚架。配套服务楼建筑面积为 20000m^2 ,本工程总建筑面积为 47300m^2 ,建筑效果图如图1所示,典型平面图、剖面图如图2、图3所示。

本工程抗震设防烈度为8度($0.20g$),场地类别为II类,设计地震分组为第三组。抗震设防类别为标准设防类,钢框架抗震等级为三级。结构设计使用年限为50年,安全等级为二级。在边坡边缘不利地段建造丙类建筑,水平地震影响系数最大值考虑1.1的增大系数。

2 超限判定

为简化结构形式,装饰刚架柱底采用铰接,刚架顶与主楼连接采用铰接,并通过水平长圆螺栓孔连接的方式释放主楼对刚架的水平约束。配套服务楼有四项超限,见表1所示。根据相关规范要求^[1],具有3项及3项以上的建筑须进行抗震设防专项审查。

3 抗震性能目标

根据工程特点及《建筑抗震设计规范》^[2],本工程的性能化设计目标如下:多遇地震作用下,

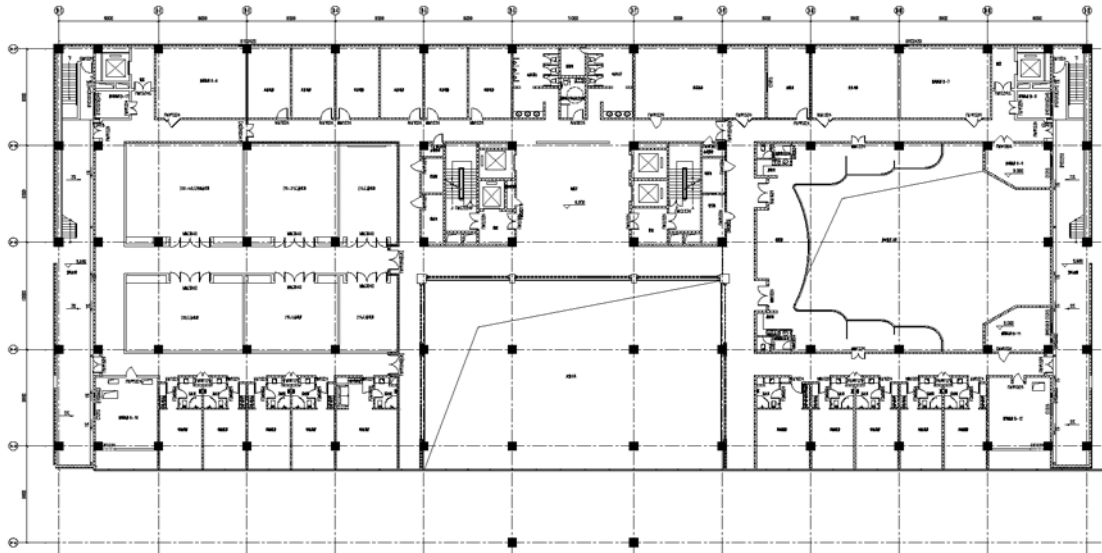


图2 建筑平面图(地上二层)

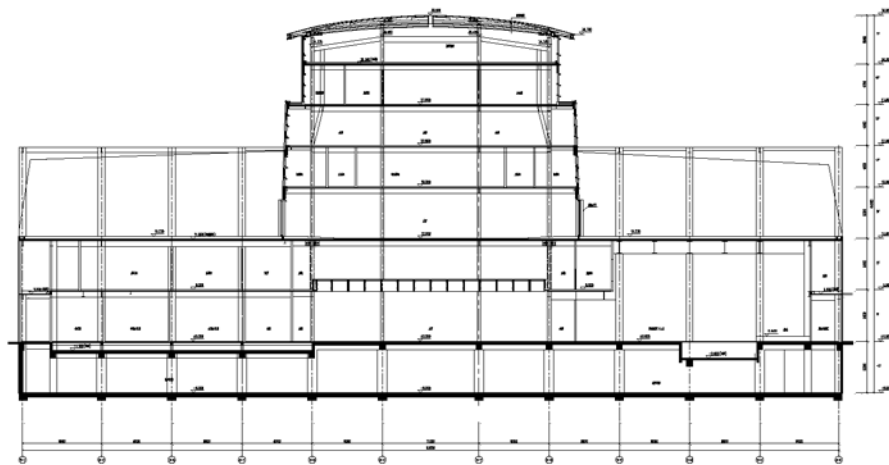


图3 建筑剖面图

表1 结构超限项目列表

不规则项	指标
平面扭转不规则	最大位移比为1.4, 大于1.2
楼板局部不连续	6m层高处局部存在大开洞, 该层有效楼板宽度小于典型宽度的50%, 见图2
竖向高位收进	地上3层处相对2层局部收进, 局部收进的水平向尺寸大于2层的25%
斜柱	地上5层处, 存在8根斜柱, 斜柱数量占该层柱总数的40%, 见图3

表2 抗震性能目标

地震动水准	多遇地震	罕遇地震
抗震性能水准	第1水准	第3水准
层间位移角限值	1/250	1/50

结构保持弹性, 梁柱均无损坏, 不需修理即可继续使用; 罕遇地震作用下, 结构整体轻度损坏, 框架柱、斜柱轻度损坏, 框架梁轻度损坏, 部分中度损坏, 一般修理后才可继续使用。结构抗震性能目标以及竖向构件在不同水准地震作用下层间位移角限值见表2。

4 反应谱法抗震性能分析

采用以下两个程序进行空间分析:

1) 中国建筑科学研究院编写的《高层建筑结构空间有限元分析与设计软件(SATWE)(V3.1版);

2) 盈建科建筑结构计算模块——YJK-A(1.8.2.1);

两软件计算得到的结构前6阶模态的振动周期结果列于表3。通过对结构周期振型数据对比可知,两个程序计算得到的第1、2阶模态分别为Y方

向和X方向的水平振动,扭转模态为第3阶。有效质量系数大于90%,满足规范要求。

反应谱法计算得到的结构地震响应计算结果列于表4。通过对两种程序反应谱地震分析结果可以看出,在地震作用下,结构最大层间位移角小于

表3 构动力特性(反应谱法)

程序	周期序号	周期 (s)	X方向平动比 (%)	Y方向平动比 (%)	扭转比例 (%)	扭转周期比	结构总质量 (t)	有效质量系数 (%)
SATWE	T ₁	1.6392	0.99	0.01	0.00	0.64	20333	93.65 (X方向)
	T ₂	1.5480	0.01	0.99	0.00			
	T ₃	1.0441	0.01	0.00	0.99			93.92 (Y方向)
	T ₄	0.6870	0.98	0.02	0.00			
	T ₅	0.6616	0.01	0.94	0.05			
	T ₆	0.6146	0.01	0.04	0.95			
YJK	T ₁	1.5781	0.99	0.00	0.00	0.65	20318	93.61% (Y方向)
	T ₂	1.5022	0.00	1.00	0.00			
	T ₃	1.0206	0.01	0.00	0.99			
	T ₄	0.6769	0.98	0.00	0.01			93.89% (Y方向)
	T ₅	0.6526	0.01	0.98	0.01			
	T ₆	0.6058	0.02	0.01	0.97			

表4 反应谱法结构地震响应计算结果

结构响应		SATWE		YJK	
		地震作用	风作用	地震作用	风作用
最大层间位移角	X向	1/316	1/3980	1/329	1/4398
	Y向	1/323	1/4020	1/333	1/3977
最大位移/层平均位移(偶然偏心)	X向	1.11		1.10	
	Y向	1.23		1.20	
最大层间位移/平均层间位移(偶然偏心)	X向	1.24		1.27	
	Y向	1.24		1.21	
底部剪力 (KN)	X向	12293		12316	
	Y向	12902		12988	
底部弯矩 (KN.m)	X向	238182		238943	
	Y向	230624		233248	
基底剪重比 (%)	X向	6.05		6.06	
	Y向	6.35		6.39	
柱倾覆弯矩百分比 (%)	X向	31.43		31.34	
	Y向	13.29		13.06	
楼层刚度比*		1.29		1.29	
楼层抗剪承载力比		0.87		0.89	
地震最不利方向角 (度)		0.273		1.39	

注: 楼层刚度比为本层刚度与上层刚度70%的比值和本层刚度与上三层平均刚度80%的比值中的较小者。

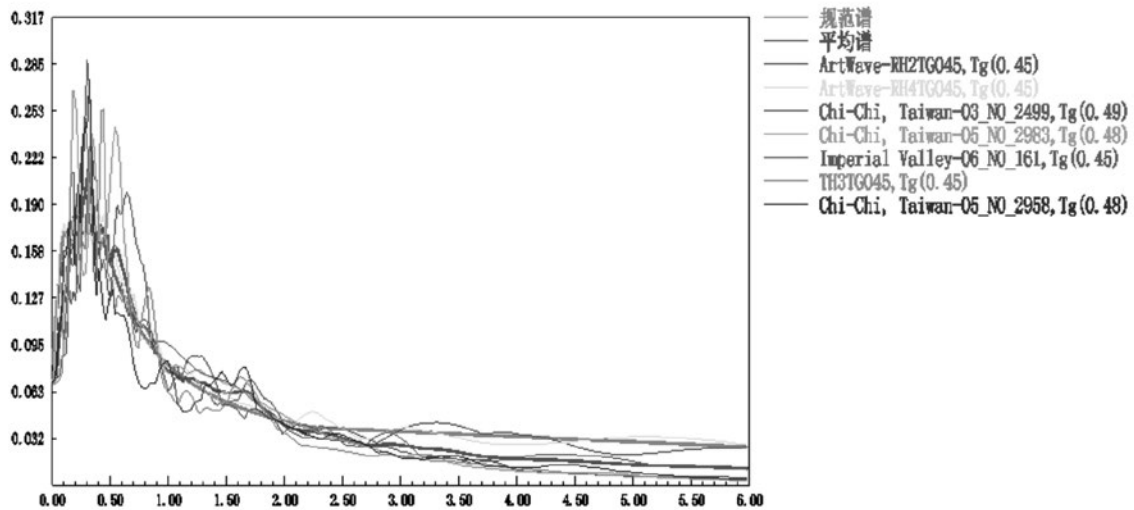


图4 地震波反应谱与规范反应谱比较

1/250, 考虑偶然偏心的扭转位移比小于1.5, 地震作用下的剪重比在正常范围内, 且满足最小地震作用的要求, 计算结果基本合理。

5 弹性时程法抗震性能分析

采用盈建科建筑结构计算模块——YJK-A(1.8.2.1)进行空间分析。

弹性时程分析所取地面运动最大加速度为70gal, 选取5条天然波和2条人工波共7条地震波进行分析。地震波反应谱平均值与设计反应谱对比见图4。每条地震波的基底剪力与反应谱法计算得

到的基底剪力之比不小于65%, 平均值之比不小于80%, 见表7。多条地震波的平均反应谱与设计反应谱在结构前4阶振型周期点上均较为接近, 差值均不超过20%, 见表5。所选地震波符合规范要求。

依照《建筑抗震设计规范》第5.1.2条规定, 采用时程分析法时, 当取七组及七组以上的时程曲线时, 计算结果可取时程分析法的平均值和振型分解反应谱法的较大值。由表6可知, 7条波计算所得最大层间位移角为1/299 (X向)、1/310 (Y向), 均满足钢框架结构1/250的要求, 且平均最大位移角小于反应谱法计算结果。由表7可知, 7条波计算所得基底剪力平均值小于反应谱法计算

表5 周期点对应反应谱值分析统计结果

	周期1谱值	偏差 (%)	周期2谱值	偏差 (%)	周期3谱值	偏差 (%)	周期4谱值	偏差 (%)
规范谱值	0.054	17	0.056	16	0.074	-3	0.104	2
地震波平均谱值	0.063		0.065		0.071		0.107	

表6 YJK时程法分析结果与反应谱法分析结果比较 (层间位移角)

地震作用方向	反应谱	时程						
		Chi-Chi, Taiwan-03_NO_2499, Tg(0.49)	Chi-Chi, Taiwan-05_NO_2958, Tg(0.48)	Chi-Chi, Taiwan-05_NO_2983, Tg(0.48)	Imperial Valley-06_NO_161, Tg(0.45)	TH3TG045, Tg(0.45)	ArtWave-RH2TG045, Tg(0.45)	ArtWave-RH4TG045, Tg(0.45)
X向	1/323 (3层)	1/299(6层)	1/352(2层)	1/349(3层)	1/371 (2层)	1/346(3层)	1/459(3层)	1/369(6层)
Y向	1/311 (4层)	1/310(5层)	1/356(4层)	1/353(3层)	1/360(4层)	1/355(3层)	1/448(4层)	1/344(5层)

表7 YJK时程法分析结果与反应谱法分析结果比较(基底剪力)

	X向	Y向	平均值 ≥0.8	基底剪力 (KN)	时程基底剪力/ 反应谱基底剪力	平均值≥0.8
	基底剪力 (KN)	时程基底剪力/ 反应谱基底剪力				
反应谱	12323	1.00		12992	1.00	
Chi-Chi, Taiwan-03_ NO_2499, Tg(0.49)	13086	1.06	满足要求	15039	1.16	满足要求
Chi-Chi, Taiwan-05_ NO_2958, Tg(0.48)	12027	0.97		12031	0.92	
Chi-Chi, Taiwan-05_ NO_2983, Tg(0.48)	13396	1.08		14452	1.11	
Imperial Valley-06_NO_161, Tg(0.45)	12354	1.00		11657	0.89	
TH3TG045, Tg(0.45)	11382	0.91		13198	1.01	
ArtWave-RH2TG045, Tg(0.45)	9122	0.74		10064	0.77	
ArtWave-RH4TG045, Tg(0.45)	12363	1.00		12404	0.95	
时程法平均值	11961	0.97		满足要求	12692	

表8 x向多条波平均值与CQC法计算结果比较

层号	时程法剪力平均值	CQC法剪力	比值	放大系数	全楼放大系数
7	1412	1420	0.995	1	1
6	3071	3120	0.984	1	1
5	4312	4513	0.956	1	1
4	5521	5787	0.954	1	1
3	6678	6969	0.958	1	1
2	9579	10012	0.957	1	1
1	10874	11203	0.971	1	1

表9 y向多条波平均值与CQC法计算结果比较

层号	时程法剪力平均值	CQC法剪力	比值	放大系数	全楼放大系数
7	1420	1418	1.001	1.001	1.001
6	3252	3345	0.972	1	
5	4564	4895	0.932	1	
4	5460	5891	0.927	1	
3	6396	6852	0.933	1	
2	10026	10270	0.976	1	
1	11538	11814	0.977	1	

的基底剪力。表8、表9列出了每层的7条波地震剪力平均值与振型分解反应谱法地震剪力比较。设计时,取大值进行设计。

上述多遇地震作用下的反应谱分析和弹性时程分析表明,反应谱结果可以有效评估地震作用,设计中采用振型分解反应谱法是合理的。

6 弹塑性时程分析

弹塑性时程分析所取地面运动最大加速度为

400gal,所用地震波同第5节。三维输入工况为X:Y:Z=1:0.85:0.65和X:Y:Z=0.85:1:0.65。

6.1 基底剪力及结构位移

表10给出了结构在7组地震波作用下基底剪力峰值和最大层间位移角。由表可知,在罕遇地震作用下结构最大层间位移角均小于《建筑抗震设计规范》1/50的要求,满足本工程抗震性能目标要求。

6.2 损伤等级

罕遇地震7条波作用下,多数框架梁为轻微

表10 弹塑性时程分析基底剪力及层间位移角

地震作用方向	地震波	基底剪力峰值/kN	最大层间位移角
XYZ向	Chi-Chi, Taiwan-03_NO_2499, Tg(0.49)	62452	1/55(3层)
	Chi-Chi, Taiwan-05_NO_2958, Tg(0.48)	56288	1/57(3层)
	Chi-Chi, Taiwan-05_NO_2983, Tg(0.48)	62874	1/58(2层)
	Imperial Valley-06_NO_161, Tg(0.45)	54308	1/56(3层)
	TH3TG045, Tg(0.45)	52812	1/57(3层)
	ArtWave-RH2TG045, Tg(0.45)	44707	1/58(3层)
	ArtWave-RH4TG045, Tg(0.45)	54248	1/59(2层)
YXZ向	Chi-Chi, Taiwan-03_NO_2499, Tg(0.49)	61626	1/56(4层)
	Chi-Chi, Taiwan-05_NO_2958, Tg(0.48)	51573	1/50(4层)
	Chi-Chi, Taiwan-05_NO_2983, Tg(0.48)	45477	1/52(4层)
	Imperial Valley-06_NO_161, Tg(0.45)	59516	1/50(4层)
	TH3TG045, Tg(0.45)	42130	1/52(4层)
	ArtWave-RH2TG045, Tg(0.45)	41550	1/52(4层)
	ArtWave-RH4TG045, Tg(0.45)	31510	1/54(4层)

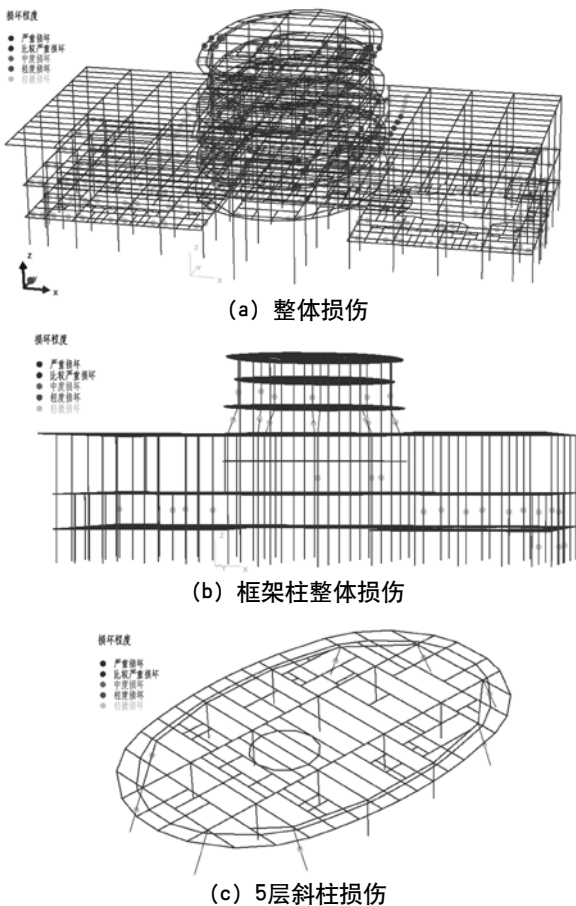


图5 Chi-Chi, Taiwan-03_NO_2499, Tg(0.49) 波梁柱损伤等级分布图

损坏, 少数框架梁为轻度损坏或中度损坏, 亦有部分框架梁无损伤。部分框架柱为轻微损坏,

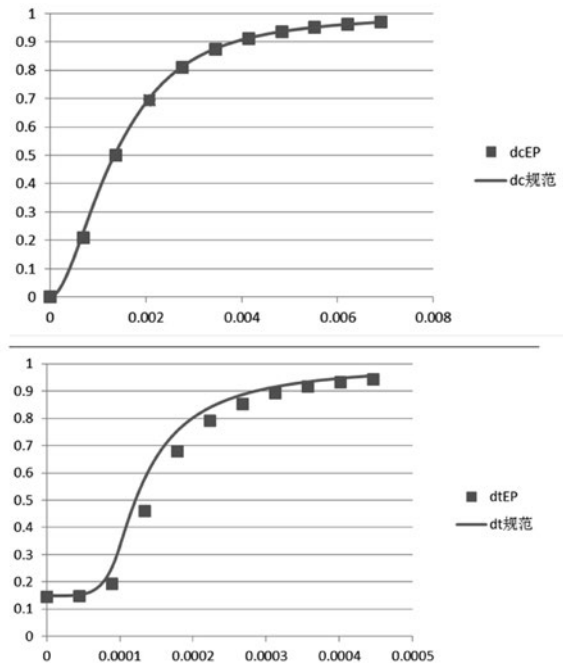


图6 混凝土拉压损伤-应变图

其余无损伤, 轻微损坏的框架柱多集中在第1、2层, 亦有部分出现在5层斜柱处, 本建筑在地震作用下无明显薄弱层。在地震波Chi-Chi, Taiwan-03_NO_2499, Tg(0.49)的作用下结构的整体损伤最严重, 见图5(a); 在7层处部分框架梁出现了中度损坏; 其余楼层框架梁为轻微~轻度损坏, 部分梁无损坏; 多数框架柱无损伤, 部分框架柱轻微损坏, 见图5(b); 5层斜柱部分出现轻微损坏, 见图5 (c)。

