

航空工程建设

AERO-INDUSTRY ENGINEERING CONSTRUCTION

2015年第2期 总第118期



主管单位 中国航空工业集团公司
业务指导 中国航空工业建设协会
编印单位 中国航空规划建设发展有限公司

内部资料 免费交流

无锡硕放国际机场

总建筑面积：90960平方米

占地面积：170600平方米

无锡硕放国际机场作为军民合用机场，航站区二期扩建有一定的局限性。项目位置在现有航站楼东北侧。陆侧指廊与现有货运库相邻，地势平坦，空侧为站坪。航站楼陆侧设高架车道，车道外侧为停车场以及绿化。新建航站楼流程为二层前列式。

1. 航站楼的造型定位思考

设计对无锡硕放机场扩建航站楼的构思正是构筑在对江南地方气质和文脉的全面考察提取以及对时代特征的把握，结合航站楼功能性要求，将莲花的品质——出淤泥而不染、濯清涟而不妖，寓于航站楼设计之中最终形成优雅、干净、清新的建筑形象。

2. 航站楼造型分析

所有这些关于设计理念的分析，最终得到我们的航站楼造型设计方案：提取无锡的文化、地势、建筑特征等典型因素，寓其本质于航站楼一系列的屋顶曲线。高架桥上流畅的拱形结构构件横跨在车道边两侧，像连续盛开的莲花形状，隐喻无锡经济和文化的“硕放”，不仅给人以良好识别的归属感，也增强了主立面的层次感。

3. 建筑材料与新技术

在所用建筑材料和装饰上，新建航站楼尽可能选用代表地方特点的装饰材料，运用当代最新建筑技术成果，体现现代航空港建筑的时代特性。室外造型在屋顶采用白色金属屋面和灰色金属屋面相结合的形式，勾勒出一个个洁白的“莲花瓣”，在到达层基座部分，采用轻盈的玻璃幕墙作为外墙材料，在出发层采用极具地方特色的大理石板材，透过灯光显露当地石材的自然纹理，轻盈的玻璃幕墙及飘逸洁白的曲面屋顶共同形成强烈的虚实对比——轻灵空透的建筑形象。航站楼内部的装饰力求展现江南园林的地方传统，将内部装饰整体设计进行文化创意再加工，使航站楼成为极具江南特色。

4. 与老航站楼的呼应

新建航站楼充分考虑和老航站楼的关系。基于原有航站楼的肌理，稍加变革和创新，采用对比映衬、“和谐共生”的方法突出新建航站楼的主体地位以及和老航站楼的呼应关系。



协会召开第四届第九次常务理事会



2015年4月13日，中国航空工业建设协会第四届第九次常务理事会在北京召开。中航工业集团公司副总经济师兼战略与资本部部长李平，集团公司战略与资本部条件建设办公室主任常洪亮，以及来自各地常务理事单位的领导及代表共40余人出席了会议。协会常务副理事长、中航工业规划建设发展有限公司总经理廉大为主持了会议。

本次会议主要围绕着第四届理事会换届筹备工作进行审议和讨论，会议共进行了六项议程：听取并审议了张忠良秘书长代表协会做的《中国航空工业建设协会关于第五届理事会换届改选工作安排》的报告；审议通过了李平理事长关于《第四届理事会工作报告》；廉大为常务副理事长代表理事会宣读了《理事会成员推荐原则》，并审议通过了理事会成员单位名单；审议通过了《中国航空工业建设协会章程》修

改草案；审议通过了协会造价专业委员会主要负责人名单。

会上，李平代表集团公司主管部门对协会在中航工业投资建设领域所做的工作表示认可；希望各单位在投资建设领域、新设备的引进方面，深化研究落实，充分利用协会这个平台多做技术经验的交流沟通。常洪亮就协会专家库在建设、管理、应用、拓展等方面提出了新要求。张忠良秘书长就协会的培训工作、提升《航空工程建设》的作用，加强管理经验的分享以及会费的缴纳等方面进行了沟通交流。

与会代表踊跃发言，大家关注的重点在于如何充分利用协会这个平台，在广义的投资建设领域，多做新技术、高端设备与工业信息化的关系等方面的培训交流。会议取得了良好的效果，并在热烈的氛围中圆满结束！

住房城乡建设部：4月起开展全国工程质量治理监督执法检查

近日，住房城乡建设部决定4月~11月在全国范围开展工程质量治理两年行动监督执法检查工作，检查对象包括住宅工程和公共建筑工程，将采取“扫马路”方式和从项目清单中随机抽选方式确定受检工程。

此次检查主要包括以下5方面内容：一是各地贯彻落实工程质量治理两年行动工作部署情况，落实五方主体项目负责人质量终身责任制情况，打击建筑施工转包违法分包行为情况。二是各地贯彻落实国家工程质量安全法律法规和规范性文件的情况，开展工程质量安全监督执法检查情况，工程质量安全事故、质量问题及安全隐患查处情况等。三是工程项目质量安全保证体系建立情况以及工程实体质量安全情况，重点检查施工企业对项目质量安全管理情况、地基基础和主体结构实体质量情况、模板支架和起重机械等安全管理情况。四是建设、施工、监理、质量检测等有关单位，项目经理和总监理工程师等执业人员，执行有关法律法规和工程建设强制性标准的情况。五是项目是否有转包、挂靠、违法分包和违法发包等建筑市场违法行为。

2月全国工程质量终身责任制落实情况通报显示 近九成工程设立永久性标牌

住房城乡建设部办公厅日前通报的2015年2月份全国工程质量终身责任制落实情况显示，在全国新办理质量监督手续的工程中，96.18%签署了法定代表人授权书、工程质量终身责任承诺书；在全国新办理竣工验收备案的工程中，88.69%设立了永久性标牌。

从各地上报情况看，仍有部分地区工程质量终身责任制落实效果差，新建工程“两书一牌”制度覆盖率不高，监督执法检查力度不够，不少地区还存在重检查、轻处罚现象。此外，在报表上报过程中，上报不及时、数据统计口径不一致等问题较为突出。为此，通报要求各地按照工程质量治理两年行动和《建筑工程五方责任主体项目负责人质量终身责任追究暂行办法》有关要求，严格贯彻落实工程质量终身责任制。

住建部安监总局：新建住宅二层以上不得用玻璃幕墙

住房城乡建设部和国家安全监管总局要求各地、各有关部门在工程规划、设计、施工及既有玻璃幕墙使用、维护、管理等环节，切实加强监管，落实安全防护责任，确保玻璃幕墙质量和使用安全。

各级住房城乡建设主管部门要进一步强化对玻璃幕墙安全防护工作的监督管理，督促各方责任主体认真履行责任和义务。安全监管部门要强化玻璃幕墙安全生产事故查处工作，严格事故责任追究，督促防范措施整改到位。对造成质量安全事故的，要依法严肃追究相关责任单位和责任人的责任。建立既有幕墙信息库，进一步加大巡查力度，依法查处违法违规行为。

国土资源部住房城乡建设部：优化2015年住房及用地供应结构

为贯彻国务院关于房地产市场分类调控、因地施策的总要求，国土资源部和住房城乡建设部日前联合下发通知，要求各地优化2015年住房及用地供应结构，促进房地产市场平稳健康发展。要进一步加大住房保障货币化工作力度，将符合条件的商品住房作为棚改安置房和公共租赁住房房源。整体购买在建房地产项目用于棚改安置房和公共租赁住房，或将尚未开工建设的房地产用地转为棚改安置房和公共租赁住房用地的，允许其适当调整规划建设条件，优化户型结构。

住建部建筑节能与科技司：着力促进建筑节能与绿色建筑新发展

住房城乡建设部日前下发文件，明确今年建筑节能与科技工作要点。在促进建筑节能与绿色建筑新发展方面，工作要点提出，发布我国建筑能效提升工程路线图，进一步提高新建建筑节能标准水平。到2015年，北方采暖地区普遍执行不低于65%的建筑节能标准，鼓励有条件的地区率先实施75%的标准；南方地区探索实行比现行标准更高节能水平的标准。

未来15年将建1600个通用机场 低空开放试点今年全面推开

3月11日，中国民用航空局长李家祥在中航工业集团举办的“爱飞客”两会之晚上表示，中国有2800个县，如果能做到一个县一个通用机场，将是巨大的拉动基础建设的经济增长点。该报道据此认为，这意味着在中国2800多个县实现通用机场“县县通”蓝图规划正式浮出了水面。

目前，中国通用机场的数量并不算多。根据中国统计年鉴，2013年全国共有2853个县级行政区划（包括市辖区和县级市），但同一年全国通用机场和临时起降点仅有399个。而目前美国通用机场总量约2万个，是中国的几十甚至几百倍。去年，国务院修订一批政府核准的投资项目目录时，将通用机场的建设权下放地方。目前，如果投资者要建设通用机场，只需要省市一级的地方政府批准即可，选址甚至只需县级政府同意便可进行审查。

据了解，《通用机场布局规划》目前还并未下发，2000多个通用机场规划的细化程度到底细到哪些县有布点，还无法判定。以“爱飞客”的情况来看，中航工业试图与地方政府共同出资建设通用机场，并已得到银行贷款支持。

低能耗建筑产业成立新联盟

3月25日，“被动式低能耗建筑产业技术创新战略联盟”在北京国家会议中心举行成立大会，并召开了联盟的第一次工作会议。该联盟是由住房和城乡建设部科技与产业化发展中心牵头，联合国内外被动式低能耗节能建筑行业内的54家企业和团体单位共同发起成立。

首届联盟理事会由包括住房和城乡建设部科技与产业化发展中心、开发企业、建设单位、部件材料制造企业、设计单位、科研单位以及有关单位作为团体会员组成。

无印良品装修日本成田机场航站楼

4月8日，日本成田机场3号航站楼正式启用。这座专供廉价航空公司使用的航站楼，由成立于1900年的日本日建设计（NIKKEN SEKKEI）负责建筑设计，通过无印良品打造内部软装，把实用性和简单化做了结合。



↑ 无印良品还用品牌标志性的原木色家具打造了美食区。考虑到廉价航空会有一些凌晨的航班，这个美食区的营业时间从凌晨4点就开始，会一直持续到晚上9点。



↑ 虽然设计简单，但是机场内部有很多贴心的细节设计，比如每一张沙发都没有把手，这是为了让旅客能躺也能坐，24小时随时可以休息。



↑ 蓝色引导出发，红色引导到达，根据人流量估算，无印良品还在地面设置了颜色指路标志。这样即使航站楼再大，乘客也不会轻易迷路。



← 因为无印良品负责了这个航站楼的软装设计，所以整个航站楼内部都走极简风格。视觉上略显空旷，好在家具和装饰的缤纷色彩让整个候机大厅不至于太冷清。

建筑工程勘察、设计单位项目负责人质量安全责任规定解读

住房和城乡建设部工程安全质量监管司 文捷

出台建筑工程勘察、设计单位项目负责人质量安全责任规定的背景

为进一步规范建筑市场秩序，保障工程质量，2014年9月，住房和城乡建设部决定在全国开展为期两年的工程质量治理专项行动。工程质量治理两年行动的重要任务之一是全面落实项目负责人质量终身责任。住房和城乡建设部制定了《建筑工程五方责任主体项目负责人质量终身责任追究暂行办法》（建质[2014]124号），明确了质量终身责任人，即建设、勘察、设计、施工、监理五方主体的项目负责人以及相关责任，同时，还专门制定了《建筑施工项目经理质量安全责任十项规定》，对项目经理的质量安全责任进行了进一步的细化。

以往，勘察、设计项目负责人的质量安全责任，尤其是设计项目负责人，在相关法律法规中未作明确规定，在行业内对项目负责人质量安全责任的认知程度也不一样。从现有管理模式来看，各设计单位对项目负责人质量职责要求也不同。因此，住房和城乡建设部本着审慎、适用的原则，委托中国勘察设计协会组织有关专家和单位系统地对现有法律法规进行梳理，经过多次座谈、研讨和调研，并广泛征求各地住房城乡建设主管部门和有关勘察设计单位意见，经反复修改完善，形成了《建筑工程勘察单位项目负责人质量安全责任七项规定（试行）》和《建筑工程设计单位项目负责人质量安全责任七项规定（试行）》（以下简称“两项规定”）。

“两项规定”明确和细化了勘察设计单位项目负责人的任职资格，尤其在工作管理、成果质量、后期服务等方面承担的主要责任。“两项规定”的出台，对于全面落实勘察设计单位项目负责人的质量终身责任，完善质量责任追究制度，增强勘察设计项目负责人的责任意识，提高我国建筑工程勘察设计质量将起到重要作用。

“两项规定”的主要特点

“两项规定”主要有以下特点：

一是责任到人。在强调勘察设计单位质量安全责任的同时，突出将总体的管理质量安全责任进一步具体落实到项目负责人，同时强调，不免除勘察设计单位和其他有关人员的法定质量安全责任。

二是依法依规。“两项规定”都是在现有法律法规体系框架下制定的，符合落实主体责任的法律主旨，同时，将零散地分布在各个法律法规中的内容进行了系统化、集成化，集合在“两项规定”中，相关的处罚规定完全遵守了现行法律法规和部门规章。

三是结合实际。“两项规定”的制定是基于较为充分的调研，认真研究了现有的工程质量安全监管制度和注册执业制度、勘察设计企业的内部质量管控体系和项目管理模式，充分考虑了当前的实际情况，具有可操作性。

四是严肃处罚。对发现违法违规行为、发生质量安全事故和质量问题的情况，依法依规加大处罚力度，并记入不良记录，充分发挥信用惩戒机制的作用。

“两项规定”的主要内容

“两项规定”主要按照工作流程对勘察、设计项目负责人质量安全责任进行了梳理。主要包括：

一是任职资格问题。勘察、设计项目负责人作为项目的组织者和管理者，本身应具有较高的技术水平和质量管控能力。之前，已有相关部门规章和规范性文件对勘察、设计项目负责人的任职资格提出相关要求。因此，为严格勘察、设计项目负责人任职资格和能力要求，进一步落实注册执业制度，“两项规定”要求，甲、乙级岩土工程勘察的项目负责人必须由注册土木工程师（岩土）担任。其他专业，如水文地质、工程测量等勘察项目负责人可由勘察单位根据规定选派具备勘察质量安全管理能力的专业技术人员担任。

而设计项目负责人应当由取得相应的工程建设类注册执业资格并具备设计质量管理能力的人员担任。在这里有两点需要说明：一是承担民用房屋建筑工程的设计项目负责人，原则上由注册建筑师担任。二是主导专业未实行注册执业制度的，如部分市政工程的设计项目负责人可由设计单位参照上述规定授权任命，发挥建筑师的主导作用。

二是对项目团队技术水平和能力的保证。勘察设计是智力密集型、人才密集型工作，勘察设计项目团队素质能力是决定勘察设计质量的主要因素之一。目前，我国勘察设计人员技术能力参差不齐，勘察现场人员整体素质偏低，对勘察设计质量造成了一定影响。为保证勘察设计项目团队的技术水平和能力，“两项规定”要求，勘察设计项目负责人应当确认承担项目的勘察设计人员符合相应的注册执业资格要求，具备相应的专业技术能力。特别是勘察现场工作人员，如观测员、记录员、机长等必须符合专业培训要求，具备相应的技术能力后方可上岗。

三是依法依规开展勘察设计工作。依据法律法规和工程建设强制性标准开展勘察设计工作是保证工程质量的前提和基础。但是，违反前期规划和项目审批文件、未根据勘察成果进行设计、违反工程建设强制性标准、勘察设计文件没有达到规定深度要求等现象仍时有发生。因此，“两项规定”要求，勘察项目负责人应当依据有关法律法规、工程建设强制性标准和勘察合同（包括勘察任务委托书），组织开展工程勘察工作。设计项目负责人应当依据有关法律法规、项目批准文件、城乡规划、工程建设强制性标准、设计深度要求、设计合同（包括设计任务书）和工程勘察成果文件，组织开展建筑工程设计工作。这是勘察设计项目负责人最根本的质量安全责任之一，也是将重点监管的内容。

四是保障现场安全生产。设置此项内容主要是基于以下两点考虑：一是有关的法律法规，如《建设工程安全生产管理条例》对勘察设计方面作了一定的要求；二是在近期发生的安全事故当中，涉及到了对勘察设计单位责任的追究。因此，在“两项规定”中设置此项内容以提醒勘察设计单位注意保障现场安全生产。在安全生产保障方面，勘察和设计项目负责人的职责不尽相同。勘察由于要到现场进行钻探、测试等工作，因此，要求勘察项目负责人应当负责勘察现场作业安全，避免作业人员受到伤害、现场设施等遭到破坏。勘察项目负责人应当要求勘察作业人员严格执行操作规程，并根据建设单位提供的资料和场地情况，采取措施保证各类人员、场地内和周边建筑物、构筑物及各类管线设施的安全。而设计师为施工现场提供指导，因此，从提前消除施工现场安全隐患的角度出发，设计项目负责人应当要求设计人员考虑施工安全操作和防护要求，在设计文件中注明涉及施工安全的重点部位和环节，并对防范安全生产事故提出指导意见；采用新结构、新材料、新工艺和特殊结构，应在设计中提出保障施工作业人员安全和预防生产安全事故的措施建议。

五是保证勘察设计成果质量。这是勘察设计项目负责人最核心的质量安全责任。由于勘察资料成果主要分为原始资料和勘察成果文件。而原始资料的真实准确是成果质量的基础，因此，在原始资料方面也提出了要求，即勘察项目负责人应当组织人员及时整理、核对原始记录，核验有关现场和试验人员在记录上的签字，对原始记录、测试报告、土工试验成果等各项作业资料验收签字。对勘察成果文件，勘察项目负责人应当对其真实性和准确性负责，并在勘察文件上签字盖章。设计项目有所不同，包括建筑、结构、水、暖、电等不同专业，设计项目负责人应当检验各个专业设计、校核、审核、审定等技术人员在相关设计文件上签字，核验注册建筑师、注册结构工程师等注册执业人员在设计文件上签章，并对各专业设计文件验收签字。

六是做好后期服务工作。后期服务是勘察设计工作的重要组成部分，关系到整个工程建设的质量和效益，但目前我国勘察设计后期服务工作还不够规范，因此，“两项规定”要求，勘察设计项目负责人应当组织相关勘察设计人员及时解决后续工作中与勘察设计有关的问题；组织参加工程竣工验收，在相关验收文件上签字；组织勘察设计人员参与相关工程质量安全事故分析，并对因勘察设计原因造成的质量安全事故，提出有关技术处理措施。

七是做好文件资料归档工作。针对近期发现的资料管理混乱、不及时装订归档等问题，“两项规定”要求，勘察设计项目负责人应当对勘察资料的归档工作负责，组织相关勘察设计人员及时将资料成果归档保存，具体包括勘察纲要、现场记录、试验资料、勘察报告、设计图纸、计算书等。

对勘察设计项目负责人违反相关规定的处罚措施

以前在有关法规和规范性文件中并没有对勘察设计项目负责人的处罚规定，此次依据《建筑法》、《建设工程质量管理条例》、《建设工程勘察设计管理条例》等法规和有关部门规章，对勘察设计项目负责人违反相关规定的罚则进行了明确。

例如，如果发现勘察项目弄虚作假、提供虚假成果资料，依照《建设工程勘察质量管理办法》第二十四条规定对勘察单位处10万元以上30万元以下罚款，同时，依照第二十七条规定对负有直接责任的勘察项目负责人处以企业罚款数额5%以上10%以下罚款，即最高可以对勘察项目负责人处以3万元罚款。又如，如果发现项目未依据勘察成果文件或未按照工程建设强制性标准进行工程设计，依照《建设工程质量管理条例》第六十三条规定对设计单位处10万元以上30万元以下罚款，同时，依照第七十三条规定对负有直接责任的设计项目负责人处以企业罚款数额5%以上10%以下罚款，即最高可以对设计项目负责人处以3万元罚款。

同时，各地也可根据有关地方法规和规章补充相关的处罚规定，以便对勘察设计项目负责人的违法违规行为形成震慑。

如何落实两项规定

“两项规定”须分四个层面落实。

第一，政府层面。要求各级住房城乡建设主管部门要认真贯彻落实《建筑工程五方责任主体项目负责人质量终身责任追究暂行办法》和“两项规定”。一是加强宣贯和培训，在行业内整体形成保证质量安全的责任意识和建设百年工程的精品意识。二是严格落实单位法定代表人授权、项目负责人书面承诺等制度。三是加强对勘察设计项目负责人履职情况的监管，在检查中发现勘察设计项目负责人违反上述规定的，严格按照有关法律法规和规定严肃追究责任。

第二，协会层面。一是配合主管部门对“两项规定”进行宣贯，使广大勘察设计单位和勘察设计人员能够深刻了解相关内容，自觉遵守规定。二是对勘察设计项目负责人加强培训，提高其技术和管理能力水平。三是切实发挥协会行业组织的自律作用，建立诚信体系、通报不良记录等。

第三，勘察设计公司层面。勘察设计公司一是要严格按照规定要求遴选符合条件、有责任心的人员担任项目负责人。二是加强对项目负责人履职情况的检查，发现项目负责人履职不到位的，及时予以纠正，或按照规定程序更换符合条件的项目负责人承担全部责任。三是进一步完善企业质量管控体系和项目管理模式，尤其是在人权、财权和物权等方面给项目负责人以充分的支持，确保权责利相一致。

第四，项目负责人层面。目前，质量安全重担有相当一部分压在项目负责人身上。因此，项目负责人要增强忧患意识和责任意识；要切实承担自身的质量安全责任，尽职尽责；要组织好、管理好项目的人、财、物，协调好项目内外部关系，保证工作和成果质量。

规划专业

规划咨询研究院成功中选海南科技生态新城总部建筑设计方案



3月12日，中航建发规划院整合设计工作室团队顺利中选海南生态软件园总部服务中心建筑设计。甲方高度认可我公司方案，并从多方面表达了对作品的欣赏与期待。受甲方委托，将由中航建发规划院负责深化建筑方案及初步设计，

并指导后续全周期的设计服务。该建筑设计是中航建发规划院继中关村国家自主创新示范区展示中心后又一科技创新建筑力作。

本次中选方案是C地块最为重要的主体建筑，总建筑面积7万平米，是业主公司未来的总部，也是一部分入园企业的孵化办公场所，为未来软件创意研发办公、高端会议、创意科技成果展示等活动提供空间支持。

建筑设计借以四合院空间、外圆内方、中国红柱、南临明堂湖、临湖日出东方等意向体现中国气派。精致的外立面、刚柔相济的曲线、舒缓的比例、动态宁静的内空间表现典雅气质。外倾立面实现建筑自遮阳、屋面太阳能板和水源泵实现建筑能源自供给、屋顶停机坪，建筑外墙全投射媒体技术、湖面会议厅外墙环幕放映系统体现建筑的生态、科技特色。建筑本身将成为最大的创新展品，建成独具海南特色的新型绿色三星建筑，成为园区乃至整个科技新城的标志建筑。

结构专业

内蒙古自治区美术馆顺利通过结构抗震超限审查

内蒙古自治区美术馆项目位于呼和浩特市，建设用地面积42612m²，总建筑面积35893m²，该项目由内蒙古自治区政府负责投资建设，打造成呼和浩特市城市新地标，同时在2017年竣工后还要作为内蒙古自治区成立70周年的献礼工程。项目的重要性不言而喻，为满足建筑的特殊的使用功能，给结构带来了极为复杂的受力条件，如30m大悬挑展厅，吊挂式画室，开敞大空间、通高柱等，根据内蒙古自治区建设厅《内蒙古自治区超限高层建筑工程界定规定》，本工程结构体系属于平面扭转不规则、凹凸不规则、楼板开大洞不连续、局部穿层柱、错层柱、错层剪力墙、立面大悬挑收进等超限情况，需要进行结构抗震设防专项审查。

本项目从设计初期到抗震超限审查得到公司及设计院领导的高度重视，公司总结构师金来建亲自作为结构负责人进行全过程设计的把控，最终民用院S1结构工作室经过一个多月的努力完成超限报告，在3月18日一次性顺利通过结构抗震超限审查，彰显了设计院结构应对复杂工程的设计能力。更为重要的是我们的服务得到了业主的好评，为业主争取了时间，保证项目下一阶段顺利进行。



给排水专业

给排水专业组织计量仪器、仪表应用技术交流

为更好地服务于全价值链项目，加深设计人员对选用的设备仪表性能、特点的了解，2015年3月20日，给排水专业组织了计量仪器、仪表应用技术交流。

中环天仪股份有限公司的专业工程师为大家详细解读了电磁流量计、涡轮流量计、涡街流量计、超声波流量计、热量计等流量仪表，温度变送器、双金属温度计等温度仪表，压力变送器，连续液位测量仪表，流量开关，超声波热量表等仪器仪表的工作原理、主要功能、技术特点、适用的环境场所等。通过对这些仪器仪表的深入了解，可以帮助大家在设计中根据不同系统的特点合理选用相应的产品。



电气专业

电气专业技术委员会组织实地参观学习

2015年4月2日公司电气专业技术委员会会同公司给排水专业技术委员会一行10余人，就GB50974-2014《消防给水及消火栓系统技术规范》中提出的关于消防水泵非机械强启、自动巡检装置的设置与操作的设计要求及实施进行了产品制造厂实地考察。在考察中我们与《消防给水及消火栓系统技术规范》的参编单位（制造商）进行学习、探讨及现场实际操作，涉及到了产品技术参数、制造标准、设计选型等诸多问题。通过这次制造厂的实地参观学习了解到了相关产品的制造、应用情况，将对我们统一公司的“消防给水及消火栓系统”的控制系统的设计工作起到一定的推进作用，该厂家的消防控制设备在应用到消防设备控制系统时还有不确定因素需要考虑。



工程造价专业

工程造价专业举办2016年概算定额修编专题讨论会

2015年1月21日，工程造价专业举办2016年概算定额修编专题讨论会，北京市建设工程造价管理处陈国立主任一行三人应邀参加了会议，公司参与修编的总师及负责人参加了会议。

会上，公司工程造价专业总师王玉平介绍了公司对该册概算定额项目划分总体情况、划分依据及划分说明，之后各院负责人依次对本院负责的烟囱、井类、水塔、沟槽及贮仓等具体项目划分情况进行了介绍。介绍过程中陈主任及随行人员即时与负责人沟通，了解项目划分考虑，负责人也就编制过程中遇到的问题及拟解决方案听取陈主任的建议。

最后，陈国立主任表示非常感谢公司为此次概算定额构筑物分册修编做的大量工作，此次项目划分很全面，也很具体，建议按照北京市建设工程造价管理处的统一要求项目划分格式进一步完善后提交给造价处。



工程管理专业

工程管理专业技术委员会组织召开《全面提升工程管理实操能力》专业交流会

2015年2月5日，公司工程管理专业技术委员会组织召开《全面提升工程管理实操能力》专业交流会。从事工程管理的相关人员参加了会议。航空业务部与工程管理专业委员会联合评选了十名优秀项目经理，并予以表彰。公司航空业务部部长贺宏斌、公司专业技术委员会副主任刘子彦到场颁奖。

会上，大家就工程建设过程中涉及的工程管理事项及专业技术等诸多方面进行交流，特别进行了招投标合规性的培训。工程管理专业执行总师李中强就业务变化带来的知识能力需求、新任务等进行沟通，强调主动学习运用项目管理知识和技术的重要性，并对取得社会奖项、优秀业务建设等进行总结表扬。

中国民航校验飞行中心基地

建设地点：北京

设计单位：中国航空规划建设发展有限公司
民航工程院

建设情况：建成

用地面积：180亩

总建筑面积：3 3120m²

校飞中心主要包括停机坪、维修机库、公务机候机楼、办公综合楼、培训楼、后勤辅助设施等。

设计特点：合理的建筑规划布局
严谨的工艺流程设计
创新的人性空间构思
高效的基地流线组织
和谐宜人的基地环境
安全可靠的技术设计构成
现实与理想之间的矛盾协调





贵阳龙洞堡国际机场办公综合楼

建设地点：贵阳市东郊龙洞堡地区

设计单位：中国航空规划建设发展有限公司
民航工程院

建设情况：在建

用地面积：8322.3 m²

总建筑面积：15453m²

本工程为办公综合楼。贵阳机场集团的办公人员为了维持机场的正常运营，工作强度较高，需要在本楼的功能设计上充分考虑以人为本的细节。比如：设置中庭，更有设于中庭内部不同高度的空中花园和屋顶花园，形成立体景观，改善办公环境和空间体验；沿中庭上升的观景电梯易于发现，便于到达，乘坐体验极好；贵阳四季气候舒适，各层合适位置设置露台，供员工亲近自然，或供交谈、吸烟等使用；一层中庭附近设接待、休息区；各层设置接待室（兼做会议）等；都为员工交流和放松提供了方便；考虑到高层管理人员工作的特殊性，设置各自的办公区、会客区和值班用房。楼内按照规范要求配备无障碍设施。

· 节能环保的绿色理念

建筑布局朝向好，体形系数小，建筑构造和外门窗选型等方面均按照国家现行节能规范的要求进行设计。中庭的设置有利于改善楼内小气候，减少空调和照明用电的能耗。本工程虽然技术难度不高，规模有限，但设计上仍整体体现了节能环保的理念。

· 采用适宜标准，有效地控制投资和运营成本

整个项目工期短，要求高，设计应根据机场的定位和要求，采用成熟的结构体系，在高度配合建筑表达的同时，还易于结构计算，方便施工。

项目展示

本项目位于四川省成都市双流国际机场一、二跑道联络道西南侧，北临大件路，西为规划广牧路，南侧被牧马山灌渠穿过分隔为南北两块区域。项目总用地面积570亩，其中牧马山灌渠北侧约430亩，南侧约140亩。

项目包括维修机库、航材库、生产运控中心、运营管理中心、出勤楼、倒班宿舍、生活服务中心、特种车库、危险品库、油化库等部分。

本方案全面协调城市周边关系，集中组织各功能区域，考虑企业未来的发展，充分利用土地，在功能上和空间上均保留一定的弹性，创造可持续发展的功能布局。在建筑单体上采用垂直的竖线条构图，强调笔直上升、厚重坚实、挺拔大气的现代建筑形象。

中国商飞民机示范产业园

建设地点：四川省成都市双流国际机场西南侧

设计单位：中国航空规划建设发展有限公司
民航工程院

建设情况：在建

用地面积：570亩

总建筑面积：34 0541m²



兰州体育学院

建设地点：兰州新区科教研发中心园区西南角

设计单位：中国航空规划建设发展有限公司
民航工程院

建设情况：在建

用地面积：30 5084.9 m²

总建筑面积：14 8810m²



兰州体育学院项目建设用地位于兰州新区科教研发中心园区的西南角。建设用地呈较为规则的矩形，西侧为规划科西路，北侧为规划奥体东路，东侧为规划科中路，外部交通便利。

体育运动学院分两期进行建设。总建筑面积148810m²，其中一期建筑面积84224m²，包括1号教学训练馆（综合）、2号教学训练馆（球类）、3号教学训练馆（射击）、5号办公楼及图书馆、6号教学及实验楼、8号食堂、9号学生宿舍楼、10号学生宿舍楼、11号看台、12号门房、13号门房、14号门房、15号门房；二期总建筑面积64586m²（其中地下室面积13000m²），包括4号教学训练馆（网球）、7号康复及科研楼、16号全民健身中心、17号学生宿舍楼、18号学生宿舍楼、19号教职工公寓、20号教职工公寓及地下一层人防地下室。

规划布局以5号图书馆及办公楼为学院中心，用“中央十字绿轴”将整个校区分为教学办公区、教学训练场馆区、教学训练场地区、学生及教职员工生活区、预留发展区。

教学办公区与教学训练场馆区紧邻，便于日常教学训练联系。生活区位于相对安静的校区西北角，并贴近篮球网球场，便于师生日常锻炼和活动。西南角的训练馆区与东南角的全民健身中心造型活跃，在朝向高架桥及高速路的人流往来方向形成具有体育学院特点的城市形象，形式相对独立安静的校园空间。



住房城乡建设部关于发布国家标准《水土保持工程设计规范》的公告

现批准《水土保持工程设计规范》为国家标准，编号为GB51018-2014，自2015年8月1日起实施。其中，第7.1.5、12.2.2(2)条(款)为强制性条文，必须严格执行。

住房城乡建设部关于发布国家标准《医药工业仓储工程设计规范》的公告

现批准《医药工业仓储工程设计规范》为国家标准，编号为GB51073-2014，自2015年8月1日起实施。其中，第4.2.4、5.1.6、5.2.4(1、2、3、4、5)、6.2.1、6.2.3、11.3.3、11.3.4、12.3.6条(款)为强制性条文，必须严格执行。

住房城乡建设部关于发布国家标准《医药工业废弃物处理设施工程技术规范》的公告

现批准《医药工业废弃物处理设施工程技术规范》为国家标准，编号为GB51042-2014，自2015年8月1日起实施。其中，第3.0.2(5)、4.1.2(1)条(款)为强制性条文，必须严格执行。

住房城乡建设部关于发布国家标准《医药工业总图运输设计规范》的公告

现批准《医药工业总图运输设计规范》为国家标准，编号为GB51047-2014，自2015年8月1日起实施。其中，第3.0.8、3.0.13、4.2.5、4.2.6、4.2.7、4.4.3(3)条(款)为强制性条文，必须严格执行。

住房城乡建设部关于发布国家标准《试听室工程技术规范》的公告

现批准《试听室工程技术规范》为国家标准，编号为GB/T 51091-2015，自2015年11月1日起实施。

住房城乡建设部关于发布行业标准《非结构构件抗震设计规范》的公告

现批准《非结构构件抗震设计规范》为行业标准，编号为JGJ339-2015，自2015年10月1日起实施。其中，第3.3.1、3.3.2条为强制性条文，必须严格执行。

住房城乡建设部关于发布国家标准《综合医院建筑设计规范》的公告

现批准《综合医院建筑设计规范》为国家标准，编号为GB51039-2014，自2015年8月1日起实施。其中，第6.2.5、7.2.4、8.1.3、8.3.5、8.6.7、10.2.8(2、3)条(款)为强制性条文，必须严格执行。原行业标准《综合医院建筑设计规范》JGJ49-88同时废止。

住房城乡建设部关于发布行业标准《公共建筑吊顶工程技术规程》的公告

现批准《公共建筑吊顶工程技术规程》为行业标准，编号为JGJ345-2014，自2015年8月1日起实施。其中，第4.1.7、4.1.8条为强制性条文，必须严格执行。

