

航空工程建设

AERO-INDUSTRY ENGINEERING CONSTRUCTION

2013年第4期 总第110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
主办单位 中国航空规划建设发展有限公司

内部资料 免费交流

民航通航市场信息

武汉郑州长沙等57城掀起“临空热”

10月14日，武汉市政府宣布，“大临空”经济板块产业城规划敲定，将将在其西北部地区的东西湖、黄陂和孝感市孝南部分区域，建成覆盖两市三地占地1100平方公里的“临空新城”，新城涵盖发展航空运输、物流、飞机维修保养等空港产业，规划到2020年，临空经济区地区生产总值达到3000亿元。不仅是武汉，全国各大城市尤其是中部地区城市，近年掀起一股发展临空经济的热潮。

目前全国57个城市依托50个机场，规划了58个临空经济区，我国临空经济正在蓬勃兴起，成为区域经济新的增长极。

根据“边申报、边建设、边招商”的总体思路，湖南省政府目前正申请设立长沙临空综合保税区的请示报告，并已获国务院办公厅批示，进入海关总署等十部委联审状态。

（来源：南方日报）

河南18地市抢建民用机场
政府看重拉动效应

2011年至2020年，河南拟新（扩）建11个支线机场。河南目前有郑州新郑国际机场（下称“郑州机场”）、洛阳北郊机场、南阳姜营机场三个民用机场。包括3个现有机场在内，2011年至2020年，将完成洛阳、安阳豫东北、平顶山等新建、扩建7个民用机场；并规划研究三门峡、济源等4个支线机场，总量达11个。

在客流有限的情况下，河南民航把目光聚焦于货邮运输。包括郑州、安阳、南阳等大多已建或未建机场都定位于以货运为主，以促进当地招商，为引进现代新型产业而服务。

（来源：中国经济周刊）

民用建筑市场信息

中央财政下拨22.2亿元资金支持健康及养老等服务业发展

近日，按照国务院关于加强健康服务业、养老服务业发展的有关决策部署，中央财政将健康服务业、养老服务业纳入了促进服务业发展专项资金支持范围，并下拨22.2亿元资金，由地方统筹用于健康服务业、养老服务业、民生商贸服务业、市场监管、市场监测等公益性服务业发展。

下一步，将围绕健康服务业、养老服务业重点做好三方

面工作：一是加大资金投入，重点支持农村健康服务业、养老服务业设施建设，并鼓励地方以项目规划为平台，加大中央财政专项资金、中央基建投资等相关资金统筹，形成整体合力。二是创新发展模式，选择部分省份或市县开展试点，积极探索医疗、养老、家政、健身、旅游等各种服务业深度融合和互动发展。三是创新支持方式，在重点支持公办健康、养老服务设施建设的同时，鼓励地方通过补助投资、贷款贴息等方式，引导社会各方面加大养老、健康等服务业投入。

（来源：财政部经济建设司）

民用工业市场信息

全国物流园规划公布 29个城市入选一级园区

10月15日，国家发改委发布《全国物流园区发展规划》（2013-2020年），将物流园区布局城市分为三级，其中29个城市入选一级物流园区。

根据《规划》，共29个城市入选一级物流园区布局，大部分均为中东部城市，分别为：北京、天津、唐山、呼和浩特、沈阳、大连、长春、哈尔滨、上海、南京、苏州、杭州、宁波、厦门、济南、青岛、郑州、合肥、武汉、长沙、广州、深圳、南宁、重庆、成都、昆明、西安、兰州、乌鲁木齐。

《规划》显示，70个城市入选二级物流园区布局，而三级物流园区布局城市则由各省根据规定自行确定原则上应为地级城市。此次分级的标准是该城市的物流需求规模大小以及在国家战略和产业布局中的重要程度。

（来源：财经网）

工行斥资6.5亿英镑 建曼城机场企业园区

中国工商银行总行投资6.5亿英镑，建英国曼彻斯特新机场规划的一个占地150英亩的企业园区。工行在该项目中将与房地产投资开发商Argent和建筑公司Carillion携手，把原先的停车场和荒地改造成一个拥有约50万m²办公区、商场和公园的企业园区。

随后，北京建工集团宣布投资1200万英镑，与曼彻斯特机场集团（MAG）、英国建筑公司Carillion以及大曼彻斯特养老基金（Greater Manchester Pension Fund）成立合资企业，合资企业将开发价值8亿英镑的曼彻斯特机场城项目。其中，北京建工集团在合资企业中占有20%的

股权。

除了股权投资外，北京建工集团和Carillion联合获得整个机场城10~15年开发计划的承包合同，以各自占50%股权的比例共同进行项目的工程施工。北京建工表示看好机场城发展前景，除投资外将参与到开发、运营等各个环节，并帮助机场城进行招商引资。

以少数股权投资的形式参与到海外基础设施项目建设，将减少投资的政治阻力，同时与当地企业合作将帮助中资企业熟悉市场运作，规避风险。

(来源：21世纪经济报道)

能源环境市场信息

国家能源局计划密集出台系列能源战略、规划、政策

根据国家能源局安排，一系列重要能源战略、规划、政策、改革措施将密集出台，以弥补国家能源战略短板、政策盲区，改革管理体制。

正在拟订、完善的能源发展战略包括：《能源发展战略行动计划（2013-2020）》和煤电油气新能源各专项能源发展战略，能源资源大省的能源发展战略定位、战略布局和重大举措。

按工作安排，能源局将抓紧论证出台国家电网发展规划，调研和拟订大型煤炭基地、煤电基地、油气基地、风电基地、光伏发电基地发展规划，配套做好输电、输油、输气等能源大通道规划。此外，根据2013年产业政策制定计划，年内将出台（修订）13大能源产业政策，这些政策既涉及国家宏观能源产略，又针对煤炭、电力、新能源等具体产业。

具体而言包括：控制能源消费总量考核实施办法、现代煤炭深加工（煤制油、煤制气、煤炭分级分质利用等）发展若干意见、能源装备制造业健康发展若干意见、煤电基地建设若干意见、安全高效发展核电若干意见、煤炭产业政策（修订）、天然气基础设施规划建设和运营管理办法、页岩气产业政策。保障新能源发电全额收购若干意见、推进分布式能源加快发展若干意见、抽水蓄能电站发展若干意见、促进风电产业健康发展若干意见、可再生能源供热利用若干意见。

(来源：21世纪经济报道)

《城镇排水与污水处理条例》公布

近日，国务院总理李克强签署国务院令，公布《城镇排

水与污水处理条例》，自2014年1月1日起施行。

条例规定县级以上人民政府应当将城镇排水与污水处理工作纳入国民经济和社会发展规划。城镇排水主管部门会同有关部门，根据当地经济社会发展水平以及地理、气候特征，编制本行政区域的城镇排水与污水处理规划，明确排水与污水处理目标与标准，排水量与排水模式，污水处理与再生利用、污泥处理处置要求，排涝措施，排水与污水处理设施的规模、布局、建设时序，建设用地以及保障措施等；易发生内涝的城市、镇，还应当编制城镇内涝防治专项规划。

条例明确国家鼓励采取特许经营、政府购买服务等多种方式，吸引社会资金参与投资、建设和运营城镇排水与污水处理设施。

条例坚持防治城镇水污染与促进资源综合利用并重，要求新区建设应当实行雨水、污水分流，雨污合流地区应当结合城镇排水与污水处理规划要求，进行改造。在雨污分流地区，不得将污水排入雨水管网。条例规定，新建、改建、扩建市政基础设施工程应当配套建设雨水收集利用设施，增加绿地、砂石地面、可渗透路面和自然地面对雨水的滞渗能力。条例鼓励城镇污水处理再生利用，规定再生水纳入水资源统一配置，工业生产、城市绿化、道路清扫、车辆冲洗、建筑施工以及生态景观等，应当优先使用再生水。

(来源：第一财经日报)

大气治污投资密集 中央财政50亿“以奖代补”

10月14日，财政部网站发布消息称，中央财政安排50亿元资金，全部用于京津冀及周边地区（具体包括京津冀蒙晋鲁6个省份）的大气污染治理工作。这一拨款，是财政部落实《全国大气污染防治行动计划》（以下简称《行动计划》）和《京津冀及周边地区落实大气污染防治行动计划实施细则》的重要举措。

根据《行动计划》，国务院提出，在环境执法到位、价格机制理顺的基础上，中央财政统筹整合主要污染物减排等专项，设立大气污染防治专项资金，对重点区域按治理成效实施“以奖代补”；中央基本建设投资也要加大对重点区域大气污染防治的支持力度。

北京在未来5年治理大气污染的过程中，全社会预计将投入资金近万亿元，其中政府部门将投入2000~3000亿元。

(来源：21世纪经济报道)



中航工业建发2013年“质量月”活动概况

根据集团公司《关于开展中国工业集团公司2013年“质量月”活动的通知》（航空质[2013]1062号航空）精神，中航工业建发认真组织开展了以“强化制度落实，提升市场效益”为主题的质量月活动。公司总经理廉大为、副总经理沈顺高、总工程师陆国杰分别作出重要指示，提出了对“质量月”活动的期望和要求。技术质量安全部部长刘子彦宣布了活动主题和活动安排，并在总结大会上进行了汇报。

公司通过多种形式宣传并实践了“质量月”活动主题：

首先，公司通过张贴宣传图片、建发通讯、公司电子显示屏等多渠道、全方位宣传集团公司和中航工业建发的质量月活动主题。

其次，公司组织开展“三标”管理体系文件培训宣讲活动，使三标管理体系文件的要求深入人心，并于培训后组织进行了“三标”体系文件知识考试，通过培训使每一名员工都认真学习了一遍公司的“三标”管理体系文件要求，并将其贯彻落实到实际工作中，助力公司实现以质量树品牌、拓市场、增效益的目标。

第三，公司开展“咨询设计项目技术质量控制分级管理办法”等新发布的质量管理文件的宣讲活动，促进管理制度的落实。

第四，公司组织开展了对沈阳六〇一所和基础院中航复合材料有限责任公司顺义区项目的质量回访活动，通过回访，达到了与客户沟通思想、发现问题解决问题、为后续项目做好积极的技术储备，不断提升项目的技术质量水平，提高顾客满意度的目的。

第五，公司围绕如何更好地推动“三标”管理体系及新颁布的质量管理文件的落实主题开展了总工沙龙活动，通过总工沙龙活动，促进了各单位在质量管控方面的交流，在项目质量管理方法、经验等方面大家相互借鉴、互相促进，为提升公司整体质量管理水平起到较大的促进作用。

与此同时，公司各专业技术委员会、各直属成员单位积极响应集团和公司号召，分别组织并开展了质量剖析和技术交流活动，以及形式多样的质量宣传、学习、教育和培训等活动。

百年建筑，质量第一。质量是企业之本，企业只有把它作为企业的生命来抓，一丝不苟，精益求精，才能始终保持高效优质的工作。质量月活动虽然结束了。质量月活动必将对以后的工作起到积极的影响，促进质量不断提升，为公司的发展壮大提供坚实的基础保障。

公司举办2013版“三标”管理体系文件培训会

为了更好地贯彻落实中航建发质量月活动主题“强化制度落实，提升质量效益”，公司于2013年9月10-12日在本部举办了为期三天的2013版“三标”管理体系文件培训会。中航建发总工程师陆国杰以公司近期在项目运行中发现的一些技术质量问题为例，对问题产生的原因及过程控制管理存在的问题进行了深刻的剖析，随后公司9个管理部门的领导，对公司全套77个体系文件逐一进行了系统的讲解，公司本部十个实体院的总设计师、工程设计主持人、项目经理共130余人参加了培训并对培训过程进行了全程录像。

陆国杰在培训会上强调，公司目前正处在业务转型的时期，现在是速度为王的时代，伴随着业务规模的不断扩大，我们的质量风险也在增加，希望大家从加强质量责任意识、质量忧患意识、质量服务意识、质量品牌意识和质量效益意识五个方面牢记质量是企业发展的生命，不断强化制度的落实，强化每个环节责任的落实，真正把“三标”体系的要求作为我们工作的行为规范，坚决杜绝质量说起来很重要，做起来变次要，忙起来就不要的现象，真正让质量水平的提升促进公司市场效益的提高。

为验证并巩固此次培训效果，公司组织参训人员进行了考试及讲师讲课效果调查。随后，各院结合本院特点开展了各具特色的院级培训并在总承包项目现场开展了视频培训。9-11月，公司共组织对7级以上的总设计师、工程设计主持人及项目经理进行了3次统一考试，共158人参加且成绩全部合格。其中，42人得分90分以上，13人得分95分以上。从30余份讲课效果调查表统计结果显示，大家对培训讲师讲课效果的满意度也较高，同时也收集了17条建议和希望。

通过培训使每一名员工都能够认真学习领会公司的“三标”管理体系文件要求，并将其贯彻落实到实际工作中，有力地助推了公司实现以质量树品牌、拓市场、增效益的目标。





中航民用航空电子产业园项目地块位于上海紫竹科学园区，地块大体呈东西长，南北宽的不规则形状，本次项目主要建设内容为一期合资公司楼、配套服务楼。

在建筑单体设计前，必须进行建筑群体的协调设计，通过统一的建筑语言、符号、秩序表达一致的建筑形象。具体通过以下三点协调设计：

总体规划布局协调：本次规划设计结合用地现状，因地制宜，在充分满足工艺研发测试需求的前提下，通过几个区位要素将不同性质的建筑有机的整合，形成整体性的统一对外建筑形象。使每个区域建筑布局追求浑然一体，创造新时代高科技电子研发企业的崭新形象，传达中航工业企业文化精神。

建筑风格协调建筑造型力求方整，简单实用，通过规划，组合为一组群体建筑，模糊单体个性，统一的建筑立面、造型手法，一致的建筑外装修材料、色彩，从而形成整体的对外建筑形象。

建筑立面设计从建筑自身特点出发，遵循基地总体规划对建筑形态总的要求，以简洁大方为主要设计特色，以铝合金金属幕墙、石材幕墙构成造型主体，总体造型明快流畅，与基地总体环境相吻合，建筑造型简洁、大气，在对建筑物的造型、风格进行控制的同时，也对立面中的细部节点也进行了重点处理，使建筑物既有简洁、明快的总体形象，又经得起细细品味，用精美的材料和精致的细部充分表达建筑的文化含量。

中航建发电子 工程设计研究院： 中航民用航空电子产业 园项目

建筑面积：4.35万m²



中航建发医药工程设计研究院：北京赛升药业股份有限公司 医药生产基地项目、心脑血管及免疫调节产品产业化项目 建筑面积：9.6万m²

北京赛升药业股份有限公司医药生产基地项目、心脑血管及免疫调节产品产业化项目位于北京经济技术开发区河西区。在充分满足工艺生产需求的前提下，通过办公研发区、生产区和生产配套区三部分的组合，将中试研发楼、生产厂房、动物房、后勤保障、动力辅助用房等不同性质的建筑有机的整合，形成整体性的统一对外建筑形象，创造新时代高科技生产厂区崭新形象。

主生产厂房由冻干粉针剂车间、西林瓶水针剂车间、安瓿水针剂车间、口服固体制剂车间、生物发酵车间、提取车间、库房、专业站房等组成，采用国内领先、国际一流的生产设备，产品涵盖了制剂类药品的大部分剂型。整个厂房的工艺布置合理，功能分区明确，人、物流净化通道分开，整体布局通畅合理，符合GMP要求。



本项目建筑风格以“现代大方、简洁明快”主调高度协调统一。建筑立面讲求虚实对比，表达厚重敦实的形象特征，中试厂房和后勤保障楼的建筑立面以竖向线条为主，形成上升的趋势，传递出蓄势待发、一飞升天的力量感。体量较大的联合生产厂房呈矩形布置，简洁、大方、新颖。其他配套建筑物造型方整，力求与其它建筑相协调。通过统一的建筑立面、造型、建筑外装修材料、色彩等手法，使整个园区建筑形象端庄、大气，凸显出对城市空间秩序的对话，并建立企业自身的独特形象，更强化现代工业建筑特征。



岩土工程专业

中航工业勘察院技术人员参加第四届全国岩土与工程学术大会



11月3-5日，由中国岩石力学与工程学会、中国土木工程学会土力学及岩土工程分会、中国建筑学会工程勘察分会和中国地质学会工程地质专业委员会主办的第四届全国岩土与工程学术大会在杭州举办，勘察院组织岩土工程部、地基工程部、水文岩土工程部的技术人员参加了本次岩土工程学术盛会。

本次大会研讨内容涉及岩体变形理论研究及高地应力下破坏机理研究、Hock-Brown强度准则研究、土的UH本构模型研究等。会议期间还向参会人员展示了岩土工程新技术、新工艺，听取了当前国内外岩土工程发展最新动态和应用背景。

中航工业勘察院组织参加第十三届全国工程物探与岩土工程测试学术大会

11月12-18日，中航工业勘察院副总工程师刘金光作为中国建筑学会工程勘察分会工程物探专业委员会副主任，组织并参加了在海南省海口市举办的“第十三届全国工程物探与岩土工程测试学术大会”。

本次大会由中国建筑学会工程勘察分会工程物探专业委员会和中国建筑学会工程勘察分会岩土工程测试专业委员会联合主办，海南省水文地质工程地质勘察院协办，来自全国各地的148名专家和代表参加了本次大会。在会上，来自中航蓝天建设工程质量检测公司的彭湘桂作为公司年轻的工程技术人员代表，宣读了题为“瞬态面波法在探地雷达异常解释中的应用”的论文，扩大了中航工业勘察院在物探专业的社会影响力。



工艺专业

公司举办《航空工业电镀及阳极氧化车间设计规程》送审稿审查会



12月5-6日，《航空工业电镀及阳极氧化车间设计规程》送审稿审查会在公司举办，本次会议由集团公司战略规划部主持，来自工业和信息化部规划司、集团公司及下属子公司和我公司的多位领导、专家及设计人员参与了本次会议。

《航空工业电镀及阳极氧化车间设计规程》于2010年由工信部下达编制计划，由集团公司进行管理，具体由我公司负责主编。本次会议是根据工信部有关要求，请相关专家对送审稿进行审核。会上，工业和信息化部规划司李振军处长指出，标准编制是一项基础工作，需要投入大量的人力，由于本规范是修订已使用了几十年的标准，编制任务比较紧迫，主编单位也非常重视，经过两年多的编制，目前已经基本完成。会上，主编郭志海代表编制组汇报了《航空工业电镀及阳极氧化车间设计规程》的编制过程及征求意见汇总情况。最后，与会人员一致认为新《规程》内容全面、科学、合

理，符合国情，可操作性强，既反映了我国近年来航空工业电镀及阳极氧化车间设计技术的发展现状和科研成果，也符合我国清洁生产、安全、节能环保、职业健康等方面的政策和法规，体现了以人为本、科学发展的精神。最后，专家组一致同意《航空工业电镀及阳极氧化车间设计规程》（送审稿）通过审查。

规划专业

公司受邀参加“2013第五届中国临空经济论坛”

10月30-31日，由中国民用机场协会等主办的“第五届中国临空经济论坛”在四川成都隆重召开，公司临空新城规划研究中心受邀参加了本次会议。

本届论坛的主题是“临空经济—空港城市—未来生活方式”。公司首席专家、总规划师李守旭受邀作为嘉宾做了以《航空城——未来城市的中国实践》为主题的主旨演讲，他从交通变革与城市发展趋势、未来城市发展特点、航空城——未来新城典范、航空城整合规划理论、航空城整合规划实践等五个方面，站在全球高度，以全新的视角阐释了机场与临空经济、航空港与城市关系的演变以及客货运机场航空城发展的不同路径和典范，并从中国航空城发展的实践出发，以北京新航城、青岛新机场航空城、汉中航空智慧新城三个亲身案例出发，分别对大、中、小型机场规划、建设和发展航空城的理论和方法进行了探索和实践，受到了业内人士的肯定和好评。



建筑专业

公司建筑技术委员会组织了本年度研发课题、业务验收会议

11月29-31日，公司建筑技术委员会组织了本年度研发课题、业务验收会议。一院的《中高层商品房设计阶段成本控制要点与措施的研究》、技术院的《航空博览类建筑及展示设计研究》和《科技馆展陈与建筑一体化设计研究》、三院的《计量类实验室布局设计研究》等四项研发课题及《垃圾焚烧工程设计中运用BIM优化室内空间设计》等九项业务建设，全部高质量地通过验收。这些技术创新成果为公司建筑设计经验的积累、绿色BIM技术的推广、全价值链的工作方法的总结、建筑市场的开拓都起到了积极引领的作用。

结构专业

公司博士后科研工作站举行出站报告答辩会



11月22日，我公司博士后科研工作站（与清华大学联合培养）马伯涛的出站报告答辩会在公司举行，答辩会由技术院院长张宇飞主持。在站期间，马伯涛博士针对我公司科技博览建筑主业开展深入的应用技术开发研究，基于具体博物馆工程项目的建设和需求，采用现场实测、计算机仿真分析和实验室试验相结合的方法，研究了博物馆结构及馆藏文物的防振（震）分析方法和防振（震）技术措施，提出了博物馆防振（震）安全性能建议指标。课题研究选题新颖，创新性突出，研究工作深入全面，解决了博物馆工程分析和设计的关键技术难题；站内发表1篇中文和1篇英文学术论文，被EI检索，2项国家专利获得授权，参与了两本部级规范编制。研究工作体现了马伯涛博

士严谨的学风和突出的创新性，取得的研究成果居国内领先水平。答辩委员会一致认为：马伯涛博士在站工作期间展示了扎实严谨的学风，体现了较高的学术研究水平和解决实际工程问题的能力，并在本学科领域取得创新性的科研成果，所开展的博物馆防振（震）研究对提升我公司博物馆设计领域的核心竞争力具有较大贡献，一致通过出站报告答辩。

给排水专业

公司编制标准获奖

近日，由公司咨询审查中心编制的《排水工程》11BS4获得中国勘察设计协会2013年度全国优秀工程勘察设计行业优秀标准设计三等奖、2013年北京市第十七届优秀工程设计和第十四届优秀工程勘察评选工程勘察设计标准综合奖一等奖。《给水工程》11BS3 获得2013年北京市第十七届优秀工程设计和第十四届优秀工程勘察评选工程勘察设计标准综合奖二等奖。

暖通专业



公司暖通专业人员参加2013年全国净化学术年会

近日，中国建筑学会暖通空调分会净化工作委员会在武汉召开了2013年全国净化学术年会。本次学术年会结合当前的学术动向及关注的热点，特别是这两年颁布的多部新标准，提出了“净化技术的新发展、新技术、新措施”的年会主题，重点围绕净化技术的发展趋势、前沿科技以及当前实施中技术难点问题，开展了各种形式的交流活动。会议还邀请国内外专家做了专题报告，我公司暖通专业副总师董秀芳参加了会议，并在会上作了《医药工程新版GMP实施策略》的报告，受到与会同行的一致好评。

电气专业

公司参加全国建筑物电气装置标准化技术委员会2013年会及标准审查会

11月28-30日，全国建筑物电气装置标准化技术委员会（SAC/TC64）2013年度工作会议及标准审查会在贵州遵义召开。本次会议听取了上级领导有关标准化的工作指导，总结了标委会的年度工作情况。与会代表与德国全集成能源管理TIP技术专家就“基于欧洲能源市场自由化的智能电网和微网”专题进行了交流，最后还听取了IECTC-64工作组的工作报告。

作为该标委会成员单位的代表，我公司电气专业总师丁杰、电气专业副总师苏碧萍出席了本次会议。会上，由我公司苏碧萍、刘屏周、丁杰主编的GB 16895.3-201X《低压配电装置 第5-54部分：电气设备的选择和安装 接地装置和保护导体》顺利通过标准审查。

工程造价专业

公司参加《建设工程人工材料设备机械数据标准》（GB/T 50851-2013）宣贯培训

12月11-13日，由住房和城乡建设部信息中心组办的《建设工程人工材料设备机械数据标准》（GB/T 50851-2013）宣贯培训班在厦门举行，本次宣贯培训邀请了《标准》的主编单位广东省建设工程造价管理总站、住建部信息中心和编码维护系统单位广联达公司及应用单位北京港源装饰公司、东方雨虹等单位的专家分别从《标准》内容解读、应用、定额编制、信息化支持、企业工程成本管理、材料供应等方面进行宣贯培训和交流。我公司二院造价专业人员参加了此次宣贯。

公司建筑院组织造价专业人员进行超高层建筑造价调研

12月13-14日，公司建筑院组织造价专业人员前往上海进行超高层建筑造价调研。在调研期间，建筑院一行六人主要访问了由我公司总承包的中国商用航空发动机有限公司总部及研发大楼，还参观了正在施工的企业天地5号大楼、东方汇金中心、上海中心大厦和已竣工的会德丰广场、金茂大厦等几个超高层建筑。在参观学习过程中，调研人员认真听取项目负责人的介绍，并就平常工作中遇到的一些实际问题仔细询问，努力提升自身解决问题的能力。

工程管理专业

工程管理专业技术委员会组织项目经理培训交流会

12月19-20日，公司工程管理专业技术委员会组织开展主题为《提升EPC项目管理能力 助推公司战略实现》的项目经理培训交流会。公司及总部职能部门部分领导、各院主管院长、项目经理、项目副经理、各院项目管理室主要人员及相关人员共80余人参加了本次培训交流会。此次培训交流会的目的是为了提升公司工程业务由管理型向EPC承包型转变的能力要求，提升总承包项目经理的素质和业务能力，提高总承包项目管理水平。

本次培训交流会的内容紧紧围绕工程业务的核心展开。在培训会上，公司副总沈顺高着重从项目策划、与设计的沟通融合、管理的定位、安全质量及人才队伍建设等几个方面分析了项目运行过程中需注意问题并提出了要求。公司总工程师陆国杰分析了我公司面临的形势和运行的状态，做了题为《基于KIBS的工程管理公司的能力提升研究》的专题发言。特级项目总监米敬明剖析了EPC项目管理过程中容易出现的各种问题，要求在项目运行过程中引起重视。





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
主办单位 中国航空规划建设发展有限公司

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 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 张海飞
金来建 周桂 贺宏斌
唐永堃 郭志海 徐克利
徐晓东 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 冯志军
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 北京盛世双龙印刷有限公司
电话 (010)62038235 62038276
传真 (010)62038297
封面 山西省科技馆

CONTENTS

目录 2013年第4期 总第110期

岩土工程

- 02 围护墙-支护桩复合结构在基坑的应用 张怀文 尹一鸣 谢荣昌
07 地铁盾构施工中地表沉降分析及控制措施研究 王丽娜 刘志强

研究与探讨

- 12 高速切削加工技术在航空制造业模具加工中的应用 周成中
17 地铁所致成都博物馆振动全过程性能化研究
葛家琪 张玲 马伯涛
26 LED光衰分析 陈寅生
30 论空气炉炉温均匀性 蒋焕祥

新兴产业咨询

- 36 生物医药园区平台建设研究 曹雁林
42 基于RFID技术的模具管理系统研究 张超
48 航空企业博物馆建设与运营模式探讨 杨伟铭

工程设计

- 55 热压罐循环冷却水系统设计 王涛 杨立红 刘芳 孔庆波
59 乌兰察布博物馆空调设计 高阳洋

围护墙-支护桩复合结构在基坑的应用

■ 张怀文 尹一鸣 谢荣昌 「岩土工程」

摘要: 本文依托成都某基坑工程,针对永久性桩锚支护结构,采用杆件有限元法和等值梁法联合设计的方法,研究了大刚度桩锚支护结构的力学性状与变形特征。研究内容涵盖了基坑开挖阶段、正常使用阶段、地震发生阶段三个工况。首先在基坑开挖阶段建立杆件有限元模型和等值梁法模型,通过优化设计,确定了永久支护结构的技术参数;其次利用FLAC软件建立三维数值分析模型,验证了基坑开挖工况、地下水恢复工况数值模型的稳定特征;最后输入地震荷载,模拟计算模型的动力反应,获得了静动力作用下永久支护结构的力学变形特性曲线。通过设计计算结果与实际监测数据对比,确定了满足整体稳定安全系数 2.0,锚杆抗拉安全系数 2.0,荷载分项系数 = 1.25,工程重要性系数 = 1.1的桩锚支护结构在七度抗震设防烈度下的永久性的安全性。

关键词: 深基坑; 永久支护; 桩锚结构; 数值分析

0 引言

经济发展促进了城市建设的繁荣,也极大地促进了地下空间的开发利用。建筑环境的恶化以及使用要求的不断提高,对地下空间的开发建设也提出了崭新的课题。成都博物馆新馆项目是在2008年汶川“5.12”大震后开工建设的大型公用建筑。鉴于大震对四川省文物产生的严重破坏后果,建设方提出“隔震”要求,即在发生地震灾害时,地震产生的震动最大程度地隔离在地下结构之外,从而保障馆藏文物不受地震影响。为此,设计了围护墙-支护桩复合结构来隔断地震水平向荷载的影响,通过在底板上设置高强隔震垫等措施来阻断地震竖向作用的影响。

1 工程概况

建设项目位于四川省成都市。基坑轮廓大致

表1 场地土层参数表

序号	土层名称	厚度/m	容重/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	c/kPa	$\phi /(^{\circ})$
①	素填土	5.0	19.8	5.0	10.0
②	中砂	0.5	20	0.0	28.0
③ ₁	松散卵石	2.6	20	0.0	32.0
③ ₂	稍密卵石	1.4	20	0.0	38.0
③ ₃	中密卵石	6.1	20	0.0	43.0
③ ₄	密实卵石	4.0	20	0.0	45.0
④ ₁	强风化泥岩	1.0	20	80	30.0
④ ₂	中风化泥岩	≥ 6.0	20	300	35.0

呈矩形,东西向长145m,南北向宽85m。基坑开挖深度-23.40m。地层条件见表1。

场地35.0m深度内存在一层地下水,主要赋存于第四系砂卵石层中。枯水期地下水位埋深3.0~5.0m;洪水期地下水埋深2.5~4.0m。

2 基坑工程设计方案

首先采用杆件有限元方法和等值梁法,利用

作者简介:张怀文,男,研究员,1995年毕业于河海大学结构力学专业,现就职于中航勘察设计研究院有限公司地基工程部。

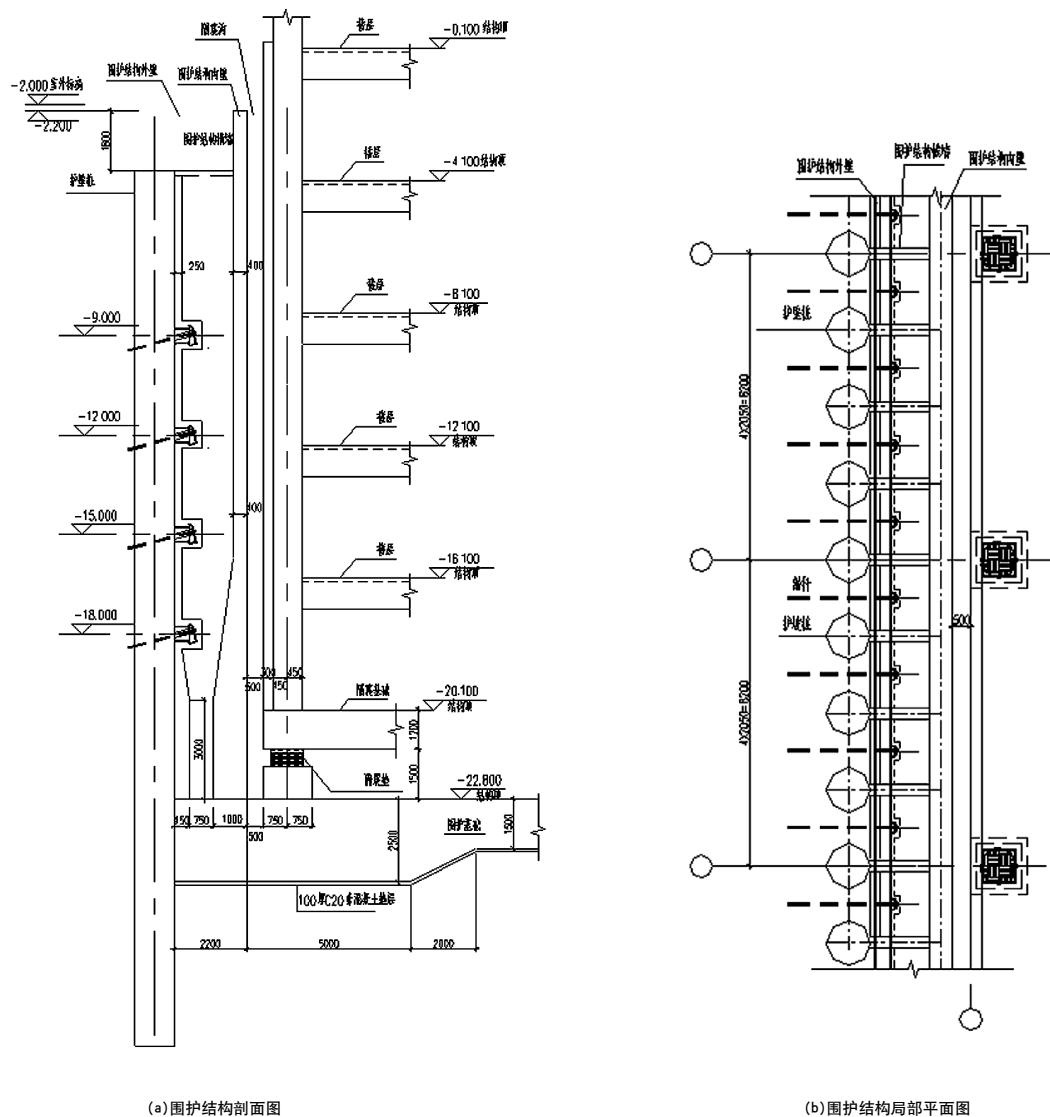


图1 支护设计图

理正深基坑支护软件(6.01版),按照整体稳定安全系数 ≥ 2.0 ,锚杆抗拉安全系数 ≥ 2.0 ^[1],计算了桩锚结构;再用有限元计算软件MIDAS(7.30版)计算校核了围护墙—支护桩复合结构(见图1)。自施工阶段至使用阶段,考虑了以下九个工况:

- (1)施工支护灌注桩;
- (2)基坑挖至-7.5m,安设第一排预应力锚索;
- (3)基坑挖至-10.5m,安设第二排预应力锚索;
- (4)基坑挖至-13.5m,安设第三排预应力锚索;
- (5)基坑挖至-16.5m,安设第四排预应力锚索;
- (6)基坑挖至-23.3m,基坑开挖至基底;
- (7)钢筋混凝土围护墙施工;
- (8)地下水位恢复到常年水位;
- (9)设计震级的地震作用。

按照施工顺序以及承载过程,支护桩首先承担基坑开挖过程中全部岩土压力。因此支护桩设计包括(1)~(6)工况的全部内容。使用理正深基坑支护软件进行了工况计算。最终的内力包络图和计算变形见图2。护坡桩直径1200mm,间距2.0m,设计4排锚索。

3 数值模拟计算

围护墙在基坑开挖达到设计底标高后再进行施工,通过预埋件与支护桩连成一体,成为复合支挡结构。复合结构设计包括(7)~(9)工况的全部内容。使用FLAC3D软件对基坑工程进行了全过程模拟计算。地表沉降计算影响范围见图3。