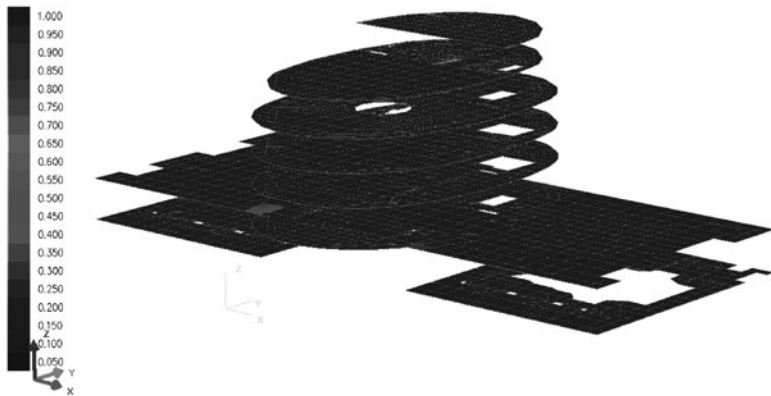


图7 弹性板ArtWave-RH4TG045, $T_g(0.45)$ 的受拉损伤图

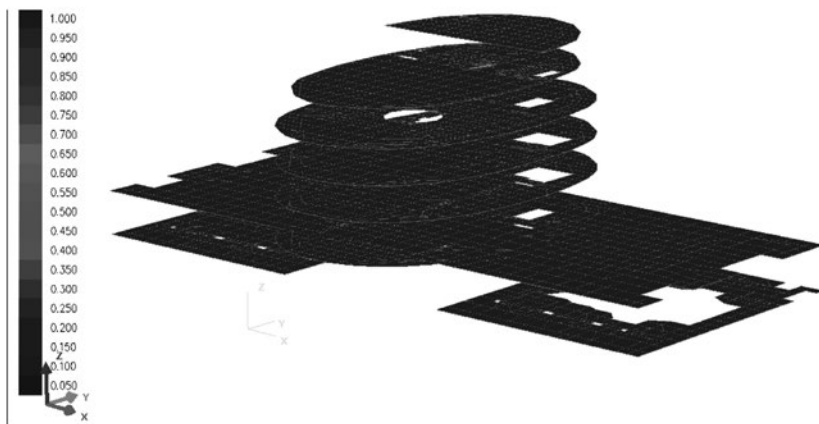


图8 弹性板ArtWave-RH4TG045, $T_g(0.45)$ 的受压损伤图

混凝土中的受拉、受压损伤因子 d_t 、 d_c 依据《混规》附录C计算，混凝土的拉压应变与损伤参数关系曲线如图6。

楼层板的损伤值很小，多数不大于0.01，基本无损伤，仅在局部洞口处、局部边角和二层楼层收进处损伤值稍大，见图7、图8。

7 主要结论及抗震加强措施

主要结论：

(1) 在多遇地震作用下，本工程计算得到的各项控制指标均满足或严于现行规范要求。

(2) 结构在大震作用下竖向构件变形均满足预定的抗震性能化目标，满足抗震性能第3水准的目标，可实现大震作用下结构不倒塌。

抗震加强措施：

本工程采用了如下抗震加强措施：

(1) 楼层收进处：对裙房顶层屋面楼板

采取加强措施，楼板厚度为200mm，采用双层双向配筋、每层每方向钢筋网的配筋率不小于0.25%；主楼与裙房顶层上下两层的混凝土楼板也采用双层双向配筋。

(2) 大开洞处：一层大洞口侧板、间板等最小板厚110mm，板厚为最大跨度的1/30，双层双向配筋，每层每向配筋率为0.3%。

(3) 装饰刚架柱底采用铰接，刚架顶与主楼连接采用铰接，并通过水平长圆螺栓孔连接的方式释放主楼对刚架的水平约束。

本项目已通过抗震超限审查，在此特别感谢审查专家的改进意见，也感谢公司领导和同事对项目的指导与帮助！

参考文献

[1] 建设部. 超限高层建筑工程抗震设防专项审查技术要点. 建质[2010]109号.

[2] GB50011-2010 建筑抗震

设计规范(2016年版)[S].北京 中国建筑工业出版社, 2016.

[3] GB50010-2010 混凝土结构设计规范(2015年版)[S]北京 中国建筑工业出版社, 2016.

[4] JGJ99-2015 高层民用建筑钢结构技术规程[S].北京 中国建筑工业出版社, 2016.

[5] 徐佳, 赵伯友. 海口2号机库抗震超限分析[A]. 第十四届全国现代结构工程学术研讨会[C]. 2014.

[6] 梁建文, 曹征洋, 周德玲等. 天津市某商业大厦超限高层建筑罕遇地震下的弹塑性时程分析[J]. 工业建筑, 2016, 46(10): 179-186.

飞行区水泥混凝土道面基层研究

■ 宁利鹏 殷小棠 张睿 [规划]

摘要: 本文通过搜集我国现有机场飞行区道面与公路路面基层材料的相关性能研究成果,结合国家现行规范,对不同类型路面基层从材料及结构性能方面开展分析,并进行FAA软件下的水泥混凝土道面结构设计;参照道路中对于基层和底基层材料的使用交通荷载等级和层位建议,推荐适用的通用机场基层材料。本研究可为飞行区道面基层性能认识及通用机场基层材料选用提供参考。

关键词: 基层;材料;性能;结构设计

1 引言

基层是公路工程以及民航机场飞行区建设中不可或缺的道面结构层,在道面铺筑中起扩散荷载、提高结构整体承载力、增加道面结构厚度等方面的多重效用。针对不同基层在路面以及机场道面中的应用,现已开展了大量研究^[1~4]。如何将道路基层与飞行区基层有效结合起来,是本文研究的重点。

2 水泥混凝土道面基层研究

2.1 不同基层性能研究

考虑道面基层结合料选用类型的不同,本节从无结合料类、无机结合料类、以及沥青结合料类三方面对路面基层性能开展分析^[5~6]。

①碎(砾)石基层,构成材料结构强度的主要因素为碎(砾)石颗粒间的联结强度,作为路面的基层材料层,只能受压不能受拉。

②无机结合料类材料基层,常用结合料为

水泥、石灰,常见基层形式为水泥稳定碎石、水泥稳定砂砾、贫混凝土、碾压混凝土、二灰稳定土、石灰稳定土等。该类材料整体强度较高,适用性较强,广泛应用于道路及飞行区道面基层结构铺筑。缺点为易产生干燥收缩与温度收缩。

③沥青结合料类材料基层,常用类型为沥青稳定碎石、沥青混凝土。沥青作为结合料,提高了结构层的强度及整体性能,具有一定的抗剪、抗拉能力。

我国现状飞行区道面板多采用水泥混凝土,因水泥面板刚度大,基层所承担应力应变水平相对较低,对基层材料刚度方面的要求也相对较低。

2.2 公路、机场基层结构设计对比

考虑我国现状飞行区跑、滑以及停机坪等道面多采用水泥混凝土做面层,进行公路、机场水泥砼道面基层结构的对比分析,我国公路各交通等级下的基层与底基层材料适用类型表现参见下表^[7],机场针对不同飞行区技术指标的基层建议选用材料、基层厚度以及材料的技术要求等参见表^[8~9]。

2.3 飞行区水泥混凝土道面结构设计

运用FAA软件进行飞行区水泥混凝土道面结

作者简介:宁利鹏,男,助理工程师,2017年毕业于长安大学道路与铁道工程专业,现就职于中航建设机场规划设计研究院。

表1 各交通荷载等级公路的基层与底基层材料类型

交通荷载等级	基层材料类型	底基层材料类型
极重、特重	贫混凝土、碾压混凝土	级配碎石, 水泥稳定碎石, 石灰、粉煤灰稳定碎石
	沥青混凝土	
重	密级配沥青稳定碎石	
	水泥稳定碎石	
中等、轻	级配碎石	未筛分碎石、级配砾石, 或不设
	水泥稳定碎石, 石灰、粉煤灰稳定碎石	

表2 机场飞行区基层材料的设计要求

层次	飞行区指标II	建议基层材料	建议基层厚度(mm)	技术要求
上基层	A、B、C、D	水泥稳定粒料	150~200	7d浸水抗压强度 \leq 3MPa
		石灰粉煤灰稳定粒料	150~200	7d浸水抗压强度 \leq 0.8MPa
	E、F	水泥稳定粒料	150~240	7d浸水抗压强度 \leq 4MPa
		碾压混凝土	150~240	7d浸水抗压强度 \leq 15MPa
		贫混凝土	150~240	7d浸水抗压强度 \leq 10MPa
		沥青混凝土	40~60	
		沥青碎石	80~100	
下基层	C、D	水泥稳定粒料	150~200	7d浸水抗压强度 \leq 2MPa
		石灰粉煤灰稳定粒料	150~200	7d浸水抗压强度 \leq 0.6MPa
		石灰碎石土	150~200	7d浸水抗压强度 \leq 0.6MPa
	E、F	水泥稳定粒料	150~200	7d浸水抗压强度 \leq 2.5MPa
		石灰粉煤灰稳定粒料	150~200	7d浸水抗压强度 \leq 0.8MPa

表3 各结构层材料参数

材料类型	模量/强度 (MPa)	泊松比
水泥混凝土	5.0 (28d抗折)	0.15
水泥稳定碎石	3447.38	0.20
贫混凝土	4826.33	0.20
级配碎石	250~350	0.35
土基	103.42	0.40

表4 选用机型及飞机运行架次情况表

Airplane Information

No.	Name	Gross Wt. tonnes	Annual Departures	% Annual Growth
1	S-10	4.536	11,000	4.00
2	Hawker-800	12.483	11,000	4.00
3	Challenger-CL-604	21.863	11,000	4.00
4	B737-300	63.503	1,000	0.00

表5 选用机型及飞机运行架次情况表

Airplane Information

No.	Name	Gross Wt. tonnes	Annual Departures	% Annual Growth
1	S-10	4.536	11,000	4.00
2	Hawker-800	12.483	11,000	4.00
3	Challenger-CL-604	21.863	11,000	4.00
4	S-25	11.340	11,000	4.00
5	SuperKingAir-B200	5.711	11,000	4.00
6	SuperKingAir-350	6.849	11,000	4.00
7	Shorts-360	12.338	11,000	4.00
8	Shorts-330-200	10.387	11,000	4.00
9	Saab 340B	13.154	11,000	4.00
10	RegionalJet-700	32.885	11,000	4.00

表6 1m材料价格表

材料	水泥稳定碎石 (6%水泥用量)	级配碎石	沥青稳定碎石	贫混凝土
价格 (元/m ³)	240	140	650	300

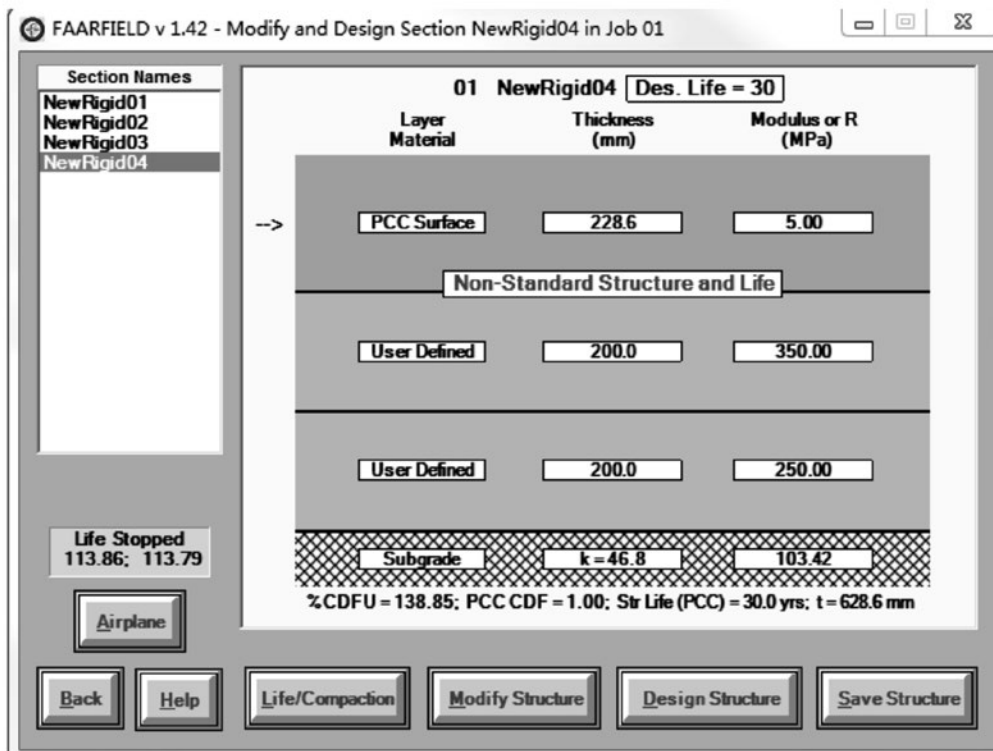


图 计算结果图

构设计（道面设计年限30年），选取以下3种路面结构组合：①水泥混凝土面层+18cm水泥稳定碎石+18cm水泥稳定碎石+20cm级配碎石；②水泥混凝土面层+18cm贫混凝土+18cm水泥稳定碎石+20cm级配碎石；③水泥混凝土面层+20cm级配碎石上基层+20cm级配碎石下基层+16cm粒料垫

层。面层抗折强度采用5.0MPa，泊松比0.15，其余各结构层模量选用FAA软件默认，各结构层参数详见表3（级配碎石上基层模量取上限，下基层模量取下限），选用机型及飞机运行架次（3种通用航空机型及一种客机）见表4。

计算得出，设计年限内，同种机型及飞机

运行架次作用下, 结构组合①所需面层板最小厚度为229.9mm, 组合②所需面层板最小厚度为217.9mm, 组合③所需面层板最小厚度为301.2mm。

2.4 通用机场基层结构推荐

(1) 推荐结构组合分析。选取道面结构层组合为水泥混凝土面层+20cm级配碎石上基层+20cm级配碎石下基层, 各结构层材料参数同表3, 具体机型及飞机运行架次选用见表5(均为通用航空机型)。

计算结果见图。经计算, 在该种情况下, 满足设计年限内道面使用要求的道面板厚为228.6mm, 即: 采用级配碎石做通用机场水泥混凝土道面基层结构, 从受力上是可行的。且可考虑在级配碎石层与道面板间增加一层功能层——沥青碎石封层等, 以改善层间接触。

(2) 推荐结构经济性情况。参考现有北京地区工程材料市场经济情况, 有: 在料源充足的情况下, 级配碎石材料相对价格更优(注: 表中仅为材料价格, 未计入人工及机械台班费)。

综上, 结合本章2.1~2.3, 有: 对于通用机场飞行区水泥混凝土道面, 当经济条件允许时, 宜采用水泥稳定碎石/水泥稳定砂砾类/二灰稳定碎石做道面基层材料; 考虑水泥稳定土、石灰土等易干缩和冷缩, 产生较多裂缝, 可将其用作通用机场道面底基层使用; 石灰土不用于潮湿地段; 考虑通用机场具有的机型小、年起降架次少等特点以及水泥混凝土道面自身的刚性较强, 在机场建设地料源充足、但经济条件受限时, 可采用级配碎石做道面基层材料。

3 总结

(1) 对于机场水泥混凝土道面, 从材料性能讲, 有结合料的基层材料整体性能优于无结合料的, 沥青稳定碎石、沥青混凝土材料性能优于刚性基层(贫混凝土、碾压混凝土等), 刚性基层材料性能优于半刚性材料;

(2) 交通等级极重、特重、重的水泥混凝土道路、以及飞行区技术指标较高的道面, 对基层材料的要求均较高, 普遍采用沥青稳定类、贫混凝土、水泥稳定碎石材料做道面基层;

(3) 同等条件下, 进行水泥混凝土道面结构设计时, 满足设计年限的面板最小厚度要求由大

至小依次为级配碎石基层道面板>水泥稳定碎石基层道面板>贫混凝土基层道面板;

(4) 通用机场机型小、年起降架次少, 在料源充足、但建设经济条件受限时, 可采用级配碎石材料做道面基层。

参考文献

- [1] 蒋应军. 多级嵌挤骨架密实二灰碎石组成设计方法研究[J]. 重庆交通大学学报: 自然科学版, 2010, 29(5): 732-736.
- [2] 庄传义. 基于加速加载响应的柔性基层沥青路面设计指标与参数研究[D]. 长安大学, 2012.
- [3] 张晨晨, 王旭东, 钱振东, 陈剑华. 半刚性基层材料不同模量试验与分析[J]. 公路交通科技, 2017, 34(6): 53-60.
- [4] 马银华, 李远厂, 谷建义. PPF水泥稳定砂砾的收缩及低温性能研究[J]. 公路交通科技, 2015, 32(2): 60-67.
- [5] 申爱琴. 道路工程材料[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.
- [6] 黄晓明. 路基路面工程[M]. 5版. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2017.
- [7] 中华人民共和国行业标准. 公路水泥混凝土路面设计规范(JTG D40-2011). 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [8] 中华人民共和国行业标准. 民用机场水泥混凝土道面设计规范(MH/T5004-2010).
- [9] 中华人民共和国行业标准. 民用机场飞行区技术标准(MH 5001-2013).

