

航空工程建设

AERO-INDUSTRY ENGINEERING CONSTRUCTION

2017年第6期 总第134期



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

内部资料 免费交流
准印证号：京内资准字9914-L0337号

湖南平江石牛寨国家地质公园地质博物馆及广场项目

建设地点：湖南 平江

设计单位：中航长沙设计研究院有限公司

建设情况：建成

用地面积：4.4万m²

建筑面积：0.3万m²

项目用地位于景区通向最重要的旅游景点“太师椅”和云岩湖的途中，道路在此处开始起坡，建筑设计创造了连续爬升的空间，将被割裂的地形连缀成一体。同时，流畅的造型既呼应了远山，又在景区主要广场处形成明确的标志。展示空间也自然形成两个叠级，以展示连续多变的地形。

整个建筑形态表现的是由于球状风化，顶部大多呈馒头状，牛背状的丹霞地貌，顺应自然地势、演绎造山运动，隐喻人类起源，寓意为“丹霞石牛”。设计利用基地原始高差，置入潺潺流水，穿行其间，形成一幅美妙的画卷。

装饰材料采用当地特有的仿丹霞材料，敷与整个建筑表面，绿色的仿丹霞材料或平铺或竖挂于建筑表面，再加上玻璃晶体的连接，既反映博物馆如当地民居般质朴的性格，又有高调张扬的一面，呼应了业主对于“视觉冲击力”的要求。



中国航空工业建设协会举办 “工程总承包最新政策解读与国家标准《建设项目工程总承包管理规范》”培训



为贯彻落实《建设项目工程总承包管理规范》(GB/T50358-2017)，正确理解和运用国家、地方及行业出台的推进工程总承包发展的相关政策文件，中国航空工业建设协会在中国航空规划设计研究总院有限公司的大力支持下，于2017年11月10日在北京举办了为期一天的“工程总承包最新政策解读与国家标准《建设项目工程总承包管理规范》”培训，共有37个会员单位的122名代表参加了培训。

本次培训邀请中国航空规划设计研究总院有限公司副总工程师米敬明、工程管理专业执行总师李中强作为主讲老

师。米敬明对国家、国家建设行政主管部门、地方政府、航空工业集团公司等各层面的工程总承包政策支持文件进行了全方位的解读和分析，同时对工程总承包发展过程中的十九个问题进行了讨论。李中强针对即将于2018年1月1日实施的《建设项目工程总承包管理规范》(GB/T50358-2017)出台的意义、与上版规范的主要变化、规范的主要条款等内容进行讲解，同时结合工程总承包项目实践分享了自己的经验和体会。课上，两位老师与参会人员就关键热点问题进行了互动交流。(中国航空工业建设协会供稿)

住建部启动工程建设标准实施指导监督研究工作 推动中国工程标准国际化

近日，住房城乡建设部标司发出关于开展工程建设标准实施指导监督研究工作的通知，旨在加强工程建设标准全面有效实施和监督，推动中国工程标准国际化。该项研究包括5方面的内容：

一是“一带一路”中国工程标准国际化。重点为中国工程标准国际合作现状调研、中国工程标准“走出去”成功案例研究、编制“一带一路”沿线国家标准化活动相关组织及法规体系汇编。

二是中外工程建设标准比对研究及品牌战略。重点为中外工程建设标准比对研究行动方案研究，美国、日本、法国、俄罗斯等发达国家工程建设标准体系及管理体系研究，城市可持续发展的规划标准关键技术指标研究，中国与日本装配式住宅建筑标准关键技术指标对比分析研究，装配式建

筑成套技术标准体系建设指南研究。

三是改革完善中国工程建设标准实施监督法规制度。重点为重要工程建设标准实施情况社会调查、工程建设标准化法规制度建设及执行情况评估、编制工程建设强制性标准实施情况统计分析导则。

四是工程建设标准宣传培训。重点为工程建设标准化宣传，编制标准化政策咨询、标准技术条款解释服务典型案例汇编。

五是其它与工程建设标准实施监督有关的重点问题研究。重点研究与工程建设标准实施监督密切相关的，能够为管理决策提供科学依据、促进管理理念和管理模式创新的基础性、战略性、前瞻性和政策性问题。

(来源：建筑时报)

《中国智能制造绿皮书（2017）》 正式发布

2017年12月8日，由工业和信息化部、中国工程院、中国科学技术协会指导，中国企业联合会和中国科协智能制造学会联合体组织编写的《中国智能制造绿皮书（2017）》（以下简称《绿皮书》）在2017世界智能制造大会闭幕式上正式发布。

《绿皮书》全面梳理了近年来我国智能制造的进展，从综合、行业、区域和企业四个维度系统总结了推进智能制造取得的成效、积累的经验，并分析了存在的问题，提出了措施建议。其中：综合篇主要总结了我国智能制造的顶层设计、基础条件建设、国际交流合作等方面的总体进展。行业篇总结了新一代信息技术行业、机床和工业机器人行业、食品行业、石油化工行业等11个重点领域的智能制造发展状况。区域篇总结了北京、安徽、四川等18个省市推进智能制造的主要举措和发展状况。企业篇总结了我国企业推进智能制造的基本经验，围绕离散型制造领域的智能制造、流程型制造领域的智能制造模式、网络协同制造、大规模个性化定制式、远程运维服务5大新模式结合典型案例进行总结分析。

《绿皮书》是中国智能制造发展历程的客观写照，书中包含的重要数据、政策和经验做法，能够为广大读者全方位地了解我国智能制造发展提供详实的资料，也可为相关政府部门制定智能制造发展政策提供参考依据。该书的编写和出版有利于社会各界进一步了解我国智能制造发展状况，把握智能制造趋势，增强社会共识，凝聚各方力量，共同推动我国智能制造发展。

（来源：中国政府网）

智能制造推进体系已基本形成

在11月24日举行的全国智能制造试点示范电视电话会上，工业和信息化部副部长辛国斌表示，要充分利用“中国制造2025”专项资金、技术改造专项等现有渠道对智能制造试点示范项目进行支持。明年计划新遴选100个左右试点示范项目，到2020年共遴选300项以上智能制造试点示范项目和150个左右智能制造标杆企业。

“当前，以智能制造为核心的新一代信息技术与

制造业加速融合，已经成为全球先进制造业发展的突出趋势。”辛国斌表示，要聚焦智能制造这一主攻方向，加快制造强国建设步伐，加速推动经济发展由数量和规模扩张，向质量和效益提升转变。

近年来，智能制造装备产业迅速壮大。据市场咨询机构众诚智库总裁杨帆介绍，2016年，我国智能制造产业产值达到1.4万亿元，从2011年开始，过去5年年均增长率都超过20%，远远高于我国GDP增速。智能制造产业目前仍处于高速发展阶段，预计到2020年产值达到3万亿元。

辛国斌透露，计划明年发布《国家智能制造标准体系建设指南》2018年版，并将抓紧制定一批行业智能转型急需的基础共性和关键技术标准，逐步完善健全智能制造标准体系。

（来源：经济日报）

国办发文：重大建设项目批准和实施过程中的信息要尽量公开

日前，国务院办公厅印发《关于推进重大建设项目批准和实施领域政府信息公开的意见》（以下简称《意见》）。

《意见》强调，按照党中央、国务院关于全面推进政务公开工作的重要部署要求，把重大建设项目批准和实施领域政府信息公开作为全面推进政务公开工作的重要内容，坚持以公开为常态、不公开为例外，除涉及国家秘密、商业秘密和个人隐私及其他依法不予公开的内容外，重大建设项目批准和实施过程中的信息要尽可能对外公开。

要以重大建设项目批准和实施过程中社会关注度高的信息为重点，以政府信息公开为先导，推动项目法人单位信息有效归集、及时公开。要明确主体，落实责任，各级政府和有关部门负责公开其在履行职责过程中制作或保存的信息，并依法监督项目法人单位公开项目信息。

《意见》要求，各级政府和有关部门要加强组织领导，加大考核力度，完善监管措施，确保重大建设项目批准和实施领域政府信息公开各项任务落到实处。

（来源：建筑时报）

国家发改委正式发布 《工程咨询行业管理办法》

日前，国家发改委正式印发《工程咨询行业管理办法》(2017年第9号令，以下简称《管理办法》)，这是继国务院印发《关于取消一批行政许可事项的决定》(国发〔2017〕46号)，取消工程咨询单位资格认定行政许可事项后，规范工程咨询行业有序、健康发展的又一项重要举措。

《管理办法》明确对工程咨询单位实行告知性备案管理，自2018年1月1日起，从事工程咨询业务的机构可通过全国投资项目在线审批监管平台告知有关信息。对工程咨询单位开展行业自律性质的资信评价管理，资信评价等级分为甲、乙两级，分别由国家和省级发改委指导有关行业组织开展相关工作。国家和省级发改委依据有关法律法规要求，对工程咨询单位开展监督检查。

省发改委将严格按照《管理办法》的有关要求，为全省工程咨询单位做好服务工作，一是向全省工程咨询单位做好《管理办法》的政策解读和宣传工作；二是指导全省工程咨询单位顺利完成在全国投资项目在线审批监管平台的备案工作；三是指导我省有关行业组织按照国家发改委即将出台的资信管理规定，开展好资信评价相关工作；四是集中做好监督检查工作。

(来源：黑龙江省人民政府网站)

住建部公布推进建筑师负责制征求意见稿

12月13日，住建部在其官网公布《关于在民用建筑工程中推进建筑师负责制的指导意见(征求意见稿)》(以下简称征求意见稿)。

征求意见稿明确了建筑师负责制的内涵、组织模式及推进办法，提出推进民用建筑工程全寿命周期设计咨询管理服务，从设计阶段开始，由建筑师负责统筹协调各专业设计、咨询机构及设备供应商的设计咨询管理服务，在此基础上逐步向规划、策划、施工、运维、改造、拆除等方面拓展建筑师服务内容，发展民用建筑工程全过程建筑师负责制。

建筑师负责制是以担任民用建筑工程项目设计主

持人或设计总负责人的注册建筑师(以下称为建筑师)为核心的设计团队，依托所在的设计企业为实施主体，依据合同约定，对民用建筑工程全过程或部分阶段提供全寿命周期设计咨询管理服务，最终将符合建设单位要求的建筑产品和服务交付给建设单位的一种工作模式。

建筑师依托所在设计企业，依据合同约定，可以提供参与规划、提出策划、完成设计、监督施工、指导运维、更新改造、辅助拆除等服务。

此外，征求意见稿提出实行建筑师负责制的项目，建设单位应在与设计企业、总承包商、分包商、供应商和指定服务商的合同中明确建筑师的权力，并保障建筑师权力的有效实施。建筑师负责制服务收费，应纳入工程概算。因设计质量造成的经济损失，由设计企业承担赔偿责任，并有权向签章的建筑师进行追偿。建筑师负责制不能免除总承包商、分包商、供应商和指定服务商的法律责任和合同义务。

(来源：住建部官网)

《中国建筑能耗研究报告(2017年)》显示建筑节能成效显著

近日，中国建筑节能协会在上海发布了《中国建筑能耗研究报告(2017年)》，该报告以统计年鉴作为数据来源，针对相关统计口径变化、指标缺失、数据不完整等问题，提出了相应的数据处理方法，测算了2015年分省能耗数据，并分析了2001~2015年全国建筑能耗变化趋势。

党的十八大以来，全国建筑能耗总量增速进一步放缓。2001~2015年间，全国建筑能源消费总量呈现持续增长趋势，但年均增速持续走低，从“十五”期间的11.9%，下降到“十一五”、“十二五”的约6%，增速下降50%。尤其是党的十八大以来，年均增速跌至5%。

该报告建议，未来建筑节能工作要与大气污染防治相结合，全面推进北方地区清洁采暖，助推生态文明建设；与人民对美好生活的需要相结合，大力发展健康建筑，助推健康中国战略的实施；与市场经济改革相结合，发挥行业协会力量推动行业自主减排行动，助推我国碳减排目标实现。

(来源：中国建设报)

中航工业南方职工文体中心位于株洲市东南部中国南方航空工业有限公司内，距市中心仅6公里，区位优势显著。项目用地周边视野开阔，西侧为城市花园广场，北侧为南方公司公园，南侧为南方公司足球场，东侧有枫溪河及凤凰山。

该项目地下1层（设备用房），地上4层。建筑结构形式为钢筋混凝土框架结构，主要跨度为 $9\text{m} \times 9\text{m}$ 、 $27\text{m} \times 9\text{m}$ ，大跨度采用预应力结构，预应力梁跨度为 27m 。屋顶采用钢网架，网架最大跨度为 $50\text{m} \times 52\text{m}$ 。网架高度 $3.272\text{m}—3.331\text{m}$ ；主要网架尺寸 $4—4.5\text{m} \times 4—4.5\text{m}$ 。

本项目设计标准为丙级体育馆。建筑主要分东西两大部分，西侧的2100座室内篮球馆（包括篮球场东侧舞台，平时可举办综艺演出）、综合活动健身区（包括歌舞厅、健身房、乒乓球、台球等）及东侧室内游泳馆、羽毛

中航工业南方职工文体中心

建设地点：湖南株洲

设计单位：中航长沙设计研究院有限公司

建设情况：在建

用地面积： $2.1\text{万}\text{m}^2$

总建筑面积： $1.68\text{万}\text{m}^2$

球馆、阅览室（游泳馆标准8泳道、羽毛球馆共11块标准场地）。

本项目的空间造型设计采用大面积玻璃幕墙及外挂金属幕墙系统，虚实对比强烈，简洁明了，现代感强。





项目位于长沙市南端、湘江西侧、大王山旅游度假区中心南侧。该基地南面城市规划道路巡抚东路，交通顺畅；北侧有桐溪湖，景观秀美；东侧为电影小镇二期地块，西侧为其他待建用地。共分为华谊电影小镇地块及巴溪洲两个地块。整个场地大致呈长方形，南面临城市道路，面宽约160m，进深约350m。按照功能分为“山城+水镇”突出体现意大利翁布里亚地区的特色，利用现状地形将休闲宁静的山城特色与优美的水镇景色结合于一体。场地南侧标高较低、坡度较缓，为意大利水镇区；场地北侧坡度较大、坡度较陡，局部做台地处理，为意大利山城区。