住房城乡建设部关于发布行业标准《建筑节能气象参数标准》的公告

现批准《建筑节能气象参数标准》为行业标准，编号为JGJ/T346-2014，自2015年6月1日起实施。

住房城乡建设部关于发布国家标准《工业建筑涂装设计规范》的公告

现批准《工业建筑涂装设计规范》为国家标准，编号为GB/T51082-2015，自2015年9月1日起实施。

住房城乡建设部关于发布国家标准《建设工程造价咨询规范》的公告

现批准《建设工程造价咨询规范》为国家标准，编号为GB/T51095-2015，自2015年11月1日起实施。

住房城乡建设部关于发布国家标准《中药药品生产厂工程技术规范》的公告

现批准《中药药品生产厂工程技术规范》为国家标准，编号为GB51069-2014，自2015年8月1日起实施。其中，第3.2.4、3.4.3(1、2)、3.4.4(1、4)、3.4.6(1)、4.3.4(2)、5.2.4(7、8)、5.2.7、5.3.5、5.5.2、6.3.2、6.3.3、6.3.4、6.3.6(1)、7.3.5、10.2.2条(款)为强制性条文，必须严格执行。



主管单位 中国航空工业集团公司
业务指导 中国航空工业建设协会
编印单位 中国航空规划建设发展有限公司

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 金来建
 周桂 贺宏斌 唐永堃
 郭志海 徐克利 黄春晖
 傅绍辉 葛家琪 魏旗

总编 陆国杰
主编 陈海风
执行主编 王蕊
责任编辑 李楠
出版 《航空工程建设》编辑部
地址 北京德外大街12号
邮编 100120
E-mail hkgcjs@avic-apc.com
印刷单位 北京奇麒麟印刷有限责任公司分公司
发送对象 公司内部及本系统内部
印刷日期 2015年4月
印数 1500册
电话 (010)62038276 62038235
传真 (010)62038297
封面 无锡硕放国际机场

CONTENTS

目录 2015年第2期 总第118期

航空能力建设

- 02 美军第二代“空战装备体系”研究及思考 佟京昊
 06 我国民航飞机维修产业研究 郑应平
 09 中川航站楼结构抗震性能分析
 周青 郭鹏 赵伯友 朱丹 裴永忠 张俊杰

研究与探讨

- 16 博物馆文物微振疲劳试验与分析研究 葛家琪 马伯涛
 23 智能化系统设计中常见的UPS配置问题探讨 白雪婧 刘静
 28 大型计算机中心余热回收供热方案探讨 赵晨 李超
 32 工程总承包项目(EPC模式)提高结算控制效果的方法
 庞允盼 李利

新兴产业咨询

- 36 基于产业价值链视角的创新商业模式研究
 ——以我国工程咨询和建筑行业为例 贾道清
 43 BIM技术为设备行业带来的变革 陈洁 李力军

工程设计

- 46 基于海绵城市(LID)理念的雨水控制模拟效果分析 乔梦曦 刘芳
 49 基于某工程实例的膜制氮与液氮汽化方案技术经济分析
 王晓东 杨丽莉
 54 高温烟道支架改造 李博聪 孙雨生
 58 环保型风力循环喷丸设备 车青 刘劲松

美军第二代“空战装备体系” 研究及思考

■ 佟京昊 「工艺」

摘要： 通过对美国装备发展思路的分析和研究，对美军第二代空战装备体系核心应用模式和设计初衷加以描述。指出美军装备体系化发展的两种模式：体系拓展和体系更新。研究了体系化装备发展思路的诸多优势，并对装备体系化发展思路诸多相关问题进行了探索和思考。

关键词： 空战；装备；体系化；发展思路



1982年6月在入侵黎巴嫩战争中，以色列和叙利亚在贝卡谷地展开了激烈空战，虽然对于以色列方面公布的85比0的击落/损失的战果一直有质疑存在。但无疑的是贝卡谷地空战以叙利亚单方面放弃抵抗为终结，这标志着以色列方面以微小代价全面达成战略目的。6天内，叙利亚历时十年，耗资20亿美元在贝卡谷地建立的防空体系被

以色列彻底摧毁。

在这次战役中，叙利亚方面空中力量以前苏联米格23和米格21为主并配以19个萨姆6防空导弹阵地为主的地面防空力量支持；而以色列方面参战战机主要为美制F-15、F-16、F-4、A-4战机，并有预警机和无人机参与战斗。仅就参战装备水平而言，双方并无过于显著的差距，主力装备均属第三代战机，但悬殊的战果使这场战争对现代空战战法研究和空战武器装备发展有着多方面的标

作者简介：佟京昊，男，高级工程师，2007年毕业于北京理工大学工商管理专业，现就职于中航建发规划咨询研究院。

本意义。因为借助于任何基于武器平台分析的衡量指标，都无法解释如此悬殊的战果。以色列空军各类装备之间分工明确，形成了有效协调的进攻体系，是取胜的关键。自此以后，国际军事理论学术界公认空战对抗已开始由“平台对平台”向“体系对体系”进行转变，体系化武器装备发展概念和空战装备体系开始逐步为人所知。

一、美国第二代空战装备体系研究

如果说贝卡谷地以色列空军展示的是美军的第一代空战装备体系和战法，那么在之后的三十年，美国的装备体系不断的得到拓展和更新。虽然美军直接或间接参与了多次局部战争，但再没有势均力敌的对手使美军得以充分对外展示其发展的新一代空战装备体系。因此，只能通过研究各方面公布的材料和美军在几次局部战争及反恐战争中的装备展示和战术思想，对美军新一代空战装备体系基本构造和战术思想进行分析。为区别贝卡谷地中以空中预警机为核心的第一代空战装备系统，本文将美军已经建立并正在完善的新一代空战装备系统称之为第二代空战装备体系。

要了解美军装备体系发展方向，首先要了解美军对未来战争形式和美军对自身优劣势的认识。通过对美方公布的最能反映其战术思想变化的“未来士兵”（Future Force Warrior）系统进行分析：在“未来士兵”系统中美军将单兵多功能头盔作为单兵核心装备，其作用是在赋予单兵强大的定位；在通信能力上，也赋予了单兵在特殊情况下可被授权直接指挥重型火力进行直接打击的战场控制能力。其中体现的战术思路是：通过赋予处于关键位置的少数士兵极大的火力控制能力，使美军在人数处于绝对劣势的环境下，也可以在战场关键位置使战斗力取得绝对优势。这种战术思路将美军处于优势的精确火力打击能力发挥到最大，并可将有生力量损失风险降到最低，有效回避美军劣势。

如果将这一战术思想推广到空战装备领域，并结合近二十年美国空军装备实际更新和列装情况，美军第二代空战装备体系已可以简单描述：可以判断在美军新一代空战装备体系中，一直备受关注的以F-22、F-35为代表的隐形战斗机将不再是承担空中缠斗和对地直接打击任务的主要力量，这些危险任务将由以无人机为代表的各

型智能武器完成。隐形飞机更可能的职能是前线控制职能。隐形飞机凭借其超强的隐身能力、超音速巡航能力和超机动性，在战术上已经没有在空战场合保持目视编队的必要，因此美军计划采用的战术队形将会是互相间隔数十公里、极为疏散的网状队形。得益于雷达、卫星、通信、控制技术的不断进步以及联合战术数据链系统的逐渐普及，空中目标实施观测网与实时数据传输网的运用条件渐趋成熟，隐形战机已可装载相关系统对无人战斗机进行直接指挥控制。在新一代体系中，自动化无人武器（包括各型无人机和巡航导弹等）的指挥、控制权将能在地面指挥系统、预警机、隐形战机间根据需要自由转移。在这种作战体系中，预警机可以停留在距离战场更远的安全区域进行全局控制；隐形飞机抵近战场指挥无人智能武器进行直接打击，评估打击效果和战场态势，并可根据需要在无人武器的配合下发起“必杀攻击”。这一体系通过无人武器和战斗人员的紧密配合在第一代空战体系的基础上，进一步拉长了战场纵深，使有生力量得到更好的保护，并使自然人的应变能力和战斗技巧在作战中继续得以发挥。有效的发挥了美军的装备优势，回避了其不愿承受有生力量损失的劣势。

与第一代空战武器体系相比，在第二代空战装备体系中战场控制权进一步分解为全局控制和前线控制，前线控制权将由直接面对战场的隐形战斗机承担，使隐形战斗机能够在作战前线利用无人机和各种地面武器配合自行组成一个作战能力远超过一般武器平台的作战单元，在空战对决中取得绝对优势。因此，充分认识美军的第二代空战武器体系及其作战方式对我国、我军至关重要，但隐藏其后的美军作战装备体系发展思路更值得我们装备部门深入研究、借鉴、思考。

二、作战装备体系发展的概念与内涵

武器装备体系概念并非始于贝卡谷地空战，当各种武器共同出现在同一场战争中，从事不同的作战任务，原始的武器体系就已形成。但贝卡谷地空战中，以军展示的并非是各种武器装备的简单集成，而是一种将战法运用与装备协同紧密结合的有着精确的预先设计，能够进行复杂的战术执行，有机协调的空战武器装备体系。此次战役之后，国际军事理论界对武器装备体系的讨论

日渐增多。自上世纪九十年代后,主要是本世纪以来,我国军事理论界在吸收国际装备发展经验的基础上也对武器装备体系进行了广泛而深入的讨论。目前,国内关于武器装备体系的定义和范畴的认识十分复杂和多样化,仅就定义就有十余种之多。而本文提出的空战装备体系是以空战作战单元为研究对象,不包含相关的后勤保障装备。针对的是美军在作战模式上由武器平台为主体的作战模式,向以体系化功能单元为主体的作战模式的转变。本文在装备体系发展思路方面提出的武器装备体系化发展思路是一种以体系拓展和体系更迭为主要发展模式的武器装备更新模式和发展思路,对应于一直以来的武器装备发展主要就装备平台为对象的更新模式而言。以空战装备为例,人们一般常说的三代战斗机、四代战斗机都是基于平台化发展的划代模式,是就单一装备的技术水平和作战效能进行评价的。本文认为,这种划代评价方式,无法对在装备体系化思路下发展出来的空战装备体系的作战效能进行有效评价。

传统武器装备平台化发展途径是针对现有某类型武器,通过开发、应用各项新技术,研究制造新型同类产品以期在各项性能指标超越过去同类产品的发展模式。而本文提出的武器装备体系化发展的思路是,通过对未来战场环境和作战任务的分析,并对现有武器装备和相关领域新技术进行梳理,开创性的构建在未来一定时间内,最易形成优势的武器装备体系。并通过对比现有武器装备的优势和缺陷,确定要研发的武器装备和技术。既其研究的目标不再是基于单一装备更新,而是基于作战任务判断和战法研究的装备体系的构建与更新。如前所述,装备体系化发展存在两种方式,一种是体系拓展方式,主要是在保持现有作战装备体系核心作战模式的基础上以新式装备取代传统装备;或是发展新的功能性装备,丰富现有装备体系的战法应用和强化作战效能。另一种是体系更新方式,这种方式不再以原有武器装备体系的核心作战模式为依托,而是通过一系列新装备的应用,创新出一种新的武器装备体系作战模式。以美军空战装备体系为例:第一代的核心作战模式是“预警机-战斗机”指挥作战系统;而如前所述第二代空战装备体系的核心指挥作战系统显然要复杂的多。由于装备更新是一种显性创新,所以很容易被竞争对手察觉并跟

踪。而体系更新是一种非显性创新,所以很容易被竞争对手忽视或误判。美国正是利用这一非显性创新模式,在长达近20年的时间内误导了其在空战装备领域的主要竞争对手苏联-俄罗斯,使其最终放弃了基于平台更新思路开发的俄制第四代主力战机S-37“金雕”和米格1.44。

三、空战装备体系化发展思路的优势

与传统的平台化空战装备发展模式相比,采取空战装备体系化发展思路的发展模式可以在实战效能和自身发展两方面带来巨大优势。

在实战领域空战装备体系化发展会有以下优势:

系统成熟性:与单独发展装备平台再根据作战任务搭配使用各装备的方式不同,空战装备体系化发展思路在设计之初构建的就是一个分工协作的装备体系,所有装备间的协调应用在设计之初就充分考虑了,并以此统筹设计相关通讯、指挥、控制系统,保证各装备在体系内既分工明确,又能充分协调。在实战情况下,这种经过细致设计的装备体系应用必然更加成熟、稳定。与各自发展,在战场上临时组合的装备体系相比,在执行作战任务时,整个体系反应更快,应用更成熟,配合更默契。

战法前瞻性:由于结合了未来战法的前瞻性研究,关注的是未来战场环境的变化和更具优势的战法设计。由此设计出的空战装备体系必然更适应各种未来战场任务,对于对手的既有主要战法必然有成熟的对策设计,对于各种突发情况和战场环境的应对准备也更加充分,从而在未来军事对抗中可轻易占据优势。

应用的广泛性和针对性:随着武器装备的不断升级换代,科技水平的不断提升,新一代的装备平台更新技术难度越来越大,兼具各种作战职能的空中武器平台越来越难以开发。而空战装备体系化发展思路则可通过对装备在体系中分工的细化,有针对性的发展各种基于现有平台应用的特种装备,在广度上拓宽装备体系,实现装备体系应用的更新换代。这种方式使战术执行有了更多的选择,对体系应用的广泛性和针对性都有较大提升。

除了在未来实战中的巨大优势之外,仅就装备发展工作本身而言,体系化装备发展思路也有

如下优势:

经济性:就空战武器装备这种装备数量有限的高科技产品而言,研发成本始终是其主要成本。按照传统武器平台开发思路,新一代装备一般会务求在主要性能上全面超越旧的平台,而在体系开发思路中由于聚焦于体系配合,武器平台的开发可以舍弃一些代价昂贵但在装备体系中需求并不迫切的技术。这种对高技术开发的取舍可以大幅缩减武器平台的开发费用和时间周期。

独创性:目前很多国家作战装备开发采取的是“平台跟踪”的发展方式,即通过仿制世界先进装备发展自有装备。但是体系化装备发展思路是通过各装备间协调和配合发挥出最大的作战效能,这种配合由一系列软硬件技术进行支撑。如果单纯对装备平台进行仿制,即使装备平台仿制的性能指标丝毫不差,但由于缺乏其他装备的有效协调,和相关软硬件技术支撑,在对抗中仍会受制于原创方作战装备体系,而处于明显劣势地位。

四、关于美军第二代空战装备体系的几点思考

1、美国空战装备体系的形成和发展体现了美军战术思想和装备发展思路的变化和调整,是美军在充分研究上世纪几场重大战争后,针对现代战争中非对称作战特点创新的符合美军特点的非对称作战战法和武器装备战略发展思路。在这种思路下,美军充分发挥了国家的科学技术优势,致力于构建复杂的、难以被充分分析和简单模仿的武器装备体系,在保持战斗火力的同时,尽量减少一线作战人员数量,从根本上降低战斗中作战人员伤亡比例。

2、由于空战装备体系追求的是整个体系的作战效能而非单一武器的作战效能,因此以单一武器技术指标为主要标准的武器平台划代模式,已不能有效衡量空战武器装备技术水平和作战效率,特别是存在体系更新这种装备发展的非显形创新模式使得基于武器平台跟踪的装备发展模式在未来装备发展工作中已经很难发挥作用。因此本文尝试以装备体系作为目标进行直接划代。美军通过武器种类的丰富和技术水平的提升,特别是对空战核心作战模式的创新,目前其空战装备体系的战场适应范围和作战效能已经远超上世纪七、八十年代武器装备体系化发展水平,本文将

新一代空战装备体系划为第二代空战武器装备体系。这一代装备体系核心标志是战场指挥权已经可以在信息化技术支持下进行灵活的授权和转移,预警机不再是唯一的指挥中心,隐形战斗机将承担起部分前线指挥职能。

3、从美军第二代空战装备体系的构建来看,人仍是战争的决定力量,只不过一线飞行员由单纯的战斗人员部分兼具了一线指挥员的职能,空战中最危险的作战任务将由无人战斗武器执行,这些无人战斗装备的任务主要是吸引对方注意力和火力,迫使对方武器力量做出反应,并可自动或在相关人员的控制下对目标进行直接打击。而由战斗人员直接驾驶的隐形战机,将徘徊在前线边缘,进行现场指挥、战场评估,并适时发起决定性攻击。

4、武器装备体系化发展思路是军事战法研究和武器装备研究进一步融合的产物,是一个复杂的系统工程,其价值在于可使作战装备通过体系化构建和应用取得远高于武器平台本身差距带来的优势,是军事战法研究在装备领域的延伸,更是装备制造业纵向一体化工程的成果。虽然国内军事理论界对于武器装备体系一直有所研究,并对其涉及的部分关键技术如:体系需求描述与生成技术、体系设计与评估技术、体系集成技术、体系进化技术开展了初步探讨。但在空战装备发展领域,首要的仍是将装备体系化发展思路作为空战装备发展的基本发展思路,在空战装备发展中加以普及和运用。

参考文献:

- [1] 游光荣;初军田;吕少卿等.关于武器装备体系研究[J];军事运筹与系统工程;2010,24(04).
- [2] 梁晓庆;黄魏;杨克巍等.武器装备体系能力生成过程[J];兵工自动化;2010,(01):9-12.

我国民航飞机维修产业研究

■ 郑应平 「工艺」

摘要: 随着我国经济的持续发展,民航运输业也保持着高速增长态势,而民航运输业的高速发展离不开机务维修的保障,本文通过对国内民航维修产业现状进行分析,在总结现状的基础上梳理出未来维修产业布局以及发展态势。

关键词: 民航;维修;机体;发动机

1 前言

随着我国国民经济持续快速发展,我国的民航运输事业也得到迅猛增长,2013年我国民航机场主要生产指标保持平稳增长,旅客吞吐量75430.9万人次,比上年增长11.0%;完成货邮吞吐量1258.5万吨,比上年增长4.9%;飞机起降731.5万架次,比上年增长10.8%^[1]。

民航运输业的发展必然带来飞机机队规模的扩张,据统计2013年全行业飞机达到约3810架,比2012年底增加407架(其中运输飞机2179架,比上年底增加174架;通用航空器1631架,比上年底增加233架)。

而依据飞机制造商波音公司预测,亚太地区的经济和客流持续显示出强劲增长。未来20年,全世界航空运输量的近一半将由进出该地区和该地区内部的旅行带动。亚太地区的机队规模将达到现在的近3倍,从2012年的5090架飞机增长到2032年的14750架,以支持这一需求的增长。

飞机数量的急剧增加带来了民航维修业的持续高速增长,2013年国内飞机维修企业产值达到约200亿元,预测2015年将达到450亿元。在巨大

的市场机遇面前,各维修企业也是提前布局和规划,以期抓住新一轮的市场发展机遇。

2 维修企业现状

2.1 总体情况

国内申请CAAC维修许可证的国内外维修单位的数量越来越多,截止2008年底,获CAAC批准的国内民航维修企业约360多家^[2]。而截至到2012年底,国内获得CCAC批准的维修企业达到397家。然而,除了少数具有飞机和发动机大修能力的军队维修单位以外,国内的维修单位中,能够进行飞机和发动机大修的屈指可数。

截至2012年全国共有机务维修系统人员约7.19万人,其中各航空运输企业及其下属维修单位人员约3.49万人,各独立维修单位机务维修人员约3.70万人。

2.2 规模分析

在国内众多的维修企业中,以机体维修单位最为典型,AMECO、GAMECO、TAECO、STAECO、STARCO、国航工程技术分公司、东航工程技术公司、南航机务工程部等几家规模较大的维修企业拥有的维修设施数量占国内总数约85%,其中大型维修机库全部集中在上述企业中,目前机体维修已基本覆盖所有机型。发动机维修

作者简介:郑应平,男,高级工程师,2000年毕业于西北工业大学飞行器制造专业,现就职于中航建发民航工程设计研究院。

企业主要有珠海摩天宇（MTU）、四川斯奈克玛、厦门GE、上海普惠、厦门新科宇航等，主要承担CFM56系列、PW4000系列、RB211系列和V2500系列发动机的修理。

目前国内可同时进行2架及以上宽体飞机（B747为代表）维修的机库共有约14座，可提供宽体飞机维修机位约45个，全部集中在北京、上海、广州、厦门、成都、西安、昆明、乌鲁木齐等地，其它维修设施规模相对较小，大多分布在各省会城市。

2.3 维修设备分析

国内各民航维修基地中，涉及到的维修设备种类繁多，如机体维修就涉及到工装设备、维修检测设备和配套的零附件维修设备等。配套的零附件维修设备包括了常用的机械加工、钣金、复合材料、喷漆、打磨、探伤等设备；维修检测设备则包括飞机通电检查设备、液压系统调试设备、飞机各系统以及零附件检测设备等；工装设备大多包括维修梯架系统、维修辅助工装等。发动机维修由于专业性较强，经常使用到一些如孔探仪等设备，同时发动机维修设施中的试车以及上不运输系统也是十分关键。

2.4 运营模式分析

目前国内维修企业主要有三种经营模式：航空公司自营、合资公司经营及独立维修企业经营。

为有效控制维修成本，国内大多数较具规模的航空公司都成立了相应的机务工程部或者工程技术公司，建设了隶属于航空公司的机务维修队伍和设施。同时为了优化产业盈利模式，诸如国航、东航、南航都与国外维修企业成立了合资维修公司，这类维修基地的特点就是集群式建设，例如AMECO、STARCO、GAMECO、斯奈克玛、上海普惠等。

另外一种维修企业是独立于航空公司之外的第三方维修企业，较有特点的是TAECO、四川海特、航新等。

3 维修产业布局

纵观国内各维修企业，虽然数量众多，但规模一般都不大，且维修能力大多集中在机体维修方面，具备精密附件深度修理能力的企业偏少。

国内维修企业呈现出一些比较明显的特点：

(1) 地域分布上集中在华东、华北、中南和

西南

从机库地域分布上，长三角、京津、珠三角以及成渝地区一带集中了全国近80%数量的维修企业，大型维修企业和维修基地也基本上分布在此，这些地区也代表了我国目前最先进的维修技术和实力。而西部地区和东北地区相应偏少，地域分布上极为不均衡。

(2) 缺少通航产业的专业化维修

随着我国低空开放政策的实施，通用航空迎来了井喷式发展，公务机、通航飞机数量也急剧增长，但相应的通航全产业链仍不够完善，而且由于机型复杂，同一机型飞机数量又不是很多，众多维修企业也面临着投入大投资回收期长的问题；另外一方面，具备通航飞机维修资质和能力的人员也十分欠缺。

(3) 高附加值维修的核心技术仍有待加强

零附件维修、发动机维修中的核心技术能力仍然欠缺，大多由原始制造商或者国外维修企业所掌握。

4 发展趋势

4.1 总体规模逐年增长

波音、空客以及其他公司和机构预测2020年我国民航飞机将达到3500架左右，随着我国民航机务维修能力的提升和范围的扩充，现有维修设施将远远满足不了航空运输保障的需要，整个市场的规模将逐年增长并扩大。

同时随着北京新机场等大型航空枢纽的建设和扩建，将吸引大量国外大型航空维修企业进入，在整体市场稳步增长的态势下竞争也将日趋激烈。

4.2 逐步形成航空维修产业集群

我国民航维修单位分布呈现出明显的地区性，同一地区内产业链条上下游完备，集群效应初显。京津、上海、珠三角、厦门、成都、沈阳、西安等7个主要城市带集中了绝大部分维修单位。在这7个主要城市或地区，已基本出现了产业集群的雏形，形成了以AMECO、STARCO、GAMECO、TAECO、国航成都大修基地、南航沈阳维修基地、东航西安维修基地等大型公司为核心，建立起一个围绕维修产业的综合性产业链，人才、航材、技术、信息得到一定程度的共享和交流，产业集群效应初步显现。

4.3 维修结构的发展趋势

国内航空运输业的增长促进了航空维修业的发展。目前,国内现有维修企业基本可以承担全部的机体大修工作、大部分的发动机大修工作以及部分附件维修工作,虽然其中部分技术仍然掌握在国外。从创造利润的角度看,附件维修利润最高,其次是发动机大修,最后是机体大修。

从航空维修业的未来趋势而言,“一站式”维修是发展方向。所谓“一站式”维修就是维修企业对送修飞机提供全套服务,要求在一个基地或者附近区域可以进行机体、发动机以及机载设备的全面维修。

目前,我国的机体大修水平与世界水平相差不大,在飞机维修领域,机体大修是相对较为简单的维修,可以算得上是劳动密集型,附加值也不高。真正技术含量比较高的是发动机以及机载设备的维修,而且,这两种维修也呈现出高附加值的特点,外委送修仍占很大一部分,很多维修仍需要外协,阻碍了民航业向更高层次发展。

未来维修结构调整的重点是稳步的提升发动机及附件维修的能力,专业化的发动机及附件维修将迎来大家更多的关注。

4.4 运营管理模式的的发展趋势

纵观世界航空维修企业起源,有相当数量企业是从大型航空公司维修工程部发展而来,未来这一趋势将在我国飞机维修业中得以延续。

如东航从2009年开始,在东航机务系统开展了模拟独立核算工作,使东航机务按专业分工组织生产,形成真正的具有专业化、产业化优势的航空维修企业。

此外,为了迅速的提高我国航空维修业的综合维修能力,以合资或合作等模式为主的维修企业也将得到迅速发展。

5 结束语

我国经济的持续高速发展带来了各行各业的繁荣昌盛,也吸引了国际巨头艳羡的眼光,提前做好准备并做好长远规划,迎接新一轮的发展机遇。

参考文献

[1] 中国民用航空局,2013年民航行业发展统计公报

CAAC, Statistical bulletin of civil aviation industry of 2013.

[2] 贺利.中国民航维修业的回忆与展望.航空维修与工程,2009(5):12-13

He Li. Recall and Prospect of Chinese civil aviation maintenance industry. Aviation Maintenance and Engineering, 2009(5): 12-13.

中川航站楼结构抗震性能分析

■ 周青 郭鹏 赵伯友 朱丹 裴永忠 张俊杰 「结构」

摘要: 以兰州中川机场新航站楼为工程背景,对大型航站楼抗震性能进行了有限元分析,分析结果表明:结构频率密集,振型复杂,同一振型中往往同时伴随平动、扭转和竖向振动;地震作用对屋盖大部分杆件内力影响很小,较大内力杆件主要集中在柱头支座附近、悬挑根部以及网架相交处;屋盖杆件内力在水平地震下大于在竖向地震作用下;多点输入地震作用下,视波速越大对结构内力影响越小;罕遇地震作用下,抗震关键构件刚刚进入塑性或出现轻微塑性破坏,层间位移角小于4倍的弹性位移限制,实现了大震作用下结构不倒塌。

关键词: 大型航站楼;抗震性能;有限元分析

0 引言

现阶段,我国民航事业处于高速发展期,航站楼不仅仅在数量上迅速增加,而且在规模上也越来越大,这就给广大结构设计者提出了更高要求。国内外学者对超高层、大型体育馆等建筑的抗震性能进行了大量的试验和理论研究,而对大型航站楼的整体抗震性能研究相对较少。航站楼结构主要结构特点是下部为不规则多层框架,上部为大柱网钢屋盖结构,与一般的公共建筑如体育场馆、剧院等结构有所不同。本文以兰州中川机场新航站楼为工程背景,系统介绍了大型航站楼结构抗震性能分析过程,得出了一些有益的结论,可供航站楼结构设计参考。

1 工程概况

兰州中川机场为甘肃省省会机场,是欧亚航空备降机场之一。中川机场新航站楼位于兰州市永登县,原航站楼南侧。本期建设包括主楼大厅和两侧指廊,建筑面积约61100m²,结构总高度

41.6m。新航站楼屋面由主楼大厅处扇形双曲面屋面和连廊处单向曲面屋面组成,主楼大厅与两侧指廊设置伸缩缝脱开,见图1、图2。本工程于2011年完成施工图设计,目前正在建设之中。



图1 建筑效果图

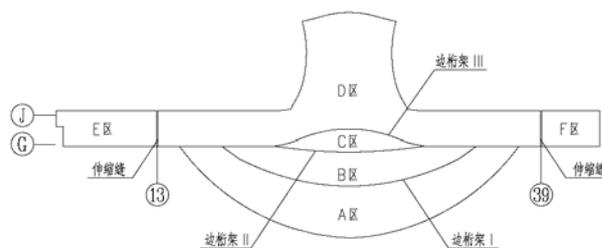


图2 航站楼屋盖分区图

主楼大厅屋盖(A、B、C、D区)长336m,宽197m,主要柱网24(32)m×24m,入口处最

作者简介:周青,男,研究员,2002年毕业于中国航空规划设计研究院研究生部结构工程专业,现就职于中航建发民航工程设计研究院。

大悬挑24m，下弦中心标高15.603m~40.2m。由四片曲面网架构成，网架之间由三榀空腹桁架连接过渡。网架采用正放四角锥，螺栓球和焊接球混合节点，主要网格尺寸3m×3m，网架厚度大部分为2m，前部悬挑处根部厚度3.5m，下弦平滑过渡。屋盖高低相交处的空腹桁架采用箱型截面，相贯焊接节点。屋盖下部为二层钢筋混凝土框架，大厅前局部设一层地下室，一层局部夹层层高4.0m，二层层高3.8m，大厅处局部一层通高7.8m，局部地下一层层高8.0m，框架主要柱网12m×16(12)m，其中支承屋盖柱为50根钢管混凝土柱及14根钢管柱。屋盖与柱顶铰接连接，支座采用抗震球铰支座。

北侧指廊(E区)长85m，宽31m；南侧指廊(F区)长51m，宽31m。指廊主要柱网24m×24m，下弦中心标高20.293m~21.748m，均采用正放四角锥网架，螺栓球节点为主，网格尺寸3m×3m，网架厚度2m。指廊与下部钢筋混凝土框架脱开，其屋盖由钢管柱支承，支座主要采用平板压力支座。

设计中抗震设防烈度为8度，设计基本地震加速度值0.20g，设计地震第三组，场地类别II类。

文中主要针对主楼大厅部分的主结构进行抗震性能分析。

2 多遇地震分析

2.1 结构动力特性

整体计算分析得到的结构自振周期见表1，结构的前4阶振型见图3。结果表明，本工程频率密集，振型复杂，同一振型中往往同时伴随平动、扭转和竖向振动。结构第一振型表现为Y方向为主的平动；第二振型表现为X方向为主的平动，同时伴有少量的扭转；第三振型是以扭转为主的振型；以后振型趋更于复杂。结构的前三阶周期分别为1.318s、1.136s和1.089s，第三周期（扭转周期）和第一周期（平动周期）的周期比为0.83，结构在两个主方向的自振特性较接近。表1给出了Midas和PMSAP计算得到的前30阶周期，可见两个软件的计算结果是基本一致的。另外，结构前几阶振型的质量参与系数均较小，水平方向到前42阶振型质量参与比振型顺序累加才均达到90%以上，而竖向则需要计算到前100阶，振型质量参与比振型顺序累加才能达到90%以上，说明本工程振型很复杂，高阶振型贡献较大，结构抗震分析须

采用较多振型，设计中均取120阶振型。

表1 Midas和PMSAP计算得到的结构自振周期

模态	周期(sec)		模态	周期(sec)	
	Midas	PMSAP		Midas	PMSAP
1	1.318	1.273	16	0.452	0.583
2	1.136	1.229	17	0.432	0.578
3	1.089	1.089	18	0.426	0.551
4	0.843	0.964	19	0.419	0.546
5	0.834	0.859	20	0.413	0.531
6	0.768	0.858	21	0.4	0.517
7	0.759	0.747	22	0.388	0.511
8	0.674	0.722	23	0.387	0.495
9	0.637	0.703	24	0.369	0.492
10	0.615	0.666	25	0.367	0.490
11	0.552	0.646	26	0.365	0.482
12	0.534	0.641	27	0.358	0.480
13	0.517	0.603	28	0.355	0.476
14	0.499	0.596	29	0.352	0.464
15	0.485	0.584	30	0.349	0.451

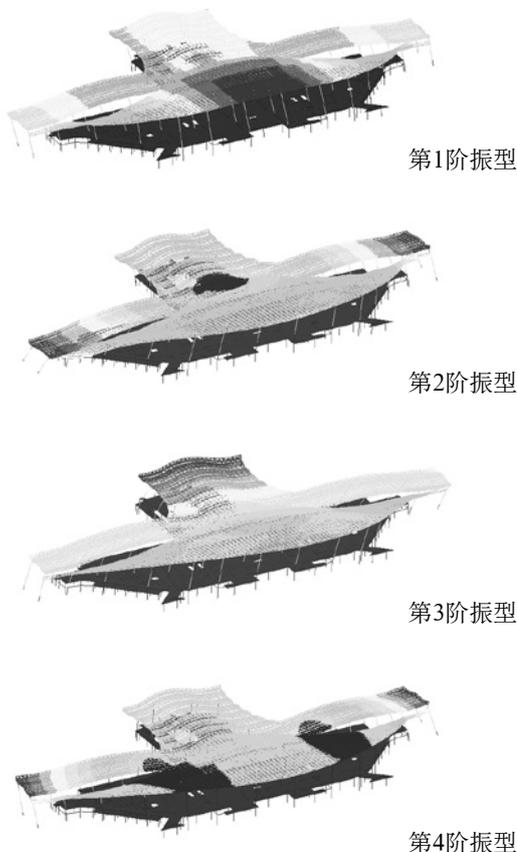


图3 前四阶振型图

2.2 反应谱法分析

2.2.1 屋盖结构计算结果

在屋盖结构的抗震设计中,同时考虑了水平地震和竖向地震作用。在多遇地震($\alpha_{\max}=0.16$)下,屋盖构件设计控制应力比为:一般构件 ≤ 0.85 ,关键构件 ≤ 0.80 ,其中关键杆件按现行抗震规范要求,内力设计值乘以1.15的增大系数。

通过结构整体分析可知,地震作用对屋盖结构大部分杆件内力影响很小,地震作用下较大内力主要集中在柱头支座附近、悬挑根部以及几片网架相交处(空腹桁架及其周边杆件)。水平地震下的内力大于竖向地震作用,其中X向地震作用下局部杆件内力最大,达319kN,但Y向地震作用对杆件内力影响范围更大。

2.2.2 下部结构计算结果

表2给出了Midas和PMSAP结果对比。结果表明,层间位移角远小于规范相关要求,这主要是因为支承屋盖结构的钢管混凝土柱在底部两层框架结构中提供了很大的侧向刚度,表3中钢管混凝土柱和混凝土框架柱承担地震剪力对比可以清楚表明,钢管混凝土柱承担了近40%的柱底剪力。框架部分最大位移比大于1.2,但小于1.5,为平面不规则结构。钢筋混凝土柱的轴压比普遍较小,计算得到的最大轴压比0.30。