工业厂房低压无功补偿相关参数计算

■ 史金春 [电气]

摘要: 在低压无功补偿设计中,通常负荷计算得出的电容补偿容量为实际输出容量,而采购安装时需明确额定容量,若将此容量当作安装容量体现在设计中会造成在大负荷情况下无功补偿容量不足,功率因数无法满足国家规范标准要求。因电容器实际输出补偿容量与运行电压、串联电抗器电抗率有关,而电抗率与电网背景谐波有关。在工业厂房工程设计中应了解主要谐波源,选择合适电抗率的电抗器,确定电容器额定电压和额定输出容量。

关键词: 电抗率;容量;谐波;无功补偿

0 引言

在工业厂房用电设备中,电动机所占比重较大,电力传动设备越来越多,使得供配电系统功率因数较低,5、7次谐波为主要谐波源。为了降低配电路无功电流,降低无功损耗,提高电能质量,通常在厂房10/0.4kV变配电室所的低压端集中低压电容补偿,以此来减少对上级电网的污染和冲击,降低企业的电能损耗。

根据GB50227-2017《并联电容器装置设计规范》4.1.3条,低压并联电容器或电容器组,可采用三角形接线或星形接线方式。因为低压并联电容器多数是三相,内部已连接成三角形,电容器采用三角形接法时,任一电容器断线,三相线路仍能得到无功补偿,且电容器额定电压与电网电压相同,相比星形连接接线简单,输出容量较星形连接容量大。目前国内外无功补偿大多采用三角形接线方式。

本文设备参数计算基于并联电容器三角形连接方式,就无功补偿的一些基础参数作理论分析和公式推导,最后举例简要说明。

1 电容器电压参数计算

1.1 电容器实际运行电压 U_c

电容器串电抗器前,电容器电压为电网电压

U_n ,因电抗器电压与电容器电压反向,而电容器和电抗器两端电压为固定电网电压,因此串电抗器后电容器电压会抬高,电容器实际运行电压变

为 $U_c = \frac{U_n}{1-K}$,电压相量图如图1所示。

串电抗器之前:

$$\dot{U}_n = \dot{I} \frac{1}{j\omega C} = -j \dot{I} X_C = \dot{U}_c; \quad (1-1)$$

串电抗器之后:

$$\begin{aligned} \dot{U}_n &= \dot{I} \frac{1}{j\omega C} + \dot{I} j\omega L = j \dot{I} (-X_C + X_L) \\ &= -j \dot{I} X_C (1 - \frac{X_L}{X_C}) = \dot{U}_c (1 - K) \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \dot{U}_c = \frac{\dot{U}_n}{1-K}; \quad (1-2)$$

\dot{U}_n 式中 —— 并联电容器装置的母线标称电压 (kV);

\dot{U}_c —— 电容器的端子实际运行电压 (kV);

K —— 电抗率,为 $\frac{X_L}{X_C}$ 。

1.2 电容器额定电压 U_{CN}

选择电容器的额定电压可先由公式求出计算值,再从电容器标准系列中选取,并联三角形连

作者简介:史金春,男,高级工程师,2012年毕业于中国矿业大学(北京)电力系统及其自动化专业,现就职于航空工业规划飞机工程设计研究院。

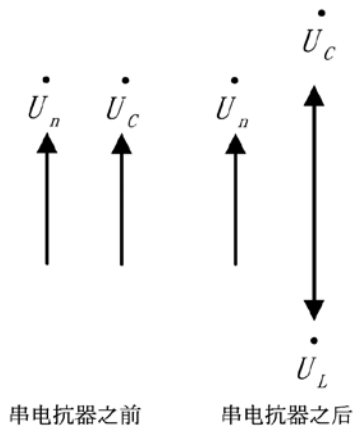


图1 并联电容器支路电压相量图

接电容器额定电压计算公式如下：

$$U_{CN} = \frac{1.05 \times U_n}{1 - K} = \frac{U_{SN}}{1 - K} = 1.05U_c \quad (1-3)$$

式中 U_n ——并联电容器装置的母线标称电压，即电容器和电抗器作为整体时两端标称电压(kV)；

U_{CN} ——电容器的额定电压(kV)；

U_{SN} ——并联电容器装置的母线平均电压(kV)；

K ——电抗率。

式中1.05的取值依据是电网最高运行电压一般不超过标称电压的1.07倍，最高为1.1倍，运行电压的平均值约为电网标称电压的1.05倍。

2 电容器装置容量计算

电容器装置由电容器和串联电抗器组成，电容器的额定容量为 Q_c ，电容器和电抗器作为整体装置时实际输出容量为 Q_{CN} 。

电容器容量计算公式为：

$$Q = \frac{U^2}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{U^2}{X_c} \quad (2-1)$$

电容器额定容量：

$$Q_{CN} = \frac{U_{CN}^2}{X_c} \quad (2-2), \text{符号含义同前文。}$$

电容器装置实际输出容量：

$$\begin{aligned} Q_c &= \frac{U_{SN}^2}{X} = \frac{(1.05U_n)^2}{X_c - X_L} \\ &= \frac{[1.05U_c \times (1 - K)]^2}{X_c \times (1 - K)} \\ &= \frac{(1.05U_c)^2 \times (1 - K)}{X_c} \end{aligned} \quad (2-3)$$

公式2-3与2-2相比得到：

$$\begin{aligned} \frac{Q_c}{Q_{CN}} &= \frac{(1.05U_c)^2}{U_{CN}^2} \times (1 - K) \\ \Rightarrow Q_c &= Q_{CN} \cdot \frac{(1.05U_c)^2}{U_{CN}^2} \times (1 - K) \end{aligned} \quad (2-4)$$

$$\begin{aligned} \text{或} \frac{Q_c}{Q_{CN}} &= \frac{(1.05U_n)^2}{X_c(1 - K)} \times \frac{X_c}{U_{CN}^2} \\ &= \frac{(1.05U_n)^2}{U_{CN}^2} \times \frac{1}{(1 - K)} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow Q_c = Q_{CN} \cdot \frac{(1.05U_n)^2}{U_{CN}^2} \times \frac{1}{(1 - K)} \quad (2-5)$$

3 串联电抗器参数计算

3.1 电抗器电抗率

串联电抗器的电抗值与电容器组的容抗值之比就是该组电容器装置的电抗率。

高压侧电网中的谐波通过变压器耦合到低压侧，可能会和无功补偿电容器发生串联谐振，使整个电网谐波放大。另一方面低压侧的感性负荷可能和无功补偿电容器发生并联谐振出现非常大的过电压。为了避免谐振的发生，需将共振点调节到没有谐振的频率上，一般通过无功补偿回路中串联电抗器实现。

在并联电容器—电抗器RCL供电回路中，并联电容器的第n次谐波阻抗 $Z(n)$ 计算公式为：

$$Z(n) = R_n + j(nX_L - \frac{X_c}{n}) \quad (3-1)$$

式中n——谐波次数；

R_n ——电容器支路电阻。

为了消除谐波，需使电容器支路呈纯阻性，

此时:

$$nX_L - \frac{X_C}{n} = 0, n^2 \cdot K = 1, K \text{ 为电抗率。}$$

当 $n^2 \cdot K = 1$ 时支路发生串联谐振, 所有的 n 次谐波电流都流入电容器回路, 电容器组将可能出现严重的谐波过负荷现象。

另在已知系统中存在一定 n 次谐波的情况下, K 取值不宜小于 $\frac{1}{n^2}$, 使得电容器回路就 n 次谐波而言呈感性, 从而避免接近于串联谐振和谐波放大。

当 $K > \frac{1}{n^2}$ 时, 电容器回路对 n 次谐波电流进行了分流, 注入系统的 n 次谐波电流得到了抑制, 这达到了串联电抗器消除谐波的目的。当 K 过大时, 会加大电抗器消耗的容性无功, 增加投资成本, 且对谐波电流的抑制效果不明显。工程上 K 值通常在 $\frac{1}{n^2}$ 的基础上 *1.1~1.5 倍的裕度系数。如谐波为 3 次谐波时, 电抗率取 12%~16%; 谐波为 5 次及以上时, 电抗率取 4.5%~6%。

根据规范《并联电容器装置设计规范》(GB50227-2017) 串联电抗器电抗率选择, 应根据电网条件与电容器参数经相关计算分析确定, 仅用于限制涌流时, 电抗率宜取 0.1%~1.0%。

3.2 电抗器容量

不论电容器为星形连接还是三角形连接, 就三相负载而言, 在容量一定的情况下, 其线电压与线电流均与三角形接法和星形接法无关, 可将电容器组作为一个整体看待, 此时流过串联电抗器和电容器组电流均为线电流。

$$\frac{Q_L}{Q_C} = \frac{I^2 X_L}{I^2 X_C} = \frac{X_L}{X_C} = K \quad (3-2)$$

式中 Q_L ——串联电抗器容量;

Q_C ——并联电容器输出容量;

K ——电抗率。

4 工程举例计算

某工业建筑低压配电系统, 主要谐波为 5、7 次, 无功补偿前计算有功负荷 800kW, 功率因数 0.82, 现将功率因数提高到 0.90, 确定并联电容器和电抗器参数 (电容器组采用角型连接如图 2 所示)。

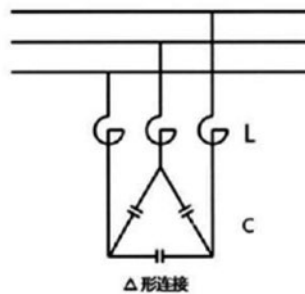


图2 并联电容器接线图

(1) 确定电容器额定电压及电抗率

因本建筑以 5、7 次谐波为主, 按文中计算分析及规范要求确定电抗率为 7%, 此时电容器计算实际运行电压约为 409V, 计算额定电压为 430V。同时电容器投入和谐波影响会引起的母线电压升高, 另电容器实际输出容量与其额定电压平方成反比, 额定电压过高会降低电容器“出力”。综合考虑, 当系统标称电压 380V, 串联电抗率 7% 时, 电容器额定电压为 480V。

(2) 确定电容器及电抗器容量

所需并联电容器实际输出容量 $Q_C = P_C (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$, 代入数据计算, $Q_C = 800 \times (0.698 - 0.484) = 171 \text{ kVar}$, 数据代入公式 2-4, 得电容器安装容量 Q_{CV} 为 214kVar。

根据公式 3-2, 电抗器容量为 $Q_L = 171 \times 7\% = 12 \text{ kVar}$ 。

参考文献

- [1] 机械工厂电容补偿中的参数选择, 机械工业第四设计研究院电气工程所高宏刚, 工业技术, 2011.1.
- [2] 串联电抗器抑制谐波的分析, 朱海貌, 夏晓波, 黄锐. 电力电容器与无功补偿, 2012年2月.
- [3] 并联电容器串联电抗率参数选择研究, 范彩杰. 华北电力大学.
- [4] 浅谈低压配电设计中电容补偿容量计算, 蓝娟.
- [5] GB 50227-2017. 并联电容器装置设计规范.
- [6] 工业与民用供配电设计手册 (第四版), 中国航空规划设计研究总院有限公司主编.

机场油库罐区储罐监控系统

■ 赵鑫 张琪 [电气]

摘要: 机场油库的储罐区是接收、储存和发出油品的重要区域,因其储存的物质具有易燃、易爆、带电危险等特点,一旦发生泄漏等事故,不仅造成经济损失和环境污染,而且还可能引发大火、爆炸等恶性事故,给人们的生命财产带来重大的损失,甚至给国家带来灾难性的后果。因此设计安全科学的罐区储罐监控系统具有重大的意义。本文根据机场油库油品储运的工艺特点及要求,对机场油库罐区储罐监控系统进行一个简单的介绍。罐区储罐监控系统通过传感器采集储罐的液位、温度等数据,准确实时反映储罐工艺参数值及变化趋势,及时发布报警信号,并可远程连锁控制电动阀、泵等设备,完成生产调度管理和库存管理,为上层管理网络提供监控数据。

关键词: 机场油库; 罐区储罐监控系统

1 引言

近年来,随着我国航空产业快速持续发展,各机场运行航班量不断上升,机场用油的需求不断增加,使得机场油库在储运管理方面的工作日益繁重,而储罐中的油品具有易蒸发、易燃烧、易爆炸、带电危险等特点,因此,及时准确地监测油罐储油状态,对提高机场油库的生产效率、安全等级有重大的积极意义。

罐区储罐监控系统对于油库安全监控的重要性不言而喻,稳定可靠的罐区储罐监控系统不仅能准确的检测油罐储油数量,为油库的生产调度经营管理提供实时数据,同时也是保护环境和安全生产的重要举措。

2 罐区储罐监控系统

2.1 系统功能

罐区储罐监控系统作为油库信息管理系统

的主要组成部分,是实现油库安全监控、库存管理、生产调度的重要基础。罐区储罐监控系统实时监测处理储罐液位、温度、压力等数据,其主要功能包括:

(1) 罐区系统查阅:系统存有罐区系统总貌、系统构成及系统平面布置图,以便在操作员需要时调出查阅。

(2) 罐区整体工作状态监控:罐区各种油品的库存体积、重量、罐区收付、输转工作状态、报警状态及位号等。

(3) 罐区动态流程监控:通过组态软件把收油、发油、倒罐等全部储运流程输入计算机,实时显示和监控动态工作流程。

(4) 储罐工作状态监控:储罐状态、储罐的液位、油水界面、罐内油品容积、油品重量、储罐剩余容积、温度、压力、油品标准密度、静态锁定误差等。

(5) 储罐参数监控:油罐名称、位号、罐总高度、罐总容积、液位安全上下限、液位设置上下限、温度设置上下限、压力设置上下限等。

(6) 静止储罐静态锁定监控:自动对静止的

作者简介:赵鑫,男,助理工程师,2014年毕业于南京理工大学自动化专业,现就职于中航建设机场规划设计研究院。

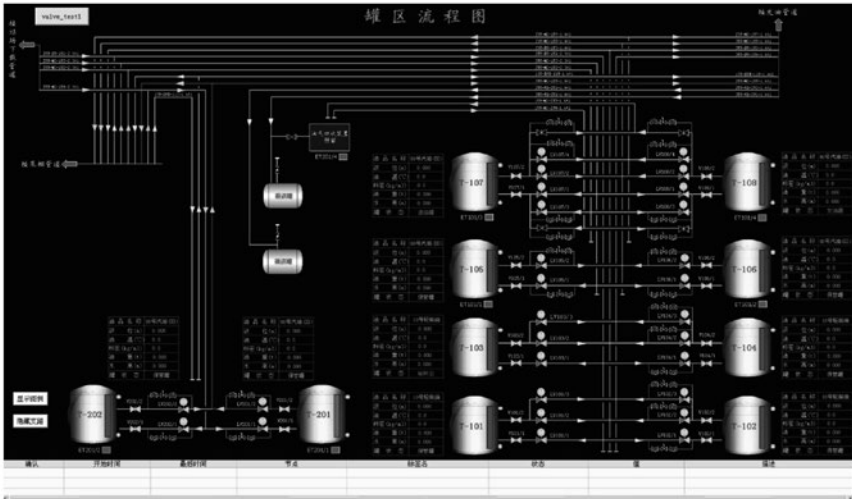


图1 储罐流程图



图2 罐区巡检图

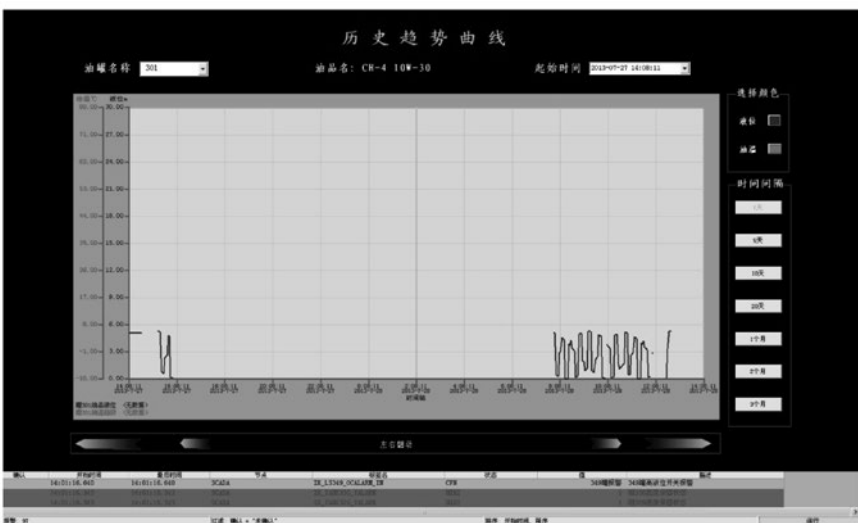


图3 历史趋势曲线图

储罐实施静态锁定监控。

(7) 趋势监控：从动态数据库可以调出任何一个参数或设备状态的历史记录，查看其现时或历史趋势。对于连续的参数来说可以查看其一直延续到当前的历史曲线，对于开关量或设备状态，可以查看其改变记录。

(8) 系统故障辅助诊断与远程诊断：在系统发生故障时给予提示，可以调出系统的设备布置图、系统运行状态参数，以便了解系统工况、帮助判断故障性质及位置。

(9) 存货体积及质量计算：依据液位测量值和系统保存的储罐容积表，系统计算储罐存储的油品的体积及储罐剩余的空容积，再依据其密度计算存货质量，把同一罐区内存储相同油品的各个储罐有存货累加，可以算得罐区本油品的存货量及总的空容积。

(10) 报表管理

系统通过对储罐各种参数的采集及计算，按生产管理需要能够自动生成各种管理报表，如库存日报、月报、年报等，同时要支持各种查询及报表转换功能；自动生成各种操作日志。

(11) 报警与响应

当自动控制系统检测到生产装备或控制系统有故障时，系统以声、光等方式提醒操作者注意或请求其干预，也包括如何方便操作者查看生产系统的报警状况、报警事件及报警记录。报警是一种非正常的工作状态，系统以被动的方式呈现监控对象，由监控者选择监控画面。当系统发生报警时，系统要主动呈现报警画面、请

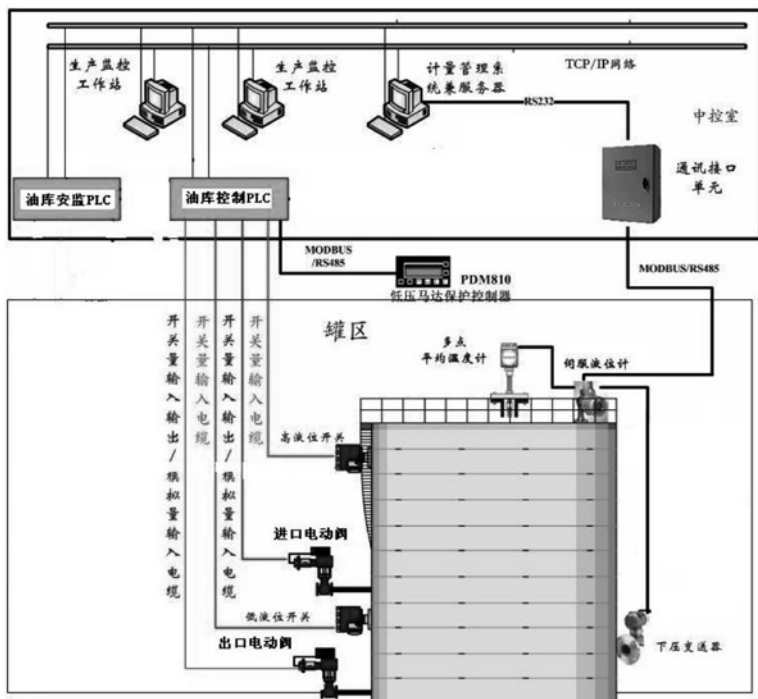


图4 油罐监控系统结构框图

求操作者干预。

2.2 储罐仪表系统

目前，机场油库油罐通常配置伺服液位计（或雷达液位计、磁致伸缩液位计等）、多点热电阻温度计及用于密度计算的压力或压差变送器现场仪表，温度变送器和压力（或压差）变送器的标准模拟信号预先就地接入液位计（或罐旁显示单元），再通过总线接入计量操作站，实现油罐液位、温度、差压数据的实时采集，从而计算得到罐内油品体积、密度和质量，同时通过以太网上传至库区信息管理系统。

储油罐的高高、低低液位检测仪表一般选用可靠性较高的音叉开关，其输出的报警信号直接接入PLC中，并与罐区的收油、发油等流程连锁，主要实现高高液位连锁关闭储罐进口管道开关阀，低低液位连锁停泵并关闭出口管道开关阀的控制方案。

2.3 阀控系统

罐区阀门监控系统是罐区储罐控制系统的重要组成部分，在油库安全生产作业与安全安防中发挥着重要作用，是预防储罐出现溢罐、吸憋事故的重要措施。

所有储罐罐根阀（进口与出口）电动执行机构的5个状态信号（全开、全关、电机动、本地指

示和监视继电器）通过生产监控PLC控制柜的DI模块采集获得，阀门开度信号通过PLC控制柜的AI模块采集获得；通过DO模块用户可以远程控制（开、关、停）储罐罐根电动阀。

用户亦可本地电动控制和手动控制电动阀门。储罐罐根电动阀和高低液位开关实现安全连锁联动：进油时，如果液位升至高液位开关，发生高液位开关报警，进油口电动阀将自动关闭，以防冒顶事故；出油时，如果液位降至低液位开关，发生低液位开关报警，出油口电动阀将自动关闭，以防吸憋事故。

3 结束语

安全稳定的罐区储罐监控系统不仅能准确的检测油罐储油量，为油库的生产调度经营管理提供实时数据，同时也是保护环境和安全生产的重要举措。本文通过对机场油库罐区储罐监控系统的介绍，将罐区储罐监控系统的功能、仪表设置及阀门控制进行了简单分析，希望能为储罐监控系统的实际应用提供具理论支持。

参考文献

- [1] 张华莎. 石油化工油品储罐自动化仪表及工程设计[J]. 石油化工自动化, 2015,(06).
- [2] 张银. 油库自动化分布控制系统的应用与研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2012.
- [3] 沈尔诚. 油库综合自动化系统[J]. 工业控制计算机, 2005 (11): 40-41.
- [4] 张之栋. 油库自动化系统的设计与实现[D]. 华东理工大学, 2014,(01).
- [5] 姜娜. 提升油库管理系统安全性[J]. 石油与装备, 2009 (4): 88.