小镇按照轴线设有多个广场，各个广场都有不同的空间主题，最大的广场平台设计在场内最高点，建筑围绕各中心广场呈发散形布置。意大利水镇部分建筑布置形式较为灵活，建筑形态不拘一格，体现出水的灵动。小镇共有35栋组成，建筑的首层功能以休闲商业配套为主，华谊特色引擎功能区在一层，有独立的门厅，大部

分功能空间设计在二层，三层多为客栈。

华谊兄弟电影小镇项目以成熟先进的开发理念为指引，立足影视文化旅游市场，致力打造集优质“电影拍摄+旅游+文化+教育+商业”于一体的电影实景互动娱乐文化产业，为游客带来独特的文化、历史、电影体验感。该项目将成为长沙历史文化和生态环境保护的重点项目，成为创意产业集聚、引领影视娱乐行业发展的源动力，具有十分显著的社会效益。

华谊兄弟（长沙）电影小镇

建设地点：湖南长沙

设计单位：中航长沙设计研究院有限公司

建设情况：在建

用地面积：6.6万 m^2

总建筑面积：6.8万 m^2

• 项目展示

国家水稻分子育种研发基地建设项目一期工程位于长沙市芙蓉区隆平高科技园，北临人民东路延长线，西临规划道路合平路，南临规划道路纬十四路，东临规划道路红湖路。基地东、南侧均为工业用地；西侧为东湖干休所，可眺望东湖，有较好的景观要素。

本项目立足高起点,整体规划定位为国际一流生物技术研发创新中心。基地布局借鉴飞鸟展翅的形象原型进行总体平面布局设计，在满足功能合理的基础上完善总体形式的抽象表达。一、二期主体建筑根据场地特性，实现东西完整划分，利于分期实施建设，一、二期规划设计自成体系，即一期建设完成后可以独立使用，综合考虑生产制造、研发、生活、住宿的统一安排，既考虑满足目前的使用需求，又考虑将来发展的需求。

建筑单体造型采用现代风格，力求简洁明快。建筑外

国家水稻分子育种研发基地建设项目一期工程

建设地点：湖南长沙

设计单位：中航长沙设计研究院有限公司

建设情况：在建

用地面积：5.1万m²

总建筑面积：5.6万m²

墙采用大面积条形玻璃幕墙及外挂金属幕墙系统层次交替，富有韵律感，强调虚实对比，体现生物技术科技感、有独创性。





顺天国际金融中心为集写字楼、酒店式公寓、办公、商业为一体的城市综合体项目。项目地处长沙市雨花区韶山路，位于东塘区域商业中心与雨花亭社区商业中心之间，西临城市主干道韶山路，南与长沙电机厂（规划为大型综合商业项目）相邻，北临规划中的雨花亭公园，东临规划路。

本项目在考虑到自身空间识别性和独立性的同时，尊重城市规划的整体原则，将塔楼均临韶山路设置，形成气势磅礴的双子塔布局。将办公楼设置在基地的北部，超高层酒店式公寓、写字楼设置在基地的南部，两栋建筑均可充分享受到北面雨花亭公园的优美景观。在基地西南角避让出城市绿化广场，引入城市客厅概念，营造出整体和谐的区域场所氛围。

本项目1-4F为裙房，主要为各功能入口及配套商业，南部的153.75m超高层是酒店式公寓和写字楼的综合体，北部的103.8m高层塔楼为办公楼。地下室共三层，主要功能为地下车库、设备用房及人防。

顺天国际金融中心

建设地点：湖南长沙

设计单位：中航长沙设计研究院有限公司

建设情况：建成

用地面积：2.4万 m^2

总建筑面积：16.1万 m^2

切合用地的多边形建筑形体带来更为丰富的光影变化，让建筑在不同的角度，不同的时间呈现不同的表情。对材质精挑细选，使之与建筑、环境和谐统一。材料经济耐久且生产快捷，便于维护管理，尽可能减少异形玻璃的使用。建筑整体的造型体现建筑内部的功能，具有独特的可识别性，体现出了建筑的身份和特征。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《信息栏工程技术标准》的公告

现批准《信息栏工程技术标准》为行业标准，编号为JGJ/T424-2017，自2018年2月1日起实施。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《生活垃圾焚烧厂运行维护与安全技术标准》的公告

现批准《生活垃圾焚烧厂运行维护与安全技术标准》为行业标准，编号为CJJ128-2017，自2018年2月1日起实施。其中，第3.0.2、3.0.3、4.1.10、4.2.3、5.1.5、13.1.2、15.2.5、16.1.1条为强制性条文，必须严格执行。原《生活垃圾焚烧厂运行维护与安全技术规程》CJJ128-2009同时废止。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《建筑内部装修设计防火规范》的公告

现批准《建筑内部装修设计防火规范》为国家标准，编号为GB50222-2017，自2018年4月1日起实施。其中，第4.0.1、4.0.2、4.0.3、4.0.4、4.0.5、4.0.6、4.0.8、4.0.9、4.0.10、4.0.11、4.0.12、4.0.13、4.0.14、5.1.1、5.2.1、5.3.1、6.0.1、6.0.5条为强制性条文，必须严格执行。原国家标准《建筑内部装修设计防火规范》GB50222-95（2001版）同时废止。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《建筑钢结构防火技术规范》的公告

现批准《建筑钢结构防火技术规范》为国家标准，编号为GB51249-2017，自2018年4月1日起实施。其中，第3.1.1、3.1.2、3.1.3、3.2.1条为强制性条文，必须严格执行。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《火工品实验室工程技术规范》的公告

现批准《火工品实验室工程技术规范》为国家标准，编号为GB51237-2017，自2018年4月1日起实施。其中，第5.1.1、5.2.7、5.2.9条为强制性条文，必须严格执行。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《网络电视工程技术规范》的公告

现批准《网络电视工程技术规范》为国家标准，编号为GB/T51252-2017，自2018年4月1日起实施。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《混凝土基体植绿护坡技术规范》的公告

现批准《混凝土基体植绿护坡技术规范》为行业标准，编号为JGJ/T412-2017，自2018年2月1日起实施。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《饮食建筑设计标准》的公告

现批准《饮食建筑设计标准》为行业标准，编号为JGJ64-2017，自2018年2月1日起实施。其中，第3.0.2、4.3.3条为强制性条文，必须严格执行。原《饮食建筑设计规范》JGJ64-89同时废止。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《预应力混凝土管桩技术标准》的公告

现批准《预应力混凝土管桩技术标准》为行业标准，编号为JGJ/T406-2017，自2018年2月1日起实施。

住房和城乡建设部关于发布行业标准《高层建筑岩土工程勘察标准》的公告

现批准《高层建筑岩土工程勘察标准》为行业标准，编号为JGJ/T72-2017，自2018年2月1日起实施。原《高层建筑岩土工程勘察规程》JGJ72-2004同时废止。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《绿色生态城区评价标准》的公告

现批准《绿色生态城区评价标准》为国家标准，编号为GB/T51255-2017，自2018年4月1日起实施。

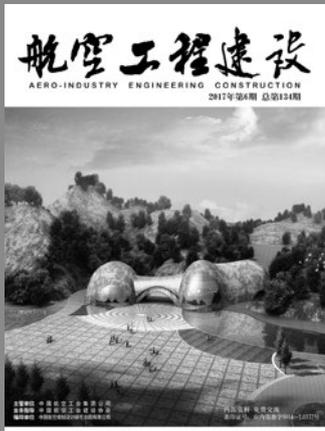
住房和城乡建设部关于发布国家标准《建设工程造价鉴定规范》的公告

现批准《建设工程造价鉴定规范》为国家标准，编号为GB/T51262-2017，自2018年3月1日起实施。

住房和城乡建设部关于发布国家标准《建筑振动荷载标准》的公告

现批准《建筑振动荷载标准》为国家标准，编号为GB/T51228-2017，自2018年5月1日起实施。

（来源“国家工程建设标准化信息网”）



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

顾问委员会

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

编辑委员会

主任 陆国杰
 副主任 米敬明 刘子彦
 委员 (按姓氏笔画排序)
 丁杰 卜国磊 王玮
 王玉平 王锋 王笃礼
 刘国新 李纲 李中强
 肖武 张卫才 张立峰
 陈阳 陈丹瑚 金来建
 黄春晖 贺宏斌 傅绍辉
 葛家琪

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 hkqjcs@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 2017年12月
 印数 1500册
 电话 (010)62038276 62038235
 传真 (010)62038297
 封面 湖南平江石牛寨国家地质公园地质博物馆及广场项目

CONTENTS

目录 2017年第6期 总第134期

航空能力建设

- | | |
|------------------------------------|--------|
| 02 我国警用直升机机场规划研究 | 匡代厅 赵林 |
| 06 流体仿真与试车台设计 | 苏琳博 叶哲 |
| 14 通航产业园空间布局规划探究
——以荆门爱飞客航空小镇为例 | 何志军 |
| 23 某飞机喷漆维修机库防爆通风系统节能设计探讨 | 谭智威 |

研究与探讨

- | | |
|----------------------------|--------------|
| 27 火灾自动报警系统组网分析 | 陈勇 |
| 32 某实验平台结构构件冷桥现象处理探讨 | 田赫 |
| 37 某文体中心管桁架结构设计研究 | 张海滨 蒋华 李江 金碧 |
| 42 强夯地基处理在联东U谷·长沙望城产业中心的应用 | |
| | 李春 贺桂超 |
| 49 探讨工程总承包项目费用控制 | 康晶晶 |
| 51 重金属污染场地土壤治理修复技术要点 | 何清风 周成铭 |
| 61 《航空工程建设》2017年第1~6期文章索引 | |

我国警用直升机机场规划研究

■ 匡代厅 赵林 [工艺]

摘要: 随着我国经济的持续发展和综合国力的不断增强,警用航空建设呈现快速发展的势头。文章通过分析我国各种警用直升机场规划的有关标准,并结合工程设计规划中的实际情况,提出了我国警用直升机场的具体规划方法。文章首先阐述了警用航空的特点以及国内外警用航空的发展历程,接着分析了警用直升机场的分类,最后提出了警用直升机场规划的具体方法,可为我国警用直升机场的规划与研究提供一定的参考。

关键词: 警用航空; 标准; 工程设计; 机场规划

随着我国经济社会以及航空产业的快速发展,我国公安警务的观念正在改变,各地公安机关以及地方政府在工作实践中逐步认识到,发展警用航空是提高公安机关快速反应能力的重要手段,是构建公安机关立体防控体系的重要组成部分。警用直升机由于具有反应迅速、机动灵活、控制面大、威慑力强等突出特点,已成为现代警务工作的一把利器,为西方发达国家警方所普遍采用。

警用直升机有如下几个显著优点:一是反应迅速、机动性强。警用直升机巡逻飞行时,速度约为90km/h,但是当要求快速到达现场时,直升机的速度可以达到200km/h以上;警用直升机在街道巡逻的速度通常是地面警察的10倍,如果在交通堵塞路段和地面车辆、人员难以到达的地区,直升机的优势就更为显著。二是控制面大、监视范围广。城市巡逻车在最佳条件下,有效观察范围只能达到230m²,而一架警用直升机可达4.6万m²。三是威慑力强、效率极高。据统计,一架警用直升机的作用相当于20多辆警车和150~200名警察。

1 警用航空的发展历程

1.1 世界警用航空的发展历程

警用航空最早起源于美国,1947年,美国纽

约市首先将直升机用于警务执法。此后,法国、日本、德国、英国、澳大利亚等发达国家也相继发展了警用航空。截至目前,这些国家的警用航空建设已具相当规模。几十年来,这些国家使用警用航空器配合其他警种发挥了重要作用。

据不完全统计,目前全球警用直升机约有4000多架,其中,美国就有2000多架(相当于每百万人口拥有7架直升机)。警用直升机广泛用于空中巡逻、毒品拦截、火险扑救、医疗救助、交通管理等任务,涉及了执法的各个领域,极大地提高了执法效率。

从世界范围看,虽然各国警察队伍的警种构成不同,警用航空力量的组建基础和规模不同,其负担的使命任务亦有很大差别,但总的来看,各国都十分注重对直升机这种现代手段的运用。

1.2 我国警用航空的发展历程

我国警用航空的实战应用始于上世纪90年代初期。1993年,武汉购置了第一架警用直升机,之后,大连、郑州、广东等地的公安机关也相继购置了警用直升机,成立了航空队。2003年,国务院办公厅、中央军委办公厅批准在我国建立发展警用航空。2005年,国务院、中央军委空中交通管制委员会批准公安部为空管委成员单位,警航成为我国继军航、民航之后的第三个航空管理部门,警用航空进入了正规有序的发展时期。同年,公安部下发《关于“十一五”期间警用航空发展建设的意见》。2007年,《警用航空基层基

作者简介: 匡代厅,男,助理工程师,2015年毕业于中国民航大学交通运输规划与管理专业(机场规划方向),现就职于中航长沙设计研究院有限公司通航产业研究中心。

础建设方案》出台。2008年北京奥运会期间,北京警航出动直升机4架,安全飞行55架次93小时22分,圆满完成奥运空中安保任务。

中国虽然是一个人口大国,却是一个地地道道的直升机小国,与实际需求相比,中国直升机的拥有量和运用度远远不够。截止2015年9月,我国18个省份已建立起28支警用航空机队,共有直升机47架,到2017年6月,我国警用直升机的数量才66架。全国仅北京、上海、重庆、山西、广东、深圳、西安、延安、榆林、南宁、浙江、南京、武汉、郑州、三门峡、鄂尔多斯等地公安机关建立了警用航空力量。