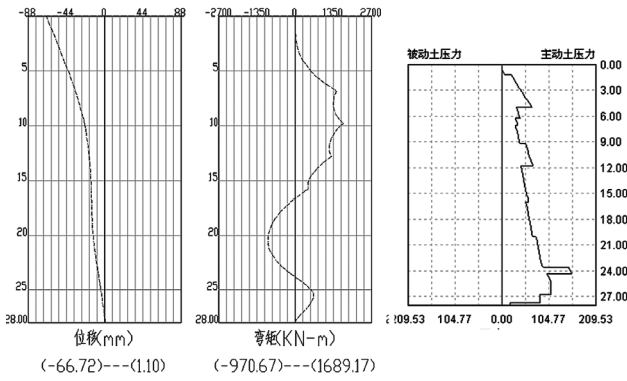


图2 护坡桩力学性状

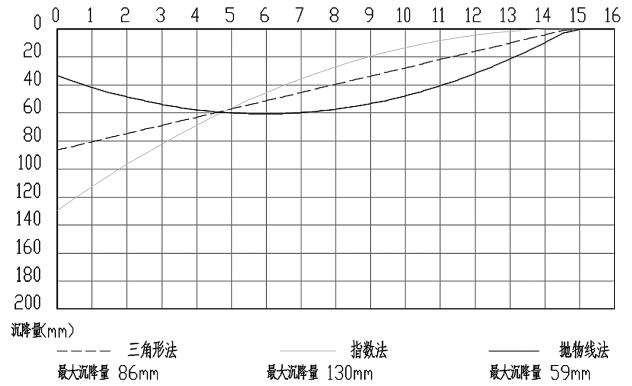


图3 地表沉降计算影响范围

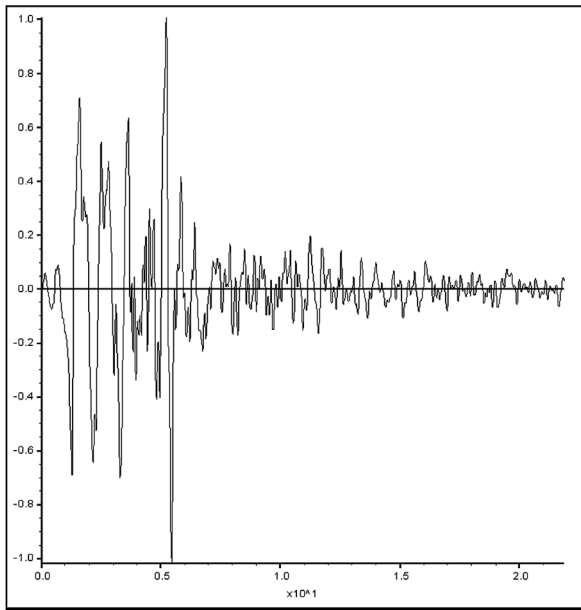


图4 水平加速度时程曲线

首先确定三维计算模型的计算坐标系：X轴指向正北方向、Y轴指向正西方向、Z轴垂直向上。地层介质从上至下考虑杂填土、松散卵石层、稍密卵石层、中密卵石层、密实卵石层、中密卵石层和中风化泥岩层共7层。将模型简化为长142m(南北向)，宽56m(东西向)的矩形基坑。根据文献^[2]，地基范围可取不超过基坑宽度的二倍。综合工程经验，模型长度方向向外延伸56m，宽度方向向外延伸56m，厚度方向向下延伸56m。由于基坑基本对称，为简化计算，建模取1/4基坑部分进行模拟计算。

全部模型由多边形混合单元组成，为保证计算精度以及从研究对象的角度出发，开挖区单元划分较密，单元尺寸小，开挖区域外围网格相对较为粗糙。模型共35,112个实体单元，38,454个节点；

Beam和Cable结构单元节点数分别为4,018和4,263个。开挖模拟计算过程中，运行时步为 $1.0e-004$ ，整个模拟计算过程耗时6~8h。地震荷载作用下模拟计算过程中，运行时步为 $2.2e-005$ ，地震荷载持续时间为40s，采用Intel Core 2 Duo E7400微机(CPU主频达2.8GHz)，整个模拟计算过程需耗时5~6d。因此对计算模型近似采用1/4基坑先简化后模拟是必要的。

本计算采用了1987年发生在美国California的Loma Prieta地震资料^[3]，其地震水平加速度时程曲线见图4。首先进行了滤波处理，滤波频率 $f=5\text{Hz}$ 。为了保证模型动力计算结束时速度与最终位移为零，对加速度时程曲线还进行了基线修正。

图5给出了第一至四排锚杆静力荷载条件下锚杆拉力模拟计算值。受空间效应的影响，锚拉力沿基坑边沿逐渐减小。另外，在土层条件比较均匀的前提下，相邻上下排锚杆影响比较明显。模拟计算结果显示：锚杆拉力的大小次序为第一排锚杆拉力最大，其次为第三排锚杆，再次为第二排锚杆，最后为第四排锚杆。各排锚杆拉力沿基坑边沿中点位置向基坑角点方向逐渐递减。

图6给出了第一至四排锚杆地下水位恢复工况的静力荷载条件下拉力计算值。受空间效应的影响，锚拉力沿基坑边沿逐渐减小。在基坑开挖到基底的情况时，第三排锚杆拉力大于第二排锚杆拉力，地下水位恢复常水位后，第三排锚杆拉力值几乎等于第二排锚杆拉力。各排锚杆拉力沿基坑边沿中点位置向基坑角点方向逐渐递减。

地震荷载下标高-18.0m、-11.5m、-5.0m三个不同高度护坡桩桩身弯矩动力响应与地震输入保持一致，在地震开始时间 $s=8\text{s}$ 左右达到峰值，基坑短边中点桩身最大弯矩值由 $8.578e4\text{N}\cdot\text{m}$

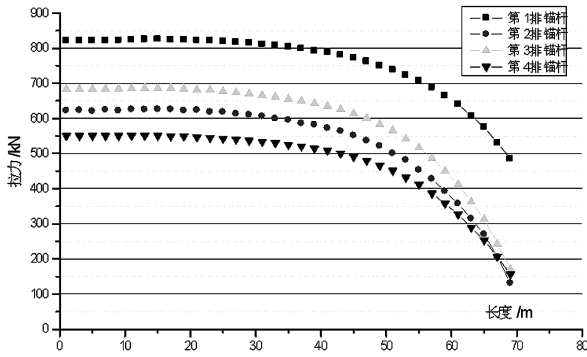


图5 开挖至基底第一至四排锚杆拉力分布图

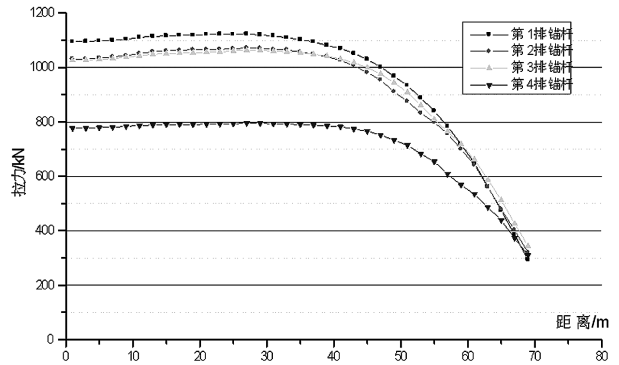


图6 地下水恢复工况第一至第四排锚杆拉力分布图

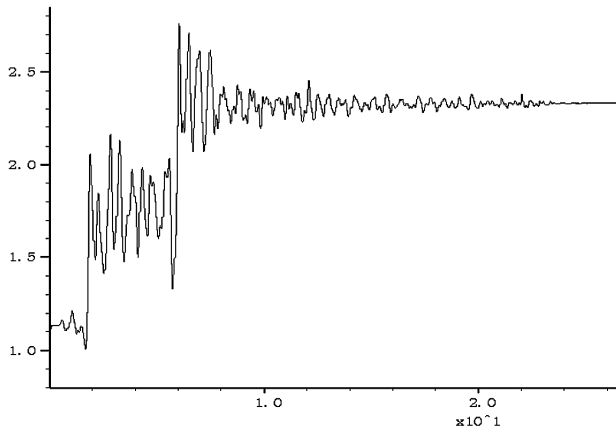


图7 基坑第一排锚杆拉力时程曲线

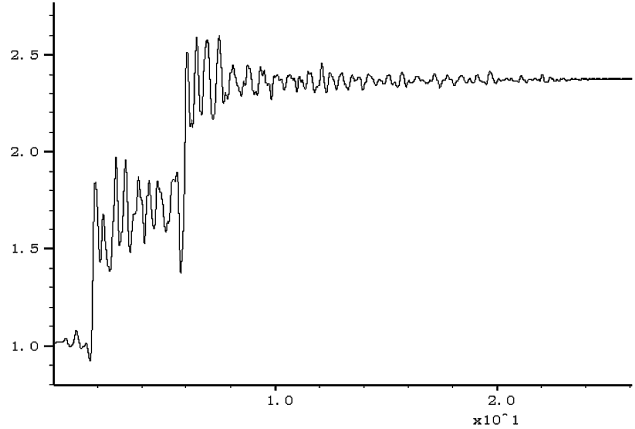


图8 基坑第二排锚杆拉力时程曲线

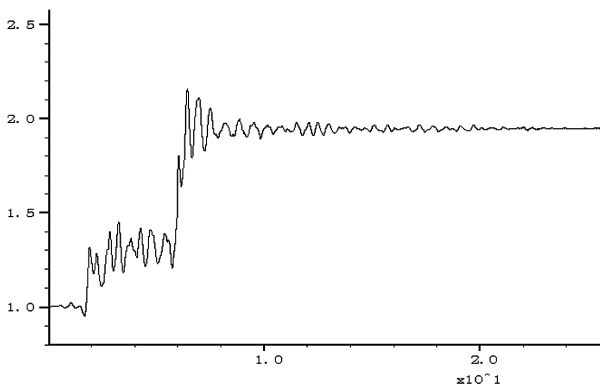


图9 基坑第三排锚杆拉力时程曲线

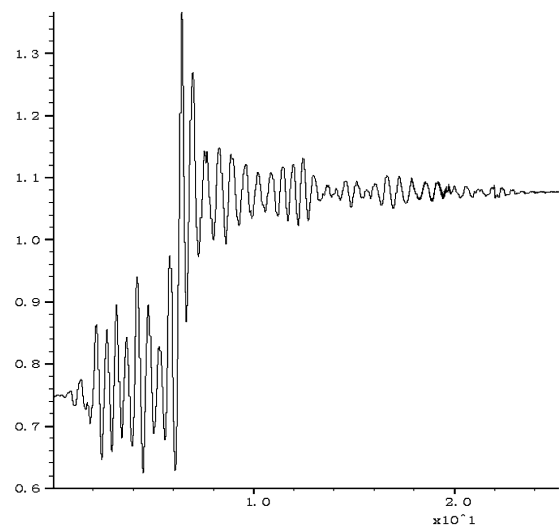


图10 基坑第四排锚杆拉力时程曲线

增大到 $1.807e5N \cdot m$ ，对比提高2.1倍，基坑长边中点桩身最大弯矩值由 $8.600e4N \cdot m$ 增大到 $1.941e5N \cdot m$ ，对比提高2.2倍。

地震荷载下锚杆动力响应也较为显著。图7~10分别为地震荷载下第一排锚杆(标高-7.0m)、第二排锚杆(标高-10.0m)、第三排锚杆(标高-13.0m)、第四排锚杆(标高-16.0m)拉力时程曲线图。图中结果表明，锚杆拉力动力响应与地震输入保持一致，在地震时间 $s=8s$ 左右

达到峰值，但四个位置动力反应特征不尽相同。标高-16.0m锚杆(第四排锚杆)拉力动力反应由低到高，随着阻尼的作用而逐渐稳定到某一数值，锚杆拉力从静力条件下(地下水恢复工况)的 $7.791e5N$ 上升到稳定值 $1.095e6N$ ，提高了40%；

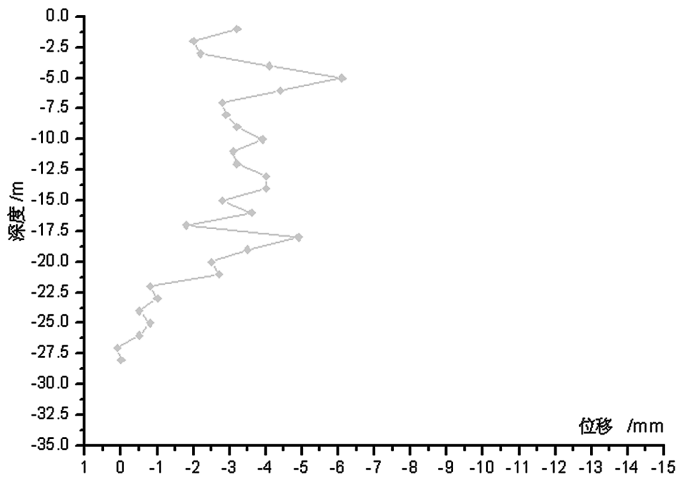


图11 支护桩桩身水平位移分布图

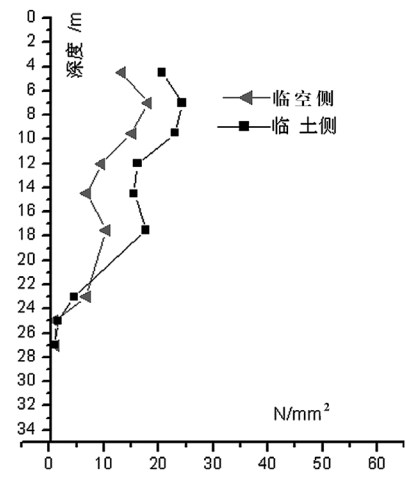


图12 支护桩桩体应力分布图

标高 -13.0m 锚杆(第三排锚杆)拉力动力反应由低到高,随着阻尼的作用而逐渐稳定到某一数值,锚杆拉力从静力条件下(地下水位恢复工况)的 $1.030\text{e}6\text{N}$ 上升到稳定值 $1.989\text{e}6\text{N}$,提高了93%;标高 -10.0m 锚杆(第二排锚杆)拉力动力反应由低到高,随着阻尼的作用而逐渐稳定到某一数值,锚杆拉力从静力条件下(地下水位恢复工况)的 $1.035\text{e}6\text{N}$ 上升到稳定值 $2.414\text{e}6\text{N}$,提高了133%;标高 -5.0m 锚杆(第一排锚杆)拉力动力反应由低到高,随着阻尼的作用而逐渐稳定到某一数值,锚杆拉力从静力条件下(地下水位恢复工况)的 $1.098\text{e}6\text{N}$ 上升到稳定值 $2.344\text{e}6\text{N}$,提高了113%。与基底上部变形大,下部小的变形趋势吻合。

4 监测结果

工程对锚杆拉力、支护结构桩体变形、支护结构内力、地表沉降进行了监测。锚杆拉力监测显示,锚杆拉力变化不大,一直维持在锁定值附近。第一道锚索拉力锁定值 400kN ;第二道锚索拉力锁定值 450kN ;第三道锚索拉力锁定值 450kN ;第四道锚索拉力锁定值 450kN 。

桩体变形监测使用配套预埋的测斜管获取数据。支护结构内力监测是通过在钢筋笼迎坑面和迎土面主筋上安装的钢筋计(竖向每间隔 $2\sim 3\text{m}$ 安装一个),随混凝土灌注成桩时完成监测点预设工作,监测时使用配套测读仪获取数据。基坑监测时间从2010年9月开始,一直持续到主体施工结束。

5 结论

(1)围护墙与支护桩结构的联合,大大增加了护坡结构刚度。通过侧壁墙施工后地下水位恢复到正常水位的工况与基坑开挖到基底的工况对比,基坑中点桩身第一至四排最大锚杆拉力值由 822kN 、 625kN 、 685kN 、 550kN 分别增大到 1100kN 、 1060kN 、 1050kN 、 790kN ,对比提高到1.3倍、1.7倍、1.5倍、1.4倍。基坑中点桩身最大弯矩值对比提高到 $2.1\sim 2.2$ 倍。锚杆拉力增量明显小于桩体弯矩增量,表明基坑外围新增地下水压力主要由侧壁墙-护坡桩联合结构承担,增大支护结构刚度可有效减少水平锚杆构件的拉力设计值;

(2)地震荷载作用下桩锚结构内力特征:桩体内力增幅与锚杆拉力增幅基本相同,桩体弯矩增大至约 $2.0\sim 2.5$ 倍静力条件下弯矩值,锚杆拉力值也增大至约 $2.0\sim 2.5$ 倍静力条件下拉力值。由于复合结构具有抗弯刚度大的特点,桩体弯矩绝对值较小,而锚杆拉力的绝对值较大,因此,抗震设计需充分考虑锚杆的动强度问题。

参考文献

- [1] 国家行业标准. 建筑基坑支护技术规程(JGJ120-99). 北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [2] 卓家寿. 弹性力学中的有限元法[M]. 北京:高等教育出版社,1987.
- [3] 刘波,韩彦辉(美国). FLAC原理、实例与应用指南[M]. 北京:人民交通出版社,2005.

地铁盾构施工中地表沉降分析及控制措施研究

■ 王丽娜 刘志强 「岩土工程」

摘要: 相对于传统地铁隧道施工法,盾构工法主要有高效、对周围环境影响小等优点,但仍不可避免的对周围地层造成扰动,引起地表沉降;在盾构施工中,通过改善掘进中施工参数的控制与同步注浆液的质量,可有效预防和减少此沉降;对此,本文结合地铁实例中盾构施工参数控制情况、施工现场实测数据情况,进行了分析与验证。

关键词: 盾构施工; 地表沉降; 现场监测; 沉降控制

0 引言

进入21世纪以来,随着国民经济和社会生产力的快速发展,城市化进程不断加快,城市人口聚集与城市地面交通基础设施落后之间的矛盾日益凸显,为缓解这一矛盾,如何更好的利用城市地下空间,有效的解决城市交通拥堵问题,促进现代化城市建设的可持续发展,已经成为当今城市现代化建设的重要内容之一。从世界范围来看,城市地下空间的建设和发展成为一种不可回避的潮流时,北京市也迎来了新一轮轨道交通建设高潮的到来,至2015年,北京将建成19条轨道交通线,形成“三环、四横、五纵、七放射”的线网格^[1-2]。

盾构工法由于其自动化程度高、施工快速、优质高效、安全环保等优点,在城市隧道建设中取得了很大的成功,但因盾构的推进引起地层扰动,往往引发一系列环境病害,诸如周围建筑物开裂、倒塌、邻近管线断裂、破损、地面沉降较

大甚至塌陷等,妨碍既有构筑物的正常使用。伴随着盾构施工方法的逐步完善,众多学者专家对盾构法施工引起的地表沉降及其控制措施等方面进行了大量的研究^[3];本文结合地铁实例对地表沉降作出分析,并给出相关控制措施,为类似工程提供参考。

1 地表沉降机理

总体而言,盾构掘进过程中引起地表沉降的根本原因是盾构施工对周围土体的扰动,其历时变化一般可分为五个阶段,即盾构到达前、盾构到达时、盾构通过时、盾构通过后、后续固结期沉降(见图1),其中前四项沉降位移总和为即时地表沉降。即时地表沉降的大小反映了盾构掘进对土体的影响程度,以及盾构掘进中施工参数设置恰当与否^[4-5]。

(1)盾构到达前的超前隆沉:指发生在开挖面距测点水平距离5~20m范围内的隆沉变化,一般表现为沉降,但沉降量很小,主要是盾构掘剖面引起的地下水位降低而发生的;

(2)盾构到达时的隆沉:指发生在开挖面距测点水平距离0~5m范围内的隆沉变化。当盾构掘

作者简介:王丽娜,女,助理工程师,2012年毕业于中国矿业大学(北京)结构工程专业,现就职于中航勘察设计研究院有限公司测绘二部。

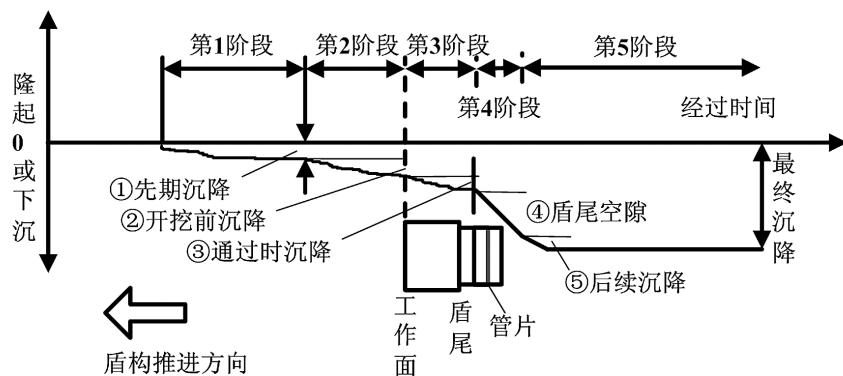


图1 盾构推进引起地面沉降过程

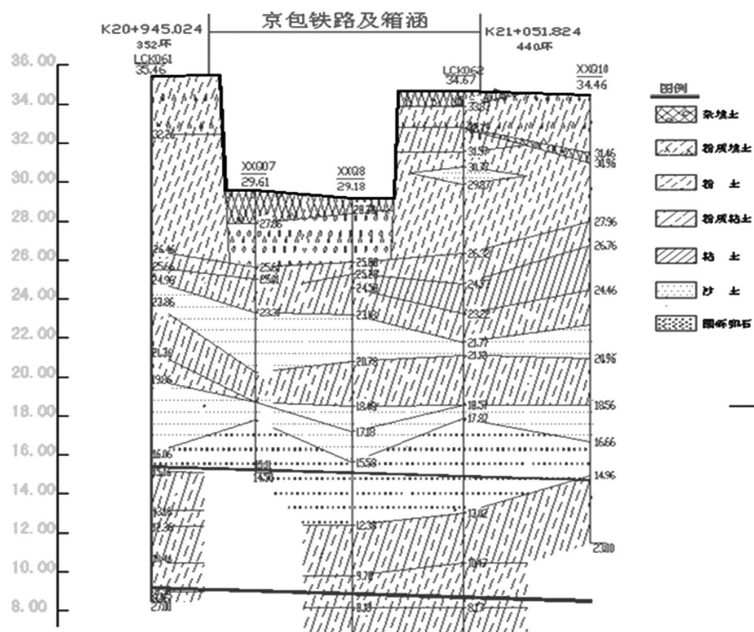


图2 盾构区间地质剖面图

进参数中的土压力值、推力值较大，出土量小于100%时，地表呈隆起状态；当土压力值、推力值较小，出土量大于100%时，地表呈沉降状；

(3)盾构通过时的沉降：指发生在盾构开挖面至盾尾(即测点离开挖面为 $0 \sim -Lm$, L 为盾体长度)范围内，一般为沉降的变化。主要由盾构外壳与土层间会形成剪切滑动面，剪切滑动面附近的土层内产生剪切应力引起；

(4)盾构通过后的瞬时隆沉：在盾尾离开测点 $0 \sim 5m$ 范围内，一般表现为沉降，主要由建筑空隙造成，建筑空隙是由于管片拼装后与盾构外壳之间形成空隙以及盾构偏移隧道轴线引起的空隙之总和。若注浆不及时会发生较大的沉降，若采

用同步注浆，并及时、充足的注浆，则不易发生沉降，若过量注浆，则产生隆起；

(5)后续固结期沉降：由盾构推进中对周围土体的扰动引起；其与地表即时变形量有很好的对应关系，地面即时变形越大，周围土体的扰动程度越大，地面后期固结变形也越大；其特点是沉降时间很长，但沉降速率逐渐减小。

2 工程实例

2.1 工程概况

以北京地铁某盾构区间为例，其隧道埋深为 $14.06 \sim 20.09m$ ；隧道上覆土层(从上到下)为：杂填土(局部)、粉质粘土(局部)、粉土、粉质粘土、沙土、粉质粘土、沙土、圆砾卵石；隧道穿越土层(从上到下)为：圆砾卵石、粉质粘土、粉土；隧道区间内无地下水(见图2)。

地面风险源状况：轨道区间上方为主干道路，道路两侧多为6层左右住宅楼，局部有14层以上高层住宅楼，区间自西向东下穿铁路，并平行下穿雨水管、污水管等多条管线(见图3)。

2.2 现场测量沉降数据分析

2.2.1 沉降监测预警控制标准

据区间设计勘察资料可知，不同建构筑物的累计沉降值与日沉速率控制值要求不同，具体见

表1 测点控制值

测点类型	控制值	
	地表监测点(DB)	累计沉降值mm
日沉降速率mm/d		3
建筑物监测点(JZC)	累计沉降值mm	15
	日沉降速率mm/d	1
有压管线监测点(GXC)	累计沉降值mm	10
	日沉降速率mm/d	2

表2 区间测点预警统计情况

	建筑物	地表	管线	共计
发生监测预警测点总数	13	11	10	34
现保留预警状测点总数	2橙/3黄	9橙/2黄	2橙/2黄	13橙/7黄

表3 测点DB-01-04沉降历时变化表

阶段	相对沉降值	所占百分比
盾构到达前	1.42	3.17%
盾构到达时	0.4	0.89%
盾构通过时	0.52	1.16%
盾构通过后	5.08	11.34%
后续固结沉降	37.38	83.44%

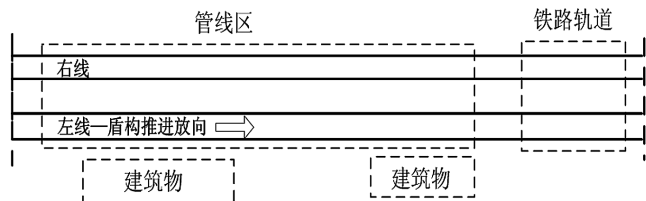


图3 地面风险源情况

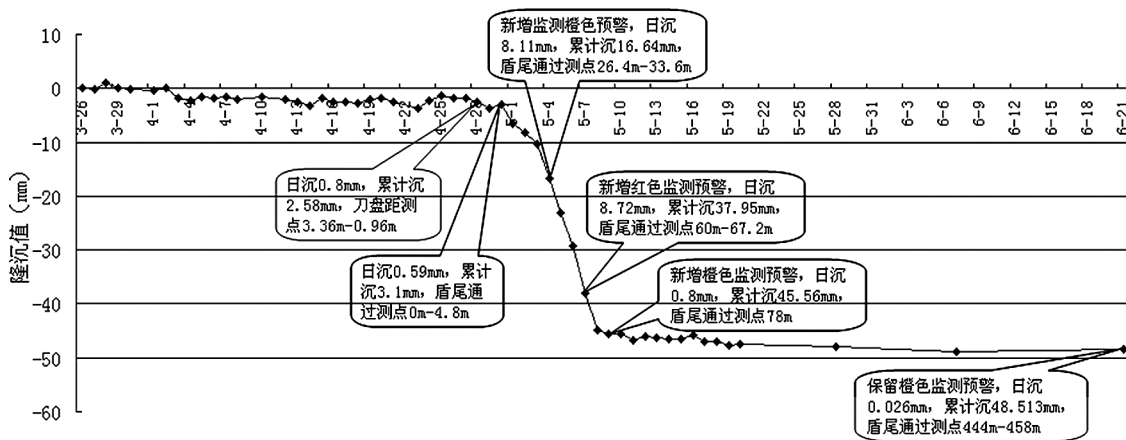


图4 测点DB-01-04沉降曲线与盾构推进关系图

表1所示。

为促进北京市轨道交通建设安全风险技术管理工作的系统化、规范化和信息化,最大限度地规避风险,避免人员伤亡和环境损害,降低工程经济和工期损失,北京市设立了《北京市轨道交通工程建设安全风险技术管理体系》,体系中规定,根据现场工程风险特点,将监测成果按黄色、橙色、红色三级预警进行管理控制:

黄色监测预警:“双控”指标(变化量、变化速率)均超过监控量测控制值的70%时,或双控指标之一超过监控量测控制值的85%时;

橙色监测预警:“双控”指标均超过监控量

测控制值的85%时,或双控指标之一超过监控量测控制值时;

红色监测预警:“双控”指标均超过监控量测控制,或实测变化速率出现急剧增长时^[6]。

2.2.2 测点预警情况统计及沉降数据分析

通过对该盾构区间的测量数据进行监测预警统计分析,可知盾构推进过程中产生的沉降较大,致多处测点发生监测预警,见表2。

现选取地表沉降较大点DB-01-04(于左线隧道上方18环线路中心),并结合盾构掘进进度情况进行分析,其沉降曲线与盾构推进关系见图4,测点沉降历时变化见表3。

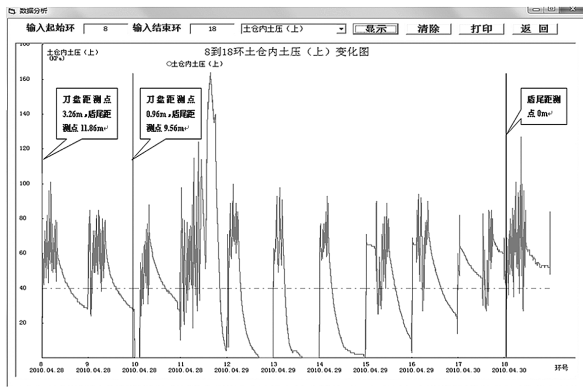


图5 8~18环土舱内土压(上)变化图

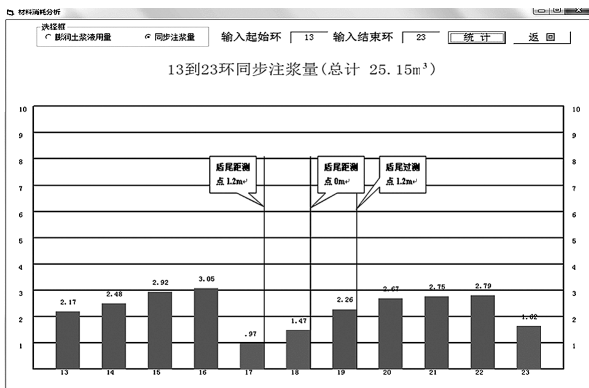


图6 13~23环同步注浆量

2.3 盾构施工对地表沉降的影响分析

2.3.1 盾构施工参数分析

该区间盾构设备长度为8m,可推知盾构在推进至11~12环间时,刀盘正于测点DB-01-04下方,由8~18环土舱内土压(上)变化图(见图5)可获得,盾构设备通过测点期间土压控制偏低,甚至部分时段低至0bar,造成刀盘前方土体松动,导致地表有沉降可能。

当管片拼装完成时,需及时进行同步注浆施工工艺以填充土体与管片间的空隙,避免土体塌落产生地表沉降。通过13~23环同步注浆量统计图(见图6)可知,盾尾脱离测点时,同步注浆量明显不足,不能有效填充空隙,致地表产生沉降。

2.3.2 同步注浆液质量分析

由图4分析发现,测点DB-01-04的沉降主要发生在盾尾脱离测点后,为进一步查明沉降原因,对隧道内同步注浆液进行了连续取样跟踪,浆液质量情况见图7,经统计每日取浆浆液的初凝情况见表4,可知其同步注浆液质量不稳定,未能及时凝固与起到有效填充作用,致地表后续沉降较大。



图7 同步注浆液质量

表4 同步注浆液质量观测统计情况

日期	共观测时间	状态
5月25日	33h35 ¹	未初凝
5月26日	10h40 ¹	未初凝
6月1日	10h	未初凝
6月2日	21h35 ¹	未初凝
6月4日	20h40 ¹	已初凝
6月6日	18h	未初凝
6月10日	8h35 ¹	未初凝
6月12日	6h40 ¹	已初凝
6月13日	10h	未初凝
6月15日	9h52 ¹	未初凝

2.3.3 地层因素分析

本隧道区间穿越土层主要为粉质粘土、粉土,其地层本身后续沉降较大,是造成测点后续沉降的影响因素之一。

3 工程改进情况

基于以上对地表沉降及盾构施工情况的分析,并为保证安全下穿铁路轨道,将沉降控制在标准值之内,施工单位对盾构掘进参数进行了优化调整。

3.1 施工参数调整

将土压上调至1.2bar以上,并确保各环同步注浆量充足,分别见图8与图9,同时改善同步注浆液质量,确保将浆液初凝时间控制在6h左右。

3.2 测点沉降情况分析

经过上述施工改进措施后,由实测监测数据可知:左线盾构下穿铁路过程中,累计沉降最大点为测点QCJ-02-03(于左线隧道上方386环线中心,地质条件与前类似,初始值为-2.67mm),截至6月26日,日沉速率为-0.01mm,累计沉为-6.04mm,较6月15日数据-5.02mm变形增大,但变形速率较小,测点总体沉降控制较好,

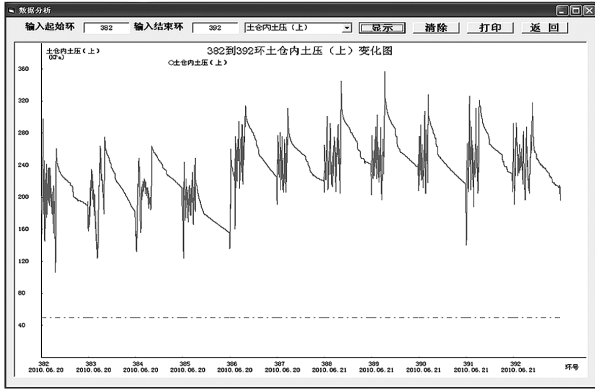


图8 382~392环土压控制情况

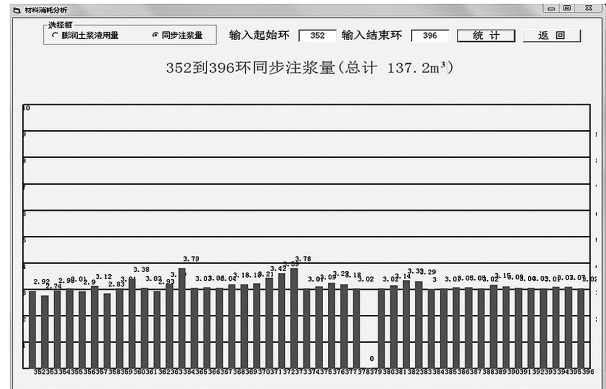


图9 352~396环同步注浆量情况

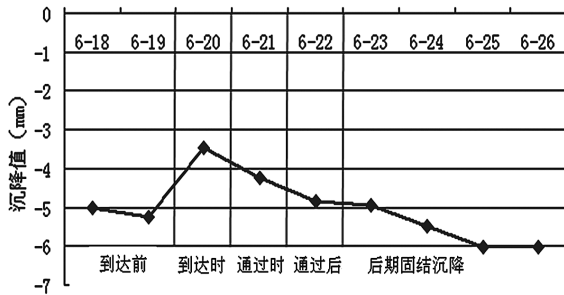


图10 测点QCJ-02-03沉降历时变化

表5 测点QCJ-02-03沉降历时变化表

阶段	相对沉降值	所占百分比
盾构到达前	0.24	5.19%
盾构到达时	1.79	38.74%
盾构通过时	0.8	17.32%
盾构通过后	0.59	12.77%
后续固结沉降	1.2	25.97%

处于安全可控状态。其中测点沉降历时变化表见表5, 沉降历时变化图见图10。

分析对比施工情况改善前后, 测点沉降历时变化中五个阶段的相对沉降值见图11, 可知有效的施工预防措施可较大程度的减小地表沉降值, 尤其指第五阶段的后续固结沉降。

4 结论

本文通过工程实例中盾构推进不同阶段引起地表的沉降比例、盾构施工的控制情况、现场实测数据的分析情况得出以下结论:

(1)盾构推进各阶段引起地表沉降具有较大的变异, 主要取决于地层条件、盾构施工技术及周围环境;

(2)盾构施工过程中采取相应有效的预防和控制措施, 如调整盾构施工参数, 改善同步注浆液

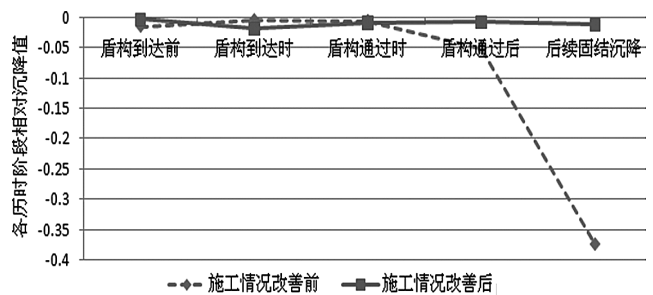


图11 施工情况改善前后各阶段相对沉降值对比

质量等, 可确实减小地表沉降, 起到有效规避安全风险事故发生的作用;

(3)对大量的监测数据进行分析, 可挖掘大量的信息, 如地表沉降曲线与趋势等, 为工程施工决策提供足够的依据;

(4)尽管由于技术的改进, 盾构工法成为目前地下工程施工中引起较小地表沉降的工法, 但此沉降仍不容忽视, 尤其当盾构下穿铁路有线等特和一级风险源时。

参考文献

- [1] 孙钧. 地下结构(上、下)[M]. 北京:科学出版社, 1991.
- [2] 陶龙光, 巴肇伦. 城市地下工程[M]. 北京:科学出版社, 1996.
- [3] 段继伟, 龚晓南, 曾国熙. 水泥搅拌桩的荷载传递规律[J]. 岩土工程学报, 1994, 16(4): 1-8.
- [4] 张书丰. 地铁盾构隧道施工期地表沉降监测研究[D]. 南京:河海大学, 2004: 34-36.
- [5] 张凤祥, 傅德明, 杨国祥等. 盾构隧道施工手册[M]. 北京:人民交通出版社, 2005: 564-565.
- [6] 北京市轨道交通工程建设安全风险技术管理体系[M].