无人机配送站选址规划算法研究

■ 吴潇钰 张姿 [规划]

摘要: 我国的无人机产业发展形势大好,无人机物流也不断发展,但是无人机配送体系建设尚未完善。无人机配送站的选址规划问题是影响无人机物流运行体系和运行成本的关键问题,如何科学的规划无人机配送站,对全国无人机物流体系建设、无人机物流产业全面发展以及地方产业结构调整与升级均具有重要意义。本文结合无人机物流发展现状,应用带容量约束的聚类选址方法对无人机配送站选址规划进行了相关研究,以期对具体的规划设计工作提供支持。

关键词: 无人机;容量约束;K-means聚类算法;配送站选址

1 选题背景与研究意义

我国无人机产业发展迅猛,市场规模快速扩张。2017年我国民用无人机产业产量达到290万架,较上年增长67.0%。截至2017年底,全国注册无人机数量已达20万架,且增长势头强劲。在无人机物流领域,以京东、顺丰为代表的电商物流企业已经在局部区域开展了试点运营工作,2017年8月,京东在陕西获得了全国首张覆盖省域范围的无人机空域批文,截至2018年7月,京东无人机物流配送已在陕西、海南、青海、江苏、广东等地开展了常态化配送。2018年3月,顺丰获得了国内首张无人机航空运营(试点)许可证,顺丰物流无人机正式开始商业化运营。同时,无人机物流行业环境不断完善,利好政策不断出台,国务院制定的《中国制造2025》规划要求推进无人机产业化快速发展;2018年2月中国民用航空局发出的《低空联网无人机安全飞行测试报告》对引导

全球无人机产业快速健康发展,推动物流无人机低空数字化产业具有重要意义;2018年5月民航局出台的《民航局关于促进航空物流业发展的指导意见》明确支持物流企业利用航空器、无人机提供航空物流解决方案;2019年2月国家发改委等部委发布的《关于推动物流高质量发展促进形成强大国内市场的意见》中提到鼓励在具备条件的地区探索发展无人机配送等创新模式,推动发展物流新服务模式;2019年3月中国民用航空西北地区管理局印发的《西北地区民用无人驾驶航空器物流配送经营活动管理办法(试行)》提出起飞重量不大于150kg的物流无人机可以在西北4省内跨省运营,代表着物流无人机商用首次可能突破省际区域限制,为物流无人机向全国运营迈进奠定了重要基础。

作为现代物流配送方式的一种智能化替代手段,物流无人机产业发展是对现有物流体系、运输模式的一次变革,虽然国内的无人机产业发展形势大好,并且在国际处于领先水平,但是无人机配送体系建设尚未完善。如何更有效率地规划

作者简介:吴潇钰,女,助理工程师,2017年毕业于浙江大学管理科学与工程专业,现就职于中航建投综合规划研究院。

最后一公里配送环节中的无人机配送站选址，对于降低配送环节的物流成本、提高配送效率及市场竞争力具有重要作用。在此背景下，开展物流无人机配送站选址规划研究，对全国无人机物流体系建设、无人机物流产业全面发展以及地方产业结构调整与升级均具有重要意义。

2 方法选择与研究内容

2.1 K-means聚类算法

2.1.1 K-means聚类算法简介

聚类是指将物理的或抽象的对象分组为由类似对象组成的多个类（簇）的过程，在地理、经济学、生物学、电子商务等各个领域具有广泛的应用。由聚类所生成的簇是一组数据对象的集合，类簇可以描述为一个包含密度相对较高的点集的多维空间中的连通区域，同一类别中的数据对象彼此性质相近，不同簇中的对象性质相差较大。

聚类算法包括层次聚类算法、划分式聚类算法、基于密度和网格的聚类算法等。K-means算法作为划分式聚类算法的一种，能对大型数据集进行高效分类。K-means算法以 k 为参数，把 n 个对象分成 k 个簇，使簇内具有较高的相似度，而簇间的相似度较低。该算法的核心思想是找出 k 个聚类中心，使得每一个数据点和与其最近的聚类中心的平方距离和被最小化^[1]。

2.1.2 K-means聚类算法描述

算法输入： n 个需求地址： $I = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$ ；拟建配送站数目： k ；

算法输出： k 个配送站地址： $NC = \{(NC_{1x}, NC_{1y}), (NC_{2x}, NC_{2y}), \dots, (NC_{kx}, NC_{ky})\}$ ；每个地址属于的类别；每个类别中包含的需求地址数量；

目标函数： d 取得最小值 $\text{Min}(d)$ 。

算法流程：

(1) 初始聚类中心：在 I 中任意选择 k 个需求地址作为聚类中心；

(2) 分配地址数据到各个类中：依次计算 I 中的每一个需求地址 (x_i, y_i) 与每一个聚类中心 (NC_{kx}, NC_{ky}) 之间的距离 $d(I_i, NC_k)$ 。对于每一个需求地址 (x_i, y_i) ，选择 $d(I_i, NC_k)$ 的最小值，将该需求地址分配到该聚类中心所在的类中；

(3) 更新聚类中心：在每个类中，计算所有属于这个划分的坐标均值，将坐标均值作为该类的新的聚类中心 (NC_{kx}, NC_{ky}) ；

循环执行步骤(2)、步骤(3)，直至循环次数达到最大循环次数为止。

2.2 方法选择原因

选择K-means聚类算法进行配送站选址的原因如下：

首先，前人的研究中存在基于K-means聚类算法进行公共设施^[2]及农村物流配送中心^[3]等问题的选址研究，为本文提供了理论支撑。

其次，聚类方法^{[4][5]}，可以实现多配送站同时选址。由于K-means聚类算法的计算原理是将具有相似属性特征的数据聚成一类，通过计算各个数据点和聚类中心的欧式距离判断相似程度，将数据归为该数据距离最近的，即最相似的聚类中心所属的聚类划分中。而在处理二维空间地理数据时，K-means算法计算的各个数据间的欧式距离即为现实世界中各个地址间的欧式距离，即直接考虑了实际的距离最近，将地址划分到各划分中。因此K-means算法在每一轮迭代过程判断输入的数据和各个聚类中心的相似程度时，等同于判断的是各个需求地址数据离各个配送站的距离远近；最终迭代的结果最优目标为各个数据到聚类中心距离总和最小，等同于判断的是各个需求地址到配送站的距离总和最小。因此，K-means算法求解得出的聚类中心坐标结果即为配送站的经纬度位置，该算法对于解决配送站选址问题具有天然适用性。

最后，利用聚类算法可以充分考虑对未来路线规划的影响。根据聚类的特性，将地理上相近的需求地址聚成一个类，有助于未来路径规划时取得较短的配送距离，为进一步的线路规划奠定良好的基础。

2.3 研究内容

基于现实中无人机物流发展实际情况，在无人机配送站的选址规划时，不仅需要以成本最小、效率最高为目标，还需要考虑配送站的最大容量约束。在无人机配送站选址时需要考虑最大容量约束，是因为过高的单量会造成配送站卸货时间过长，影响配送过程，并且单量过高会造成场地难租，管理难度太大，因此需要在聚类时考虑每一类的最大容量约束限制，更贴近企业配送运营的实际情况。

因此本文在基本的K-means聚类算法基础

上,增加各个类的容量约束建立模型,并研究了带容量约束的K-means聚类选址算法,从而应用于无人机配送站选址,以期对具体的规划设计工作提供支持。

3 无人机配送站选址问题提出

3.1 现实问题

目前京东的物流配送体系主要由物流仓储中心、配送站、快递员组成,当客户下达订单后,直接从最近的物流仓储中心发货,由小型货车将商品运送到最近的配送站,再由快递员实现配送服务。为提升物流效率、加快商品周转,京东搭建了无人仓、无人车、无人机智慧物流体系,其中无人机拟打造“干线-支线-末端”三级智慧物流航空体系^[6]。京东无人机的末端配送模式为:无人机配送站在收到支线无人机运来的货物后,在内部实现自动中转分发,再由末端无人机完成配送。

同时,顺丰也规划了“大型有人运输机+支线大型无人机+末端小型无人机”三段式空运网,顺丰无人机的末端配送模式为:货物从中转场运送到地面无人机运营基地后,由无人机代替地面交通工具运输,完成从基地到末端站点的配送任务。

京东的无人机配送站和顺丰的地面无人机运营基地的选址问题都需要考虑末端的需求地址分布情况和配送站的最大容量限制情况,科学设立无人机配送站的位置,对于降低配送环节的物流成本、

提高配送效率及市场竞争力具有重要作用。

3.2 数学模型

根据现实问题,无人机配送站的选址问题抽象转变为数学模型即为:一片区域中共有 n 个需求地址需要送货,要在该区域中建设 k 个配送站($k < n$)满足这些地址的配送需求,每个配送站存在最大容量约束。现求如何选择配送站的位置,使得所有需求地址到为其服务的配送站的距离之和最小,即成本最小。

用数学语言描述带容量约束的配送站选址问题,如下:

$X = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$ 表示 n 个需求地址的地理位置坐标; $NC = \{(NC_{1x}, NC_{1y}), (NC_{2x}, NC_{2y}), \dots, (NC_{kx}, NC_{ky})\}$ 表示 k 个配送站的地理位置坐标;假设需求地址 (x_i, y_i) 由第 k 个配送站为其提供服务,则它们之间的距离为 $d_{i,k} = \sqrt{(x_i - NC_{kx})^2 + (y_i - NC_{ky})^2}$, $Nr = \{Nr_1, Nr_2, \dots, Nr_k\}$ 表示各个配送站的容量,要求 $Nr_i \leq \text{Capacitylimit}$, $i = 1, 2, \dots, k$ 。则各个需求地址到为其服务的配送站的距离之和为 $d = \sum_{i=1}^n d_{i,k}$,求各个配送站 NC 的位置,使 d 取得最小值 $\text{Min}(d)$ 。

4 无人机配送站选址算法设计

4.1 算法设计思路

由于各个类别有容量限制,因此需要在基础的K-means算法步骤上加以改进,将容量约束限制加入需求地址的分配及调整过程中,得到带容量约束的聚类选址算法。

在K-means聚类过程中考虑容量约束主要体现在两方面:

首先,在初始聚类过程中,分配各个需求地址到各类的过程需要考虑容量限制:在不含最大容量限制的聚类算法中,如果

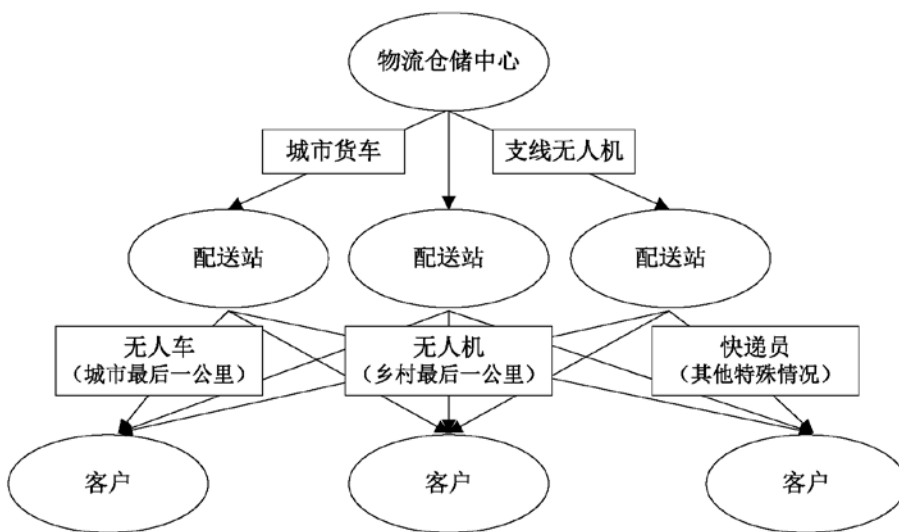


图1 京东物流配送体系

需求地址离某聚类中心距离最近, 直接将该地址分配给该类别。而在考虑最大容量限制的聚类算法中, 如果需求地址离某聚类中心距离最近但该聚类容量已满时, 在离它第二近的类容量未满足的前提下, 则考虑将它分配到离它第二近的类中, 否则考虑离它第三近的类, 以此类推。

其次, 在后续的调整、交换, 优化聚类结果过程中需要考虑容量限制: 在计算每个地址数据应该属于的类别后, 如果有地址数据分错了所属的类别, 如果该地址数据应当属于的类别容量允许, 则将分错类的数据直接移动到应当属于的类别中; 如果该地址数据应当属于的类别容量不允许, 则考虑是否交换该地址数据应当属于的类别中的点到原来该数据属于的类别中, 从而在满足类的容量约束的条件下做出是否交换的决策。

在考虑两点是否交换时, 需要以结果更优为标准, 如果更优则交换。本文采用Ward方法作为判断聚类效果优劣的标准。Barreto, S. and C. Ferreira, et al. (2007)^[7], Kaufman, L., Rousseeum, P. J. (1990)^[8], 高祖新等(1999)^[9], 都提到了衡量两个类之间的相似度的方法, 其中Ward在多种情况下聚类效果较好。

Ward方法强调同类元素的内部差异应该很小, 而不同类的元素之间的差异应该很大, 可用于找出地址数据集合中的相似元素, 适合以区域为样本的集群聚类, 从而辅助分区的决策。

Ward方法的基本思想源自方差分析, 是用于判断两个类的不相似度的标准之一。类分得越正确, 同类数据内的离差平方和应该越小, 而类与类之间的离差平方和应该越大。两个类越不相似, 即类越分开, 则聚类结果越好。

Ward方法的计算方法为:

$$d(A, B) = \text{SEQ}(A+B) - \text{SEQ}(A) - \text{SEQ}(B) \\ = \frac{|A||B|}{|A|+|B|} [d(m_A, m_B)]^2 \quad (4.1)$$

其中I为点集 (x_i, y_i) 。 m_A, m_B 为类A、类B的重心, $d(m_A, m_B)$ 为类A、类B的重心间的欧式距离。 $|A|、|B|$ 为类A、类B中数据的个数。

$$m_A = \left(\frac{\sum_{I \in A} x_i}{|A|}, \frac{\sum_{I \in A} y_i}{|A|} \right), \\ m_B = \left(\frac{\sum_{I \in B} x_i}{|B|}, \frac{\sum_{I \in B} y_i}{|B|} \right) \quad (4.2)$$

$$\text{SEQ}(A) = \sum_{I \in A} [d(I, m_A)]^2 \quad (4.3)$$

在本文中, 如果类A、类B中的地址数据交换后产生的两个新类类A'、类B'的 $d(A', B')$ 比交换前两个类的 $d(A, B)$ 有所增加, 则说明聚类效果更优, 以此来判断是否交换地址数据。

4.2 算法描述及流程

算法输入: n个需求地址: $I = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$ 拟建配送站数目: k; 各个配送站的容量限制CapacityLimit;

算法输出: k个配送站地址: $NC = \{(NC_{1x}, NC_{1y}), (NC_{2x}, NC_{2y}), \dots, (NC_{kx}, NC_{ky})\}$; 每个地址属于的类别; 每个类别中包含的需求地址数量;

目标函数: d取得最小值Min(d)。

算法流程:

(1) 考虑最大容量限制的初始聚类

① 初始聚类中心: 根据地址数据的总数目, 将数据分为k类, 每类随机选择1个数据作为初始聚类中心, 即配送站。

② 分配地址数据到各个类中: 对于每一个地址数据, 计算该地址数据和全部聚类中心的距离并将距离排序, 在类的容量限制下, 将每个地址数据分配给离它距离最近的类中, 更新该类现有的容量。如果容量已满, 不能继续分配入地址数据, 则将该地址数据分配给离该地址第二近的类中, 更新第二近的类的容量, 以此类推, 遍历全部地址数据, 让每一个地址数据都有属于的类的结果。

③ 更新聚类中心位置及容量: 对于每一类, 找到属于它的所有地址数据, 计算它们的地理位置坐标平均值, 作为下次计算的聚类中心, 并统计每一类的数据个数, 更新现有的容量。

循环执行步骤②、步骤③, 直至循环次数达到最大循环次数为止。

(2) 对所有的数据进行再次判断, 寻求最佳聚类结果

① 对于每个地址数据, 将当前它属于的类记为r, 计算它离各个聚类中心的距离, 排序;

② 然后将该地址数据指定给离它最近的聚类中心:

1) 如果离它距离最近的类就是类r, 说明该地址数据分配对了类别, 不需要调整, 直接跳出循环;

2) 如果离它最近的聚类中心的类别容量允许, 直接将该点移动到离它最近的距离中心所属

的类别中。更新该地址数据原来属于的类 r 和移动入的类两个类的聚类中心坐标及容量个数；

3) 如果离它最近的聚类中心的类别容量不允许, 考虑将离它最近的聚类中心中的地址数据移动到类 r 中, 与之交换: 计算离它最近的类中各个点离类 r 的聚类中心的距离并排序。挑选离类 r 距离最近的地址数据, 考虑两点交换后, 是否结果更优, 如果更优则交换, 跳出循环, 如果结果没有改进, 则不交换这两点, 继续考虑距离类 r 第二近的地址数据与之交换后结果是否更优, 如果更优则交换, 跳出循环, 否则不交换并继续考虑离类 r 第三近的地址数据, 以此类推, 直到达到指定循环次数(取指定循环次数和离它最近的类的容量中的最小值作为指定循环次数)。更新类 r 和移动入的类两个类的聚类中心坐标及容量个数。

③ 如果移动或交换了, 则跳出循环, 移至⑤, 考虑下一个地址数据。

④ 如果没有发生移动或交换, 则考虑离它第二近的聚类中心, 重复步骤②, ③, 如果还没发生移动或交换, 则考虑离它第三近的聚类中心, 以此类推。

⑤ 考虑下一个地址数据, 重复以上全部步骤。

⑥ 循环到最大循环轮数或对于全部数据都没有发生移动了, 则循环结束。

(3) 输出结果

重新计算目前的各个类别容量及各聚类中心坐标, 计算每个数据地址所属的类别并保存。

带容量约束的K-means聚类选址算法流程图如图2、图3所示。

5 结语

选址问题是广泛应用于交通运输、物流系统优化等领域的重要研究问题, 研究科学的无人机配送站选址规划问题有利于物流集约化发展, 提高经济效益, 促进地方产业结构调整与升级, 拥有较强的应用背景和理论价值。本文针对无人机配送站的选址问题特点, 设计了带容量约束的聚类选址算法, 为无人机选址规划提供了理论参考。在未来的规划实践中, 需要考虑空域问题和地区实际情况, 从减少成本和贴近实际的角度着手, 收集一段需求较平稳的时期内(非促销、节日期间)需求地址的经纬度数据, 输入拟建的区域内无人机配送站数量以及各个配送站的容量限