目前,多地正积极筹备扩大航空机队规模,民航部门也给予了大力支持。据国内专家初步估计,到“十三五”末,全国警用航空机队将达到50支,直升机数量将达到100架。随着我国公安执法手段的现代化不断加速,今后十年,警用航空队以及警用直升机机场的数量将有一个较大的增长,发展前景广阔,这也要求我国警用直升机机场的规划设计水平跟得上警用航空的发展步伐。

2 警用直升机机场分类

2.1 起降坪式机场

起降坪式机场可分为表面直升机场、高架直升机场、直升机水上平台、船上直升机场四类,警用直升机起降坪式机场主要为表面直升机场、高架直升机场两类,表面直升机场是位于地面上或水体表面构筑物上的直升机场,高架直升机场位于陆地上高架构筑物或建筑物顶部的直升机场,起降坪式直升机场较为简单,除了起降坪必须规划外,其他建构筑物可根据使用要求进行规划设计。

2.2 跑道式机场

警用直升机跑道式机场一般为表面直升机场,为了完善机场的正常使用功能,除了跑道型最终进近和起飞区外,一般还应规划有机库、办公楼、塔台、特种车库、气象站、油库或油车库以及水泵房、动力站、污水处理站等辅助用房。

3 警用直升机起降场规划

3.1 选址

根据警用直升机承担任务和警用直升机本身

特点,场址选择应遵循以下几点要求:首先,选址不应离城区太远,以便于执行各项飞行任务;其次,机场净空及气象条件应能够满足机场安全运行的要求,与临近机场无飞行冲突;第三,场地应能够满足机场建设需要,工程地质、水文地质条件良好,地形、地貌较简单;第四,场址应具备建设机场导航、供油、供电、供水、供气、通信、道路、排水等设施系统的条件;第五,获得场地和开发费用较低,用地规模应能满足近期使用和远期发展的要求。

3.2 规划原则

3.2.1 明确定位、集约建设

警航基地的建设首先要明确自身的使用要求,从而进一步明确定位;建设的内容要符合技术领先、成本节省的要求,达到经济、效率的最大化。

3.2.2 因地制宜,因势利导

根据规划地块的内部与周边环境特点,进行规划区的合理布置,并强调规划区内功能之间分工明确和职能完善。

3.2.3 统筹兼顾、规模适宜

对建设目标及内容进行统一规划,在满足各项标准及日常生活的前提下,注重规模的适宜性原则,不过度超前,避免资源的闲置、浪费;同时要充分考虑远期发展空间,规划一定的预留区域,保证基地的发展具有可持续性。

3.2.4 合理布局、科学发展

依据建设项目功能进行合理分区,协调考虑各功能区的合理定位、布局及内部结构,满足基地整体功能规划布局最优化、服务能力最大化的需要。项目规划过程要保证各个功能区域,如生产、办公区与飞行区的密切联系,建设方案应首先保证基地安全、高效运行。

3.3 飞行区规划

飞行区是供直升机起飞、着陆和停放使用的场地,包括最终进近和起飞区(FATO)、地面滑行道、停机坪以及机场周边对障碍物有限制要求的区域。

3.3.1 最终进近和起飞区(FATO)

(1) 起降坪

对于起降坪式机场,起降坪的FATO通常设置为一个圆,在表面与高架直升机场规划中,当直升机最大起飞质量大于3175吨时,圆的直径不低于 $1.0D$ (D 为直升机长宽中的最大值,下

同),当直升机最大起飞质量不大于3175吨时,FATO圆的直径不得低于 $0.83D$,规划时一般不低于 $1.0D$ 。

在实际设计规划中,对于表面与高架直升机场,一般规划三个圆,由内至外依次为接地/定位标志圆、中心区圆、FATO圆,尺寸分别为 $0.5D$, $0.83D$, $1.2D$ 。

在进行FATO规划时,在其周围还应设置安全区,当FATO为圆形时,安全区的外径至少为 $2.0D$ 。对于表面直升机场,当规划两个或两个以上起降坪,并且相邻两个起降坪上的直升机能同时进行悬停转弯时,起降坪之间的距离至少为 $2D$ 。

(2) 跑道

当直升机在机场起降需要安全余度较高、起飞降落时功率不足、执行训练任务时就需要建设一定长度的跑道。

机场跑道长度与诸多因素有关,如起降机型、气温、气压、海拔高度、跑道纵坡等。在国际民航组织ICAO附件十四第II卷一直升机场与我国《民用直升机场飞行场地技术标准》

(MH5013-2014)(以下简称民航标准)中,没有对直升机最终进近和起飞区(跑道)的长度进行规定;在《军用永备直升机场场道工程基本要求》(GJB 3703-99)以及《军用永备直升机场场道工程建设标准》(GJB 3502-1998)的规定中,供直升机满载飞行时滑跑起飞、着陆使用的跑道,长 $200\text{m}\sim 400\text{m}$;在《警用直升机起降场地建设规范(施行)》(公警航【2011】67号)

(以下简称警航标准)中规定,供轻型、中型直升机使用的跑道长度为 200m ,供中型、大型直升机使用的跑道长度为 $300\sim 400\text{m}$,具体跑道长度可根据设计机型计算确定。

关于直升机跑道宽度,在民航标准中,最终进近和起飞区的大小应按直升机飞行手册中的规定确定,在没有规定宽度时,其宽度不得小于 $1.5D$ (D 为直升机全尺寸)。而在警航标准中,规定直升机的跑道宽为 $30\sim 40\text{m}$ 。在警航机场的实际规划设计过程中,直升机跑道的宽度须同时满足民航与警航的双重标准。

3.3.2 地面滑行道

直升机地面滑行道指仅供带有轮式起落架的直升机依靠自身动力在地面滑行使用的通道。警航标准规定,地面滑行道的宽度应不小于 8m 。按照民航标准规定,滑行道宽度至少为直升机起落

架横距的 1.5 倍。地面滑行道的宽度亦须同时满足民航与警航的双重标准。

3.3.3 停机坪

国际民航组织ICAO附件十四第II卷一直升机场对于机坪的规定为:(1)直升机停机坪必须有足够的尺寸,使其包含一个直径至少为该停机位准备为之服务的最大直升机 $1.2D$ 的圆。(2)如果直升机停机位被用来滑行穿越,停机位及相应保护区的最低宽度必须与滑行路线的宽度相同。(3)直升机地面滑行路线必须从中线对称地向两侧各延展不小于该直升机场准备为之服务的直升机最大全宽的距离。(4)当直升机停机位被用来转弯时,停机位及相应保护区的最小尺寸不得小于 $2D$ 。

另外,停机坪滑行道的位置应根据直升机场跑道净空要求进行确定,民航标准中规定,地面滑行道和空中滑行道间距(中线对中线)为四倍直升机机身全宽($4W$)。

在实际规划设计中,停机坪必须同时满足上述要求。

3.3.4 巡场道路

当直升机场包含跑道时,飞行区需规划巡场道路,巡场道路位于飞行区的四周,为保证飞行安全,以备应急救援和保护围界设施,并供警察巡逻人员及车辆行驶使用而设置。作为飞行区巡视车及其他有关车辆的过道,民航标准规定飞行区巡场道路宽度至少为 3.5m ,在实际规划设计过程中,通常规划为 3.5m 或 4m 。

3.4 生产服务区规划

生产服务区是实现警航直升机场功能的重要区域,同时也是机场空侧和机场外陆测的连接区。对于表面直升机场,警航基地生产服务区建筑物主要包含直升机机库、办公楼、综合车库以及油车库等。

3.4.1 机库

机库是供直升机停放及维修保养的区域。在实际规划设计过程中,机库主要根据停放机型的种类、尺寸、数量以及《民用机场飞行区技术标准》(MH5001-2013)与《飞机库设计防火规范》(GB50284-2008)进行设计,机库通常会设置辅房,辅房中均规划机务现场办公室、航材库、工具间、更衣室等。

3.4.2 综合楼

综合楼是警务基地的办公及设备存放场所。综合楼内部一般需规划不同职务工作人员办公



图1 某警航基地规划效果图

室、大会议室、小会议室、电视电话会议室、航空队指挥中心、监控室、飞行准备室、质量控制室、飞行航理训练培训室、机务理论培训室、档案室、图书资料室、装备库、枪弹库、警械库、飞行（保密）资料室、综合训练馆、航医室、文印室、电话总机室、接待室、传达室、更衣室、航空队值班室、男女厕所等。在大多数直升机场规划中，将塔台设置在综合楼的顶部。塔台是整个警航基地进行监视、指挥的重要平台，也是其他监视、导航设备的部署平台，用以进行飞行态势监视、实时航迹显示、气象情报显示、飞行计划显示与跟踪等重要信息的显示。综合楼的规模应根据现场驻扎的警务航空队规模进行设计。

3.4.3 综合车库

综合车库主要用于直升机场特种车辆的停放及维修保养。车库前根据车辆使用情况应规划一定面积的停车坪。通常车库由两种规划方式，一种是规划一层，仅用作特种车辆的停放及维修保养；另一种是规划两层，首层为车库、维修间、备件和工具库房，二层用作飞行区维护、车辆维护以及消防人员办公和休息区。

3.4.4 油车库

油车库是机场加油车的存放场所。由于警用直升机场运营过程中使用的航油远少于运输机场，因而规划油车库比油库更经济、合理，而且维护方便。油车库一般规划在直升机场的某个角落，与各建筑的距离应严格满足《通用航空供油工程建设规范》（MH/T5030-2014）和《小型民用运输机场供油工程建设规范》（MH5029-2014）等规范要求。

另外，在实际规划过程中，通常还会根据现

场实际情况，规划一些辅助用房，如水泵房、垃圾处理站、动力站、餐厅等，各建筑在规划设计过程中应严格按照民航标准控制净空限高。某警航基地规划效果图见图1。

4 小结

本文阐述了警用航空的特点以及国内外发展历程，并通过分析我国各种警用直升机场规划的有关标准，结合工程设计规划中的实际情况，提出了我国警用直升机场的

具体规划方法，可为我国警用直升机场的规划与研究提供一定的参考。不过本文重点研究的是常用的警用表面直升机场，对于高架直升机场以及水上直升机场的规划，还有待进一步研究。

参考文献

- [1] 胡建亭, 梁宏涛. 警用直升机的作用及在我国警务实战中的应用[J]. 警察技术. 2015, 4-7.
- [2] 刘刚, 张晓春. 中国警用航空建设现状及发展构想[J]. 广西警官高等专科学校学报. 2011, 50-53.
- [3] MH5001—2013, 民用机场飞行区技术标准.
- [4] MH5013—2014, 民用直升机场飞行场地技术标准.
- [5] ICAO Annex 14, Volume II, 2013, Fourth Edition.
- [6] GJB 3703—1999, 军用永备直升机场场道工程基本要求
- [7] GJB 3502—1998, 军用永备直升机场场道工程建设标准.
- [8] 《警用直升机起降场地建设规范（施行）》（公警航【2011】67号）.
- [9] MH/T 5030—2014, 通用航空供油工程建设规范.
- [10] MH/T 5029—2014, 小型民用运输机场供油工程设计规范.

流体仿真与试车台设计

■ 苏琳博 叶哲 [工艺]

摘要: 在试车台设计过程中,需根据被试发动机性能估算试车台进、排气量并确定试车间进(排)气截面与长度,避免因进(排)气截面与长度过小所产生的排气不畅、喘振、试验失真等问题。然而在实际设计中,由于场地、经费等因素的限制,不可能无限度增大进(排)气通道的截面与长度。本文利用流体力学计算软件FLUENT数值模拟试车台内部通道,并不改变发动机性能(边界条件)的前提下,合理调整进气、排气以及消音方案,计算不同方案下的进、排气迹线、流量、压损等数据,为试车台设计提供可靠的理论依据,避免试车试验失真。

关键词: 试车台;进(排)气;工艺设计;CFD

1 绪论

1.1 概述

航空发动机试车台在进行建造和主体改造之前的设计阶段,必须充分考虑气动力和流场品质等方面的要求。目前发动机试车台按进气方式可大致分为水平进气与垂直进气两种,按排气方式可分为水平排气、垂直排气以及混合排气三种,其中水平进(排)气方式由于气流无须在是车间内转向,流体迹线相对平滑,最有利于发动机试车。但从气动力学的角度来分析,水平进气对地面风向的变化比较敏感,进气道容易受到污染并易吸入外物,且试车台噪音较大。同时,采用水平进气(排气)的试车台必须在车台前后两侧预留足够空间,不利于厂区整体工艺布局。因此从环保、降噪、安全以及整体工艺布局上考虑,对于中小型试车台建设,推荐通过进(排)气塔实

现垂直进(排)气。

垂直进、排气试车台内流场相对复杂,极易在多处产生湍流,造成试车台“憋气”、“喘振”以及“进气回流”等现象。因此,在实际设计过程中,需要考虑气流流场是否均匀稳定,气流的压力场、速度场能否满足要求等因素,以避免上述情况的发生。

随着现代军机和民用发动机发展,各类新型号机型的尺寸和空气流量之间差别较大,本文旨在探索在保证试车间内气流稳定、连续的前提下,兼顾经济性与工程量的同时最有利于试验试车环境的设计方案与方法。

1.2 试车台设计主要指标

本文分别就试车间流场的均匀性和稳定性以及进排气系统的设计三个方面对这个问题进行论述。

1.2.1 均匀性指标(畸变指数)