表2 Midas和PMSAP结果对比

	Midas		PmSAP	
	X向	Y向	X向	Y向
基底剪力(kN)	66321	68660	78591.6	73748.5
最小剪重比	11.1%	13.3%	8.466 %	8.619 %
最大层间位移角				
1 (4m层高)	1/1351	1/1667	1/1663	1/1693
2 (7.8m层高)	1/1267	1/1407	1/1687	1/1706
3 (7.8m以上支承屋盖)	1/330	1/410	1/979	1/818
底部框架最大位移比				
1 (4m层高)	1.22	1.38	1.17	1.34
2 (7.8m层高)	1.18	1.33	1.19	1.31

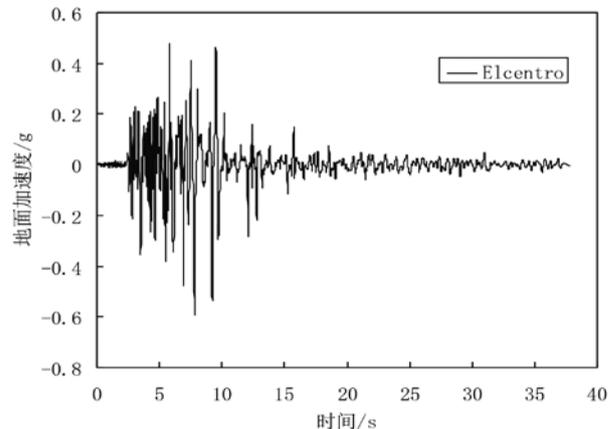
表3 钢管混凝土柱和混凝土框架柱柱底剪力对比

方向	总地震剪力 kN	框架柱承担 kN	框架柱承担百分比	钢管混凝土柱承担剪力 kN	钢管混凝土柱承担百分比
EX	78591.6	49011.9	62.36%	29579.7	37.64%
EY	73748.5	44183.6	59.91%	29564.9	40.09%

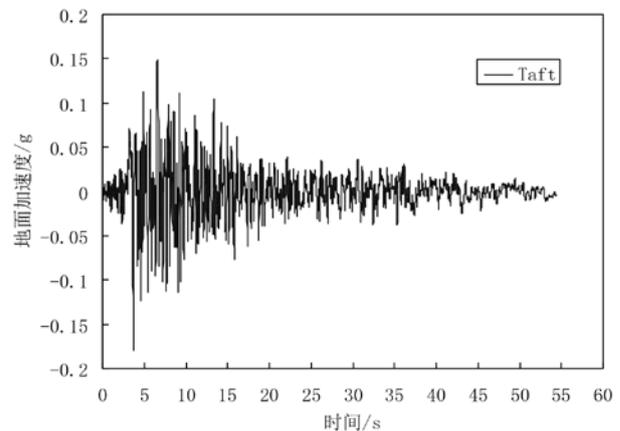
2.3 弹性时程分析

2.3.1 地震波选取

按照现行《抗震规范》要求,根据结构重要性等级、场地条件、反应谱分析结果等,选择了El Centro波(简称El波)、Taft波、US202波、TDX1-2波四条天然波和3条甘肃省地震工程研究院提供的3条场地波(50-1波、50-2波和50-3波)共7条地震波时程曲线(图4,限于篇幅仅给出两条波)。由图5可见,7条地震波的反应谱曲线形状与设计反应谱比较接近,满足地震波选取频谱特性的要求。三向输入以X:Y:Z=1:0.85:0.65或X:Y:Z=0.85:1:0.65,即水平主方向地震波不折减,水平次方向折减0.85,竖向折减0.65。时程分析采用Midas和SAP2000程序,计算时地震波持续时间不少于20s,时距0.02s。



(a) 1979年Elcentro波



(b) 1952年Taft波

图4 时程分析采用的地震加速度时程曲线

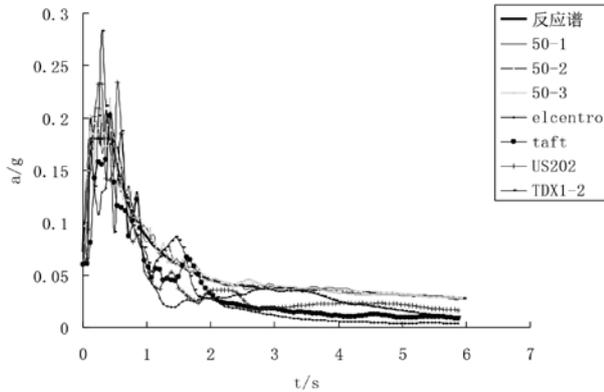


图5 地震波反应谱与设计反应谱的比较

2.3.2 结果分析

① 基底反力

表4、表5为七条地震波计算得到的基底总剪力峰值与反应谱基底总剪力的比较。由表4可以看出，7条地震记录得到的基底剪力峰值均大于振型分解反应谱法结果的65%，且7条地震波得到的基底剪力的平均值大于振型分解反应谱法结果的80%，所选地震波符合现行《建筑抗震设计规范》的要求。从基底总剪力的比较可见，4条天然波中EL波和Taft波地震反应较大，而3条场地地震作用均大于反应谱结果。X向和Y向基底反力比较接近。

表4 MIDAS时程分析与反应谱法基底剪力比较

地震作用方向	地震波	时程分析基底剪力峰值/kN	反应谱法基底剪力/kN	比值	平均值及与反应谱法的比值
X向	El-centro	64287.36	66321.54	96.93%	96.95%
	Taft	56259.76		84.83%	
	US202	54707.75		82.49%	
	TDX1-2	68574.59		103.40%	
	50-1	70582.21		106.42%	
	50-2	67421.60		101.66%	
	50-3	68245.43		102.90%	
Y向	El-centro	68049.64	68660.38	99.11%	97.25%
	Taft	57079.51		83.13%	
	US202	59045.35		86.00%	
	TDX1-2	67644.28		98.52%	
	50-1	68092.87		99.17%	
	50-2	71206.29		103.71%	
	50-3	76310.52		111.14%	

表5 SAP2000时程分析与反应谱法基底剪力比较

地震作用方向	地震波	时程分析基底剪力峰值/kN	反应谱法基底剪力/kN	比值	平均值及与反应谱法的比值
X向	El-centro	69716.19	68432.22	101.88%	99.36%
	Taft	70277.95		102.70%	
	US202	61066.84		89.24%	
	TDX1-2	66644.12		97.39%	
	50-1	68104.84		99.52%	
	50-2	63378.85		92.62%	
	50-3	76756.38		112.16%	
Y向	El-centro	72475.44	73003.17	99.28%	94.41%
	Taft	70872.898		97.08%	
	US202	63359.877		86.79%	
	TDX1-2	66824.364		91.54%	
	50-1	72310.745		99.05%	
	50-2	62775.64		85.99%	
	50-3	73817.234		101.12%	

注：表5中反应谱法基底剪力系采用SAP2000校算结果。

② 弹性分析位移

表6给出了反应谱分析以及7条地震波弹性时程分析得到的钢管混凝土柱最大层间位移角。计算结果表明，7条地震波中6条波结果与反应谱分析结果基本相近，只有El-centro波结果明显偏小。所有结果均满足规范要求。

表6 MIDAS和SAP2000时程分析得到的最大层间位移角

地震作用方向	地震波	MIDAS		SAP2000	
		时程分析	反应谱分析	时程分析	反应谱分析
X向	El-centro	1/685	1/325	1/663	1/323
	Taft	1/386		1/365	
	US202	1/387		1/365	
	TDX1-2	1/351		1/343	
	50-1	1/321		1/318	
	50-2	1/350		1/343	
	50-3	1/330		1/320	
Y向	El-centro	1/737	1/320	1/702	1/316
	Taft	1/320		1/312	
	US202	1/413		1/400	
	TDX1-2	1/322		1/312	
	50-1	1/406		1/398	
	50-2	1/349		1/330	
	50-3	1/363		1/350	

2.4 多点地震时程分析

航站楼中间屋盖结构平面两个方向的尺寸分别为336m和186m,属于超长型结构,应当对该结构进行多点输入地震反应分析。选取了El-centro波、Taft波以及50-1波三条波进行了考虑行波效应的三维多点输入弹性时程分析,并与一致输入分析结果进行对比分析。三条波分析结果规律基本一致,故以El-centro波为例进行具体介绍。

定义行波效应影响系数 ζ 为:

$$\zeta = \frac{\text{行波法下的杆件内力}}{\text{一致输入杆件内力}}$$

根据建筑场地条件,选用2种视波速: $V=250\text{m/s}$, 500m/s 。

2.4.1 屋盖结构

视波速 $V=250\text{m/s}$ 时,屋盖网架的33215根杆件中,行波效应影响系数平均值为1.07。图6给出了网架下弦行波效应影响系数大于1的杆件分布数量柱状图。行波效应系数最大值4.012(杆件:19365),25.7%的杆件行波效应影响系数大于1.2。

视波速 $V=500\text{m/s}$ 时,屋盖网架的33215根杆件中,行波效应影响系数平均值为0.76。图7给出了网架下弦行波效应影响系数大于1的杆件分布数量柱状图。行波效应系数最大值5.431(杆件:19365),11.5%的杆件行波效应影响系数大于1.2。

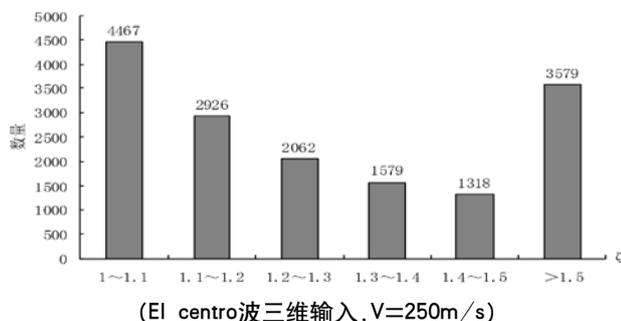


图6 网架行波效应系数大于1的杆件数量分布图

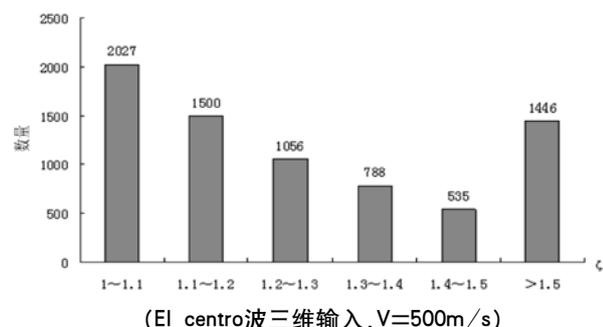


图7 网架行波效应系数大于1的杆件数量分布图

计算结果表明,多点输入下,视波速越大对结构上部网架杆件的内力影响越小。

2.4.2 支撑屋盖柱

同样可以定义支承屋盖的钢管混凝土柱内力的行波效应系数,限于篇幅,仅给出柱底剪力的行波效应系数。分析结果表明,与屋盖一样,多点输入下对X方向的柱底剪力影响要大于Y向的剪力,而视波速越大影响越小。

3 罕遇地震下的弹塑性时程分析

弹塑性分析采用通用有限元分析软件Midas分析,根据多遇地震下弹性时程分析的计算结果,地震波选用具有典型意义的3条地震波,即:El Centro波、Taft波和50-1场地波,所有三维地震波输入工况为 $X:Y:Z=1:0.85:0.65$ 和 $X:Y:Z=0.85:1:0.65$ 。根据建筑抗震设计规范,罕遇地震下的8度大地震波最大加速度峰值调整至 400cm/s^2 。

3.1 塑性铰特性及设置

Midas的杆件单元为集中塑性铰模型,塑性铰的广义力-变形关系如图8所示。图中,A为起始原点,B为杆件屈服点,C为杆件极限强度点,D为杆件残余强度点,E为杆件完全破坏、退出工作;IO(Immediate Occupancy)表示杆件有轻微损伤,不需修复就可继续使用;LS(Life Safety)表示杆件较严重的破坏但尚不危及生命安全,修复后可继续使用,但不一定经济;CP(Collapse Prevention)表示接近倒塌阶段,杆件严重破坏,即将出现或已经出现强度退化,已不可修复使用,但尚能承受重力荷载而避免倒塌。IO、LS、CP三者数值信息用于基于性能的抗震设计,对结构的计算结果没有影响。MIDAS分析程序中的level 1~5分别对应的B-IO段、IO-LS段、LS-CP段、CP-C段和D-E段。

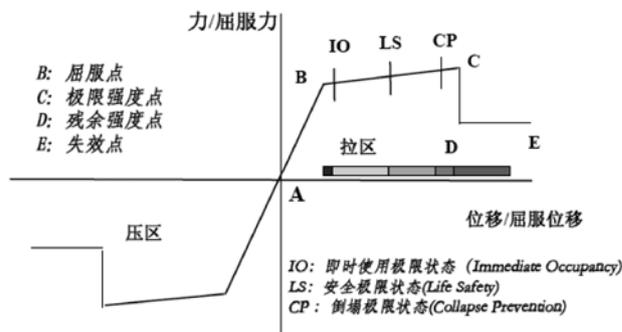


图8 塑性铰的广义力-变形关系

根据航站楼结构不同部位构件的受力特点，定义如下两种塑性铰：

a) P铰，以承受轴力为主的杆件为P铰，如：网架和桁架的杆件；

b) PMM铰，同时承受轴力和弯矩的构件，钢管混凝土柱、钢筋混凝土柱和框架梁为PMM铰。

动力弹塑性分析采用MIDAS提供的非线性直接积分方法。考虑了几何非线性（P- Δ 效应）影响，阻尼系数取为0.05。

3.2 罕遇地震反应分析结果

3.2.1 基底剪力及结构位移

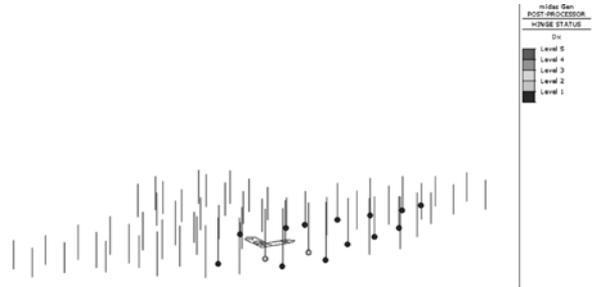
表7 弹塑性时程分析基底剪力及层间位移角

地震作用方向	地震波	时程分析基底剪力峰值/kN	钢管混凝土柱最大层间位移角	框架柱最大层间位移角
XYZ向	El-centro	197910.71	1/170	1/133
	Taft	201802.15	1/160	1/173
	50-1	183043.03	1/161	1/158
YXZ向	El-centro	235727.55	1/81	1/170
	Taft	216314.89	1/80	1/148
	50-1	217683.26	1/52	1/196

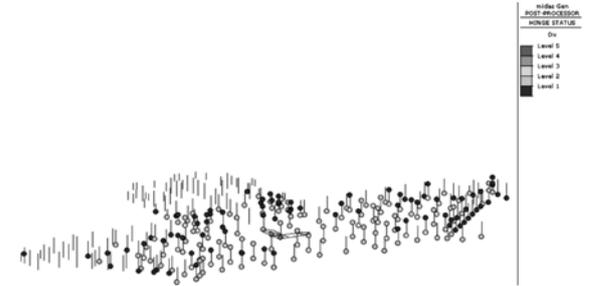
由表7可知，在罕遇地震作用下结构最大层间位移角均小于《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）1/50的要求，而且小于4倍弹性位移限制。

3.2.2 塑性铰出铰情况

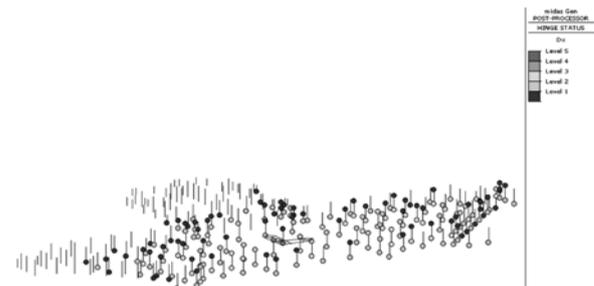
El-centro波、Taft波以及50-1波三条波计算结果基本一致，限于篇幅，仅给出El-centro波下结构塑性铰出铰情况。



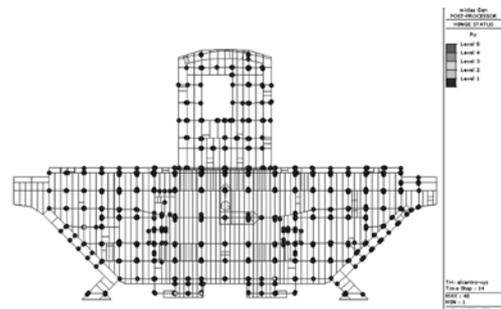
(b) 支撑屋盖柱子 (yxz)



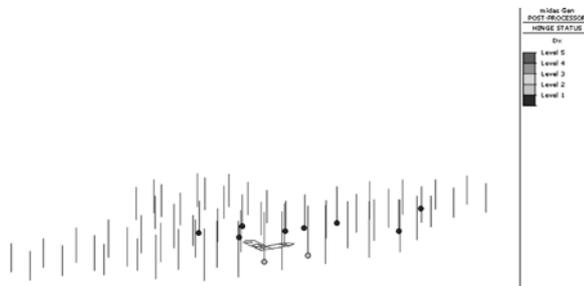
(c) 框架柱 (xyz)



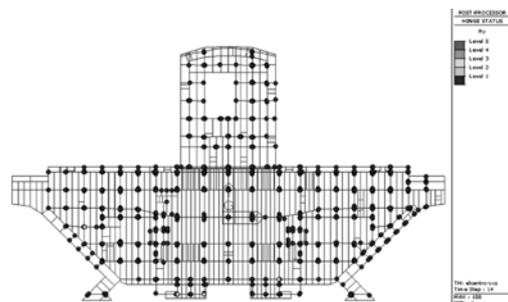
(d) 框架柱 (yxz)



(e) 框架梁 (xyz)



(a) 支撑屋盖柱子 (xyz)



(f) 框架梁 (yxz)

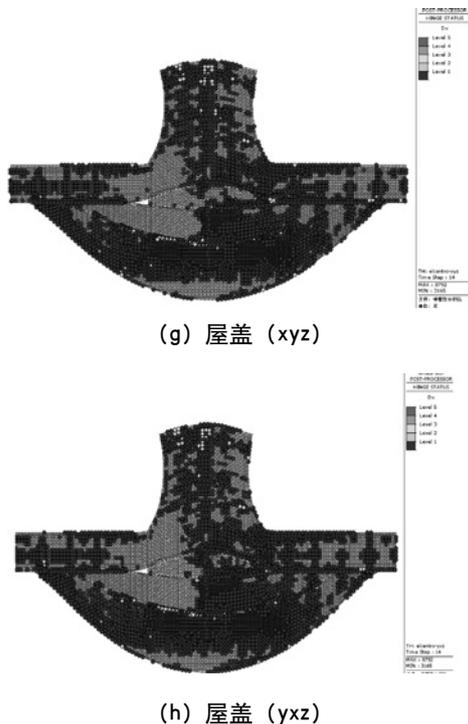


图9 大震下结构杆件塑性铰分布图(EI-centro波)

由图9可见，在罕遇地震作用下支撑屋盖的钢管混凝土柱大部分处于弹性或轻微破坏，只有极个别杆件破坏稍严重，但能保证大震不倒塌；屋盖、框架梁基本都处于弹性或轻微破坏；大部分钢筋混凝土框架柱处于可修复阶段，只有极个别柱刚达到极限强度，故可保证大震不倒塌。

4 结论

1、在静力荷载和多遇地震作用下，本工程计算得到的各项控制指标均满足或严于现行规范要求。

2、本工程频率密集，振型复杂，同一振型中往往同时伴随平动、扭转和竖向振动。

3、地震作用对屋盖大部分杆件内力影响很小，地震作用下较大内力杆件主要集中在柱头支座附近、悬挑根部以及几片网架相交处。

4、屋盖杆件内力在水平地震下大于在竖向地震作用下。

5、多点输入地震作用下，视波速越大对结构内力影响越小。

6、罕遇地震作用下弹塑性时程分析表明，本工程抗震关键构件刚刚进入塑性或出现轻微塑性破坏，层间位移角小于4倍的弹性位移限制，实现

了大震作用下结构不倒塌。

参考文献

- [1] 《钢结构设计规范》GB50017-2003. 北京：中国计划出版社，2003.
- [2] 《空间网格结构技术规程》JGJ7-2010. 北京：中国建筑工业出版社，2010
- [3] 《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 . 北京：中国建筑工业出版社，2010
- [4] 蓝天，张毅刚. 大跨度屋盖结构抗震设计[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2000
- [5] 沈顺高，张微敬，朱丹等. 大跨度机库结构多点输入地震反应分析[J]. 土木工程学报，2008，Vol.41(2)：17-21.

博物馆文物微振疲劳试验与分析研究

■ 葛家琪 马伯涛 「结构」

摘要: 地铁诱发振动对博物馆文物的影响属微振动疲劳损伤, 为保证文物安全, 开展地铁振动对馆藏文物影响的试验研究与数值分析。进行文物材料静力试验、疲劳试验和相应有限元计算分析, 深入分析文物材料的力学性能变化规律、静力及动力效应。研究表明: 文物材料静力强度介于5MPa~28MPa之间; 疲劳试验频率设定于10Hz~20Hz之间, 在交变荷载峰值为自身静力强度30%的换算荷载作用下, 文物材料能够经受100万次疲劳振动不发生破坏; 速度幅值为1mm/s时, 在1~80Hz频率范围内, 文物模型最大动应力值远小于其疲劳强度, 不会发生微振动损伤; 频率一定时, 速度幅值与文物模型最大动应力值呈线性增加关系, 故可以通过限制振动速度幅值来控制文物动应力值, 保证博物馆文物的安全。

关键词: 馆藏文物; 交通振动; 疲劳试验

博物馆馆藏文物能够反映某个历史时期有关社会历史的发展, 具有特别重要的历史、艺术和科学价值, 保护文物是博物馆的重点工作。成都博物馆临近成都地铁二号线, 文物库房与地铁最近处不足20米, 地铁振动会对馆藏文物产生一定的影响, 造成微振动疲劳损伤^[1-3]。目前, 国内外对交通振动下文物安全研究成果较少^[4-6], 缺乏针对文物的微振疲劳损伤试验研究。因此, 开展交通振动对文物微振动疲劳损伤研究具有一定的必要性。

为保证成都博物馆馆藏文物的安全, 在已进行的交通振动下博物馆馆舍动力响应试验研究基础上, 探究列车振动对馆藏文物的影响, 确定重要的振动控制指标。实际工程结构中, 振动速度、加速度、位移与结构体系的应力存在明显的正相关关系, 可以通过确定振动速度、加速度、位移与应力的具体对应关系来确定文物安全的控制指标范围。研究表明^[7], 与建筑物应力最直接相关的振动量是速度, 故本文选用振动速度峰值(PPV, Peak Particle Velocity)作为主要控制指标进行博物馆文物防振安全研究。

有限弹性介质中一维波动方程为:

$$\varepsilon(x_0) = A \cos \left[w \left(t - \frac{x}{u} \right) + \varphi \right] \quad (1)$$

其简谐解为 $\frac{\varepsilon}{v} = -\frac{1}{u}$, 即 $\varepsilon = -\frac{v}{u}$

由此可知, 弹性介质上任何一点的动应变 ε (动应力 σ) 与该处质点速度成正比, 与弹性波的传播速度成反比。文献^[7]相关文献表明, 在波动应力作用下, 结构任一处的动应力(动应变)与该处质点振动速度和弹性波传播速度有关, 将结构所承受的动应力(动应变)控制在疲劳强度以下, 即可根据弹性波传播速度求得结构保持安全性所能承受的容许振动速度值。

本文旨在通过馆藏文物微振疲劳试验研究结论来评价轨道交通振动下文物的安全性, 建立交通振动下馆藏文物安全性的量化评价指标。首先, 针对成都博物馆提供的卵石(成都石)和陶瓷块(有釉和无釉), 通过静力试验确定文物材料的静力强度, 再将此强度的30%作为疲劳强度进行荷载换算, 利用换算的荷载进行疲劳试验。其次, 建立ANSYS振动有限元模型, 计算文物模型在加速度作用下的动应力响应, 分析得到动应

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

力与速度、频率的对应关系，通过控制振动速度来控制文物动应力值，保证成都博物馆文物的安全。具体的研究流程如图1所示。

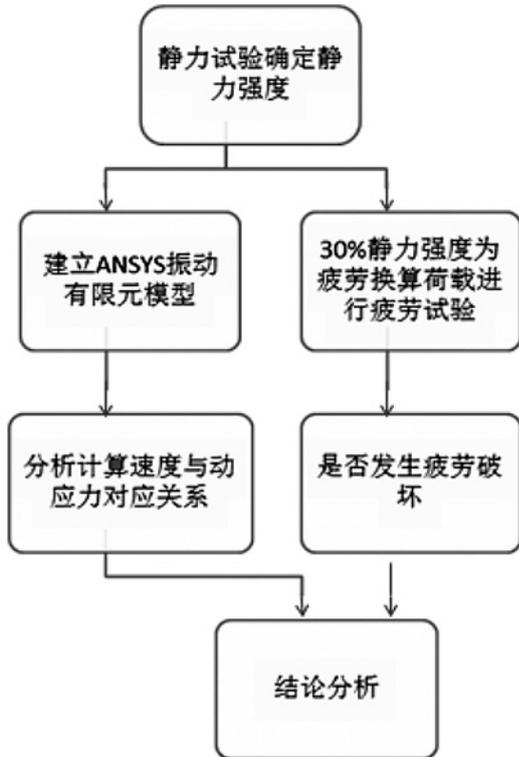


图1 研究流程图

1 静力试验研究

为探究列车振动对文物力学性能的影响，需获得文物本身的静力强度。本文根据GB/T 3810.4-2006《陶瓷砖试验方法》，对成都石、陶块（有釉）、陶块（无釉）三种文物材料直接施加静力荷载，采用三点弯加载方法得到荷载—位移曲线，并利用静力学受弯构件的应力计算公式，计算试件的静力强度，得到试验材料各自的材料强度和力学性能。

将成都石、陶块（有釉）、陶块（无釉）三种原材料加工成15块标准试件，长、宽、高分别为10cm、5cm、2cm，误差1cm内，试块尺寸如图2所示。

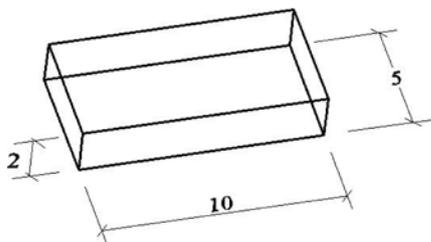


图2 试件尺寸（单位cm）

三点弯加载试验中，随着弯矩增大，试件下部变形增大，当试件下部受拉区达到最大拉应力而破坏时，把此时的最大拉应力作为材料的静力强度。

集中荷载作用下，试件在跨度方向的弯矩为：

$$M = \begin{cases} \frac{Fx}{2} & (0 \leq x < \frac{L}{2}) \\ \frac{Fx}{2} - F\left(x - \frac{L}{2}\right) & (\frac{L}{2} \leq x \leq L) \end{cases} \quad (2)$$

其中 在跨中最大：

$$M_{\text{中}} = \frac{FL}{4} \quad (3)$$

由静力学可得受弯构件应力计算公式：

$$\sigma = \frac{6M}{bh^2} \quad (4)$$

在跨中位置处应力最大：

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (5)$$

其中F为极限荷载，L为跨距，b为截面宽度，h为截面高度。

根据式(5)计算得到峰值应力（即：材料的静力强度），如表1所示。通过对成都石、陶块（有釉）和陶块（无釉）的静力试验得出，不同类别的文物材料具有不同的力学性质，三种文物材料的静力强度范围如表2所示，其中最小静力强度为5MPa。

表1 静力试验数据

编号	加载峰值/kN			应力/MPa		
	成都石	陶块(有釉)	陶块(无釉)	成都石	陶块(有釉)	陶块(无釉)
1	2.62	1.5	0.36	26.57	19.57	5.14
2	2.9	0.86	1.34	23.24	11.73	12.04
3	5.86	2.34	0.56	24.34	18.8	10.94
4	3.48	—	1.86	27.88	—	22.32
5	1.9	—	—	21.92	—	—
均值	3.35	1.56	1.03	24.79	16.7	12.61

表2 文物材料静力强度

文物材料	成都石	陶块 (有釉)	陶块 (无釉)
静力强度范围 (MPa)	21.92~27.88	11.73~19.57	5.14~22.32

2 疲劳试验研究

交通振动对成都博物馆文物的影响属于微振动疲劳损伤,其振动具有连续性、长期性等特征。本文疲劳试验重点研究成都石、陶块(有釉)、陶块(无釉)三种不同文物材料在特定控制频率下,100万次交变荷载作用后的力学性能变化和文物材料疲劳破坏现象。

2.1 试验设计

本次疲劳试验将原材料加工成13块标准试件,长、宽、高分别为10cm、5cm、2cm,误差1cm内,试块形状同静力试验,见图2。将13块标准试件按照不同的文物材料分为三组,以各组材料静力强度的30%作为破坏强度进行荷载换算,并将此换算荷载用于三点弯曲循环加载,试验加载装置如图4所示。在材料疲劳试验机MTS (Material Test System) 上设置最大循环周次为100万次,控制特定的加载频率,对各个试件进行疲劳试验。观察试验现象并读取荷载控制—反馈曲线、峰值荷载等数据,最后进行试验结论分析。

2.2 试验过程及理论分析

研究表明^[8],低于1/2静力强度循环荷载作用下,疲劳对陶瓷强度退化的作用更大,故本文中,成都石和陶块(有釉)以其静力强度的30%作为破坏强度标准。由于试验机加载精度所限,无法施加0.2kN及以下的交变荷载,陶块(无釉)按静力强度的30%作为破坏强度换算得到的峰值荷载过小,故陶块(无釉)取静力强度的60%进行疲劳荷载换算。通过静力受弯构件的应力计算公式能够反算出各个试件应施加的最大荷载,如表3所示。

由静力试验研究可知受弯试件的最大应力:

$$\sigma_{\max} = \frac{3FL}{2bh^2} \quad (5)$$

即可得到试件需加的峰值荷载:

$$F = \frac{2\sigma bh^2}{3l} \quad (6)$$

其中, F 为峰值荷载, L 为跨距, b 为截面宽度, h 为截面高度。

表3 疲劳破坏强度及换算荷载

文物材料	成都石	陶块 (有釉)	陶块 (无釉)
破坏强度 (MPa)	6.576	3.519	3.084
换算峰值荷载范围(kN)	0.97~1.67	0.26~0.50	0.28~0.40

在材料试验机上调整好两端支座间的标距(90mm)并固定,分三组将各试件按编号由小到大的顺序依次架在试验台座上进行试验。设置最大循环周次为100万次,控制特定的加载频率,开始加载并观察试验现象,现场试验如图4所示。试验完成后,保存荷载控制—反馈曲线及试验数据。

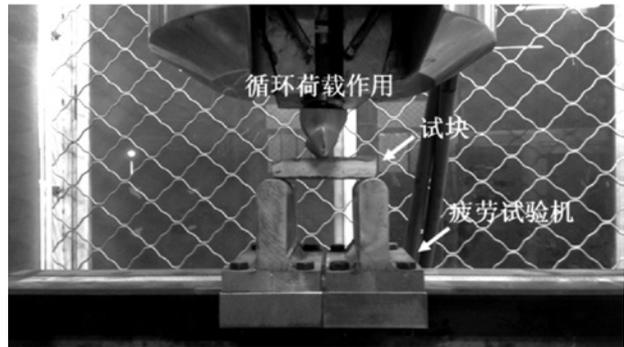


图4 现场疲劳试验图

2.3 结果分析

第一组为成都石,控制频率为20Hz,交变荷载峰值介于0.97kN~1.67kN时(静力强度30%的换算荷载),成都石经受100万次疲劳振动未发生断裂和疲劳破坏。第二组为陶块(有釉),控制频率为11Hz,交变荷载峰值介于0.26kN~0.50kN时(静力强度30%的换算荷载),经受100万次疲劳振动未发生断裂和疲劳破坏。第三组为陶块(无釉),控制频率为10Hz,交变荷载峰值介于0.28kN~0.40kN时(静力强度60%的换算荷载),经受100万次疲劳振动未发生断裂和疲劳破坏。

综上所述,疲劳试验控制频率于10Hz~20Hz之间,在交变荷载峰值为自身静力强度30%的换算荷载作用下,文物材料能够经受100万次疲劳振动

而不会发生疲劳破坏, 确保博物馆文物安全。

3 文物振动计算机仿真分析

由于试验方法难以获得振动速度、频率与动应力的对应关系, 本文通过建立ANSYS有限元模型分析博物馆文物在交通振动下的动应力响应, 得到博物馆楼板振动速度与文物动应力的对应关系。

3.1 文物有限元模型

根据成都博物馆馆藏文物情况选取相似展品, 建立文物有限元模型, 探讨文物应力变化。尺寸较大的文物模型计算应力值大于尺寸较小的文物模型, 为取包络, 选取尺寸较大的馆藏文物(花瓶), 建立ANSYS有限元模型, 底座直径40cm, 中台直径50cm, 顶部直径20cm, 高度为100cm, 厚度2cm, 整体为直径变化的空心圆柱体, 如图5所示。模型采用实体单元SOLID45, 以边线尺寸为5cm的四面体进行网格划分。约束方式为底面固接(即: 约束X、Y、Z三个方向的自由度, 不约束转动)。