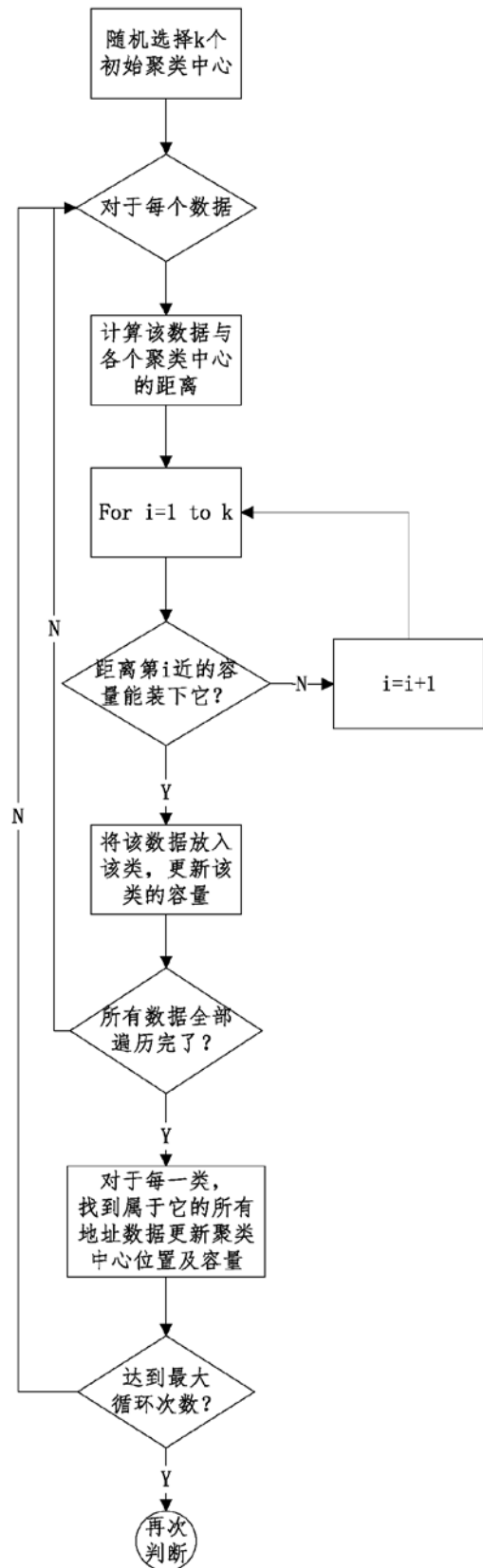


图2 带容量约束的聚类选址算法初始聚类流程图

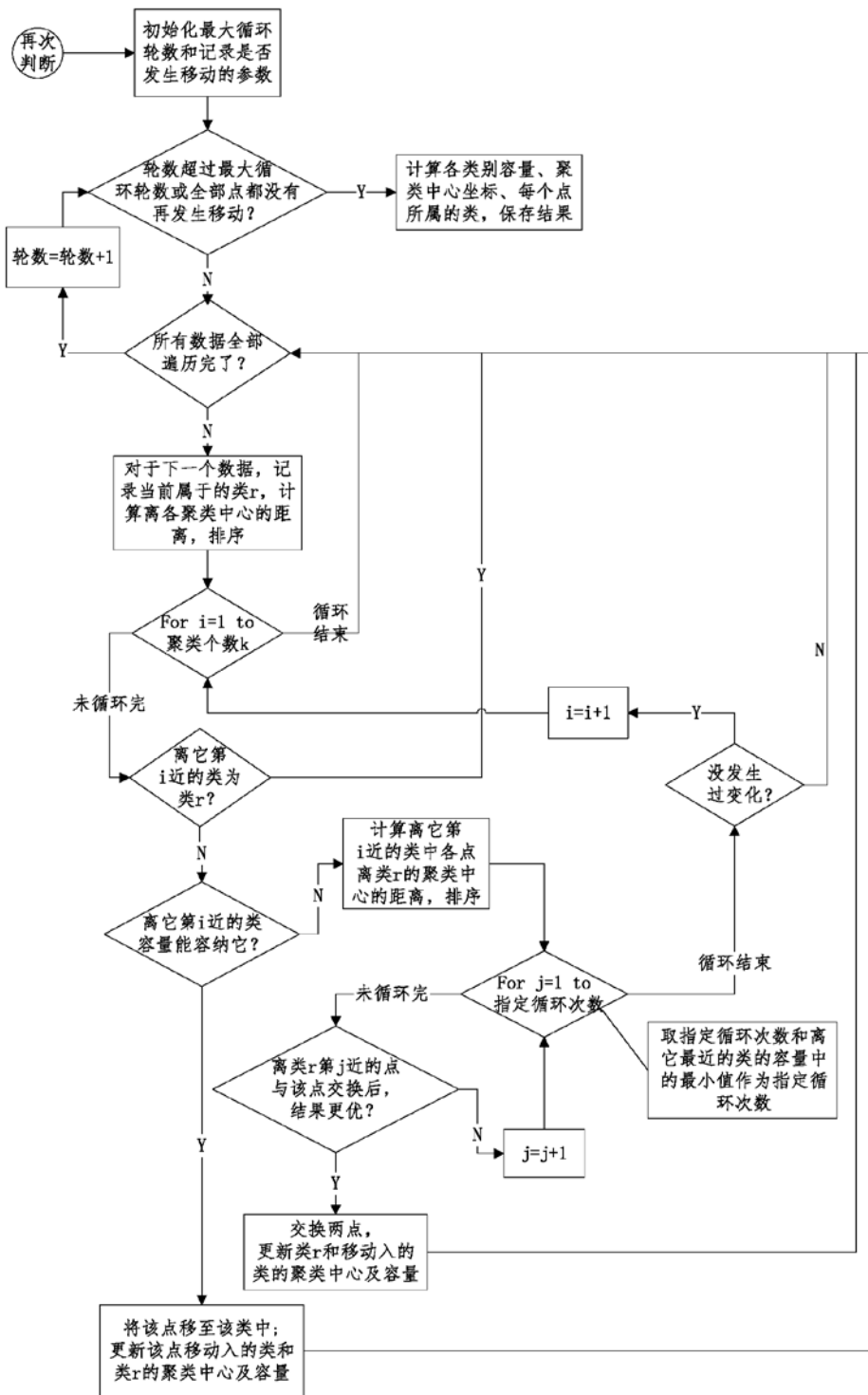


图3 带容量约束的聚类选址算法再次判断流程图

制, 即可运用本文提出的算法进行实证研究, 具有较强的实际应用价值。

参考文献

[1] 孙吉贵, 刘杰, 赵连宇. 聚类算法研究. 软

件学报, 2008, (01) : 48-61.

[2] 束传伶. 基于空间聚类的数据挖掘技术在公共设施选址中的应用研究. 博士学位论文, 合肥工业大学, 2010.

[3] 郑斌, 杨华龙, 唐法浙. 县域农村物流配送中心选址优化模型及算法. 大连海事大学学报, 2011, 37(1): 98-102.

[4] 龙雪琴, 张培林. 基于灰色聚类的物流中心选址. 物流科技, 2007, 30(7): 115-118.

[5] 王鹏飞. 基于聚类算法的快递服务网点布局研究. 博士学位论文, 成都理工大学, 2016.

[6] 曹珺雯, 佟京昊, 曹雁林. 国内物流无人机配送体系模式研究[J]. 中国物流与采购, 2018(14).

[7] Barreto, S. and Ferreira, C. et al. Using clustering analysis in a capacitated location-routing problem. European Journal of Operational Research, 2007, 179 (3): 968-977.

[8] Kaufman, L., Rousseeum, P.J. Finding Goups in Data John Wiley & Sons Inc. New York: An Introduction to Cluster

Analysis. 1990.

[9] 高祖新, 尹勤. 聚类分析及其在人口研究中的应用. 南京人口管理干部学院学报, 1999, 4: 010.

收发组件厂房设计要点分析

■ 孙星 [工艺]

摘要: 收发组件的微组装生产厂房在工业建筑中属于洁净建筑, 必须深入研究该类产品生产工艺的特点和各项技术要求, 了解目前国内外同类生产厂房的通行做法与发展趋势, 从中找出原理性的技术特点, 指导收发组件厂房的设计工作。

关键词: 收发组件; 厂房工艺

1 规划思路

收发组件(T/R)生产厂房在工业建筑中属于洁净建筑, 其生产厂房的主要特征包括:

1) 收发组件厂房因其生产产品对空间环境特殊的洁净度要求, 厂房设计技术措施首先应保证生产空间的洁净度, 对进入生产空间的人流、物流以及设备等均应做净化和无尘处理。

2) 收发组件生产过程中工艺流程一般不是单向的, 通常会出现多次交叉反复。在设计上则要求空间的洁净度对各工序均能满足生产要求。

3) 收发组件的更新换代快, 其生产工艺和设备也在不断更新, 要求厂房工艺布局有一定的灵活性和可变性, 以适应工艺和产品不断的更新换代要求。

2 收发组件洁净生产厂房设计要点分析

(1) 厂址选择

由于对洁净度要求较高, 洁净厂房位置的选择对生产的成品率也会有影响, 因此收发组件厂房的厂址应在大气含尘和有害气体浓度较低、

自然环境较好的区域, 应远离铁路、码头、飞机场、交通要道以及散发大量粉尘和有害气体的工厂、贮仓、堆场等有严重空气污染、振动或噪声干扰的区域, 远离严重空气污染源, 应布置在厂区内环境清洁、人流、物流不穿越或少穿越的地段。

(2) 工艺

洁净室人净要求为: 入口→换鞋→更换外出服→洗浴→清洁走廊→二次洗浴→换洁净服→风淋室→洁净生产区; 洁净室物净要求为: 入口→原料库→粗洁净→传递窗→精洁净→传递窗→洁净生产区→传递窗→包装→成品库。根据收发组件生产的工艺流程及对公共环境的要求, 厂房的工艺布置应考虑如下原则:

1) 工艺平面布置应合理、紧凑。洁净室或洁净区内只布置必要的工艺设备, 以及有空气洁净度等级要求的工序和工作室。

2) 在满足生产工艺和噪声要求的前提下, 空气洁净度等级高的洁净室或洁净区宜靠近空调调节机房, 空气洁净度等级相同的工序和工作室宜集中布置。

3) 洁净室内要求空气洁净度等级高的工序应布置在上风侧, 易产生污染的工艺设备应布置在靠近回风口位置。

4) 应考虑大型设备安装和维修的运输路线, 并预留设备安装口和检修口。

(3) 土建

作者简介: 孙星, 男, 工程师, 2013年毕业于北京理工大学通信与信息系统专业, 现就职于航空工业规划电子工程设计研究院。

1) 总体结构

洁净厂房的建筑平面和空间布局应具有适当的灵活性。

2) 屋顶系统

洁净室的屋顶系统有两种典型的系统：一是轧制铝支架加现场制作的净压箱、风道；另一种是预制的整体式净压箱、风道和支架。

3) 墙系统

洁净室系统通常采用预制的模块化设计。由轧制铝框架构件及内部为蜂窝结构的铝板组成，在一些不太精密的使用场合，也可以使用“黏制”墙系统。

4) 地板系统

洁净室地板系统的材料通常有静电释放功能或涂有ESD级环氧树脂涂层。

5) 微振控制

振动可以破坏灵敏的工序。在结构选型、隔振缝设置、壁板与地面及顶棚连接处，应按微振控制要求设计。

(4) 空调系统

空调系统中的循环和新风系统是洁净厂房的温湿度控制的关键系统。收发组件工厂洁净室是一个为生产制程和人员提供支持和保护的复杂系统。洁净室所需洁净等级的维持取决于其空调系统(供风、排风和循环)、洁净室离子平衡、静电控制系统，以及洁净室运行规范。

1) 气流方式

洁净室内气流可以是不同组合的送风和回风，具体风口设置需考虑单向流和紊流的不同影响。

2) 温湿度控制

区域温控器可以将每个洁净区域控制到设计温度，通过驱动风道上安装的再冷再热盘管来满足室内温度状况。每个洁净室的相对湿度由恒湿器控制。

3) 压差

洁净室保持正压非常必要，可以保持洁净室不受周围区域的污染，控制污染流动方向，防止区域间交叉污染，以为维持所需的温、湿度。

(5) 给排水

洁净厂房内的给水排水干管应敷设在技术夹层或技术夹道内，也可埋地敷设。洁净室内管道宜暗装，与本房间无关的管道不宜穿过。管道外表面可能结露时，应采取防护措施。循环附加水量为使用水量的30%~100%。纯水管道的管材必

须满足生产工艺对水质的要求。纯水和冷却水管道应预留清洗口。排水系统应根据工艺设备排出的废水性质、浓度和水量等特点确定。有害废水经废水处理，达到国家排放标准后排出。

(6) 电气

洁净厂房的主要生产工艺设备由专用变压器或专用低压馈电线路供电，有特殊要求的工作电源宜设置不间断电源(UPS)。净化空调系统用电负荷、照明负荷应由变电所专线供电。洁净室内的配电设备，应选择不易积尘、便于擦拭的小型暗装设备。洁净室内的电气管线宜暗敷，穿线导管应采用不燃材料。洁净区的电气管线管口及安装于墙上的各种电器设备与墙体接缝处应有可靠的密封措施。洁净室内照明光源，宜采用高效荧光灯。

(7) 弱电

洁净厂房应设置净化空调系统等的自动监控装置。洁净室净化空调系统风机宜选用变频调速控制。洁净厂房应根据工艺生产要求设静电防护措施。

3 总结

收发组件制造业生产对环境要求较为严格，由于工艺条件所决定，许多工序必须在恒温、恒湿、洁净的洁净厂房内完成，室内环境的各项参数均须自动调节，以保证随时处于最佳状态。因此，收发组件洁净厂房的设计需要充分考虑人、物流净化方式、建筑结构构造的密封性、厂房气流控制方式、温湿度控制、微振控制等问题，采用系统化的规划思路对收发组件厂房进行规划设计，才能保证厂房建成后可以达到收发组件生产厂房对环境的特殊要求，满足生产需求。

电气工程结算审核常见问题分析

■ 王丹爽 宋素春 [工程造价]

摘要: 工程结算是工程项目实施过程中的重要组成部分,是反映工程进度和考核经济效益的重要指标。本文主要针对民用建筑工程中的电气专业部分,从工程审计方的角度,并结合具体工程案例,对结算审核中常见问题进行了总结和归纳,为日后的电气工程结算审核工作提供参考和借鉴。

关键词: 建筑电气;工程结算;审核

工程结算即工程价款结算,是指发承包双方依据合同约定,对合同工程在实施中、终止时、已完工后进行的合同价款结算、调整和确认,包括期中结算、终止结算、竣工结算^[1]。

结算所对应的工程部分施工结束并验收合格后,施工单位将汇总的结算资料上报至监理及甲方。甲方可自行或委托造价咨询公司进行审核,与施工单位核对工程结算。结算审核的范围为工程建设阶段的工程价款,包括建筑工程费,安装工程费等。其中,电气部分是安装工程中的重要组成部分,做好电气工程审核工作,能够有效控制安装工程造价。

1 电气工程概述及特点

民用建筑中电气工程主要包括供配电系统、配变电所、应急电源、低压配电、线路敷设、常用电气设备配电、电气照明、建筑物防雷、接地安全、火灾自动报警系统、安全防范系统、建筑设备监控系统、综合布线系统、通信系统、有线

电视和卫星接收系统、广播系统、扩声系统、会议系统、公共信息显示系统、信息网络系统、智能化集成系统、机房工程^[2]。

电气工程具备专业性强、系统复杂的特点,包含众多设备和管线,而且还和其他专业工程存在交叉,例如主体结构施工中一般需要预留电气的配管、空调系统中设备的电源线和控制线、消防系统中的火灾报警和火警广播均属于电气工程部分。除此之外,尤其弱电工程,各项新技术层出不穷,因此需要审计人员具备较强的学习能力。

2 电气工程结算审核常见问题

2.1 合同约定问题

一个工程项目的合同文件中往往会约定承包范围、技术标准和要求、发包人和承包人的义务、计价依据和原则、合同价款的调整、变更的计价等内容,施工合同是工程结算的重要依据。审核人员需注意合同条款中关于工程价款及变更的约定内容,如对暂估价、措施费、暂列金、税金等能够较大影响工程价款的相关说明,以及变更的计价程序和方式。

作者简介:王丹爽,女,助理工程师,2017年毕业于哈尔滨工业大学管理科学与工程专业,现就职于中航建投合约商务部。

在电气工程的结算审核中,审核人员务必注意总包单位和分包单位的施工范围问题,避免在审核过程中出现费用的重复计取。关于总包单位和分包单位的工作界面问题,在招标文件及施工合同中会有明确约定。以某办公楼项目为例,总包单位负责变配电所至楼层配电箱柜的全部内容,精装修分包单位负责精装修区域配电箱出线的全部内容,含配电箱的供应及安装,配电箱的进线电源由总包单位实施。

2.2 结算资料问题

工程结算资料是结算审核的重要依据,主要包括合同、招标文件、投标文件、竣工验收合格证明、图纸、设计变更单、工程洽商记录、签证、材料及设备认质认价单、会议记录等。以图纸资料为例,当图纸内容与实际施工不符,即对于图纸未表示而实际存在的施工内容、以及图纸已表示而实际未施工的内容,若施工单位在结算中上报,均应进行扣减。

2.3 工程量问题

固定单价合同条件下的建设项目,结算时其分部分项工程量可以按实调整。施工单位为了自身利益,容易出现工程量重复申报、多报等问题,需对分部分项工程量进行审核。

对于重复申报问题,若工程结算以竣工图作为依据,需要核查变更洽商的内容是否已经体现在竣工图中,对竣工图中已包含的部分进行扣减。需注意的是,在结算审核过程中,需要与现场管理人员进行沟通,核实是否存在减项洽商或签证,若施工单位没有上报此内容,审核人员需将该部分进行扣减。

2.4 价格问题

某些施工单位申报的结算资料中,采用虚报主材、设备价格的方式提高综合单价,审计人员需按照合同约定的方式进行调整,并要熟悉市场价格。

部分施工单位错误套用定额子目来提高综合单价。如北京市2012通用安装工程预算定额中钢制槽式桥架中已经包含了“支吊架安装”的内容,但施工单位在定额子目中仍然添加了此内容,导致综合单价较高;如在室外电缆埋地敷设的项目中,电气定额中有电缆沟挖填土的内容,而施工单位选用土建定额中的挖填土,抬高单价,因此工程审计人员需要深刻理解定额中的各项内容,保证结算审核的正确性。

3 电气工程结算审核案例

3.1 工程概况

该工程为某商务酒店,建筑面积约为45000m²,地上21层,地下共2层,总高度为91.25m。配套功能含餐厅、休闲健身、酒吧、餐厅、宴会厅、会议室、酒店客房等。

该项目电气工程的承包范围为动力、照明、防雷接地及等电位、柴油发电机工程、夜景照明、变配电工程、弱电工程。承包单位除施工总包外,还有弱电、消防、二家精装修分包,存在交叉施工,过程中洽商、签证内容存在与合同约定的承包范围不符,同一事件几家单位重复申报的情况。

从审计角度,需要重点关注结算资料是否上报齐全、总分包单位的工作界面、结算方式、工程价款调整方法等。该工程合同形式为固定单价合同,结算以竣工图为中标部分的审核依据,费率与中标一致、措施费总价包干。审核时首先将结算文件按中标文件的费率和措施费进行调整,并对比出合同增减项和综合单价差异,对合同新增项需有工程洽商等佐证资料,综合单价应与中标文件保持一致。其次,对竣工图部分进行工程量的审核,需计算准确。再次,对设计变更、工程洽商、签证的审核需考虑现场的实际情况、责任划分,注意扣除已并入竣工图结算的内容。

3.2 审核过程遇到的问题及解决方案

该项目的电气工程结算需要对总包单位和多家分包单位(包括精装修分包单位、弱电分包单位等)提交的结算文件进行审核,核对过程中遇到以下几种典型问题。

(1) 弱电分包单位上报的结算中包含暗配管,而总包合同中已明确写出“总包单位完成的工作:弱电系统墙体內的暗埋管,接至弱电线槽”,依据合同约定,弱电暗配管应由总包实施,但该部分实际由弱电分包单位完成,总包并没有做。