高速切削加工技术在航空制造业模具加工中的应用

■ 周成中 「工艺」

摘要: 本文首先介绍了高速切削加工技术的概念及特点,接着分析了航空制造领域模具加工工艺特点和高速切削加工技术在其中应用现状,对于航空制造企业如何选择高速加工机床提出了见解。最后分析了高速切削加工技术在我国航空制造企业模具加工领域推广和发展所存在的问题。

关键词: 高速切削; 航空制造业模具加工; 问题

0 绪论

高速切削加工技术属于先进加工技术,在模具和汽车加工中有着广泛和成熟的应用。航空制造业模具加工行业有其自身特点,如品种多、批量小,应用好,高速切削加工技术是加快模具开发速度、提高模具制造品质、降低模具制造成本、保证新品研制生产的关键所在。当前我国航空制造业模具加工领域对此认识尚不够,需要不断的加强自身学习,加强与先进制造企业的交流来提高认识。引进高速切削加工技术将给航空制造企业模具加工领域带来翻天覆地的变化,必须提高认识,推广其应用。

1 高速切削加工技术概述

1.1 概述

高速切削(High Speed Cutting,HSC)是

近十几年来迅速崛起的一项先进制造技术。由于高速切削技术具有切削效率高、加工质量高、能直接加工淬硬钢件和良好的经济性,使航空、模具、汽车、轻工和信息等行业的生产效率与制造质量显著提高,并引起加工工艺及装备相应的更新换代。

因此,如同数控技术一样,高速切削和高速加工已成为21世纪机械制造业一场影响深远的技术革命。目前,适应HSC要求的高速加工中心和其他高速数控机床在发达国家已呈普及趋势,我国近来也在加快发展。

有关高速切削的定义,目前尚无统一的认识,由于不同的加工方式,不同的切削材料有着不同的高速切削速度和加工参数,但都具有以下特点:切削速度很高,通常认为其速度超过普通切削的5~10倍;机床主轴转速很高,一般将主轴转速在10,000~20,000r/min以上定为高速切削;进给速度很高,通常达15~50m/min。

1.2 高速切削加工技术的特点

总体而言,高速高速切削加工具有以下几方面的技术特点。

作者简介:周成中,男,高级工程师,2002年毕业于南京航空航天大学机电学院,现就职于中航建发动力工程设计研究院。

1.2.1 加工效率高

高速切削加工允许使用较大的进给率，比常规切削加工提高5~10倍，单位时间材料切除率可提高3~6倍，加工时间可大大减少。这样可以用于加工需要大量切除金属的零件，特别是对于航空工业具有十分重要的意义。

1.2.2 切削力小

和常规切削相比，高速切削加工时切削力至少可降低30%，这对于加工刚性较差的零件来说可减少加工变形，使一些薄壁类精细工件的切削加工成为可能。

1.2.3 切削热对工件的影响小

高速切削加工过程极为迅速，95%以上的切削热量极少，零件不会由于温升导致翘曲或膨胀变形。高速切削特别适用于加工容易热变形的零件。对于加工熔点较低、易氧化的金属(如镁)，高速切削有一定意义。

1.2.4 加工精度高

因为高速旋转时刀具切削的激励频率远离工艺系统的受迫振动，保证了较好的加工状态。由于切削力太小，切削热影响小，使得刀具、工件变形小，保持了尺寸的精确性，另外也使得刀具工件间的摩擦变小，切削破坏层变薄，残余应力小，实现了高精度、低粗糙度加工。

1.2.5 加工工序简化

由于高速切削可以达到很高的加工精度和很低的表面粗糙度，并且在一定的切削条件下，可以对硬表面进行加工，尤其是对硬度在HRC40~60之间的高硬度进行铣削，可以部分取代电火花加工，这一点对于模具加工具有十分重要的意义。

2 航空制造业模具制造现状

2.1 航空制造业模具制造特点

模具是制造业的重要基础装备，是高新技术产业的一个组成部分，用模具生产的产品价值往往是模具自身价值的几十倍到上百倍。模具技术涉及新技术、新工艺、新材料、新设备的开发与推广应用，是一门技术综合性强的精密基础工艺装备技术。在航空产品中，模具是各类产品生产中的重要而特殊的工艺装备，其设计和制造占整个航空产品设计制造周期的30%左右。在航空产品中的模具具有结构形状复杂、种类多、单件生产、

设计制造质量要求高的特点。

在航空产品的制造过程中，大多为单件小批量生产，在设计过程完成后，往往需要模具设计部门设计较多的模具才可以对产品进行制造，通常一个型号产品的模具设计周期会伴随整个产品的制造周期，同时一个零件的制造通常要多套模具才可以完成整个产品的制造。

2.2 航空制造业模具加工难点

航空模具作为航空产品制造业中一个特殊的中间产品，由于其产量不能与最后的终端产品相比，所以其设计的成本和周期没有被引起足够重视。而且由于近几年来国防形势的严峻，对于航空产品更新换代的要求越来越快，为此，企业大大增加了投入，也导致了航空制造企业间竞争的加剧。

此外，由于航空产品本身的加工精度要求均很高，因此，要制造高精度的产品，就必须制造出更高精度的模具来保证产品的精度，这就为模具的制造提出了更高的要求。例如某型发动机的模具制造误差为零件公差的1/5~1/10或更严，其绝对值已经达到 μm 级。因此如何提高模具制造质量，缩短其设计制造周期是当前必须尽快解决的重大瓶颈问题。

2.3 航空制造业模具制造存在的问题

航空制造业当前对模具制造的重视程度远远不够，模具制造属于企业工装制造分厂，工装制造在航空制造企业中属于辅助生产部门，不直接产生效益，成本消耗较大。由于投资有限，往往资金都被应用于产品的生产线技术改造中去。目前航空发动机制造企业中，几个主机厂在近几年技术改造项目中才陆续有所投入。绝大多数的制造企业所采用的加工设备多是上世纪60、70年代设备，所采用的加工工艺多是普通设备车、铣、磨、手工打抛工艺。试想一下，精度要求达到 μm 级的模具，最后的质量控制靠的却是手工打磨工序，且模具淬火后硬度很高，手工打磨难度又大，因此消耗了大量的人力和时间。航空制造业内普遍都认为，工装制造分厂的工人技术水平最高，他们可以靠老旧设备、靠手工活干出精度远远高于航空零件产品精度的模具。

总体来看，高速切削加工技术在我国航空制造业模具加工领域内可以说是刚刚起步应用，这与行业外众多的模具专业化制造企业相

比有着较大的差距。

在模具专业化制造企业中，高速切削技术的引进对传统的模具加工工艺产生了很大的影响，改变了模具加工工艺流程。在国外，高速切削加工技术早已成为德、美、日等国竞相研究的重要技术领域。

如今，美、德、日、法、瑞士、意大利生产的不同规格的各种商业化高速机床已经普遍应用于模具制造。

3 高速切削加工技术在模具制造中的应用

由于模具型面一般都是十分复杂的自由曲面，并且硬度很高，采用常规的切削加工方法难以满足精度和形状要求。一般而言，常规的加工方法是在退火后进行铣削加工，然后进行热处理、磨削或电火花加工，最后手工打磨、抛光，这样使得加工周期很长。特别是手工加工时间，要占整个加工周期很大一部分。采用高速切削加工技术可以达到模具加工的精度要求，减少甚至取消了手工加工，并且由于新型刀具材料(如PCD、PCBN、金属陶瓷等)的出现，高速切削加工可以加工硬度达到HRC60，甚至硬度更高的工件材料，可以加工淬硬后的模具，取代电火花加工和磨削加工。

因此，大力发展高速切削加工技术，对我国的制造业发展具有十分重要的意义。就航空制造业模具加工领域而言，笔者个人认为应在以下两方面推广应用。

3.1 淬硬模具型腔的直接加工

航空制造业目前进入高速发展阶段，近10年来国家对于航空制造企业的投入大大增加，航空产品的型号生产任务越来越重，不仅产品技术水平更新换代地得到提升，对于研制周期的要求也是越来越短。要制造高精度的产品，就必须制造出更高精度的模具来保证，如何提高模具制造质量，缩短其制造周期是当前必须尽快解决的重大瓶颈问题。

航空产品制造企业当前加工模具的工艺方法大多是普通数控加工留余量，淬火后再通过钳工修模的方法达到要求，钳工工作量大，模具制造周期长。近些年，航空制造企业已经逐渐意识到模具制造周期对新品研制的重要性，模具的制造周期直接影响了产品零件的研制周期。加之国家

对国防工业的大力投入，部分制造企业已经陆续购置了少量先进的高速铣等加工设备，对于模具的加工采用模具淬火后高速铣直接加工至所需精度的工艺方法，大大缩短了模具制造周期，提高效率，减轻了钳工的劳动强度，保证了新型产品的研制进度。

3.2 模具的快速修复

航空产品研制阶段模具的制造周期对于产品研制有着较大的影响。批生产阶段，由于产品产量较大，模具需要不断重复的使用，尤其是锻造模具，多次使用之后就需要对模具进行修复，最典型的当属航空发动机锻造叶片所使用的锻模。

例如某型发动机单台有4级静子叶片和1级可调叶片，每级叶片有预锻模、终锻模、切边模、校正模四套，一共20套模具，共295片叶片。按60%合格率须投产490片，按目前统计每套模具加工200~250片叶片就需要返修。这样该型发动机批产后，将需要大量的锻造模具来维持叶片的批生产。模具加工再按原有的加工工艺将不能满足要求，必须实现快速制造修复，推广高速切削加工技术的使用。

4 高速切削加工技术应用的关键技术

高速切削加工技术应用的关键技术主要包括：CAD/CAM编程设计技术、高速切削加工机床技术、高速切削加工刀具技术、高速切削加工工艺技术等。在本文中，笔者结合近几年工作的实际情况，仅对高速切削加工机床技术作进一步的论述。

4.1 机床选择原则

模具加工机床在高速切削中占据着最重要的地位。相比于普通切削，高速切削要求机床主轴转速高、功率大；要求机床刚度好，具有极高的主轴转动和工作台运动加速度，具有较好的高速控制系统。航空企业模具制造部门选购高速切削机床时应根据加工对象的工艺要求、企业的经济环境和设备的使用环境等诸因素来进行具体的分析，从工艺的适应性、性能价格比、规避风险性等几方面来考虑。

4.1.1 工艺适应性原则

主要是指所选购的机床功能应能适用被加工零件的形状尺寸、尺寸精度的要求；航空飞机制造企业的模具尺寸大，发动机制造企业模具尺寸

则相对较小,材料种类多,精度要求高。在选用机床时,机床的加工尺寸及精度能够满足模具精度要求,并考虑适当预留即可。盲目的追求大规格、高精度可能导致机床利用率偏低、模具加工成本偏高的问题。

4.1.2 性能价格比原则

航空企业模具加工主要是以单件小批量生产为特征,其加工特点不是单纯以追求高移动速度为主要目的,切削速度的选择应根据模具的材料、刀具的材料、模具表面精度的要求来统一考虑,相同条件下切削速度越高其机床价格越高,这意味着制造成本越高。考虑成本因素,机床的性能价格比应当越高越好。

4.1.3 风险规避原则

购买机床前要做好市场调研工作,综合考虑,将风险降到最小,使物有所值,调研方法除传统的用户调研、厂家交流和考察外,还可以采用试件加工的方法。近些年经过实践使用,目前高速切削机床中,米克朗、德马吉等欧洲品牌的设备口碑较好,价格相对一线品牌要低,售后服务好,能较好满足航空制造企业模具的高速加工要求,性价比较高。

4.2 主要技术要求

4.2.1 高速主轴

高速主轴是高速切削加工机床的核心部件,随着对主轴转速要求的不断提高,传统的齿轮—皮带变速传动系统由于其本身的振动、噪音等原因已不能适应要求,取而代之的是一种新颖的功能部件——电主轴,它将主轴电机与机床主轴合二为一,实现了主轴电机与机床主轴的一体化。

4.2.2 高速伺服系统

为了实现高速切削加工,机床不但要有高速主轴,还要有高速的伺服系统,这不仅是为了提高生产效率,也是维持高速切削中刀具正常工作的必要条件,否则会造成刀具的急剧磨损与升温,破坏工件加工的表面质量。

4.2.3 高精度快速进给系统

提高高速切削进给速度是提升加工效率所必须的。目前,高速切削加工中心的切削进给速度一般为20m/s~40m/s。而且要实现并准确控制这样高的进给速度,对高速切削加工中心导轨、滚珠丝杠、伺服系统、工作台结构等提出了更高的要求。

随着电机技术的发展,先进的直线电动机已经问世,并成功应用于CNC机床。先进的直线电动机驱动使CNC机床不再有质量惯性、超前、滞后和振动等问题,加快了伺服响应速度,提高了伺服控制精度和机床加工精度。直线电机具有很高的加速和减速特性,加速度可达3g以上,为传统驱动装置的10~20倍,进给速度是传统的4~5倍。

4.3 国内外高速加工机床发展情况

高速切削加工技术起源于欧洲,早在1980年左右,德国和日本就已经率先开展了高速加工机床的研究。1993年,在德国汉诺威国际机床展上展出了第一台高速加工机床,是由德国制造,主轴转速达到60,000r/min。目前,德国制造的高速加工中心其重复定位精度可以达到 $\pm 1\mu\text{m}$ 。日本也在1996年制造出了高速加工机床,主轴转速达到30,000r/min。

我国在2009年才开始重点研究高速加工机床,截至目前,10,000~15,000r/min的立式加工中心、18,000r/min的卧式加工中心已少量投入生产。但相比国外设备而言,我国生产的设备主轴转速低,定位精度低(0.008mm),因此数控系统主要还得依赖进口。如国内主要机床生产厂家之一,昆明机床厂的HM6560型小型立式加工中心的精度可以达到0.005mm,但是主轴转速却只能达到8,000r/min。

在近几年的生产线技术改造项目中,我国航空制造企业加工模具所引进的高速机加工机床多是德国进口设备,主要有米克朗公司的HSM系列(400、600、800)、德玛吉公司的DMU系列(60、80、100)机床。其主轴转速达到12,000r/min,定位精度在0.004mm左右,按照实际使用效果来看,上述两型高速加工机床还是比较好的。

5 高速切削技术在我国航空制造企业模具加工领域发展存在的问题

5.1 高速切削加工技术自身的问题

高速切削加工技术是切削加工技术发展的主要方向之一,它除依赖于数控技术、微电子技术、新材料和新型构件、CAD/CAM等基础技术的发展外,自身亦存在着一系列亟待攻克的技术问题,如刀具磨损严重,刀具材料价格昂贵,而

且所用高速加工机床及其控制系统价格昂贵,使得高速切削的一次性投入较大。总体而言,成本较高是影响该技术在我国的航空制造业模具加工领域内推广应用的主要障碍之一。

5.2 受国家投入影响较大

对航空制造企业而言,模具的制造质量和周期是保证航空产品制造质量的重要因素。由于我国各航空制造企业承担的任务不同,国家对其生产线技术改造的投入也相差甚大,这就使得投入较大的制造企业有资金用于模具制造工艺的提升,可以引进高速切削加工技术,而投入较少的企业则没有能力进行生产线技术的改造。所以高速切削加工技术在我国航空制造业模具加工领域的推广和应用受国有资金投入影响较大。

5.3 我国航空制造企业自身的意识和认识还不够

我国航空制造企业在近10年来得到了国家的大力扶持,发展较为迅速,但由于对高速切削加工技术的认识还不够,加之模具加工领域不属于直接加工产品的制造内容,所以各企业对其重视程度还不够,并没有意识到模具制造对于航空产品制造的重要性,也没有认识到高速切削加工技术可以给模具加工领域带来革命性的发展。这需要一个时间过程,需要我们去大力推广和交流,更需要航空制造企业自身不断地学习。

除此之外,制造企业对高速切削加工技术科学的认识和足够的重视,也将对航空制造业模具加工领域的推广和发展将起到推波助澜的作用。

6 结论

高速切削加工技术在国外已经属于主要推广和发展的先进加工技术,其在模具加工领域应用较为成熟,有着无可比拟的优势。作为航空制造业,产品精度要求较高,这就需要更高质量的模具作为保障。此外,模具制造周期及质量对于航空产品的研制和生产有着至关重要的影响,航空制造企业应当引起重视。

在引进高速切削加工技术时,除了注意CAD/CAM编程设计技术、刀具技术、加工工艺以外,当前阶段对于我国航空制造企业而言,首要问题是解决高速加工机床的选型问题。合理的工艺、合适的装备是保证高速切削技术在模具制造行业发挥功效的必要前提。

参考文献

- [1] 李发致. 模具先进制造技术. 北京:机械工业出版社,2003.
- [2] 周莹君,郝一舒,沈斌. 高速切削在模具制造中的应用[J]. 装备机械,2006,(4):30-32.
- [3] 郭新贵,汪德才,李从心. 高速切削技术及其在模具工业中的应用[J]. 现代制造工程,2002,9:31-33.
- [4] 钟佩斯,沈友徽,马静敏,王素玉. 模具先进制造技术发展趋势综述[J]. 模具制造,2005,(3):1-4.
- [5] 王昌,于同敏,郭东明. 发展中的模具先进制造技术[J]. 模具制造,2002,(3):9-12.
- [6] 何春燕,林朝平. 模具制造中先进制造技术的应用[J]. 煤矿机械,2006,(12):111-113.

地铁所致成都博物馆振动全过程性能化研究

■ 葛家琪 张玲 马伯涛 「结构」

摘要: 列车运行引起的环境振动通过周围地层传播,会引起附近地下结构以及邻近建筑物的二次振动,从而对建筑物的使用性能产生很大影响。本文以成都博物馆为背景,结合相关参数建立“隧道-周围土体-建筑物底板-建筑物”统一有限元模型,通过数值模拟的方法计算博物馆的振动响应,结合所提振动控制标准对分析结果进行评价并与实测结果对比,定量分析建筑物的振动性能;对博物馆建筑物在靠近隧道侧设置跨度33m悬挑区和基础设置隔振支座(采用隔震支座)的减振效果进行研究。结果表明:数值分析结果所得博物馆建筑物地上部分及地下部分的振级和竖、横向加速度峰值,与实测结果基本吻合,均满足本文提出的振动标准;靠近隧道侧设置跨度33m悬挑区增长了传播路径并带来良好的减振效果,而基础设置隔振支座(即隔震支座)减振效果并不明显。

关键词: 地铁振动; 博物馆; 性能化研究

0 引言

地铁列车多位于人口稠密地区,列车运行引起的环境振动是公众反应最强烈的振动污染之一。成都博物馆临近成都地铁二号线天府广场站,列车的通过及启动引起的振动,有可能通过建筑物基础传至博物馆楼层,使结构产生较大的振动,对建筑物的性能产生不利影响。因此,有必要对列车运行引起的成都博物馆振动进行性能分析。

现有性能分析方法有解析法,数值法,实测法和统计能量分析法。目前在解决列车运行引起的地面和建筑物的振动问题时,通常采用理论分

析(包括解析法和数值法)与实测相结合的方法进行研究:通过建立理论模型进行环境振动问题的动力分析,研究结构各参数对振动的影响,分析各种运营条件下地面和建筑物的振动量值,用实测结果验证理论模型和分析结果的正确性。

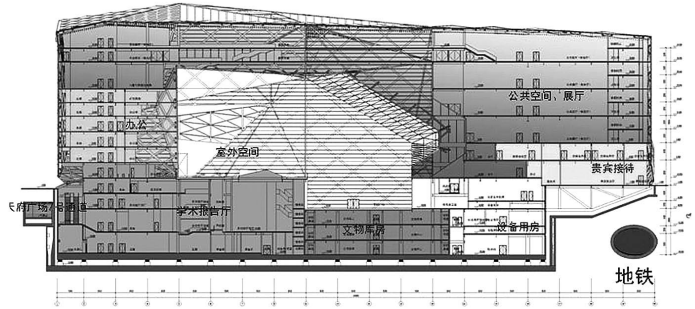
王逢朝等^[1]对地铁影响下不同层数的建筑物各层振动分布特点进行了对比分析,并比较了多层与高层建筑中振动分布的不同特点。夏禾等^[2]指出,对于一定高度的多层建筑,上部与下部相比,振动强度增大。周裕德等^[3]结合上海音乐厅迁址工程,采用类比调查法在衡山路段附近测试了有无地铁通过时的振级和相似建筑物内的响应,并对迁址后音乐厅的振动进行了预测。据测量距地铁线8m处,列车经过时振级约84dB,主要频段在40~100Hz。

为研究地铁列车运行所致成都博物馆振动性能,本文以结构动力学和波动理论为基础,基于

基金项目:中国航空规划建设发展有限公司资助项目(技12技-1);国家自然科学基金资助项目(51178041);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(2011JBM260)
作者简介:葛家琪,男,研究员,1987年毕业于同济大学建筑学专业,现就职于中航建发技术研究院。



(a) 建筑效果图



(b) 建筑剖面图

图1 成都博物馆建筑效果和剖面图

控制区土体和建筑物结构及构件的材料属性,运用有限元软件ANSYS建立隧道-周围土体-建筑物底板-建筑物统一有限元模型,求解地铁所致振动作用下博物馆建筑物全过程时域和频域动力响应,对建筑物是否可满足所制订的振动标准进行评价,并与实测结果对比,定量分析建筑物的性能;对博物馆建筑物在有无悬挑区和有无隔振支座工况下的振动响应进行对比计算。

1 博物馆振动控制标准

目前,博物馆及馆藏文物安全性防振控制标准尚不完善。在此相关领域,为了限制环境振动对居民睡眠、学习、休息的干扰和影响,国家环境保护局于1988年制定并批准的《城市区域环境振动标准》(GB10070-88)对广义的环境振动给出了一定的限值^[4],标准中以铅垂向为主要方向,见表1。

为确保博物馆的使用性能,本文对博物馆建筑物地上部分采用居民、文教区夜间振动标准67dB;而存有贵重文物的博物馆建筑物地下部分采用特殊住宅区夜间振动标准65dB。

此外,本文还对博物馆内关键点振动加速度峰值进行控制。参照美国应用技术委员会(Applied Technology Council)于1999年出版的设计指南《减小楼板振动》(Minimizing floor vibration)建议^[5],取最严格的医院手术室标准 2.5mm/s^2 作为博物馆地下部分振动峰值加速度限值,取住宅及办公室标准 5mm/s^2 作为博物馆地上部分振动峰值加速度限值。

2 博物馆振动的数值模拟分析

为研究列车运行所引起的振动对临近博物馆

表1 城市区域环境振动控制标准(Z振级:单位dB)

适用地带范围	昼间	夜间	适用地带范围划分
特殊住宅区	65	65	指特别需要安宁的住宅区
居民、文教区	70	67	指纯居民和文教、机关区
混合区、商业中心区	75	72	指一般工业、商业、少量交通与居民混合区
工业集中区	75	72	指在一个城市或区域内规划明确确定的工业区
交通干线道路两侧	75	72	指车流量每小时100辆以上的道路两侧的区域
铁路干线两侧	80	80	指距每日车流量不少于20列的铁道外轨30m外两侧的区域

建筑物的影响,首先运用ANSYS结合相关参数建立隧道-周围土体-建筑物底板-建筑物统一有限元模型。然后对模型进行时域分析,编制程序计算列车振动荷载并验证其有效性和正确性;将列车动荷载施加在有限元模型上计算建筑物地上和地下部分的振动响应。最后对模型进行频域分析,得出振动经隧道-建筑物传递后的衰减规律。

2.1 工程概况及有限元模型

2.1.1 工程概况

成都博物馆位于成都市天府广场西侧,总建筑面积 $64,161\text{m}^2$,其中地上五层建筑面积 $38,239\text{m}^2$ 、地下四层建筑面积 $25,921\text{m}^2$,整个建筑为多层混凝土核心筒-钢框架及外斜交空间钢网络的混合结构体系,地下室外墙为钢筋混凝土剪力墙。成都博物馆结构复杂,属于多项超限建筑,建筑中部面向天府广场设置四层通高礼仪广场,将建筑分为南北两个结构单元,形成 $26\sim 40\text{m}$ 跨度二层连体结构;考虑展陈空间灵活性,博物馆主展厅为跨度达 30m 无柱大跨度空间;西南角设置 15m 悬挑结构保证空间开阔性;北侧为避让地铁

表2 土体动力学参数

土质	土层厚度(m)	比重(kN/m ³)	弹性模量(MPa)	泊松比	剪切波速(m/s)
杂填土	4	17.5	98	0.444	140
松散卵石	3	20	584	0.399	320
稍密卵石	2	21	691	0.396	340
松散卵石	3	20	584	0.399	320
中密卵石	6	21.5	989	0.377	400
密实卵石	4	22	1500	0.366	460
中密卵石	5	21.5	1100	0.377	400
中等风化泥岩	23	23	3907	0.301	800

设置跨度达33m的悬挑结构，并挑起地上五层结构。可见，成都博物馆结构竖向不规则(侧向刚度不规则，竖向抗侧力构件不连续)，结构平面不规则(扭转不规则，楼板局部不连续)，其建筑效果见图1(a)，与地铁关系见图1(b)。

2.1.2 有限元模型的建立

1) 土层动参数

土体动力学参数来自现场实测^[6]，等效剪切波速计算值为255~267m/s。为了建模和计算方便，将土层进行简化，土体各层动力学参数见表2。根据同济大学王田友^[7]关于阻尼取值的相关研究，本文取土体材料阻尼比为5%。

2) 有限元网格尺寸及划分依据

动力分析时有限元网格划分的依据是：有限元网格应能模拟出波的形状才能获得较准确的结果。根据杨永斌等^[8]以半无限域自由面上受一单位简谐荷载为例，进行的有限元网格尺寸分析，归纳得出以下两点主要结论：

(1)单元网格的范围宜取 $2\lambda_s \sim 3\lambda_s$ ；

(2)单元网格的长度宜取 $\lambda_s/6 \sim \lambda_s/12$ ，在振源附近宜不大于 $\lambda_s/12$ 。

3) 边界条件的处理

采用有限元法模拟半无限介质的波动问题时，在截断边界处会引起应力波的反射，使得计算失真。为了避免产生影响，可在模型四周设置弹簧阻尼吸收边界，底部全部固结^[7]。模型中以边界单元combin14模拟弹簧阻尼元件，可以集中阻尼和弹簧的作用。根据文献[9]，用于计算模型内波动的粘弹性人工边界条件为：

$$C_b = \rho c, K_b = \alpha G / R \quad (1)$$

式中， C_b 和 K_b 分别为施加于人工边界上的粘性阻尼器和弹性弹簧； ρ 为土体密度； c 为波速(分纵向和横向)；参数 α 按纵向和横向分别取2.0和

表3 隔振支座刚度参数

支座类型	X向刚度(kN/m)	Y向刚度(kN/m)	Z向刚度(kN/m)
类型一	3×10^6	3×10^6	7×10^9
类型二	5×10^6	5×10^6	7×10^9
类型三	7×10^6	7×10^6	7×10^9
类型四	1×10^9	1×10^9	1×10^{12}

表4 模型各单元参数

名称	厚度(m)	比重(kN/m ³)	弹性模量(GPa)	泊松比	热膨胀系数
建筑物底板	1.5	25	35	0.2	---
隧道衬砌	0.3	25	30	0.2	---
建筑物板墙	---	25	30	0.2	1E-5
建筑物梁柱	---	78.5	206	0.3	1.2E-5

1.5；R为振源到人工边界计算点的距离；G为剪切模量。

4) 模型的建立及单元参数

土体使用8节点的三维实体单元solid45模拟，采用方形隧道，隧道顶埋深15m，隧道边长均为12m。隧道衬砌和建筑物底板用壳单元shell63模拟，4节点的壳单元shell与地基土的结合很方便，而且能充分反映土-结构之间的相互作用。

建筑物结构模型的柱和梁采用3节点的三维线性有限应变梁单元beam188模拟，具有承受轴向力(拉伸和压缩)及弯矩能力。楼板和墙体采用4节点三维弹性壳单元shell181模拟，每个节点有3个平动自由度和3个旋转自由度。隔振支座采用2节点的三维线性单元link180模拟，每个节点有3个平动自由度，能够较好地模拟弹簧、缆索等，根据厂商提供的数据，刚度大小见表3。支座与底板用刚性梁单元连接，并将建筑物质量以均布荷载的方式施加于建筑物各节点，各单元参数参考文献[10]，见表4。

根据现场地形图及以上各相关参数，运用有限元软件ANSYS建立统一的“隧道-周围土体-建筑物底板-建筑物”有限元模型，如图2(a)，建筑物每层取9个关键点作为振动响应提取点，建筑物局部放大如图2(b)。

5) 分析工况

本节对列车运行所致博物馆建筑物振动响应进行计算分析，选取原始结构工况：列车以正常时速90km/h行驶，建筑物结构周围设置延伸至地下4层的隔振沟，靠近隧道侧设置跨度33m悬挑区，通过桁架转换托起上部结构，基础设置隔振支座，模型示意图图3。

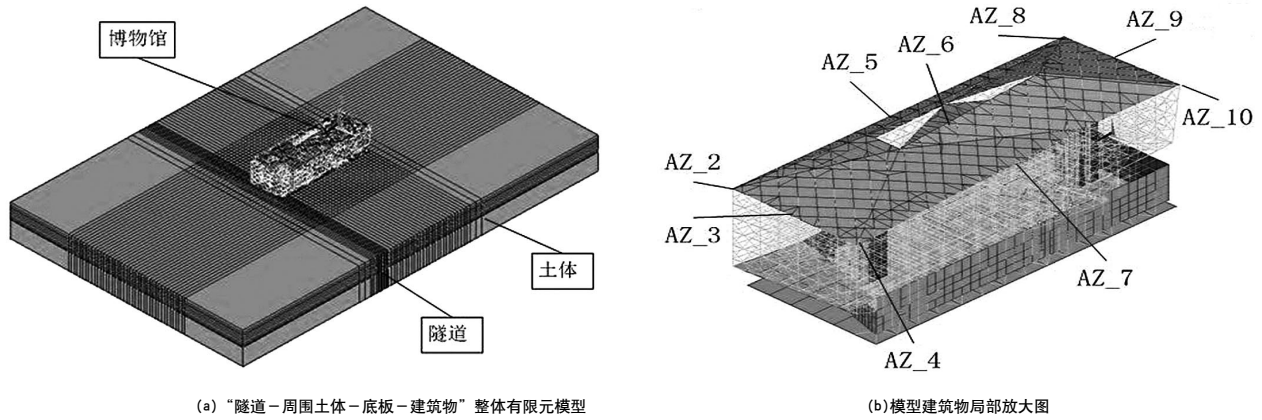


图2 有限元模型图

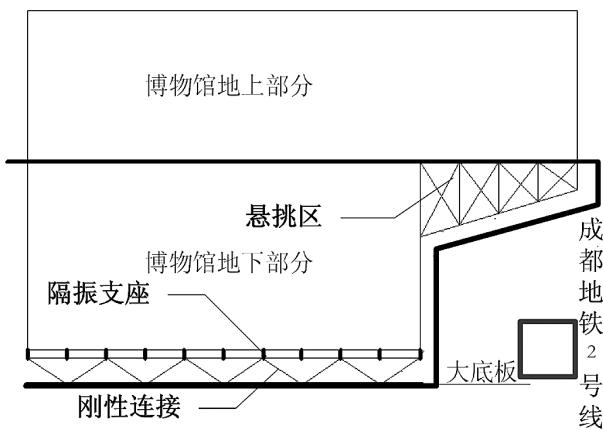


图3 分析工况示意图

标准线路振动源强采用北京地铁五号线天坛东车站隧道内实测数据，测试断面列车运行速度约为70km/h。测试时通过的列车轴重约为14t，共6节编组，评价振动源强选取列车通过时隧道壁的Z振级为84.0dB。车辆轴重和轮轨条件与成都地铁2号线基本一致无需修正，只需对列车运行速度进行修正，振动的速度修正量 ΔL_s 见式(3)：

$$\Delta L_s = 20 \lg(v/v_0) \quad (3)$$

式中： v —成都地铁2号线车辆设计运行速度； v_0 —列车基准运行速度70km/h。当 $v=90$ km/h时， $\Delta L_s = 20 \lg(90/70) = 2.2$ dB。因此，经过车速、轴重及轮轨条件修正后，成都地铁2号线引发隧道壁的Z振级为：

$$\begin{aligned} VL_z &= VL_0 + \Delta L_t + \Delta L_s + \Delta L_r \\ &= 84 + 0 + 2.2 + 0 = 86.2 \text{dB} \end{aligned} \quad (4)$$

利用北交大自编软件DRVB编程序得到列车振动荷载，视作作用在隧道底板上的动力荷载。将此荷载输入有限元模型，并将得到的隧道壁时程分析结果进行傅里叶变换，可得各频段下隧道壁竖向振动加速度级并考虑计权因子进行修正。由《城市区域环境振动测量方法GB 10071-88》之规定^[11]，各频段感觉修正值采用ISO 2631/1-1985规定^[12]的全身铅垂向振动之计权因子修正后得到的振动加速度级，其计权因子见表5，计权公式见式(5)：

$$VL_z = 10 \lg \sum 10^{(VAL_i + \alpha_i)/10} \quad (5)$$

式中： VL_z —考虑综合计权的隧道壁Z振级，dB； VAL_i —各频段下隧道壁竖向振动加速度级，

2.2 时域振动计算分析

2.2.1 列车荷载验证

由于地铁振动而引起的地面环境振动是由横波、纵波、表面波合成的复杂波动现象，影响因素复杂，其振动机理、传播形态变化不定，所以难于准确确定传播过程中的传递函数，只能以实测统计结果定义。参考国内外研究资料和北京地铁五号线工程所做的振动环境影响评价及已被验证的结果，结合成都地铁2号线工程实际情况和环境特征，采用类比结合计算分析的方法对地铁通过时隧道壁的Z振级进行预测，并由经验公式对车速、轴重及轮轨条件等进行修正，见式(2)：

$$VL_z = VL_0 + \Delta L_t + \Delta L_s + \Delta L_r \quad (2)$$

式中： VL_z —预测接收点处的Z振级，dB； VL_0 —标准线路振动源强，dB； ΔL_t —车辆轴重修正值，dB； ΔL_s —列车运行速度修正值，dB； ΔL_r —轮轨条件修正值，dB。