根据罗·罗公司在对发动机与飞机进气道匹配问题的研究,为确定进气道带来的流场分布不均匀状况,采用了总压畸变指数这一指标^[1]。借助此

作者简介:苏琳博,男,助理工程师,2012年毕业于西北工业大学飞行器设计与工程专业,现就职于中航长沙设计研究院有限公司航空工程设计研究院。

概念, 我们可以定义试车间某一截面处的局部总压畸变度D:

$$D = \frac{P - \bar{P}}{q}$$

该式中“P”表示测量截面上各点的局部总压, \bar{P} 和q分别表示测量截面上的平均总压和平均动压。

目前, 对于试车台设计中的流场畸变分析还没有非常有效的手段, 通常采用吹风试验进行实测, 以确定试车间的总压畸变度D, 根据实际生产经验, 采用合理的进排气设计和导流板可以减小畸变的影响, 避免试车台建造过程中因进气道前流场有大涡旋而造成试车台不能投入使用等问题。

1.2.2 稳定性指标

试车台设计对流场品质影响较大的另一个重要参数是旁路比a, 即引射系数^[1], a的定义如下:

$$a = \frac{W_{FC} - W_{BM}}{W_{BM}}$$

其中: W_{FC} 为试车间的总空气流量; W_{BM} 为进入发动机的空气流量。

根据实际生产经验, a值应至少大于0.8, 否则易造成发动机进气气流不稳定, 对发动机试车质量和安全造成很大的影响。

1.2.3 进排气通道设计

试车台进排气系统的设计形式对试车间的流场品质会造成极大的影响。进气系统必须保证进气流场均匀, 不产生扰动, 根据P.W.A公司的JT9D发动机试验案例显示, 如试车台进气进口流场不匀, 质量流量在发动机进口截面上的差值可达2.28kg/s, 最终测量推力可减少228kg^[2]。

试车台排气系统的设计主要考虑其消声效果和排气温度, 但如果引射筒的尺寸和位置选取不当, 也会对试车间内流场造成较大的影响^[3]。引射筒口径必须能够包容从发动机尾喷口排出的主气流, 并设计成可伸缩的形势, 以避免因引射筒和尾喷口的距离过近或过远造成的燃气回流、空气回流等问题, 影响发动机试车。

1.3 本文目标

本文旨在结合工厂实际新建的试车台案例, 通过CFD建模计算, 尝试从理论运算的方面分析在不同建设方案下, 试车台的相关气动数据与主要

指标。运用软件对比分析相应的数据, 并通过后期试验验证计算数据与实际情况的一致性, 为今后的试车台设计提供可靠地理论支持。

2 新建工程的方案设计

2.1 工程概况

2.1.1 工程简介

该工程为原有试车台扩建项目, 原试车台位于厂区边缘, 试车台西侧与东侧紧邻厂区围墙, 西侧为主要物流通道, 受地形因素影响, 扩建试车台仅可沿北侧垂直摆放, 且在长、宽两个方向都受到现有条件的制约。如何在有限的空间内合理布置扩建试车台, 同时避免扩建的试车台与原试车台间的交互影响, 是本次设计的难点。

2.1.2 车台试车参数

1) 主要气动参数

新建车台主要用于发动机辅助进气系统的试车, 该辅助进气系统直径约1m, 长1.5m, 采用端部进气、尾部排气的模式。进排气口直径约为0.2m, 最大进气流量约2.0kg/s, 最大排气温度约800K。试车台拟采用一级引射, 引射系数约1.4至1.8。

2) 其他气动参数

试车间内进、排气温度变化较大, 在计算时需要, 各温度下对应的空气密度见表1。

3) 参数简化说明

为简化模拟运算环境, 本次模拟在不影响主要试验结果的情况下对部分试验参数进行了模糊处理:

(1) 进气消音段通过率取值50%, 消音设备及试车间、进气塔内墙面、地面等绝对平整、光滑(不考虑摩擦系数);

(2) 试车间内管路、设备与台架以及引射筒筒壁厚度不作考虑, 考虑到实际试车过程中, 试

表1 空气温度-密度表

温度(°C)	-40	-20	0	5	10	15	20
空气密度(kg/m ³)	1.514	1.395	1.292	1.269	1.247	1.225	1.204
温度(°C)	25	30	50	60	70	80	90
空气密度(kg/m ³)	1.184	1.165	1.109	1.060	1.029	0.9996	0.9721
温度(°C)	100	200	300	400	500	700	1000
空气密度(kg/m ³)	0.9461	0.7461	0.6159	0.5243	0.4565	0.3668	0.2772

车间内设备、管路、台架等对气流造成的影响，需在理论计算时适当上调引射系数，调整后引射系数取值2.0，即最大进气流量： $q = 2\text{kg} \times (1+2) = 6\text{kg}$ ；

(3) 发动机辅助进气系统对进（排）气气流无切向力作用，即试车间内气流不产生轴向旋转；

(4) 发动机辅助进气系统为理想试车状态，排气不含未充分燃烧的燃油。

2.2 初步方案设计

在综合考虑试验台工艺流程和现有、扩建试车台的生产任务后，拟将扩建试车台与现有试车台沿纵轴相对布置，扩建车台西侧与新建车台齐平，东、北两侧充分利用场地资源。现有、扩建试车台采用相向进气，试车台中间增建进气塔。其他房间，如操纵间、燃油间等根据试车间位置进行布置，并按相关工艺要求进行设计，本文主要讨论试车台试车间气动布局，因此对其他房间

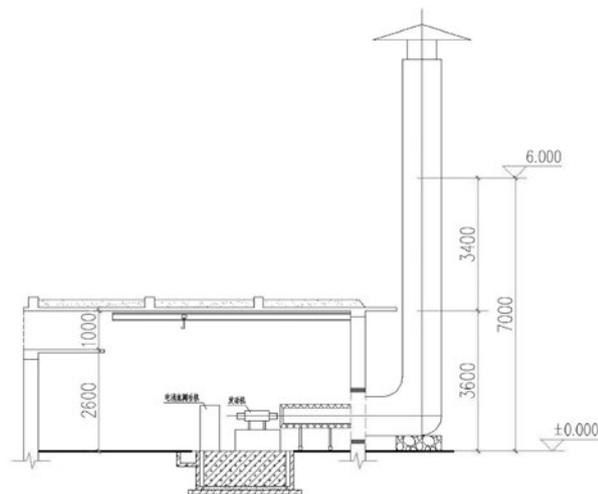


图1 现有试车间尺寸关系示意

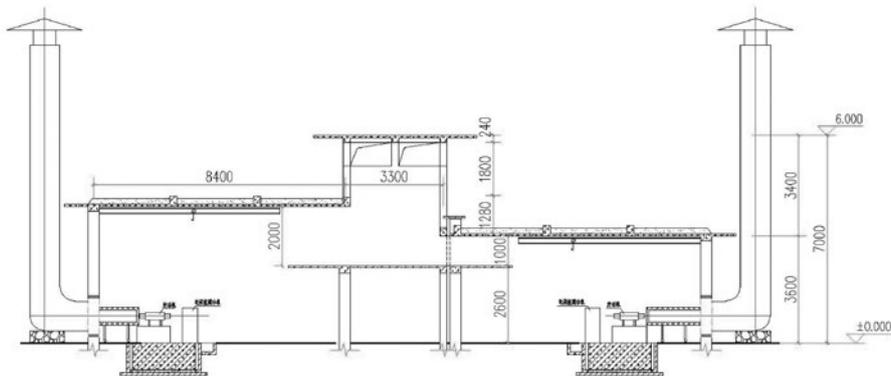


图2 新建试车台初步方案

不做赘述。

本项目为试车台扩建，因此新建试车台必须首先满足现有试车台的使用需求，现有试车台为截面 $3.6\text{m} \times 3.6\text{m}$ ，长 8.4m ，采用顶部水平进气的小型试车台，消音装置安装在进气口内隔板上，板长 2m （见图1）。

新建试车台初步方案拟定为与现有试车台沿纵轴相对布置，两试车台中间增建进气塔，考虑到土建施工问题，新建试车台截面尺寸增大为 $4.6\text{m} \times 4.6\text{m}$ ，以避免原有车台基础。两车台间新建进气塔，新建车台消音设备采用与现有车台相同的安装方式（见图2）。

2.3 试车台气动尺寸验证

2.3.1 试车间、进气道截面尺寸

初步方案中进气道截面拟定为 $4.6\text{m} \times 2\text{m}$ ，试车间截面拟定为 $4.6\text{m} \times 4.6\text{m}$ 。带入试车间、进气道内流速计算公式：

$$v = q \div (\rho \times S \times n)$$

其中， q 为空气流量（ 6kg ）， ρ 为空气密度， S 为试车间、进气道截面积， n 为通过系数（试车间内 $n=1$ ；进气道内 $n=0.50$ ），计算结果见表2。

根据试车台设计规范要求，试车间内平均气流速度不大于 10m/s ，进气道内流速不大于 30m/s ，试车间与进气道的压力损失应小于 500Pa （即速度进气道与试车间内气流流速平方差的绝对值小于 850 ）。以避免在试验时发生因气流不畅而产生喘振等问

表2 新建试车间、进气道的尺寸及空气流速

型号	试车间流量 (kg)	试车间截面积			试车间流速 (m/s)	进气道截面积			进气流速 (m/s)
		宽 (m)	高 (m)	面积 (m^2)		宽 (m)	高 (m)	面积 (m^2)	
—	6	4.6	4.6	21	0.24	4.6	2	9.2	1.20

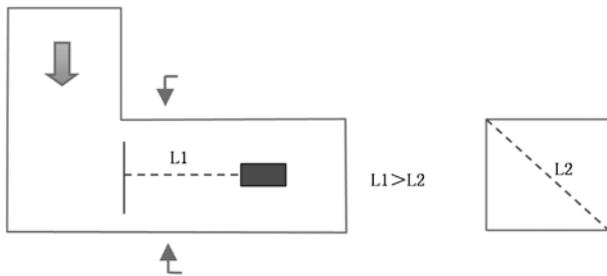


图3 试车间尺寸关系示意

题, 根据上述计算结果, 试车间与进气道的截面尺寸满足设计规范中的速度要求。

2.3.2 试车间长度

本次试车台扩建后, 原有试车台进气方式由顶部水平进气变为顶部垂直进气, 根据发动机进气道设计经验, 发动机到进气道的距离 L_1 , 试车间截面对角线长度 L_2 , (见图3), 试车间截面一般为矩阵且 L_1 大于 L_2 ^[4]。其中:

$$L_2 = (4.6^2 + 4.6^2)^{0.5} = 6.5\text{m}.$$

根据经验测算, 扩建车台 L_1 应大于6.5m, 同时考虑进气段消声器长度(2m), 发动机自身长度(1.5m)和排气引射筒长度(2m), 试车间总长度应大于12m, 而在实际建设中, 用地面积受限, 因此需要对车台设计进行模拟、优化, 保证车台能在充分利用现有用地条件的前提下满足试验试车需求。

2.3.3 引射筒、排气塔截面尺寸

本项目为试车台扩建, 由于试车产品的气动性能参数未发生变化, 故排气筒采用与现有试车台相同的形式, 本次设计仅针对排气筒尺寸进行计算验证, 保证其满足规范的限值流速: 30m/s ^[5], 其余不做赘述。

其中, 排气筒内温度计算公式为:

$$T = (M \times T_1 + m \times T_2) \div (M + m)$$

式中, T 为混合气体温度, T_1 为发动机排气温度(500°C), T_2 为试车间内空气温度(25°C), M 与 m 分别为发动机排气质量(2kg)和引流质量(4kg), 根据计算结果, 可查表2得引射筒内空气密度 ρ_1 并带入引射筒、排气塔流速计算公式:

$$v = q \div (\rho_1 \times S \times n)$$

其中, q 为空气流量(6kg), ρ_1 为空气密度, S 为引射筒截面积, n 为通过系数(引射筒内 $n=1.0$, 排气塔内 $n=0.50$), 计算结果见表3。

根据计算可知, 试车台排气筒满足规范的限值流速要求。

表2 引射筒和排气筒的尺寸及空气流速

型号	引射筒直径(m)	引射速度(m/s)	排气筒直径(m)	排气速度(m/s)
—	1.0	6.1	1.0	13.5

3 流动数值模拟方法

3.1 概述

Fluent是目前国际上比较流行的商用CFD软件包, 可用于流体、热传递和化学反应等有关的工业模型分析计算。它具有丰富的物理模型、先进的数值方法和强大的前后处理功能, 在航空航天、汽车设计、石油天然气和涡轮机设计等方面都有着广泛的应用。

FLUENT软件采用基于完全非结构化网格的有限体积法, 而且具有基于网格节点和网格单元的梯度算法; FLUENT软件包含丰富而先进的物理模型, 使得用户能够精确地模拟无粘流、层流、湍流。湍流模型包含Spalart-Allmaras模型、 $k-\omega$ 模型组、 $k-\varepsilon$ 模型组、雷诺应力模型(RSM)组、大涡模拟模型(LES)组以及最新的分离涡模拟(DES)和V2F模型等^[7]。另外用户还可以定制或添加自己的湍流模型。

3.2 模型生成

3.2.1 模型生成

根据新建试车台初步方案, 采用GAMBIT进行建模。GAMBIT是为了帮助分析者和设计者建立并网格化计算流体力学(CFD)模型和其它科学应用而设计的一个软件包。GAMBIT通过它的用户界面(GUI)来接受用户的输入。GAMBIT可以简单而又直接的做出建立模型、网格化模型、指定模型区域大小等基本步骤, 其图标式的操作方式通俗易懂, 很容易上手, 并且其非结构网格划分比较灵活。