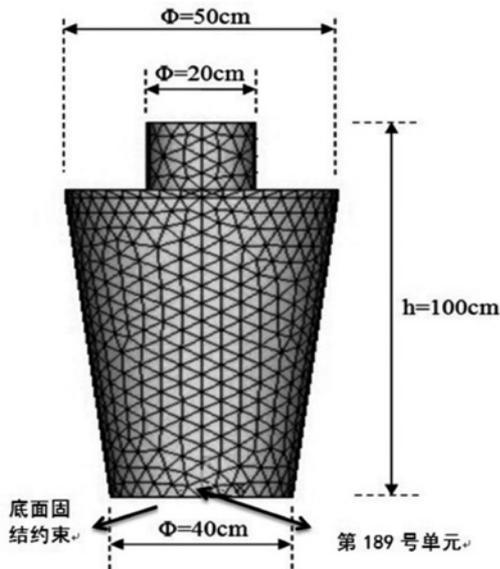


图5 有限元文物模型

文物模型的材料属性与前述静力及疲劳试验试块相同, 如表4所示。其中, 根据静力试验的荷载一位移曲线和试块尺寸可以获得文物材料的弹性模量。由静力学公式可知, 在跨中集中力作用下, 试件中部最大位移为:

$$f = \frac{FL^3}{48EI} \quad (7)$$

$$\text{换算可得弹性模量为: } E = \frac{FL^3}{48fI} \quad (8)$$

计算得到的文物模型弹性模量范围为1~3GPa, 如表5所示。

表4 文物模型材料参数

材料	厚度 (m)	密度 (kg/m ³)	弹性模量(GPa)	泊松比	阻尼比
陶瓷	0.02	2600	1~3	0.25	0.02

表5 弹性模量取值范围

文物材料	成都石	陶块 (有釉)	陶块 (无釉)	总范围
弹性模量 E/GPa	1.5~3.1	1.2~2.3	0.98~1.3	1~3

3.2 振动荷载输入方式研究

本文有限元模型采用时程分析的方法探讨振动加速度对文物应力的影响。交通振动引起的文物响应属于简谐振动, 速度方程为:

$$v = A \sin(\omega t + \varphi) \quad (9)$$

对求导即可得振动加速度, 且取速度限值取1mm/s, 则:

$$a = 0.001 \cdot 2\pi f \cdot A \cos(\omega t + \varphi) \quad (10)$$

式中f为振动频率。本文振动频率范围取1~80Hz。

3.3 模型自振频率

进行模态分析, 得到两种边界弹性模量下文物模型水平方向与竖向的自振频率, 如表6所示。模态分析可得, 水平方向自振频率低于竖直方向自振频率。水平方向自振频率在1~80Hz范围内, 激振频率与自振频率相同时会发生共振现象; 竖直方向自振频率大于80Hz, 不会发生共振现象。

表6 模型自振频率

弹性模量 (GPa)	3	1
水平自振频率 (Hz)	59	34
竖向自振频率 (Hz)	144	83

3.4 文物动应力响应及频率影响分析

3.4.1 频率影响分析

为得到1mm/s速度幅值时单元动应力的最大计算值,分别对文物模型施加水平和竖直方向简谐加速度,加载方式为水平和竖直方向分别激振5个周期,然后激振为零。对两种不同的弹性模量工况,分别计算不同频率下单元应力响应的最大值,计算结果及应力响应变化规律如图6所示。

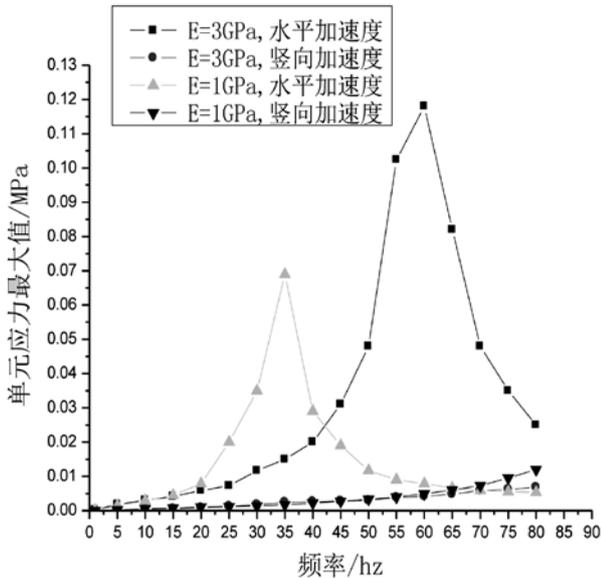


图6 单元应力最大值

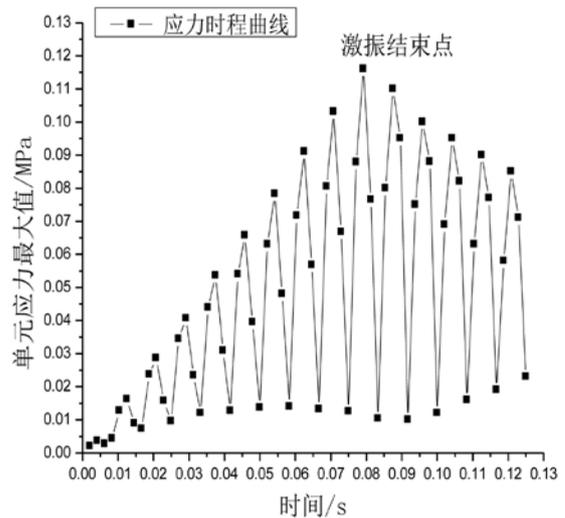
可见,单元应力最大值与文物自振频率有关,激振频率越接近自振频率,动应力响应值越大。在水平加速度作用下,激振频率为60Hz时,弹性模量为3GPa的模型动应力达到最大值;激振频率为35Hz时,弹性模量为1GPa的模型动应力达到最大值,这主要是由于激振频率与文物自振频率相近,发生共振现象,对文物不利。竖向加速度作用下,激振频率(1~80Hz)小于自振频率,两种弹性模量的模型动应力与激振频率均呈正相关关系。

3.4.2 文物应力分析

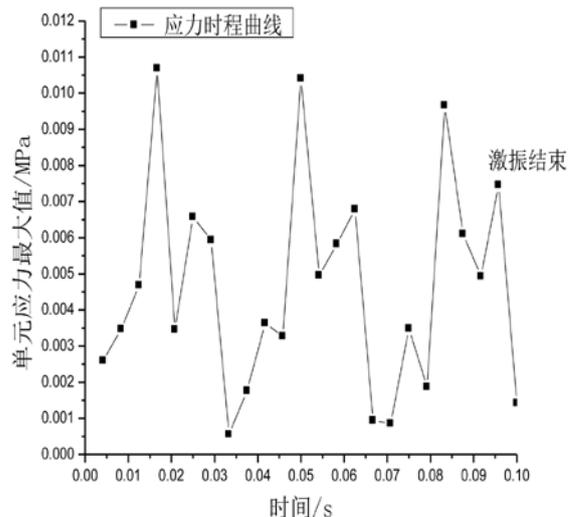
为确定应力变化情况,特选取在水平加速度作用下应力最大的189号单元(单元位置见图5),分析其在自振频率与非自振频率情况下的应力时程曲线,如图7所示。对比分析可知,在激振频率与自振频率相同(即共振)时,单元应力时程曲线峰值在激振时间内呈正相关关系,激振作用结束时应力响应最大;在非共振时,单元应力时程曲线峰值随激振时间趋于平稳,变化不大。水平加速度激振5个周期时,在E=1GPa工

况下, $f=35\text{Hz}$ (共振)时,单元应力响应值最大,为0.07MPa,见图7c;在E=3GPa工况下, $f=60\text{Hz}$ (共振)时,单元应力响应值最大,为0.12MPa,见图7a。

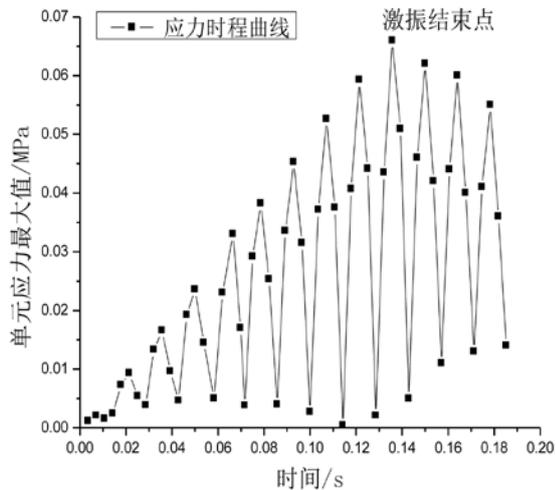
分析可得,当速度幅值为1mm/s时,最不利状态为E=3GPa, $f=60\text{Hz}$,此时水平加速度激振5个周期引起的文物模型应力响应值最大(0.12MPa),是最小的静力强度(5MPa)的2.4%,远小于其疲劳强度,此时,文物模型对加速度的应力响应值没有超限,文物不会发生振动损伤;竖向加速度作用下,激振频率(1~80Hz)小于模型自振频率,文物模型应力最大响应值均很小,视为文物安全。



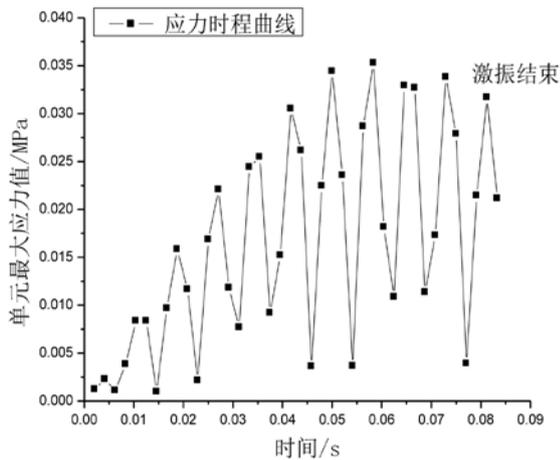
(a) E=3GPa, $f=60\text{Hz}$



(b) E=3GPa, $f=30\text{Hz}$



(c) E=1GPa, f=35Hz



(d) E=1GPa, f=30Hz

图7 189号单元应力时程曲线

3.5 不同速度幅值对文物动应力的影响分析

在保证博物馆文物安全的基础上,为了量化速度限值,本文利用该有限元模型分析速度幅值与动应力的关系,计算水平加速度在激振5个周期作用下,两种较不利工况(E=3GPa, f=60Hz和E=1GPa, f=35Hz)对应的单元最大动应力值,分析文物模型在较不利的共振频率下,不同速度幅值对动应力的影响。其中,速度幅值分别取1mm/s、2mm/s、3mm/s、4mm/s,分析结果如图8所示。

从图8中可以得到,在频率一定的情况下,水平加速度激振5个周期引起的单元最大应力值随速度幅值的增加呈线性增长关系。本文建议,可以通过控制振动速度幅值来约束文物的应力值,以保证成都博物馆文物的安全。

弹性模量E=1GPa, f=35Hz时,最大应力与

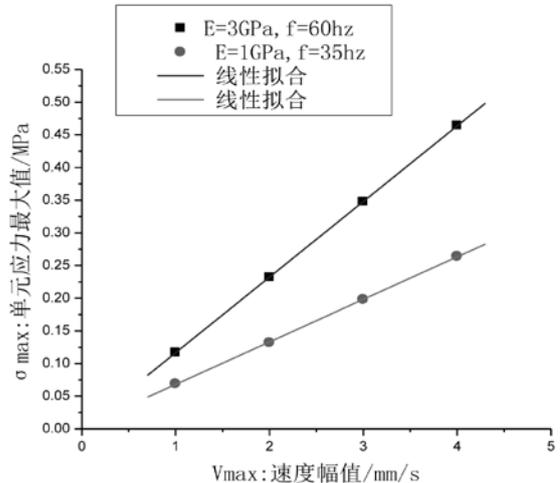


图8 不同速度幅值单元应力最大值

速度峰值线性拟合方程为:

$$\sigma_{\max} = 0.0650 \cdot v_{\max} + 0.0031 \quad (11)$$

弹性模量E=3GPa, f=60Hz时,最大应力与速度峰值线性拟合方程为:

$$\sigma_{\max} = 0.1157 \cdot v_{\max} + 0.0010 \quad (12)$$

由图8可知,两种工况相比, E=3GPa, f=60Hz时的应力值较大,为最不利情况。以疲劳强度(30%静力强度)1.5MPa为最大动应力限值时,可得振动速度幅值的限值为13mm/s。

4 结论

本文为了研究交通振动对成都博物馆馆藏文物的影响,进行了微振动疲劳损伤试验研究和有限元分析。主要结论如下:

(1) 疲劳试验控制频率于10Hz~20Hz之间,在交变荷载峰值为自身静力强度30%的换算荷载作用下,文物材料能够经受100万次疲劳振动而不会发生疲劳破坏。

(2) 试验加载速度幅值为1mm/s时,在1~80Hz频率范围内,竖向和水平方向加速度作用下,所得文物模型最大应力响应值为0.12MPa,为最小的静力强度(5MPa)的2.4%,远小于其疲劳强度(30%静力强度),文物内应力值不会超限,文物不会发生微振动损伤。

(3) 在频率一定的情况下,速度幅值与单元

最大动应力值呈线性增加关系,可以通过控制振动速度幅值来约束文物的动应力值,以保证成都博物馆馆藏文物的安全。

参考文献

[1] 王耀峰. 地铁振动对博物馆建筑及文物影响研究[D].北京交通大学,2011: 1-5.

WANG Yaofeng. Simulation of subway vibration and its effect on museum structures and cultural relic. [D]. Beijing Jiao tong University.2011: 1-5 (in Chinese)

[2] 夏倩, 屈文俊. 地铁振动对既有砌体结构影响规律及因素数值分析[J]. 振动与冲击, 2014, 33(6): 189-194+200.

XIA Qian, QU Wenjun. Numerical analysis on metro train-induced vibrations and their influenced and affecting factors on existing masonry building [J]. Journal of vibration and shock, 2014, 33(6): 189-194+200. (in Chinese)

[3] 成都博物馆新馆地铁所致振动控制计算分析和试验研究理论分析报告 [R].中国航空规划建设,北京交通大学.2011.

The analysis of vibration control and experimental study of the theoretical analysis to Chengdu New Museum caused by subway. [R]. Chinese Aviation Planning and Construction Co. Ltd., Beijing Jiao tong University. 2011 (in Chinese)

[4] 葛家琪, 马伯涛, 庞玉涛等. 汽车所致虎门遗址振动全过程性能化研究[J]. 振动与冲击, 2014, 33(14): 95-100+131.

GE Jiaqi, MA Botao, PANG Yutao, et al. Whole process performance-based analysis on vibration of Humen site induced by automobile running [J]. Journal of vibration and shock, 2014, 33(14): 95-100+131. (in Chinese)

[5] 贾颖绚, 郭猛, 刘维宁. 列车振动荷载对古建筑的动力影响 [J].北京交通大学学报, 2009,33(1):118-122.

JIA Yingxu, GUO Meng, LIU Weining. Dynamic effect of train-induced vibration on historic buildings. [J].Journal Beijing Jiao tong University. 2009,33(1):118-122. (in Chinese)

[6] Luc SchiUemans. Impact of Sound and Vibration of the North-South High-Speed Railway Connection

Through the City of Antwerp Belgium[J]. Journal of Sound and Vibration, 2003, 267: 637-649.

[7] GB/T 50452-2008古建筑防工业振动技术规范[S]. 中华人民共和国,2009

GB 50452T-2008. Technical specifications for protection of historic buildings against man-made vibration. [S] People's Republic of China, 2009 (in Chinese)

[8] 孙立. 氧化铝陶瓷的静疲劳与循环疲劳特性及寿命分析[J]. 陶瓷研究报, 1999, 14(4): 1-4.

SUN Li. Static and cyclic fatigue behavior and lifetime evaluation of Al₂O₃ [J]. Ceramic Studies Journal, 1999, 14(4): 1-4. (in Chinese)

智能化系统设计中常见的 UPS配置问题探讨

■ 白雪婧 刘静 「电气」

摘要: 工程设计,尤其是智能化系统设计过程中,经常会遇到不间断电源(Uninterruptible Power System/Uninterruptible Power Supply, UPS)的容量选择问题。UPS容量及供电时间该如何确定;UPS应该集中设置,还是分散由设备自带;因UPS而多预留的设备用房面积等,一直是设计过程中值得探讨的问题。本文总结了智能化系统设计过程中常见的UPS使用场合,对相关规范进行了解读分析,并对每种场合下UPS的选用进行了经济性、合理性分析。

关键词: 智能化系统设计; UPS选用; 经济性

0 引言

基于智能化设备用电的连续性、可靠性要求,不间断电源(Uninterruptible Power System/Uninterruptible Power Supply, UPS)在智能化系统设计中的应用越来越广泛。

在智能化系统设计过程中对于UPS的选择主要存在UPS容量以及配置方式的问题。UPS容量一般涉及输出功率和电池续航时间问题;UPS配置方式主要分为“集中式”和“分散式”两种。

为求精细、经济设计,在UPS方案选择时,应依据需求综合考虑经济性、合理性、场地条件等因素以确定最终方案,做到既满足需求,又避免因留有太多余量而浪费。

1 智能化系统设计中UPS供电需求

一般的工业建筑设计中,遇到的智能化系统主要包括以下几种:(1)火灾自动报警系统;(2)安全防范工程系统:a.入侵报警系统、b.视频安防监控系统、c.出入口控制系统;(3)用户电话交换机系统;(4)信息网络系统;(5)公共广播系统;(6)电子会议系统;(7)视频显示系统;(8)电子信息系统机房等。

在日常设计中,对(1)(2)(3)(4)系统,设计人员都会根据规范设计UPS电源,其中信息网络系统包括电子信息系统设备及综合布线系统;对(5)公共广播系统,当其与消防广播合用时,需按照火灾自动报警系统要求设置消防电源;对(8)电子信息系统机房,将根据等级设计不间断电源系统,不间断电源的供电时间应能满足信息存储的要求;其他如(6)(7)提及的系统,如甲方无特殊使用要求,一般设置普通电源。

作者简介:白雪婧,女,助理工程师,2013年毕业于北京航空航天大学交通信息工程及控制专业,现就职于中航建发飞机工程设计研究院。

本文对各智能化系统所对应的规范及手册内容进行了解读、分析和总结。如表1所示：

表1

系统名称	子系统名称	规范或手册	内容	备注
火灾自动报警系统		《火灾自动报警系统设计规范》 ^[11] (GB 50116-2013) 10.1.4条	消防控制室图形显示装置、消防通讯设备等的电源宜由UPS电源装置或消防设备应急电源供电。	设计过程中系统应采用设备自带的蓄电池或消防设备应急电源作为备用电源。日常设计中，我们通常采用备用蓄电池的方式，本文不做更多讨论。
安防系统		《安全防范工程技术规范》 ^[2] (GB 50348-2004) 3.12.5条	电源质量应满足：允许断电持续时间为0~4ms	为满足该条文，在一般工业建筑安防系统设计时，UPS电源是安防系统最常用的备用电源。
		《民用建筑电气设计规范》 ^[3] (JGJ 16-2008) 14.9.6条	监控中心电源设计应符合：重要建筑的安全防范系统，应采用在线式不间断电源供电，不间断电源应保证系统正常工作60min。其他建筑的安全技术防范系统宜采用不间断电源供电。	
	入侵报警系统	《入侵报警系统工程设计规范》 ^[4] (GB 50394-2007) 8.0.1条	应有备用电源，并应能自动切换，切换时间不应改变系统工作状态，其容量应能保证系统连续工作不小于8h。备用电源可以是免维护电池和/或UPS电源	可见UPS也是常用的备用电源选择。
	视频安防监控系统	《视频安防监控系统工程设计规范》 ^[5] (GB50395-2007) 8.0.1条	“摄像机供电宜由监控中心统一供电或由监控中心控制的电源供电”	工程实际中，将摄像机等前端设备视作系统重要设备，依据GB50348规范第3.12.3条，应配备相应的备用电源装置。规范并没有对视频安防监控系统提出具体的连续供电要求，日常设计中，视频监控系统UPS持续时间可根据JGJ-16对于监控中心电源设置要求设置为1h。
	出入口控制系统	《出入口控制系统工程设计规范》 ^[6] (GB 50396-2007) 8.0.1条	“备用电源可使用二次电池及充电器、UPS电源、发电机”“备用电源应保证系统连续工作不少于48h”	项目设计过程中大多选择二次电池或UPS电源作为出入口控制系统的备用电源
用户电话交换系统		《用户电话交换系统工程设计规范》 ^[7] (GB/T 50622-2010) 13.1.4条	当采用交流供电方式时，应采用不间断电源 (UPS) 供电系统	其中13.1.5条“调度交换机电源冗余量不应小于50%”
信息网络系统		《电子信息机房设计规范》 ^[8] (GB 50174-2008)	“电子信息设备应由不间断电源系统供电”，不间断电源系统的基本容量可按照不小于电子信息设备计算负荷的1.2倍进行计算；	结合《工业与民用配电设计手册》 ^[9] (第三版) P67~68规定，设计中将电源容量的倍数取为1.3倍。电池持续供电时间应能满足信息存储要求 ^[8] ，对于A、B级机房，当设置柴油发电机组作为后备电源时，不间断电源供电时间需≥15min。

2 UPS的选择

在UPS选型时，有两个关键的技术指标，即UPS容量和UPS持续供电时间。除此之外，设计者在选型时还应关注UPS的输入、输出电压；UPS的尺寸大小；UPS的前后左右操作及检修空间；UPS的发热量等问题。

2.1 UPS容量及持续供电时间的估算

除了本文表1所述规范特别说明外，其余场景下的UPS容量均依据《工业与民用配电设计手册》（第三版）P68（或依据《民用建筑电气设计规范》（JGJ 16-2008）6.3.3条）的原则来确定，即“不间断电源设备给电子计算机供电时，单台UPS的输出功率应大于电子计算机各设备功率总和的1.5倍。对其他用电设备供电时，为最大计算负荷的1.3倍。”依上所述，智能化系统设计时，UPS容量应按式-1进行计算：

$$S_j \geq k_1 P / (k_2 \cos \phi) \quad \text{式-1}$$

式中： k_1 为UPS冗余系数； k_2 为设备储备容量系数，即，智能化设备铭牌标称功率中所包含的储备容量系数，经市场调研，工程计算中 k_2 按1.25进行估算； $\cos \phi$ 为功率因数，工程计算中近似取为0.9； P 为需要UPS供电的设备负荷总和，单位kW； S_j 为UPS容量，单位kVA。UPS电池的供电时间，应满足相应规范的要求和协调业主高于规范的要求。

下面分系统介绍UPS容量及UPS电池供电时间的确定原则：

2.1.1 火灾自动报警系统

依据表1分析可得，火灾自动报警系统中，UPS容量按式-1进行计算时，计算系数 k_1 应取1.2，故容量应按式-2计算

$$S_j \geq 1.2P / (1.25 \cos \phi) \quad \text{式-2}$$

依据规范（GB50116-2013）UPS电池供电时间应满足 $T \geq 3h$ 。

2.1.2 安防系统

工程实际中，大多数情况下安防系统的三个子系统由一个机柜供电，相应的备用电源（此处特指UPS）也是集中设置，但正如表1分析，三个子系统对连续供电时间的差异性很大，如果只是

简单的将三个子系统负荷求和选择UPS容量，同时按最长的持续供电时间要求——48h，选择UPS电池，就会造成极大的浪费。式-3提出一种比较经济合理的UPS容量需求计算方法，式-4通过电池容量（Ah）估算出电池持续供电时间：

$$S_j \geq \frac{k_1(P_0 + P_1 + P_2 + P_3)}{(1.25 \cos \phi)} \quad \text{式-3}$$

$$(S_j / U_{in})T = \frac{k_1(P_0T_0 + P_1T_1 + P_2T_2 + P_3T_3)}{(1.25U_{out} \cos \phi)} \quad \text{式-4}$$

式中：计算系数 k_1 应取1.3； P_0 为安防系统网络设备负荷总和，单位kW； P_1 为入侵报警系统负荷总和，单位kW； P_2 为视频安防监控系统负荷总和，单位kW； P_3 为出入口控制系统负荷总和，单位kW； T_0 为接入网络设备的系统中所需持续供电时长的最大值，即 $\max\{T_i\}$ （ T_i 为接入网络设备的安防系统所需持续供电时间）； T_1 为入侵报警系统持续供电时间要求，即8h； T_2 为视频安防监控系统持续供电时间要求，一般按1h设置（工程实际中，根据不同使用方的要求，也常见2h的设置情况）； T_3 为出入口控制系统持续供电时间要求，即48h； T 为UPS电池供电时间，单位小时（h）； U_{in} 为UPS输入电压， U_{out} 为UPS输出电压，单位为伏特（V）。一般使用中，UPS的 U_{in} 、 U_{out} 值相等，所以式-4可简化为

$$S_j T = \frac{k_1(P_0T_0 + P_1T_1 + P_2T_2 + P_3T_3)}{(1.25 \cos \phi)} \quad \text{式-5}$$

工程实际中，UPS的下级配电箱（或称作分线箱）利用时间继电器可以很好的实现UPS对三个子系统的差异性供电。

2.1.3 用户电话交换机系统

依据表1分析可得，用户电话交换机系统，UPS容量按式-1进行计算时，计算系数 k_1 应取1.5，故容量应按式-6计算

$$S_j \geq 1.5P / (1.25 \cos \phi) \quad \text{式-6}$$

在一般设计中，根据建筑使用电话类型设置电源。当使用光网络单元（Optical Network Unit，ONU）作为电话系统接入设备时，需要为系统供电；当使用普通电话接线箱接入时，无

需在末端厂房提出电量要求。ONU设备电源供电时间可参考电话交换机房电量需求——当所在建（构）筑物有发电设备时，电池组应满足15min~30min的放电时间；当所在建（构）筑物无发电设备时，电池组应满足0.5h~8h的放电时间^[7]。具体供电时间可参考YD/T5040规范^[10]，根据建筑类型及规模设计。

2.1.4 信息网络系统

依据表1分析可得，信息网络系统UPS容量按式-1进行计算时，计算系数 k_1 应取1.2，故容量应按式-7计算

$$S_j \geq 1.2P/(1.25 \cos \phi) \quad \text{式-7}$$

对于大多数建筑，含有网络设备的电信间并非A（或B）级机房，且无柴油发电机组作为后备电源，但与生产过程密切相关，为满足生产需求及信息存储要求，设计人员一般按照0.5h的供电时间进行设计。

2.2 UPS的经济运行问题

UPS带载过轻（如1000VA的UPS带10VA负载）有可能造成电池的深度放电，会降低电池的使用寿命；同时也会造成经济的浪费。

UPS的输出负载过高，会降低可靠性，一般控制在60%左右为最佳，可靠性最高；通过市场调研，为了权衡UPS运行的经济性和可靠性，目前市面上的UPS一般将输出负载控制在70%，如下式表示：

$$\begin{aligned} S_j &= (P/1.25 \cos \phi)/0.7 \\ &= 1.43 P/(1.25 \cos \phi) \end{aligned} \quad \text{式-8}$$

故应对上述式-2~式-7进行修正。

市面销售的UPS容量通常有一定档位（或称作模数，因为所售UPS容量值是个离散量而不是连续量），所以实际设计过程中指定UPS容量时，应在满足式-2~式-7的前提下，选择尽量接近式-8计算值的档位，使UPS尽量运行在自身的经济运行模式下。

2.3 UPS电池衰减的考虑

现在的UPS一般都用全密封的免维护铅酸蓄电池作为储能装置，不可避免的要遇到使用寿命的问题，同时在使用寿命内还有衰减的问题。要使UPS的连续供电时间在电池的使用寿命内达到设计要求，除了定期更换UPS电池外，还应在电

池续航时间选择时，考虑电池衰减的因素。

经市场调研，如果以6年为周期进行电池更换，应按设计要求时长的1.2倍进行UPS电池续航时间确定。所以，2.1.1~2.1.4所得UPS供电时间应该进行考虑电池衰减因素后的修正，修正后的结果见表2。

表2

	修正前时间	修正后时间
火灾自动报警系统	$T \geq 3h$	$T \geq 3.6h$
安防系统	T	1.2T
用户电话交换机系统	T	1.2T
信息网络系统	0.5h	0.6h

3 UPS的“集中式”与“分散式”配备方式

如果需要配UPS的设备较多，可以采用“集中式”与“分散式”两种配备方式。

日常设计中常见智能化系统（不含核心机房）的UPS电源容量大致集中在2kVA~7.5kVA之间，对于大容量或持续供电时间较长的UPS，由于UPS自身尺寸及散热要求，应集中设置。对于小容量，小尺寸的UPS既可以集中设置，也可以分散设置于设备机柜内。

集中供电方式，用一台大功率UPS负载所有设备，便于管理；为UPS单独设置位置，避免了将UPS放入设备机柜内其散热影响设备运行的问题；UPS集中采购，容易控制UPS质量，减少设备厂商购置的环节，节约采购费用；考虑用电设备同时使用的参差系数，集中设置利于降低UPS总容量，容量设置相对合理，节约投资。但是，集中设置方式对建筑要求增加，现场配置成本增加；集中设置布线要求高，可靠性降低。

分散供电方式，根据设备需要分别配备适合的UPS，可靠性高；布线要求低，将UPS与智能化设备间的线路暗敷在机柜内，使配电线路尽量短，从而降低中性线与PE线之间的电位差^[8]；整合UPS单独设置的空间，节约了整体成本。但是，分散设置不便管理；且由于单独设置UPS冗余容量、UPS模数问题等，分散设置会使UPS总体容

量大幅增加,造成浪费。

设计中,可权衡投资与可靠性来选择两种方式。综合考虑,大型数据中心、控制中心宜采用“集中式”配置方式;对于常见普通建筑设置,“分散式”设置仍为现在比较流行的一种配备方式。但是设置过程中应注意在考虑到多回路UPS用电时,需在智能化机柜内增加一个小型分线盘作为UPS的下级配电设备,以满足系统多回路用电需求。

4 分析及结论

本文解读和分析了规范对于各智能化系统对不间断电源装置—UPS的具体要求,提出了UPS选型时的基本参数——容量和电池供电时间的计算公式,并对项目设计时UPS的其他注意事项进行了总结。同时,本文总结分析了UPS是否分散设置的注意事项及优缺点。

本文提出的UPS容量及电池供电时间的计算公式,依据规范可以准确的提出工程需求,特别是式-2、式-3很好的解决了安防系统各子系统对UPS有差异性需求时的容量及电池供电时间的确定办法;本文总结的分散设置UPS的优缺点可以作为UPS方案选择时的对比依据。

5 结束语

智能化系统设计中,选择一个经济、合理的UPS供电方案,对于节省造价、合理利用建筑空间大有裨益。在以后的工程设计中,还应因地制宜的根据实际情况,确定最佳的UPS供电方案。

参考文献

- [1] 《火灾自动报警系统设计规范》(GB 50116-2013) 2014-05-01实施.
- [2] 《安全防范工程技术规范》(GB 50348-2004) 2014-12-01实施.
- [3] 《民用建筑电气设计规范》(JGJ 16-2008) 2008-08-01实施.
- [4] 《入侵报警系统工程设计规范》(GB 50394-2007) 2007-08-01实施.
- [5] 《视频安防监控系统工程设计规范》(GB 50395-2007) 2007-08-01实施.
- [6] 《出入口控制系统工程设计规范》(GB

50396-2007) 2007-08-01实施.

[7] 《用户电话交换系统工程设计规范》(GB 50622-2010) 2011-06-01实施.

[8] 《电子信息系统机房设计规范》(GB 50174-2008) 2009-06-01实施.

[9] 《工业与民用配电设计手册》(第三版).中国电力出版社.

[10] 《通信电源设备安装工程设计规范》(YD/T 5040-2005) 2006-10-01实施.