表5 ISO2631/1-1985规定的振动加速度感觉修正值

中心频率/ Hz	1	2	4	6.3	8	10	16	20	25	31.5	40	50	63	80
垂向/dB	-6	-3	0	0	0	-2	-6	-8	-10	-12	-14	-16	-18	-20
横向/dB	3	3	-3	-7	-9	-11	-15	-17	-19	-21	-23	-25	-27	-29

表6 隧道壁振动情况预测(经验公式法与有限元法比较)

结果	有限元计算结果并考虑频率 综合计权修正	经验公式修正结果
原始工况	84.4dB	86.2dB

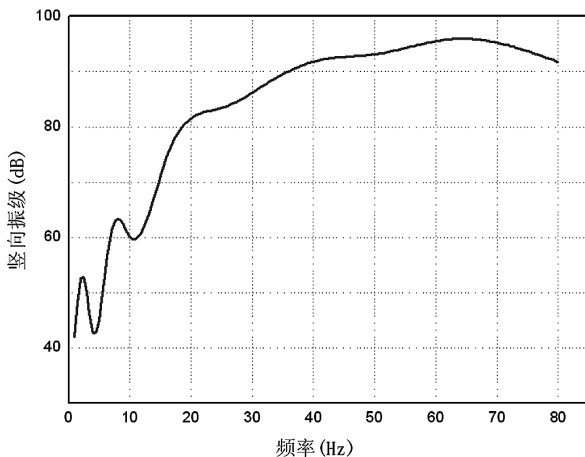


图4 隧道壁竖向振级分布

dB; α_i —各频段下振动加速度感觉修正值, dB。

计算得到隧道壁经过综合计权修正后的Z振级为84.4dB, 隧道壁竖向振级分布见图4, 经验方法与有限元模拟方法的对比如表6所示。从图中可以看出, 有限元的计算结果与经验公式方法计算结果接近, 说明列车荷载可用。但有限元方法计算得到的振动量值比经验公式方法计算结果略小, 这主要是由于这两种方法在模型选取、计算分析方法等方面存在一定差别造成的。

2.2.2 建筑物内振动响应及结果分析

将模拟的地铁列车动力荷载施加到隧道—土层—底板—建筑物动力有限元模型上后, 用瞬态动力学分析中的Full法计算建筑物各层的振动加速度响应, 提取每层各关键点的横向和竖向加速度峰值, 并取所有关键点加速度峰值的最大值和其加速度峰值的平均值分析。分析结果得出, 地铁列车以90km/h的速度通过时, 建筑物地上部分和地下部分的竖、横向加速度统计见表7。

原始工况下建筑物竖向振动加速度明显比横向振动加速度要大得多, 可认为在地铁振动激励下, 建筑物振动以竖向振动为主, 为节省篇幅以

表7 各楼层加速度统计表

楼层	竖向加速度(mm/s ²)		横向加速度(mm/s ²)	
	最大值	平均值	最大值	平均值
地下四层	1.88	0.93	0.12	0.07
地下三层	1.99	0.85	0.11	0.09
地下二层	1.06	0.72	0.21	0.12
地下一层	1.55	0.85	0.17	0.11
一层	2.73	1.69	0.34	0.16
二层	2.82	1.64	0.34	0.18
三层	3.02	1.75	0.22	0.15
四层	3.36	1.99	0.20	0.14
五层	3.43	1.89	0.19	0.15

表8 建筑物竖向振动综合分析结果

原始工况	加速度最大值 (mm/s ²)	计权振级 (VLz/dB)
地上部分	3.43	62.0
地下部分	1.99	58.8

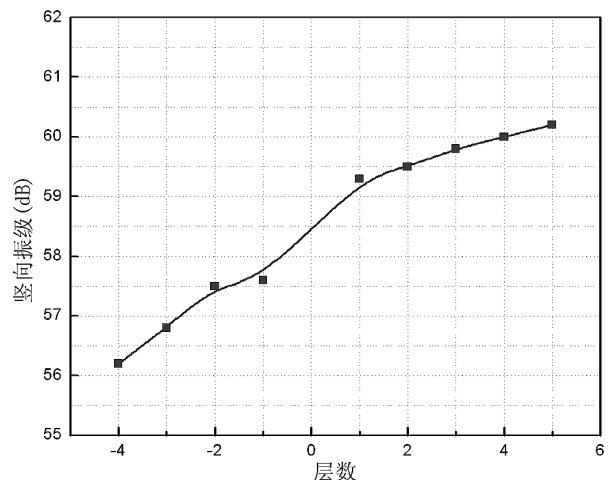


图5 建筑物竖向振级随楼层的分布图

下计算分析均忽略建筑物横向振动响应。

将建筑物时程分析结果进行傅里叶变换, 提取不同频段下每层所有关键点的竖向加速度的最大值, 并根据表5计权修正因子综合计权各层竖向振级, 建筑物竖向振级随楼层的分布见图5(图中离散点为计算值, 连续曲线为拟合值)。取不同频段下地下和地上部分竖向加速度值最大值, 并进行综合计权修正, 博物馆地上和地下部分竖向振动综合分析见表8。

表9 博物馆建筑物竖向振级

频率/Hz	1	2	4	6.3	8	10	16	20	25	31.5	40	50	63	80	ALL
地上/dB	19.7	40.9	36.2	52.4	60.8	54.6	45.2	40.6	36.4	36.1	28.7	25.6	17.1	5.2	62.0
地下/dB	16.6	39.1	34.2	50.2	58.9	53.0	43.7	39.2	35.6	34.2	27.1	22.8	15.6	2.8	59.4

根据有限元结果,对于竖向振动,综合分析可得出以下主要结论:

(1)由时域计算结果可见,原始工况下博物馆建筑物地上部分竖向加速度最大值为 3.43mm/s^2 ,地下部分竖向加速度最大值为 1.99mm/s^2 ,未超过第1节所提地上部分加速度峰值 5.00mm/s^2 ,地下部分加速度峰值 2.50mm/s^2 的振动控制指标;

(2)经地铁隧道与周围土体、建筑物底板及建筑物结构的振动传递作用,博物馆建筑物地上部分竖向计权振级为 62.0dB ,地下部分竖向计权振级为 58.8dB ,可满足提出的地上部分 67.0dB 、地下部分 65.0dB 的振动控制目标;

(3)建筑物各楼层的峰值振动强度总体上有随楼层单调递增的趋势。

2.3 频域振动计算分析

2.3.1 “隧道壁-建筑物”的竖向振动传递

在地铁线路中心线上的中间点,对有限元模型施加幅值为 100kN ,频率范围 $1\sim 80\text{Hz}$ 的竖向简谐作用力。由于建筑物内各层控制点在竖向简谐作用力下竖向加速度响应基本比横向响应要大,即土体对建筑物横向振动在地铁所致振动的卓越频率范围内,比竖向振动的减振作用要大。因此,本阶段只考虑建筑物内部关键点的竖向振动。取隧道壁和建筑物各层所有关键点的振动加速度响应最大值,得到隧道壁及建筑物地上和地下部分的最大加速度及振级衰减量。

结果分析可得,经隧道壁-周围土体-建筑物底板-建筑物楼板的振动传递,减振效果大致随频率的增加而增加。就隧道壁Z向振动引起的建筑物Z向振动而言, $1\sim 80\text{Hz}$ 频段内地上部分最大减振频率为 80Hz ,减振效果 52.5dB ;最小减振频率为 6.3Hz ,减振效果 14.9dB ,地下部分最大减振频率为 80Hz ,减振效果 54.9dB ;最小减振频率为 6.3Hz ,减振效果 17.1dB 。一般认为,当地铁列车的卓越激振频率介于 $10\sim 60\text{Hz}$ 之间,土体的减振效率在竖向应介于 $24\sim 47\text{dB}$ 之间,经建筑物楼板的放大作用和楼板所引起的局部共振,建筑物的振动响应会放大,整体减振效果相对变小。隧道壁-建筑物的振动传递函数如图6(图中, AZ_1

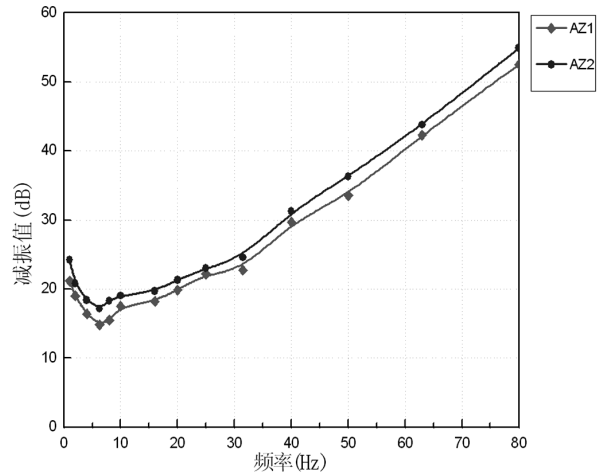


图6 隧道壁竖向-建筑物Z向振动传递函数

表示地上部分总体减振水平, AZ_2 表示地下部分总体减振水平)。

2.3.2 建筑物内振动响应

由隧道壁竖向-建筑物Z向振动传递函数,根据时域计算所得隧道壁竖向振级,分析经“隧道-土体-建筑物底板-建筑物”结构振动传递后建筑物地上和地下部分的竖向振级并进行综合计权修正,与时域计算结果进行对比,计算结果见表9(其中,“ALL”指考虑振动加速度感觉修正值后的 $1\sim 80\text{Hz}$ 频段加速度振级)。

由计算结果可知,经地铁隧道与建筑物底板间土体及建筑物结构的振动传递作用,博物馆建筑物竖向振级地上部分为 62.0dB ,地下部分为 59.4dB ,可满足提出的地上部分 67.0dB 、地下部分 65.0dB 的振动控制目标。与时域计算结果对比,两种计算方法所得结果相差不大,时域计算结果相对较小,可能是由于地铁列车荷载高频成分衰减较快,傅立叶变换扫频时过滤掉了某些频率成分。

2.4 建筑物竖向振级随层数变化关系回归分析

基于统计回归的方法对隧道线路列车引起的建筑物各层振级计算结果进行回归分析,考察建筑物各层振级随楼层的变化关系,形成在楼层层数影响下建筑物振动的环境振动预测公式,用于与现场实测结果对比。将建筑物各楼层竖向振级



图7 试验现场图

作为因变量，相应位置建筑物楼层作为自变量，回归二者之间的关系，选择判决系数最高的曲线为：

$$VL_z = 58.286 + 0.464 \ln(h + 5) \quad (6)$$

式中：h为楼层编号，由于考虑地下4层和地上5层，h取-4~5。此公式说明了各层振级与楼层的对数变化关系。

3 博物馆振动的实测验证

土体是一种非完全弹性体，在波的传播过程中，即使产生极其微小的塑性变形，也将由于介质内部的摩擦而引起能量耗散。因此完全从理论上进行研究比较困难，必须结合现场实测，以揭示振动传递波动的衰减规律。

3.1 试验内容及目的

进行本次试验时，成都博物馆主体工程已经完成。试验内容及目的是测量地面及博物馆内部点在列车运行时的振动响应，以验证本项目前期采用的计算模型及计算结论并评估建筑物的使用性能。

3.2 试验简介

本次试验场地为成都博物馆建筑内，现场试验照片如图7。测点布置于地面及所有楼层的

表10 振动测试点分布图

楼层	位置
地面	工地大门附近地面
-16m层	EF轴间，11~12轴间
	F5，即舞台中部
-12m层	EF轴间，11~12轴间
	EF轴间，15~16轴间
9m层	F轴，13轴，即大厅中部
	F轴，17轴，即大厅中部
16m层	F轴，13轴，即大厅中部
	F轴，17轴，即大厅中部
地面	工地大门附近地面
	EF轴间，11~12轴间

表11 建筑物振动测试记录与有限元结果统计

测量位置	加速度(mm/s ²)			
	本底横向		本底竖向	
	实测	有限元	实测	有限元
地面	1.52	1.73	1.91	2.15
-16m层舞台中部点	1.48	1.07	1.36	1.99
16m层大厅中部点	1.92	2.18	2.84	3.02

关键位置，部分测量位置如表10。实验测量中，采用了北京东方振动与噪声技术研究所生产的INV3018-C型采集仪及中国地震局工程力学研究所生产的941-B型振动传感器。所有测试记录均为256Hz频率采样，采样时间取为1000s，共27测点、31测次，测量地铁运营期间内成都博物馆的振动响应。

3.3 试验结果分析

根据测量结果分析可知：地下室所有测点的卓越频段均在15~18Hz之间，除该频段外，亦发现有20~25Hz、50~60Hz、80~90Hz左右的卓越频段。地上建筑内部使用功能区的大多数测点竖向振动级满足既定标准，部分测点略超限，提取与实测相同位置处的动力响应，结果如表11所示。

对比实测结果可知：地面横向和竖向的有限元计算结果与实测结果分别相差14%和13%；-16m层舞台中部点与实测结果分别相差28%和46%；16m层大厅中部点与实测结果分别相差14%和6%。

由上述分析可知，有限元分析结果与实测结果吻合较好，个别数值差别较大。分析其原因可能是实测时博物馆主体工程正处于施工阶段，附近车辆交通人流或其它外界干扰(如人员在测试仪器周围走动等)所致。综合考虑，本文所建有限元模型模拟成都博物馆在列车运行影响下的振动可认为是正确可靠的。

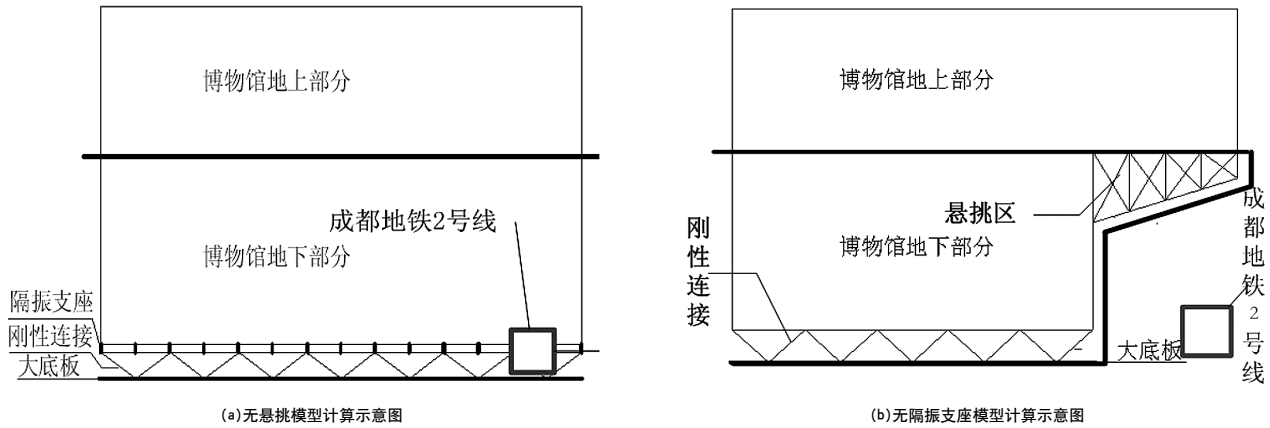


图8 工况1和工况2模型示意图

表12 有限元计算结果

工况	加速度最大值(mm/s ²)		计权后竖向振级(dB)	
	地上	地下	地上	地下
原始工况	3.43	1.99	62.0	58.8
无悬挑有隔震	4.80	2.77	66.3	62.9
有悬挑无隔震	3.85	2.26	62.6	59.5

根据回归分析结果,取 $h=1$,代入式(6)中,得到的建筑物2层振级 V_{Lz} 为59.1dB,现场实测结果为58.9dB。综合可知,回归分析结果与现场实测结果基本吻合,振级相差一般在5dB之内,这可能是由于地下轨道列车的振动反弹强度较大。

4 博物馆结构隔振措施研究

地铁振动的减、隔振按其所处的位置可以分为振源处减振、传播土壤介质中的隔振、建筑物基础和建筑物内的隔振。振源处的减振可以称为主动隔振,离开振源以后的隔振称为被动隔振。为了研究大悬挑和隔振支座对博物馆建筑物的减振效果,本节主要分析以下两种工况。

工况1:列车以正常时速90km/h行驶,建筑物结构周围设置延伸至地下4层的隔振沟,不设置悬挑区,建筑物底层设置基础隔振支座,模型示意图见图8(a)。注:本工程隔振支座采用抗震隔震支座,兼用于隔离交通振动。

工况2:列车以正常时速90km/h行驶,建筑物结构周围设置延伸至地下4层的隔振沟,靠近隧道侧设置跨度33m悬挑区,通过桁架转换托起上部结构,无隔振支座,模型示意图见图8(b)。

同样将模拟的地铁列车荷载施加到各工况“隧道-土层-底板-建筑物”动力有限元模型上,用瞬态动力学分析中的Full法计算建筑物各层的竖向加速度响应,并将建筑物时程分析结果进行傅里叶变换,得到各频段下建筑物地上和地下部分竖向振动加速度级进行综合计权修正,计权因子见表5,计算结果见表12,对比分析建筑物基础设置隔振支座时和结构设置大悬挑时的减振效果。

通过对比分析可以得出,无论有无基础设置隔振支座还及靠近隧道侧有无大悬挑工况,建筑物都满足振动标准地上部分67.0dB,地下部分65.0dB,但不设悬挑时振动已达上限。上部结构设置大悬挑,建筑物竖向加速度约衰减40%,竖向振级地上部分衰减了4.3dB,地下部分衰减了4.1dB,减振效果明显,故原结构在靠近隧道侧设置跨度33m悬挑区,能够对结构竖向振动起到明显抑制作用。结构在设置隔振支座处理后,结构各层振动响应变化较小,且无明显规律,建筑物地上和地下竖向振级衰减变化不大,约0.6dB左右,竖向加速度衰减不足13%,说明用于建筑防地震的隔振支座对于结构竖向振动没有很好的抑制作用,隔振效果不明显。

5 结论与建议

本文针对地铁列车运行诱发邻近建筑物振动的实际问题,尤其是博物馆类对振动敏感建筑进行性能分析和评价。结合成都博物馆实际工程,对地铁列车运行引起的博物馆振动性能进行了数值模拟分析并与实测结果对比。主要得出以下结

论和建议:

(1)经地铁浮置板、地铁隧道与周围土体及建筑物结构的振动传递作用,博物馆建筑物可满足本文所提出的振动控制指标。建筑物各楼层的峰值振动强度在总体上有随楼层单调递增的趋势,与实测结果基本吻合;

(2)经隧道壁—周围土体—建筑物底板—建筑物楼板的振动传递,减振效果大致随频率的增加而增加。就隧道壁Z向振动引起的建筑物Z向振动而言,1~80Hz频段内最大减振频率为80Hz,减振效果约50~55dB;最小减振频率为6.3Hz,减振效果14~18dB;

(3)有限元分析结果与实测结果吻合较好,个别数值差别较大。可能是实测时博物馆主体工程正处于施工阶段,部分对结果影响较大;

(4)原建筑物在靠近隧道处侧设置跨度33m悬挑区,能够对结构竖向振动起到明显抑制作用,建筑物竖向加速度约衰减40%,竖向振级约衰减4dB。而基础设置隔振支座对于结构竖向振动的隔振效果不明显,建筑物竖向振级衰减约0.6dB。

参考文献

- [1] 王逢朝,夏禾,张鸿儒. 地铁列车振动对邻近建筑物的影响[J]. 北京交通大学学报,1999,23(5):45-48.
- [2] 夏禾,曹艳梅. 轨道交通引起的环境振动问题[J]. 铁道科学与工程学报,2004,1(1):44-51.
- [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,2004.
- [4] GB 10070-1988 城市区域环境振动标准[S]. 北京:国家环境保护局,1988.
- [5] David E.Allen,Donald M.Onysko,Thomas M.Murray,etc. Minimizing floor vibration[S]. California: Applied Technology Council,1999.
- [6] 中航勘察设计研究院. 成都博物馆岩土工程勘察报告[R],2009.
- [7] 王田友. 地铁运行所致环境振动与建筑物隔振方法研究[D]. 上海:同济大学工学博士学位论文,2007:64-65.
- [8] 杨永斌. 高速列车所导致之土壤振动分析[R]. 台北:中兴工程顾问社,1996.
- [9] 魏金成. 地铁运行对环境的振动影响研究[D]. 北京:北京交通大学,2012.

- [10] 杨维国,张楠,张国军等. 成都博物馆地铁所致振动及振动控制技术的理论研究[R]. 北京:中国航空规划建设发展有限公司,2011.
- [11] GB 10071-1988 城市区域环境振动测量方法[S]. 北京:国家环境保护局,1988.
- [12] ISO. Evaluation of Human Exposure to Whole body Vibration-Part1: General Requirements[S]. In: ISO2631/1-1985.Switzerland:ISO,1985,1-3.
- [13] L.Auersch. The excitation of ground vibration by railtraffic:theory of vehicle-track-soil interaction and measurements on high-speed lines.J.Sound Vib.,vol. 284,pp.103-132,June 2005.
- [14] Hood RA,Greer RJ,Breslin M and Williams PR. The calculation and assessment of ground-borne noise and perceptible vibration from trains in tunnels [J],Journal of Sound and Vibration,1996,193(1):215-225.
- [15] Lei XY,Liu QJ,Luo K and Zhang B. Assessment and control of ground-borne vibration generated by railway traffic[A]. ISEV2009[C]. Beijing,2009:231-238.
- [16] Federico R,Andrea N. A simple model to predict train-induced vibration:theoretical formulation and experimental validation[J]. Environmental Impact Assessment Review,2003,23:305-322.

LED光衰分析

■ 陈寅生 「电气」

摘要: 本文主要介绍LED照明时产生光和热能量的关系,从LED的电压-电流特性曲线分析了LED的驱动电路波动对产生热量的影响,采用恒压驱动电路对LED光衰的分析;比较和分析两种散热结构实例;以及环境温度对LED照明的散热影响。

关键词: 发热量; 电源驱动; 散热器; 环境温度

0 引言

随着LED照明技术的发展和人们节能意识的提高,LED在照明领域的应用越来越多,但也不断传出LED在短期内出现光衰的问题。由于很多人对LED的发光机理不够了解,便认为LED的光衰要比传统光源快,不敢采用LED照明,使得节能型LED光源的推广工作受到一些阻力。

要分析LED在短时间内出现光衰问题,首先需要了解LED的工作特性和状态;LED的结温与发光效率的关系;散热的重要性。在使用中只有正确选择和应用,才能保证LED照明的正常工作,避免产生非正常的光衰问题,达到满意的节能效果。

1 LED的发热量

目前我们所采用的LED照明光源,绝大部分都是用460nm左右的蓝光激发YAG黄色荧光粉,互补产生的白光。它的工作电流要大于普通指示发光二极管的工作电流,且LED单颗功率较大,它的单颗功耗可达到5W。由于LED发出的光,不产生热能,人们将其称之为“冷光源”,但这并不意味着LED发光时不产生热量。与传统光源一样,LED在工作期间也要产生热量,电流通过任

何导体都会有热效应的产生,电流通过半导体,产生电子跃迁,也同样会热效应产生。当在LED的PN结上施加一个正向电压,电流流过LED的PN结时,同样要产生热能,根据物理中的能量守恒原理,这部分能量关系式为:

$$E_{\text{入}} = E_{\text{热}} + E_{\text{光}}$$

式中: $E_{\text{入}}$ —LED两端的输入能量; $E_{\text{热}}$ —LED产生的热能量; $E_{\text{光}}$ —LED发出的光能量。 $E_{\text{热}}$ 这部分热能不像传统光源那样体现在发光表面,而是全部聚集在LED的PN结上,它所发出的光没有热量,因此被人们称之为冷光源。这些热量的产生,造成LED的PN结温度升高,这个温度在专业术语上称之为“结温”。

由于LED发光时所产生的热能和光能均为变量,热能产生在LED的PN结上,不采用专用设备无法计量和测得,而光能的计算与波长有十分密切的关系,不同波长的可见光,可见度系数不同,光能量的计算是非常复杂的工作。若要对这两部分能量进行数学分解,是比较麻烦的事情。我们可以采用一种相对简便的办法间接得到,这就是通过积分球对LED进行测试,得到辐射通量,根据上式,用输入能量减去辐射通量得到它的发热量。

我们对数十个LED照明产品进行测试并统计,得到的结果是色温不同,LED所产生的光辐射能量也不同,但总体趋势相同,他们所产生的光能约占20%~35%,驱动电路本身的能耗约占5%,因此得到LED工作时本身发出的热能约占总能耗的60%~75%。由于电源驱动电路所产生的热

作者简介:陈寅生,男,研究员,1983年毕业于北京邮电大学无线电技术专业,现就职于中航建发技术研究院。

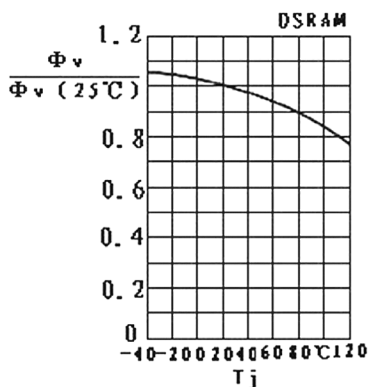


图1 LED的结温与光通量的关系

量与LED的发热量不同,不影响LED的结温,故未计入LED的发热量。

单颗LED功率较小,一般不超过3W,最大功率的单颗LED为5W。用于照明的LED灯,往往需要多个乃至上百个LED组合而成。这些LED芯片的面积很小,工作时通过的电流虽然不大,但是它的单位功率密度很高,这就导致了LED芯片发热集中在很小的PN结上,如果这些热量不能很好的导出,就会使得结温上升。根据OSRAM等厂商提供的LED结温与光通量的特性曲线,结温的升高会导致光输出能量的减少,当LED的结温达到80℃,相对于25℃时,光通量降至90%(如图1所示),如果导出的热量小于所产生的热量,会使得结温不断上升,发光效率下降。长时间工作,产生恶性循环,会使芯片加速老化,产生光衰,缩短寿命。

2 电源对发热量的影响

按照LED的电流-电压特性曲线,通常情况下,LED的正向工作电压在3.0~3.6V,如图2曲线所示,它的正向工作电压在3.2V,电流为20mA。当施加于LED两端的正向电压超过3.2V后,即使正向电压只有很小的增加,它的正向电流都有可能成倍增涨。由于电流产生的热效应,会使LED结温上升过快,从而加速LED光衰,寿命缩短,严重时甚至烧毁LED。

图2为某型号蓝光LED的正向电流-电压特性曲线,通过曲线可以看到,如果采用稳压电源供电,当施加在发光二极管两端的正向工作电压从3.0~3.6V波动时,它的电流波动范围是15~35mA。假定该LED正常工作点在15mA@3V,驱动功率则为45mW,按照60%的发

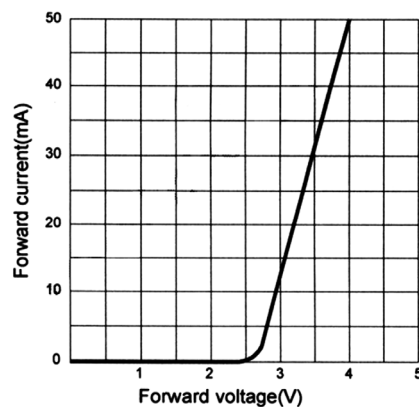


图2 发光二极管伏安特性曲线

热量计算,发热功率为27mW;当电压波动升高20%达到3.6V时,它的电流升高到35mA,功率加大到126mW,驱动功率增加了1.8倍,我们仍以60%的发热量计算,此时发热功率为75.6mW;假如散热器的设计未达到这一指标,所产生的热量不能全部导出,便产生了热量聚集,使结温升高,导致光通量减少,产生光衰。长时间运行,就会损坏LED。虽然我们可以将稳压电路的输出波动尽量降低,但是由于市政电网在夜间的供电电压会有较大的波动幅度,这个波动电压的上升,同样会带来稳压电路输出的波动增加,因此当LED照明采用稳压电路供电时,会造成LED的光衰加速或损毁。

从图2分析,LED正向导通电流与正向导通电压曲线上阶段越陡,其特性越好,当电压发生变化为 ΔV 时,在LED上的功率 ΔP 变化越小:

$$\Delta P = \Delta V \times I$$

这种伏安特性好的LED价格相对也较高。采用恒流驱动方式,是比较理想的LED驱动方式,它能够避免LED正向电压的改变而引起电流变化,同时恒定的电流使得功率相对稳定,LED的亮度稳定,即使外界的电网电压发生较大的波动,恒流电路的波动相应较小,施加在LED上的功率变化要小很多,因此所产生的热量变化不大,同样以波动升高20%为例,当电流从15mA升高到18mA,LED的结电压变化为3.2V,此时的功耗为57.6mW,功耗仅提高28%,发热量也不超过30%,散热器的设计冗余,可以将这部分额外增加的热量迅速导出。

从以上分析可知,一个LED产品的驱动电路在工作原理上是有本质区别的,从价格上有较大的差距,因此驱动电路的供电方式是目前一部分LED产生光衰的主要原因之一。

3 散热器的影响

对于LED照明的应用，结温我们无法控制，如何控制结温则是生产厂商在设计、生产时所需考虑的问题。对于使用者来说，环境温度对于散热有直接的关系，这是不争的事实。环境温度低，则有利于散热，LED的结温就不会升的过高；环境温度高，不利于散热，会使温度不断聚集，结温升高，造成LED的光通量下降、色温偏移、光衰加速。

对于工程应用来说，我们所关注的主要问题是使用环境温度，LED作为照明产品，在什么环境温度条件下可以正常使用，通过图3我们可以看到某LED照明产品当环境温度达到40℃时，LED的相对发光强度降低到80%左右。从图3曲线分析，在实际应用中，环境温度低于30℃是比较理想的状态，环境温度越低，相对发光强度越高。虽然图3只是某一产品的温度特性曲线，但是具有一定的代表性，其他型号或其他厂商的产品使用环境温度与光通量的相对输出曲线与该曲线基本吻合。

对使用者来说，散热器是产品的一部分，是无法改变的，但是可以选择散热结构合理，表面积大，热交换效率高的产品，而不应将灯具的美观放在首位。同样，对于生产厂商来说，设计、生产LED散热器时，主要应考虑散热条件和散热效果，其次是美观，在保证散热效果的前提下，提高美观度。

结温不但会对光衰有影响，而且发光二极管的光谱也会随着结温的上升，向长波方向漂移，色温也就发生变化，光通量也随之而改变。从光的品质这一点上，也同样说明了LED照明产品散热器的重要性。由于LED芯片功率的不断提高，对这些大功率LED的封装技术就提出了更高的要求。如今散热问题已成为制约高功率LED发展的关键因素。

4 光衰分析

综上所述，LED的光衰与驱动电路和散热器有着十分密切的联系，同时与使用环境相关。要使得LED照明所产生的光衰达到最低水平，首先要确定它的驱动电路是电压型供电，还是电流型供电方式，如果采用了电压型的供电驱动方式，产生光衰的概率就会高很多；若是采用恒流方式

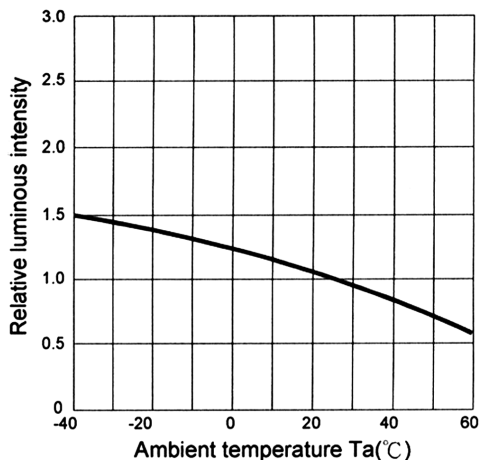


图3 环境温度与相对发光强度的关系

供电，则产生光衰的可能性大大降低。因此要解决LED的光衰问题，首先要保证它的驱动为恒流驱动方式。

在采用电压驱动方式的情况下，交流供电电源的波动影响是不容忽视的因素，绝大部分LED照明的使用条件是在日落之后至深夜，乃至天明。在夜间市政电网的电压会因为厂矿企业的动力负荷下降而升高，当这个电压升高到一定程度，会对驱动电源产生影响。任何一个电子元器件都不可能工作在理想状态，由于外界工作电压的波动，或多或少会造成这些元器件发热量的变化和工作点的漂移，使得输出发生改变，输出电压会有不同程度的提高。使得LED工作点变化，功耗提高，PN结上的热量增加，光通量降低形成光衰。

部分LED产生光衰的原因是灯具的散热结构问题所致，散热器的效率不高，或散热面积不足以导出PN结上所聚集的热量，也是产生光衰的原因之一。例如以下两种散热结构的散热效果是大不相同的：

散热结构A有如下三个特点：①散热器的表面积大；②散热器的安装密度高；③散热基板为水平状态。从表面上看，这种散热结构的散热面积大，有足够的散热能力。但是我们可以看到这些散热器的安装密度很高，在无防护罩的情况下，周边散热器可以与环境温度进行热交换，很快导出热量；但是中心处的散热器，由于相邻散热器的影响，使得在中心处的环境温度要高于实际环境温度，尤其是根部，温度会更高，散热效果受到影响。从实际使用情况分析，如果在无防



图4 散热结构A



图5 散热结构B

尘罩的情况下，灰尘会不断积累在散热基板上，使得散热基板的散热效果降低。如果安装了防尘罩，虽然灰尘的堆积问题得到了解决，但是由于防尘罩的阻隔，使得气流组织发生变化，通风效果降低，罩内温度升高，整体散热效果下降。

从上述分析情况看，这种散热结构只适合于寒冷地区使用，当环境温度较高时，这样的散热结构，无论有无防护罩，散热能力下降是必然趋势，也就造成了LED过早产生光衰问题。国内很多LED路灯照明的产品结构，多为这种散热结构，也就造成一些LED路灯安装一段时间后，产生光衰的原因之一。

图5散热结构B从外形看不如散热结构A美观，但是散热翼垂直于水平面，有利于热空气上升扩散，而且它散热筋翼全部暴露在环境中，能够很好的与环境温度进行热交换，迅速将热量导出。由于顶部的水平面积大于散热器底部的水平面积，灰尘不宜沉积在散热器表面，使长期使用过程中的积尘问题得以解决，因此长期使用不会使散热效果产生大的变化，从而保证了由于散热造成的光衰问题。

传统光源是由灯丝白炽化产生光能，环境温度只是影响光源的表面温度，并不影响灯丝和气体或荧光粉的正常激发工作，因此使用者无需关注环境温度对光源的影响。LED照明与传统的照明方式不同，它所产生的热量全部集中在LED的PN结上，如果不能将这些热量迅速导出，热量堆积便会造成光衰，由于LED的散热结构是生产厂商的产品所决定，使用者无法改变其结构，所以在使用者还应考虑环境温度对散热的影响问题。

从图3得知，环境温度在40℃时，LED的发光强度相对于25℃时降低到了80%左右，我们将图1

所示曲线与之对应查找，在光通量降到80%时，PN结的内部温度已经对应到110℃左右，距120℃点仅有10℃之差，一旦结温达到该点，光通量将降至70%左右。

我们进一步分析不难发现，当LED形成照明产品后，这一曲线有着至关重要的指导意义。根据图3所示曲线关系，要保证一定的光通量，不过早产生光衰，则要使散热器的通风条件良好，也就是及时导出LED工作时产生的热量。使LED周边的环境温度在40℃以下。因此环境温度和风速对LED光衰的影响是使用中不可忽视的问题。使用环境温度过高，热量不能及时散出，会产生光衰问题；空气流通效果不好，也对散热不利，同样也会造成光衰；在室外环境条件下，一定的风速会解决散热问题，但是也带来散热器积尘问题，长时间积尘，影响散热效率，因此环境对LED光衰也有很大的影响。

5 小结

人们长期以来已经适应了传统光源的照明方式，它的热量主要来自于灯丝白炽化所产生的热量，其热量也不影响光源的光衰问题。使用者可以不考虑对照明灯的散热问题。但是LED照明与传统照明不同，它是一种新的光源，它的光衰与电源驱动方式、散热结构和使用环境有密切的关系，所以在采用LED照明产品时，需要考虑的问题比传统光源要多一些，首先要确定LED的驱动方式，其次要考虑LED的散热结构，同时要保证LED照明不要用于高温场合，才能不产生光衰，达到良好的照明效果。

论空气炉炉温均匀性

■ 蒋焕祥 「设备」

摘要: 本文通过工作中的实测数据,对传统的炉温均匀性公式提出了疑问。作者先从分析原始条件开始,逐步分析补充了该传统公式的使用前提条件,最后针对空气炉的炉温均匀性问题做出合理结论。

关键词: 空气炉; 空气循环; 炉温均匀性

笔者是搞工业炉设计的,主要跟空气炉打交道。在几十年工作中摸索出了一些东西,现提出来请大家一起分析讨论,也算是抛砖引玉吧!