由于试车台整体为矩形结构, 因此可直接适用GAMBIT自带工具进行建模, 并根据实际需要, 对于引气、排气筒内部, 不进行建模计算。

3.2.2 网格划分

生成模型网格采用分区划分的方法, 对于发动机及引射筒外部区域, 由于结构相对复杂, 采用四面体网格划分, 精度为0.05, 其余部分区域采用均匀的矩形网格划分, 网格精度为0.1, 这样做可以有效地提高计算的速度与精度。新建试车

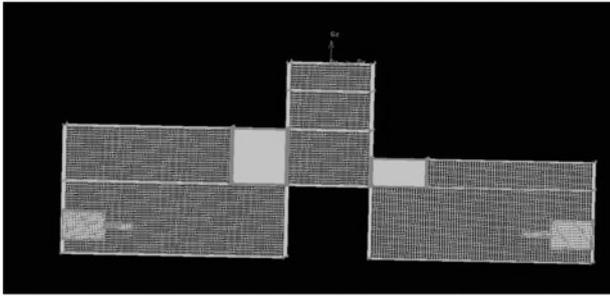


图4 新建试车台网格划分

台网格划分见图4。

3.2.3 操纵面审定

对模型系统整体采用压力设定进行计算，将进气塔进气口 (pre_in) 设定为PRESSURE_INLET，试车台引射筒进气口 (pre_out) 设定为PRESSURE_OUTLET，发动机进气口 (mass_in) 采用设定为PRESSURE_OUTLET，发动机排气口 (mass_out) 采用设定为MASSFLOW_INLET，其余各面设定为实体墙WALL。

需注意，为了便于在Fluent中对于各边界的边界条件设置，新建试车台与现有试车台发动机进排气口应单独分组设置。

3.3 网格的相关操作

启用3D单精度Fluent求解器后，打开之前存储的对应文件 (*.msh)。为了加快计算速度，需要对网格进行Check和Reorder，来对计算域内的网格重新编号和排序。

对比未进行Reorder-Domain操作的网格，这样做会使运算速度得到明显提升。

3.4 计算模型的选择

对于试车台内流场的流体运动求解，一般采用N-S(Navier-Stoke)方程^[8]：

$$\begin{cases} \rho a_x = \mu \left[\frac{\partial^2 v_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_x}{\partial z^2} \right] - \frac{\partial P}{\partial x} + \rho g_x \\ \rho a_y = \mu \left[\frac{\partial^2 v_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_y}{\partial z^2} \right] - \frac{\partial P}{\partial y} + \rho g_y \\ \rho a_z = \mu \left[\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2} \right] - \frac{\partial P}{\partial z} + \rho g_z \end{cases}$$

3.4.1 定义基本求解器

在Define-Models-Solver中，默认Pressure Based设置，并在Define-Models-Energy中选择Energy Equation。

3.4.2 湍流模型选择

在Define-Models-Viscous中选择K-epsilon选项，其余选项保持默认不变。

3.4.3 流体物理模型的选择

在Define-Materials材料属性的设置对话框中，选中Density下的ideal-gas，按理想气体的气体状态方程求解密度。

3.4.4 边界条件的设置

对于试车台模型的进气 (pre_in) 与排气 (pre_out) 边界，由于为与外部环境相通，边界条件默认为大气环境。

对于发动机进气 (mass_in) 边界，需根据公式进行换算，将已知的质量流量条件换算为压力条件，换算所需的方程组如下^[8]：

$$\begin{aligned} q &= \rho S v \\ P V &= n R T \\ P_{\text{总}} &= P_{\text{静}} + (1/2) \times \rho v^2 \end{aligned}$$

式中q为发动机流量，S为进(排)气口截面积，其余两方程分别为气体的压力方程与理想气体的状态方程，在此不做详述。

3.4.5 操作环境的设置

在Define-Operating Conditions中保持默认值，在Report-Reference Values中确定流场边界的各值。

3.4.6 观察面设定

为便于模型内流场的观察分析，在模型中设置观察面 (flag-1与flag-2)，其中flag-1为沿新建车台发动机中轴线垂直剖面，flag-2为沿新建车台发动机中轴的水平剖面。

3.4.7 设置残差收敛精度

最后，在Solve-Monitors-Residual中根据相应情况进行选择，其中初步方案迭代为快速查阅结果，将收敛精度设定为10⁻⁴，最终方案迭代时，将收敛精度设定为10⁻⁵。

4 结果与分析

4.1 存在的问题

初步方案模拟结束后，选择新建、现有试车台引射筒进气面进行流量统计 (见图5)，可以很清楚的发现，在同型号发动机同时试车时，由于两试车台试车间进气截面尺寸不同，会发生较明显抢气现象。

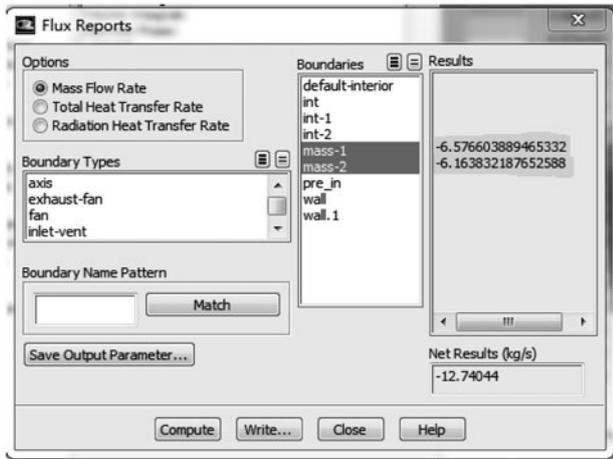


图5 初步方案流量统计

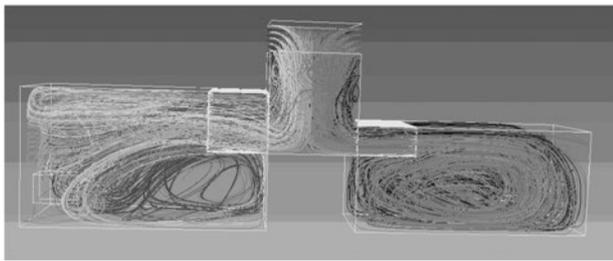


图6 初步方案流场迹线

同时，利用FLUENT模拟试车台内流场迹线（见图6），也可以很明显的观察到到进气塔内流场迹线中线明显向左偏移（见图6），进一步佐证了图5中发现的问题。同时，还可以通过观察、分析可以发现该方案存在以下重要问题：

1) 由于进气模式由水平进气改为垂直进气，进气塔内气流在较短的距离上经过连续两次变向，产生了较多的湍流；

2) 新建试车间内进气道出口至发动机进气口水平距离仅3m，在大流量试验时试车间内会产生较大的气体回流；

4.2 第一次方案改进

针对初步方案中存在的问题，分析产生的原因，并对方案模型进行优化，并对优化后的模型进行相关气动模拟计算，具体网格生成与计算步骤与初步方案相似，在此不做复述。

为最大效率的提升气流的平整性，将试车间进气口延伸至地面，同时修筑导流板，试车台消音装置安装在进气塔内（详见图7）。

根据计算，采用该方案可以保证试车台内气流相对稳定，且不会发生“抢气”现象。流量统计见图8。

打开设置好的观察面进行观察，可以发现此

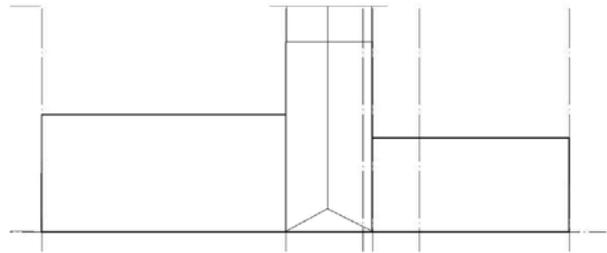


图7 试车台（方案一）截面示意图

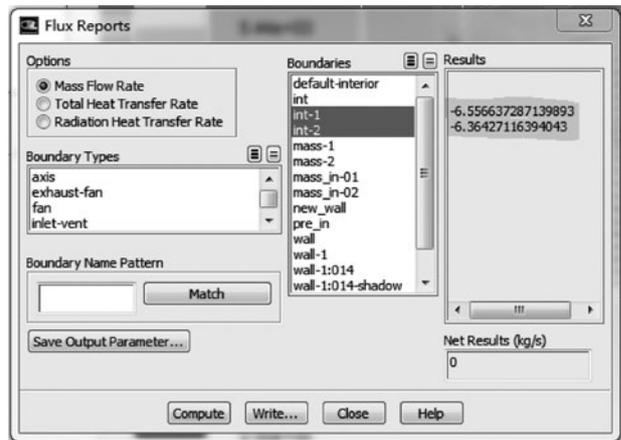


图8 流量统计(方案一)

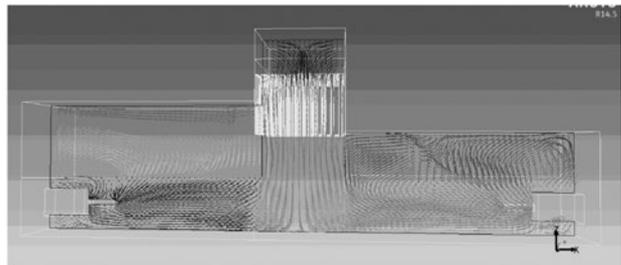


图9 迹线纵截面(第一次方案改进)

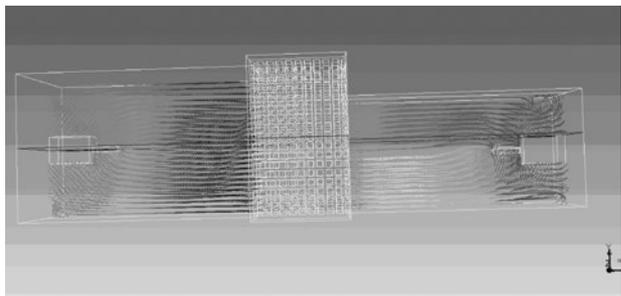


图10 迹线横截面(第一次方案改进)

时沿着发动机水平、竖直两个剖面上流场较为平稳，试车间内无气体回流。迹线纵截面见图9，迹线横截面见图10。

通过分析可以发现，通过在进气塔中加装隔板将新建、现有试车间进气相互隔离，有效地避

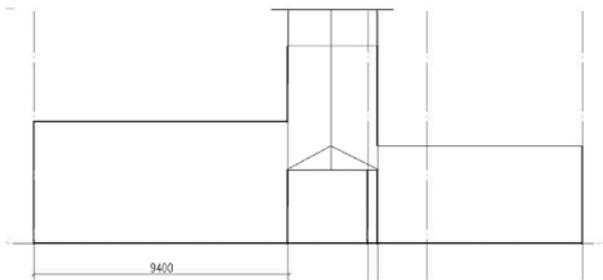


图11 试车台（方案二）截面示意图

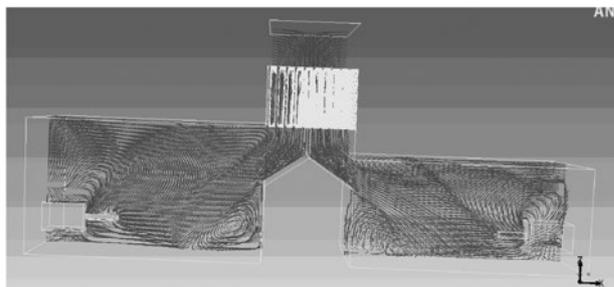


图13 迹线纵截面(方案二)

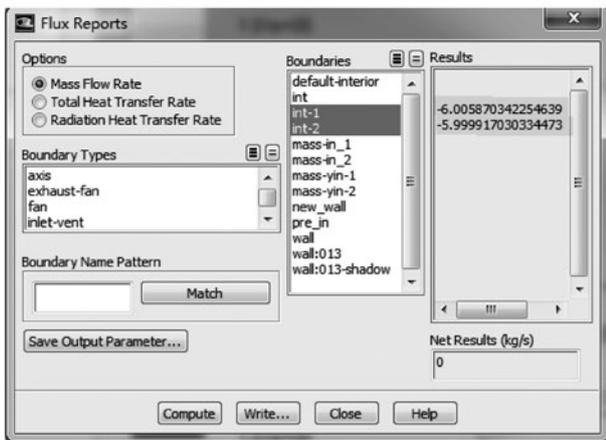


图12 流量统计(方案二)

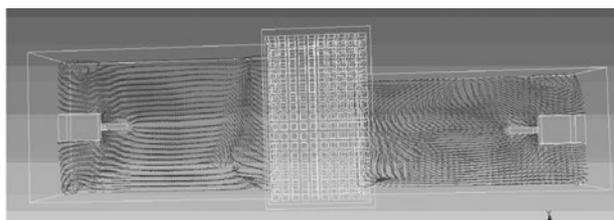


图14 迹线横截面(方案二)

行方案改进，力求保证流场平稳的前提下减少实际施工工程量。保持方案一中进气塔内的隔板与导流板与现有试车台墙体，将方案一中的进气道底端抬升2m与现有试车台进气道平齐。同时将消音设备回收至塔内，并根据场地实际情况，将新建试车间长度增加至9.4m，此方案将进气道出口至发动机进气口水平距离为6m（见图11）。

对方案二进行建模计算后，得到以下相关数据，流量统计见图12，迹线纵截面见图13，迹线横截面见图14。

对比方案一，尽管此做法减少了一定的工程量，但可以很明显地发现该方案在进气时存在“憋气”问题。经多次分析，认为导流板角度设置出现问题，导致气流在进入发动机前与地面发

免了原有方案中存在的抢气问题。然而此方案需对现有试车台进气端面进行较大的改动，同时，由于需要将消音装置安装在进气塔内，进气塔高度需提升至8.5m以上，与现有试车台排气塔高度相近，需要重新安装排气塔，改建工程量较大。