大型计算机中心余热回收 供热方案探讨

■ 赵晨 李超 「动力」

摘要: 结合工程实例需求,初步探讨了利用大型计算机中心的余热资源进行区域供暖的可行性。基于有机工质蒸汽压缩循环,提出了一种冷、热联产系统,并通过热力学计算对比分析了R123、R22、R134a等工质及系统循环参数对冷、热联产系统性能的影响,结果表明R22更适合本文提出的冷、热互补能源系统,这也为大型数据中心余热能源利用提供理论支持。

关键词: 大型计算机中心;余热利用;冷热联产;有机工质;蒸汽压缩循环

随着信息技术及全球化业务的快速发展,全球范围内大型互联网数据中心机房的建设势头迅猛。仅以国内云计算中心为例,包括北京市、上海市、江苏省、浙江省、深圳市等5个试点省、市在内的多个地区正在积极策划筹建多个云计算中心^[1]。然而,大型计算机中心的高能耗、高费用、高污染等问题日益突出:1个50000台服务器规模的数据中心一年耗电量约22亿千瓦时,而这些能源中40%~50%的能源被用于计算机中心的制冷。这是由于计算机中心数十万计的服务器属于精密电子设备,对工作环境温度、湿度和净化度要求极高。尤其环境温度要稳定于23℃左右,所以需要常年不间断提供冷气。深圳超算中心水冷系统一天满负荷耗水量是1260立方米,一天的满负荷耗电费用是87万元,全年3.1亿元。而随着计算机性能的不断提高,产品的功耗及散热量随之提高。大型计算机中心在扩张过程中增大散热量仍是不可避免的趋势。为了提高大型计算机中心的能效指标,一方面,国内外工程界成功实施了利用自然界冷源进行冷却等多种新的冷却形式;另一方面,积极探索了多种余热利用的方式。

同时,云计算中心的试点省、市中大部分处在长江流域,这些区域冬季气候湿冷有采暖的需求。然而由于气候特点的差异,与室外温度小于5℃的天数超过90天的北方全面采用集中供暖不同,需要统筹规划、因地制宜的采用适合长江流域采暖需求的供暖方案。

本文基于大型计算中心常用的压缩机制冷系统,通过选用合适的工质、系统循环参数及热端温度以满足用户冬季供热需求,提出了一种冷、热联产系统。该系统实现大型数据中心冬季制冷需求和周边公共建筑和住宅的供暖需求互补,代替传统的独立冷源(制冷机)和独立热源(锅炉)的做法,提高了能源的综合利用效率。

1 互补供热系统方案详述

本文项目背景为某文化产业园区的大型云计算中心,周边配套有办公楼、酒店及居民区。该计算机中心工作耗电量约为120MW,考虑散热量一般约为功耗的70~90%,取散热功率为100MW。

1.1 冷、热联产系统的基本原理

该冷、热联产系统以蒸汽压缩制冷(制热)循环为基础,其系统原理示意图如图1所示。该系

作者简介:赵晨,女,助理工程师,2013年毕业于中国科学院大学工程热物理专业,现就职于中航建发市政工程院。

统由冷量交换系统、有机工质循环系统（以下简称热泵循环）及换热系统组成。

制冷、制热是通过有机工质循环实现的：饱和的有机工质蒸汽通过压缩机压缩，变成具备较高相变温度的高温高压蒸汽（与冷凝介质产生温差，其冷凝介质为供暖、生活热水），后通过冷凝器冷凝释放过热段显热和相变潜热成为饱和液体，然后再通过节流阀节流降压成为低温低压汽液混合物（与低温热源产生温差，其低温热源为计算机中心通过风机盘管和冷却水循环释放的热量），最后通过蒸发器吸热为饱和蒸汽，完成了从低温热源（机房）吸热并向高温热源（热用户）放热的循环，从而实现计算机中心制冷和热用户供热的双重功能。

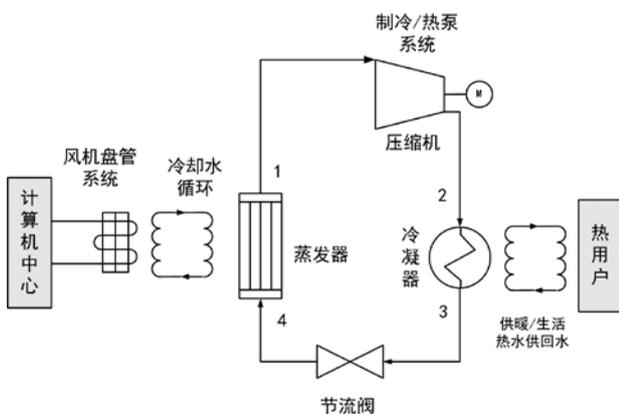


图1 冷、热联产系统原理示意图

1.2 主要问题分析

常规地表水或者土壤热源热泵的供水温度较低，约为40~50℃，蒸发温度一般在5℃左右，用于集中供暖（尤其是采暖末端为散热器的建筑）比较困难。近年来，行业关注的中高温热泵虽然热端能够输出65~80℃甚至更高温度的热水但需使用30~45℃的低温热源，无法保证循环的制冷效果。与上述传统的低温热泵和中高温热泵相比，本文设计的热泵需同时供热、供暖，系统的低温、高温热源之间的温差范围更为广阔：低温热源与低温热泵相同（低至5℃），高温热源与中高温热泵相同（高达85℃）。

由于本文提出的系统要求蒸发温度低、冷凝温度较高，工质的单位容积制热量较低，同时较高的冷凝压力给设备压力提出了更高的要求，因此，工质的筛选是成为热泵及系统设计的关键，本文的研究重点就在于：选择一种较为常见的工

质，尽可能的利用现有的通用制冷、制热系统部件（如压缩机、换热器等），并保证工质在工作区间内具有较合理的单位容积制热量。

1.3 冷热互补系统评价指标

本系统的综合能源利用率：

$$COP_{h+c} = (\text{热收益} + \text{冷收益}) / (\text{压缩机耗电} + \text{风机耗电} + \text{冷冻水循环泵耗电} + \text{有机工质循环泵耗电} + \text{供暖/生活热水泵耗电})$$

本文中，由于机房的冷量需求为刚需，冷侧的负荷一定。冷量交换系统的风机盘管系统和冷冻水系统的空气流量、水流量、风机耗电和水泵功率均保持不变。同时，由于换热温差保持10℃（忽略绝对温度不同时换热效果不同），热量交换系统的水流量、泵功率保持不变；因此，系统的综合能源利用率主要取决于单位循环工质冷收益、热收益之和与压缩机耗电的相对关系。为方便比较上式，可将系统的综合能源利用率可定性简化为：

$$COP_{\text{equal}} = (\text{热收益} + \text{冷收益}) / \text{压缩机耗电}$$

2 互补供热系统参数选择

2.1 系统循环温度选择

制冷侧（蒸发温度）：

根据《电子信息系统机房设计规范》对于机房温度的要求，A级别的机房温度要求23±2℃，B级别的机房温度要求20±2℃，C级机房温度要求18~28℃^[2]。本设计按A级别考虑，结合常规的压缩机制冷+风机盘管式所需的冷冻水温度为7~12℃，考虑5℃的窄点温差，制冷侧的蒸发温度为2℃。同时，为了降低循环功耗，现在有部分工程采用6~13℃的温差供冷。

制热侧（冷凝温度，冬季工况）：

根据供热工程常见的二次侧供暖形式和供回水温度，本文选用如下设计参数：地暖50~40℃，空调采暖60~50℃，散热器采暖80~60℃（为便于计算，供回水温度调整为80~70），生活热水供水温度50℃。考虑5℃的窄点温差，对应的冷凝温度依次为55℃、65℃、85℃。

制热侧（冷凝温度，夏季工况）：

夏季不存在公建和普通住宅的供暖负荷时，机房仍需要24h供冷，有机工质应具有良好的制冷效果，此时以室外大气为30℃。

表1 系统循环温度选择

		冷源		热源	
		蒸发温度 /℃	冷冻水温度 /℃	冷凝温度 /℃	供暖温度 /℃
冬季	方案1	2	7	85	80
	方案2	2	7	65	60
	方案3	2	7	55	50
夏季	空调制冷	2	7	25	30 (室外大气温度)

2.2 循环工质选择

冷、热联产热泵工质的选择，需要综合考虑环境影响和循环的热力性质。本文选取三种有代表性的纯工质R22、R134a和R123进行定性分析。工质初步选择原则为^[3]：

- 1) 冷凝压力尽量在2.4MPa以下，保证大多数系统部件可以承受；
- 2) 蒸发压力在0.1MPa以上，以免在系统中形成负压；
- 3) 热力学性能优良，临界温度较高；
- 4) 油溶性好、化学性质稳定；
- 5) 对环境危害小，无毒、不可燃。

3 系统计算结果及分析

3.1 计算结果及分析

3.1.1 冬季工况

采用R134a工质，以方案2设计时，有机工质循环各点的热力学参数如表2所示。

表2 R134a方案2设计时热泵循环各状态点参数

状态点	1	2	3	4
T/℃	2	65	65	2
P/MPa	0.315	1.889	1.682	0.315
h/kJ·kg ⁻¹	399.77	443.25	295.76	295.76
S/kJ·(kg·K) ⁻¹	1.726	1.722	1.309	1.348

该循环的能源综合利用等效效率COP_{equal}为5.78，机房散热功率为100MW，供热功率为141.8MW。按照上述分析方法，对3种工质在3个方案下的热经济性进行了对比分析，结果如下图

所示：

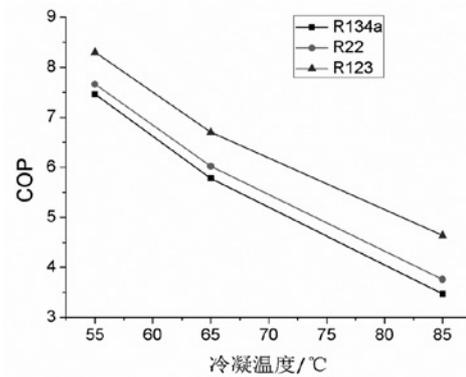


图2能源综合利用率随冷凝温度变化特性

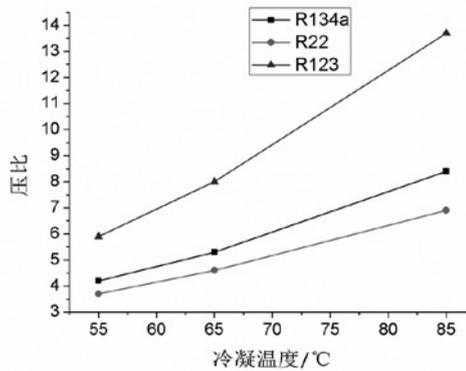


图3压气机压比随冷凝温度变化特性

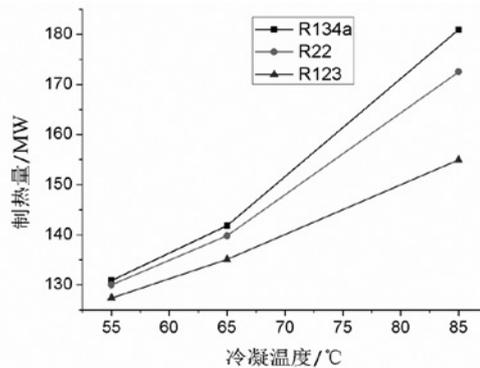


图4制热量随冷凝温度变化特性

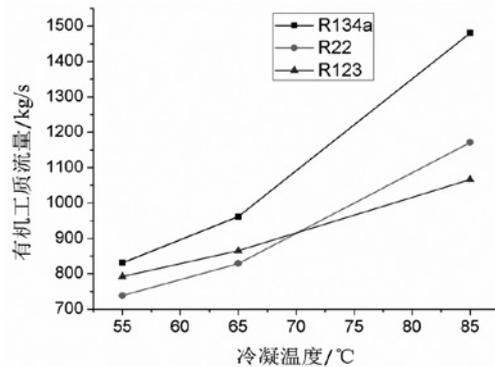


图5有机工质流量随冷凝温度变化特性

由图2~图5可以看出:

1) 相同的冷凝温度(供热温度)下,三种工质下的系统能源综合利用率 $R134a < R22 < R123$ 。采用同一种工质时,冷凝温度越高,系统能源综合利用率越低,这是由于随着冷凝温度的提高,高品位的电能直接转换成为热能,而不是来自低品位热量的迁移。

2) 相同的冷凝温度下,压气机所需压比 $R22 < R134a < R123$,且 $R123$ 压比明显高于其他两种工质,当采用 85°C 的冷凝温度时,压比高达13.7,对压气机选型和整个系统的承压都提出了较高的要求。采用同一种工质时,冷凝温度越高,压比越高,当采用 85°C 的冷凝温度时, $R22$ 所需的压气机压比为6.9,与低温热泵相比冷凝器承压能力需提高。

3) 相同的冷凝温度下,当系统制备相同制冷量时,系统的制热量 $R123 < R22 < R134a$,且 $R22$ 和 $R134a$ 的制热量差别不大;随着冷凝温度的增加,不同工质间制热量的差别加大:在 55°C 的冷凝温度下, $R123$ 和 $R134a$ 的制热能力相差不到3%,而冷凝温度增加到 85°C 时,两者的制热量差距高达17%。同一种工质,温度越高,系统制热量越大。

4) 相同的冷凝温度下,当系统的制冷量相同、制热量相当时(冷凝温度 55°C 时),所需工质的流量 $R22 < R123 < R134a$,且流量差距显著。同一种工质,温度越高工质流量越大。

3.1.2 夏季工况

三种工质在夏季制冷工况时的热力学参数如表3所示。三种工质的制冷性能良好,其中 $R22$ 在达到相同制冷量时所需工质流量最小,循环耗功最低。

表3 夏季制冷单工况热力循环参数

	R134a	R22	R123
COP	10.8	10.8	11.2
工质流量 (kg/s)	605	570	635

综上所述,为了满足本工程的设计工况,工质 $R22$ 的热力学特性更适合。与此同时,随着供热所需温度的升高,系统的能源利用效率等热力学性能下降,对于配套设备的要求大大提高,如工质循环泵、压气机压比、设备承压等,应做进一

步的技术经济性分析。

3.2 系统收益及评价

以采用 $R22$ 工质、用户侧 $60/50^{\circ}\text{C}$ 空调系统供暖为例,该规模的计算机中心能在满足机房散热需求的同时供给140MW的供热量,即能满足254万 m^2 的居民采暖热用户或200万 m^2 的常规公共建筑采暖,有效提高了能源得综合利用率,具有良好的节能及环保效益。

4 结论

1) 本文基于有机工质蒸汽压缩循环,提出了一种冷、热联产系统,通过选用合适的工质及系统循环参数,可以保障大型计算机中心冷量需求,同时满足用户的冬季供热需求,提高了能源的综合利用率。

2) 对比分析了不同供热工况下,采用 $R123$ 、 $R22$ 、 $R134a$ 三种有机工质时,系统循环的热力学特性,结果表明:在保障大型计算机中心制冷需求的前提下,采用 $R22$ 时系统具有制热量大、所需工质流量小、配套压气机压比低等特点,适用于本文提出的冷、热互补能源系统。

3) 为提高冷、热联产系统的热力学性能,将针对非共沸混合工质进行进一步的计算和比选。

参考文献

- [1] 国家发展改革委工业和信息化部关于做好云计算服务创新发展试点示范工作的通知.
- [2] 《电子信息系统机房设计规范》 GB50174-2008.
- [3] Selahattin Goktun. Selection of working fluids for high-temperature heat pumps. Energy, 1995, 20: 623-625.

工程总承包项目（EPC模式） 提高结算控制效果的方法

■ 庞允盼 李利「工程造价」

摘要： 本文在工程总承包商的视角下，运用工程结算实例，详细分析了EPC模式下结算审核方法和要点，总结了EPC项目结算工作的经验；对合理有效地提高总承包项目的结算控制具有借鉴意义。

关键词： 工程总承包；结算；造价管理

0 引言

工程总承包是指从事工程总承包的企业受业主委托，按照合同约定，对工程项目的勘察、设计、采购、施工、试运行（竣工验收）等实行全过程或若干阶段的承包。工程总承包企业按照合同约定对工程项目的质量、进度、造价、安全等向业主负责。工程总承包企业可依法将所承包工程中的部分工作发包给具有相应资质的分包企业；分包企业按照分包合同的约定对总承包企业负责。目前，建设项目普遍面临着质量要求高、工期短、造价控制严格、安全高度重视的形式，工程总承包企业承担着较大的风险。为实现自身的预期盈利目标，工程总承包企业的结算工作起着极为重要的作用，需要及时的总结积累项目经验。

1 案例概况

某总承包项目(以下简称项目A)建筑面积8306m²，项目采用EPC模式，已基本完成施工，整体进入结算阶段。总承包企业与业主的结算已基本完毕；总承包企业与施工分包单位和供货商的结算主要分为了土建、电气、设备专业，土建部分已经进入核对阶段，部分已经完毕。土建专业施工的单位主要有主体结构扩大劳务分包、装饰装修3分包、外墙板分包、室外工程分包等；供

货商有商品混凝土供应商和钢材供应商等。

1.1 EPC模式项目的主要特点

通常情况下，EPC项目的业主只负责整体的、原则的、目标的管理和控制，介入具体组织实施的程度较浅，项目大部分的设计风险、管理风险、采购风险转移给了工程总承包商。工程总承包商承担更多的责任和更大的风险，但是可以较大程度地发挥主观能动性，充分调用雄厚的设计优势、丰富的管理经验和优惠的供货渠道，为业主和自身创造更大的效益。

1.2 EPC模式结算工作主要内容及总结

竣工结算是一门专业性、政策性、技巧性很强的工作，是造价管理工作的收官阶段，虽说整个项目的投资运作在实施阶段已经成为定案，但是竣工结算控制作为项目施工全过程的最后一道关卡，如果不能严格把关将会造成不可挽回的经济损失。EPC项目的结算过程主要分为两部分，一部分为工程总承包企业与业主的结算，另一部分为总承包企业与各施工分包单位、供货商的结算。

1.2.1 工程总承包企业与业主的结算

EPC模式下，业主的大部分风险都已转移给工程总承包商，责任界面划分较为清晰，结算时扯皮、推诿的事项比传统模式少很多。但是，工程总承包企业应在EPC合同框架内，充分利用对自身有利条款，进行最大程度的索赔，增加结算金额。因业主工艺需求改变、复杂地质状况、材料暴涨暴跌等因素产生的金额变化，都是很重要的索赔要点，充分利用好这些因素可以为自身增

作者简介：庞允盼，男，助理工程师，2010年毕业于西安建筑科技大学土木工程专业，现就职于中航建发飞机工程研究院。

加不少盈利，甚至可以起到扭亏为盈的效果，起着“开源”的作用。

该部分结算工作需由现场负责人协同配合造价人员，熟悉项目整个建设期内变更签证的来龙去脉，归纳整理好可索赔费用的资料，以此为依据编制结算书，并与业主进行沟通核对，确认最终结算价款。

1.2.2 工程总承包企业与各施工分包单位、供货商的结算

EPC模式下，工程总承包企业与实施该项目的各施工分包单位和供货商（以下统称分包单位）的结算工作是极为重要的一个环节，对工程总承包企业起着“节流”的重要作用，如果不能严格把关将会对工程总承包企业造成不可挽回的经济损失。

一般情况下，为了降低项目成本，EPC项目会有多家分包单位，合同数量众多，工作包的划分、责任界面的划分相对困难，扯皮、推诿的事项比较多，往往面临着结算工作量大、结算内容复杂等情况。该部分结算主要是对施工单位和供货商报送的结算资料进行审核，与传统的工程总承包管理项目（以下简称管理项目）的结算有着很多相似之处，可以借鉴管理项目的结算经验。经过简单的归纳总结，笔者认为造价人员可以在以下方面重点审核：

(1) 审核分包单位报送的结算资料的完整性。分包单位报送的结算资料主要有设计变更单、签证单、认质认价单、图纸会审记录、联系单、变更蓝图、竣工图、结算书等。各分包单位往往从自身的利益出发，报送的结算资料充斥着大量的不合格材料。可能的表现形式及处理办法如下：

a. 结算书未使用合适的计价软件程序编制。通常情况下，结算书与商务标的计价软件应保持一致。这样处理的好处是结算书与商务标处于同一平台，容易确保变更项目的综合单价、取费与商务标保持一致。防止施工单位用隐秘方式调整取费程序，造成结算工作的失实。

b. 设计变更单、签证单、图纸会审记录、联系单、变更蓝图等资料签字盖章不全。为追求最大化的自身利益，分包单位经常会把这些签字盖章不齐全的资料编入结算书中。应该立即告知施工单位完善资料的签字盖章流程，否则不予以考虑对应的费用。工作中经常遇到结算时间紧迫的

情况，如果等分包单位完善好流程再处理这些资料的话，往往不具备足够的时间。所以实际结算时，也可以同步进行该部分费用的审核工作，但是要归纳整理该类费用，并进行标记。根据分包单位资料最终的完善情况进行该部分费用的定夺。

c. 联系单等资料作为结算依据。此类资料即使签字齐全也不能作为最终结算的依据，只能作为说明工程详细情况的辅助材料，只有转化为工程签证单才能作为结算依据。

d. 只报送增加费用的资料，涉及扣减费用的资料则报送不齐全或者不报送。此类资料具有较强的隐蔽性，容易被审核人员所忽视或者遗漏。考虑到分包单位与工程总承包企业之间利益关系上的对立属性，除了要求分包单位补齐扣项资料外，还应该及时与现场负责人沟通了解工程实际情况，由现场负责人协助提供齐全的减项签证单。审核人员自身也应梳理项目实施过程中的各版图纸，对整个项目的变更情况做到“了然于胸”。

(2) 审核结算书中是否存在不符合招标文件、合同、合同补充协议等文件要求的内容。招标前期的方案策划、招标期间的招标文件和投标文件，工程施工时签订的合同及合同补充协议等都是为项目实施定基调、定原则的文件。对当事人双方的工作内容、行为规范做了约定，对计价依据、变更调整、材料价格变化、价款的结算办法等建设过程中可能发生的纠纷事项做了明文规定，属于项目的事前控制范畴。工程结算作为项目的一个从属环节，必须具备契约精神，不能随意突破合同文件。结算审核时可以重点关注以下几点：

a. 查看合同的计价形式，结算书的编制内容是否遵循其计价原则。合同的计价形式主要分为单价合同、总价合同、成本价加酬金合同。其中单价合同和总价合同使用较多。两种合同的主要区别在于：单价合同下，分包单位在结算时可以调整原合同中未发生变更部分的工程量；总价合同下，分包单位在结算时不能调整原合同中未发生变更部分的工程量。在施工过程中出现多版图纸而合同形式为总价合同的情况下，防止施工单位混淆概念，变相转为单价合同。

b. 查看合同对措施费的规定，结算书是否与其保持一致。有些项目的合同规定措施费包死，结算不予调整。有些项目的合同则规定除可计量的措施项目允许调整外，其他措施项目不调整。

c. 查看合同对其他项目费的规定，结算书是

否与其保持一致。主要看一下合同对于总承包服务费、甲供材保管费规定的记取方式。有的项目规定这两种费用总价包死, 结算时不再调整。有的项目规定这两种费用按照费率记取, 结算时按照暂估项目的实际金额*投标费率计取。

d. 查看合同中是否有约定其他的特殊费用。比如A项目为了确保项目通过创优评审, 参照相关的取费文件在措施费用里面记取了一笔费用。这种情况下, 结算时就需要确定A项目最终是否通过了创优, 如果分包单位尚未配合完成创优工作, 则该笔费用需要予以扣除。

e. 审核结算书中各种取费费率和取费基数是否正确。一般情况下, 规费、税金、管理费、利润等取费费率和取费基数应与商务标中保持一致, 政策文件调整和合同另有规定的按照规定调整。

f. 审核结算书中各清单项目综合单价是否与商务标保持一致。工程单价, 油漆时变更项目的单价应按以下原则记取: 1. 合同中已有适用于变更工程的价格, 按照合同已有的价格变更合同价款 2. 合同中只有类似于变更工程的价格, 可以参照该类似价格。3. 合同中没有适用或类似于变更工程的价格, 由承包人提出适当的变更价格, 由造价工程师审核。

g. 审核材料调价是否合理。结算时的材料调价主要有两种: 暴涨暴跌材料的调价和认质认价材料的调价。暴涨暴跌材料的调整种类及调整方式在合同中会有专门的规定, 结算时按照合同规定进行调整即可。认质认价材料则要查看是否按认质认价单和合同规定进行了调整, 调整的材料数量是否正确, 调整的材料种类是否齐全 (尤其是涉及到费用调减的材料)。

(3) 仔细审核结算书中的工程量。工程量是编制整个结算费用的基础, 其真实性对结算费用的影响非常大。通常情况下, 项目的结算工作都比较复杂, 变更内容比较琐碎, 工程量计算也比较繁琐, 这些因素使得工程量具有很强的隐蔽效果, 分包单位对于造价审核人员拥有项目信息不对等的优势, 经常会在工程量上做手脚。所以, 审核人员应熟练掌握工程量计算规则, 全面了解工程变更签证内容, 仔细核算工程量, 确保工程量计算的精确。同时, 还要注意以下几点内容:

a. 很多变更签证单既有增项费用又有减项费用。比如A项目有设计变更单将部分原轻质隔墙更改为防火墙, 这时就要注意扣减原轻质隔墙的费用。

b. 很多变更清单项看似与原商务标中的综合单价保持一致, 但是两者并非相同工作内容。比如A项目土方开挖的签证单, 分包报送结算书中套用了投标的土方开挖单价 (40元/m³), 但实际两者并非同一工作内容, 清单中的土方开挖是按照清单计算规则, 考虑了开挖工作面和放坡后的综合单价, 而签证单中的土方开挖则是实际的土方开挖量, 应该以原商务标为基础重新组价。

c. 审核甲供材料的扣除是否正确。如果分包单位领用的甲供材料数量超过理论数量, 则多领部分还应按照实际价格扣减费用。如果项目实施过程有乙供材料调整为甲供材料的情况, 也要注意该部分甲供材料的扣除。

d. 变更签证中相同的工作内容不能重复计算。

(4) 公平、公正、合理的原则处理分包结算中出现的扯皮情况。比如A项目结算中分包单位B借故不实施合同内的“5厚环氧地坪面层”, 因工期紧迫, 此部分交由分包单位C实施。但与分包单位B结算时, 发现B的商务标中此部分投标单价为1元/m², 严重偏离市场价格 (约120元/m²), 属于投标不平衡报价。这种情况下, 与分包单位C关于此部分的结算 (约120元/m²) 就需事先告知分包B, 并从B的结算中扣除等额的费用。

1.2.3 EPC模式结算工作总结

为了确保结算取得良好的控制效果, 除了注重签证变更单和结算书的审核外, 还应该做好以下几条铺垫工作。

(1) 仔细搜集并研究项目建设过程中的招投标文件 (包括清单控制价编制说明)、合同、补充协议等资料, 掌握项目前期的详细策划及施工期间各项约定费用, 确保结算不出现大的纰漏。

(2) 深入现场, 全面掌握工程动态, 对整个项目形成直观的印象, 更准确、更深刻的理解变更单、签证单的内容。同时, 对于资料中一些描述模糊内容, 应与现场专业工程师多沟通, 避免结算时被分包单位“忽悠”。

(3) 熟悉现场的施工工艺和施工材料, 深入了解材料、设备及部分施工工艺的实际实施价格。收集整理价格谈判的资料, 减少对定额和信息价的过度依赖, 这样可以增加对分包单位谈判的筹码, 而且有利于建立更贴合实际的价格信息库, 对日后其他项目的实施增加价格依据。

(4) 分包单位数量比较多, 施工作业面交叉

重叠,施工期间容易产生施工边界变化的情况。对于这些情况应该做好归纳整理工作,并明确各单位的边界变更事由及责任主体,确保各分包单位的施工内容能够做到无缝对接,防止分包单位间的结算出现重复计算的情况。

2 提高EPC项目结算控制效果的建议

(1) 造价人员提高自身专业积累。

造价人员是贯穿EPC项目全过程的经手人,串联了设计人员和现场管理人员的多个工作环节。造价人员需要与时俱进,使自身知识储备和经验积累及时地更新换代。

a. 造价人员需要更多地深入现场,加强与现场专业工程师的配合,掌握项目全过程的动态变化,做好项目的动态投资控制。

b. 对材料、设备及部分施工工艺的市场价格做到更深入的了解,尽可能地掌握运输距离、发票类型、付款方式、工程转包等复杂因素对价格的影响,并引导项目所有参与人员形成积累有效价格谈判数据的习惯,逐步构建更加详细完备并且实时更新的价格数据库和各种指标库。

c. 加强对以往接触不多、经验数据较少的施工工艺及第三方检测费用的学习。比如地基处理、施工降排水、大体积混凝土浇筑、高支架模等工程以及桩基检测、钢结构检测等费用。

d. 作为全过程的参与者,造价人员还应努力发挥自身的专业优势,为项目设计、采购、管理提供正确的决策依据。

(2) 设计人员强化造价意识。

在传统的设计、施工分别发包模式下,设计人员只负责设计,在设计过程中往往更关注工程的使用功能,而对经济因素考虑较少,对造价关注较少^[1]。在总承包模式下,只有设计与施工深度交叉,同施工人员和各相关部门建立密切合作的“团队”,才能减少因自身原因引起的设计变更,保证项目的预期利润。这就要求设计人员有较强的经济观念、竞争意识。设计人员要多“下工地”多搞“现场设计”,还要和造价人员多交流,关注施工,关注造价。

项目投标前期,设计人员需及时与造价及现场管理商定施工图中深化设计部分(综合管线支吊架、自控系统、视频会议等)、特殊措施项目部分(如深基坑的支护方案、高架支模等)费用

的处理方式。避免出现报价漏项等情况。

目前许多施工单位会采取低报价高索赔的策略,通过设计变更将“不利”变为“有利”^[2]。这需要设计人员在工程建设期能够严格控制变更,降低费用控制的风险。无法避免变更时,要力求选择造价较低的方案。

(3) 现场管理人员强化造价管控意识。

EPC项目要求现场的管理人员具备更强的造价意识和更多造价知识,有效的控制现场签证单,详细描述签证单的工作内容,避免模棱两可的字眼,尽可能地减少导致结算扯皮的因素,并及时归纳整理资料,建立签证单台账。

合同是执行工程、解决争议,进行索赔和反索赔的最高准则和依据^[2]。EPC合同要尽可能地为工程总承包企业留有余地,降低工程风险。与分包单位的合同则要尽量详细全面的描述风险范围,最大化的转移工程风险。

对于业主提出的变更及可调EPC合同价款的签证,及时留存现场证据,并取得业主的书面批准,在该项变更实施后,作为当期工程进度款同期申报,争取及早获得相应的补偿,避免因人员变动或市场变化等因素造成难以弥补的损失。

3 结论

目前,EPC项目市场竞争日益激烈,工程总承包企业需要努力提高设计能力、强化施工管理水平、建立优惠高效的采购渠道,并且需要各环节的协同配合才能确保自身的盈利水平。造价人员与业主进行结算时,需要熟悉掌握项目的所有变更签证内容,利用对自身有利的索赔条款,尽可能的争取结算费用,努力扩大“开源”成果;与分包单位进行结算时,造价人员需要充分利用工程总承包管理项目积累的造价管理经验,切实做好“节流”工作。同时,在EPC项目结算过程中不断地积累经验,及时地与项目协作人员分享;总结教训,积极地与项目团队成员探讨更好的解决办法。

参考文献

- [1] 徐芳 陆瑾. 总承包模式下的工程造价管理. 建材世界. 2013 (4) .
- [2] 李建将 王将军. 总价合同条件下变更工程的计价. 建筑经济. 2012 (4) .

基于产业价值链视角的 创新商业模式研究

——以我国工程咨询和建筑行业为例

■ 贾道清 「规划」

摘要: 本文站在产业价值链的视角,运用商业模式的基本理论,以我国工程咨询和建筑行业为例,对企业商业模式的创新思路、途径以及不同经营模式进行研究和论述,并提出基于产业价值链进行商业模式创新的方向与建议。

关键词: 产业价值链;商业模式;创新研究

0 前言

随着高新技术的兴起和互联网的广泛应用,近年来,商业模式日益受到企业界和理论界的关注,并成为企业打造核心竞争力的重要方面。在网络技术的推动下,互联网等新兴行业的商业模式创新极为活跃,由此催生的财富变革引人注目。而实际上,传统行业的商业模式早已存在,只是习以为常后被人们冷落一旁。如今,传统行业借助新经济的力量正悄然无息地发生变化,商业模式创新已经渗透到各个传统产业领域,企业的竞争进程已全面进入到商业模式竞争阶段。

1 商业模式的基本理论

1.1 商业模式的概念

“商业模式”概念的提出始于20世纪50年代,并于70年代中期作为专用术语出现在管理领域的文献中,到了90年代日益受到国内外企业界的普遍关注。由于国内外对商业模式的研究还为时较短,到目前为止,关于商业模式的定义与概

念本质,学术界与企业界都尚未达成共识。

综合不同学者对商业模式所做的各种表述,本文认为商业模式是企业围绕其价值主张,进行价值创造、价值传递和价值实现的商业逻辑,是为了实现客户价值最大化,把能使企业运行的内外各要素整合起来,形成高效率的具有独特核心竞争力的运行系统,并通过提供产品和服务,达成持续赢利目标的组织设计的整体解决方案。

商业模式涵盖了企业从资源获取、研究开发、生产组织到产品营销、售后服务以及合作伙伴、客户关系、收入方式等几乎一切活动,是一个综合系统。其本质是企业创造价值,保持或构建竞争优势,并能持续盈利的核心逻辑,是利益相关者的交易结构。

1.2 商业模式的运行机理

商业模式是一系列相关要素的有机集合,是一个高速运转的、有效率的,而且有别于其他企业或其他产业价值链的能持续盈利的系统。该系统主要包括价值主张、价值创造、价值传递和价值实现四个环节(如图1所示)。其中价值主张是企业商业模式的灵魂,它是企业通过其产品和服务所能向消费者提供的价值,是企业存在的社会意义。

作者简介:贾道清,男,工程师,2007年毕业于北京理工大学工商管理专业,现就职于中航建发规划咨询研究院。

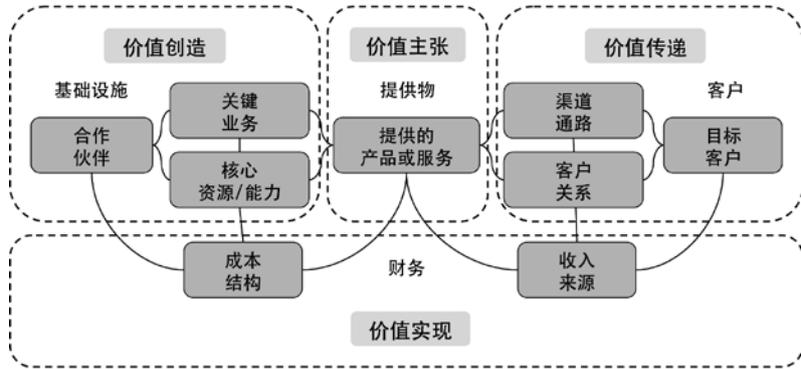


图1 商业模式的运行机理

(1) 价值主张

又称为价值发现，即公司通过其产品或服务所能向消费者提供的价值，体现了企业相对于消费者的实际应用价值。围绕价值主张，公司将确定自己的产品结构或服务内容，并形成自己的业务体系。

(2) 价值创造

又称为价值匹配，即公司围绕其关键业务，综合运用其所掌握的内外资源能力，通过一系列的企业运作，为客户生产价值的过程，其主要包括公司的关键业务、核心资源与能力、合作伙伴网络三个要素。围绕价值创造，公司将形成自己的生产模式、对外合作模式等经营模式和资本模式。

(3) 价值传递

即公司将其创造出来的价值（通常表现为产品或服务），通过一定的分销渠道和市场通路，并运用一整套客户关系管理手段，提供给目标消费群体的过程，其主要包括渠道通路、客户关系和目标客户三个要素。围绕价值传递，公司将形成自己的营销模式、服务模式以至扩张模式等经营模式。

(4) 价值实现

即公司通过一系列的收入来源设计和一定的成本管理活动，实现自身盈利的过程，其主要包括成本结构和收入来源两个要素。围绕价值实现，公司将形成自己的盈利模式，这也是商业模式的核心要素。

1.3 商业模式的组成系统

从商业模式的运行

机理可以看出，商业模式是一个结构化的系统，是企业探求所经营业务的利润来源、生产过程和产出方式的系统方法，并且围绕企业如何盈利这个核心来配置企业资源和组织企业所有内外部活动的一个行为过程，是企业一组有效经营活动的组合，是围绕企业的业务体系构建的，涵盖资本模式、经营模式、盈利模式三大模式在内的一个综合管理系统，而商业模式本身则与公司战略、管理模式共同构成了企业的三大核心关键（如图2所示）。

管理模式共同构成了企业的三大核心关键（如图2所示）。

(1) 商业模式的外部系统

商业模式与管理模式、公司战略为保证企业运行的三大组成系统，如果说商业模式是为了实现企业价值最大化，把能使企业运行的内外各要素整合起来，形成一个完整的、高效率的，具有独特核心竞争力的业务运行系统，解决的是一个企业如何将内外部资源转化为产品或服务并获取盈利这一问题的话，那么管理模式则是企业的包含人力资源管理、财务管理、信息管理、采购管理、技术开发、文化建设、基础设施管理等在内的各项职能管理系统，解决的是如何保证商业模式高效运行的问题，为企业的执行部分。

综上所述，在企业这一更大的系统中，公司战略解决的是企业系统运行方向的问题，商业模式解决的则是该系统有效的问题，而管理模式解决的是该系统运行效率高低的问题。商业模式