1 对空气炉炉温均匀度公式的疑问

炉温均匀度的定义是炉膛有效工作空间内任意两点之间的最大温差(常用 Δt 表示)。以上定义是正确无误的,但如用公式(1)^[1]来表示 Δt 时则值得商榷,因为它与现场的真实情况不尽相符,难于解释一些碰到的问题。

$$\Delta t = \frac{Q}{\nabla c \rho} \quad (1)$$

式中: Q —沿炉膛长度的热损失(kJ/h);

∇ —气流的体积流量(m^3/h),即炉膛总循环风量;

C —气体比热容($\text{kJ}/\text{m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$);

ρ —气体密度(kg/m^3)。

问题一:按公式(1), Δt 与 ∇ (炉膛总循环风量)是成反比的,只要加大风量 ∇ 就可缩小 Δt 。可是笔者单位凡是参加过铝卷炉测试的人员几乎都碰到过一种“反常现象”,即:当铝卷炉炉温升到 500°C 左右时, Δt 也显著增大,为了达到 $\Delta t \leq \pm 3^\circ\text{C}$ (合同要求)这一要求,测试者都首选把

风机打高速(由 500rpm 增加到 1000rpm),此时风量 ∇ 已成倍增加。按公式(1), Δt 理应成倍降低,但现场出现的现象却是 Δt 非但不见降低,反而出现炉温读数抖动不稳定的现象。

问题二:乌鲁木齐铝厂铝卷炉测温时出现的问题。笔者曾参加了乌铝两台完全同一规格铝卷炉(见图1)的测试,其合同要求是 $500 \pm 3^\circ\text{C}$ 。

在具体测试中:第一天,第一台炉 200°C 、 300°C 、 400°C 、 500°C 四档顺利过关(风机一直未打高速)。第二天,第二台炉 200°C 、 300°C 、 400°C 也过了关,但到 500°C 时却发现 $\Delta t > 10^\circ\text{C}$ 。分析发现,第二台炉风机转向与第一台炉反了。解决办法是立即停炉,将风机换向(换成与第一台炉一样)。结果1h后, $\Delta t < \pm 3^\circ\text{C}$,也达到要求。

当时在场人员普遍感到疑惑:(1)两台完全一样的炉子, Δt 却相差那么大;(2)风机转向为何对 Δt 有如此大的影响。此次工作实践中遇到的问题”用公式(1)似乎也无法解释,正是由于以上工作实践中出现问题与公式的严重脱节,笔者认为应认真分析总结经验,并解决问题。

2 对公式的推导及其适用性的思考

2.1 关于 Δt 公式的推导及其边界条件

假设:有一台热风管道炉(细长型,用作采暖),工作段有效长度为 L ,内径为 d ($\frac{L}{d} \gg 1$),炉壁

密闭。一股体积流量为 ∇ 的热气流从进口截面

作者简介:蒋焕祥,男,高级工程师,1959年毕业于西北工业大学工程力学专业,中航建设设备工程设计研究院退休员工。

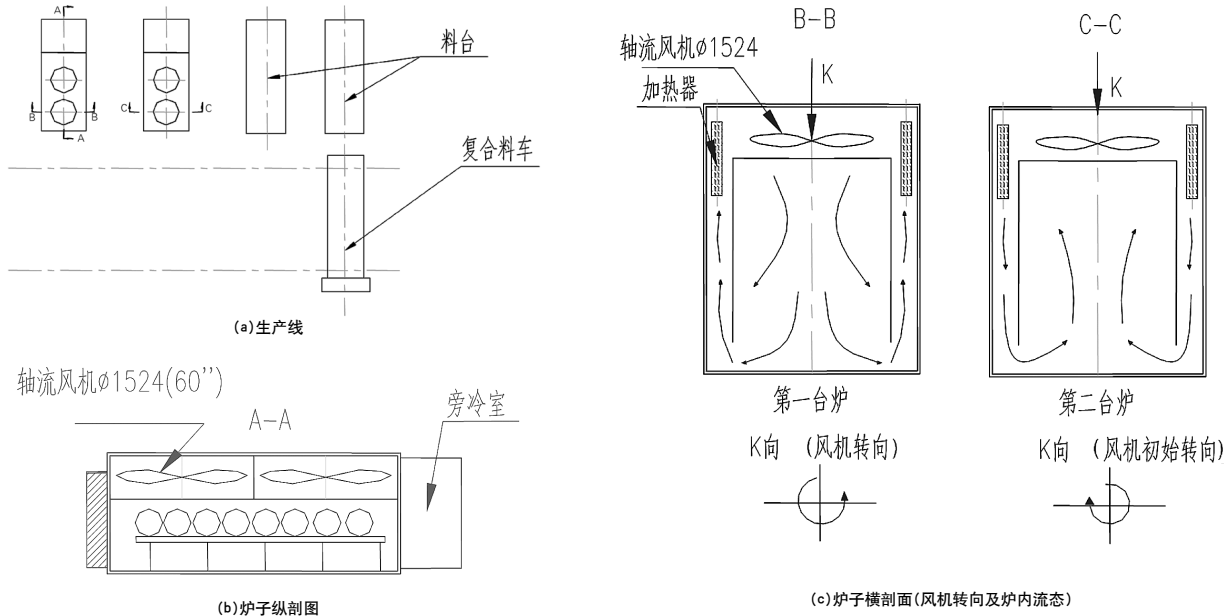


图1 乌铝铝卷炉

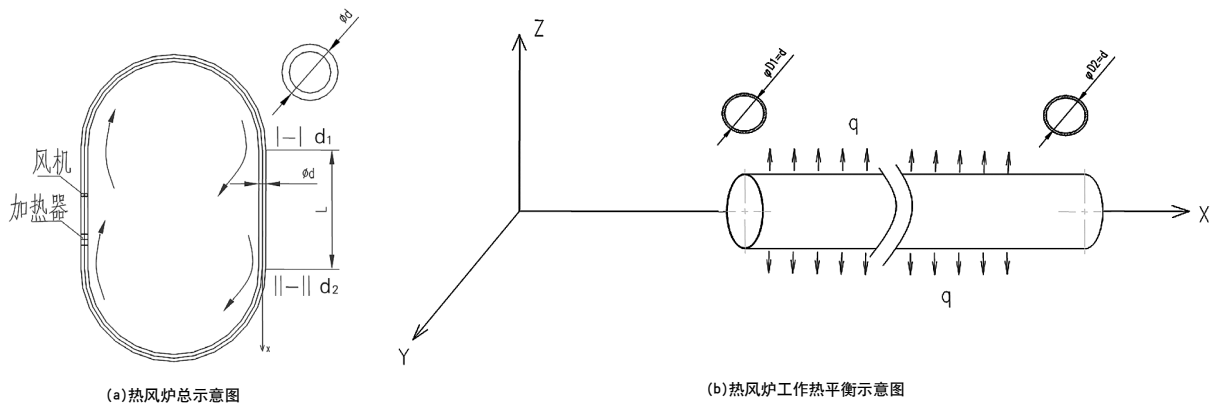


图2 热风管道炉

I—I 到达出口截面 II—II，其气温从 t_1 降为 t_2 。

设：工作区沿程热损失为 Q ；炉筒外壁单位面积热损失为 q ；炉筒外壁总散热面积为 F 。

则其热平衡方程为：

$$Q = qF = \nabla \rho c (t_1 - t_2) = \nabla c \rho \Delta t \quad (2)$$

将式(2)变为：

$$\Delta t = \frac{Q}{\nabla c \rho}$$

上式即公式(1)，由此可见：公式(1)源自于热风管道炉的热平衡方程。

公式(1)的边界条件为：

(1) 炉筒(即炉膛)为细长型结构，即 $\frac{L}{d} \gg 1$ ，可视为无限长圆炉筒(也可为非圆形，如矩形等)，为

简化，设 $d_1 = d_2 = d$ (也可以 $d_1 \neq d_2$)；

(2) 炉筒壁四周为完全密闭状态(炉壁不设孔、洞、不开门等，或虽设但应为高度密封状态)。

由此推论：炉膛中炉气流动可近似简化为沿其中心线 X 轴的一元流动；截面 I—I 的炉气温度可用其中心的气温 t_1 来代表；截面 II—II 的炉气温度可用其中心的气温 t_2 来代表。因此，炉膛中最大温降 $\Delta t = t_1 - t_2$ 就只能发生在炉膛进出口两个截面的中心上。

分析可知：公式(1)是以密封完善的细长型热风管道炉作为模型，从传热学的热平衡方程出发推导出来的，它揭示了此类炉型的基本规律：首先，炉温均匀度 Δt 与炉壁热损失 Q 成正比(即 $\Delta t \propto Q$)，因此，要想降低 Δt ，必先降低 Q 。例如适当增加炉壁保温层厚度，选取优质保温材料

等。其次，炉温均匀度 Δt 与炉膛内总循环风量 ∇ 成反比(即 $\Delta t \propto \frac{1}{\nabla}$)。因此，要想降低 Δt ，必须增大

∇ 。例如选取较大风量的风机，或将风量设计成大小可调的等。再次，炉温均匀度 Δt 必然随炉温升高而恶化。因此，就同一台炉子而言，如风量 ∇ 不变，其炉温均匀度 Δt 低温时必然优于高温时(此结论成立前提为炉子加热器及电控设备均处于正常工作状态)。

将公式(1)改写成：

$$\Delta t = \frac{1}{\nabla} \cdot \frac{1}{c} \cdot \frac{Q}{\rho}$$

因为， ∇ 不变，可设 $\frac{1}{\nabla} = k_1$ —常数，

$$\text{所以，} \Delta t = k_1 \cdot \frac{1}{c} \cdot \frac{Q}{\rho}$$

又因为，炉气比热容 c 随炉温的变化很小，所以，也可近似认作 $\frac{1}{c}$ 为一常数 k_2 ，即 $\frac{1}{c} \approx k_2$

于是， $\Delta t = k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{Q}{\rho} = K \frac{Q}{\rho}$ ，($k_1 \cdot k_2 = K$ —常数)

$$\text{即，} \Delta t \propto \frac{Q}{\rho}$$

当炉温较低时(如 $t=200^\circ\text{C}$)， Q 较小， ρ 偏大， Δt 偏小。即炉温低时，炉温均匀度自然较好(此结论成立前提为炉子加热器及电控设备均处于正常工作状态)。

当炉温高时(如 $t=500^\circ\text{C}$)， Q 较大， ρ 偏小， Δt 偏大。即炉温高时，炉温均匀度必然恶化。

由此可见：炉温均匀度 Δt 必然随炉温升高而恶化。人们从炉壁散热这一现象出发，抓住一个最简单的热风管道炉模型，从传热学的热平衡条件入手，总结提出了关于空气炉炉温均匀度的公式(1)。较长时期以来，它是国内空气炉设计者遵循的一个最基本公式，但是，由于它边界条件的局限性，在常见的工业用空气炉面前，必然碰到新的问题。主要在于：

第一，炉膛密封：工业用空气炉炉膛不大可能为完全密闭状态；

第二，炉型出入：工业用空气炉炉型很少为特别细长型($\frac{L}{d} \gg 1$)；

第三，配置失当：工业用空气炉中加热器与

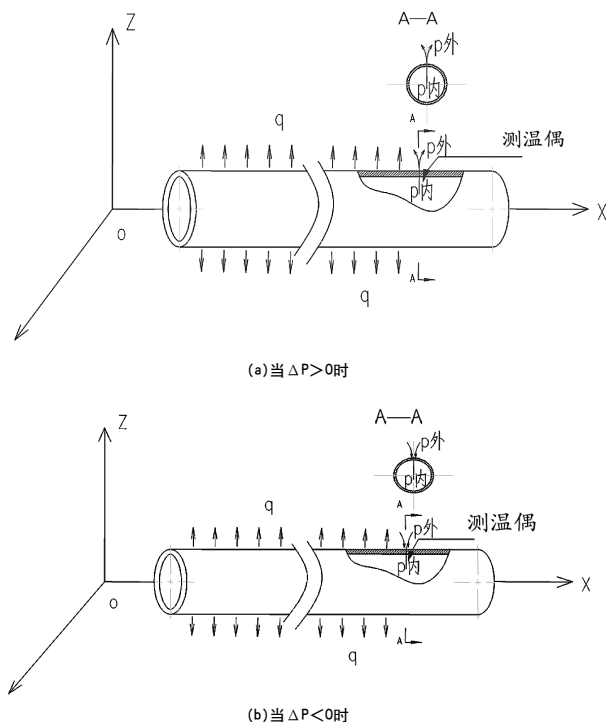


图3 炉膛的传热与传质过程

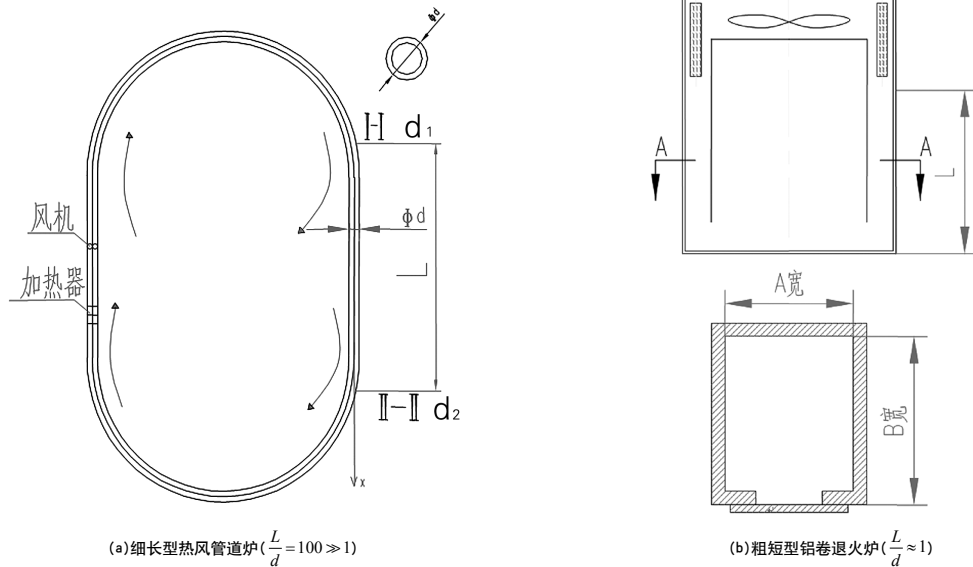
主循环风机的位置安排不尽合理。

2.2 空气炉运行过程中的传质过程及其对炉温均匀度的影响

公式(1)边界条件要求炉膛为完全密闭状态，实际上是难以完全做到的。设图3炉膛壁A—A处有一小孔，于是就会出现比较复杂的情况：除了出现前面说的炉壁传热过程(炉膛内外的能量传递交换过程)外，还会出现炉膛内外的质量传递交换过程(传质过程)。传质过程对炉膛的炉温均匀度有重大的影响。

炉膛内外的静压差(ΔP)对传质过程起着决定性作用。假设炉膛内的静压为 $P_{\text{内}}$ ，炉膛外的静压为 $P_{\text{外}}$ ，设 $\Delta P = P_{\text{内}} - P_{\text{外}}$ ，则：其一，当 $\Delta P > 0$ 时(见图3(a))，即炉膛内呈微正压时，其中的热气流必然通过小孔A向炉膛外溢出，结果是除造成一定的漏气热损失外，对炉膛内的炉温均匀度并无大碍；其二，当 $\Delta P < 0$ 时(见图3(b))，即炉膛内呈微负压时，炉膛外的冷气流必然通过小孔A向炉膛内渗漏(实际是吸入冷空气)，如果测试点就在A孔附近，则这小股冷空气流尚未来得及与炉膛内的热气流充分掺混，就必然造成A孔处为一低点。

由此可见，空气炉炉膛运行时的传质过程是必然发生的，它虽然仅发生在少数局部点上(某些

图4 炉型差别对 Δt 的影响

孔、洞、缝隙等处), 但如炉膛为微负压时, 对炉温均匀度危害极大, 而且炉温越高越烈。因此人们必然想到, 对炉温均匀度要求高的炉子, 一定要采取措施, 杜绝减少传质过程的发生。研究认为, 可采取如下措施: (1)完善炉体密封, 炉体上尽量不开或少开孔(洞、缝等), 一定要开时, 则要采取有效的密封措施; (2)在设计上采取可靠措施, 使炉膛运行过程中始终保持为微正压状态。

2.3 细长炉膛与粗短炉膛的区别

公式(1)的另一边界条件要求炉膛为细长型结构, 即 $\frac{L}{d} \gg 1$, 可视为无限长圆炉膛(也可为非圆形, 如矩形等)。

并由此推论: (1)炉膛中炉气流动可近似简化为沿其中心线X轴的一元流动; (2)截面 I—I 的炉气温度可近似用其炉膛中心的气温 t_1 来代表; 截面 II—II 的炉气温度可近似用其炉膛中心的气温 t_2 来代表; (3)因此, 炉膛中最大温降 $\Delta t = t_1 - t_2$ 就只能发生在炉膛进出口两个截面中心处。

很明显, 公式(1)及其推论是从特别细长的 ($\frac{L}{d} \gg 1$) 热风管道炉推导出来的, 它仅适用于此类

特殊炉型(见图4(a))。但如将公式(1)用于粗短的铝卷退出炉膛时(见图4(b)), 由于两者边界条件大相径庭, 必然误差很大。

2.4 加热器与风机两者位置的合理配置对 Δt 的影响

风机与加热器是空气炉的主件, 其两者位置

的孰先孰后, 对炉温均匀度 Δt 也有一定的影响。

图5(a)1与(b)1是两台同样规格的炉子, 唯一区别在于两者风机与加热器排列次序正好相反, 这里将对(a)1与(b)1的炉温均匀度孰优孰劣作出如下分析:

其一, (b)1风机搅拌效果好, 炉气先经加热器加热, 再经风机充分搅匀后进入炉膛; 而(a)1风机搅拌效果差, 炉气经加热器加热后, 未经风机充分搅匀就直接进入炉膛, 气流温度是“天生”的不均匀。故其结论是(b)1优于(a)1。

其二, (b)1风机出口直吹炉膛, 压头足, 未经消耗就进入炉膛, 故能保证炉膛静压为正, 即 $\Delta P > 0$ (见图5(b)3), 阻止炉外冷空气入侵炉膛, 炉温均匀度必然好; 而(a)1风机出口直连加热器, 风机压头先经加热器消耗一部分后再进入炉膛, 剩余的压头不能保证炉膛静压为正, 易于出现 $\Delta P < 0$ 的情况(见图5(a)3), 炉外冷空气易于入侵炉膛, 炉温均匀度必然差。其结论也是(b)1优于(a)1。

由此可见, 在空气炉的加热循环系统设计中, 为了确保良好的炉温必须做到在炉气循环路线上, 风机领先加热器。

2.5 对于本文开头两个问题的初步解释

经过以上分析, 再来分析一下本文开始提到的两个问题。

1) 问题(一)

炉温升高, 风机打高速, 炉温均匀度不见好

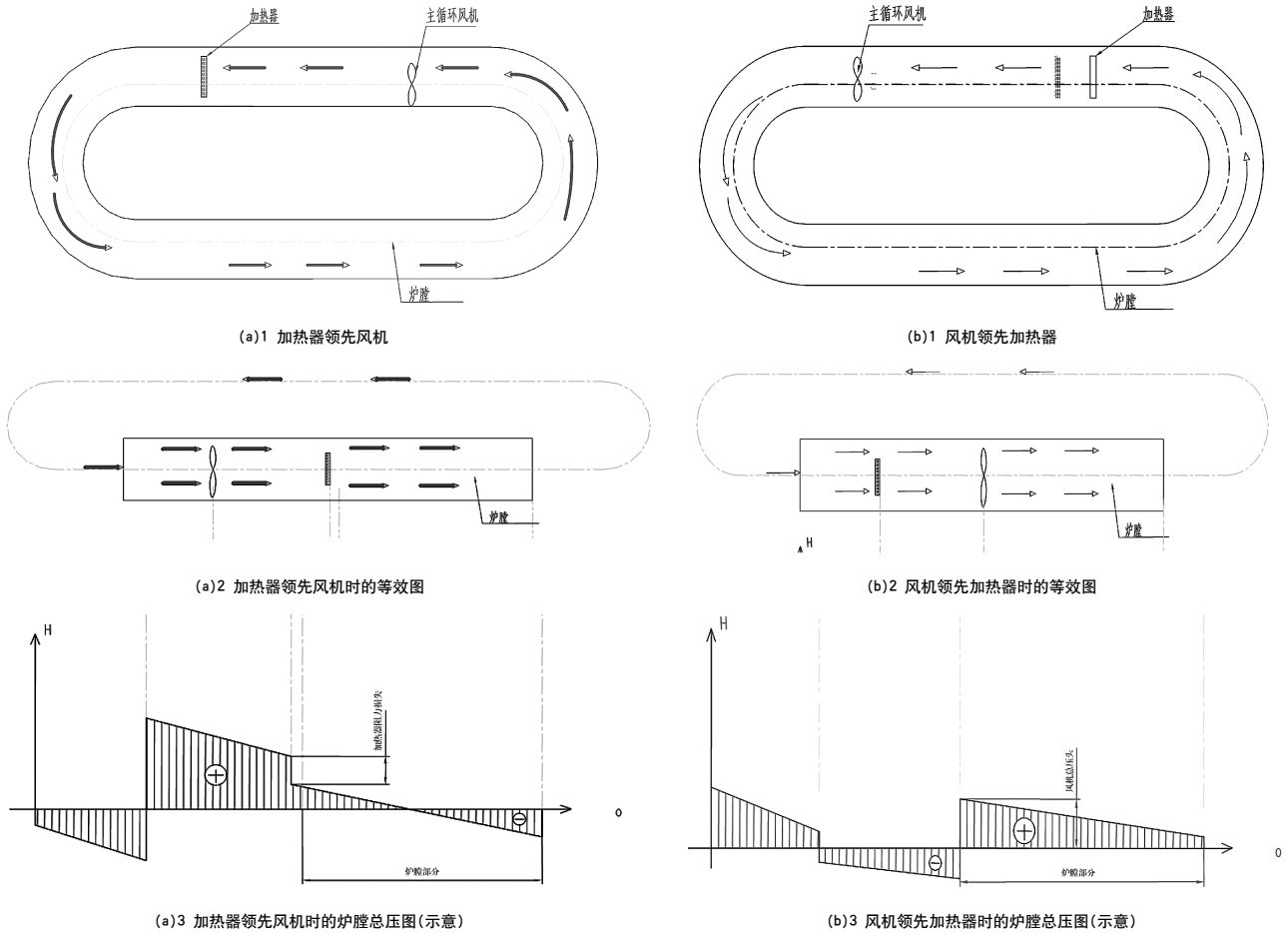


图5 风机加热器两者位置的配置选择

转, 反而出现恶化, 抖动现象?

分析如下:

笔者所在单位的铝卷炉测试说明书明确规定, 主循环风机的方向为图1及图6所示的方向, 即从炉顶方向看, 风机旋向为顺时针方向。此时, 炉内为吸风状态, 炉膛中心呈微负压状态。由此可见, 当炉温升高风机打高速时, 有下列三个因素影响炉温均匀度:

(1)对 Δt 有利的因素: 风机打高速(由 $500\gamma\text{pm}$ 上升为 $1000\gamma\text{pm}$), 风量、风速成倍增长。由公式(1)可见, Δt 理应有所改善; (2)对 Δt 不利的因素: 由于炉内为吸风状态, 炉膛中心呈微负压状态, 风机打高速, 风量增加的同时, 风压绝对值增加更多, 此时炉膛中心区静压负得更多, 炉膛内外压差进一步加大, 炉外冷空气流加快漏入炉膛, 故炉内炉温均匀度显著恶化; (3)对 Δt 不利的因素: 如图1及图6所示, 第二台炉风机转向不合理循环气流经加热器加热后就直接进入炉膛, 是

“天生”的不均匀。如果, 此时风机打高速, 风量加倍, 就更加剧了“天生”的不均匀度, 故炉温均匀度也更差。

上述三个因素中, 第(2)、(3)两个因素起了决定性作用。于是就出现了风机打高速, 炉温均匀度非但不见好转, 反而出现恶化、抖动(因为炉内风速增高, 热偶头部摇晃造成)等现象。

2) 问题(二)

关于乌铝两台完全相同的铝卷炉, Δt 相差如此大的问题。

基本分析如下: 第一台炉, 炉膛呈吹风状态, 其静压 $\Delta P > 0$; 为正 \oplus , 炉膛内热气流易外泄但炉膛外冷空气流却不易漏入炉膛抗干扰强, 故炉温均匀度好; 炉气循行路线上, 风机领先于加热器, 炉中循环气流先经加热器加热, 再经主循环风机搅匀后进入炉膛, 故炉温均匀度好。第二台炉, 炉膛呈吸风状态, 其静压 $\Delta P < 0$, 为负 \ominus , 炉膛内热气流不易外泄, 但炉膛外冷空气流却很易吸入。炉膛

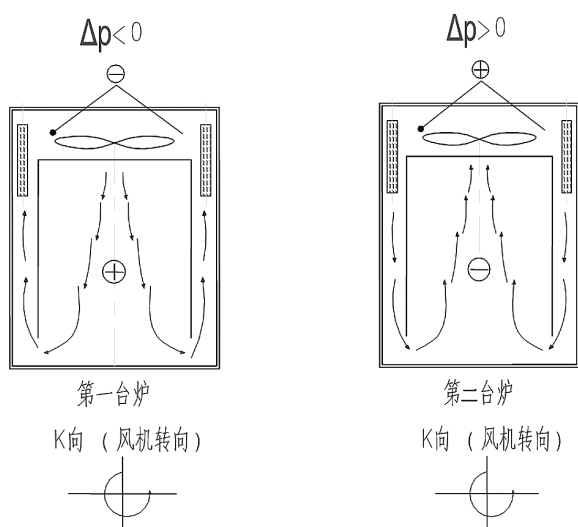


图6 乌铝两台炉炉压与流态的对照图

抗干扰力差，故炉温均匀度差；炉气循行路线上，加热器领先于风机，炉中循环气流虽先经主循环风机搅送，但再经加热器加热后就直接进入炉膛，是“天生”的不均匀，故炉温均匀度差。

从中得出结论：第一台炉风机转向合理，炉温均匀度好，顺利达标；第二台炉风机转向不合理，炉温均匀度差，开头不达标。改成第一台炉转向后，立即达标。

3 结论

综上所述，空气炉炉膛内为什么会产生 Δt ，又是什么原因造成炉温不均匀呢？笔者认为有以下三个原因：炉壁散热、炉壁漏气和配置失当。

3.1 炉壁散热——单纯传热学问题

以细长的、炉壁完全密闭的热风管道炉为例，因为炉膛内温度 $T_{\text{内}}$ 高于炉膛外温度 $T_{\text{外}}$ ，设 $\Delta t = T_{\text{内}} - T_{\text{外}}$ ，由于 Δt 的推动，炉壁必然向外传热。因为， $\frac{L}{d} \gg 1$ ，所以可简化为一元流

动，仅从热平衡条件出发，即可推导出此类炉型的 $\Delta t = t_1 - t_2 = \frac{Q}{\sqrt{c_p}}$ ，即公式(1)。并且，炉膛中最

高温点与最低温点的位置都是确定不变的， Δt 只可能发生在炉膛进口截面 I - I 与出口截面 II - II 的中心处。由于边界条件(炉壁完全密闭， $\frac{L}{d} \gg 1$)的限制。公式(1)仅适用于上述特别细

长的热风管道炉。它将炉膛产生 Δt 仅归结为一

个原因，即炉壁散热。这种传热现象发生在大面积范围的整个炉膛长度上，比较均衡。其温度梯度($\frac{dt}{de} \approx \frac{\Delta t}{e}$)近似为一常数，是可以计算的，产

生这种传热现象的推动力为 $\Delta t = T_{\text{膛内}} - T_{\text{膛外}}$ 。

3.2 炉壁漏气——传质问题

炉膛运行过程中不仅有传热，而且还有传质现象产生。炉膛内外不仅有热量交换(单纯能量交换)，而且还有质量交换(传质现象)。传质现象对炉温均匀度 Δt 也有影响，甚至有重大影响。传质现象其推动力为炉膛内外的静压差，即 $\Delta t = P_{\text{内}} - P_{\text{外}}$ 。当 $\Delta P > 0$ (静压差为正)时，热炉气向炉膛外泄漏；当 $\Delta P < 0$ (静压差为负)时，冷空气向炉膛内泄漏。

由此可见， $\Delta P < 0$ 时，对 Δt 影响极大，可严重恶化炉膛内炉温均匀度。它虽仅发生在个别点处(如孔、门缝等)，是局部的，但危害却是严重的。它较难用公式计算出来，但却是可控的，只需要做到 $\Delta P > 0$ (设计者应保证)。

3.3 配置失当——加热器与风机位置搭配失当

当选用离心风机时，这种“失当”往往是由炉子结构困难造成的。

公式(1)从炉壁密封完好，细长热风管道炉型出发，因此它仅适用于细长的热风管道炉。而对于常见的工业用空气炉而言，由于边界条件不同，故除了炉壁散热的本源外，炉壁漏气和配置两方面原因对 Δt 也有重大影响(对 Δt 的绝对值，对 Δt 的位置分布均有重大影响)，在实际中是绝对不可忽略的。

综上所述，影响常用空气炉炉温均匀度 Δt 的因素至少有三个，即：①单纯炉壁传热过程造成的 Δt_1 (即由公式(1)计算所得)；②炉壁漏气(传质过程)造成的 Δt_2 (很难计算但可用炉压 ΔP 控制)；③炉子加热器与风机配置不当引起的 Δt_3 (很难计算但可用合理设计优化减小)。因此，只要分别降低 Δt_1 、 Δt_2 和 Δt_3 ，就可以降低 Δt 。空气炉的 Δt 在空间、时间上组成一个极其复杂的数群，而对于设计人员来说，其职责是把 Δt 控制在合同要求范围内，而且越小越好。

参考文献

[1] 王秉铨. 工业炉设计手册(第二版).