最后的协商处理方式:按合同约定计入总包结算价款中,并相应将此部分内容从弱电结算中扣减。

(2) 精装修分包单位上报了7736m的消防电配管,总包和精装单位均表示自己实施了此部分的工作内容,分包方的说辞为:精装图纸较原施工图发生更改,且总包单位已做好的配管无法疏

通，因此将消防电配管全部按图重新敷设。

经核查，总包和分包施工合同中均约定：

“所有的消防电配管均属于总包方的施工范围”，故结算审核时将精装单位上报的该部分内容全部予以扣减。

(3) 弱电工程的某份现场签证计量单注明首层已安装完成并试运行的单门磁力锁，经甲方要求更换为双门磁力锁。结算审计单位核查因无设备移交单，可视作更换下来的单门磁力锁由施工单位处置，因此需相应扣减主材费。后续施工单位及时提供了设备移交单，所以最后未扣减主材费。

(4) 弱电工程的某份工程洽商中，说明酒店的-1层、6层、7层、8层、21层增加紧急启动报警系统，并附上了相应的图纸资料，具体的洽商内容如图1所示。

弱电单位的结算申报金额约为2.6万元，而此部分内容已并入竣工图部分结算中，不再单独计取费用。以-1层竣工图的游泳池走廊区域为例，已包含该洽商的内容，如图2所示。

(5) 精装修分包单位的电气结算中申报的风机盘管调控器包含了设备购置费和安装费，如图3所示。

而通风空调专业的结算文件中，风机盘管的清单描述中已经注明“设备（含液晶温控器及手动跑风阀）安装及调试”，如图4所示，因此出现了重复申报的问题。

此时有两种解决方案，一是设备专业中已经包含风机盘管温控器的安装及调试，电气专业不能增加；二是从设备专业全部扣减，在电气专业中增加此内容。如何处理需要根据合同施工范围

图号	洽商内容
L1223S6-1-4-22 L1223S6-1-4-28 L1223S6-1-4-32	<p>应酒店管理公司对报警系统的使用需求，经建设单位及设计单位同意，现将对-1层、6层、7层、8层、21层增加紧急启动报警系统，具体内容如下：</p> <p>(1) -1层健身房、健身房走廊、游泳池走廊等4个位置（A10-2/3轴）增加紧急启动报警系统；（详见图纸附件1）</p> <p>(2) 6-8层无障碍房间休息区等3个位置（A7/8-1-3/4轴），增加增加紧急报警系统；（详见图纸附件2）</p> <p>(3) 21层总统套房主人房、主人房卫生间、夫人房、夫人房卫生间等4个位置（A7/8-1-6/10轴）增加紧急启动报警系统；（详见图纸附件3）</p>

图1 弱电变更洽商07-06-C2-001

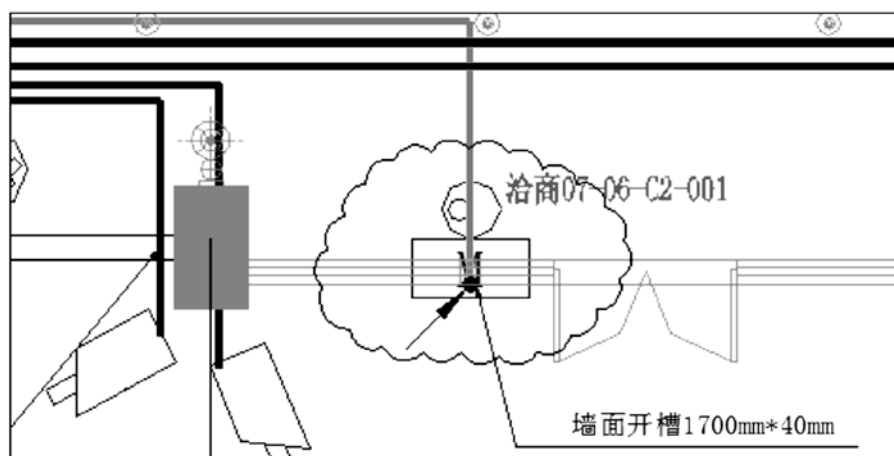


图2 -1层竣工图游泳池走廊区域

编码	类别	名称	项目特征	单位	含量	工程量	单价
	部	开关、插座					
030204031105	项	小电器	[项目特征] 1. 名称: 风机盘管调控器 2. 型号: 250V、10A 3. 安装方式: 暗装 [工程内容] 1. 安装	个		51	
5-112	定	风机盘管调控器安装		台(个)	1	51	11.95
340201	主	风机盘管调控器		个	1.02	52.02	220

图3 电气专业风机盘管温控器项目特征界面

编码	类别	名称	项目特征
030901005011	项	风机盘管	1. 形式: 吊顶式 2. 规格: FCU-10 3. 设备(含液晶温控器及手动跑风阀)安装及调试 4. 设备支架制作、安装及表面除锈后涂防锈漆、调和漆各两遍 5. 铝箔保温软管接口制作、安装 6. 减振器安装

图4 通风空调专业风机盘管项目特征界面

确定,如是一个单位实施,则需要两个专业自行平衡。本工程中,电气部分和通风空调部分由同一家施工单位实施,因此最后的处理方式是,将此部分的费用从电气专业扣除,计入通风空调专业中。

4 小结

对于合同约定问题,审核人员需仔细阅读招标文件及施工合同,熟知工程价款的约定和各方工作界面等;对于结算资料问题,审核人员需在结算前做好工程结算资料的收集和记录,保证结算工作有据可依;对于工程量问题,审核人员除了要保证自身计算准确,还需核查洽商/签证与竣工图重复的内容,以及减项洽商/签证;对于价格问题,审核人员需熟悉信息价、市场价,以及正确理解工程定额,保证综合单价的准确性。

工程结算审核是整个建设项目实施过程中非常重要的环节,不同专业的结算原则和流程基本一致,但是依据专业特性也分别具备不同的特点。其中电气工程结算因系统较为复杂,专业性较强,结算审核人员更需提高自身综合素质,熟练掌握专业知识和合同法规,做到认真细致,勤于调研,尊重实际,保证审核严格合理。做好结

算审核工作有助于控制工程建设的成本,对解决施工签证索赔、减少结算工作中的争议具有积极作用。

参考文献

- [1] GB50500-2013 建设工程工程量清单计价规范[S].
- [2] 09JSCS-D 全国民用建筑工程设计技术措施-电气(2009年版)[S].

常用地漏的功能特性及设置要点

■ 陈达 李力军 [给排水]

摘要: 地漏用于排除地面积水,是现代建筑排水系统中的重要附件,但因易产生堵、漏、溢、臭等问题而广受诟病。本文对建筑给排水设计中常用的地漏进行了分类整理,分析了各类地漏的功能特性及相应的适用场所,并结合居住建筑和公共建筑中的典型应用场所总结了地漏的设置要点,以进一步优化地漏的设计选用,减轻其对建筑品质的影响。

关键词: 地漏;排水系统;功能特性;适用场所;设置要点

地漏是一种排除地面积水或同时接纳器具排水的装置,由篦子、本体、排出接口等部件组成。在现代建筑设计中,地漏是一种常用的排水附件,合理的地漏设置能及时排除地面积水,保持室内环境的干燥卫生,但地漏作为连通排水管道系统和建筑室内空间的重要通道,如果设计、选购、安装、使用不当,很容易产生堵、漏、溢、臭等问题,严重影响建筑品质,甚至危害使用者身体健康。

建设部行业标准《地漏》(CJ/T186-2018)于2018年12月1日正式执行,规定了地漏的主要性能指标和应用条件,本次修订还增加了大流量专用地漏等新型地漏,进一步规范了地漏的设计、生产和使用。本文借《地漏》(CJ/T186-2018)

标准更新之机,对常用地漏的功能特性进行了分析,并结合建筑给排水设计中的问题和经验,对不同类型地漏的适用场所进行了总结,对居住建筑和公共建筑中典型应用场景下的地漏设置要点进行了简要论述,以进一步优化地漏的设计选用,减轻其困扰。

1 地漏的性能指标

1.1 最小排水流量

地漏的最小排水流量指地漏在规定淹没深度下单位时间内能排除的水量,《地漏》(CJ/T186-2018)对最小排水流量的要求见表1。

地漏本身空间结构狭小,承担的是含各种杂质污水的排放,且标准工况下允许的淹没深度仅为15mm,而现代建筑环境下一般要求地面无积

作者简介:陈达,男,助理工程师,2017年毕业于哈尔滨工业大学市政工程专业,现就职于中航建设建筑设计研究院。

表1 地漏最小排水流量

公称尺寸	地面排水 (L/s)	大流量专用地漏 (L/s)	
	淹没深度15mm	淹没深度15mm	淹没深度50mm
DN50	0.8	—	—
DN75	1.0	1.2	2.4
DN100	1.9	2.1	5.0
DN150	4.0	4.3	10.0

注1: 防返溢地漏、侧墙式地漏的流量数据宜为表中同规格地漏的80%;
注2: DN75多通道地漏流量不宜小于1.25L/s;
注3: 住宅淋浴间的地漏 (DN50) 最小排水流量不小于0.6L/s。

表2 有水封地漏地漏最小水封容量

公称尺寸	最小水封容量 (mL)
DN50	160
DN75	400
DN100	860
DN150	1860

水, 意味着地漏要在极低排水势能的作用下通过狭窄的流道排除杂质和污水, 因此, 最小排水流量反映的地漏排水能力就尤为重要, 选用地漏时首先要考虑地漏的最小排水流量是否符合使用场所的排水需求。

1.2 最小水封容量

最小水封容量指有水封地漏在水封比为1.0、水封深度为50mm、流道截面净宽为10mm时的水封存水容积, 《地漏》(CJ/T186-2018)对有水封地漏最小水封容量的要求见表2。

水封是排放污水时最有效的密封措施, 但其致命缺陷在于水封容易在蒸发作用、毛细作用、自虹吸作用和压力波动等情况下失水而失效, 因此, 保证一定的水封容量, 防止水封过快损失是实现有水封地漏密封性的重要技术措施, 也是选用地漏时的重要参考指标。

1.3 水封稳定性

水封稳定性指地漏内部构造在压力波动下保持一定水封深度的能力。《地漏》(CJ/T186-2018)规定“有水封地漏在达到水封深度时, 当排水系统受到 $\pm(400 \pm 10)$ Pa时, 持续10s, 地漏中的剩余水封深度不应小于25mm, 防虹吸式地漏剩余水封深度不应小于35mm”。

在一定范围内, 水封深度增加, 地漏的抗压力波动能力增加, 这也是要求有水封地漏水封深度不应低于50mm的重要原因。在选用地漏时, 尤其是在瞬时大流量排水器具或管道附近连接地漏时, 水封稳定性指标需要着重考虑。

1.4 自清能力

自清能力指地漏内部构造防止杂质沉积的能力。《地漏》(CJ/T186-2018)规定“有水封地漏的水封部件不可拆卸清洗时, 地漏的自清能力应能达到90%以上; 水封部件可拆卸清洗时, 地漏的自清能力应能达到80%以上”。

地漏排放的污水中往往含有泥砂、毛发、铁锈等各种杂质, 容易在地漏狭窄的流道内沉积造成堵塞, 且地漏内部潮湿的环境容易附着滋生微生物, 进一步堵塞流道。因此, 防止杂质附着或沉积的自清能力是表征地漏防堵性能的关键指标, 选用地漏时要选择自清能力强、流道简单光滑、没有毛刺裂纹的地漏。

1.5 其他要求

合格的地漏应排水通畅、密封可靠, 此外, 地漏本体及篦子在实际应用场景中还应有良好的可调节性及防水、防腐、耐热、承压等性能。

2 地漏的分类

2.1 按密封形式分类

地漏用于排除地面积水, 但同时会连通排水管道系统, 在水流冲击和压力波动下可能使排水管道内的臭气、污水、蚊虫等进入室内, 严重影

响使用。因此,地漏在及时排除地面积水的同时还需要有效的密封措施以隔断排水管道系统和室内空间,实现排水通畅和密封可靠两大矛盾功能的平衡。

根据地漏本体有无密封及密封形式,地漏主要可分为直通式地漏、水封式地漏、机械密封式地漏、混合密封式地漏。

直通式地漏本体未设置水封或其他附件,流道简洁宽阔,排水通畅但没有防臭防虫功能,因此一般要在地漏排出口下接存水弯配合使用。

水封式地漏本体设有存水弯或其他形式水封,利用地漏内部的存水构造形成密封来隔断排水管道系统和室内空间,可分为传统钟罩(扣碗)式地漏及改进形式如隔板式地漏、漏斗式地漏。传统水封式地漏,如钟罩(扣碗)式地漏,流速小、流程长、环形缝隙流道狭窄弯曲,水力条件差而易堵塞,当满足水封深度不小于50mm的要求时,地漏整体高度较高而面临各种安装问题,且地漏水封比 <1 ,很容易失水而失去密封作用。《建筑给水排水设计规范》(GB50015-2003(2009年版))规定“严禁采用钟罩(扣碗)式地漏”,《地漏》(CJ/T186-2018)规定“严禁采用钟罩式水封结构和插入管道的水封芯”,但其局部改进型仍然存在大量使用,因为其结构简单成本低且在保证一定水封深度的情况下,水封的密封性是目目前最可靠的。隔板式地漏在地漏本体上设置隔板取代钟罩形成水封,湿周减小、流道加宽,水力条件得到改善。漏斗式地漏进一步将隔板改成偏心/同心漏斗形导流管插入存水槽中形成水封,地面积水通过导流管排入存水槽,然后通过存水槽上端的泄水口排入下水管道。这种地漏直径减小、水封加深,导流管与空气接触面积小而减缓了水封蒸发,但水封容量和流道尺寸都显著减小,排水和防堵塞性能改进不大。

机械密封式地漏本体设机械密封部件替代水封,机械密封部件在排水时依靠积水压力自动开启,不排水时在回复力的作用下自动闭合。根据机械密封部件的回复力可分为重力式地漏、弹力式地漏、磁力式地漏、浮力式地漏和袋式地漏等,其中袋式地漏依靠橡胶瓣(管)的弹性形变自动闭合。机械密封式地漏没有存水构造,解决了水封容易失效以及水封构造带来的堵塞和流量限制问题,但机械密封部件本身结构复杂,在污水杂质侵蚀下的耐用性、密封性都没有可靠

保证。机械密封部件回复力取决于积水产生的压力,而标准排水工况下的允许积水深度仅为15mm,产生的压力很小,很难通过匹配回复力来控制排水时机,回复力偏高会加深地面积水,回复力偏低又难以保证机械密封性能。因此,采用机械密封部件替代水封还需要进一步研究,《地漏》(CJ/T186-2018)也明确规定“不应用机械防干涸部件替代水封”,《建筑给水排水设计规范》(GB50015-2003(2009年版))规定“严禁采用活动机械密封替代水封”。

混合密封式地漏结合了水封和机械密封两种形式,既具有水封良好的密封性,又能利用机械密封部件减缓水封损失,在水封失效后仍能保证一定的密封效果,但两者结合后结构复杂性增加,不利于安装,同时水力条件更加不利,会进一步降低排水流量、增加堵塞的可能性,还需要进一步的研究。

2.2 按构造形式分类

具有一种及一种以上特定功能,满足使用场所的排水和密封要求的非直通式地漏称为专用型地漏,根据其内部构造形式可分为防干涸地漏、注水地漏、密闭式地漏、网框式地漏、防返溢地漏、多通道地漏、侧墙式地漏、同层排水地漏、防虹吸式地漏、大流量专用地漏等。

防干涸地漏在地漏篦子之下、水封之上设有机械密封构件,排水时利用积水压力自动打开,不排水时自动关闭,防止水封直接与外部空气接触,可以有效减缓水封蒸发,属于一种混合密封式地漏。

注水地漏在水封前端设有注水控制器,可通过注水控制器自动定时定量地将清水注入地漏水封,以在地面长时间不排水的情况下仍然保持有效的水封深度,同时还具有自动清洗和真空破坏功能。

密闭式地漏篦子上设密封盖板,不带水封,排水时人工打开盖板,不排水时人工关闭。

网框式地漏在地漏篦子下设有拦截排水中杂物的网框,网框可拆卸清洗且孔隙面积不小于排出接口断面积的2.5倍。

防返溢地漏在本体内部设置防溢球或逆止阀,当排水管道内有污水返溢至地漏内时,防溢球浮起或逆止阀关闭堵住地漏进水口,防止污水进一步溢出地面。

多通道地漏本体有多个进水接口,可以同时接纳地面排水和器具排水。

侧墙式地漏的地漏篦子为“L”型，地漏本体无水封，沿垂直方向安装在侧墙上，可侧向排除地面积水。

同层排水地漏整体高度较小，排水出口为横向，排出管不穿越楼层，可直接安装在室内地面垫层内。

防虹吸式地漏在水封内设虹吸破坏孔或在排出口设排水堰结构，可以减轻瞬时大流量排水时的自虹吸、负压抽吸作用，减缓地漏水封损失。

大流量专用地漏本体不设水封，接纳排水流量大，其篦子开孔面积不小于排出接口断面积的2.5倍。

2.3 按制造材料分类

根据本体材质的不同，地漏主要分为铸铁地漏、塑料地漏、铜质地漏和不锈钢地漏。铸铁地漏承载能力强、不易损坏，早期广泛应用于住宅、酒店、办公楼、学校等场所，但不够美观、容易生锈。随着塑料和高分子材料的发展，塑料地漏逐渐得到应用，其价格低廉且耐污水腐蚀，但易磨损、易变形。目前市场上最常用的是铜质地漏和不锈钢地漏，金属材质具有较强的承载能力，经过电镀处理后具有很强的耐腐蚀性，且质感高档美观。

3 地漏的适用场所

选用地漏时应分析使用场所的排水和密封需求，根据使用场所的排水形式、排水流量、排水时间间隔、水质污染程度、清洁要求、排水管道系统的排水顺畅性、压力稳定性以及排水点附近的排水器具布置等选择具有合适构造形式的地漏，以达到最好的使用效果。

直通式地漏的排水、防堵性能优于其他同型号专用型地漏，但用于污废水排水系统时需要在排水出口连接存水弯配合使用，适用于公共建筑中下层房间允许布置排水管道的场所，如公共卫生间、设备机房等，也可用于临时排除地面雨水而不需设存水弯的场所，如公共建筑中有飘雨的走廊或连廊、住宅建筑的阳台等。

防干涸地漏可有效延长水封失效时间，适用于地面不需要经常排水、排水流量小但排水相对清洁的场所，如管道井、居住卫生间、设备机房等。

注水地漏经注水控制器自动用清水补充水封，安装复杂、造价较高，适用于不经常从地面

排水但对水封稳定性有严格要求的场所，如高档住宅/酒店的卫生间等。

密闭式地漏需人工启闭密封盖板进行排水或密封，适用于地面排水较清洁但不经常排水或需要严格防止排水管道内气体、虫、细菌进入的场所，如工业企业洁净车间、管道技术夹层、管道井、手术室、病房卫生间等。

网框式地漏利用网框截留污水中的大颗粒杂质，可有效防止地漏和排水管道堵塞，网框需要定期拆卸清洗，适用于食堂、公共厨房、淋浴间、理发店等排水杂质多的场所。

防返溢地漏可防止排水管道系统内的污水因下游管道堵塞而返溢至地面，适用于地漏安装部位下游排水不畅、受排水管道内正压影响较大或瞬时排水流量、压力大于地漏接纳能力的场所，如多层（高层）建筑低层卫生间、洗衣机专用排水地漏等。

多通道地漏可以同时接纳地面排水和器具排水，但器具排水会在地漏处产生一定的噪音，适用于需要同时排除地面积水和其他器具排水的场所，或地面排水量小、排水间隔长、需要用附近器具排水补充地漏水封的场所，如公共建筑中的茶水间和居住卫生间中洗脸盆附近等。