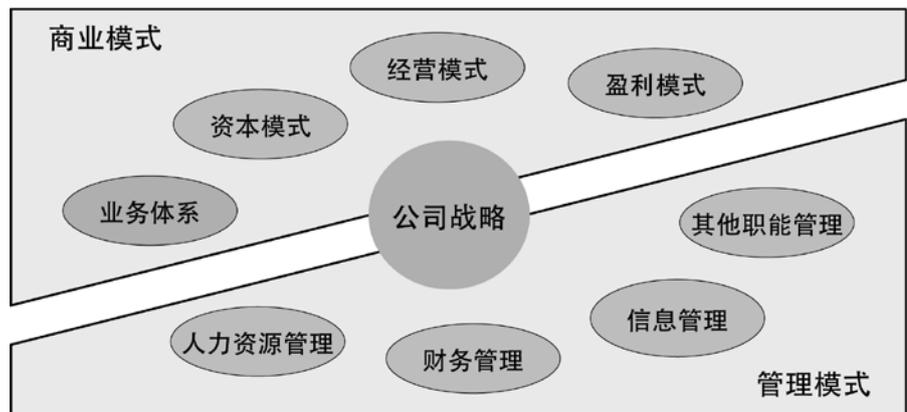


图2 企业的运行系统

和管理模式分别从系统的有效和效率两个方面保证着企业战略目标的实现，同为企业战略的实施系统，没有商业模式和管理模式的支撑，战略则不过是一句好听的口号，经不起竞争的考验。而商业模式的系统有效性又优先于管理模式的系统效率高低问题，如果一个企业的商业模式出了问题，从而导致该系统无效的话，那么即使管理模式再先进，也谈不上该系统的效率问题了。

(2) 商业模式的内部系统

商业模式的内部系统由企业的业务体系及围绕该业务体系构建的资本模式、经营模式和盈利模式三大模式构成（如图3所示）。其中，企业的业务体系是商业模式的核心，企业的业务体系不同，其所采取的资本模式、经营模式乃至盈利模式都会存在很大的差异。

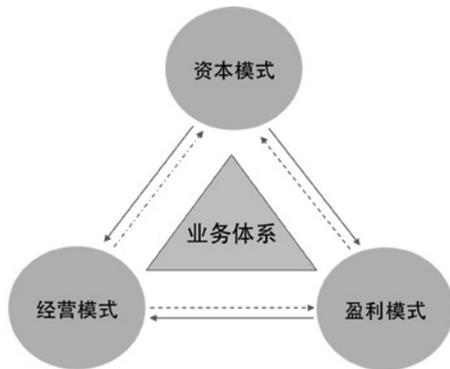


图3 商业模式的构成

企业的资本模式，包括投资和融资模式两部分；而经营模式则主要包括企业的生产模式、服务模式、物流模式、采购模式、对外合作模式、扩张模式、营销模式等，以上模式共同构成了企业的经营体系；盈利模式主要包括企业的收入来源和利润产生方式两部分，通常涉及供需均衡、合理收费和有效交付等几个要素。

对工程咨询和建筑业等以产品或服务为中心的传统产业而言，其在产业链上所处的位置不同，导致其提供的产品或服务在内容和表现形式上均会存在着极大的差异，并进而影响了其资本、经营以及盈利模式。

2 基于产业价值链的商业模式创新途径研究

2.1 产业价值链的概念及与商业模式的逻辑关系

(1) 价值链与产业价值链的概念

价值链概念是1985年由哈佛商学院的迈克尔·波特在其所著的《竞争优势》一书中首次提出的：“每一个企业都是在设计、生产、销售、发送和辅助其产品的过程中进行种种活动的集合体。所有这些活动都可以用一个价值链来表明”。目前，管理学界对价值链的定义倾向于价值链是一种描述产品存在周期的全部过程的概念，贯穿于从研发设计和产品开发、原材料采购和中间品投入到产品生产制造、营销活动以至对最终客户的服务和价值再循环的整个过程。

随着产业内的分工不断向纵深发展，传统的产业内部不同类型的价值创造活动逐步由一个企业为主导分离为多个企业的活动，这些企业相互构成上下游关系，共同创造价值。由于产业链条中各环节所产生的附加值不同，同时产业链中大量存在着上下游关系和相互价值的交换，上游环节向下游环节输送产品或服务，下游环节向上游环节反馈信息，沿着产业链将会形成一条由产业链内不同企业构成的价值链，即产业价值链。

产业价值链是产业链背后所蕴藏的价值组织及创造的结构形式，代表了产业链的价值属性，揭示了产业链更深层的价值含义，决定着产业链内不同企业的经营战略和竞争优势。产业价值链的形成有效地实现着整个产业链的价值，反映了价值的转移和创造。

(2) 与商业模式的逻辑关系

企业所处的产业链位置不同，其所提供的产品或服务及其附加值也就不同，从而导致企业的业务边界不同。而企业的商业模式首先是基于业务体系进行设计的，根据由不同的产品和服务构成的不同业务体系，其所采取的资本模式、经营模式和盈利模式都会有所不同，进而导致企业采取不同的商业模式。

可以说，正是由于不同企业在产业链上所处位置的不同，导致了其所采取的商业模式的不同，这种商业模式上的根本不同，更多的是战略性的差异，同时也正是这种商业模式上的根本差异，决定了企业竞争地位的不同。当然，处在产业链上相同位置的企业，有时也会采取不同的商业模式，但这种商业模式的不同，更多的是战术性上的差异，通常并不会改变企业的根本竞争地位。

因此，产业价值链与商业模式之间有着密不可分的关系，企业所处的产业价值链位置从根本

上决定着企业的商业模式。

2.2 基于价值链管理的商业模式构建途径

(1) 基于能力定义业务边界

企业的理论业务边界与其所处的产业链位置相关。通常，处于产业链高端的企业，由于其技术含量较高或比较靠近目标客户，所产生的附加值也就越高；反之，处于产业链低端的企业，由于多处于生产加工环节，一般属于劳动密集型企业，所产生的附加值通常也较低。然而，一个企业所处的产业链位置不是能够任意确定的，其业务边界的范围通常会受到企业所能掌握的资源 and 能力的制约。这就要求企业基于自身具备的资源 and 能力，选择合理的业务边界，对原有的业务进行梳理，识别核心业务与非核心业务，实施业务重组，这是企业优化产业价值链的必由之路。

因此，从业务活动与企业核心能力之间的关系出发来选择业务边界，保留核心业务并把自己不擅长的非关键业务外包出去，并以一种新的价值创造方式强化核心业务和核心能力，提高价值创造的质与量，是企业进行商业模式创新的重要途径。

(2) 实施产业链整合

现代企业的竞争，不仅仅是技术、人才、资源上的竞争，更多地表现为对产业链关键环节掌控力的竞争。谁掌握了产业链的高端环节，谁也就掌握了价值创造的制高点和主动权。同时，商业模式创新与产业链的整合是相互作用的。当某种力量推动产业价值链发生改变时，大量的商业模式创新机会也就降临了；而反过来看，处于产业链不同环节的企业，其商业模式创新的活跃程度也将改变传统行业中的产业链结构。

因此，基于企业目前所处的产业链位置，及时把握内外部环境的变化，适时通过并购、拆分、联盟等方式实施横向一体化，或者沿着产业链方向向前或向后实施纵向一体化扩张，通过提高对产业上下游的控制力度和专业化程度，来获取竞争优势和创造更大的价值，是企业抓住产业价值链关键环节，打通整条产业价值链，提供多样化增值服务，进而进行商业模式创新的途径之一。

(3) 使用新技术改变价值创造方式

以互联网为代表的信息技术前所未有地拓展了人类的实践能力，同时也使许多传统产业的价值链结构发生了改变。在我们能看到的任何一个传统行业中，互联网技术的运用都催生了一大批

新兴的产业链。无论是制造业还是服务业，现在都能够“链接”到互联网，可以通过网络提供服务、销售产品、处理订单、管理库存等。

由于新技术带来的价值创造方式的改变，传统的商业模式几乎不可能原地踏步地进行，而必须与信息技术相结合。互联网推动了传统行业内部价值链的重组，新的商业模式应运而生。如果传统企业能够在产品研发、营销和客户关系管理等诸多方面，将信息技术引入到产业链价值创造的全过程，新的价值将会随之出现，由此引发的商业模式创新将从根本上改变传统行业的竞争格局。

(4) 扩大创新的来源

如果一家企业的创新脚步停止了，也许短时间内不会出现大的问题，但从长期来看这家企业必然要处于劣势。过去，传统行业企业的大部分创新来自企业自身。实际上，产品世界中迄今问世的创新性产品，可能来自企业本身，也可能来自竞争者、客户或其他。

企业通过向产业价值链的下游延伸，充分接近客户，在将产品或服务提供给客户的同时，充分利用客户的智慧，使之成为企业创新的重要来源，同时也是企业进行商业模式创新的一种有效途径。

3 工程咨询和建筑行业商业模式创新研究

3.1 通过价值链拓展提升企业价值

(1) 工程咨询建筑产业价值微笑曲线分析

从整个工程咨询建筑产业链条来说，附加值不是均匀分配的，在工程建筑产品的设计、生产和流通过程中，产业价值链的价值增加呈现一个“U”字型。在价值链的高端是以资信、技术和综合管理能力为核心竞争力的项目管理企业/单元，价值链向下，知识、资金和管理服务能力逐步降低，直至提供纯粹施工业务的企业，相应工程项目利润的空间也从价值链自上而下呈下降趋势，从而形成了工程咨询建筑行业价值的微笑曲线 (Smiling Curve)，如图4所示。

在这条U形曲线上，一端是高技术含量、高资本投入作业，另一端是装配、集成项目，中间附加值最低处是一般施工作业项目。作为前端的设计、咨询业务具有智力密集型的特征，附加值远远高于生产作业环节。作为后端的总装集成、运营或销售业务，由于要么集合了关键技术或关键零组件，要么接近客户直接创造价值，同样处

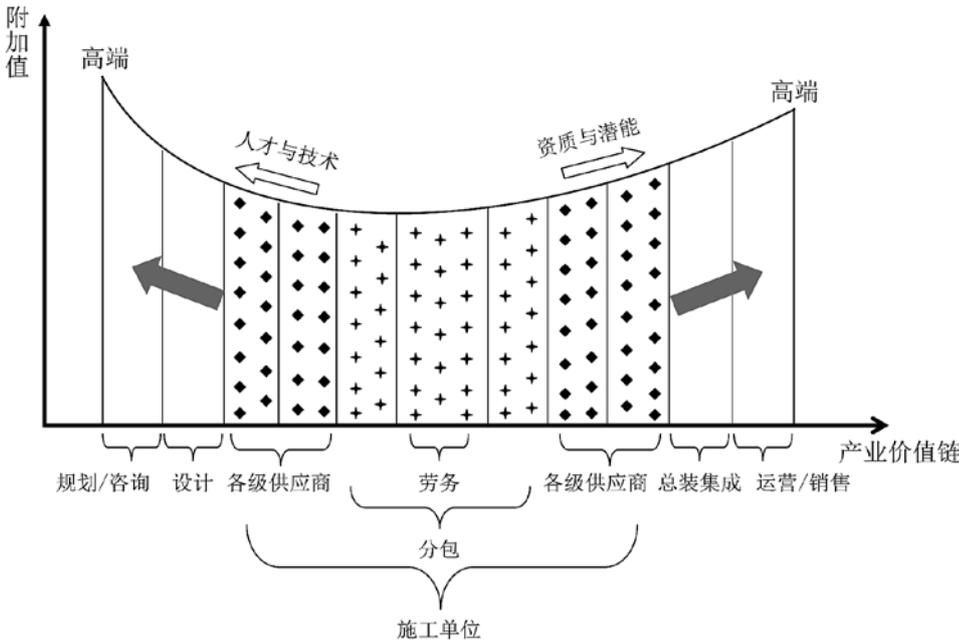


图4 工程咨询建筑行业的价值微笑曲线

于产业价值链的高端。

(2) 调整企业活动价值域，提升企业价值

在挖潜增效这一旧的商业模式下，价值空间来自成本压缩，主要是一种下压式的价值创造方式。企业如果一味地在产品定价、市场扩充、成本控制上下工夫，尽管企业规模在不断增长，但创造的是交易，而不是价值。在这种思维理念下，许多企业掉进“低价放量”的陷阱而使企业价值长期不能提升。

在新的商业模式中，企业应将资源集中用于能提供高附加值及竞争优势的活动中，在企业战略、人力资源、生产方式和顾客需求上下工夫，积极寻求价值链上的重新定位，主动寻求不断地向上提升，从新的视角去创造企业价值，而不是原地横向扩张。

在产业链中，一般生产制造或代工是低附加值环节，但掌握了关键技术及关键零组件的总装集成则是高附加值环节。产品整合性的服务，因为集合了许多的附加值而变成另一高附加价值的区块。传统建筑企业，即“施工单位”长期定位在价值最低的生产环节，这个环节的特征就是附加值低、竞争惨烈、作业条件恶劣、安全风险高。技术成熟、进入门槛低、普遍化的技术，使建筑业的施工作业成为产业链条上最廉价的“微利”经济活动。总体来看，我国建筑产业的利润率是非常低的，这主要由于我国建筑企业

的利润来源大都来自竞争激烈而利润微薄的建筑施工环节，对现在建筑承包价值链向施工前端和后端转移的趋势把握不好，未能进入到附加值较高的产业价值链高端环节。为了克服低附加价值的压力，企业价值提升的方向应该是向产业链高附加值区域移动，而不应该把所有精力放在挖空心思在原地下压成本以获得收益空间。

施工总承包企业处于建筑产业下游，是最终产品的完成者，其产品的技术水平、质量、

覆盖范围和附加值适中。而勘察设计企业，本身处于工程咨询建筑产业链条的高附加值领域，如果想进一步提升企业价值，则可以沿着产业链价值微笑曲线向更前端的投资咨询、产业战略与规划等高端咨询领域延伸；向下游则可以往设备总装集成、工程项目运营与服务等领域延伸，不断提高项目的附加价值，增强对全产业链的控制力。

3.2 提供完整产品，实现企业价值提升和经营转型

完整建筑产品的生产是将工程项目建设活动的各环节集成化，形成一体化生产经营的格局，集融资、设计、施工和交付运营于一体的综合性承包形式。简而言之，完整的建筑产品就是“交钥匙”工程。

提供完整建筑产品是对工程咨询和建筑企业商业模式的再升级，它既实现了建筑企业向资金密集型的延伸，也能进一步加强工程咨询企业对产业全价值链的掌控能力，有助于实现企业的价值提升和经营转型。基于工程咨询企业在产业价值链所处环节以及自身资质、能力等的不同，其所提供的完整产品的具体表现形式以及与业主方采取的交易结构均会有所不同。目前工程咨询和建筑市场需求中出现的完整产品的主要形式和交易结构有以下几种。

(1) 分割发包模式

一般民用建筑项目的业主，从降低造价、

提高工程质量和工程的确定性出发,往往要求承包商承担更大的责任,因而在项目建设服务需求上,逐步由传统的设计施工向分割发包模式转向,具体包括以下几种方式。

①由承包商为业主提供包括项目可行性研究、融资、土地购买、设计、施工直到竣工移交给业主的全套服务,即交钥匙方式(turn key method);

②承包商负责设计、建造的DB(design+build)方式;

③承包商负责项目决策阶段策划和管理的D+D+B(develop+design+build)方式;

④承包商负责设计、施工和物业管理的D+B+FM(design+build+facility management)方式。

(2) 投资回报率总承包模式

即EPC(engineering-procurement-construction)模式。该模式特别强调适用于工厂、发电厂、石油开发和基础设施等工程。与业主仍可保留对部分重要工程设备和特殊材料采购权的传统承包模式相比,EPC模式突出了承包单位对材料和工程设备的完全采购权。在国际工程承包中,固定总价合同仅适用于规模小、工期短的工程,而EPC模式所适用的工程一般规模均较大,工期较长,且具有相当的技术复杂性,因而也就增加了承包商的风险。

(3) PM与PMC模式

PM(program management)模式要求工程咨询企业负责建设前期决策阶段和项目阶段的全部管理工作。

PMC(project management contractor)模式,即聘请管理承包商模式,是由业主聘请管理承包商作为业主代表或者业主的延伸,对项目进行管理。

(4) BOT模式

BOT(build-operate-transfer)模式即“建造—运营—移交”,是20世纪80年代在国外兴起的一种将政府基础设施建设项目依靠私人资本的一种融资、建造的项目管理方式,后来逐步扩展到民用建筑领域中。BOT融资模式的基本思路是:由业主对项目的建设和经营提供一种特许权协议,作为项目融资的基础。在BOT模式下,项目开发商(工程咨询或建筑企业)作为项目的投资者和经营者安排融资,承担风险,设计、开

发、建设项目,并根据事先约定在一定的时间内经营项目以收回投资,获取商业利润,经营期满后根据协议将项目所有权或经营权转让给业主。

(5) BOOT模式

BOOT即“融资+建造+占有+运营+移交”模式。该模式由项目开发商负责融资建设基础产业项目,项目建成后,在规定的期限内拥有所有权并进行经营,期满后将项目移交给业主。BOOT是BOT模式的扩展,在运行程序上基本与BOT模式类似,其与BOT模式的区别主要在于:在BOOT模式下,项目开发商不仅拥有项目的经营权,而且还拥有一定期限的项目所有权。因此,在特许期内,项目开发商可以将现有项目作为其自有资产抵押从而进行二次融资。一般来说,采用BOOT模式,项目开发商对项目的拥有和运营时间比BOT模式要长得多。

综上所述,如果说低价放量模式是工程咨询和建筑行业第一层次的价值创造方式,微笑曲线上的价值链拓展就是第二层次的价值提升方式,使企业的活动由劳动密集型向管理密集型转变;而对建筑产品进行重新认识,提供完整建筑产品则是对工程咨询和建筑企业商业模式的再升级,是第三层次的价值提升方式,它实现了工程咨询和建筑企业向资金密集型的延伸。我国工程咨询和建筑企业商业模式创新的方向将是沿着产业价值链,逐步向产业价值高端转移,并基于自身资源与能力,对价值链的不同环节进行整合,提供适合自身实际和业主需求的相应建筑产品形式和交易结构,逐步由专业提供商向系统集成商转变。因此,要想占领产业价值链的高端,实施业务和价值整合,提高企业对全价值链的掌控力,就必须积极培育相应资质与能力,加大专业人才培养以及专业技术服务能力、资金及融资能力、项目综合管理能力等核心能力建设,以适应新的商业模式的需要。

4 小结

商业模式创新是一项复杂的系统工程,在我国还属于一个较新的研究领域。行业把握是商业模式创新的基础工作之一,其目的是通过行业发展趋势来预测商业模式的发展变迁。通过产业价值链理论来把握各环节价值创造贡献的大小,正确认识企业在产业链中所处的位置,并结合自身

的资源与能力实际,主动向产业价值链的高端转移,积极进行商业模式的创新,对保持企业的核心竞争力和创造更大的价值,具有重要意义。

工程咨询和建筑行业的项目交易方式,即建筑承包内容和运作方式的变化是由企业自身所具备的资源能力和业主服务需求的变化决定的。对于我国工程咨询和建筑企业来讲,这种交易方式或承包方式的变化不仅要求进行观念或管理思想的转变,更重要的在于要充分认识到适应新的交易方式进行企业内部资源结构调整的重要性。这个过程将是一个长期和艰苦的过程,但要适应未来的市场就必须面对这种变化,尤其是对有志于在未来工程咨询和建筑市场金字塔格局中高端发展的企业,更需要加快适应新的交易方式的进程。预期将会有越来越多的工程咨询和建筑企业介入到工程项目的整个生命周期,从立项、制定项目大纲、融资、采购、规划咨询、设计、建设、运营、使用、维护、评估,直到改造和拆除,这种商业模式的变革趋势将对我国工程咨询和建筑业的基本构成和活动范围产生深远的影响。

参考文献

- [1] 王鑫鑫,王宗军. 国外商业模式创新研究综述[J]. 外国经济与管理, 2009 (12) .
- [2] 王晓辉. 关于商业模式基本概念的辨析[J]. 中国管理信息化, 2006 (11) .
- [3] 原磊. 国外商业模式理论研究评价[J]. 外国经济与管理, 2007 (10)
- [4] 傅世昌,王惠芬. 商业模式定义与概念本质的理论体系与研究趋势[J]. 中国科技论坛, 2011 (2) .
- [5] 项国鹏,周鹏杰. 商业模式创新:国外文献综述及分析框架构建[J]. 商业研究, 2011 (4) .
- [6] 郭黎星. 国内外商业模式研究综述[J]. 商场现代化, 2012 (1) .
- [7] 李振勇. 商业模式——企业竞争的最高形态[M]. 北京: 新华出版社, 2006.10
- [8] 陈柳钦. 产业价值链: 集群效应和链式效应[J]. 经济研究, 2007 (2) .
- [9] 潘成云. 解读产业价值链——兼析我国新兴产业价值链基本特征[J]. 当代财经, 2001 (9) .
- [10] 杜义飞,李任明. 产业价值链: 价值战略的创新形式[J]. 科学学研究, 2004 (5) .
- [11] 和金生,王伟才,马丽丽. 价值链分析的方法与案例 [J]. 中国地质大学学报(社会科学版), 2003(6).
- [12] 曾铮,张亚斌. 价值链的经济学分析及其政策借鉴[J]. 中国工业经济, 2005 (5) .
- [13] 夏云凤. 商业模式创新与战略转型[M]. 北京: 新华出版社, 2010.12.
- [14] 陈宏伟. 企业价值提升的机理与路径[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [15] 尹美群. 价值链与价值评估[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2008.
- [16] 曾涛. 价值竞争——传统行业的商机与危机[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.10.

BIM技术为设备行业带来的变革

■ 陈洁 李力军「给排水」

摘要: 在国际上, BIM技术凭借其高效的信息协调管理优势, 已逐渐取代二维设计技术, 成为很多发达国家建筑设备行业的新宠。随着国际间建筑设计合作的日益紧密, BIM三维设计技术对于二维平面设计技术的碰撞也愈见频繁。BIM设计技术在赋予设备设计师便利的同时, 也增加了更多责任。其打破了传统设计技术的习惯与壁垒, 为建筑设备行业带来了新的变革。

关键词: BIM; 设计; 变革

1 BIM技术的历史沿革

1.1 BIM技术理念

BIM是Building Information Modeling (建筑信息模型)的简称, 是指建筑物在设计和建造过程中, 创建和使用的"可计算数码信息"。BIM是一种依靠资料库技术为基础, 用数位化的建筑原件来表示实际生活中用来建造建筑物的构件的技术, 即能够利用众多模拟构件的结合来展示建筑作品。

BIM中的模型构件同时具有建筑和工程的数据, 这些数据为设计提供充分的计算依据, 使其能根据构件的数据, 自动计算出查询者所需要的准确信息。这些数码信息又能够被程式系统自动管理, 使得经过这些数码信息所计算出来的各种文件, 自动地具有彼此吻合、一致的特性^[1]。

正是由于BIM涵盖了几何学、空间关系、地理资讯、各种建筑元素的性质及数量(例如供应商的详细资讯)等信息, 因此其可以用来展示整个建筑生命周期, 包括了兴建过程及营运过程, 将建筑内各个部分、各个系统都呈现出来, 为提取建筑内材料的信息带来便宜。

1.2 BIM技术开发与使用

BIM是CAAD软件在开发过程中提出的概念, 首先得到应用的是建筑设计领域。1984年, 匈牙利Graphisoft公司推出计算机辅助建筑设计软件ArchiCAD, 并提出了以BIM技术为核心的“虚拟建筑”设计理念。但是由于计算机技术发展的限制, 这项理念在当时并没有引起很大的重视。

直到90年代, 欧洲高校和科研机构对该项技术进行系统的研究, 并且随着研究成果的日渐成熟, 该技术开始在建筑行业逐步推广使用。近几年, 随着计算机软硬件的飞速发展, 才逐渐受到建筑行业的重视。

作者简介: 陈洁, 女, 助理工程师, 2013年毕业于四川大学给排水工程专业, 现就职于中航建发建筑设计研究院。

截止到2004年,欧洲部分国家(如:芬兰、挪威、德国等国),BIM应用软件在建筑行业的普及率已经达到60~70%,可见其发展之迅速。目前,国际上已经广泛认可运用BIM技术的“虚拟建筑”设计将成为未来计算机辅助建筑设计的主流^[2]。

然而,BIM技术的发展从本世纪80年代中期至今,只有不到30年的历史,可见,由BIM技术开拓的新兴学术领域,还需要广大科研工作者的不断探索和完善。

1.3 BIM技术在建筑辅助领域的蓬勃发展

由于BIM技术在建筑设计上的普及,使得各建筑辅助设计行业也竞相采用这种设计技术。一方面,使用同一类型的设计技术,能够加强不同行业的设计师间的理解与表达,减少修改设计的工作量^[3]。另一方面,BIM技术在设计上的固有优势,能够在一定程度上加快建筑辅助设计行业设计师的工作效率,并极大程度的减少传统2D设计软件带来的表达差异和修改工作。

因此,BIM技术在建筑设计上的广泛应用,必将引起建筑辅助设计行业的巨大变革,从而为整个设计产业技术带来前所未有的重大革命。

2 BIM技术在国内外的普及情况

2.1 BIM技术在国内外的普及情况

欧洲等发达国家BIM 应用软件的普及率高达在60%以上(2004),且普及速度十分迅猛。目前支持BIM 的软件开发商有Graphisoft 公司,Bentley 公司和 Autodesk 公司等^[4],其主要软件见表1。

表1 支持BIM技术的主要软件

公司	Graphisoft	Bentley	Autodesk
软件	ArchiCAD ArchiFM ArchiGlazing Constructor Estimator Dustwork	Mico Station Project Wies View Redline Asset Server	Revit Civil 3D 3ds Max Review Design Buzzsaw

2.2 BIM技术在国内的应用情况

目前,国内建筑辅助行业占据主导地位的,

是以 AutoCAD 为代表的通用二维绘图平台,而BIM技术在国内的研究还处于起步阶段。

2004年中国第一个BLM(建筑生命周期管理)实验室成立。

2005年“建设工程信息化—BLM理论与实践丛书”出版,这套丛书起到了BIM理念的启蒙作用,中国BIM进程的大门由此打开^[5]。

2009年《建筑信息模型—设计与施工的革新,生产与效率的提升》报告发布,介绍了BIM在中国的影响以及BIM在中国的应用情况,全面反映了BIM在中国的应用现状^[6]。

3 BIM技术与传统软件的对比

BIM相较于传统软件来说,从信息管理和共享方式上有着很大的差别。

传统软件与业主、咨询、设计、专业设计、总包、分包、供货商、投资者间存在的是点对点的信息交流关系。这些点对点的关系使得信息在传播过程中存在严重的不对等现象,给设计带来了巨大的后期工作量——反复修改。这样反复的修改不仅增加了工作量,更延缓了设计时间,使得整个建设任务在设计阶段无法高效的进行。而设计者往往在复杂的修改过程中,失去了思考的时间,但是思考正是设计的灵魂所在。

BIM技术发展的初衷就是解放设计师的灵魂,给设计师以充足的思考时间。因此,BIM改变了传统工艺点对点的交流模式,变成了管理集中模式。这种模式新建了一项“项目信息”机构^[7],这个机构负责整个工程的信息集中管理和共享。有了“项目信息”机构,设计者可以更好的获得有效资料,最大程度的减少了因为理解分歧导致的反复修改工作。不但能够缩短单个项目的设计时间,还提高了设计质量。

在设备设计表达方面,水、暖、电三类管道的交错十分复杂。在传统平面设计中,这样的交错需要通过另外绘制剖面图来表示清楚,这一过程不但增加了图纸的工作量,而且只能表达几个关键剖面的管线排布。而BIM技术所提供的三维设计窗口,在设计的最初就解决了这一问题,不但减少了工作量,还能够清晰全面的表达管线排布。例如:在给排水专业设计中,水表井中多个水表的排布,在二维平面中只能铺开布置,与现实情况不符。在三维设计中,可以按照实际施工

情况，将其按照不同高度，垂直排布在同一面墙附近，增强整体的美观性（见图1）。

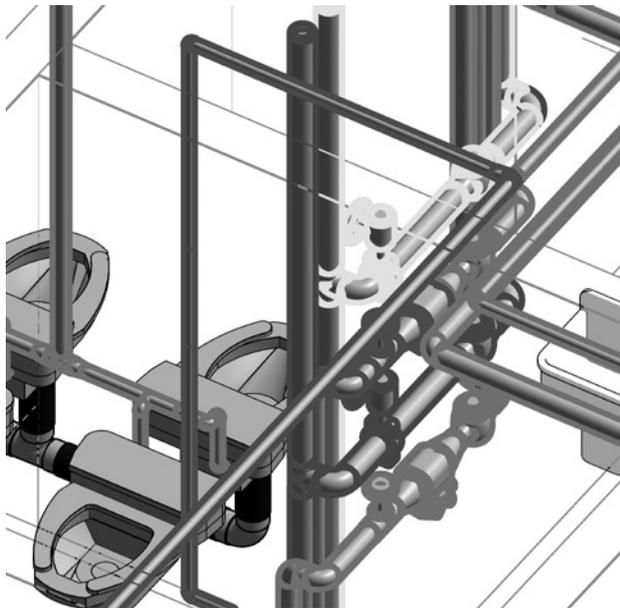


图1-1 给排水多水表排布示意图

在设备设计时间方面，细节的增加会一定程度上影响绘图的速度。但根据笔者的实际设计经验，电脑的数据处理速度或已成为设计时间上最大的影响因素之一。由于三维表达造成的数据增加，对设计单位的电脑处理能力产生了更高的要求。对于设备设计来说，相当于至少三个独立设计单元（水、暖、电）在同一个平台上同时操作，而且需要频繁的进行实时同步。由此造成的庞大数据流影响了电脑的运行速度，卡机死机等情况频繁。这一现象在大型项目的设计中尤为凸显。

四 BIM技术在国内发展的优势与劣势

4.1 BIM技术在国内发展的优势

BIM技术作为一项设计新技术，从根本上改善了设计工作的繁琐程度。其优势在于：可视、协调、模拟等性能优越。

项目设计、建造等建设过程可视，能够使开发商和设计单位进行更好的沟通，并促成最优的决策。BIM的协调流程能够减少方案的变更。而且，3D画面的模拟，能够对能效、紧急疏散等进行时间和造价控制上的模拟，对整个建筑的节能以及人员逃生有着极大的帮助。

4.2 BIM技术在国内发展的劣势

BIM技术作为一项设计新技术也有很多有待

改善的地方。通过2007年到2010年的业内调查显示，目前阻碍BIM发展的问题有主要分5个方面：设计师的思维转型、设计企业的模式转变、业主的投资回报风险、BIM适用性较差、生产组织方式不足等。其中设计师的思维转型，设计企业的模式转变，生产组织方式不足属于人为因素，能够通过企业与设计师之间的不断协调进步来得到完善。而业主的投资回报风险，属于评估的内容，目前尚未有以设计技术表达的先例，因此是建筑设计有待完善的又一突破口。至于BIM适用性较差这一问题，属于软件开发问题，需要软件开发商与主流应用软件相协调，来获得更高的兼容性，提高使用便宜效果。

5 总结与展望

虽然BIM技术在国内的研究还处于起步阶段，但该技术的优势已经引起业内设计者的广泛重视，也有了不少应用的成功案例。尽管BIM技术在应用过程中尚有不足，但瑕不掩瑜。同时，国内电脑计算能力的不断发展，将为BIM技术带来新的发展契机。

参考文献

- [1] 李永奎 建设工程生命周期信息管理 (BLM) 的理论与实现方法研究[D] 同济大学 2007.
- [2] Time to Start Thinking About Building-Information Modeling, Design Firm Management & Administration Report May 2004(04).
- [3] 印明 市政工程设计中BIM技术的发展前景[J] 城市道桥与防洪 2012(07).
- [4] 张雷 姜立 叶敏青 于贵有 基于BIM技术的绿色建筑预评估系统研究[J] 土木建筑工程信息技术 2011(01).
- [5] 曹萍 业主方建设项目管理的核心职能研究 [D] 同济大学 2007.
- [6] 潘佳怡 赵源煜 中国建筑业BIM发展的阻碍因素分析[J] 工程管理学报;2012年01期.
- [7] 尹为强 肖名义 浅析BIM5D技术在钢筋工程中的应用[J] 土木建筑工程信息技术 2010(03).