生物医药园区平台建设研究

■ 曹雁林 「工艺」

摘要: 本文通过引入生物医药平台概念,结合生物医药产业链与生物医药行业特点,提出了生物医药园区不同阶段的平台需求,并结合生物医药平台投资建设主体,提出各类平台建设方式、建设内容以及投资建设需要注意的问题,对开拓生物医药园区规划咨询行业具有指导与借鉴意义。

关键词: 公共服务平台; 小试/中试; 生物医药产业链

0 前言

近年来,随着生物医药产业被列为国家战略性新兴产业,全国各地掀起投资建设生物医药园区的高潮。据不完全统计,目前我国有各类生物医药园区(包括已建立和正在筹建的)100多个,其中,经过国家有关部门或地方政府批准的省级以上生物医药园区50多个。生物医药产业成为近期投资热点,受到越来越多的关注。

生物医药平台建设是生物医药园区开发建设的重要环节。本文从生物医药产业链、生物医药园区、投资建设主体等角度,系统研究生物医药各类公共服务平台,在明确各类公共服务平台需求的角度,提出各类公共服务平台建设内容。

1 平台概念界定

平台作为一个工程的概念,最早可追溯到20世纪初,从汽车实现大批量、流水线作业就已经开始出现,有关研究者逐步对产品创新平台的内涵、主题、层次、内容、机制及其功能特点进行了探讨及开展关于产品平台与产品创新战略的研

究。McGrath,M.E.(1995)在《高技术企业产品战略》一书中把平台定位为:由一组亚系统和界面组成的,可以有效地开发和生产出相关产品的共有结构。目前,国内有的学者在创新研究中引入平台的概念,如胡树华等研究了产品创新平台战略;张宗臣等提出了技术平台的概念,论述了其在企业核心能力理论中的地位。而在园区创新平台研究方面,国内基本上都只是粗略地引入和借鉴了平台这一说法,而缺乏深入、系统的研究。

本文中平台主要是指生物医药园区内的各种创新/生产/服务主体,借助一定区域内(生物园区)为加速生物科技创新、生物项目技术转移等产业化目标而打造的各种软硬件设施。硬件主要指园区提供的各种生物医药科研生产服务设施设备,如试验中心、专业仪器设备、中试生产线等内容;而软件主要指园区提供的各类服务或者制度性安排。

生物医药园区平台概念有四个基本内涵。

1) 共享性

平台内信息与资源的共享性,在创新平台内,信息的传递是畅通无阻的,资源是共享的。共有性是包含生物园区在内的高科技园区平台最本质的特征。

2) 能动性

指生物园区平台具有能动地适应环境,能

作者简介:曹雁林,男,工程师。2010年毕业于中国民航大学经济管理学院,现就职于中航建发规划咨询研究院。

根据生物医药园区项目需求，调整平台的部分功能，从而保持平台自身相对的稳定、平衡及环境一致的自我调节能力。

3) 流动性

凡完成工作技术测试或小试、中试内容后就应撤出平台，让新的项目进来，因为公共平台的任务主要是针对潜在客户，因此项目完成后就应撤出公共平台。

4) 开放性

生物园区平台与园区环境之间存在输入、输出关系，平台边界是开放的。开放程度是决定平台能否与变化的环境进行交流的关键，特别是在生物技术创新、扩散加速的环境下，技术交流与扩散的步伐加快对平台的开放性提出较高要求。

2 生物医药园区平台建设的必要性

生物医药园区平台对园区生物医药产业发展具有重要的推动作用，是生物医药企业区位选择的重要因素之一。这不仅仅是由医药产业特殊的工艺流程和复杂的试验环节所决定的生物医药产业对公共服务平台的特殊依赖性，同时，由于生物医药与人们的生命健康直接有关，医药产品在研发、生产、定价、销售及进出口等诸多环节都受到国家法律、地方法规严格的规范、控制和管理，而有效的生物医药平台支撑将节约企业经营成本，有效降低生物医药企业科研创新风险。

2.1 生物医药园区平台可以整合社会各种资源，提高园区行业竞争能力

生物医药的开发是一个系统工程，从上游的研制、中试开发、新药申请、生产及市场运作都受到严格的法律法规限制，各个阶段都需要一定专业人才、科研设备等软硬件支持才能完成。生物医药园区各种平台可以有效整合这方面的资源，将生物医药专业科研资源、技术资源、资本资源及信息资源整合在一起，并协调、匹配资源的应用，为园区生物医药行业发展提供强有力的平台资源支撑。

2.2 生物医药各类平台科研大大降低园区企业创新风险

一个产品从研制到走向市场需要1~3亿美元，即使在我国也需要5000万元以上，这对于中小企业而言，无疑是个较大资金投入。园区专业科研中试平台可以有效降低企业创新风险，依

托平台拥有的实验中心、场地、专利服务等软硬件共享资源，大大降低创业者及投资者的投资风险，提供了中小企业成活率。

北京生物医药中试孵化平台运作经验证明，风险投资与中试孵化平台联合进行，入区企业投资的风险可降低10倍以上，项目失败的风险降低50%以上。举例说明，一个投资者独立完成从研发到上市的药品开发过程约需要5,000~7,000万元人民币，而进入中试孵化平台大约需要500~700万元人民币。这部分费用包括：固定资产采取租用约需要60~120万元，其他开发费用约需要500~600万元人民币，而且流动资金是阶段性投入，随时可因项目进展情况调整。

2.3 生物医药平台可以加速科技成果转化，缩短新药上市周期

企业依托园区生物各类平台，为园区企业集中提供人才、信息、技术、资本、专利等各种综合软硬件服务，可以有效的加速企业、科研院所生物科技成果产业化进程，实现科研成果快速推向市场。北京生物医药中试孵化平台研究表明，进驻服务平台企业与未入中试孵化平台企业相比，大大缩短生物医药科研成果转化周期，产品从研发到生产销售的周期从原来的7~9年缩短至3~6年。

总的来说，对于我国生物医药企业而言，完善的外部支撑条件将可能是决定其存在、发展的核心因素；而对于生物医药园区而言，能向企业提供恰当、完善的平台支撑，则可能成为其聚集企业，形成规模的主要核心优势。因此，生物医药园区平台建设的重要性远超过一般园区平台建设的要求。

3 生物医药园区平台需求

如图1所示，生物医药产业链主要环节的逻辑关系分为三个阶段：一是研究开发阶段，这个阶段主要是完成基础研究和实验室研究，发现可用于产业化的新药，这个阶段的知识技术创新是核心；二是产业化阶段，技术成果进入商业化，主要完成中试临床及药物生产，该阶段也是产业链的关键环节；三是市场化阶段，药物经过仓储、物流及医药销售公司进入药品流通市场，由医生和消费者使用，该阶段的关键是有良好的销售网络和服务体系。

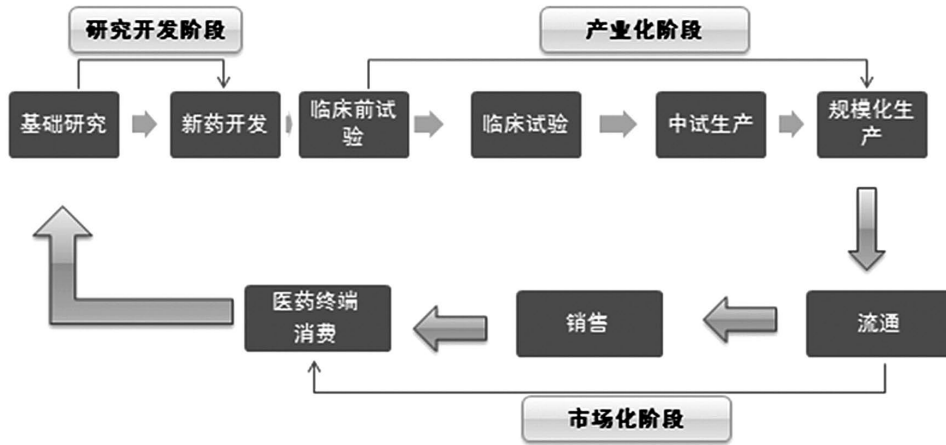


图1 生物医药产业链主要关键环节

表1 生物医药 I 级主要平台

平台名称	功能	内容	
I 级平台	药物发现平台	发现新药	发现新的有治疗性的潜在药物
	专业技术服务平台	特定领域服务	如抗体感染药物平台(北京大兴)、新型疫苗开发技术平台(苏州工业区)
	生物专业基础研究平台	生物基础研究	从事药物研发中的基础科学和应用科学研究,如重组蛋白、基因、药物靶向技术等。
	创新药物筛选平台	药物筛选	高通量、大规模的药物筛选,加速药物发现
	药物研发信息平台	药物研发数据库	药物研发的数据服务
	药物分析测试平台	新药的分析测试	初步判断新药的治疗效果、有效成分等

本文主要从药物发现、药物开发、临床试验等研发及生产环节着手,研究生物医药不同类型园区对平台的需求。市场销售环节更多涉及流通、营销等领域,一般生物物流园区具备一定的物流功能即可,且目前国内还没有形成专业的医药物流园区,因此,市场销售环节不在本文的研究范围之内。

按照生物医药产业链分析,将生物医药园区平台需求依据行业特点划分为I、II、III、IV级四个部分,I、II级主要提供上游技术开发的平台条件(基础研究、药物开发),III级主要提供中试产品阶段的平台条件,IV级主要是市场销售平台。四级结构使平台自身形成了一个完整的生物医药产业价值链。生物医药园区四级平台模式是根据不同部分的特点,提供不同条件的实验场地、设备支持、专业服务及风险投资。专业服务包括:①技术平台的服务;②专业中介服务,如注册服务(完成临床前动物试验I、II、III级临床试验、申报

新药)及专业培训(GMP、GLP、GCP、GQP、GSP等)。依据园区主要从事的业务内容,应建设不同种类的技术专业平台。

3.1 I级主要平台

I级主要平台主要围绕生物医药行业基础研究展开,这一阶段的主要工作内容是发现对人体有一定疗效作用的新型药物。

这一阶段主要平台主要有四大方向:①药物发现平台;②药物研发信息平台;③创新药物筛选平台;④生物专业基础研究平台(蛋白质组学/基因工程/疫苗等基础研究平台)。具体研究内容见表1。

3.2 II级主要平台

这一级平台主要是药物开发到产品中试环节,涉及到众多领域,是生物新药研发上市的关键环节,参与这一环节的中小企业数量众多,也是大量生物研发服务外包(CRO)环节。具体研究内容见表2。

表2 生物医药园区II级主要平台需求

平台名称	功能	内容
仪器设备共享平台	降低中小企业成本	大型关键设备园区共享
公共检验检测平台	检测分析服务	公共检测
专业公共服务平台	生物某一领域专业服务平台	如抗体公共服务平台、基因公共服务平台。
临床前药物安全评价平台(GLP)	药物安全性评价	药物开发阶段的安全性评价,对新药研发非常重要
动物试验平台	药理、疗效检测	各类动物试验测试,评定药物的安全性。
临床试验平台	药物临床	确定药物的安全性和治疗效果
生物产品专利服务平台	专利信息服务	新药专利咨询、新药研发信息咨询等
金融服务平台	风险投融资	股权交易/转移、风险投资

3.3 III级主要平台

这一阶段平台比较接近产品中试生产,是实现新药产品产业化的关键步骤。III级平台可为企业提供办公室、实验室、中试车间等物理空间和共性分析检测设备等专业技术支撑,加速实现新药产品产业化。需要的平台主要是金融服务平台、小试/中试平台、生物医药制造平台(标准工业厂房)、生物医药贸易物流平台等。

4 生物医药园区平台建设

依据前面分析,特别是依据生物医药产业链得出的I、II、III、IV级平台基础上,从平台投资建设角度进一步深化归类,可将四级平台从投资建设角度依次归类为科技创新、公共技术服务、小试/中试、生产制造、园区综合服务五类平台。

4.1 科技创新型平台

科技创新型平台主要以支撑生物医药科技创新为主,处于生物医药产业链上游基础研究、药物发现阶段,主要需要生物园区I级平台支撑。

1) 建设方式

科技创新平台大多属于生物医药领域某个专业方向的平台,这类平台大多由国家省市级以上政府支持建成,一般依托国家重点实验室、生物医药行业高等院校等科研所在生物医药园区联合共建。在体制运作机制方面一般由科研院所负责日常运作。

2) 建设内容

在政府支持下,有科研院所投资建设科研创新大楼,并以此科研大楼为依托,围绕药物发现、药物筛选环节建设科技创新平台。同时,从药物发现、药物筛选角度配备仪器设备、实验动

物,并建立科技文献资源数据库,保持追踪专业领域科技创新能力。如先导化合物发现与优化中心、药物发现与设计中心、药物筛选中心、药效学评价平台。

3) 服务内容

提供新药发现研究、新药开发研究、药效评价研究和安全性评价研究等方面的综合服务。平台具体为企业提供服务包括:(1)药学研究、药效测定、毒性分析、动物试验等技术服务及其他各类检测服务;(2)开展企业科技人员培训服务,接受专业培训和咨询服务。

4.2 公共技术服务平台

我国专门从事科技创新的生物园区较少,由于生物医药产业链涉及到环节较多,从事生物研发服务的中小企业相对较多,因此,这部分中小企业集聚关键要素就是园区公共技术服务平台服务能力。目前,从新药开发角度分析,运用枚举法研究当前的生物医药平台,提出如下类生物医药园区公共技术服务平台。

1) 建设方式

公共服务平台一般由园区开发公司投资建设公共技术服务平台,开发公司以招商引资的形式引入公共技术服务运作平台公司,或者由开发区管委会与地方政府(科委)联合共建,科委提供财政资金对平台设备方面提供资金支持。

2) 建设内容

争取当地政府(科委)政策支持,购买支持园区产业发展的大型关键设备,为园区提供检测分析、药物安全性评价、动物试验等内容,由平台公司负责日常运作。具体建设内容包括:(1)公共科研技术服务大楼;(2)争取当地政府科技资金补贴,购买大型生物检测分析设备;(3)与大型医药

合作, 共建某类药品临床实验室(GCP); (4)模式动物实验室; (5)GLP安全评价平台; (6)依托新药研发服务平台, 建设专利文献技术服务平台。

3) 服务内容

主要依托公共技术服务平台、专业技术服务平台、动物试验平台、临床试验平台等提供生物新药开发相关的基础设施条件、技术开发、技术服务、人员培训等公共服务。

4) 注意的问题

研发服务型科研大楼实验室需要满足GLP标准要求, 其硬件设施建设方面应注意的问题主要体现在以下两个方面: 其一, 实验室应大小合适, 具备分布合理的动物室和配套设施, 并能调控温度等, 包括: (1)不同种属动物或不同实验系统的饲养和管理设施。小动物: 屏障系统, 适用于SPF级动物; 大、小动物: 亚屏障系统, 适用于清洁级动物; 大、小动物: 开放系统, 适用于普通级动物。(2)动物的检疫和患病动物的隔离治疗设施。(3)收集和处置试验废弃物的设施。(4)清洗消毒设施。(5)供试品和对照品含有挥发性、放射性和生物危害性等物质时应设置相应饲养和管理设施。其二, 严格控制符合GLP的环境条件实验室应人物分流运行, 防止互相污染, 温度控制在 $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$, 相对湿度30%~70%, 空气流通并经过滤, 光照12h, 控制噪音。

4.3 小试/中试平台

中试技术平台是一个投资大, 消耗大, 但前景看好的技术平台, 在我国目前还不多。中试平台的建设费用较大, 因此不必每个园区都建设中试平台, 但一旦园区建成较成规模的中试平台, 必然会成为生物医药园区一个核心的竞争力。

1) 建设方式

中试技术平台多为股份制, 政府一次性投入后不可能一直扶持下去, 投入后要靠中试平台公司自身经营。

2) 建设内容

发达国家在新药的小试、中试、批量生产的投入比例分别为1:10:100, 而我国即使在最发达的上海投入的比例也仅为1:1.03:10.05, 在生物医药的中试方面投入明显不足。面向生物医药单克隆抗体药物、新一代疫苗等必须采用哺乳动物细胞大规模表达的生物药, 可建设具有中试规模的生物药生产线及制剂线, 包括细胞培养与蛋白分离纯化生产线; 微生物培养与蛋白分离纯

化生产线, 制剂线包括制冻干粉针和小容量注射剂生产线。

3) 服务内容

GMP中试研发生产平台兼具生物药工艺研发和中试生产能力, 可为国内外生物药项目提供中试生产外包服务。具体服务内容包括: (1)细胞库的建立; (2)为生物药和注射剂的生产工艺研发、质量标准确定提供服务; (3)制剂研发、临床前药理、药效学、毒理、药代所需的样品; (4)临床批文审批所需的三批报检样品; (5)承接生产级别生物药生产服务外包, 获得GMP认证。

4) 注意的问题

集工艺研发与GMP中试生产为一体的GMP中试生产平台, 既是国内生物医药产业化的重要支撑平台, 同时, 如果中试平台能通过美国FDA及欧盟EMA规范要求, 也将是支撑国内生物医药打入国际市场的重要支撑环节, 是生物医药领域核心技术资源。一般而言, GMP中试生产平台建设应注意以下问题: (1)符合FDA、EMA和SFDA的GMP标准要求的临床I、II、III期用药; (2)向FDA申报在美国上市的仿制药的工艺研发、生物等效性临床用药。

4.4 生产制造平台

生产制造型园区为加速项目落地, 往往会为加速中小企业、项目入驻园区而缩小工程建设时间, 提前建设一部分生物医药标准厂房。

1) 建设方式

园区开发公司按照生物医药行业特点, 结合GMP要求投资建设一定规模的生物医药标准厂房。园区向中小企业提供生物医药标准厂房经营租赁或者直接出售给企业。

2) 建设内容

生产制造型园区主要从加速园区建设角度, 建设两类平台内容: 生物医药标准厂房、CMO代工生产线。

(1)生物医药标准厂房建设建议: ①执行GMP洁净厂房标准。②标准厂房设备的安装应符合要求, 包括设备间距、工艺流程的合理性等。消防设计要合理, 并保证符合消防安全要求。厂房内包括加工区、产品存放区、原料存放区、休息区等, 且配电、照明等动力柜要符合安全要求。③平面布置有利于环境净化, 避免交叉污染等要求。④考虑危险品库的存放, 且动物房的设置应符合国家医药管理局《实验动物管理办法》规

定, 并有专用的排污和空调设施。

(2) 生物医药CMO代工生产线建设建议: 1980年以来, 美国、欧洲、日本、新加坡等国陆续放开了生物制药的委托生产, 从而奠定了其生物制药产业蓬勃发展的基石。在国内, 张江生物医药基地也已将生物医药CMO代工模式纳入了2013年浦东综合配套改革试点之一。因此, 未来生物医药发展集中化的CMO(合同制造外包)代工产业将成为一种趋势。按我国现行规定, 药品上市许可与生产许可采取“捆绑”管理模式, 药品批准文号只颁发给具有《药品生产许可证》的生产企业。以抗体药物为例, 建立符合美欧标准的1000L规模生物反应器生产线, 就需要约1亿美元。因此, 对于生物医药CMO代工生产线建设, 有以下建议: ①选择生产线投资规模较大、行业前景较好的产业建设CMO代工生产线, 如抗体药物; ②面向优质企业开展政策性试点, 鼓励园区中小企业借助已有企业生产线从事产品生产。

3) 服务内容

具体服务内容包括: (1) 生物医药标准厂房。按照生物行业特点提供厂房租赁或出售等多种形式服务, 同时, 园区开发公司针对优质项目, 采用多种经营方式, 以土地、厂房产权形式入股项目; (2) CMO代工生产线。主要提供生物产品合同代工生产服务, 依托CMO代工生产线承接研发、中试、产业化需求。

4) 注意的问题

此平台建设应注意以下问题: (1) 符合国土资源发[2004]232号工业项目建设用地控制指标(试行), 医药制造业 ≥ 0.6 的指标; (2) CMO代工生产线建设建设符合美国FDA、中国SFDA、欧洲EMA技术要求的代工生产线。

4.5 综合服务平台

园区综合服务平台主要作用是完善园区综合配套服务功能, 其对园区的招商引资具有重要推动作用。

1) 建设方式

综合服务平台一般主要由园区开发公司负责建设, 如金融服务、工商注册、物业管理等业务一般由园区负责, 但是如商务住宿、餐饮服务等一般由园区负责招商引入, 提供园区生活配套服务。

2) 建设内容

建设内容包括: (1) 生物医药贸易物流平台。园区建设一定的仓储、配送等物流设施, 满足生

物医药企业对物流的基本需求; (2) 园区综合服务平台。由园区开发公司建设园区综合服务中心, 引入政府职能部门、金融服务部门; (3) 园区宣传展览展示与项目交易平台, 如声光电一体化展示厅、产品展览展示、会议会展中心、园区科技项目交易服务大厅等内容; (4) 金融风险投资平台。引入金融风险投资机构, 园区与金融部门。

3) 服务内容

具体服务内容包括: (1) 生活配套服务, 超市、医疗、餐饮等; (2) 商务服务配套, 如商务酒店、会议中心、娱乐休闲中心等; (3) 园区综合服务: 代办企业工商注册; (4) 金融风险投资机构: 园区协调引入金融服务机构, 结合生物医药行业特点、项目处于新药阶段、市场前景等提供金融风险服务。

5 结语

综上所述, 一个新药的研制一般要经过实验室研究、小试规模、中试规模和生产等环节, 在这一过程中, 生物医药项目或者企业需要各类公共平台服务支撑, 从而有效提高企业/新药项目成活率。因此, 生物医药园区平台对生物医药产业集聚、园区发展具有重要意义, 通过对生物医药园区平台的研究, 结合生物医药产业链, 系统提出生物医药各类平台需求与平台建设内容, 对生物医药园区规划咨询有重要指导与借鉴意义。

参考文献

- [1] 田雪. 科技园区创新平台构建研究. 黑龙江人民出版社, 2008.
- [2] 徐硕强, 刘毅. 中国高科技园区创新平台建设. 人民出版社, 2008.
- [3] 陶树青, 陶倩玮. 创建黑龙江省生物医药产业研发平台和药物创新(孵化)基地的战略设想. 黑龙江医药, 2011(2).
- [4] 马彦. 生物医药产业价值链的整合化研究[D], 2007.
- [5] 黄立强, 吴翠玲. 生物医药产业专业化服务体系建设和运作模式研究. 科技进步与对策, 2005(2).
- [6] 李久香, 王一飞, 罗勇, 陈泽群. 我国生物医药中试研究技术平台的建设与管理. 中华医学科研管理杂志, 2004(2).

基于RFID技术的模具管理系统研究

■ 张超 「工艺」

摘要: 目前国内航空工业工装模具管理存在效率低下与静态管理的局限性问题,无法满足航空工业“多品种、小批量”生产模式对工装模具管理的要求。RFID技术具备对标签信息的自动采集与非接触识别功能,在模具管理信息系统中引入RFID技术能实现模具的动态信息采集与跟踪管理。本文设计了基于RFID技术的模具管理系统框架结构,设计了模具管理系统模型,重点研究了利用Web Service技术封装RFID中间件的技术。在以上研究的基础上,本文采用C#.net技术,将模具管理及信息追溯流程固化到系统中,并完成了系统的开发工作。此系统的构建将显著提高大量使用模具的航空制造企业生产效率,在推进企业信息化进程方面起到了重要作用,并为基于RFID技术的工装管理系统构建提出了完整的解决方案。

关键词: RFID; RFID中间件; Web Service技术; 管理系统

0 引言

航空工业是离散型制造业的典型代表,航空企业数量众多,制造流程复杂,“多品种、小批量”特点突出,涉及到大量的工艺装备,对生产现场管理、大量的工装设备管理等方面提出了更多、更高的要求。模具是工装中一类兼具典型性和自身特色的一类生产资料。模具的全生命周期为“设计→制造→入库→使用→维修→报废”,一般的模具管理始于模具入库,终于模具报废,这段流程中模具的使用历程一般远多于其设计、制造流程所用时间。由于模具自身的特点,针对模具价格昂贵、保养和维护要求高的特点,使得模具的管理不同于一般的工装、零部件或原材料的管理,模具管理信息化问题亟待解决。如何更好的进行模具管理,以发挥现有资源的最大效

能,是各相关制造企业提高生产效率、产品质量需要解决的瓶颈问题之一。

传统的模具管理难以适应现代生产管理需要主要表现在以下方面:人工操作的管理效率低下,人员的心态、责任心等思想状态很大程度上影响着管理的质量;模具信息的管理主要靠手工输入电子数据表的方式,速度慢、准确率低;模具信息处于静态管理阶段,无法实现模具信息的动态化、实时跟踪管理;使用寿命依赖经验数据,缺乏基础数据来支撑其检修时点的预判。

基于这种现状,必须引入RFID技术,应用于模具信息的实时、动态的数据采集和跟踪定位管理,这将是今后提升模具管理信息化的一个有效的、前景广阔的途径和办法。本研究以解决模具的科学化、信息化、自动化管理问题为切入点,力求提高生产效率,提高优质生产和安全生产的能力,实现模具信息的动态化与可视化管理,并实现产品质量的可追溯性,有利于提高管理运作的可见性,提升模具管理信息化水平。此外,通

作者简介:张超,男,高级工程师,2008年毕业于清华大学水利工程系,现就职于中航建发技术研究院。

过指导每副模具定期检修保养，而不是模具出了问题后再维修，因此延长模具的使用寿命，保障产品重量，降低模具维护成本。

1 RFID技术在模具管理的应用现状

无线射频识别（Radio Frequency Identification, 简称RFID）技术是利用射频信号通过空间耦合(交变磁场或电磁场)实现无接触信息传递并通过所传递的信息达到自动识别目标的技术。由于具有环境适应性强、非接触识别、多目标识别及高速移动识别等技术优势，与其他自动识别技术相比，其具有更为广泛的应用领域及应用空间，RFID技术被认为是21世纪最具有发展前途的信息技术之一，备受社会各界的关注^[1]。端到端的RFID技术将物理世界与计算机世界联系在一起，实现了物理信息的实时收集。

自2003年全球最大零售商沃尔玛宣布推行RFID电子标签以及美国国防部大力推进RFID应用以来，全球范围内掀起了一场无线射频识别技术应用的热潮。RFID技术在矿井管理、公共管理、安全防伪、食品行业、医疗行业、服饰行业等行业交通、物流、供应链、防伪等领域均有相关的应用案例。其中，物流和供应链管理是RFID应用最广和最具应用潜力的领域，RFID可以广泛应用于供应链上的仓库管理、运输管理、物料追踪、运载根据识别、商品防盗等。深圳白沙物流公司在其自动化立体仓库的托盘上安装电子标签，明显提高了仓库管理的精细化程度，海尔、昆明烟草公司^[2]等都是成功案例。

但在实际中，由于成本及技术支持不足等原因，RFID系统在航空制造企业中的用于工装管理的应用并不多见。通过本文的研究，希望能为RFID系统在航空制造企业的工装管理中的应用模式、系统应用框架及应用RFID系统后工装管理信息系统的实现提供参考借鉴，促进RFID系统在国内航空制造业的应用。

2 基于RFID的模具管理系统框架

2.1 系统需求与功能

从生命周期角度来看，本模具管理系统的管理范围主要包括编配、保管、使用、保养、维修和报废六个环节。其中，需要完成的主要作业任务有信息录入、出库、入库、查询、打印、维修

报警、报废报警等。在系统开发中，重点把握使用、保养、维修和报废这四个关键环节。

模具管理系统应具备以下功能：

(1)模具信息采集功能。应用RFID技术，对模具进行新件入库、领用、使用、归还的信息采集，生成动态的信息采集数据库，以备管理、查询之用；

(2)模具信息管理功能。系统管理员将模具的初始信息录入并配置与之匹配的标签ID号进行标识；

(3)模具信息查询功能。依据采集到的动态模具数据信息，能够对模具进行使用人员、加工历史、模具状态和出入库时间等条件查询功能；

(4)模具状态报警功能。对模具的出库、回库、维修、瑕疵、报废等情况提供状态报警，利于对模具的使用与维护；

(5)模具库存盘点功能。能够自动生成库存数量报表，减少人为盘点的工作量，增强盘点的精确性；

(6)模具跟踪定位功能。针对特定的模具，应用读写器ID的唯一性，实现侦测时间与地点的定点跟踪功能，及时准确的掌握模具流转情况。

2.2 系统框架结构

一般基于RFID的应用系统框架结构至少包含3层，即硬件层、中间件层和系统应用层。中间件层一般需要针对具体RFID硬件类型进行定向开发，为系统应用层提供数据支撑。为减小中间件接入现有系统应用的难度，增强系统解耦



图1 系统集成应用框架结构

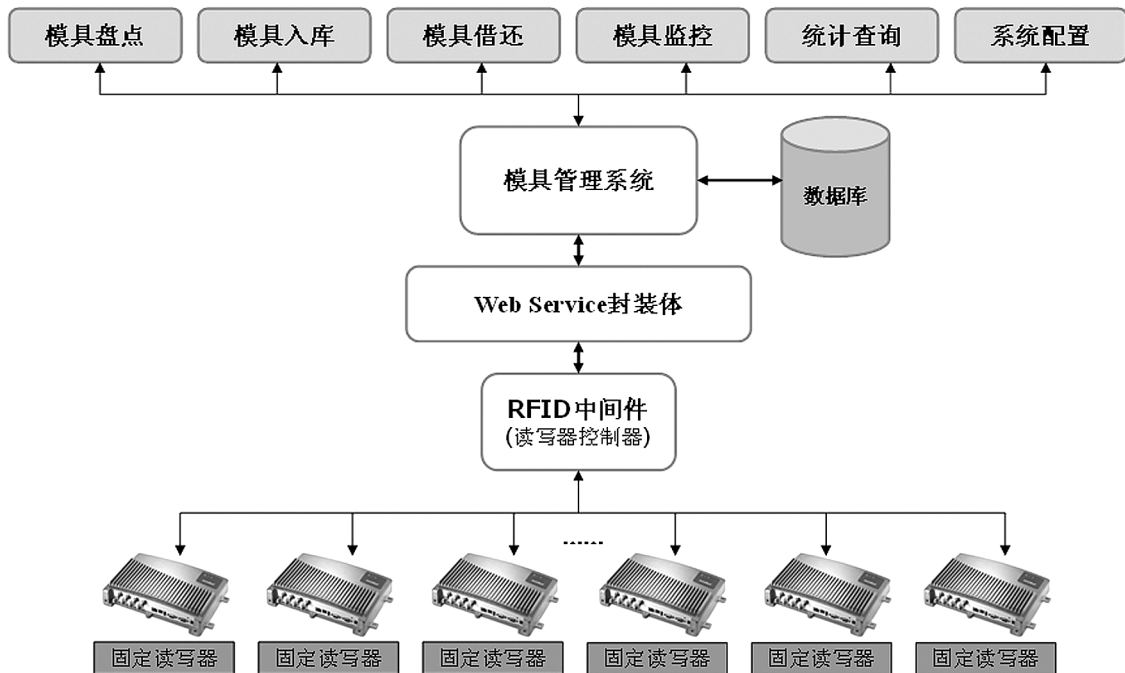


图2 系统实现模型

性、模块化和可重用性，本文将RFID技术与Web Service技术结合，设计了基于RFID的模具管理系统应用框架结构，如图1所示。

各模块的功能为：RFID无源标签存储自身固有信息和动态信息用于标识模具和描述模具状态；读写器完成识别标签和读/写标签；RFID中间件用于数据收集、分组、过滤和传递数据；用Web Service封装中间件，为应用系统提供访问接口，实现数据信息的共享，减轻了应用系统对数据的操作和传输负担；得益于Web Service的封装，应用系统架构方式更灵活，可选B/S或C/S架构模式，完成数据信息浏览、分析等更高层次的管理任务。

3 模具管理系统的设计与实现

3.1 系统实现模型

在本系统的实现模型中(见图2)，应用Web Service技术，将模具的入库、模具领用与回库、模具维修、模具报废、模具盘点等模块的功能实现以Web Service形式发布，模具管理系统通过代理类访问Web Service接口，实现对标签信息的读/写操作。模具管理系统采用B/S架构，实现模具基本信息管理、模具领用、模具回库、模具跟踪

定位等功能。

本系统开发使用Microsoft VS2010集成开发环境，开发语言使用C#和ASP.NET，后台数据库使用SQL SERVER 2008。系统实现在PC平台及Windows系列操作系统环境下编程实现各功能模块的详细设计。硬件环境包括UHF远距离读写器、UHF桌面发卡器、EPC GEN2标签。

3.2 RFID中间件与RFID读写器交互通信

在本系统的设计中，厂商主要提供了Mr915ApiV10.lib、Mr915ApiV10.dll作为硬件驱动程序，主要的API函数包括Gen2MultiTagIdentify、ConnectReader、Disconnect、ResetReader、Gen2WriteEPC、Gen2ReadBlock、Gen2BlockWrite、Gen2MultiTagRead、GetParameter、SetParameter等，能实现读写器的连接、断开、读取、写入等基本操作控制。

在RFID中间件的开发过程中，通过引用Mr915ApiV10.dll实现对读写器的操作。在C#中引用Mr915ApiV10.dll的关键示例代码如下：

```
[DllImport("Mr915ApiV10.dll"), CharSet=CharSet.Ansi]
public static extern int ConnectReader(...);
```

3.3 基于Web Service的RFID中间件设计

Web Service是在因特网基础上发展起来的

分布式计算模型，是一种为在网络中根据用户的权限和标准的协议给客户端提供特殊的服务和基于服务的接口。从终端用户的角度来看，Web Services是按其自有标准部署于网络中的组件，网络中其它主机或应用可以根据服务提供商提供的接口使用它们，进而协同完成商业逻辑^[3]。

Web Service作为一种分布式网络组件，使用标准的HTTP协议来传输数据，并使用基于XML的数据格式，为不同端点之间的实时数据共享和事务处理提供了方便，已成为许多B2B和B2C应用程序的关键性集成技术。Web Service具有很强的可复用性，松散耦合性、离散性的封装、程序可访问性的特点。此外，Web Service的平台无关性、编程语言无关性、易于部署以及可以轻易实现多种数据、多种服务的聚合的性能，是互联网的发展趋势^[4]。

和面向对象系统一样，封装、消息传递、动态绑定、服务描述和查询也是Web Service中基本概念。其中，服务是Web Service的重要概念，这些服务通过发布一个封装了实现细节的API供网络中的其他服务方便调用^[5]。Web Service架构中非常重要的功能是通过UDDI(通用描述、发现和集成)发现，由WSDL(Web服务描述语言)描述，通过SOAP(简单对象访问协议)发送，能将因特网中的应用之间的连接简化，通过使用Web Service接口，各个组件间能以Hub方式连接，突破串行连接方式，能够更方便的对系统进行集成。

RFID系统与Web Service具有良好的兼容性，二者的结合可将RFID系统实时收集的物理信息融合到业务系统中，实现RFID系统和业务系统的集成。由于RFID中间件在RFID系统中扮演着标签数据和应用程序之间的中介角色，从应用程序端使用中间件所提供一组通用的应用程序接口(API)，连到RFID读写器，读取标签数据。

在这系列过程中最下层是设备层，负责采集电子标签的信息。设备接口模块要完成与不同RFID设备之间的数据通讯和数据配置，并对上一层的处理模块提供统一的应用服务接口。这些数据通讯以及基本配置采用Web Service方式会更加简洁方便，这种接口方式实现和调用会更大范围的提高效率，使得调用API更加简洁。

3.3.1 中间件架构设计

RFID中间件总体分为三个层次(见图3)：

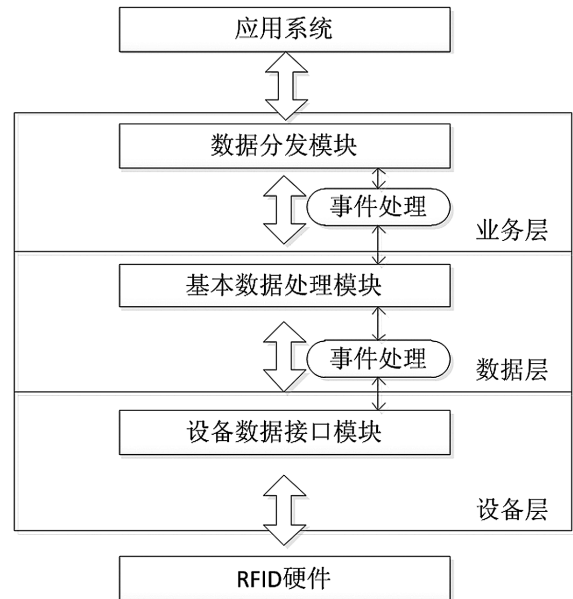


图3 中间件架构

1) 设备层

底层为设备层，即数据采集层，负责读取或写入电子标签信息。设备接口模块调用硬件厂商提供的驱动程序，主要完成与不同RFID设备之间的数据通讯和硬件配置，并对上一层的处理模块提供统一的应用服务接口。

设备管理的主要功能包括：

- (1)处理多种连接方式，为不同的连接方式建立不同的类，在设备接入系统时根据其接入方式（串口、网口、USB）生成不同的对象。用类的方式实现设备连接，屏蔽了各种设备的差异性；
- (2)操作读写器，主要实现对读写器的操作，包括读写器的打开、关闭、读标签、写标签等；
- (3)配置读写器，配置读写器的基本属性包括读写器的名称、型号、位置信息和蜂鸣器等，还可以对读写器进行动态的添加删除和修改配置；
- (4)监控读写器工作状态。

2) 数据处理层

中间层是数据处理模块，即数据处理层，主要功能有：

- (1)数据验证，当标签之间距离过近或者金属干扰均可能导致读写器误读或信息不完整，通过字符校验和字符长度校验可验证数据的正确性；
- (2)数据分组，系统中存在不同型号的读写器时，其采集到的数据格式不一样，通过数据整理将这些不同格式的数据都转化为统一的、系统需

表1 模具加工工件记录表(ToolUsageHis)基本结构

列名	数据类型	说明
Id	Varchar(30)	记录编号, 主键, 自增
IdTool	Varchar(50)	工装标识编号
useTime	Smalldatetime	工装使用发生的时间
Operator	Varchar(50)	操作者姓名
Technician	Varchar(50)	工艺员姓名
Inspector	Varchar(50)	检验员姓名
ProductID	Varchar(50)	产品架次
BatchID	Varchar(50)	批次
pieceCount	Integer	件数
bugDetail	Varchar(200)	存在问题描述

要的格式供后续的数据过滤模块处理;

(3)数据过滤, 单个读写器所读到的标签数据冗余表现为同一个标签在同一时间间隔内被同一个读写器多次读到, 还有受电磁波、金属环境等干扰时发生不规则的漏读形成的信号杂波。两种问题均可利用采用时间窗的方法实现数据过滤;

3) 业务层

最上层是业务层, 即信息处理层, 负责处理来自数据处理层的抽象事件信息, 对其进行存储、传送和发布等操作, 为业务系统服务。

3.3.2 Web Service实现与调用

为便于调用中间件处理后的数据, 采用Web Service技术封装数据接口, 下文以模具使用历史记录更新为例说明Web Service的实现和调用。

1) 历史记录表结构

由于模具在生产流转过程中, 需要记录其参与了特定型号、特定批次的零件加工, 用于对产品质量进行追溯。因此, 在本系统后台数据库中需建立一个模具加工的工件记录表(Tool UsageHis), 用来记录其加工工件的相关信息, 其表结构如表1所示。

2) Web服务的实现和发布

在Microsoft VS2010集成开发环境中, 新建基于“ASP.NET空Web应用程序”模板的项目, 并添加新建项Web服务, 在实现类中添加Web方法Update UsageHis, 用于将读写器对标签信息中记录的加工信息写入到后台数据库中, 可通过IIS6.0将Web服务发布, 供其他应用程序访问。

关键实现代码如下:

```
[WebMethod(Description = "This method
is for recording mould usage history",
EnableSession=false)] // 创建Web方法
UpdateUsageHis
    public int UpdateUsageHis (string
idTool,DateTime dateTime, string opName,
string tecName, string inspName, string
prodID, string batchID, string pCount, string
bugInfo)
    {
        .....
        string SQLstr = "insert into
ToolUsageHis (IdTool, useTime, Operator,
Technician, Inspector, ProductID, BatchID,
pieceCount, bugDetail) values('" + idTool
+ "','" + dateTime + "','" + opName + "','"
+ tecName+ "','" + inspName + "','"
+ prodID + "','" + batchID + "','" + pCount
+ "','" + bugInfo + "')";
        try
        {
            getcon(); //打开与数据库的连接
            SqlCommand SQLcmd = new
SqlCommand(SQLstr, My_con); //创建一个
SqlCommand对象, 用于执行SQL语句
            SQLcmd.ExecuteNonQuery(); // 执行
SQL语句
            SQLcmd.Dispose(); //释放所有空间
```

```

con_close(); // 关闭与数据库的连接
}
catch (System.Exception ex)
{
// 异常处理;
return 0;
}
}

```

3) Web Service的调用

在Microsoft VS2010中, 打开模具管理系统开发项目并执行“添加Web引用”, 调用Service.asmx中的Web方法UpdateUsageHis。

关键代码如下:

//添加代理类命名空间

```

private void updateHis_Click(object
sender,EventArgs e)
{ // 赋值给变量
try
{
Service updateHisService = new
Service(); // 创建代理类实例
NetworkCredential cred = new Netw
orkCredential(" user" ," password" );//访问
WebService所需的身份验证
updateHisService.Credential = cred;
int result = updateHisService.
UpdateUsageHis(...); //调用WebService
//根据返回值执行后续处理
}
catch(Exception ex){//异常处理}
}

```

在其他需要定期调用Web Service的情况下, 可采用Ajax技术, 结合定时器实现页面的局部刷新和数据采集。

4 结论

RFID技术作为物联网的关键技术之一, 具有广阔的应用前景。本文针对目前航空制造业工装模具管理中普遍存在管理效率低、工作量大、只可进行定时静态管理, 导致生产资源管理效率难以提高等问题, 提出以RFID识别技术提升以模具管理为代表的信息系统技术性能和管理水平, 对实现工装管理的动态化、智能化具有积极的探索

意义。本文结合基于RFID技术的固定资产管理系统的研发, 设计并实现了以Web Service技术封装RFID中间件的系统集成应用框架, 该框架充分体现了Web Service的优势, 为RFID硬件系统与现有业务系统的集成提供了参考, 开发的模具管理系统实现了模具信息的动态化与可视化管理, 并使得产品质量可追溯, 提高了管理运作的可见性, 提升了模具管理信息化水平。

参考文献

- [1] K.Finkenzeller. RFID Handbook: Fundamentals and applications in contactless smart cards and identification, Wiley, Chichester. England,2003.
- [2] <http://www.rfidchina.org/news/readinfos-35740-194-1.html>.
- [3] Sanjay E. Sarma, Stephen A.Weis, Daniel W. Engels. RFID Systems, Security& Privacy Implications.
- [4] White Paper. Auto-ID Labs, Massachusetts Institute of Technology,2002.
- [5] 魏登峰. 基于Web Service的RFID信息网络系统的构建[D]. 上海师范大学,2010.
- [6] 赵毅强,曾隽芳. Web Services在RFID系统中的应用概述[J]. 计算机应用研究,2006. Vol.12:1-3.