4.3 第二次方案改进

总结方案一的经验，并在方案一的基础上进

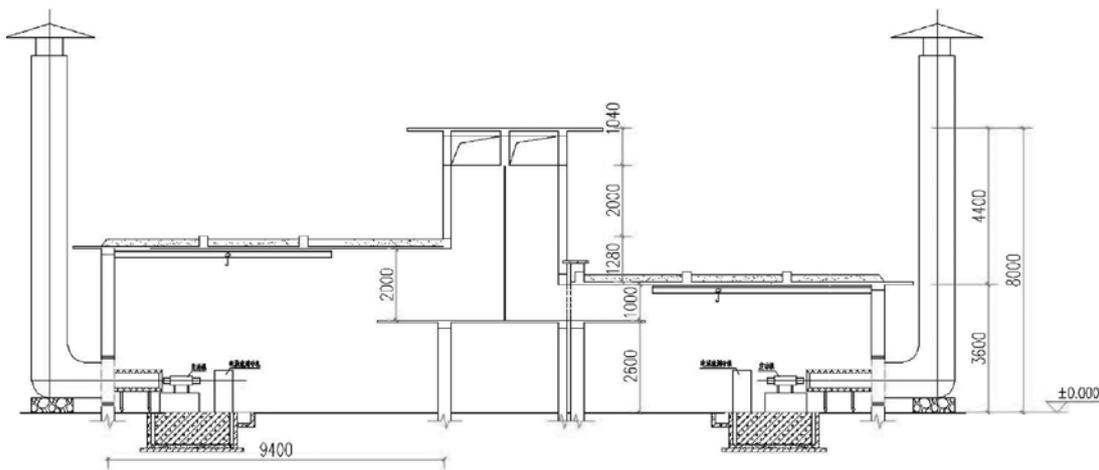


图15 新建试车台最终方案

生碰撞后产生进气回流，并在试车间内多处引起不必要的湍流。因此，此方案在施工过程中，需对导流板角度进行严格控制，工艺较为复杂。同时，该方案与方案一一样存在着需要重新布置排气塔的问题。

4.4 最终方案

根据改进方案的优势和存在的问题进行综合分析，结合实际工程施工条件，对初步方案进行以下优化调整：

1) 在进气塔内加装隔板，保证两侧试车台可以单独进气，隔绝试车影响。

2) 适当提升进气塔高度，将塔高由方案的7m提升到8m。

3) 在工程允许的前提下，将新建试车台长度由8.4m增加到9.4m，增大进气道长度。

最终方案（见图15）再次进行建模计算，并根据计算结果绘制沿发动机轴线纵切面的压力云图与速度云图以及流场迹线。静压矢量图见图16，总静矢量图见图17，速度矢量图见图18。

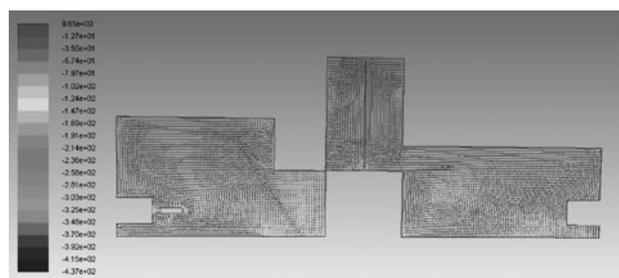


图16 静压矢量图

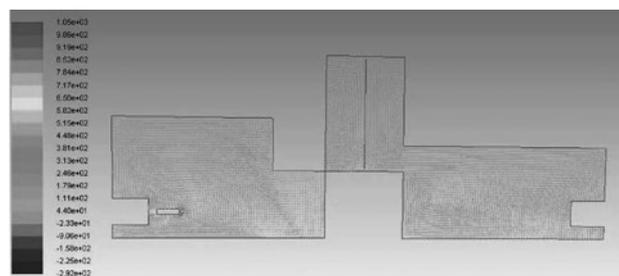


图17 总静矢量图

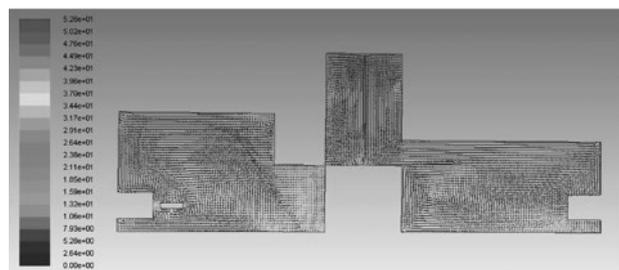


图18 速度矢量图

在此方案下，试车间内的压力分布较为均匀，流场连续稳定，未出现不良湍流，因此可以确定该建设方案可以满足试车台试验需求。

5 结论

本次设计尝试通过气动流体计算对待建试车台内流场进行较真实的模拟，以便为试车台设计提供理论指导，规避设计中可能出现的问题。

本次设计通过初步估算、确立初步方案、建模计算、方案优化、共进行了多次建模计算，并针对各阶段建模计算任务需求，对计算步骤进行了选择性的简化处理，根据各方案对初步方案进行优化，最终得到理想的方案。

通过此次设计，探索了在试车台设计中CFD模拟分析与工程方案的结合点，下一步将在试车台建设完成后进行实地试验测量，根据试验数据对计算结果进行进一步修正，并在跟多同类项工程中运用此方法积累数据，最终总结出可以与实际试验结果向一致的计算模型，为今后的试车台设计及同类型工作的设计方案的合理性和可行性提供理论支持与计算佐证。

参考文献

- [1] 许松等，航空发动机起动试车台的研制 2007.2.
- [2] 张澄宇等，航空发动机试车台的气动流场研究 2006.1.
- [3] 陈矛等，某型发动机试车台的设计与研制 1986.4.
- [4] 麦海波等，航空活塞发动机试车台设计及测试系统开发 2004.1.
- [5] 陈益林等，航空发动机试车工艺 北京航空航天大学出版社.
- [6] 王铁城等，空气动力学实验技术.国防工业出版社，1986.4.
- [7] 于勇 FLUENT入门与进阶教程 北京：北京理工大学出版社.
- [8] 王瑞金 FLUENT技术基础与应用实例 北京：清华大学.

通航产业园空间布局规划探究

——以荆门爱飞客航空小镇为例

■ 何志军 [规划]

摘要: 通航产业园区的空间形态规划的关键要在确定自身发展模式的情况下,根据产业构成,明确规划目标与规划的重点,科学的进行资源分配和建立良好的园区形象。为了突出通航产业园区空间形态规划的特殊性,校选取具有代表性的产业空间布局、交通系统规划、景观与公共空间设计这三个方面结合案例荆州爱飞客镇进行分析。

关键词: 通用航空;通航产业园;空间布局

1 荆门爱飞客航空小镇简介

荆门爱飞客镇(由中国航空规划设计研究总院有限公司设计)位于漳河新区中部,规划范围西起漳河水库东南岸,东至烂泥冲水库、车桥三库东岸;北起现状宏图厂进厂路,南至348国道、焦柳铁路,总面积 30km^2 ,其中水域面积 11.27km^2 ,陆域面积 18.73km^2 。境内现状拥有漳河机场,为下一步爱飞客镇机场的改扩建提供了良好的发展基础。此外,爱飞客镇拥有得天独厚的水库旅游资源,规划区内水库资源分布广泛,境内共涉及漳河流域大中小型水库4座。

荆门爱飞客镇根据基地空间格局特征和地块功能特点,结合道路,整体形成“一核两轴;一廊道四片区”的空间总体规划结构(见图1)。

荆门爱飞客镇将被打造成以通用航空运营为依托、航空展销和体验为特色、集航空器研发制

造与文化创意产业于一体,逐步将荆门爱飞客镇建设成为国内知名的通航文化聚集地、休闲旅游与航空体验中心。

2 通航产业园空间布局规划目标

2.1 合理分区应对机场周边开发限制

大部分通航产业园区位于机场周边的建设控制区内,在规划时应深入研究各项目功能对土地使用和周边环境的要求,如较低矮的厂区可布置在航空限高控制较严格的区域内,居住和服务功能布置在航空噪音较低的地方。合理分区以降低航空限高、噪音、建设地限制等对产业园建设的影响。规划将爱飞客镇划分为四类强度开发区(见表1)即:一类地区(中高强度开发区),二类地区(中等强度开发区),三类地区(低强度开发区),四类地区(城市开敞区)。

2.2 多因子分析产业布局最大化土地使用效率

通航产业园区具有高新技术产业与现代服

作者简介:何志军,男,高级工程师,2011年毕业于湖南大学建筑学专业,现就职于中航长沙设计研究院有限公司。

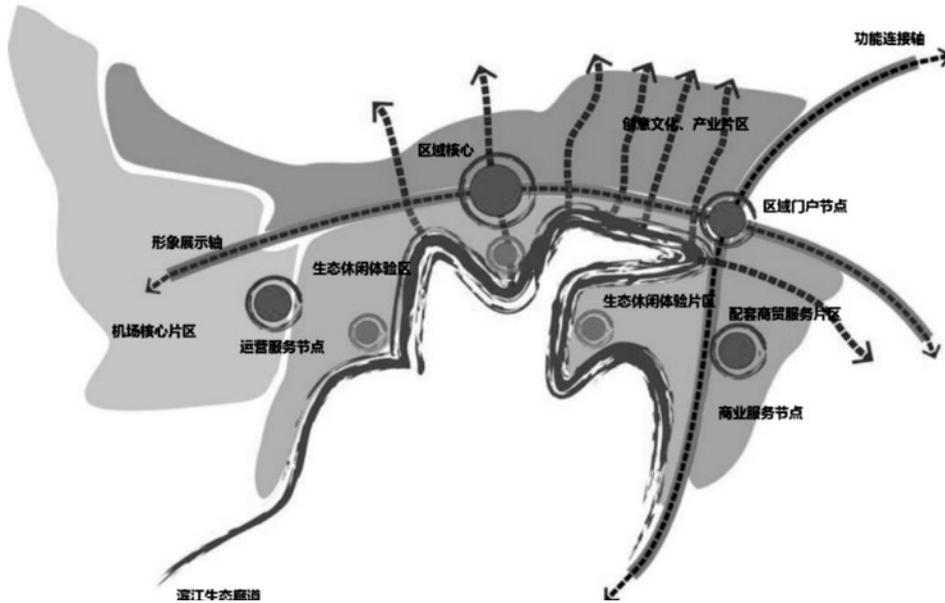


图1 荆门爱飞客镇总体空间布局

表1 主要功能区开发强度控制表

类别	主要功能	平均容积率
一类地区	商业、文化	2.0-3.0
二类地区	办公、研发	1.2-2.0
三类地区	居住	0.8-1.5
四类地区	绿地公园、广场、生态绿地	0.1-0.3

务业相互融合的特点，各产业相互支持聚集成为产业综合体的同时，又在通航产业园区的土地、景观、基础设施、建设投资等资源分配上存在竞争关系。在进行产业布局规划时，将各产业进行人员规模和产能预测，并分类分级。对影响产业布局的交通、景观、用地条件、基础设施等进行多因子分析叠加（见表2），得出单个产业布局的最优区位，在此基础上结合产业分类分级的情况和