同层排水地漏和侧墙式地漏的排水横管不穿越地漏安装部位的楼板，适用于下层房间不允许排水管道穿越或地漏安装部位下方没有布置排水管道的条件的场所，如住宅建筑中要求同层排水的卫生间、公共建筑中下层为电气房间、厨房、人防区间的卫生间或设备机房、公共建筑中地下室最底层建筑底板上的排水房间等。

防虹吸式地漏可有效减缓自虹吸或负压抽吸水封损失，适用于地漏的瞬时排水流量大或地漏安装部位附近有瞬时大流量排水器具、易产生负压抽吸的场所，如有浴盆、蹲便器的居住卫生间等。

大流量专用地漏在标准淹没深度下的排水流量高于其他地漏，尤其在淹没深度增加时排水流量显著提升，适用于设备机房明渠排水、水箱溢流排水、消防测试排水、地面冲洗排水、地库进出口排水沟及下沉庭院排水沟等瞬时排水流量大、地面允许淹没深度较高的场所。

4 地漏的设置

地漏只是建筑给排水系统中的小小一环，但

因地漏设置不当而引起的使用和卫生问题却层出不穷，直接地影响建筑品质。地漏的设置首先要明确需要设置地漏的场所，进一步根据设置场所的排水特性选择合适的地漏，然后根据排水器具的布置形式设置顺畅的排水管路将地漏排水接至排水立管。本节以居住建筑和公共建筑中典型的地漏应用场所为例，总结了地漏的设置要点。

《建筑给水排水设计规范》(GB50015—2003(2009年版))规定“厕所、盥洗室等需经常从地面排水的房间，应设置地漏”，“地漏应设置在易溅水的器具附近地面的最低处”。《住宅建筑规范》(GB50368—2005)规定“设有淋浴器和洗衣机的部位应设置地漏”。因此，地面可能产生水流的场所均需设置地漏，且地漏应设置在靠近排水点的最低处，典型场所如居住建筑中的卫生间、淋浴间、洗衣机附近、阳台及公共建筑中的服务间、卫生间、淋浴间、清洁间、茶水间、厨房、设备机房、水箱间、水暖管井等。

地漏设置场所的排水和密封要求不同，选用的地漏的构造形式和大小规格也不同。其中，不同构造形式的地漏的适用场所在上一节中已有论述，主要解决了何种场所设置何种地漏的定性问题，而地漏的大小规格则取决于使用场所的排水流量，主要解决地漏是否能及时排除地面积水的定量问题。卫生间地面一般设置DN50的地漏；家用淋浴间设置DN50的地漏，酒店淋浴间若采用大流量淋浴头建议设置DN75的地漏，公共淋浴间根据淋浴器数量确定；洗衣机附近设置DN50洗衣机专用排水地漏；空调机房设置DN50的地漏，当同时接纳其他清洗排水或消防测试排水时应放大地漏规格；接纳消防测试排水、水箱溢流排水、地面冲洗水、雨水的地漏不应小于DN100，并应复核地漏最小排水流量是否满足排水需求；公共厨房排水沟设置DN100或DN150的地漏。

以排水器具最为集中的卫生间为例，地漏布置原则如下：居住卫生间一般有洗脸盆、淋浴器或浴盆、座便器或蹲便器，应在淋浴器或浴盆附近设置地漏并找坡，地漏应优先单独连接至排水立管，没有条件时应优先将地漏连接至淋浴器或浴盆、座便器或蹲便器上游的横支管，并尽量远离淋浴器或浴盆、座便器或蹲便器等大流量排水器具，根据卫生器具布置形式，尽量保证排水管路顺畅；公共卫生间排水器具较多，一般在洗手盆台面下、小便器、清洁间拖布池、饮水机附近

设置地漏并找坡，就近连接至排水横支管。

5 结语

地漏虽小，却易产生堵、漏、溢、臭等问题而严重影响建筑品质，固然有目前的地漏产品良莠不齐、设计不完善的原因，但也反应出设计师没有给予足够的重视。首先应该熟悉表征地漏排水、密封、防堵性能的关键指标，结合水封地漏和机械密封地漏、直通式地漏和专用型地漏的功能特点，在排水特点和密封要求各异的排水区域选用合适类型和规格的地漏，并设置合理的排水管路，以充分利用地漏的排水和密封性能并尽量保证使用卫生、安全。

参考文献

- [1] CJT 186—2018 地漏.
- [2] GB 50015—2003 (2009年版) 建筑给水排水设计规范.
- [3] GB 50368—2005 住宅建筑规范.
- [4] 贺传政, 贺冠男. 钟罩式地漏构造性缺陷与改进[J], 给水排水, 2009, 35 (10) : 79—81.
- [5] 李小维. 典型地漏的性能分析及改进建议[J] 城市建设理论研究: 电子版, 2015(9).
- [6] 唐国丞, 李云贺. 地漏在排水系统中的设置研究——如何选择地漏[J], 给水排水, 2018, 54 (10) : 109—113.
- [7] 李云贺. 地漏在排水系统中的设置研究——如何设计地漏[J], 给水排水, 2018, 54 (10) : 114—116.

云南某超高层办公建筑空调系统设计

■ 康亚盟 孟凡兵 [暖通]

摘要: 本设计结合昆明市当地的气候特点及该超高层建筑使用功能, 综合比较后选定使用多联机(VRV)空调系统为建筑物供冷、供暖, 实现了不同朝向空调系统的独立控制, 适应房间负荷的各种变化, 满足了同一时间不同的冷热需求。本文还介绍了该项目多联机系统设计的特点, 阐述了超高层建筑多联机系统设计的注意事项。

关键词: 超高层; 多联机系统; 调节灵活; 独立控制

0 引言

近年来, 超高层建筑数量在我国迅速增长。超高层建筑由于层数多、人口密度大, 暖通空调对于改善建筑内部生活、工作环境起着举足轻重的作用。据统计, 空调系统能耗占整个超高层建筑总能耗的35%以上, 因此, 必须重视空调系统的选择及运行^[1]。

多联机空调又称为变制冷剂流量(Variable Refrigerant Volume)的直接蒸发式空调系统, 可以用一台室外机驱动多台室内机, 并且具有节能减排、安装和调节灵活、节省建筑内部空

间等优势。本文结合超高层使用需求及多联机系统特点, 采用多联机系统满足建筑不同房间、不同朝向的冷热使用需求。

1 建筑概况

该建筑位于云南省昆明市, 功能为5A甲级写字楼, 工程建设定位为国家绿色建筑三星设计标

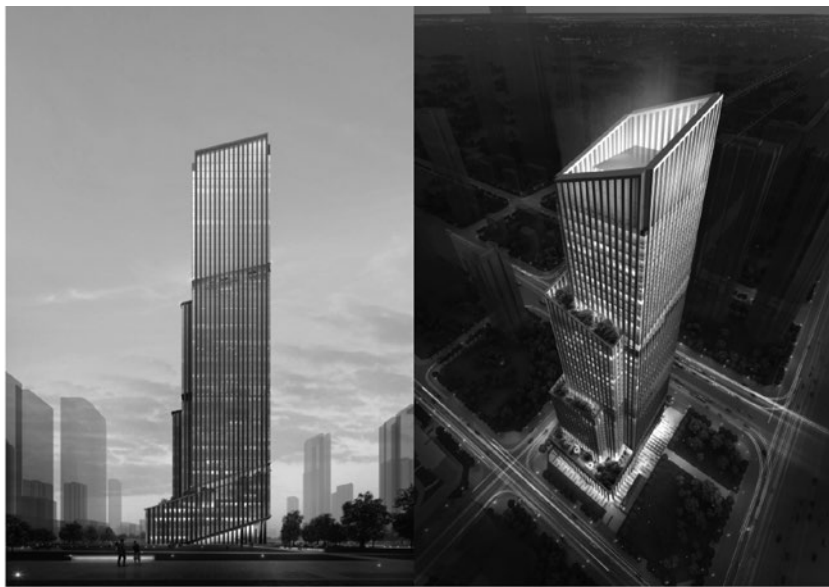


图1 建筑外立面效果图

识, 高度为226m, 属于一类高层建筑。该建筑总建筑面积104615m², 其中地上建筑面积84943m², 地下建筑面积19672m²; 地上40层(不含出屋面设备层), 核心筒顶部局部出屋面结构标高207.5m; 地下3层(局部设夹层), 地下3楼层面标高为-15.20m。

根据GB50176-2016《民用建筑热工设计规范》中建筑热工设计分区, 昆明在属于温和地区, 气候特点是年温差较小、日温差较大, 太阳辐射强烈。

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

室内设计参数表

房间名称	夏季		冬季		新风量 $m^3/h \cdot p$	允许噪声级dB(A)
	温度 $^{\circ}C$	相对湿度%	温度 $^{\circ}C$	相对湿度 %		
办公室	24	≤ 60	20	/	30 50 (32层以上)	≤ 40
中、小会议室	24	≤ 60	20	/	30 50 (32层以上)	≤ 40
大会议室	24	≤ 60	20	/	20	≤ 45
休息区、企业展厅、大厅	26	≤ 70	20	/	20	≤ 45
餐厅	24	≤ 70	20	/	25	≤ 50
数据中心	24	35-60	24	35-60	40	/
档案室	16	45-60	24	45-60	30	≤ 45

2 负荷计算及空调系统选择

2.1 负荷计算

室外设计参数(根据GB50736-2012):昆明夏季空调室外计算干球温度 $26.2^{\circ}C$,室外计算湿球温度 $20^{\circ}C$;冬季空调室外计算温度 $0.9^{\circ}C$,室外计算相对湿度68%。

经计算,总冷负荷为 $3643kW$ (舒适性空调冷负荷,不含变配电室、数据中心等电气设备用房冷负荷)。冷负荷指标:(总建筑面积): $35W/m^2$,总热负荷: $4500KW$ 。热负荷指标:(总建筑面积): $43W/m^2$ 。

2.2 空调系统选择

虽然昆明地处气候温和地区,但由于本项目建设标准较高,室内要求舒适度高,所以需设置人工供冷、供暖措施。昆明一天内的温度波动较大,会出现早晚需要供热,而中午需要制冷的情况;并且昆明地区太阳辐射强烈,本超高层建筑外立面为玻璃幕墙,室内环境受太阳辐射影响巨大,在某一时段出现阳面需要制冷、而阴面需要供热的情况。综上此建筑的空调系统应该能做到不同朝向独立控制并且能够同时供热、制冷。

若采用四管制空调系统可以实现同时在建筑的不同地方供热、制冷,适应房间的负荷变化、调节灵活,但四管制空调水系统也存在以下3个局限:

(1) 初投资及运行费用高昂,四管制相比两管制的系统管道长度几乎翻倍,造成初投资成本大大增加,而且四管制系统运行需要同时开启制冷机和热源,运行费用也有所增加。

(2) 实际运行时间有限,北京的西苑、香山、长城、昆仑等饭店,南京的金陵饭店等不少于20个工程都采用的四管制系统,但十几年运行实践中基本按两管制运行^[2]。

(3) 占用吊顶空间,由于管线众多,四管制系统侵占了许多吊顶空间。而超高层建筑相比其他建筑物核心筒结构复杂,剪力墙更多,结构梁的尺寸也更大,这就造成了吊顶空间紧张,很难应用四管制空调系统。

除此之外,由于空调水系统承压能力有限,超过一定高度后就需要设置转换层,本建筑 $226m$,至少需要一个转换层才能保证水系统不超压。设置转换层就会降低热效率,造成热量、冷量的浪费,初投资及运行成本都要增加,并且更加严重的后果是设备层占用了许多建筑面积,本超高层位于城市核心区,设备过度占用建筑面积会造成巨大经济损失。

对于标准层多联机空调系统可以实现本建筑对室内环境的需求,其具有如下特点:

(1) 室内机独立控制,控制灵活^[3],能够较好地适应空调间歇性运行的工况,并且可以自动计算储存不同分户使用电量的情况,建筑物分租后便于计费。

(2) 安装方便、节省空间^[4],在吊顶空间只需布置冷媒管和冷凝水管,并且不需要在建筑物内另设制冷机房、锅炉房,这在超高层、商场、办公等地价高的建筑中能够节约初投资。

(3) 运行高效,维护成本低^[5],空调系统满负荷运行时间很短,而多联机部分运行效率高,因为室外机组负荷输出可以随室内机开启数量而变化,智能化较高,不用设置机房,系统的故障处理机制为通过备用模块的启动来维持系统的运转,系统运行时无需专人值守。

综上所述,结合当地气候和超高层建筑的特点,以及空调系统间歇性使用,累计使用时间短的实际情况,确定采用相对分散的多联空调系统以满足灵活使用的需求。针对建筑经常处于部分负荷的

特点，多联机系统更能显现出IPLV高的优势。针对昆明地区室外空气焓值低得特点，加大新风，可以直接利用室外空气改善室内空气品质。

3 空调系统设计

裙房中入口大厅（3层通高）和大会议室（2层通高）都是高大空间，并且人员密度大，使用普通多联机室内机难以满足用户对室内环境的需求，所以采用直膨（热泵）式空调机组供暖、供冷。机组形式为分体式，直膨机组室外机置于5层设备平台，室内机置于3层机房内，室内空调系统采用全空气低速风道空调系统，空调机组将室内回风与室外新风混合，经过滤、制冷（制热）后，经风管送入使用空间。

入口大堂送风口采用自动温感可变流态桶形风口顶部送风，夏季送冷风时为散流状态使冷风舒适下沉，冬季送热风时风口自动变为直吹下送状态，送风深度达12m。大会议室送风口采用自动温感可变流态散流器顶部送风，大会议室净高8m，送风口形式同上，冬季热风吹送深度达8m，以上措施保证高大空间气流组织兼顾夏季冬季送风效果，送风口均匀布置以利于送风的均匀性。室内空气经顶部回风口、回风管输送回空调机房，空调机组配套设置回风机，送、回风机均采用变频风机，可分别控制，在过渡季节可全新风运行，直接引入室外新风，改善室内环境，实现

节能运行。

本建筑其余标准层房间均采用多联机供暖、供冷，每层配备一台新风换气机组，并设置热回收可控装置，根据室内外焓差判断是否启用热回收装置，为室内送入新风并排出室内的污浊空气，新风经初效+电子中效过滤处理，提高室内空气品质。空调室内机形式多样，结合装修风格，确定除设备间外都采用吊顶暗装风管式室内机，室内机在吊顶内安装，前后分别接送风管、回风管，送风管接散流器送风口，回风管接单层百叶回风口，室内机产生的空调冷凝水汇集后有组织排放。

此外考虑到冷媒管的长度、室内外机的高差、建筑立面效果以及室外平台面积及其有限，将多联机系统按照避难层和设备平台分成四大部分。室外机分别置于不同的避难层，为避免避难层出现热岛效应，通风不畅从而影响室外机的制冷效率。所以在室外机上设置倒流排风管并设置倒流静压箱接至建筑百叶，将气流及时导出，避免气流短路。由于室外机外部静压有限，倒流风管不能过长，所以室外机只能放在外墙边缘，最多只能沿外墙放置两排室外机。室外机具体接管方式如图2所示：

根据平面布局，除1~5层公共空间存在跨层或不同方向共用一台室外机的情况，其他楼层均为每层的每一个朝向为一个独立的多联机系统。1~5层房间除入口大厅和大会议室外，多联机室

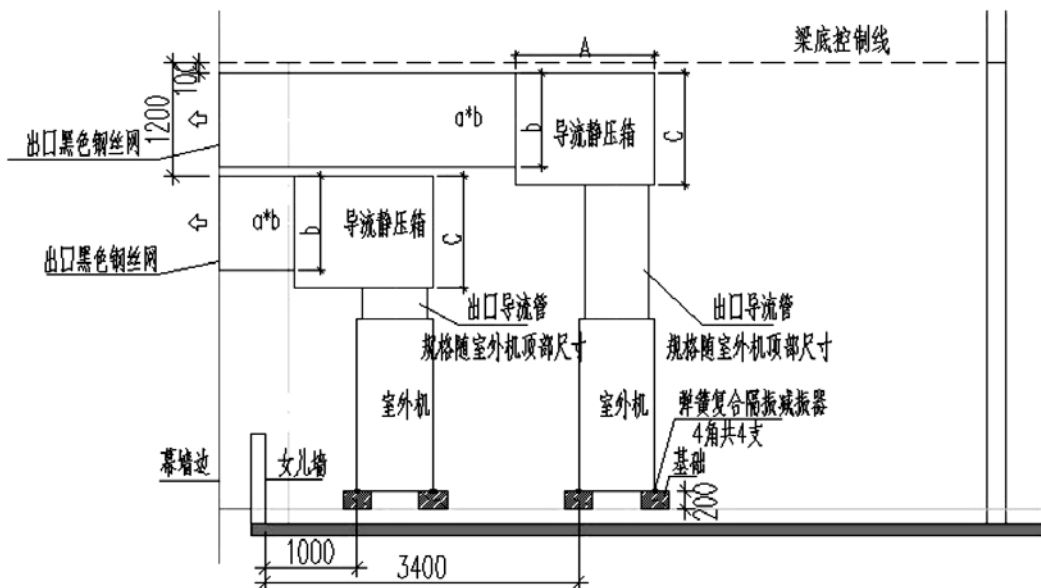


图2 空调室外机导流管道示意图

外机置于6层的设备平台，6~10层及12~20层的多联机系统室外机均放在第一避难层（11层）的设备平台，22~30层多联机室外机设置在第三避难层（31层）的设备平台，32层~40层多联机室外机放在41层的设备平台（此层为室外）。其中，31层室外东侧设备平台与百叶之间高差较大，因为室外机静压有限，排风管道不能过长，为保证排风散热效果将6台多联机室外机用钢架支起以缩减多联机与百叶的高差。此外，对于32层以上的通高房间均采用高静压风管保证送风效果。

弱电间、电梯机房等需要全年供冷的设备房间，其开启时间、使用用途与其他办公房间不同，单独设置多联机系统。根据室内外机高差限值要求，以及室内机之间的高差要求，弱电间的多联机系统按竖向划分布置。

位于11和31层的网络数据机房设置机房专用空调系统，采用风冷型机房空调实现室内恒温恒湿控制。气流组织形式为地板送风、上回风。机房空调按B类设置，每个机房用空调按N+1配置数量，其中一台备用。位于36层的档案室同样具有温度、湿度范围要求，选用独立恒温恒湿空调。恒温恒湿空调为直膨式，室内机为立柜式，包括制冷、加热、除湿、加湿功能，气流组织形式为上送风、侧回风，室外机设置在41层设备平台。网络机房和档案室的室内机均设置挡水围堰、地漏，并设置漏水传感器。

4 设计特点及注意事项

4.1 设计特点

(1) 结合当地气候特点和本建筑的使用情况，将建筑物分层、分朝向设置多联机系统，方便分租、管理，满足同一时间不同朝向用户的不同的冷热需求；

(2) 考虑到室内外机的高差不能过大，将多联机按避难层和设备平台在高度方向分为若干部分，保证室内外机之间不超高并减少了配管长度；

(3) 为保证多联机室外机在避难层的散热效果，将多联机室外机用导流排风管接至排风百叶，而考虑到室外机静压有限，不能使导流风管过长。

4.2 注意事项

在条件允许的条件下，多联机系统应尽量减小室外机和室内机之间的高差和距离，减少配管长度，并尽可能采用性能系数高的小规格多联机

组，具体要求如下：

(1) 减少配管长度，一般最大实际单管长度为190m，第一分歧管以后最大长度为90m（不同品牌有所区别）；

(2) 降低多联机室内机和室外机之间的高差，一般室内外机最大高差在70~100m左右（不同品牌，室内机或室外机在上有所区别）；

(3) 室内机最大高差一般为30m；

(4) 室外机进、排风应通畅，且不形成气流短路；

(5) 室内外机容量配比需要考虑同时使用率、连接管长度、高差修正等因素，且同一系统室内机数量不能超过室外机允许连接的数量。

5 小结

空调系统在超高层建筑中起着举足轻重的作用，它是舒适的室内环境的重要保障。在选择空调系统时不仅要结合当地的气候特点，还要考虑节能、经济、空间、维护等问题。多联机系统因其控制灵活、节省空间、运行高效、维护成本低，广泛应用于商用和居住建筑中。在吊顶空间紧张、需要同时供冷供热的超高层建筑中，多联机空调系统在适宜的气候条件下是不错的方案。

参考文献

- [1] 李悦. 高层建筑暖通空调的设计分析[J]. 江西建材, 2015, 18.
- [2] 刘天川. 超高层建筑空调设计[M]. 中国建筑工业出版社, 2003.
- [3] 张俊森, 吴成斌, 季阿敏等. 多联机的三种制冷季节性能评价指标的差异性分析[J]. 暖通空调, 2012, 42.
- [4] 刘强, 苏晓耕. 多联式空调性能评价方法的探讨[J]. 电器, 2013, S1.
- [5] 强天伟, 杨阳. 志丹县某办公楼暖通设计[J]. 低温建筑技术, 2012, 09.
- [6] 《民用建筑热工设计规范》 GB50176-2016[S].
- [7] 《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》 GB50736-2012[S].