航空企业博物馆建设与运营模式探讨

■ 杨伟铭 「建筑」

摘要: 分析了国内外企业博物馆的历史发展与运营现状,针对航空企业的特点和老旧建筑改造问题,提出航空企业博物馆的建设模式和可持续发展的运营策略。

关键词: 企业博物馆; 航空企业; 建设模式; 运营模式

企业博物馆的定义最早由英国学者Victor J. Danilov在1992年的《Corporate museum and Exhibit halls》一书中给出的:企业为了自身历史的保存与传达设立的展览场所;并用此提升员工对企业的归属意识并以身为其中一员而感到骄傲;提供访客或客户了解展示企业生产的产品与服务等资讯的展示空间,同时兼具宣传企业的经营理念、产品特点、收藏或产品;为增加影响和舆论对企业技术和生产科技的了解,或为企业所在地的社区居民提供交流及获得文化、教育服务的场所,附带有一定游览功能的设施空间^[1]。

20世纪初期,作为工业革命的诞生地欧洲,制造业空前繁盛,企业主在竞争中确立了很强的品牌意识,在具备一定的生产资料和规模后发展起来的庞大企业,更加需要舆论和更多的社会影响力,为了使大众对企业 and 产品,产生更多的信任和美誉度,以展示自身产品和文化的“企业博物馆”诞生了,直到现在,这些博物馆仍旧在开门待客,这种企业博物馆的建设传统,影响着整个西方的企业和社会各方面。世界各地已建成了较多的企业博物馆,如德国奔驰汽车博物馆、通用汽车博物馆、波音未来飞行博物馆,国内也建

成了青岛啤酒博物馆、海尔博物馆、上海航天科技工业展示馆、沈飞博览园等。

企业博物馆被称为“凝固了的历史”,是一个企业文化和发展历史的缩影^[2]。当今,企业博物馆已经成为现代化企业文化建设的一个标志,中国的场馆建设刚刚进入起步阶段,尤其是航空企业博物馆更是凤毛麟角,对于其建设和运营模式的研究更少,本文通过对国内外著名企业博物馆的研究,探寻一条适合我国航空企业博物馆建设和发展的方法之路。

1 企业博物馆的发展思路

企业定位自己,发掘自身品牌文化和精神价值,自信的展示自己是企业博物馆的核心目标。如果在项目立项前没有很好的展示规划和商业策划,项目往往缺少生命力,只能倚重投资人或投资方的商业目的,变成了一个产品展示厅或变相的销售场所,便失去了企业博物馆的文化意义和社会功能。

一个能够建设和支撑起博物馆的企业,一定会有自己悠久的历史和丰富的企业文化,但是如何通过展现历史和企业文化而让消费者看到未来,这就不是一件简单的事情。丰田汽车博物馆建于1989年,占地46,700m²,收藏的120辆汽车中,涵盖了18世纪末期汽油机车诞生之初到今天

作者简介:杨伟铭,男,工程师,2005年毕业于北方工业大学工业设计系,现就职于中航建发技术研究院。



图1 青岛啤酒博物馆(图片来源于网络)

的所有车型：1886年的德国奔驰、1837年的美国林肯“Zephyr”系列车和凯迪拉克60限量版，丰田还大度地收藏了老对手“本田”的机车和马自达1953年的三轮卡车，当然还有丰田今天风靡北美的科罗拉系列最早的车型。他们把博物志谱写成了“日本车崛起的历史故事”。在二楼的欧美收藏厅和三楼的日本车收藏厅的对比中，使人们逐渐看到日本车在新秀突起的清晰脉络。有人戏称：这里是爱国主义培训基地。

1.1 企业博物应重视老旧建筑

现阶段，我国的企业博物馆建设，没有行业标准，缺乏专业的策划人才，简单地套用博物馆的建设标准或以企业展厅的思路来建设。建成后，在展品收集、运营维护上都出现了许多痼疾，最终制约了这类项目的投资价值，更多的企业博物馆只能转变为内向型、封闭式的传统展厅，无法达到地方性博物馆的展示目的和传达企业文化的目标。

在企业生产、制造技术更新速度加快的过程中，大量老旧建筑在这进程中被淘汰，尤其是以工业厂房建筑为主的航空制造企业，那些无法适应现代生产工艺的厂房被拆除或闲置下来，虽然其生产组织模式已不能适应现有社会发展的节奏，但它对几代人的历史记忆的影响却极其深远，而且其结构也未到使用年限，所以其对城市和企业的文化意义不可忽视。将此类老旧建筑改造为具有商业价值的企业博物馆，已成为改造利用老旧建筑的一种成功做法，譬如青岛博物馆就是很有代表性的例子，该博物馆由1903年建设的青岛啤酒厂厂房改造而来，它的建成不仅为人们走进

青岛啤酒、了解青岛啤酒提供了一个独具魅力的“视角”，更为体验式参观开辟了先河。其工艺流程区域展示的是老建筑物、老设备及车间环境与生产行家，同时在生产流程的每一个代表性部位设置视频设备，介绍青岛啤酒的生产流程及历史沿革。这种体验式的展示形式让观众以一种身临其境、轻松愉悦的方式接受教育，取得了良好的社会效益。它的魅力源于戏剧化的功能置换，具有怀旧意义和吸引力的建筑外观与让人感觉亲和性、现代性的建筑功能的和谐统一(见图1)。

1.2 企业博物馆如何持续运营

企业博物馆的本质首先是企业的博物馆。企业的生存之道首先在于生产，不可能把大量的资金投放到非生产领域，这一特点就决定了它的投入资金是有限的，不可能像很多国有博物馆一样包罗万象，它更多的应该是行业博物馆、特色博物馆。企业博物馆投入资金有限的特点决定了企业博物馆要想持续运营，就需要另谋出路，吸引更多的人参观博物馆，带来门票、商店等服务的收入和潜在的收益，提高企业博物馆本身的资金自由度。

成功的企业博物馆不但能够传播企业文化，增强品牌软实力，而恰当的营销策略也能达到企业创收和博物馆资金供给的良性循环。

可口可乐的老博物馆本身，已是博物馆经营中相对成功的例子了，16年的运营中，他们共吸引了大约1300万左右的参观者。门票收入的不菲从门外排队进入园区参观的人群中就可见一斑。新落成的可口可乐博物馆门票定位在成人15美元，老人13美元，儿童9美元，价格与美国的收费博物馆相差不多，相对于其他的主题公园来说便宜许多。预计新可口可乐博物馆每年的观众将过百万，单计算酒店业，也能为亚特兰大市增加过百万美元的年税收。

新可口可乐新博物馆开业的第二天，广场由原来的乐队表演区域，变成了一个大型可口可乐饮料杯，里面装满了可乐，有人沿着吸管跳下去。所有这些都与第一天完全不同的互动节目都围绕着一个主题——“香草可口可乐”，这一天是香草可口可乐日。在NBA赛事或是奥运会等一些时间范围里，博物馆都要结合相关主题搞自己的活动创意，在不断变化中满足消费者，娱乐消费者。新可口可乐博物馆的这些措施可以保证观众有重复参观的兴趣，在不同时期都举办不同的活



图2 沈飞航空博览园(作者自摄)

动,选择不同的角度与消费者沟通,持续吸引观众。这种理念跟自负盈亏的经营目标息息相关。

在日本的丰田博物馆,情况也很相似,主楼和裙楼展厅的汽车可以进行体验之旅的试驾活动。不过与可口可乐的园内活动全部“免费”相区别,丰田博物馆的门票价格是1000日元(约合10美元),展厅内车辆的试驾,需要另外支付2000~4800日元不等的费用。也因此,可口可乐世界和丰田博物馆成为全球企业博物馆中为数不多可以通过自身收入来自负盈亏的代表。

1.3 向主题公园模式发展

目前国内做的比较好的非传统旅游领域的企业博物馆都积极向工(农)业旅游示范点靠拢,这一趋势说明众多非旅游领域的企业都能从快速发展的旅游业中找到新的增长点。但目前的工(农)业旅游,游客的体验大多停留在简单的观看、触摸、购买层面上,企业希望借此传达的品牌形象无法深入人心,工业旅游变成一次普通的观光^[3]。

企业博物馆不能仅仅为传统文博事业的数量型增长“增砖添瓦”,更要以企业自身发展历史、悠久的厂房建筑、独特的产品展示、优美的工厂环境为基础,以全新的旅游资源观,通过巧妙的创意,成为别具一格的文化旅游吸引物,打造现代旅游产业中全新的休闲旅游产品业态。身兼科普教育、企业宣传、娱乐体验和旅游休闲等多种功能于一身的文化旅游产品——“主题公园式企业博物馆”,应该是企业博物馆的未来的发展趋势。

2 航空企业博物馆建馆思路与运营模式

航空企业博物馆与其它行业不同,不仅因为

航空展品体型巨大,重量较大,也通常因为保密等方面的特殊要求,导致建馆思路与运营模式有较大差别。对于航空企业来说,企业博物馆主要有三种建馆思路,基于不同的建馆思路则采取了不同的运营模式。

2.1 独立建馆

特别是要对社会开放的博物馆,独立选址建设新博物馆是比较有利的一种思路。企业独立建馆有很多优势:(1)可以有固定的场地用于展示行业和企业历史和产品,有足够的室外场地来展示大型航空展品;(2)可以让企业博物馆在功能上独立出来,以社会性思维来运营博物馆,便于举办临时展览,承接社会上的各种活动、会议,扩大博物馆服务的范围,提高博物馆的知名度;(3)可以独立对社会开放而不影响企业正常的办公、工作,正常开放更容易融入和参与到当地博物馆统一体中,在博物馆群体中发挥企业博物馆的作用;(4)博物馆更容易融入社会,便于在企业与社会之间架起一座桥梁,能够为企业承担更多的社会责任和义务。

沈飞航空博览园是由政府支持、企业主办、全面系统介绍中国航空工业发展历程、沈飞历史及产品的企业博物馆,于2001年6月建成,2004年第一批被国家旅游局命名为“工业旅游示范点”(见图2)。沈飞航空博览园的建立有其特殊的原因,沈飞集团1951年创建,历史悠久,产品众多,共研制生产了20多种型号数千架歼击机,被誉为“中国歼击机的摇篮”;先后试制成功了喷气式歼击机、喷气教练机、超音速歼击机、地对空导弹、双倍音速歼击机、高空高速歼击机、超音速歼击教练机、侦察机、空中受油机等,产品线完整,可以说沈飞的历史浓缩了新中国航空工

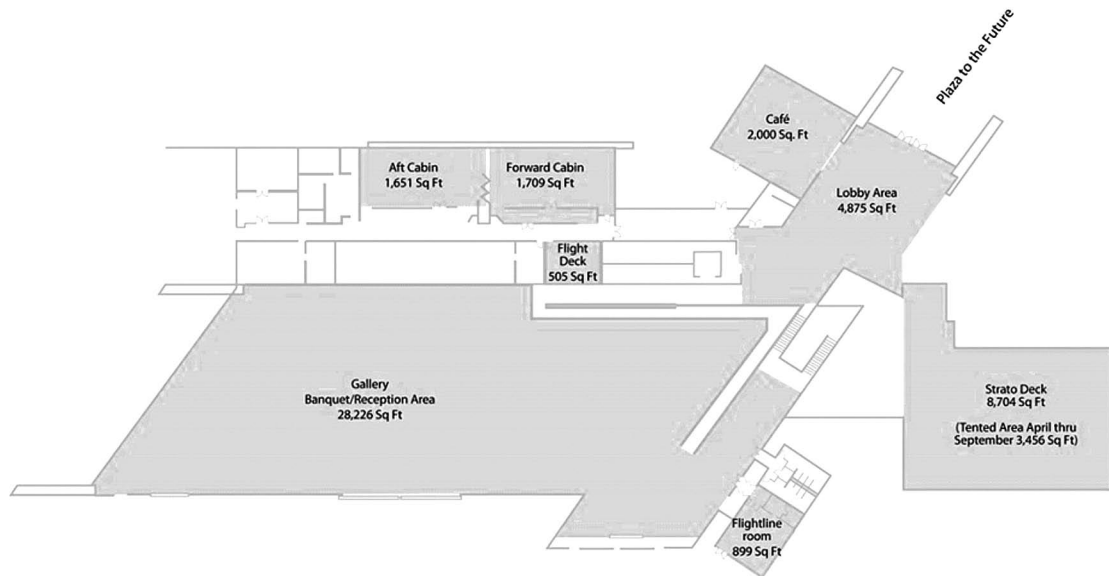


图3 The Future of Flight Aviation Center平面图(图片来源于网络)



图4 航空技术博物馆(图片来源于网络)

业的精华，有开设博览园作为全国性示范教育基地的良好条件。

在运营模式方面，沈飞航空博览园采取了如下几种措施：(1)与沈阳市各大景区、其它相关教育基地如科学宫建立广泛联系，采用多景点通票的方式，吸引更多观众，频率为2次/年左右；(2)与学校建立联系，将沈飞航空博览园作为学生的课外教育基地，吸引学生参观；(3)承接举办社会、集团、公司的各种活动，如“航空百年科普展”、“全国职工行业技能大赛”、“毛主席逝世50周年展”、“市旅游局-科技周启动仪式”等，提高关注度；(4)对于提供免费网站宣传的企业或个人，给予门票返点；(5)对于1.3m以下儿童

和70岁以上老人免费参观。

通过以上多种途径、多种方式的宣传，沈飞航空博览园每年吸引观众4~5万人，观众构成以旅行社团体和学生为主。

另一个独立建馆的案例是波音公司(BOEING)。波音公司是世界上主要的民用和军用飞机生产厂家之一，也是世界上最大的航空制造公司。2005年，波音公司与西雅图地区的有关旅游部门在其埃弗里特(Everett)的商用客机总装厂开展一个新的工业旅游项目：波音之旅(The Future of Flight Aviation Center & Boeing Tour，见图3)。该旅游项目包括参观未来飞行航空中心和参观埃弗里特总装厂的波音-747、波音-777、波音-787总装生产线。

未来飞行航空中心总面积73,000平方英尺，包含28,000平方英尺的航空展示厅的互动展览与展示，9,000平方英尺的屋顶观看平台，250人的会议空间，可为999人的团体准备的特殊事件空间，240座位的剧场，125座位的咖啡厅，以及Future of Flight商店和波音商店。其中的航空技术博物馆以图片、模型、视频、互动体验的方式展示公司的军用、民用产品和大型机体的零件，普及航空知识(见图4)。

除了以工业旅游的方式吸引观众，波音未来飞行博物馆还提供“创新飞行教育计划”——采用科学的流程和身临其境的学习模式吸引在校学生参观展厅，普及航空知识。



图5 洛克希德·马丁游客中心(图片来源于网络)

此外,未来飞行航空中心对外出租室外广场、博物馆屋顶、大堂、航空画廊用作举办婚礼、会议、宴会、酒会、活动等,前舱及船尾舱、飞行甲板、飞行室可用作大小型会议室,以增加收益,减轻博物馆的运营压力。

波音公司早已成为著名的旅游景点,每年约有11万人次各方游客来此参观,航空技术中心几乎全年无休,普通观众门票为90元(15美元)。

2.2 附属展厅

有的企业博物馆附属于企业总部大楼或其它功能建筑内,占有一层或几层空间,多以企业展厅的形式呈现,究其原因,主要有以下几点:其一,企业历史较短,产品较少,或企业产品相对较杂,而缺少有吸引力的展品,展厅规模较小;其二,基于保密要求,产品不能有效展出,以致展示内容较少,展示方式简单,不能充分吸引观众。

西飞展厅作为西飞的一个重要宣传窗口,从半个世纪前西飞的艰苦创业年代到今天集科研、制造、总装、集成、横向产业化为一体的西飞国际时代,全方位展示了几代西飞人的创业奋斗史,也从侧面反映了中国航空工业艰难的发展历史。展厅以图文、模型展示为主,

兼有部分军用、民用产品零配件陈列展示。

在运营模式上,西飞展厅设立开放日,以团队预约和员工携带家属参观的方式对外开放,收取适当的门票,作为地方航空教育的一个窗口。由于其展厅位于某功能建筑的内部一层,深处西飞工厂内部,交通组织、参观流线极其不便,未来展厅规划可考虑规划在工厂外部临近区域,从功能上独立出来,方便参观流线组织和

对外开放,利于企业更好的展示产品及宣扬航空爱国教育。

洛克希德·马丁游客中心(Lockheed Martin Visitors Center)位于一个运营中的飞机制造厂的新建筑内部。该建筑与临近的环境隔开,包含15,000平方英尺的游客中心,同时为公司提供其他的特殊功能的服务。该游客中心以图文、模型、视频展示为主,系统、全面的介绍洛克希德·马丁的产品。

2.3 展馆改造

利用办公楼、厂房等老旧建筑或其他功能



图6 洛克希德·马丁游客中心内部展示(图片来源于网络)



图7 天津中航直升机基地展馆和生产现场工业旅游(图片来源于网络)

建筑改建成企业博物馆,不仅利于企业实现老旧建筑物的改造利用,节省开支,同时老旧建筑物作为航空企业悠久历史的记载,本身也是一种很有纪念意义的文化遗址。随着航空工艺水平的提升,不能满足新工艺要求的建筑面临改造或拆毁的命运,对于那些只能拆毁的老旧建筑,如果能将它们改造成企业展厅,展示企业的文化和产品,更能体现企业悠久的历史,更能引起人们的共鸣。

天津中航直升机基地展馆位于天津市滨海新区,2011年由其他功能建筑改造而成。展馆以图文、视频、高仿真大比例模型、4D影院等方式,展示了我国直升机产业从无到有、由弱趋强的历史脚步。在运营模式上,中航直升机充分发挥地域优势,依托天津空港经济区,融入“空港工业游”平台,开放展馆和生产车间,吸引更多的观众走入企业,了解企业历史,感受企业文化。该工业旅游项目2012年预计接待观众30万人次,其中外地来津游客10万人次。

3 航空企业博物馆建设与运营的具体措施

航空企业博物馆的建设与运营需要先进的规划设计理念,具体措施有:

3.1 建设专门的企业博物馆以收集、展示公司的产品与历史,宣传公司的文化

独立建馆是最合适的建设模式,但应注意功能上的独立性,根据投资额和规模确立合适的建筑面积,设置室外广场和室外展区以举办活动和展示大型航空展品。附属展厅应尽量靠近企业入口,并设置独立、便捷的出入口,避免与建筑内

其它功能流线交叉。

改造展馆在做整修规划时,应注意保存老旧建筑外观、结构的历史韵味,突显其文化价值。老旧建筑与旧产品、老照片的结合可以让观众追忆旧时代的历史与沧桑,老旧建筑与新产品的强烈对比则可以让观众感受科学技术的日新月异。改造展馆尤其适合以时间为序收藏、展示行业/公司的历史和产品。

此外,在建设、改造展馆时,应注重绿色节能措施的应用,打造绿色建筑,不仅有利于改变人们心目中工业企业高污染、高耗能的印象,同时有利于降低展馆运营阶段的成本,减轻企业的经营压力^[4]。

3.2 展示手法多样化,体现航空特色

企业博物馆不仅应有丰富的图文、视频展示,作为航空企业来说,代表尖端科技水平的航空产品更能引起观众的强烈兴趣,应有充足的实物展品、模型充实室内展厅和室外展区。

设计有趣的互动模拟、体验项目。企业博物馆要想吸引足够多的观众,保持一定的回头率,就应该加强和消费者的互动,这种互动体验设施要根据航空特色来设置。根据沈飞航空博览园的调查,其观众构成以学生和团体为主,因此互动体验设施应充分考虑这部分观众的需求,应以有趣、易操作、坚固为主,不会由于难度太大而挫伤观众的积极性和增加排队等候的时间。同时要根据展馆接待规模和观众流量设置一定数量难度较高、操作性较强的体验设施,如模拟飞行、风洞试验、失重体验等,提高观众的兴致,吸引回头客。这部分设施由于操作复杂、易损坏、观众等候时间长等原因,应安排足够的工作人员全程

监护和指导。

3.3 设置充足的室外广场和临时展厅，定期举办丰富多彩的航空主题活动

企业博物馆要想实现自负盈亏，最重要的就是要有充足的观众流量，吸引更多的人参观，所以先进的企业博物馆一定要有这样的弹性区域以便能组织各种活动。

对于航空企业博物馆来说，应结合航空特色来策划、组织主题活动，如航空科普展、模拟飞行大赛、飞机模型展等，方与企业博物馆有机的联系起来，利于企业博物馆的持续健康发展。同时，每年定期举办的同一主题活动，可以逐渐将其固化为企业博物馆的特定项目，打造长期竞争力，随着规模的扩大和人气的提升，逐渐带来盈利能力的增加。

同时，企业可以利用博物馆的空闲时间，出租室外广场、大厅、临时展厅等空间举行会议、活动等。

3.4 设置纪念品商店、4D影院等配套设施，提升航空企业博物馆的盈利能力

琳琅满目的纪念品既是观众意犹未尽的一种留念，又是观众馈赠亲朋好友普及博物馆知名度的一种最有效的营销手段，且是博物馆盈利的一个重要部分。

纪念品设计应充分考虑观众的需求，以航空特色产品如飞机模型为主，质量高，品类丰富，尽量采用平价或低价策略，增加销量和品牌传播效应。通常纪念品商店设置在所有参观流程的最后，可以采用通道式的流线设置，让每位观众都不自觉地深入购物氛围之中，促进消费。

3.5 开放生产车间参观，改善工厂环境

开放一部分厂房，让观众可以看到真实的生产线（或装配线）以及员工实际的操作过程，满足观众对军工企业强烈的好奇心。是在贯彻“军民结合、寓军于民方针”的战略下，越来越多的国际订单撑起了航空企业的民用市场，这部分成果适时、适当的展示出来，可以给社会企业更多的了解军工品质的机会，为军民一体化架起一座沟通的桥梁。

工厂参观应设计独立的参观走廊，最好置于夹层或二层，与生产流线隔离，不影响生产。走廊应设置展板、视频介绍生产工艺、设备、产品等。应着力改善工厂环境，绿色环保的环境建设不仅让员工身心健康，增加员工的工作积极性和

企业自豪感，同时也是工业旅游良好体验的一部分，提高观众对企业的美好印象。

3.6 采取先进的运营模式，并设计不同的参观流线以满足观众需求

在运营模式方面，企业可以引入工业旅游概念，申请成为工业旅游示范点，将企业博物馆与生产车间参观有机的结合起来；加强企业博物馆、旅行社、地方政府之间的互动，带来知名度和观众流量的提升；与景区、科技馆、博物馆等建立广泛联系，采用通票、联票参观的方式，吸引更多观众；与学校建立广泛联系，开展教育计划，将企业博物馆作为学生的课外教育基地，吸引学生定期参观；承办各种活动、会议、展会，提高企业博物馆的社会关注度；加强媒体宣传，等等。

在具体规划中，应设计至少三条不同的参观流线，允许观众选择性地参观。其中，一条流线用于参观企业博物馆，了解企业历史和企业文化；一条流线用于参观生产车间和厂区，了解企业产品和企业实力；还有一条流线可以结合前两条流线的优点引导观众全程参观。流线的设计应注意与生产流线分开，采用独立通道或者在厂区内实行专车接送的方式。

古人云，“以史为镜可以知兴替”，每一个生存、发展数十年甚至上百年的企业，必定有它的生存之道。了解和传承企业历史，保护历史遗存，对于今天企业的发展同样具有重要的借鉴和指导意义，航空企业结合自身优势建设独一无二的企业博物馆，不断收集、展示企业的产品和历史，保持良好的运营和管理，企业博物馆将给航空企业带来文化价值的传承和持久竞争力的提升，促进企业的可持续发展。

参考文献

- [1] 谭相宜. 企业博物馆[J]. 中国企业家, 2007, (9).
- [2] 李磊. 企业博物馆——展示企业文化的魅力[J]. 中文企业文化, 2007(11).
- [3] 李媛, 赵莹. 企业博物馆“主题公园”式生存[N]. 中国经营报, 2007-6-4.
- [4] 史振厚. 浅析中国企业博物馆建设的问题与对策[D]. 河南: 郑州航空工业管理学院工商管理学院, 2009(5).

热压罐循环冷却水系统设计

■ 王涛 杨立红 刘芳 孔庆波 「给排水」

摘要: 本文结合某新建复合材料厂热压罐循环冷却水系统的工程实例,主要介绍了该循环冷却水系统的工艺流程,热压罐的冷却原理,工程设计参数,冷却塔的选型,设备的配置情况等,以及节能控制在该工程中的应用,并总结了设计要点及需注意的问题,其经验可供相关设计人员参考借鉴。

关键词: 航空复合材料; 热压罐; 开式循环冷却水; 冷却塔

1 工程概况

随着我国航空航天科技的快速发展,相关附属产业也迅速发展起来。目前,大尺寸和外形较复杂的航空、航天复合材料构件必需要在大型或超大型热压罐内进行固化,以保证构件的内部质量。因此,热压罐是否正常运行决定了复合材料构件的质量,而冷却水又是热压罐正常运行的关键因素之一^[1]。

某厂在某市经济开发区新建复合材料厂房及配套动力站房,由于本工程厂房与动力站距离较近,对循环冷却水回水影响不大,适合热水泵房与循环水泵房合建,所以本工程循环冷却水系统全部设备均设在动力站内。动力站地下为热水池和热水泵间,地面为冷水箱及冷水泵房,屋面为冷却塔。

热压罐循环冷却水条件如下:

1) 循环水量

厂房内共设有3台热压罐,循环冷却水量分别

为 $154.5\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{台}$ (共2台,其中1台为二期预留)、 $114.5\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{台}$ (共1台),各设备不同时运行。

2) 进出水温度及温差

用水设备设计进水温度为 35°C ,出水温度为 $45\sim 60^\circ\text{C}$,设计时按 55°C 考虑,温差为 20°C 。

3) 设备进、出水压力

设备进水压力为 $0.3\sim 0.6\text{MPa}$;出水压力为泄压出水、重力流回水。

2 工艺流程

热压罐循环冷却水系统,主要以开式冷却塔系统为主。系统主要由热压罐、热水池、热水泵、冷却塔、冷水箱、冷水泵、水处理装置及补水装置组成,工作流程见图1。

2.1 热水池

热压罐为重力流回水,热压罐出水泄压后由回水槽收集,经回水管最终排至热水池。回水管埋地敷设,为防止因回水过急造成回水不畅,回水管按最大流量时非满流设计(充满度通常按 $0.80\sim 0.85$ 计),热水池一般采用地下式;本工程中热水回流管选用管径为 $\text{DN}250$ 的球墨给水铸

作者简介:王涛,男,高级工程师,2007年毕业于天津大学环境工程专业,现就职于中航建发飞机工程设计研究院。

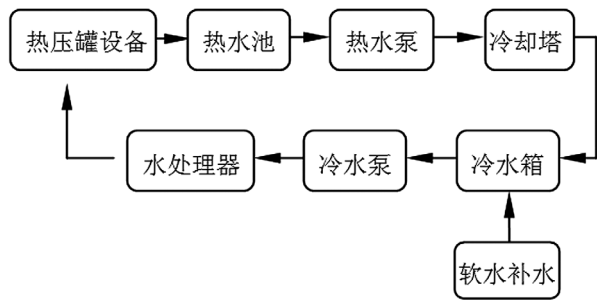


图1 循环冷却水系统工作流程图

铁管，地下热水池有效容积为 150m^3 ，可储存约60min的循环冷却水量。

热水池设置低、高、超高水位信号，低、超高水位设置报警信号，信号均传至值班室或监控室，以便系统运行异常或故障时及时发现。

2.2 热水泵

本系统的热水泵置于动力站地下热水泵间内，热水泵间与热水池贴建。为保证设备不间断运行，热水泵应设有备用泵，热水泵流量按单台热压罐最大用水量设计，扬程按位置差(热水泵吸收管与冷却塔进水管高差与冷却塔进口所需压力之和设计(泵及管道损失另计)；本工程一期共设2台热水泵(1用1备， $Q=150\text{m}^3/\text{h}$ ， $H=24\text{m}$)，并为二期预留1台热水泵的位置。

2.3 冷却塔

热压罐冷却循环水进水温度 $T_1 \leq 35^\circ\text{C}$ ，出水温度 $T_2=45 \sim 60^\circ\text{C}$ ，温升 ΔT 为 $10 \sim 25^\circ\text{C}$ ，一般可按 20°C 考虑。

2.3.1 冷却塔选用

本系统冷却塔置于动力站屋面，共设2台冷却塔，其中1台为二期预留(按当地湿球温度，冷却水量 $Q=160\text{m}^3/\text{h}$ ，每台冷却塔进水管均设有电动阀)。

2.3.2 节能控制

为减少耗能，本工程根据室外气温变化减少冷却塔风机运行时间以达到节能目的。

在每台冷却塔出水管上均设有温度传感器，传感器与冷却塔风机联锁；当冷却塔出水温度小于 25°C 时，关闭冷却塔风机；当冷却塔出水温度大于 30°C ，开启冷却塔风机；在控制室可监控出水

温度及风机运行状态，并可根据当地气象条件和现场运行情况调整风机的启停温度。

2.4 冷水箱

为保证冷水泵正常供水，冷水箱可以提供一定的缓冲容积，冷水箱大小往往受动力站房面积限制，根据设计经验，冷水箱容积可按 $10 \sim 20\text{min}$ 的循环冷却水量设计。本工程冷水箱有效容积为 60m^3 ，约为 25min 系统循环水量(一期)，考虑到二期发展，冷水箱也可储存约 12min 的循环水量。

2.4.1 溢流设置

由于热水泵采用工频运转，而冷水泵采用变频供水，为解决冷水泵变频与热水泵工频运行的流量差问题，冷水箱必须设置溢流管，并接入热水池，以平衡冷热水泵的流量差。溢流管管径可按热水泵流量与冷水泵最小供水量之差选取。本工程冷水箱设有两根DN150的溢流管，以保证系统的正常运行。

2.4.2 补水控制

补水管可设置在冷水箱内，采用电动阀控制，电动阀启闭由冷水箱液位计控制，当水位降至高水位以下 300mm 时开启电动阀进行补水，水位到达高水位时电动阀关闭，停止补水。冷水箱内亦设置低、高、超高水位信号，低、超高水位设置报警信号。

2.5 冷水泵

2.5.1 热压罐冷却原理

热压罐冷却过程由预冷阶段、主冷阶段及风机冷却三个阶段组成，图2为电加热型热压罐冷却原理示意图^[2]。

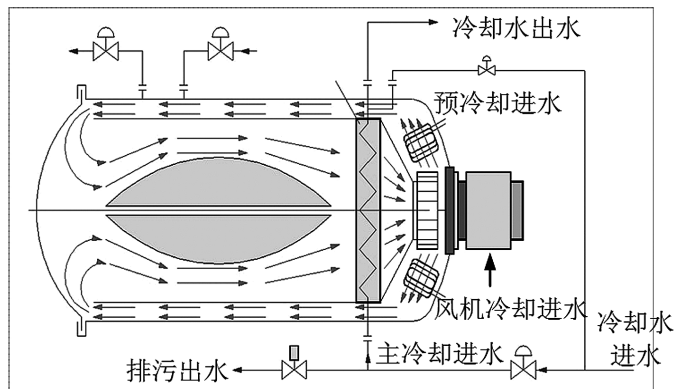


图2 热压罐冷却示意图

由于热压罐工作过程中罐体处于高温状态，在进入降温阶段后首先进行预冷，以避免冷却器各管道因冷热不均产生的应力，从而延长冷却器的使用寿命。预冷阶段结束后，热压罐罐体温度远未达到出罐温度要求，需要进一步的主冷却过程。热压罐的冷却主要在此阶段完成。