基于海绵城市（LID）理念的雨水控制模拟效果分析

■ 乔梦曦 刘芳 「给排水」

摘要: 城市长期高强度开发扩张模式给水环境带来了洪涝、干旱、地下水位下降、污染等一系列不良后果,因此我国提出海绵城市(LID)建设理念,能够弹性应对自然变化和灾害,减少传统城市开发的弊端。本文通过SWMM软件模拟典型地块,采用不同开发模式的条件下,对场地水文条件的影响,分析模拟结果,为后续场地设计提供指导意义。

关键词: 海绵城市;低影响开发(LID)SWMM模型

传统的城市排水理念可总结为“快排”。高速的城市发展,城市面积无限制的扩张,形成大面积的不透水铺装,降雨时雨水通过雨水口收集、管道输送排放至河道,与开发前相比,地面径流时间大大缩短,峰值流量剧增,出现峰值流量的时间提前,大量的雨水短时间排至河道,超过河道运输能力,容易引发洪涝灾害。而且,雨水冲刷路面和管道,携带大量污染物,污染水质。同时,城市又面临地下水开采过度,地下水位急剧下降,生态环境逐渐恶化。在此背景下,现代的城市建设、水环境系统建设需要新的建设理念,因此“海绵城市”理念应运而生。

1 海绵城市的本质与内涵

海绵城市的本质就是改变传统城市建设理念,减少传统城市建设带来的弊端,实现与资源环境的协调发展。在《海绵城市建设技术指南——低影响开发雨水系统构建(试用)》中对海绵城市的定义如下:城市能够像海绵一样,在适应环境变化和应对自然灾害等方面具有良好的“弹性”,下雨时吸水、蓄水、渗水、净水,需

要时将蓄存的水“释放”并加以利用^[1]。

海绵城市的建设可以通过低影响开发(Low Impact Development, LID)理念和措施来完成。LID是在美国马里兰州首次提出,针对新建或改造项目中,结合生态化措施在源头、分散管理雨水径流的理念与方法^[2]。主要措施有雨水花园(生物滞留)、渗透设施、绿色屋顶、植草沟、雨水积蓄利用等生态化措施。通过这些措施减少排放、控制污染、使场地开发后水文状态尽可能趋于开发前的状态,从而达到对场地水文条件的低影响。

许多发达国家已经制定法律法规限制雨水排放,如美国要求场地开发前后的水文状态要趋于一致,德国要求新建的场地不增加外排雨水,否则增收雨水排放费等。北京市地方标准《雨水控制与利用工程设计规范(DB11/685-2013)》中也提出雨水控制利用工程应削减径流排水、防止内涝及雨水的资源化利用为目的,兼顾城市防灾需求。因此在规划、设计、评价雨洪管理系统时,需要核算开发前后的场地径流量,模拟开发前后的水文状态。常用的计算模拟软件有SWMM, Infoworks, MIKE, XPSWMM, SWAT等。由于SWMM模型功能强大,运行要求相对宽松,可以输出多种形式数据结果便于分析,代码开源等特点受到许多国家的广泛应用。本文也将采用SWMM模型对场地雨洪控制效果进行模拟。

作者简介:乔梦曦,女,助理工程师,2013年毕业于北京建筑大学环境工程专业,现就职于中航建发飞机工程院。

2 SWMM (Stormwater management model) 模型特点

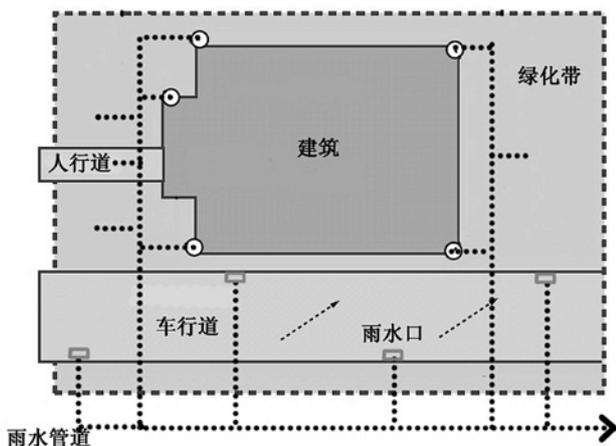
SWMM (Stormwater management model) 模型是美国环保局EPA (Environment Protection Agency) 自1971年开发的软件, SWMM模型具有模拟单一或长期降水事件的水文、水力以及水质功能。该模型经多次升级更新现在可用于城市排水管网、洪涝控制系统设计计算, 调蓄措施的设计计算, 径流入渗对城市排水系统的影响评价, 合流制溢流分析以及LID控制效果评价等方面^[3]。

3 概化场地雨洪模拟分析

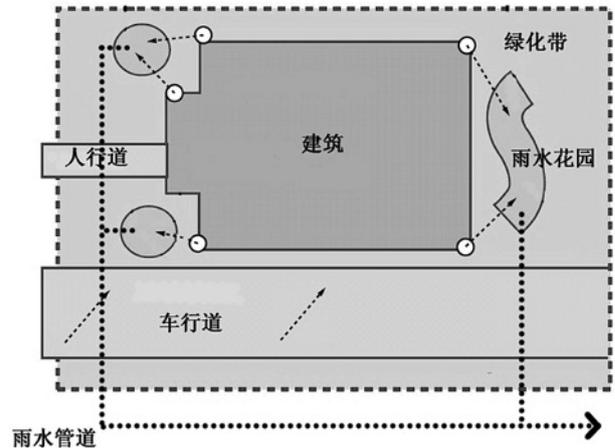
本文选取北京某典型地块进行概化, 采用SWMM模型模拟分析传统雨水排放方案与采用LID措施后场地的雨水排放效果。

3.1 概化方案

概化方案如图1所示。方案a为传统的管道排水方式, 将屋面雨水经过雨水斗收集, 通过雨落管直接排入雨水管道中, 道路雨水通过雨水口排入雨水管道中, 绿地等其他下垫面场地, 超出其下渗能力的雨水也最终汇入雨水管道中。方案b为在场内采用雨水滞蓄措施, 如雨水花园(生物滞留池)、下凹式绿地等, 本文以雨水花园为例。该措施主要用于渗蓄不透水汇水面产生的径流, 如屋面雨水、道路雨水, 从而可以减少雨水径流、补充地下水资源。



(a) 传统雨水排放方案



(b) 雨水滞蓄措施方案

图1 概化方案示意图

3.2 参数设置

概化地块的面积为0.04ha, 透水面积绿化带占40%, 不透水面积包含屋面面积占40%, 道路面积占20%。地面坡度取0.5%。土壤的渗透系数参考的北京的土质, 选择轻亚粘土或亚粘土, 土壤渗透系数取 $1 \times 10^{-6} \text{m/s}$ 。管道的粗糙度, 即曼宁系数选取0.01。管道的坡度: 1‰~20‰。LID雨水控制利用措施设计规模, 参见表1, 雨水控制措施设计10mm降雨量, 能够控制全年降雨量的30% (仅针对北京地区)^[4]。

表1 小尺度LID-雨水花园措施设计参数

水质控制容积	水渗蓄措施占汇水面积比	调蓄高度 (mm)	控制率 (全年降雨量制率)	备注
LID-10mm	5%	50	30%	本次采用
LID-20mm	10%	50	50%	对比参考
LID-30mm	15%	50	85%	对比参考

3.3 雨型选择

城市市政雨水系统相对汇水面积相对较小, 设计降雨历时一般为2~3小时, 最小时段为5分钟, 雨型的推求方法比较多, 有芝加哥雨型、极序平均法雨型、SCS雨型、同频率分析方法, 考虑到资料特点和适用性, 本文选取了暴雨强度公式推导出的雨型, 即合理化公式雨型, 和北京市的典型雨型作为模型模拟采用雨型。其中北京市的暴雨强度公式采用公式(1)。设计重现期采用

P=3a, 地面集水时间10min.

$$q = \frac{2001(1 + 0.811lgP) L}{(t + 8)^{0.711}} \frac{L}{s} \cdot ha \quad (1)$$

3.4 模拟结果

经过SWMM模型模拟, 在合理化公式雨型和典型雨型条件下, 传统排水方案与LID雨水花园方案的外排水流量变化曲线如图2所示。

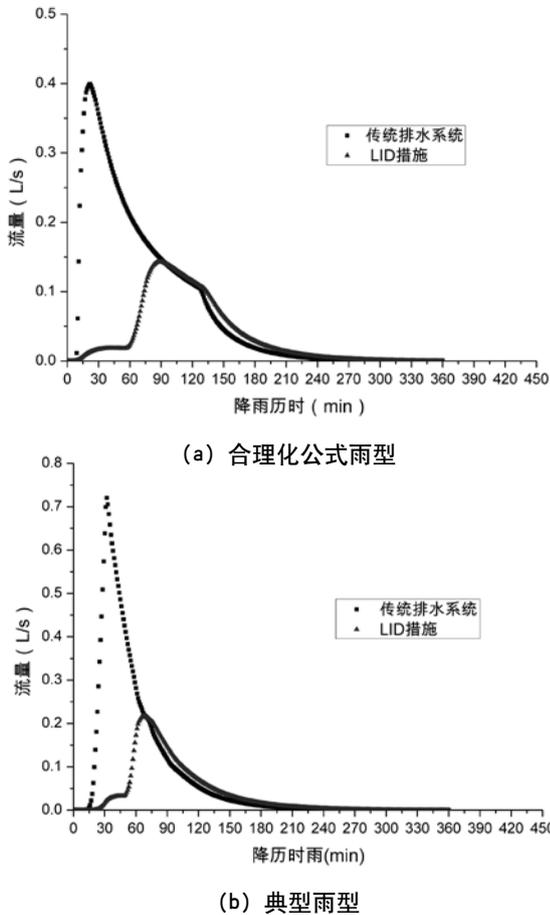


图2 重现期P=3a, 不同雨型末端管道流量随时间变化曲线

在重现期P=3a, 不同雨型条件下, 两种方案模拟出的峰值流量, 到达峰值时间和和径流总量的结果参见表2所示。

表2 重现期P=3a, 合理化雨型, 不同措施的峰值流量、峰值时间和和径流总量

	合理化公式雨型		典型雨型	
	传统峰值	雨水花园	传统峰值	雨水花园
峰值流量 (L/s)	0.3994	0.14296	0.7204	0.021769
峰值时间 (min)	22	88	21	67
总量 (L)	1892.6	770.6	1925.6	800.9

3.5 模拟结果分析

(1) 峰值削减效果: LID措施具有较好的峰值削减能力, 根据模拟结果, 在合理化公式雨型条件下, LID-雨水花园能够削减传统措施峰值的64.21%; 在典型雨型条件下, LID-雨水花园能够削减传统措施峰值的69.78%。

(2) 延峰效果: LID措施改变了雨水径流的运输路径, 从而具有较好的延峰效果。在合理化公式雨型条件下, LID-雨水花园措施延长至88分钟, 延长了66分钟; 在典型雨型条件下, LID-雨水花园措施延长至76分钟, 延长了55分钟。

(3) 总量控制: LID措施具有削减径流总量的效果。在合理化公式雨型条件下, LID-雨水花园能够削减传统措施径流总量的59.28%; 在典型雨型条件下, LID-雨水花园能够削减传统措施径流总量的58.41%。

(4) 理论上讲, 在不透水面积比例高的地区, 两种雨型的峰值削减效果, 合理化公式要优于典型雨型, 因为合理化公式的降雨峰值在前端, 滞蓄措施的调蓄空间先削减前端峰值。但本方案的场地的透水面积较大, 占到40%, 两种雨型在传统布置条件下末端管道出现的峰值相接近, 因此最后出现合理化公式的削峰、延峰、总量控制效果优于典型雨型的结论。

4 总结

通过SWMM软件对典型地块模拟结果显示, 不同雨型条件下, LID措施能够有效管理城市雨水, 削减峰值流量, 延长到达峰值的时间, 减少场地雨水外排, 使场地水文恢复到开发前的状态。因此在场地开发时应尽可能采用LID措施, 建造海绵型城市, 保持水环境的健康和良性循环状态。

参考文献

[1] 仇保兴海绵城市 (LID) 的内涵、途径与展望.
 [2] USEPA. 2000 Low Impact Development A Literature Review, EPA-841-B-00-005, Office of Water (4230) Washington, DC 20460.
 [3] Storm Water Management Model Applications Manual, United State Environmental Protection Agency, 2009.7.
 [4] 潘国庆, 车伍, 李俊奇等. 中国城市径流污染空置量及其设计雨量[J]. 中国给水排水, 2008, .24(22):25-29.

基于某工程实例的膜制氮与液氮汽化方案技术经济分析

■ 王晓东 杨丽莉 「设备」

摘要: 本文以某大型复合材料厂房的氮气供应为实例,分析现有能源资源条件,确定膜制氮与液氮汽化供应氮气的具体方案,并从技术、经济等方面对比分析两种方案,旨在为后期类似项目的氮气供应方案的优选提供借鉴。

关键词: 氮气供应;膜制氮;液氮汽化;技术性分析;经济性分析

0 前言

热压罐作为复合材料厂房中的重要设备,随着热压罐容积的不断加大,对于氮气的需求量也不断增加。因地制宜地选择合适的氮气供应方案能够为企业带来良好的经济效益与社会效益。膜制氮与液氮汽化供应都是目前较为成熟的氮气供应方式,两种方式都能够稳定地供应氮气。本文以某大型复合材料厂房为工程实例,从技术经济方面对比膜制氮与液氮汽化两种供应方案,旨在为类似项目在氮气供应方案的选择上提供借鉴。

1 工程概况

本工程为江西某公司在新区内兴建的大型复合材料厂房,氮气需求为:固化区的7台热压罐需用氮气,均要求在15min内将热压罐从常压充到1.2MPa,氮气纯度不低于92%。热压罐的生产周

期为每天3班,每班8h。每班首次充气总容积为1305m³;隔2h后进行第二次充气,充气总容积为536m³。

2 现有建设资源条件

根据项目资料,该项目建设方已向政府征得大片土地用于厂区建设,土地资源较为丰富;厂区内、外交通运输方便;厂区内已敷设有10kV电网,电力资源丰富;距离厂区不远处拥有液氮、氮气供应厂家,液氮资源能够满足使用需求。

3 膜制氮与液氮汽化方案的确定

依据对项目建设资源状况、当地政策及设备采购市场等的了解,结合类似工程项目的实践经验,对合适的氮气供应方案进行分析。根据现有的技术水平和项目的资源条件,采用膜制氮和液氮汽化两种氮气供应方案均为可行的方案。

3.1 液氮汽化方案

3.1.1 液氮汽化方案工艺流程(见图1)

作者简介:王晓东,男,助理工程师,2013年毕业于天津大学供热、供燃气、通风及空调工程专业,现就职于中航建发飞机工程院。

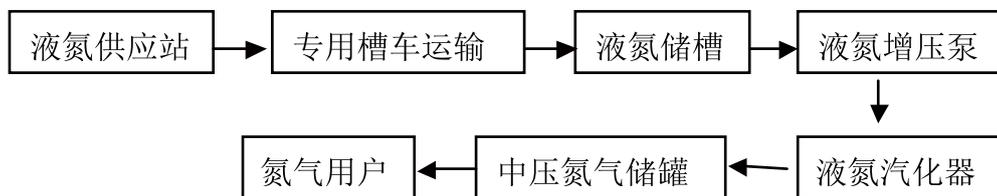


图1

3.1.2 方案说明

a) 按每天3班运行, 氮气气/液比按634考虑, 每班(8h)液氮消耗量 34.8m^3 , 每天液氮消耗量 104.4m^3 , 全年运行按6048h, 则每年液氮购买量至少 26310m^3 (尚未计入液氮储槽的日蒸发率约0.2%)。目前最大的液氮槽车容积为 24m^3 , 即平均每天需要有5辆槽车给本厂房运送液氮。

b) 由于液氮的纯度比较高($\geq 99.99\%$), 且温度很低(可达 -196°C), 远比热压罐用氮气的质量高, 因而液氮的采购成本较高。

3.1.3 液氮汽化方案系统配置

为满足热压罐氮气使用需求, 在厂房外布置液氮汽化系统, 其主要设备配置有: 4个容为 150m^3 的液氮储槽; 2台流量为 $6.8\sim 10.3\text{m}^3/\text{h}$ 的液氮增压泵; 3台汽化量为 $3000\text{Nm}^3/\text{h}$ 的氮气汽化器(2用1备), 5组中压卧式氮气储罐, 每组由2个单个容积为 120m^3 的储罐上下叠装组成。整套系统占地 1300m^2 (含中压卧罐占地 800m^2)。

3.2 膜制氮方案说明

3.2.1 膜制氮原理

膜分离制氮技术是根据空气中的各种气体在膜两侧压差作用下, 在膜中的溶解度和扩散系数不同, 导致渗透率较快的水蒸气、氧气等气体先透过膜, 成为富氧气体, 而渗透较慢的氮气则滞留富集, 成为干燥的富氮气体, 从而达到氧氮分离的目的。

3.2.2 膜制氮方案工艺流程(见图2)

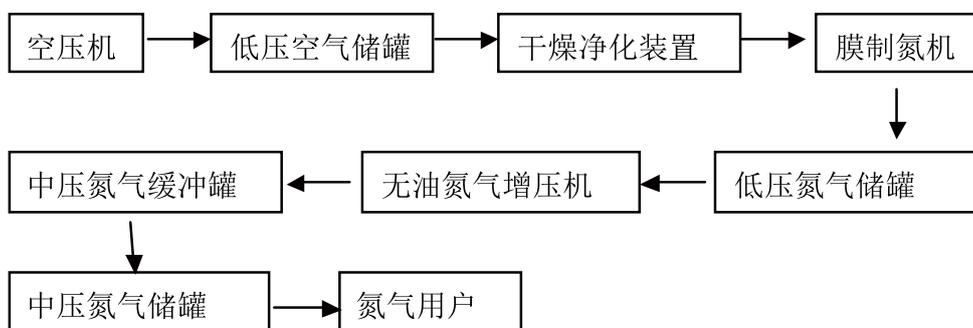


图2

3.2.3 膜制氮方案系统配置

为满足热压罐氮气使用需求, 在厂房内设置制氮站。制氮站内安装4台水冷螺杆式空压机, 处理气量为 $50.5\text{m}^3/\text{min}$; 安装中空纤维膜氮气发生器4台, 单台产氮量均为 $23\text{m}^3/\text{min}$ (含: 前置过滤器、水冷冷干机、除油过滤器、后置过滤器、中空纤维膜分离器、加热器、氮气流量计, 纯度计及控制仪表); 安装水冷无油氮气增压机4台。另外为保证制氮过程中压力的稳定, 安装立式低压压缩空气罐1个(容积 20m^3), 立式低压氮气罐1个(容积为 20m^3), 立式中压氮气缓冲罐4个(单个容积为 2m^3)。为保证氮气供应压力稳定, 安装卧式中压氮气罐(双罐)5组, 用于储存增压后的氮气, 每组由2个单个容积为 120m^3 的储罐上下叠装组成。整套系统占地 1700m^2 (含中压卧罐室外占地 800m^2)。

4 两种氮气供应方案技术分析

两种方案都存在各自的优缺点。具体比较见表1。

5 两种氮气供应方案的经济性分析

氮气供应方案经济比较中的基础数据见下表2。

表1 氮气供应方案技术比较

氮气供应方案	液氮汽化	膜制氮
运行周期	可长期连续运行	可长期连续运行
设备构成	液氮储槽、液氮泵、汽化器等	中压机，冷干机，三级过滤器，空气缓冲罐，膜制氮系统，氮气缓冲罐，控制系统等
运行稳定性	可长期稳定运行	膜制氮性能稳定，只须对过滤器及阀门等进行正常的维护，可长期稳定运行
操作难易程度	简单	较简单。只须现场经过一天培训，即可掌握操作要领，可由相关岗位兼管
氮气供应灵活性	液氮需长期购买，如出现运输、液氮供货商出现问题。氮气供应将出现断档，对生产造成影响。氮气的稳定供给受制于人。	制氮设备启/停灵活，在用户不需要用气时，可随时停运装置，再启动过程时间可在20分钟内完成。客户可以根据氮气的需求，灵活掌握氮气供给。
装置的安全性	低温液化气体、压力容器等存在安全隐患，主要包括：压力容器超压爆炸，低温冻伤，氮气窒息等方面。管理麻烦。	装置为常温气体分离设备，不存在低温液化气体，安全性好。
设备安装	集成化程度较低，现场安装工程量相对较大，150m ³ 的液氮储槽吊装较困难	集成化程度高，撬装式设备，安装简便
能源、资源需求	对配电要求较小，减轻对城市电网峰值电力需求负担；节省电能，减少电力系统扩容投资；系统室外布置，占地较小；相应管理资质运行管理人员需求较少。	配电要求高，耗电量大，冷却系统需求大，主要设备需室内布置，占地较大；相应管理资质人员运行管理人员需求较多。

5.1 初投资分析（见表3、4）

表2 氮气供应方案经济比较基础数据表

序号	项目	标准
1	综合电价	0.6元/kWh
2	自来水水费（工业用）	2.6元/m
3	液氮单价	800元/m
4	基准收益率i（考虑银行贷款利率及通货膨胀等因素）	5%
5	机组使用年限	10年

表3 液氮汽化供应方案初投资

主要设备（万元）	材料（估计）（万元）	设计（估计）（万元）	安装（估计）（万元）	土建（估计）（万元）	初投资（汇总）（万元）
1362	28	28	28	68	1514

表4 膜制氮供应方案初投资

主要设备(万元)	其他设备(水、电)(万元)	材料(估计)(万元)	设计(估计)(万元)	安装(估计)(万元)	土建(估计)(万元)	初投资(汇总)(万元)
2107.2	300	42	42	42	341.3	2874.5

表6 膜制氮供气方案运行费用

序号	费用名称	说明	消耗量	单价	年费用(万元)
1	全年电费(主要为各种设备运行电费)	每班电耗14400 kWh	全年电耗10890,000 (kWh)	0.6 (元/kWh)	653.4
2	10年平均年度维护与保养费用	按设备总投资的3%计算	—	—	63.2
3	水费		全年水量907200 (mm ³)	2.6 (元/m ³)	236
4	年度人工工资	—	10人	45000 (元/人年)	45
主要运行费共计					997.6

5.2 运行费用分析 (见表5、6)

表5、6 液氮汽化供气方案运行费用

序号	费用名称	说明	消耗量	单价	年费用(万元)
1	全年购买液氮	每天3班, 全年工作6048h	26310 (m ³ /年)	800 (元/m ³)	2368
2	全年电费(主要为液氮增压泵运行电费)	每班电耗200kWh	全年电耗151,200 (kWh)	0.6 (元/kWh)	9
3	10年平均年度维护与保养费用	按设备总投资的2%计算	—	—	30
4	年度人工工资	—	5人	45000 (元/人年)	22.5
主要运行费共计 (未计液氮储槽日蒸发率0.2%)					2429.5

5.3 经济性对比

5.3.1 全寿命周期成本

由以上计算的初投资和年运行费用可以得到系统改造方案的全寿命周期成本的净现值C。计算方法为:

$$C = P + A \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

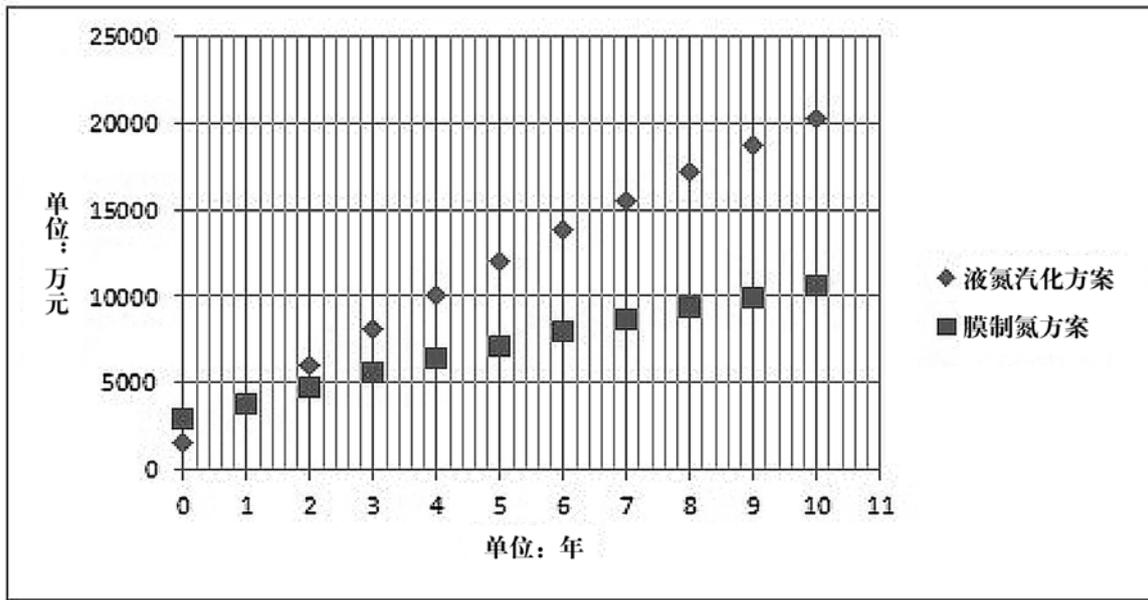
式中: C ——全寿命周期成本的净现值

P ——初投资
 A ——年运行费用
 i ——基准收益率
 n ——机组使用寿命
 年均全寿命周期成本C' = C/n。
 计算结果如下页表7。

表7 全寿命周期成本计算

氮气供应方案	初投资P(万元)	运行费用A(万元)	全寿命周期成本C(万元)	年均成本C'(万元)
液氮汽化	1514	2429.5	20274	2027.4
膜制氮	2874.5	997.6	10578	1057.8

图3 全寿命周期成本净现值比较



根据全寿命周期成本的净现值计算方法，可以算出膜制氮方案的全寿命周期成本净现值C为10578万元，其中初投资占27.2%。液氮汽化方案的全寿命周期成本的净现值C为20274万元，其中初投资占7.47%。根据净现值膜制氮方案经济性最好。

图3为各年的所有投资的净现值变化，可以看出，即使是在考虑资金的时间价值的情况下，膜制氮方案经济性最好。液氮汽化方案尽管投资较低，但运行费用较高，全寿命周期成本较高。

5.3.2 投资回收期

通过计算可以得出，膜制氮方案相对液氮汽化方案多出的初投资，静态回收期约为0.95年。即使是在考虑资金的时间价值的情况下，当基准收益率为5%时，动态回收期为1.1年，也就是说在考虑资金的时间价值的情况下，也只需1.1年即可收回多投资的部分。

6 结论

综上所述，针对该项目的具体情况，膜制氮方案更加经济，具有很好的经济效益，为本项目的首选方案。

氮气供应方案的确定，应根据实际工艺需求，结合项目所在地区的能源、资源、地政策及设备采购情况，通过对多个方案的技术经济比较，因地制宜地进行选择。

参考文献

- [1] 黄建彬. 工业气体手册[M]. 化学工业出版社, 2002.
- [2] 气体站工程设计与施工[M]. 中国建筑标准设计研究院.

高温烟道支架改造

■ 李博聪 孙雨生「设备」

摘要: 文章给出了在某项目中, 高温烟道的初始设计条件, 根据此初始条件, 原高温烟道支架设计中长出现的问题, 以及通过计算软件ANSYS验证原、现支架的应力变化。所笔者通过理论分析结合现有的实际经验, 给出了在降低工作量为前提下缓解支架与烟道之间应力集中的的解决方案, 并完成了支架的机械设计。

关键词: 高温烟道; 支架; 应力集中; 保温材料

绪 论

在某连续炉项目中, 500℃的高温烟道经过长时间的工作, 部分支架出现问题。由于原高温烟道滑动支架采用滑动支架与烟道直接焊接联接, 焊缝在长时间工作下由于热应力集中造成了损坏, 部分焊缝产生裂纹。为了避免出现原情况, 故需要研发一种烟道与支架全新的联接方式。

1 支架的主要技术参数及组成部分

1.1 技术参数

- 1.1.1 烟道管径: 外径1024mm, 管厚12mm
- 1.1.2 烟道材料: 304
- 1.1.3 支架材料: Q235
- 1.1.4 工作温度: 500℃
- 1.1.5 工作压力: <0.5MPa
- 1.1.6 轴向力: 97N
- 1.1.7 重力: -24396N
- 1.1.8 侧向力: -10N
- 1.1.9 底板底部加与轴力等大反向摩擦力: -97N
- 1.1.10 材料等效应力: 111MPa
- 1.1.11 材料许用应力: 100MPa

1.2 组成部分

1.2.1 烟道(车间烟道)

由炉子排烟道出口至烟囱进口的一段排烟道称之为烟道。烟道的结构强度能承受烟气的温度作用和地面的载荷。为使烟道布置紧凑、技术经济合理、操作维修方便, 通常由多台炉子组成一个排烟系统, 一组排烟系统的烟道总长度以不超过100m、包含炉子数量不多于15台为宜。

1.2.2 支架

用于架空敷设烟道支撑的一种结构件。分为固定支架、滑动支架、导向支架、滚动支架等。此次改造主要选取滑动支架。

按支架的材料可分为钢结构、钢筋混凝土结构、砖木结构等。此次支架结构选取与烟道同材质, 为304。

滑动支架, 有滑动支撑面的支架, 可约束烟道垂直向下方向的位移, 不限制烟道热胀或冷缩时的水平位移, 承受包括自重在内的垂直方向的荷载。

1.2.3 保温材料

保温材料一般是指导热系数小于或等于0.2的材料。保温材料可收集多余热量, 适时平稳释放, 梯度变化小, 有效降低损耗量。保温材料主要分为软瓷保温、墙体保温、硅酸铝保温等。常规烟道保温采取的是硅酸铝保温。

硅酸铝保温, 硅酸铝保温材料又名硅酸铝复

作者简介: 李博聪, 女, 助理工程师, 2010年毕业于北京信息科技大学机械设计制造及其自动化专业, 现就职于中航工程集成设备有限公司。

合保温涂料，是一种新型的环保保温材料。其是单组份材料包装，无毒无害、具有优良的吸音、耐高温、耐水、耐冻性能、收缩率低、整体无缝、无冷桥、热桥形成。

在新方案中，保温材料选取纳米绝热材料。

纳米绝热材料，一般认为超级绝热材料是指：在预定的使用条件下，其导热系数低于“无对流空气”导热系数的绝热材料。

纳米材料主要性能如下：

1) 耐高温—长期使用温度高达1000℃（微纳隔热板耐温达1200℃，长期可达1150℃），复合结构可达1700℃。

2) 导热系数—小于常规绝热材料2~6倍。

3) 耐用程度—可做绝热体永久层，5~10年以上。

4) 经济节能—低于国外同类产品50%，比常规材料节能10~30%。

纳米材料应用范围：

1) 钢铁工业—钢包、中间包、电炉、加热炉、退火炉、混铁炉、烧结炉等。

2) 石油化工业—裂解炉、加热炉、管道等。

3) 陶瓷业—回转窑、梭式窑、隧道窑等窑体及管道。

4) 工业炉窑—背衬绝热、炉窑炉衬、炉窑隔热带等系统。

5) 电力工业—核电绝热系统、蒸汽轮机、锅炉管道系统。

6) 航空航天、建筑、建材、高/低温工程防火等。

2 计算软件

在此次改造项目中，设计过程与传统有一定的区别，传统设计是以成熟技术为基础，运用公式、图表、经验等常规方法进行的产品设计。现设计，是以计算机为工具，以融合了现代设计理念、方法、技术的仿真软件为平台的新型设计。

首先通过使用CATIA软件对烟道和滑动支架分别建模，然后支架计算主要选取了ANSYS作为计算应力和变形的软件，最后根据计算结果看是否符合设计要求。如若符合要求即不用进行更改，不符合的话，根据计算结果，针对某部分进行调节，再次进行更改，验算，直至符合设计要求为止。

1) CATIA

CATIA是法国达索公司的产品开发旗舰解决方案。作为PLM协同解决方案的一个重要组成部分，它可以帮助制造厂商设计他们未来的产品，并支持从项目阶段、具体设计、分析、模拟、组装到维护在内的全部工业设计流程。

CATIA提供了完备的设计能力；从产品的概念设计到最终产品的形成，以其精确可靠地解决方案提供了完整的2D、3D、参数化混合建模及数据管理手段，从单个零件的设计到最终电子样机的建立；同时，作为一个完全集成化的软件系统，CATIA将机械设计，工程分析及仿真，数控加工和CAT WEB网络应用解决方案有机的结合在一起，为用户提供严密的无纸化环境。

2) ANSYS

ANSYS软件是融结构、流体、电场、磁场、声场分析于一体大型通用有限元分析软件。软件主要包括三个部分：前处理模块，分析计算模块和后处理模块。

1) 前处理模块：提供一个强大的实体建模及网格划分工具；

2) 分析计算模块：包括结构分析（可进行线性分析、非线性分析和高度非线性分析）、流体动力学分析、电磁场分析、声场分析、压电分析以及多物理场的耦合分析，可模拟多种物理介质的相互作用，具有灵敏度分析及优化分析能力；

3) 后处理模块：将结果以色彩等值线显示、梯度模块、矢量显示、粒子流迹显示、立体切片显示、透明及半透明显示等图形方式显示出来，也可将计算结果以图表、曲线形式显示或输出。

3 原设计方案

设计方案：

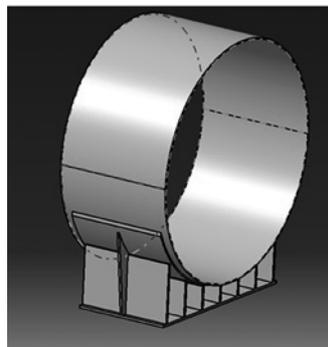


图1 原滑动支架

在烟道下方直接安装滑动支架，滑动支架的组成为：弧板，支撑板。弧板与烟道之间通过焊缝进行连接，烟道与弧板之间无保温材料，见图1。

根据原设计初始条件，使用ANSYS软件对其支架以及管

道进行了运算，运算结果见图2~4。

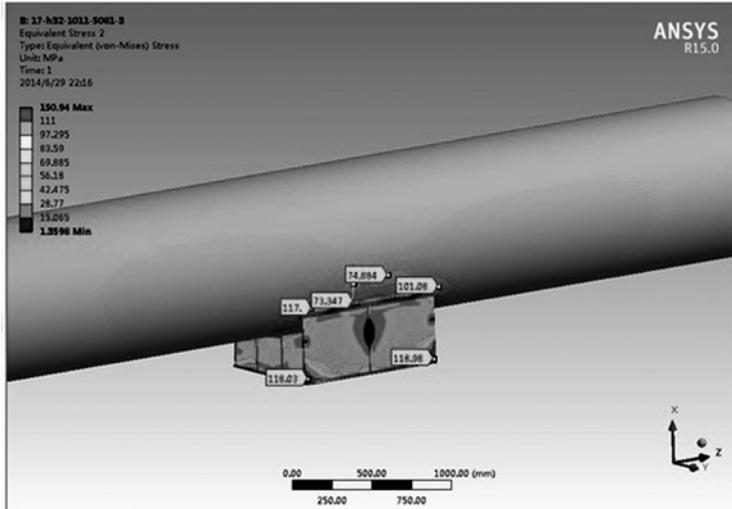


图2 等效应力-整体 (111MPa)

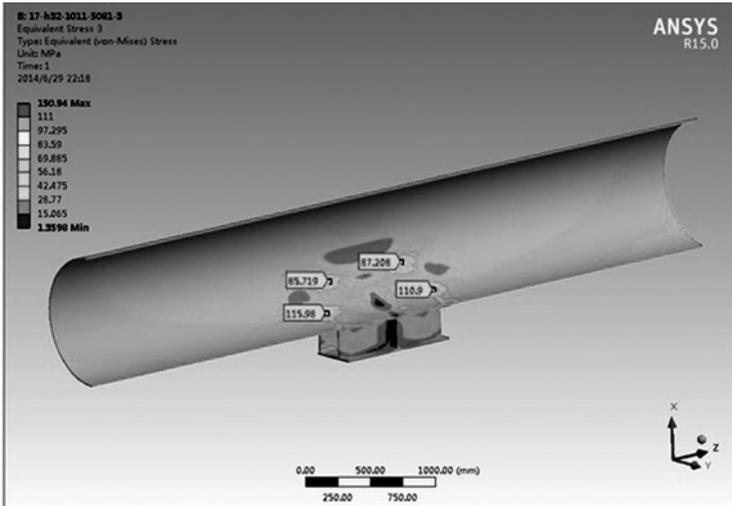


图3 等效应力-管内 (111MPa)