产业内在需求联系，进行整体的产业空间布局规划，平衡各产业的区位选择和用地规模，实现经济、环境、土地利用效率的综合最优布局^[1]。

2.3 因地制宜协调城市形象与生态景观

机场周边由于受机场建设控制区域的限制，开发建设活动受到控制，大多都保留了包括基本

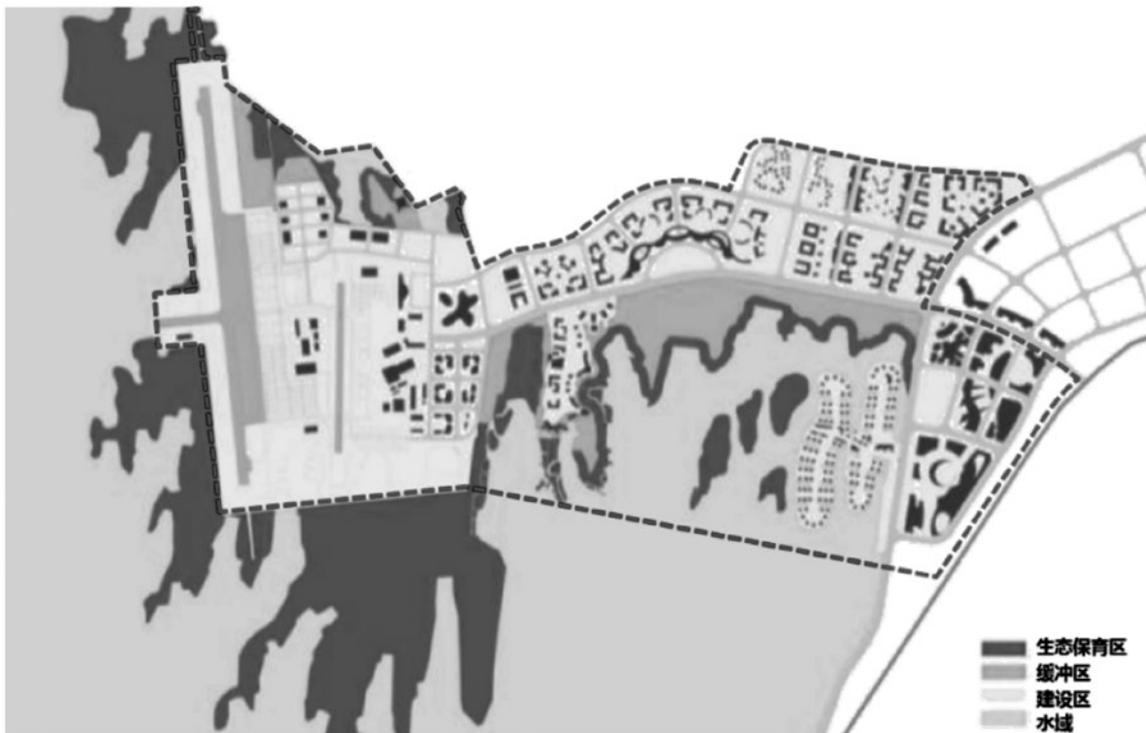


图2 荆门爱飞客镇生态分区规划

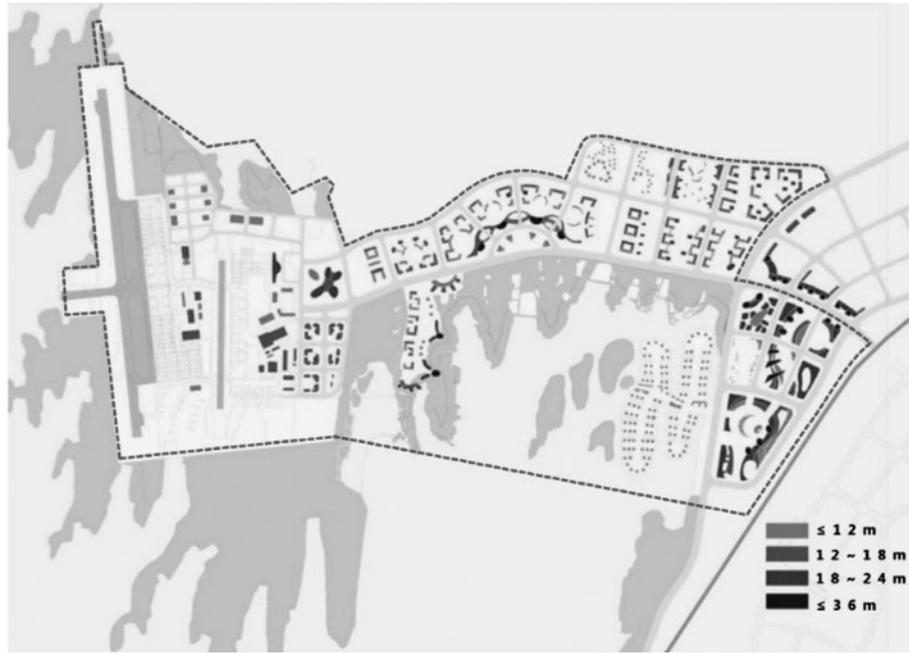


图3 荆门爱飞客镇建筑高度控制

表2 产业选址因子评价表

评价因子	分类	赋值说明	权重说明
交通设施	快速路	对各类交通设施划定距离等级	通航工业、物流对交通设施要求最高，权重值高于现代服务业、商贸、商务、会展等产业交通依赖性较强
	主干道		
	次干道		
	支路		
	交通枢纽		
土地成本	一级地价	根据城市基准地价进行分级	通航制造、研发、维修对地价的敏感度高于商业、金融
	二级地价		
	三级地价		
用地适应性	禁建区	用地坡度、坡向、高程等多因子叠加	通航制造、维修、物流由于占地面积较大、特殊的生产流程和操作因素，对用地适应性要求较高
	限建区		
	适建区		
工程性基础设施	能源供应系统	对各类基础设施划定距离等级	通航制造、维修、物流等航空相关产业对能源供应、给排水要求较高，但需远离防卫防灾系统
	供水排水系统		
	邮电通信系统		
	环保环卫系统		
	防灾安全系统		
景观环境	山体	对各类景观要素划定距离等级	现代服务业、配套产业的对景观的要求高于通航相关产业
	水体		
	农田		
	集中绿地		
	建设用地		

表3 通航产业园空间形态规划控制内容分级

分级层面	类别	具体内容
宏观——总体规划层面	总体布局	产业布局
		土地利用
		功能与风貌分区
		开发强度控制
	空间体系	高度分区
		交通系统
		景观系统
		公共空间系统
中观——城市空间形态控制层面	建筑建造控制	公共服务设施
		建筑范围
		建筑形体
	空间界面控制	建筑高度
		建筑风格与色彩
		界面控制要素
	地块布局模式	连续性界面
		渗透性界面
		空间类别分析
		地块划分尺度
		建筑布局
		公共通道
景观环境控制	景观视廊与节点设计	
	景观构成要素	
	绿化配置指引	
微观——重点环境设计层面	外部环境要素	空间尺寸与尺度
		景观设施
		公共标识系统
	建筑要素	立面元素
		构筑物
	绿化要素	植物配置
		绿化设施

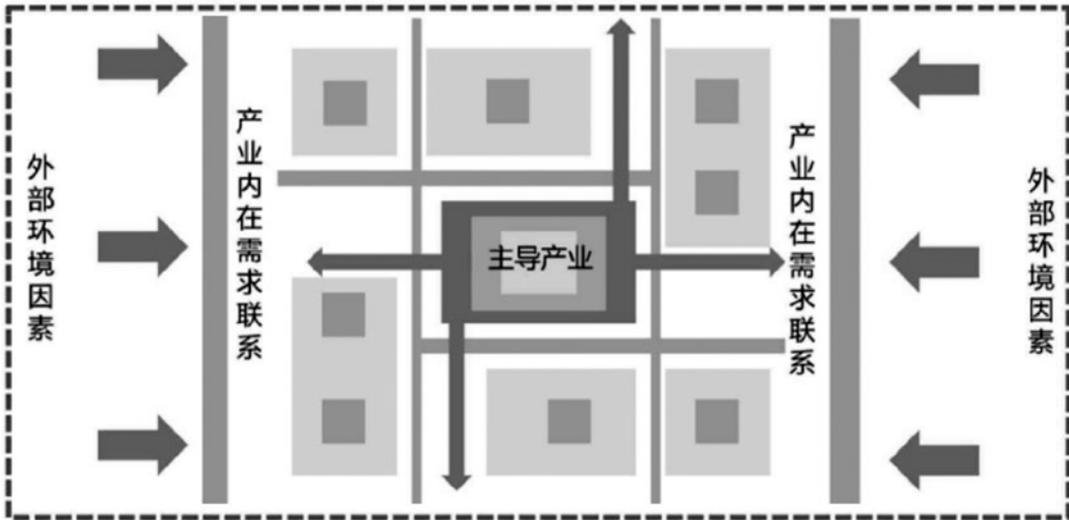


图4 通航产业园产业空间组团布局模式示意图

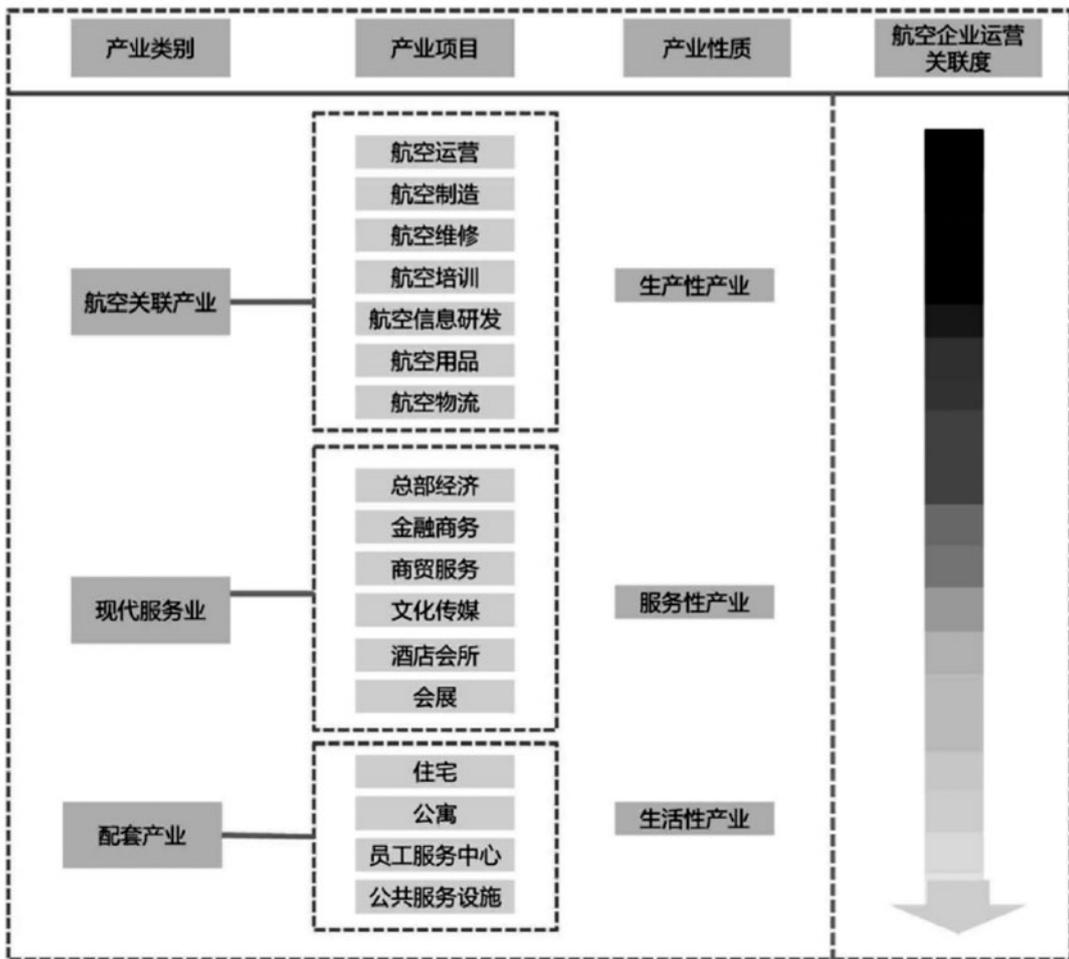


图5 通航产业园产业体系配置

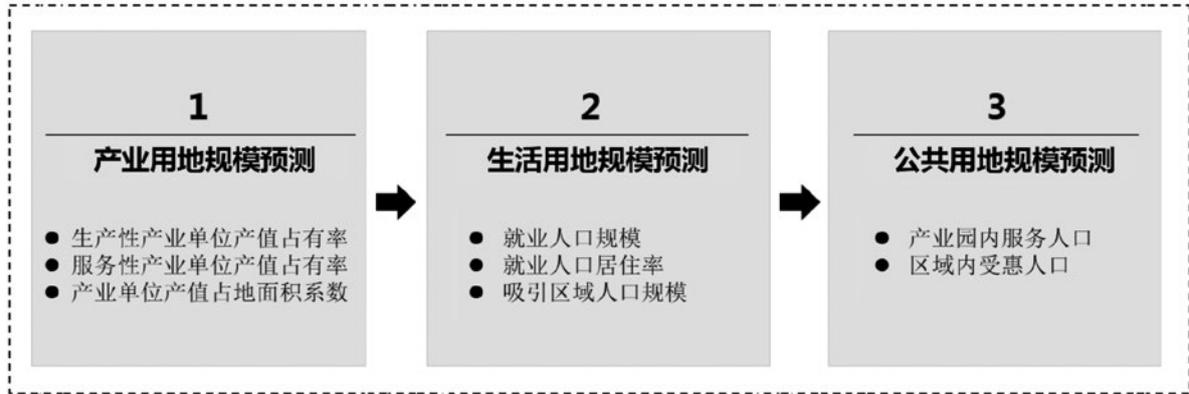


图6 通航产业园各类用地规模预测流程

农田、河流水系、绿地走廊、林地和湿地所构成的生态景观格局。这就要求产业园的建设要坚持生态保护与生态建设并重，遵循“低影响开发”的理念，进行生态分区规划，具体分为生态保育区，生态缓冲区和城市发展区，从而因地制宜协调城镇建设与生态景观，进而维护区域生态基础设施的连续性和完整，维护区域生态安全格局。

2.4 分类控制引导城市空间形态

构建整体性强、特色突出总体规划方案，并在此基础上，将不同功能和形态的城市空间进行分类分级。这种城市空间形态定性与定量的控制体现在以功能与分区为前提，考虑周边环境整体意向对不同类型建筑的高度所做的控制。荆门爱飞客镇由于规划基地大部分位于漳河风景名胜区内，因此整体开发本着低高度、低强度的原则进行，但考虑规划地块本身的功能特点，空间形象的需求，局部地块的高度适当有所突破，但控制在36米以下。其中，飞行社区和飞行公寓以低层为主，高度控制在12m以下；商业地块以3~5层多层为主，局部点式高层高度控制在36m；办公地块以多层为主，整体高度不超过24m，滨水度假酒店和行政文化节点处也以多层为主，部分标志建筑可突破，但不超过36m。

3 通航产业园空间布局重点内容

在确定规划策略与重点的前提下，结合对通航产业园空间体系的层次分类，将通航产业园的空间形态规划控制体系按空间层面类型归类，形成“宏观——中观——微观”三个层面的规划控制内容^[2]。

(1) 宏观——总体规划层面主要是产业园

区的总体规划布局 and 空间体系的建立。

(2) 中观——城市空间形态控制层面着重于在城市空间体系框架下，对直接体现城市形态的要素进行量化分析与模式分类。

(3) 微观——重点环境设计层面是在宏观、中观定性定量的基础上，在重点地段结合环境行为学、人体工程学的运用，进一步加强航空产业城建筑、景观的细节设计，形成富有特色的空间形象^[3]。

通过对以上三个层面的内容的分析，为了突出通航产业园区空间形态规划的特殊性，本文将选取产业规划、交通组织、城市界面、景观系统、建筑形态、环境保护等具有代表性的方面进行着重分析。