热压罐中风机作用是将加热器产生的热空气均匀的分配至整个罐体，使罐体在整个运行过程均处于恒温状态。风机运行过程中电机产生的热量需要通过循环水带走，为保证风机正常运行，风机冷却水在整个生产过程都必须供给。

2.5.2 冷水泵选用

由于水量和供水时间的不同，风机冷却水与热压罐冷却水应分别供应。一般而言，据罐体直径和长度的不同，罐体冷却水用量一般为几十至几百 $\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{台}$ 。风机冷却用水量较小，一般为 $0.5\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{台}$ 。冷水泵均需进行变频控制，通过热压罐自控装置开关调节冷却水进口阀门，冷水泵根据阀门的调节进行变频供水。

按照设计，本工程冷水泵置于地上循环水泵间内，一期设2台热压罐，罐体用冷水泵(1用1备， $Q=145\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{台}$ ， $H=60\text{m}$)，并为二期预留1台冷水泵的位置；另设2台热压罐，电机用冷水泵(1用1备， $Q=1.0\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{台}$ ， $H=60\text{m}$)，各冷水泵组均为一套变频调速恒压变量供水设备。

2.6 水处理装置

本系统为开式系统，为保证循环冷却水的水质，选用物化全程水处理器（设备处理能力 $175\sim 295\text{m}^3/\text{h}$ ）对循环水进行除垢、杀菌、灭藻、过滤处理^[3]。设备自带辅助加药装置和水质监测装置，系统长期运行过程中应定期对水质监测数据进行水质分析，根据近期水质特点，通过设定计量泵启动次数调整药剂的投加量，从而改善整个系统的运行工况，保证循环冷却水系统的正常运行。

2.7 控制方式

热压罐循环冷却水系统可采用以下两种控制方式。

2.7.1 对应控制

系统中的冷却塔、冷水泵、热水泵一一对应，可采用连锁启停的自动控制，也可按下列顺序手动启停。

1) 启动顺序

冷却塔前电动阀→冷水泵→热水泵→冷却塔

风机→热压罐。

2) 停止顺序

热压罐→冷却塔风机→热水泵→冷水泵→塔前电动阀。

此控制方式简单可靠，容易实现。

2.7.2 水位控制

冷却塔、塔前电动阀与热水泵一一对应，连锁启停，启停顺序同上。

热水池设置有低液位、常液位、高液位、超高液位及溢流液位信号。其中，低液位及溢流液位设报警信号。系统初次使用时，热水池水位充至常液位。热水泵靠热水池液位控制启动，高液位启动一台，超高液位启动第二台，冷水泵停泵热水泵连锁停泵。

水位控制方式减少了热水泵运行时间，节约电能，但操作复杂，而且水位波动会造成热水泵频繁启停，减少了热水泵的使用寿命。当热压罐循环水量大，单台泵耗能较大时，可以考虑采用水位控制，以达到节能目的。由于本工程热压罐循环水量不大，采用水位控制节能效果并不明显，所以本工程采用了第一种控制方式。

3 需注意的问题

在本系统的设计中，具体应注意的问题主要有以下几方面：

3.1 变频方式

为节约投资成本，便于日后维护管理等，本系统冷水泵组仅设计一台变频器。为保证生产安全，在有条件的情况下，可为每台冷水泵配一台变频器，从而保证冷却水供水的稳定性。

3.2 冷却塔选型

逆流冷却塔换热效率高，占地面积小，通常优先应用在工业项目上，但与横流冷却塔相比逆流塔噪音较大，飘水率高，进水压力要求高，风机耗能大。由于本工程位于经济开发区，对生产项目的噪声、耗水、耗能都有较高的要求，所以本工程选用了横流冷却塔。

多台冷却塔并联工作时应优先选用组合式，组合式冷却塔不但外形美观，节省空间，而且有利于各冷却塔共用集水盘，避免多塔同时运行时因回水不均造成集水盘溢水。若现场无法选用组合式冷却塔，为防止集水盘溢水，冷却塔集水盘之间应增加连通管，连通管管径至少应比冷却塔

出水管大一级^[4]。

3.3 共用补水装置

除冷却水外,热压罐正常运行需要配套空压机提供压缩空气,本工程空压机冷却采用水冷方式。由于本工程热压罐循环水泵房及空压站房合建于动力站内,热压罐循环水系统和空压机循环水系统补水水质均为软水,因此考虑共用1套软水补水装置(设备选型时应注意要满足各系统最大补水要求),既节省站房面积、减少设备投资又便于设备集中管理。每套系统补水管前设1个电磁阀,当某系统水箱水位降至设定水位时,对应的电磁阀开启对该系统进行补水。

3.4 管材选用

循环冷却水系统供回水管材通常选用焊接钢管或内外热浸镀锌钢管,本系统供水管选用上述管材,而回水管为非满流设计且埋地敷设,所以应选用内外防腐性更好的管材,如球墨给水铸铁管、钢丝网骨架给水管等。复合材料生产厂房的地面荷载通常较一般厂房大,建议回水管优先选用强度更高,抗压性能更好的球墨给水铸铁管。

3.5 防冻措施

由于本系统为生产设备供给循环冷却水,一年四季都要使用,因此在冬季有冰冻的地区,要考虑敷设在室外管线及冷却塔的冰冻问题。

主要防冻措施有:在室外冷却塔进、出水管(特别注意冷却塔底出水口处)上设电热带,以保证冬季管道防冻;以东北地区工程为例,通常采用发热量为60W/m的电热带,缠绕比例为1:2,外层包裹30mm厚的橡塑保温。在冷却塔集水盘底部设置加热装置,以防止冬季集水盘内冰冻影响使用,通常加热器功率可选用3~4kW/台。另外,在极端天气条件下冷却塔进风口处设热水淋水管装置,以减少冬季进风百叶结冰现象;同时,在系统最低处应设有放空装置,以便在设备故障检修或冬季长时间停止运行时,及时放空冷却塔及进水管内的余水。

4 结论

综上所述,热压罐循环冷却水系统的设计应遵循如下原则:

(1)根据热压罐的工作原理和对循环冷却水水量和水质的特殊要求,应优先选用配有热水池和冷水箱的开式循环冷却水系统,该系统既能满足

热压罐正常工作,又达到了节水节能的目的;

(2)热压罐从其冷却水用途来区分,可分为罐体冷却用水和风机冷却用水,由于水量和供水时间的不同,风机冷却水与热压罐冷却水应分别供应,冷水泵需采用变频控制方式;

(3)热压罐循环冷却水控制系统可采用对应控制和水位控制两种方式,应根据项目具体情况选取合理的控制方式,从而达到节能的目的。

参考文献

- [1] 郝建伟. 先进复合材料主要制造工艺和专用设备. 航空制造技术,2008(10).
- [2] 陈洁如. 热压罐循环冷却水系统工业余热利用. 给水排水,2010(09).
- [3] GB 50050-2007 工业循环冷却水处理设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2008.
- [4] GB 50015-2005 建筑给水排水设计规范(2009年版)[S]. 北京:中国计划出版社,2010.

乌兰察布博物馆空调设计

■ 高阳洋 「暖通」

摘要: 介绍了该工程空调系统的设计。根据各区域不同的使用要求,文物库和临展厅空调冷源采用风冷热泵机组,文物库和临展厅以外区域采用水冷机组。空调热源保证全年供应。根据室内不同的温湿度要求,文物库和展厅采用四管制恒温恒湿空调,其他区域采用两管制舒适性空调。

关键词: 博物馆; 冷热源; 文物库房; 展厅

1 工程概况

乌兰察布博物馆(见图1)位于内蒙古自治区乌兰察布市新区中心,建筑面积30,670m²,地上三层,局部设地下管廊,建筑高度为23.9m。主要功能为展厅、文物库房、办公用房及各类设备用房等。

2 设计计算参数的确定

文物库房为全封闭内区空间,为保证其恒温恒湿的室内环境,需要对温湿度的精度进行控制。

文物展厅室内设计参数不仅要保证文物安全,也要兼顾参观者舒适感的要求,同时也影响着博物馆的运行能耗。展厅与文物库不同,是开放的空间,参观人员的数量有随机性,对室内环境的温湿度影响很大,因此本设计对展厅空调的温湿度未进行精度控制。对于有特殊要求的文物可采用带恒温恒湿功能的

展柜方式展出。这种设计参数的确定从根本上减少了空调的运行能耗。各主要房间室内空气设计参数详见表1,室外空气设计参数详见表2。

3 冷热源

3.1 本工程冷热源特点及冷热负荷分布

所有展厅、文物库房均按工艺性空调系统要求设计。其中临时展厅因其空调运行时间和展品类别的不确定性,本工程将临时展厅和文物库房的冷源与其他展厅区域分开设置,以便对各空调



图1 乌兰察布博物馆鸟瞰图

作者简介:高阳洋,女,高级工程师,2007年毕业于哈尔滨工程大学暖通专业,现就职于中航建发建筑设计研究院。

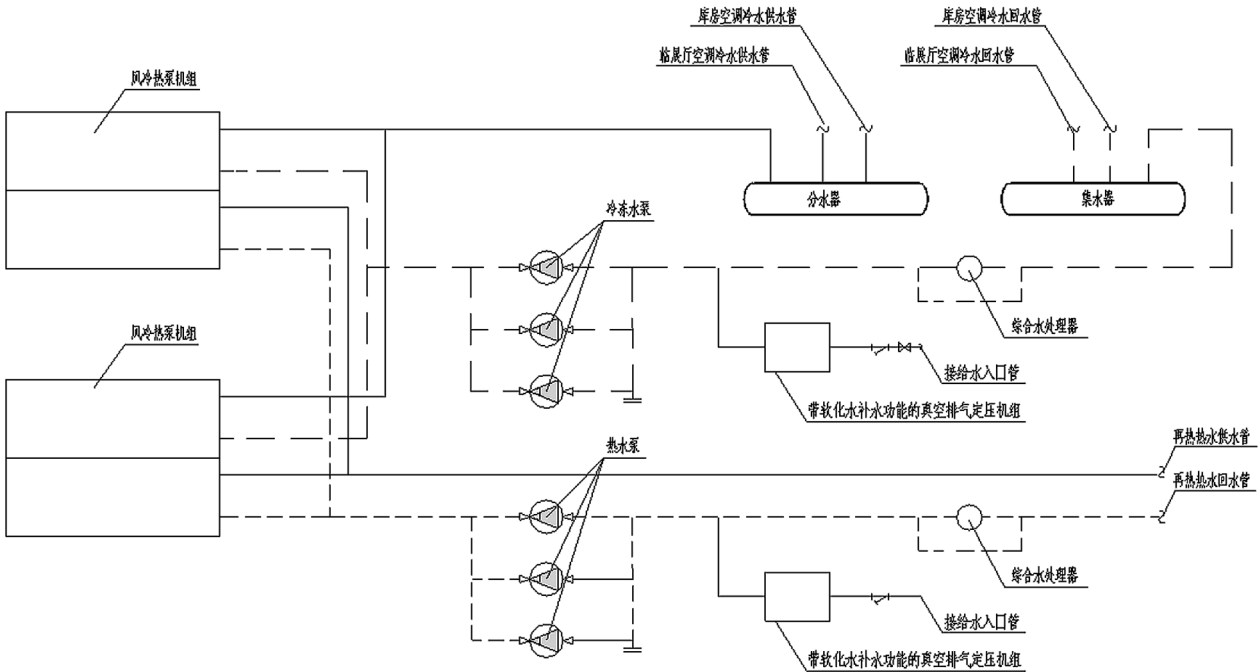


图2 热回收型风冷热泵机组冷热水系统原理图

表1 室内空气设计参数

房间名称	夏季		冬季		新风量 (m ³ /(人·h))	A声级噪声/dB(A)
	温度/℃	相对湿度/%	温度/℃	相对湿度/%		
博物馆文物库	22±2	50±10	22±2	50±10	送风量10%	≤45
美术馆文物库	22±2	55±10	22±2	55±10	送风量10%	≤45
文物展厅	25~27	45~60	20~22	35~50	≥20	≤45
办公室、会议室	26~28	≤65	18~20	≥30	30	≤45
学术报告厅	26~28	≤65	16~20	≥30	20	≤40
公共休息厅	26~28	≤65	16~18	≥30	10	≤45

表2 室外空气设计参数

	夏季	冬季
空调室外计算干球温度/℃	28.2	-21.9
空调室外计算湿球温度/℃	18.9	—
空调室外计算日平均温度/℃	22.9	—
采暖室外计算温度/℃	—	-18.9
通风室外计算温度/℃	23.8	-13.0
平均风速/(m/s)	2.4	3.0
大气压力/hpa	853.7	860.2

区域灵活调节。其它办公室、大厅等区域按舒适性空调系统设计。

乌兰察布属严寒地区，夏季冷负荷相对较小，可根据室外温度调节新风比，实现空调节能

运行。冬季热负荷相对较大，采暖系统按照不同使用区域分别采用集中空调、散热器及地板辐射的供暖方式。冬季空调机组需要预热负荷和二次加热负荷，夏季工艺性空调机组需要再热负荷。

根据室内设计参数计算集中空调、采暖系统冷热负荷，结果见表3。

3.2 空调冷源

文物库房和临展厅区域空调冷源采用设置于19.5m屋面的2台热回收型风冷热泵机组，单台制冷量为427KW，冷媒工质为R134a，冷冻水进出口温度为12/7℃；文物库房和临展厅以外区域空调冷源采用2台水冷螺杆式冷水机组，单台制冷量为1213KW，冷媒工质为R134a，冷冻水进出口温度为12/7℃。空调系统原理图见图2和图3。

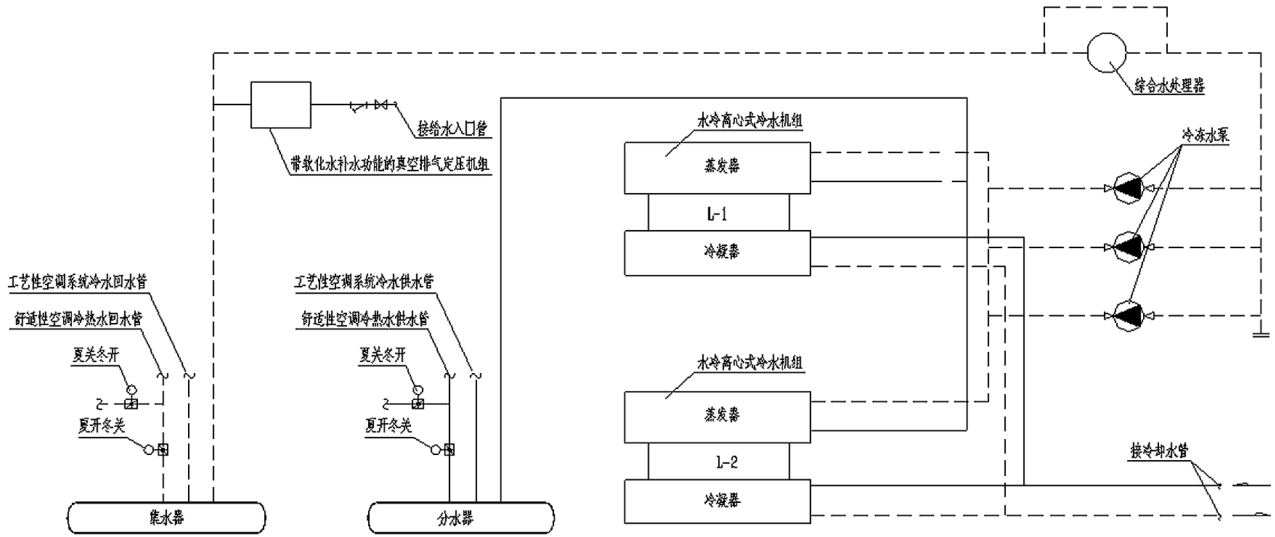


图3 水冷机组空调冷冻水系统原理图

表3 空调、采暖系统冷热负荷

水温 系统	75~50℃ 二次热水		60~50℃ 二次热水		45~40℃ 再热热水		7~12℃冷冻水 (水冷机组)		7~12℃冷冻水 (风冷机组)	
	负荷/ kW	面积指标/ (W/m ²)	负荷/ kW	面积指标/ (W/m ²)	负荷/ kW	面积指标/ (W/m ²)	负荷/ kW	面积指标/ (W/m ²)	负荷/ kW	面积指标/ (W/m ²)
冬季散热器采暖	500	17								
地板辐射采暖			400	13						
冬季空调新风预热	1100	36								
冬季空调二次加热			2000	66						
文物库、临展厅夏季空调降温									750	25
库区、临展厅区域外夏季空调降温							2400	79		
库区、临展厅区域夏季再热					1100	36				

两套系统的冷冻水泵均设置于动力站内，冷冻水系统为一次泵闭式循环系统，一次泵台数与冷水机组一一对应，供回水干管设置压差旁通机构配合系统末端变流量运行。两套系统内部阻力损失均为0.3MPa。冷水系统采用带软化水补水功能的真空排气定压机组对系统定压补水。

3.3 空调热源

空调、采暖用热水采用市政热力管网间接供热，一次热水引自市政外网，设计温度为95/70℃，工作压力为1.6MPa。

来自外网的95/70℃一次热水经HR-1板式换热机组产出60/50℃热水供工艺性空调系统冬季再热、舒适性空调系统冬季供热、风机盘管加热、地板采暖系统使用，系统内部最大阻力损失0.25MPa，采用一台带软化水补水功能的真空排气定压机组对系统定压补水；一次热水经HR-2板式换热机组产出75/50℃热水供组合式空调机组预热及散热器采暖系统使用，系统内部最大阻力损失0.25MPa，采用一台带软化水补水功能的真空排气定压机组对系统定压补水。两套板式换热机

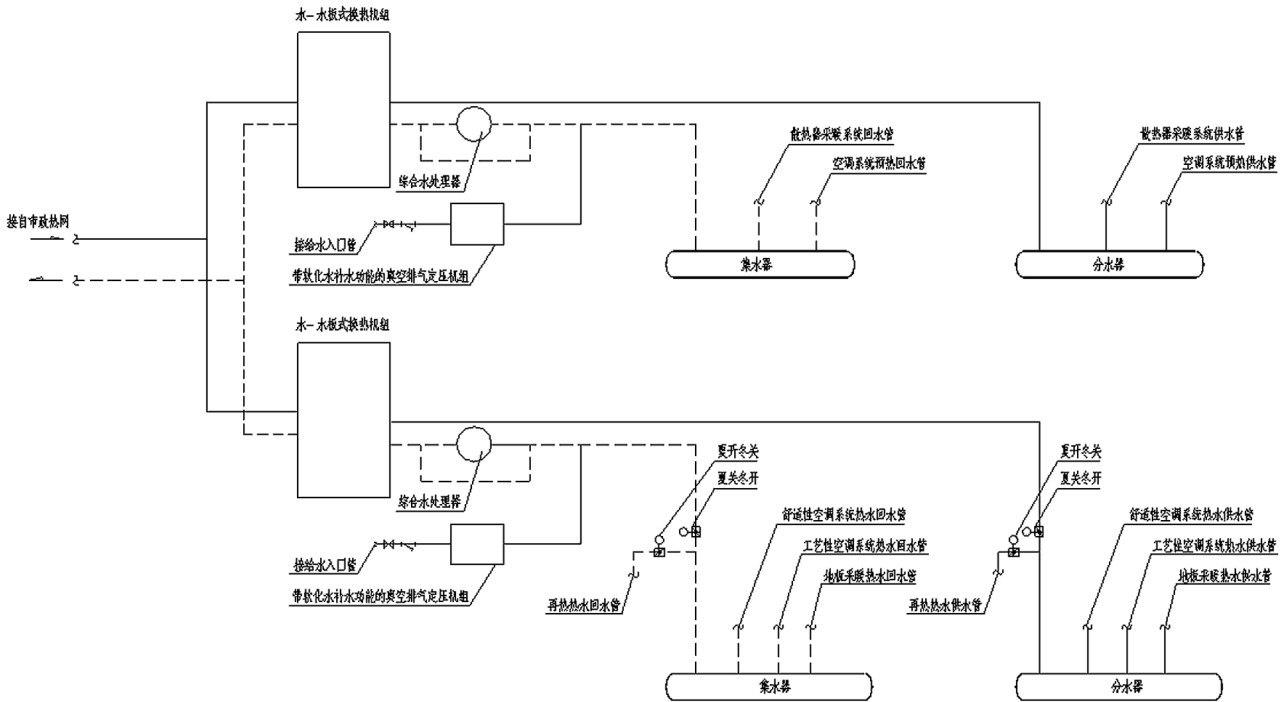


图4 供暖、空调热水系统原理图

组各采用2台板换及相对应的热水泵，热水泵为变频泵。供暖、空调热水系统原理图见图4。

因展厅和文物库房的空调机组夏季有再热需求，而市政热网在夏季不能提供热水，因此需要使用由设置于19.5m高屋面的热回收型风冷热泵机组提供的45~40℃热水作为再热热源；冬季空调机组使用75/50℃热水为空调机组预热，使用60/50℃热水为空调机组再热。冬季到来前，将夏季再热系统室外管道放空，防止室外管道冻裂。同时将再热系统切换至市政热网运行。

热水泵设置于动力站内，热水系统为一次泵封闭式循环系统，一次泵台数与机组一一对应，供回水干管设置压差旁通机构配合系统末端变流量运行。系统采用带软化水补水功能的真空排气定压机组对系统定压补水。

4 空调系统设计

4.1 空调末端水系统

空调负荷侧末端水系统按工艺要求设计为两类：所有展厅、文物库房设计为工艺性空调，采用四管制系统。空调机组采用电热加湿器进行蒸汽加湿，加湿器的补水为软化水，电热加湿器自带控制柜、加湿管、电磁阀等，具备自除垢功

能。其他办公室、大厅等均设计为舒适性空调，采用两管制系统。

空调机组采用湿膜加湿，加湿器的补水为自来水，湿膜加湿器自带控制柜和电磁阀。在动力站内的集、分水器处通过阀门切换保证工艺性空调与舒适性空调可靠用冷、用热。组合式空调机组预热段采用电动二通阀，开关控制；表冷段、加热段采用电动二通调节阀；风机盘管采用电动二通阀，变流量运行。各支路回水干管设置静态平衡阀，保证各支路设计水量平衡。

4.2 空调风系统

文物库和展厅区域采用四管制双风机全空气系统。新风与回风混合后经初效、中效过滤、表冷、加热、蒸汽加湿、电加热处理后送入库房或展厅，气流组织为上送风下回风。

公共大厅、报告厅、文物修复室等采用两管制双风机全空气系统。新回与风混合后经初效、中效过滤、表冷(加热)、湿膜加湿处理后送入使用房间，气流组织为上送风下回风。

主入口大厅高达17m，为高大空间，采用分层空调系统。在人员活动区上方的夹壁墙上设球形喷口送风，下部侧回风，大厅顶部设机械排风系统，排除上部闷热空气。

办公室、会议室、贵宾厅及其他辅助用房采

用新风加风机盘管系统。除贵宾厅外新风机组选用板式全热回收型机组，贵宾厅选用冷凝排风全新风空调机，自带冷源。

美术馆创作室、变配电站以及消防值班室、安防值班室、报告厅控制室、弱电间等弱电用房均设计了独立的多联分体空调系统降温，数据机房及通信机房设计了恒温恒湿机组满足使用要求。所有房间均设置了板式全热回收机组，满足房间通风换气要求。

设计中由于工艺条件未完全确定，熏蒸室设计为排风同时补风系统。室内排风的同时，新风经初、中效过滤、表冷(加热)、加湿处理后送入室内，保证熏蒸后气体直接排出。熏蒸、修复后排出气体按无毒设计。

5 采暖系统设计

为保证舒适度及美观性要求，入口大厅、门厅通高处设计了低温地板辐射采暖系统，供回水温度为60/50℃。由于本建筑地板辐射采暖为大空间区域，因此温度控制方式采用在每个集水器干管上集中设置恒温控制阀，根据房间温控器控制室内温度。

除展厅、文物库、地下管廊及个别内区房间和设置地板辐射采暖系统的区域外，其他区域均设计了上供下回垂直双管散热器采暖系统。除电气专用房间及楼梯间外，每组散热器均设置恒温控制阀。电气专用房间采用光面管散热器，其他房间均选用钢管四柱型散热器。

6 通风系统设计

(1)各设备用房、文物库气瓶间、电梯机房、卫生间等房间均设计了平时通风系统。

(2)动力站房设计了平时排风、事故排风和消防排烟系统，各系统共用风管。事故排风与平时排风系统共用风机，风机选为双速型，平时低速运行，事故时高速运行。同时设置平时排风及消防排烟补风机，补风机风量不小于排烟量50%。

(3)储油间设计了防爆排风系统，排风口设置于房间上部及下部。

(4)地下管廊设计了进、排风系统。进入管廊前需开启排风机，同时开启进风机，待管廊内空气品质符合人体要求后，方可进入管廊。

(5)入口大厅设计了高空排热系统。根据季节变化开启不同台数风机达到通风换气要求。

(6)文物库区库房及走道、变电所和数据机房设计了灾后排风系统，排风口设置于房间下部。

7 防火及防排烟系统设计

(1)不符合自然排烟条件的防烟楼梯间、消防电梯间前室或合用前室分别设计机械加压系统，各系统均设有泄压装置。

(2)不具备自然排烟条件的地上展厅、美术馆创作室、临展门厅等房间设计了机械排烟及相应的补风系统。

(3)中庭的联通性复杂，通过合理设置挡烟垂壁，设计机械排烟及相应的补风系统。

(4)主入口大厅高达17m，属于高大空间，在吊顶内设置的防火阀带自动复位装置。

8 自动控制系统设计

本工程空调、通风自动控制系统采用直接数字DDC控制系统，由中央电脑等终端设备、传感器、执行器等组成。控制系统软件功能包括：设备优化启停、台数控制、各控制点状态显示、动态图形显示等。除少数就地使用的风机、卫生间排气扇、分体空调器等以外，其他设备可以在中控室进行远距离启停。

展厅、文物库房等工艺性空调的控制内容包括：冷热水供回水温度的监测与控制；空调风系统的空气温湿度的监测与控制；电动风阀和冷热水调节阀的开度控制；风机运行状态的监测；水盘管的防冻保护；过滤器的超压报警；对应送、排风机的连锁启停等。

工艺性空调机组的温度控制是根据室温通过电动调节阀控制进入表冷器的冷冻水量和进入加热器的热水流量来实现。湿度控制的依据是室内相对湿度，工艺性空调机组采用电热加湿器进行蒸汽加湿，电热加湿器自带电磁阀和控制柜，根据室内相对湿度控制阀门开关，满足使用要求。温湿度传感器设置在被控房间内有代表性的区域。夏季工艺空调需再热，根据室内相对湿度控制热水调节阀的开度，室内相对湿度增加，热水调节阀开度增加。新风机组的温湿度控制同空调机组，但温度传感器设置在送风管中，湿度传感

器仍设置在典型的被控房间。

制冷站设置机房群控系统,通过计算机集中控制实现最大限度的节约能源和运行费用,群控系统预留远程控制接口,可接入BA远程监控。

报告厅等人员密集场所设置室内空气质量CO₂浓度监测,连锁新风阀自动调节新风量。

风机盘管配带温度显示的三速开关的温控器,根据设定的室内温度,调节电动二通阀的启闭。温控器应具有防冻功能,要求盘管的风机停运时,温度低于5℃时能自动开启二通阀,高于10℃时关闭。风机盘管可分区域和楼层集中控制电源启停。

独立冷热源的空调系统自带控制系统,预留BA接口,实现远程监控,分体空调除外。

9 本工程设计特点

本工程空调系统设计有以下特点:

(1)根据主管部门和甲方的特殊要求,冷、热量按照使用单位分别计量,公共区域按面积分摊。由于本建筑由博物馆和美术馆两家单位联合使用,除了动力站内冷、热源总管设置计量表外,水系统按照博物馆、美术馆划分系统,并在分系统供、回水干管处设置计量表,按不同区域分别计量。空调冷、热水系统均设置可远传冷、热计量装置,根据业主要求独立使用的楼层区域设置可远传冷热计量表。

(2)空调负荷侧末端水系统按工艺要求设计为两类:所有展厅、文物库房设计为工艺性空调,采用四管制系统;其他办公室、大厅等均设计为舒适性空调,采用两管制系统。而工艺性空调的冷源又根据使用要求分别设置,使各区域空调运行调节更加灵活:文物库房和临展厅区域空调冷源采用2台热回收型风冷热泵机组,冷冻水进出口温度为12/7℃;文物库房和临展厅以外区域空调冷源采用2台水冷螺杆式冷水机组,冷冻水进出口温度为12/7℃。

(3)由于本建筑冷热源系统及空调负荷侧末端水系统的复杂性,加之分区域热计量的要求,使空调水管在动力站房附近最为密集,最多处达27根水管,因此,经与建筑专业协商后,增加局部地下管廊,最终妥善地解决了管线对吊顶高度的制约问题。

(4)主入口大厅顶部为三角断面形式的空间钢

桁架屋顶结构,为保证建筑空间的完整性,在人员活动区上方的夹壁墙上设球形喷口送风。支风管采用多组圆形风管,可以有效利用三角桁架形成的有限空间。

(5)中庭排烟是本建筑设计中一个难点。本建筑中庭的联通性复杂,与建筑专业协商合理设置挡烟垂壁,设计机械排烟及相应的补风系统。

(6)主入口大厅高达17m,夏季采用分层空调系统,有效减少能量损失。空调双风机系统的设计,可以实现过渡季节全新风运行,避免或少开主机;冬季采用地板辐射采暖系统,采暖耗热量可减少10%,且舒适度较高。

(7)办公室、会议室等按内、外区分别设置新风热回收机组,满足使用要求的同时能有效降低空调能耗。

(8)采用带软化水补水功能的真空排气定压机组对系统定压和补水。这套系统能精确控制系统压力,并彻底排除循环水及补充水中的气体,并且将原来分散的软化、补水、定压、排气设备集成于一体,使得机房的布置更灵活。

10 结论

通过本文论述,可得出以下结论:

(1)结合当地市政热网的实际情况和博物馆建筑特有的工艺要求,合理选择冷、热源形式、空调末端水系统的形式以及末端机组的空气处理方式,以便充分保证各区域不同的环境要求;

(2)根据工艺要求,选择合理的加湿方式以及加湿用补水的来源;

(3)与建筑专业配合,合理选取机房位置和大小,通过夹壁墙布置空调风管及风口,尽可能保证博物馆、美术馆展厅的建筑空间,使今后布展更加灵活。

参考文献

- [1] 华东建筑设计院. JGJ 66-91 博物馆建筑设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1991.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50736-2012 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.

《航空工程建设》2013年第1-4期文章索引

2013年第1期 总第107期 目录

- 02 锚杆施工过程中常遇到的问题及对策 马永琪
- 06 北京地区暴雨工况下土钉墙破坏模式分析 李建光
- 10 基于Plant Simulation的航空综合机加厂房布局仿真研究
张超 李慧 田恺
- 18 民用机场航空业务量预测的探讨 王锋刚 王勇传
- 23 高大洁净厂房分层净化CFD模拟与节能性分析 董秀芳 肖武 赵彬
- 30 中外航空发动机产业合作的制约因素与对策研究 张波
- 36 基于成本的飞机总装模式选择模型研究 曹珺雯 王明珠
- 41 北京市新机场与航空都市区未来发展规划研究——以北京新航城为例
胡赵征 李守旭 郭璟坤
- 49 索穹顶整体张拉成型模型试验研究
葛家琪 张国军 王树 张曼生 张奇铭 黄季阳 刘鑫刚
- 58 卢旺达基加利会展中心大跨度单层网壳结构设计
裴永忠 林涛 汤红军 李晶 朱丹

2013年第2期 总第108期 目录

- 02 肩负勘察设计行业的历史责任 投身第三次工业革命与新型城镇化融合发展的伟大实践 廉大为
- 05 碳排放交易现状及其在中航工业的发展展望 李金芝 王明珠
- 11 非均布CFG桩复合地基基床系数计算方法 李建光 刘焕存 王祖平
- 17 利用TBC软件进行GNSS控制网静态数据处理 王鹤 沈京湘 曾前
- 21 工业制造与工业建筑设计中工业精神的分析与探讨 陈海风
- 24 水泥土搅拌法在近海地区机库地坪中的应用 林伟 鄂颖男 赵伯友
- 29 飞机库消防系统部分设计参数的分析确定 刘芳 彭吉兴
- 36 基于EXCEL功能的工程总承包项目成本分析体系研究 王玉平 李锐娟
- 42 航空飞行器静力试验室设计 杨丽
- 46 楼梯间不同做法对框架结构的抗震性能影响 景辉 金来建
- 59 水源热泵在绿色三星建筑中关村科技展示中心的应用 孟凡兵

2013年第3期 总第109期 目录

- 02 山岭隧道施工阶段围岩动态分级研究 马超锋 王笃礼
- 11 加筋土挡墙稳定性计算研究 王 璐 马宏剑 张靖杰
- 16 生物制药企业自动化与信息化发展模式探究 聂 晶 刘景灏
- 19 空调系统应用变频技术若干误区的探讨 乐有奋
- 24 冷却塔供冷技术在实际项目中的应用 赵 磊
- 28 智能建筑电气控制节能与成本控制 陈寅生
- 31 EPC承包商费用控制优化研究 王 旭
- 36 北美航空工业发展概况与新动态 张 波
- 42 探索新型城镇化背景下的航空城规划——以珠海航空产业园规划为例
李 辉 胡赵征 李守旭
- 48 中国商飞制造工程技术大楼结构设计
樊钦鑫 景 辉 贾 洁 吕敬辉 王德刚 王亚曼 陈丽颖
- 57 中关村国家自主创新展示中心折线形布索预应力钢桁架结构设计研究
黄季阳 聂 悦 王 树 张国军 葛家琪 沈 斌

2013年第4期 总第110期 目录

- 02 围护墙-支护桩复合结构在基坑的应用 张怀文 尹一鸣 谢荣昌
- 07 地铁盾构施工中地表沉降分析及控制措施研究 王丽娜 刘志强
- 12 高速切削加工技术在航空制造业模具加工中的应用 周成中
- 17 地铁所致成都博物馆振动全过程性能化研究 葛家琪 张 玲 马伯涛
- 26 LED光衰分析 陈寅生
- 30 论空气炉炉温均匀性 蒋焕祥
- 36 生物医药园区平台建设研究 曹雁林
- 42 基于RFID技术的模具管理系统研究 张 超
- 48 航空企业博物馆建设与运营模式探讨 杨伟铭
- 55 热压罐循环冷却水系统设计 王 涛 杨立红 刘 芳 孔庆波
- 59 乌兰察布博物馆空调设计 高阳洋

2013年第4期（总第110期）
2013年12月出版
准印证号：京内资准字9913-L0337号



山西省科技馆