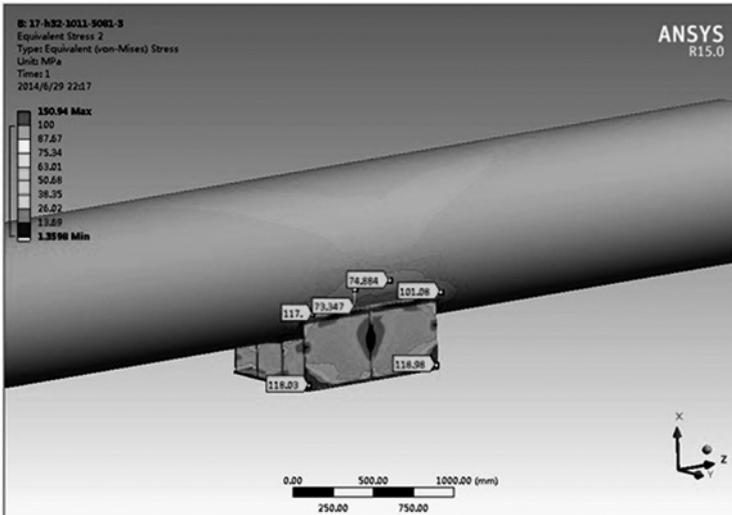


图4 许用应力 (100MPa)

结合以上结果表明，在500℃、<math><0.5\text{MPa}</math>的条件下，高温烟道由于没有外保温措施，在其与支架连接处，出现了应力集中的现象。

由于原设计方案通过焊缝将烟道和支架进行连接，当烟道受热膨胀后，焊缝限制其变形，而且焊缝的存在使得烟道的高温传递到支架上，进而导致烟道和支架产生不同程度的变形，外加烟道和支架之间存在温差，温差所产生的温差应力对两者均造成了不同程度的破坏。所以上述结果图片在两者连接的地方出现了应力集中点。

应力集中，是指结构或构件的局部区域的最大应力值比平均应力值高的现象。其属于弹性力学中的一类问题，指物体中应力局部增高的现象，一般出现在物体形状急剧变化的地方，如缺口、孔洞、沟槽以及刚性约束处。应力集中能够使物体产生疲劳裂纹，也能使脆性材料制成的零件发生静载断裂。在应力集中处，应力的最大值（峰值应力）与物体的几何形状和加载方式等因素有关。

热应力，温度改变时，物体由于外在约束以及内部各部分之间的相互约束，使其不能完全自由胀缩而产生的应力，又称变温应力。

温差应力的产生：

- 1) 结构因素：烟道与支架属于刚性连接；
- 2) 温差因素：烟道壁与支架之间存在温度差；
- 3) 材质因素：烟道与支架的线膨胀系数大小存在差异。

4 现设计方案

使用保温材料将两者隔离开这个联接方式，在烟道改造中大量被应用，它是将烟道原有的焊缝解开，并在烟道与滑动支架件铺满保温材料，从而将两者隔离开，并减少的热应力

的产生。将支架的材料与烟道材料保持一致，避免由于膨胀系数不同所产生的影响。

在现方案中，选取绝热性能好的纳米材料，所选取纳米材料具体性能如下：

1) 该材料在600℃的长期工作温度下，内层热面的纤维布颜色会变黑、变脆，但对隔热毡整体结构无影响，导热性能无变化，外层纤维布更无任何变化；

2) 如是在均匀受力情况下，即使柔性毡的压力增大到5mpa，仍然具有良好的导热性能，与原来差别不大，但是在体积上，会有不高于20%的压缩；

3) 纳米隔热材料的热膨胀很小，在600℃下几乎可以忽略，所以无需预留膨胀缝。

纳米材料需要在外围用薄钢板或者是硅酸铝纤维布进行包裹，并且需要注意外围环境。纳米材料雨水便稀释，所有需要采取一定的防雨措施。纳米材料在长时间的挤压下，有可能造成局部不均匀的情况。

将原有支架支板部分去除一定的尺寸（去除尺寸为增加保温材料的厚度），剩余支架部分无需改动。

此改动减少了原改造中，切割烟道，将支架从中取出，并重新制作新支架的工作量，并且最大限度的保留原有支架的结构见图5。

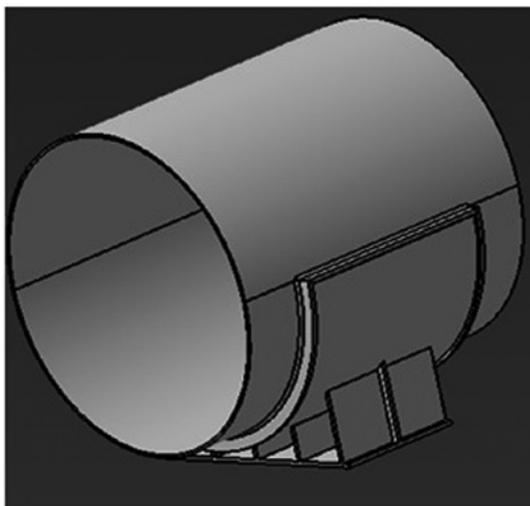


图5 滑动支架

在同等初始设计条件下，将改造后的支架重新放入ANSYS软件进行计算，得出结果见图6。

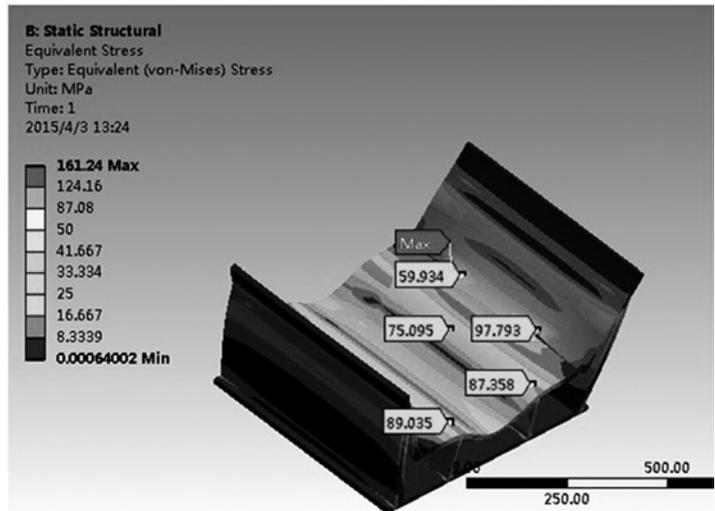


图6 许用应力 (100MPa)

在支架中，应力均没有超过100MPa，故在更改后应力得到了改善。

5 结论

由于在烟道与支架中铺垫了纳米绝热材料，并解开了两者之间的焊缝，从而烟道的温度得到了保护，避免了直接将烟道的温度传递到支架中，从而减少了温差应力对支架和烟道的破坏。

参考文献

- [1] 工业炉设计手册第2版机械工业出版社.
- [2] 材料力学 (I) 高等教育出版社.

环保型风力循环喷丸设备

■ 车青 刘劲松 「动力」

摘要: 喷丸设备风机启动后,室外空气在室内负压作用下经喷丸室顶部安装的分散送风消音装置流入室内,在喷丸室横断面形成空气静流层,把室内磨料、清理物、灰尘等压向地面,经吸丸地板带入磨料分选器,由分选器将有用磨料和其它废物及粉尘分开,有用的磨料流回喷丸罐循环使用,其他废物及粉尘被带入除尘器,经过空气动力及滤芯二级除尘后,灰尘流入垃圾桶,洁净空气经烟囱直接排入大气中。

关键词: 分选器;滤芯除尘;负压

1 设计原理和依据

该设备为环保型蜂窝式风力循环喷丸系统,适用于大小型焊接件喷丸除锈清理,是全天候除锈清理作业的工作场所。

1.1 基本技术参数(见表1、图1)

表1

1	喷丸室尺寸	20000L×10000W×10000H (mm)
2	工件最大重量	200t
3	工件表面清理等级	Sa2.0—Sa3
4	常用磨料	钢丸加钢砂
5	磨料直径	φ0.8~1.2mm
6	工件进出形式	工件车一端进出式
7	钢轨轨距	2.5m(喷丸室中间)
8	内部照明	照度经验值>300lux
9	除尘效率	>99%
10	废气排放	满足国家环保等相关标准要求

1.2 设计思想概述

为满足用户对大型焊接工件的去除氧化皮及锈蚀,提高表面质量,同时对工件表面进行强化处理的要求以及改善工人劳动条件、保护环境的要求,特为用户设计了一套喷漆前处理设备——环保型风力循环喷丸设备。喷丸设备的设计时

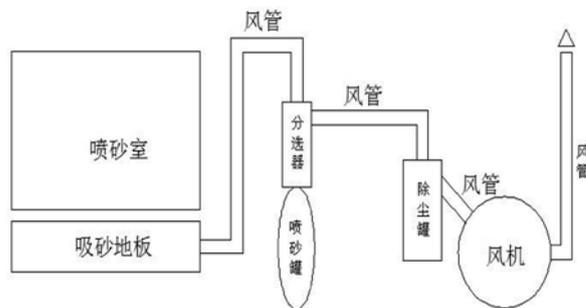


图1

本着“科学、合理、经济、实用”的原则,充分利用国内外先进的技术和工艺,精心选用国内外优质的配套设备,在保证工件质量、产品质量、外观水平和环境保护的前提下,尽量降低投资成本、运行维护成本,使该设备居国内同行业的先进水平。

1.3 喷丸室的工作原理及特点

1.3.1 工作原理

风机启动后,室外空气在室内负压作用下经喷丸室顶部安装的分散送风消音装置流入室内,在喷丸室横断面形成空气静流层,把室内磨料、清理物、灰尘等压向地面,经吸丸地板带入磨料分选器,由分选器将有用磨料和其它废物及粉尘分开,有用的磨料流回喷丸罐循环使用,其他废物及粉尘被空气带入除尘器,经过空气动力+滤芯二级除尘后,灰尘流入垃圾桶,洁净空气经烟囱直接排入大气中。

作者简介:车青,女,助理工程师,2010年毕业于天津工业大学机械工程学院机制专业,现就职于中航建发设备设计研究院。

1.3.2 技术特点

该设备是是目前喷丸行业中技术含量最高、质量最佳、使用寿命最长、工作环境最好的表面处理喷丸设备，主要具有以下四大优点：

①采用吸丸地板专利技术，没有深地坑可节约大笔基建费用；极少的维修量且简单易行；高能见度，便于观察工件加工情况且有良好的工作环境。

②配备功能独特的弹丸分选器，可以除去回收的丸子中<0.1mm的碎丸，从而使喷丸过程保持稳定的清理效率。

③安装国际顶级水平的空气动力+滤芯两级除尘的滤芯式除尘单元。体积小，寿命长，维护方便，其除尘效率可达99.9%，达到国家规定的环保排放标准。

④消音良好的彩钢板消音喷丸室，室体耐腐蚀性高、消音效果好、外型美观。

2 设备的构成及结构特点

该设备由喷丸室、吸丸地板系统、分选系统、喷丸及防护系统、除尘系统及控制系统等组成。

2.1 喷丸室

喷丸室包括室体、消音装置、照明系统、大门及小门等等。

2.1.1 室体

室体由型钢、彩钢板及橡胶板组成。

室体以型钢为骨架，保证室体的强度、稳定性从而满足钢结构房体抗负压的要求；骨架外采用拼装式EPS插口彩钢保温板（75mm），彩钢板的保温、隔热、隔声性能优良且非常美观；为保护彩钢板不被钢丸打坏，在骨架内衬防护钢板，并贴4mm白色耐磨橡胶板，此橡胶板同时起到阻尼消音作用，并使室内更加明亮。

主室体内部尺寸为：20000L×10000W×10000H（mm）

2.1.2 消音装置

在设备工作时室体内部唯一与室外贯通的是室体顶部的进风口，如果不采取措施喷丸产生的噪音将对外界产生噪音污染。我们利用航空发动机试车台的消噪技术，在室体进风口设置消音装置，可以将1000~2000Hz尖利刺耳的声音转化为500Hz以下的柔和低音，并且能防止喷丸作业时喷出的丸料通过进气口飞溅到室体外面，同时此装

置在室内还起到均流的作用，使气流在室内重新分配，均匀沉降。

2.1.3 大门及小门系统

本设备室体靠近厂房端设柔性提升式堆积门，大门净尺寸10000×10000（W×H），供工件通过，大门开闭的运行过程中配置双重限位（行程开关和极限位置挡块），确保使用安全。室体一侧各设两外开安全小门，门净尺寸为800×1800（W×H）mm，供操作人员出入。大门及小门具有良好的密封性不会使丸料飞出同时大门及小门均配置自锁联动机构，保证使用安全。

2.1.3.1 柔性提升式堆积门

门体结构由轨道、加强杆、上部框架和导向装置和帘布等组成，底侧采用专用橡胶密封，两侧有密封罩，保证无粉尘进入。门体在运行平稳并伴有声光报警装置。

帘布采用单层PVC帘布，帘布两端与轨道封板接触的位置有特殊的加强抗磨带，保证帘布的使用寿命。在大门的上部和底部，设有行程限位开关，控制大门的开启和关闭，见表2。

表2

大门总体	大门功率（kW）	3
	大门升降速度(m/min)	6-12
大门面料	性能稳定温度范围	-30℃--70℃
	密度 克/平米	1100
	基体材料	聚酯乙烯（PVC）
	面层材料	高强度聚酯乙烯
	制造商	法国
	抗拉强度	2000N/5cm
	面料厚度	0.8mm±0.05mm
	撕裂强度	100N
	剥离强度	50N/5cm
	延伸率	15-20%
	耐水性	3×10mm ⁴ H ₂ O
	抗风能力	70kg/平米
	直线度、平面度要求	≤5mm
	驱动装置	功率（kW）
制造厂商		德国
密闭等级 IP		IP54
绝缘等级		F级绝缘
背带绳	提升能力（吨）	5
	安全系数	10
减速机	型号主体材质	
	制造商	德国
制动器	型号	
	制造商	德国

2.1.4 照明系统

在室体的顶部和侧部安装照明灯箱,室内光照度大于400Lux,全部灯箱采用飞利浦照明灯具和10mm钢化玻璃保护罩,具有安全节能、维护方便的特点。室内四角安装应急照明装置,当照明供电发生故障时,应急照明装置自动打开使室内操作人员方便离开现场;而且应急照明装置和侧灯均加防护网,防止钢化玻璃被打毛。共配置40套照明灯箱。

2.2 吸丸地板系统

包括吸丸地板、提丸风管、人行带孔地板块、轨道支撑梁和地坑封板等。

2.2.1 吸丸地板给用户带来的价值

2.2.1.1 不用施建深地坑和防水层为用户节约一笔可观的基建施工费用

吸丸地板是由一系列金属钢板经精确计算后制作而成的类蜂窝状结构体,其厚度一般在400mm~500mm之间,设备整体可直接安装在地面上,通过风力将落下的丸粒带走经分选后循环利用。而普通传统喷丸机是利用绞龙、斗提升机输送丸粒,落下的丸粒通过一个集料斗汇集到绞龙之中。因为丸粒的自流角是45度,所以集料斗的倾角一般也为45度才能使丸粒顺利滑落至绞龙中,这样普通传统设备就势必需要一个深地坑来容纳巨大的集料斗和绞龙。而深地坑又产生渗水问题,在绞龙和斗式提升机的交接处是深地坑的最底点,每当停止工作后这个地方始终会沉积一堆钢丸。如果防水做得不好,这堆丸极易受潮板结,在开机前工人不得不下去打碎板结块,因此使用起来极为不便。所以为防止深地坑渗水必须做多层防水层。做深地坑和防水层需要一笔可观的费用,这些费用是不包含在设备报价之中而由用户自己承担的,所以吸丸地板技术去除了深地坑和防水层为用户节约了大量隐含的基建施工费用见图2。

2.2.1.2 减少维修量从而减少停机率



图2

吸丸地板没有任何活动零件,维修量小,维护方便。只需连续使用两年更换一次风管弯头处的角板即可。完全抛弃了普通喷丸机设备所需的绞龙、刮板、斗式提升机等陈旧笨重的输丸机械,改用风力输送丸粒,高速气流从吸丸地板底部吸入,将粉尘和回用丸输送到分选器。避免了弹丸在输送过程中对输丸机械、传动机械产生的磨损及繁重的维修工作量,从而减少停机率。

2.2.1.3 使喷丸室产生高清晰的能见度从而提高工人的工作效率

传统的喷丸室一般是采用上吸风方式,就是在喷丸室上部有几个吸风口,这种方法能吸走灰尘,但上扬的粉尘使喷丸室内部的能见度极差,工人根本无法观察到工件的打击效果,一些没喷到和漏喷的地方只有停止工作等到室内粉尘散尽后才能发现,这样无形之中就降低了工作效率。自从吸丸地板技术推出以后,普通传统的喷丸设备也进行了改进,就是在集料斗上开几个吸风口,表面上类似吸丸地板的上进风下吸风的工作方式。但这几个吸风口不能均部在喷丸室地表面,就势必在喷丸室内形成几个气流柱,气流柱周围形成涡流区。粉尘在涡流区长期停留,也就不能使喷丸室达到真正高清晰的能见度的效果。

由于吸丸地板的类蜂窝状结构体均部于喷丸室地表面和喷丸室的上进风下吸风的工作方式,这样就使整个喷丸室内形成至上而下的均匀气流,对喷丸产生的粉尘有效的压制,使喷丸室产生清晰的能见度,工人对工件的打击效果直观可见,从而也就提高了工人的工作效率,同时也给操作工人带来了洁净的工作环境,避免了传统喷丸环境所带来的职业病。

2.2.2 风力回收系统的原理

利用散料悬浮输送的原理,使丸料在输送管道中在一定的速度下悬浮输送,最优输送模型是吸丸地板的技术核心。

2.2.3 吸丸地板数量及布置

沿室体纵向布置6条吸丸地板,每3条吸丸地板在端部汇总成一套提丸风管再分别接至分选器。

2.2.4 提丸风管

由钢板(厚6mm,16Mn)制作而成并在风管弯头处加装耐磨角板,此板可拆卸,便于维修。

2.2.5 人行地板

吸丸地板上部由带孔地板块组成行走平面,地板块具有承重和过滤双重作用。地板块由4mm

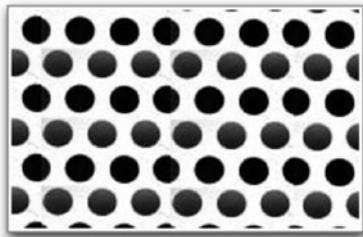


图3

冲孔板整体成型，外形美观、耐用且能阻挡5mm以上的杂质，实现杂质的初级过滤。

吸丸地板系统技术参数：

吸丸地板数量：2套

处理风量： $\sim 15500\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{套}$

输丸量： $\sim 10\text{吨}/\text{h}\cdot\text{套}$

耐磨角板：厚度8mm，材质65Mn

冲孔板规格：孔径 $\Phi 5\text{mm}$ ，孔中心距10mm

2.3 分选系统

2.3.1 系统组成

分离段（内含L型气力分离装置）、重力下丸装置、二次过滤装置、储丸斗、气动下丸装置、箱体等组成。

2.3.2 工作原理

在丸粒的回收再利用过程中，有用的弹丸、杂物和粉尘会混合在一起，如不进行处理会使再次喷丸时处理效率降低。分选器利用空气动力学原理，利用风力输丸的特点，在吸丸地板持续均匀输丸过程中，对磨料进行持续、均匀、稳定、彻底的分选。可以除去回收的磨料中的杂质和碎丸和粉尘，使喷丸过程保持稳定的清理效率。按照经验 $<0.1\text{mm}$ 的碎丸惯量小，对一般结构件处理效率很低，所以我们常规对 $<0.1\text{mm}$ 的碎丸及粉尘进行分离，但可根据实际情况对所分选的磨料粒度进行无级调节，选择适合所需要的粒度范围。

L型气力分离装置使小于 0.1mm 的碎丸及粉尘排入除尘器，可用丸通过重力下丸装置落入二次过滤筛中，大块氧化皮及杂质过滤掉后的有用丸落入储丸斗中。当喷丸罐需要加丸时，气动下丸装置将储丸斗中的磨料加入喷丸罐中。当喷丸罐磨料已加满时，气动下丸装置关闭，停止加丸。

分选系统技术参数：

分选器数量：2套

磨料分选量： $\sim 10\text{吨}/\text{h}\cdot\text{套}$

气动下丸装置工作压力： $0.5\sim 0.65\text{Mpa}$

储丸斗储丸量：5t/套

2.4 喷丸和防护系统：包括喷丸系统、防护系统

2.4.1 喷丸系统

中航院拥有三类压力容器的设计权，喷丸设备配用的喷丸容器由中航院设计并委托专业压力容器制造厂严格按照“压力容器规范”进行制造。产品持有劳动局监检的正规合格证，可直接进行压力容器申报。

2.4.1.1 系统组成

喷丸罐、落料阀（蘑菇头）、二位二通电磁阀（进气）、二位三通电磁阀（放气）、二位四通电磁阀（喷丸）、气动下丸阀、混丸器、喷丸胶管、喷枪和喷嘴以及喷丸罐气路前端的油水过滤器、调压阀、油雾器等。

2.4.1.2 工作过程

开启喷枪按钮，进气电磁阀打开，喷丸罐工作仓处于压力状态，顶部隔膜阀关闭，仓里磨料在压力作用下经底部下丸阀进入混丸器并和另一管路来的压缩空气混合，沿喷丸胶管进入喷枪，通过喷枪集束呈圆锥状高速喷射到工件表面；停止喷丸后，排气电磁阀打开，工作仓降压，顶部隔膜阀打开。需加丸时，开启加丸按钮，分选器气动下丸装置打开，将分选器储丸斗中的磨料加入喷丸罐工作仓中，当磨料料位升高到满仓料位仪感应杆的高度时，料位仪发出满仓信号，将分选器的气动下丸装置关闭，停止加丸。

根据处理不同工件的要求，气动下丸阀的下丸量及压缩空气量都可按实际情况进行调节。喷丸罐排气阀的排气管引入喷丸房内，减少丸罐排气时对周围环境的噪声污染。

2.4.1.3 喷枪

本方案配置2枪/罐。手动喷枪由安装在室体内侧壁上的按钮控制或者遥控器控制喷枪的启、停，使整个喷砂过程变得简便、容易操作。在侧壁装有固定支架，喷枪不用时挂在支架上，见图4。

2.4.2 防护系统

2.4.2.1 系统组成

防护头盔及披肩、空气连接管、调温阀、空气过滤器、减压阀等。

2.4.2.2 工作过程

室外压缩空气经过减压阀减压和空气过滤器过滤后通至调温阀，操作工人根据自身的要求随时



图4

调节通入头盔中的空气温度和流量，使工人工作时始终能呼吸到干净舒爽的空气，见图5。

喷丸和防护系统技术参数：

喷丸罐数量：2套

喷丸罐外形尺寸： $\Phi 1000 \times 2100$ (mm)

喷丸罐容积： 1m^3

工作压力： $0.4 \sim 0.65$ Mpa

压缩空气消耗量： $13.5\text{m}^3/\text{min}$ /单枪

压缩空气含水量： $<0.889\text{g}/\text{m}^3$

喷枪数量：共4把（满足2把同时使用）

处理效率： $15 \sim 35\text{m}^2/\text{单枪}/\text{h}$

喷枪控制方式：墙上按钮或者遥控器控制启、停
喷嘴直径及材质： $\Phi 14$ 的碳化硼喷嘴（使用寿命约1000小时）

喷丸胶管规格： $11/4''$ ，(使用寿命约1000小时)

工作磨料：钢丸和钢砂混用(规格 $\Phi 2.0\text{mm}$)

工件表面粗糙度： $\text{Ra}12.5 \sim \text{Ra}50$

工件表面清理等级： $\text{Sa}2.0 \sim 3$



图5 双进风喷枪喷砂胶管等

2.5 除尘系统:包括除尘器、风机和烟囱

2.5.1 除尘器

除尘器采用干式滤芯除尘，集空气动力分离与滤芯除尘新技术于一体，每个单元内设有一组垂直布置的锥形空气动力分离器（一级除尘）及分层布置的滤芯（二级除尘）。脉冲控制仪控制脉冲阀定时用压缩空气对滤芯进行反吹清灰，清理储灰斗中的灰尘用带灰桶的小车。

2.5.1.1 空气动力分离器

根据空气动力学原理将较大尘粒预先分离作为一级净化。空气动力分离器由一系列锥形环组成，环的尺寸至上而下依次减小，环与环的间隙约为25mm。含尘气体从上进入，经环体后不断减压分离，空气及部分细粉尘从环与环的间隙跑出，大部分粉尘从锥形环底部落入灰桶中，一级空气动力分离器的除尘效率为92%，大大减轻二级滤芯除尘负荷，从而提高做为精过滤滤芯使用寿命。

2.5.1.2 除尘器滤芯

结构采用复合滤材径向铺叠成无数褶皱的中空长圆筒，结构紧凑，因此滤芯的过滤面积远远大于它的表面积，是布袋除尘器过滤面积的30倍。滤芯滤材为国外进口，其表面有一层超细超薄亚微米级直径的纤维覆盖的复合材料，可以捕捉0.5微米的极细尘粒，且表面不会粘附粉尘，更不会对粉尘渗透到滤材内部，实现表面过滤。同时，可以使积聚在滤材表面的粉尘在压缩空气反向脉冲清灰过程中容易脱落。从而获得较高的过滤效率与较长的使用寿命，除尘效率达99.9%，见图6。



图6

2.5.1.3 清灰系统

由脉冲控制仪和脉冲阀组成，根据设备的粉尘负荷量设定适当脉冲频率控制脉冲阀反吹清灰。

2.5.1.4 集尘装置

是由灰桶和可直接推拉小车组成。

灰桶与除尘单元之间有一个活动衔接口，当储灰斗装满灰尘时，打开衔接口，储灰斗中的灰落至灰斗中，用小车运走灰桶并卸下灰尘。

2.5.2 风机

选用离心式中压风机，其噪音 $<80\text{dB}$ ，满足《工业企业厂区各类地点噪声标准》中生产车间及作业场所噪声限制值90dB的要求。

2.5.3 烟囱

由3mm钢板制成，顶部采用锥形风帽，此风帽能有效的将尾气排向空中并且外形美观，不易

变形；烟囱固定采用钢丝绳牵拉或与厂房连接；烟囱高度高于厂房总标高1.5m。尾气排放满足环保Ⅱ类区监测标准。

除尘系统技术参数：

除尘器型号：FF2×12（3台）

空气动力分离器数量：1组/单元

滤芯规格：Φ324×660（mm）

过滤面积：21m²

滤芯数量：12个/单元

运行阻力：初阻力100~120Pa，终阻力1000~1200Pa

出口排放浓度：<100mg/m³

过滤效率：0.5μm的粉尘，效率在99.9%以上

脉冲反吹所需压缩空气消耗量：0.25m³/min/单元

脉冲反吹所需压缩空气压力：0.45Pa

脉冲控制仪：DMK-4CS

电磁脉冲阀 DMF-2M-25

提丸风机技术参数

型号：9-19 10D

转速：1450r/min

流量：~15500m³/h

电动机功率：30Kw

数量：2台

除尘风机技术参数

型号：4-72 8D

转速：1450r/min

流量：~22700m³/h

电动机功率：18.5Kw

数量：1台

2.6 三维小车

2.6.1 三维小车组成

由车架、工作平台、机械传动、电器控制和拖线系统等部分组成

2.6.2 结构及运行说明

行走由电机驱动减速机带动车架上的行走轮作水平运动，轨道两端装有限位装置和橡胶撞块；地轨道采用15公斤/米轻轨，小车在行走时为防止砂粒停留在轨道平面上使小车行走受阻，小车两端采用了刮砂装置，而且小车下滚轮两侧、前后为全封闭式。升降传动由电机驱动蜗轮蜗杆减速机通过多节轴及链轮、链条的机械传动方式，将旋转运动转换成垂直升降限位运动，以导向柱和导向轮等组成的导向机构；为了防止砂粒和灰尖进入电机减速机，采用电机减速机直联一体式；升降减速机装在三维小车的上部，升降链条两根，选用了12A型（单根拉伸载荷Q3、11T），减速机选用90型速比1：80（设计自锁一

般≥1：50）；保证了操作平台在升降过程中相对稳定性和整机刚性，降低振动幅度，以达到平台升降平稳和安全可靠之目的。为了便于工件前后两端作业，为小车工作平台设有二层工作平面，在操作平台长度方向一端加设活动平台，可手动拉缩，伸缩自如。平台防护栏上配备操作防爆按钮盒，操作电压为安全电压36V/AC，操作人员只需按升、降、进、退四个按钮，即可实现工作平台的水平、垂直方向的运动。为了保证员工操作的安全性，在活动平台的两侧增配了铁链防护栏。拖线装置采用了钢丝绳走线方式，安装在上轨道上方，所有电线都套进防爆软橡胶管内，使电线走向美观、安全可靠。房体内限位开关操作按钮为安全电压、拖线管、接线箱、电机等为防爆型，全部采用防砂防尘保护措施，从而保证了三维小车的的功能。三维小车升降平稳、运行可靠、结构合理、操作维护方便。

2.6.3 技术参数

2.6.3.1 水平移动距离：19m

2.6.3.2 水平移动速度：≤10m/min

2.6.3.3 平台升降高度：+0.45~8m

2.6.3.4 平台升降速度：≤5m/min

2.6.3.5 伸出平台长度：0.92m

2.6.3.6 伸出平台速度：手动伸缩

2.6.3.7 工作平台承载：200kg

伸出平台承载：100kg

2.6.3.8 工作平台规格：L1200mm×W900mm

（伸出平台L920mm×W900mm）

2.6.3.9 电源：380V/AC

50Hz 2.2kw×1CK

0.75kw×1CK

2.6.3.10 操作、控制电压：36V/AC

2.6.3.11 运行噪声：≤70dB

2.6.3.12 平台防护栏高度：1050mm

2.6.3.13 平台平面采用菱形网格δ=5mm

2.6.3.14 电机采用大中牌

2.7 200吨平板车

由车架、车轮、驱动装置、电缆卷筒和控制系統组成车架采用四根主纵梁和若干次纵梁、横梁组成的框架结构，为了便于落钢丸上平面不铺钢板只在各框架中焊接钢板网或钢板格栅，在需要保护的或装置上方布置导流板。

车轮材质：ZG55，调质，踏面淬火，主轴材质：45钢调质电缆卷筒采用力矩电机式电缆卷

筒，卷筒安装于车架台面下方，并设有排线器，保证电缆在卷筒上有序排列。

在车轮的两端部设置清轨器装置，该装置由钢板焊接的架体及钢丝绳制作的渣刷组成。该装置不仅可以有效地清除轨道上的积丸或其他细小杂物。还可以保护车轮，使车轮免受或减小对面异物的撞击，见图7。

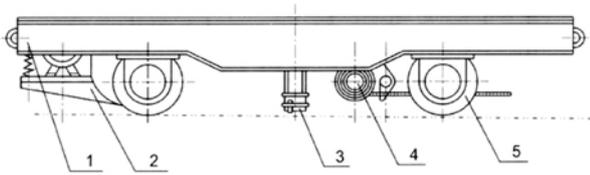


图7 卷线供电型电动平车

1、车架 2、传动装置 3、电气设备 4、卷筒装置 5、从动轮对

输送平车主要技术参数

载重：200t

台面尺寸：12000L×5000W×800H (mm)

轨道中心距：2500mm

钢轨：QU100

车轮数：8个

电机功率：4×4KW

2.8 控制系统

电器采用国产飞利浦、西门子等国内外知名品牌，名厂生产的优质电子元器件，保证使用两年。系统各部分设有自动连锁，做到生产安全、可靠。各电机运行控制回路均配有相应的低压断路器、热继电器等保护元件，以实现电机的短路和过载保护，整个电器设备金属外壳全部采用接零保护，见图8。为了保障工作先后的顺序性和安全性，采取了风机对喷丸的互锁，下料对喷丸的互锁，门对喷丸的互锁，见图8、9。

控制要求如下：

1)控制喷枪的开、关；

2)控制丸罐的加丸；

3)控制除尘设



图8

备反吹；

4)控制照明灯的开、关；

5)控制风机的启、停；

6)控制电动大门的开、关。

7)控制台车的行走。



图9

3 设备总能耗参数

3.1 电能消耗 (380V/AC 50Hz)

风机：127 kw

照明灯：15 kw

合计：160 kw

3.2 总压缩空气源 (用户配备)

流量：35m³/min (2支枪同时工作)

压力：>0.75Mpa

含水量：<0.889g/m³

3.3 设备首次所用丸料的相关参数

1) 首次投入总量：10吨

2) 磨料规格：Φ0.8~1.2 mm

2) 磨料比例：钢丸：钢砂 = 7:3

3.4 压缩空气消耗参考 (见表3)

表3

喷嘴/mm	工作压力/MPa	
	0.6	0.7
10	6.44	7.23
12	9.27	10.47
14	12.62	14.42
15	14.49	16.26



中航建发民航工程设计研究院简介

中国航空规划建设发展有限公司（简称“中航建发”）是中国建设工程领域内的国家级优秀价值集成商，也是中国首家获得综合甲级资质的咨询设计专业机构。

中航建发民航工程设计研究院（即中航建发第六设计院）专注于民航建设领域，业务涵盖机场建设总体规划、场道工程、空中交通管制、航站楼及交通枢纽、飞机维修机库、航空配餐、航空货运、航空公司基地、机场配套设施等民用航空领域，并延伸到城市物流、通用航空及民用建筑等领域。我院在该领域拥有齐备的专业、高水平的人才、优势的技术储备，深厚的行业经验，确保了各类大型复杂工程设计的水平和质量；尤其在飞机机库大跨度钢结构设计方面达到国际领先水平。凭借独特的专业能力和旺盛的开拓意识，近年来，中航建发民航工程设计研究院还形成了全价值链服务体系，具备向业主提供工程设计、工程咨询、建设监理、工程承包及管理 etc 全方位、全过程服务的能力。与此同时，中航建发民航工程设计研究院大力走向海外，成为中国在海外的民航领域投资与建设中的一支强大的专业机构。

我们秉承“诚信经营、超值服务”的理念，竭诚为您提供国际一流的服务！

2015年第2期（总第118期）
2015年04月出版
准印证号：京内资准字9914 - L0337号



无锡硕放国际机场