土壤源与水源多联机复合能源系统在某生态城市客厅中的工程应用

■ 刘鑫 孟凡兵 [暖通]

摘要: 地源热泵是一种利用浅层地热能的可再生清洁能源, 本文介绍了一种复合式地源热泵系统的工程应用, 即将土壤源与水源多联机结合的复合式能源系统, 同时设置了风冷热泵作为辅助冷热源, 用以补偿土壤释热量与吸热量的能量差值。通过全年能耗计算和经济性分析, 得出了该复合能源系统应用的可行性及优势。

关键词: 地埋管; 水源多联机; 复合能源系统; 冷热源方案; 经济性分析

1 引言

低碳排放, 绿色节能是当今建筑领域的主题, 地源热泵作为一种利用浅层地热能的可再生清洁能源, 得到了广泛的推广和应用, 属经济有效的节能技术。

地源热泵利用土壤层作冷热源, 夏季蓄热、冬季蓄冷, 系统COP值高, 节能性好。地层温度稳定, 夏季地温比大气温度低, 冬季地温比大气温度高, 供冷供热成本低, 尤其适用于寒冷地区和夏热冬冷地区, 且对环境没有影响, 环保效益显著。水源多联机是一种直膨式热泵机组, 末端管路为冷媒铜管, 可减少换热损失, 降低输送能耗, 提高制冷、制热系数, 控制系统集成化程度高, 运行灵活。

本文介绍了一种复合式地源热泵系统的工程应用, 即将地埋管与水源多联机结合的复合式能源系统, 同时设置了风冷热泵作为辅助冷热源, 用以补偿土壤释热量与吸热量的能量差值。

2 工程概况

该项目位于河北省涿州市, 总用地面积约16000m², 总建筑面积约9500m², 建筑高度22m, 其中地下1层, 建筑面积约1800m², 地上局部2层, 建筑面积约7800m², 主要功能包括: 温室展厅、会议办公、多媒体展厅以及厨房餐饮, 其中温室展厅为全玻璃幕墙结构, 高度为22m, 首层为生态温室花园, 7m标高挑台处设置图书廊。该空间是本项目设计的难点所在, 需实现人、建筑空间、园林景观之间的有机配合, 达到动态平衡, 同时满足人的活动和植物生长的需求。

3 室内设计参数

根据房间功能及热舒适性标准, 可确定办公室、展厅、多功能厅等房间的室内设计参数, 本项目采用 I 级热舒适性标准, 普通办公、多功能厅等区域按常规温、湿度设计。

本项目在温室自然环境中融入了洽谈室、咖啡吧、展示、图书廊等人文环境功能, 因此该空

作者简介: 刘鑫, 男, 工程师, 2015年毕业于哈尔滨工业大学建筑与土木专业(暖通方向), 现就职于中航建设建筑设计研究院。

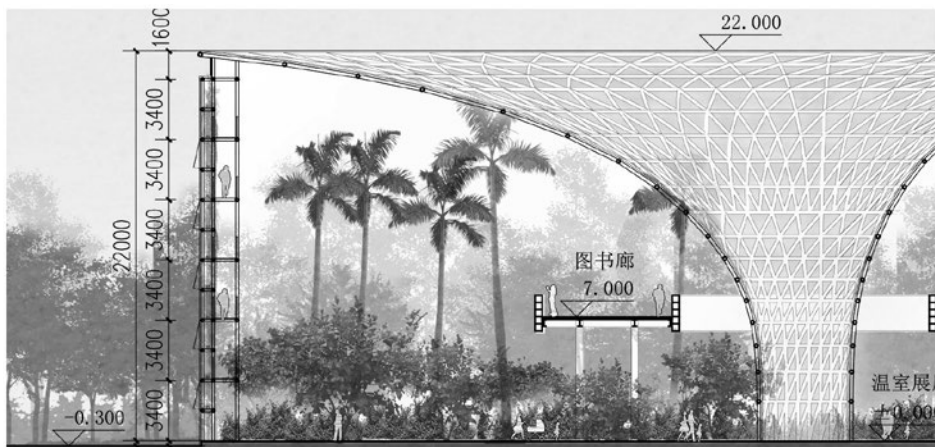


图1 温室展厅

表1 人员活动和植物生长的环境需求

	温度	湿度	光照	CO ₂ 浓度
植物生长环境需求	白天16~20℃ 晚上14~16℃ 夏季不超过28℃。	30~70%	光照中等到强,夏季需遮荫	330~800ppm
人员活动环境需求	18~26℃	30~60%		

表2 空调区设计负荷

区域	冷负荷指标 W/m ²	冷负荷 kw	热负荷指标 W/m ²	热负荷 kw	备注
温室展厅	500	775	420	650	
办公及其他	100	675	81	550	
合计		1450		1200	

间需实现人、建筑空间、园林景观之间的有机配合,达到动态平衡,同时满足人的活动和植物生长的需求。温带植物生长适宜环境为中(高)温中湿环境,详见表1。

综合分析得出温室展厅室内环境控制参数:室内温度控制在18℃~26℃之间,空气湿度控制在30%~60%之间,CO₂浓度控制在30~800ppm之间,既能满足人员活动需要、图书存放湿度需要,又能满足植物生长需求。(根据种植不同植物种类,温、湿度参数、二氧化碳可调)。

4 空调负荷及特点

根据建筑物的围护结构及室内外设计参数,可计算空调区的设计负荷,见表2,其中温室展厅为满足植物生长所需光照要求,其外墙、屋面均为玻璃幕墙结构,冷热负荷明显大于其他区域。

玻璃幕墙虽然满足《公共建筑节能设计标准》GB50189-2015以及当地节能标准中传热系

数、太阳得热系数等要求,但由于玻璃幕墙的热惰性小,受室外温度变化影响较大,容易引起室温波动,冷热转换迅速,办公与玻璃厅冷热需求存在不一致的情况,同时对于冬季,植物生长有昼夜供暖需求。

5 全年能耗计算

结合项目情况,为进一步确定冷热源方案,反映建筑物周围平均地温、计算风热泵热补偿量、评估运行能耗及费用,对建筑物进行了全年供暖空调动态负荷计算,计算周期为1年,图2为本建筑的全年冷热负荷曲线图。通过计算得出,全年能耗中,制冷能耗为920393KW·h,制热能耗为1348285KW·h。

耗为1348285KW·h。

6 冷热源的配置

由于温室展厅为全玻璃幕墙结构,且需同时满足人的活动和植物生长的需求,因此,相比于一般办公建筑,本建筑的负荷特点如下:

(1) 外围护结构热惰性小,蓄热能力较差,供冷供热转换迅速;

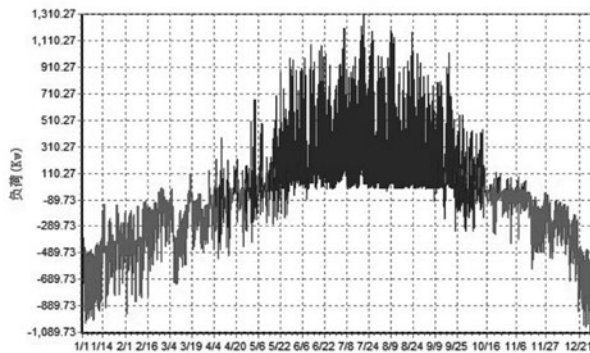


图2 全年冷热负荷曲线图

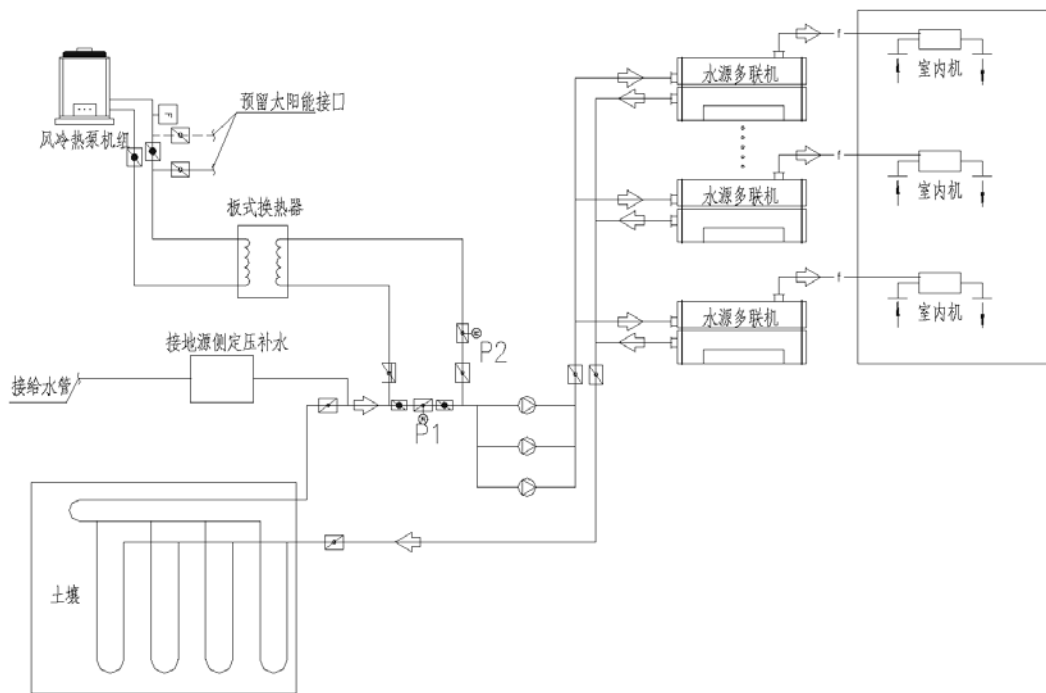


图3 地埋管水源多联机复合能源系统原理图

(4) 建筑物全年运行供冷与耗热量差值较小。

综合考虑本建筑的地域特点、使用功能气候条件、现况市政条件等因素，积极响应国家绿色节能低碳环保的政策，结合地域境特点，因地制宜，充分利用可再生能源，降低运行能耗和费用，减少碳排放，经方案技术经济比较，本项目提出采用土壤源与水源多联机复合能源系统，地源侧采用垂直地埋管式系统，热泵主机采用水源多联机。

从使用安全和冷热平衡角度考虑，根据全年能耗计算数据与分析结果，设置一套小型风冷热泵模块机组和换器，并预留太阳能接入接口，用于负荷侧调峰和地温场平衡。调峰负荷容量根据能耗计算值设置，并依据实际探测的土壤热物性和热平衡进行调整。

本系统分地源侧和负荷侧两个循环，地源侧为水环路和负荷侧为制冷剂环路。地源侧为闭式系统，设置3台水泵，两用一备，根据末端需求变频运行。夏季工况时，地埋管侧水系统通过与土壤换热，提供相对稳定的30/35℃循环水，作为水源多联机的冷却水源，水源多联机负荷侧直接供给房间末端室内机，与空气进行换热；冬季工况时，地埋管侧水系统通过与土壤换热，提供相对稳

定的5/10℃循环水，作为水源多联机取热热源。相比于常规系统，本系统由于采用直膨式机组，可减小换热损失，且系统输送能耗低，制冷、制热性能系数高。由于主机接受来自地源侧的冷热水温恒定，始终处于高效工况点，不受室外环境空气变化温度影响，无结霜和除霜等问题。

此外，本系统在地埋管回水管上设置辅助热源风冷热泵机组，并预留了太阳能接口，当条件允许时，可与风冷热泵机组联合运行或各自独立运行。

当风冷热泵机组运行时，P2阀门打开，P1阀门关闭；当风冷热泵机组停止工作时，P1阀门打开，P2阀门关闭。风冷热泵机组的运行工况分为3种：

(1) 极端天气补偿供冷供热不足部分，当出现极冷、极热天气，地源热泵系统满负荷运行仍不能满足室内温湿度要求时，可开启风冷热泵机组，辅助供冷、供热。

(2) 过渡季节补偿土壤释热量与吸热量的能量差值，通过全年能耗计算可知该建筑全年制冷能耗大于制热能耗，为补偿土壤释热量与吸热量的能量差值，根据地下温度场的检测数据，可在过渡季节开启风冷热泵系统，加热或降低地埋管循环水温度，以平衡突然温度。由于风冷热泵在过

表3 初投资计算

各项费用标准					初投资	
单位管长换热量	钻井埋管费用	水源多联机	风冷热泵	水泵	钻井、埋管费用	热泵机组（不含空调末端）
W/m	元/m	元/kW	元/kW	元/（kw）	万元	万元
50	80	1200	1000	1000	233	208

渡季节室外工况下，运行效率高，可以达到节能的目的。

(3)作为水源多联机水源侧，直接向房间供冷供热。当房间使用率低，室内负荷低时，可仅运行风冷热泵供冷、供热。

7 空调系统

空调末端采用水源多联式空调（热泵）系统，机组布置于地下站房内，与地源测水系统联合运行。由于温室展厅为全玻璃幕墙结构，热惰性小，采用多联机末端系统可以达到快速制冷、制热的目的。此外，为满足植物生长的最低温度要求，需考虑夜间或值班温度，而多联室内机控制灵活，可按区域开启，满足低温运行的要求。

温室展厅的空调系统为多联机加新风系统，对于新风系统，在7m标高休息平台下设置球形喷口侧送风，承担新风负荷，并满足室内新风及通风换气要求，过渡季节可实现全新风节能运行。温室展厅首层多联室内机一部分落地安装在玻璃幕墙处，另一部分安装在局部吊顶内，分别承担50%室内负荷。7m标高挑台区图书廊设置地板旋流风口下送风，负担图书廊区域的负荷。

人员活动工作区设置带冷热回收功能的冷凝排风热回收新风系统，餐厅设置双向换气的冷热回收新风系统。根据不同的需求、结合考虑人员新风标准和利用室外降温排热等标准要求分别采取不同的风量，室内污浊空气集中排至新换机与进行热交换，能量回收后排至室外。各新风系统均设空气处理措施，可有效去除PM2.5以及其他有害物，改善室内空气卫生条件。新风侧初效过滤器G4，双极板高压静电中高效过滤器F7（效率不小于95%）。展厅内预留空气净化器电源，根据使用需求适时设置，将室内PM2.5浓度达到国标优质。新风采用高压喷雾加湿。

四季生态展厅和办公区之间设置双向换气热回收新风系统，四季厅内绿色植物光合作用产生氧气，会议办公区人员常停留会产生CO₂，二者空

气循环交换，形成内循环微生态环境节能运行，同时换气系统设置外循环旁通管，通过电动风阀实现新风外循环。

8 经济性分析

空调系统冷热源方案及运行策略的优劣，不仅影响建筑物的热舒适性，而且直接关系到项目的初投资、运行费用及能耗。本文针对所提出的冷热源方案，从占用机房面积、初投资和运行费用3个方面进行经济性分析，

在进行经济性分析时，设备初投资主要包括冷热源机组和空调末端，对于地源热泵系统应额外增加钻井与埋管的费用。初投资计算时各项费用参考标准如表3。

运行费用计算时，全年按采暖126天，制冷120天计算，用电标准按照0.89元/KWH。本文采用当量满负荷运行时间法计算全年能耗，当量满负荷运行时间 τ_E 的定义：全年空调冷负荷（或热负荷）的总和 $q_a = \int qdT$ （kJ/a）与制冷机（或锅炉）最大出力 q_R （或 q_B ）的比值^[1]。

$$\tau_{ER} = \frac{q_C}{q_R} \quad (1)$$

$$\tau_{EB} = \frac{q_h}{q_B} \quad (2)$$

式中： τ_{ER} ， τ_{EB} —— 夏、冬季当量满负荷运行时间（h）；

q_C ， q_h —— 全年空调冷负荷或热负荷（kJ/a）；

q_R ， q_B —— 冷冻机或锅炉的最大出力（kJ/h）；

负荷率 ϵ 是全年空调冷负荷（或热负荷）与冷冻机（或锅炉）在累计运行时间内总的最大出力之和的比例，即

$$\epsilon_R = \frac{q_C}{q_R T_R} \quad (3)$$

表4 当量满负荷运行时间

序号	建筑类型	最大负荷 (W/m ²)		当量满负荷运行时间 (h)	
1	办公楼	93	105	560	480

表5 运行费用计算

类型	设备选择		运行小时数 (h)	负荷系数	IPLV	运行费用 (万元)	单位建筑面 积费用 (元)	全年总运行 费用 (万元)
	KW	数量						
夏季	1455	1	12	0.65	6	20.2	24.1	34
冬季	1200	1	12	0.45	5.4	13.5	16.0	

$$\epsilon_B = \frac{q_h}{q_B T_B} \quad (4)$$

式中： T_R, T_B —— 夏、冬季设备累计运行时间 (h)。由式 (1)、(2) 代入式 (3)、(4)，得：

$$\epsilon_R = \frac{\tau_{ER}}{T_R} \quad (5)$$

$$\epsilon_B = \frac{\tau_{EB}}{T_B} \quad (6)$$

当量满负荷运行时间与建筑物的功能、空调系统采用的节能方式有关。尾岛俊雄就日本的建筑物实测统计后，整理出下表所示的资料^[2]。鉴于国家机关办公建筑和大型公共建筑能耗监测平台正在建设，应该说可以为项目（公共建筑）的空调设计的当量满负荷运行时间提供较为符合实际的相关数据。

当量满负荷运行时间法计算空调全年能耗如下：

热泵机组耗电量：

$$P_R = (\sum P_{R,N}) T_R \epsilon_R = (\sum P_{R,N}) \tau_{ER} \quad (7)$$

冷冻水泵和冷却水泵耗电量：

$$P_P = (\sum P_{P,N}) T_P \quad (8)$$

式中， $P_{R,N}, P_{P,N}$ —— 冷冻机，冷冻水泵或冷却水泵，冷却塔，风机的额定耗电量。

9 总结

本项目综合考虑建筑物的地理位置、建筑特点、使用功能、气候条件、投资费用、能源供应

情况等因素，采用“地理管+水源多联机系统”的复合式地源热泵系统，同时设置了风冷热泵作为辅助冷热源，该方案的优势有：

- (1)生态、节能、绿色、环保；
- (2)运行安全、可靠、经济；
- (3)控制系统工厂化生产、高度集成；
- (4)冷热转换迅速、部分负荷IPLV最高；
- (5)季节性蓄热，可辅助太阳能补热。

综上所述，该空调系统方案环保经济，是一种非常绿色节能的方案，可广泛用于工程建设领域。

参考文献

- [1] 马最良，姚杨. 暖通空调热泵技术[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2008
- [2] 钱以明. 高层建筑空调与节能[M]. 上海：同济大学出版社，1988

航空工业规划动力工程设计研究院（三院）

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

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

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

2019年第2期（总第142期）
2019年4月出版



贵安新区高温合金涡轮叶片生产基地建设项目