3.1 产业空间布局

在进行通航产业园的空间布局与土地利用规划时，注意综合考虑产业之间的内在需求联系及外部环境因素。目前国内规划建设中的通航产业园区，一般采用以主导产业为规划核心，各延伸产业及配套设施分组团布局的规划模式。各组团结构清晰，内部交通系统与景观绿地相联系，切实结合各项目功能需求，体现功能布局的秩序性与整体性，并为新增项目预留发展空间。

3.1.1 产业构成

在空港经济区宏观产业空间布局的引导下，通航产业园区应结合自身建设与发展需求合理定位，选择核心主导产业进行相关的产业链延伸研究，根据产业运作与企业的关联度对产业进行分级，并预测各项产业比例与产业规模。作为产业用地规模预测和空间选址、布局模式的确定依据。本书主要研究的复合型通航产业园中，主要由通用航空相关产业、现代服务业、配套产业三大产业构成。

表5 各类产业用地地块划分尺度对照参考

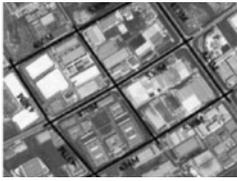
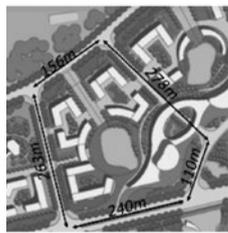
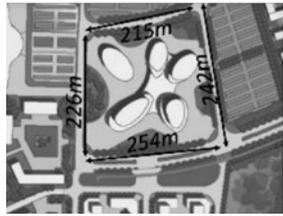
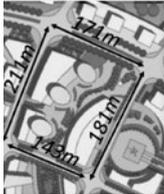
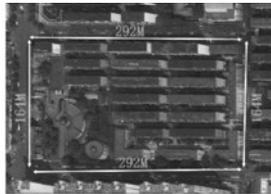
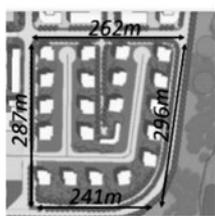
产业	参考地块1	参考地块2	荆门爱飞客	备注
工业物流	天津空港经济区纺织城 	新加坡樟宜机场物流园 	无	通航物流与工业用地园区分片区尺度较大, 道路规整, 大中小地块多元结合划分地块, 灵活适应不同企业或工厂的使用需求。
	广州移动南方基地 	北京中关村科技园 		
商务办公	天津空港商务园 	上海临空经济园扬子江总部 	航空企业聚集区 	吸收多家企业进驻的商务园区, 或针对一家大型企业的商务总部基地两种模式, 根据企业办公规模和配套设施的服务半径来确定地块规模。
	清华科技园国际会议中心 	天津空港经济区奥特莱斯 	航空博物馆 	业务包括商业、酒店、会所、员工服务中心等。分为建筑单体布局和建筑群体布局两种模式。综合商业中心、体育馆、会展中心、大型酒店等建筑体量较大, 周边需要一定规模的集散广场及停车、景观用地, 采用单体式布局划分地块。小型购物中心、会所、活动中心等一般集中布置, 形成一定的规模。
公共服务		特色街区 		
居住	西安阎良西雅图国际社区 	成飞404小区 	飞行社区 	包括飞行别墅、航空家园和为园区内企业员工与家属居住社区类似城市居住小区。当有要求飞机直接入库并联通机场跑道时, 需基于飞机滑行道长度判断地块规模。

表6 荆门爱飞客镇静态交通设施面积预测

序号	出行方式	选择人数	人数 (人/辆)	所需车辆 (辆)	单个停车位面积 (m ²)	总停车位面积 (m ²)
1	大巴	3万人	50	600	63	37800
2	小汽车	5万人	5	10000	20	200000
3	公共交通	2万人	—	—	—	—
需求小计						237800
规划预留停车场占地						254000m ²

3.1.2 用地规模预测

在对产业构成比例和产业发展预测的基础上,应根据各产业的不同用地特点进行产业用地规模预测,并进行合理的用地划分^[4]。根据产业的不同类型,将用地分为产业用地、生活用地和公共用地,采用不同的形式确定其用地规模^[5]。

3.1.3 产业用地地块划分

根据产业构成分类,通航产业园的地面空间布局可分为工业物流、科技研发、商务办公、公共服务、居住、绿地景观六种类型,在通航产业园的规划中,应对建筑的形态和体量进行研究,根据不同性质、不同类型建筑的用地尺度需要,合理划分地块。

3.2 交通系统规划

交通规划是通航产业园区的先行环节,为实现各个交通区的经济及功能的价值最大化,交通系统的规划要遵循经济合理、综合一体化设计的原则。通航产业园的交通需求的特征决定了其交通模式应具有以下特点:①通航旅客的交通需求决定了新航城主要的对外交通方式应为大运量交通方式;②通航产业园内的通勤交通要求快速、便捷;③生态、绿色的通航产业园要求其内部的交通方式也应具有友好性、低排放及污染小的特征。

3.2.1 对外交通规划

通航产业园不但承担了一部分区域对外联系的功能,而且其城市职能的区域化还促进了对外交通的区域化。因此,不能再将其外围交通简单理解为组织城市对外联系的方式,而是必须从区域产业、城市功能发展的角度去诠释^[6]。对外交通主要包括过境交通和产业园进出交通两部分,由城市出入口、轨道交通、交通站点、城市干道构成。

3.2.2 内部道路系统

荆门爱飞客镇基地范围内的道路路网主要遵

循控规路网设计;其中主干路主要包括爱飞客大道和漳河大道;次干路、支路主要包括机场纬一路,创意纬二路等,创意经二路等。遵循上位规划基地内爱飞客大道和漳河大道两条主干道采用两块板的横断面的形式,其他次干路和支路采用一块板的形式;各条道路之间均采用平交的方式连接。

3.2.3 静态交通

通过预测交通量,结合人流构成和出行方式的分析确定静态交通设施的规模。以荆门爱飞客镇的静态交通设施即停车场规模的预测为例,预测基地的最大人流量为航展时期人流量约为10万人次/日,停车场面积推算见表6。

规划预留停车场占地面积为25.4ha,符合远期航展停车需求。停车场分为公共停车场、临时停车场和内部停车场。公共停车场主要为外来游客和参加例如航展的大型活动的为大量外来人口和车辆服务。内部停车场一般位于各功能区内部,一般靠近功能区域主体建筑的入口,方便工作人员停车。临时停车场是指在紧急情况下当现有停车场无法满足需求时提供紧急停车的区域。同时,考虑到航展的持续时间问题,大部分停车位要考虑非航展时期的综合利用;因此部分停车位结合广场、绿地、种植铺地等规划设计。

3.2.4 慢行系统

在通航产业园区内应倡导以人文本、绿色低碳的慢行交通理念看,结合道路绿化带、公共空间与景观节点规划慢行交通系统。在园区干道建筑后退的范围内设置林荫步行道及非机动车道,结合景观节点和公共空间的人车分流设计布置非机动车停放点,形成绿色慢行区域,以点——线——面结合的形式,打造贯穿通航产业园区的慢行交通系统。

荆门爱飞客镇规划的慢行交通系统是以公共



图7 荆门爱飞客静态交通系统

交通的大范围覆盖为前提的。沿城市主干路、次干路设置公交线路，结合重要节点建筑设置公交站点，站点服务半径控制在500m以内；沿爱飞客大道结合防护绿地，设置单轨道观光轻轨交通，丰富交通类型，提高区域的可达性。

此外，规划沿道路两侧防护绿地设置自行车道，同时利用漳河水库水景观资源，将优质自然环境向公众开放，建构完善的慢行步行体系，将步行与自行车路网结合，形成可接触的城市滨水运动体验场所。总体将商业空间、滨河景观、绿谷公园以慢行系统有机串联，形成多层次、复合、低碳的慢行交通网络。步行路线以滨水步行道、公园步行道为主，自行车路线以滨水自行车游览道、廊道自行车通行道为代表。

3.3 景观与公共空间设计

在通航产业园区生态绿地景观的设计中，应结合景观与公共空间的分级与分类，结合通航产业园区内不同景观类型的自身特点与周边功能，对自然景观要素与人文景观要素进行详细设计。增强景观界面的质感，丰富景观公共空间的形象，对景观模式、环境行为、观景方式做模数化与艺术化处理。

在通航产业园区的规划设计中，一般将景观绿地与公共空间相互结合设计，保护和利用基地所依托的自然山水环境，在原有自然景观的生态基底上，通过点、线、面组合，从而在整体上形成网络状结构。一系列不同主题的公共空间，与各个不同形态的景观绿地结合在一起，并由景观休憩功能确定空间开放度，提供有效的生态休闲绿地，构建公共生态景观系统。

3.3.1 公共空间分类

(1) 点——园区广场、集中性绿地、湖面、道路交叉口等，在景观与公共空间系统中一般具有聚焦、核心、标志等意义，各重要的景观结点应形成视线通廊，园区级的标志性景观结点之间尽量互相呼应形成对景。

荆门爱飞客镇的点状公共空间在居住区内，规划社区公园和街头绿地，就近服务周边居民，使居民出行5~8分钟即可到达社区公园或街头绿地。同时，利用现有水库和水渠——漳河水库、太平水库、烂泥冲水库、车桥三库，设计成以水景为特色的绿地公园，结合烂泥冲水库构建河东居住区公园。

(2) 线——带状绿地、园区道路、滨水绿廊等，结合线形的景观空间打造园区的景观轴线，串联起各景观结点，形成景观视廊。

荆门爱飞客镇的线状公共空间沿铁路、348国道、爱飞客大道、漳河大道、凤袁路、同乐大道两侧线形绿地、功能区之间的防护绿带构建规划范围内的绿化网络系统。

(3) 面——大面积的景观绿地、山体、滨河绿带、水面等，在通航产业园景观与公共空间系统中具有景观辐射和集聚的作用，景观构成的要素比较丰富，承载着多样化的活动。

3.3.2 景观绿地分类

通航产业园区内的景观绿地分为公园式绿地、组团庭院景观、生产型绿地、防护绿地、道路带状绿地、滨水绿化几种，景观的设计应与所在的空间环境，建筑相互协调呼应，人工景观与自然景观相互协调。各类型景观绿地的设计要点如下：

(1) 公园式绿地：满足公园多样化生态性原则，结合地形特征，划分植物群落，发挥各类植物观赏性。以大面积草坪为背景，高大乔木为主体的自然绿化配置形式，树丛、树群、片林搭配有序，结合观花类、观果类植物形成观赏节点，并设置清晰的绿化界面。

爱飞客镇规划6座大型公园、7座小区级公园，结合道路规划若干街头绿地，达到300m见绿，500m见园的效果。

(2) 组团庭院景观：符合人体尺度，保证充足的绿化种植面积，利用具有遮阴作用的中型乔木作为主要绿化树种，结合绿化设置小型的休憩、娱乐等设施。



图8 荆门爱飞客公共交通规划

(3) 生产型绿地：位于通航工业相关组团内，主要用于分隔各厂房和其他功能用房，兼具景观及防护的功能，绿地构成简洁明了且具有吸烟滞尘等功能。

(4) 防护绿地：由乔木、树篱、草坪组合形成绿化屏障，并采用吸引、防尘性较强的植物。

(5) 道路带状绿地：行道树、灌木、草坪相互结合，行道树一般采用高杆乔木，以免对视线造成遮挡，并注意留出开口方便人员出入，建议采用常绿性乔木。冠大荫浓，能够吸烟滞尘、涵养水源、固土防沙和美化环境。

(6) 滨水绿化：使滨水界面到绿化界面的过度具有景观连续性，考虑水体的生物群落功能与生态构建，结合不同的岸线功能选择不同的植物栽植方式。

4 结语

总体来说，通航产业园的空间布局要注意：

(1) 选址布局与机场及其周边区域的功能分区相适应。

(2) 用地规模、功能分区、建筑形态等以产业特征为基础。

(3) 以交通运输为核心组织空间布局。

(4) 设施现代化、技术无污染，适应高新技术产业技术先进的要求。

(5) 受机场建设、航空限高、生态保护的限制，注重环境营造，开发强度较低。

参考文献

- [1] 周琦.广州市航空产业城空间形态规划方法与实践研究[D].广州：华南理工大学，2012.
- [2] 孙晖，梁江.控制性详细规划应当控制什么——美国地方规划法规的启示[A].城市规划，2005(05).
- [3] 严华.对城市景观的再认识[J].城市问题，2001(2).
- [4] 俞孔坚，周年兴，李迪华.城市用地规模预测的新思路——从产业层面的一点思考[J].城市规划，2004(3).
- [5] 鲁鹏，周璿.城市工业用地规模的预测方法探讨——以长寿中心城区为例[J].室内设计，2013(2).
- [6] 郭璟坤，胡赵征.北京新航城临空经济区发展规划研究[J].规划师，2012(12).
- [7] 戴翔.城市新建地区社区公共设施优化配置的思考与建议——以南京市河西地区为例[J].现代城市研究，2014(1).

某飞机喷漆维修机库防爆通风系统 节能设计探讨

■ 谭智威 [暖通 动力]

摘要: 本文详细阐述了换气次数法和稀释通风法在某飞机喷漆维修机库防爆通风系统中的应用。通过对比可以看出,在保证喷漆维修机库防爆通风要求、消除火灾危险性的前提下,采用稀释通风的方法将使设备材料投资、运行能耗大幅减少,具有良好的经济性。

关键词: 飞机喷漆维修机库; 防爆; 通风系统; 节能设计

0 引言

在航空工业厂房设计中,飞机喷漆维修机库较为常见的一种类型,属于高大喷漆厂房。在喷漆作业过程中,油漆会散发出二甲苯、丙酮及汽油等可燃性气体,根据生产场所及使用的物质性质,喷漆厂房火灾危险性定为甲类。设计过程中,为保证厂房内适宜的空气环境,确保生产正常进行,厂房内通风系统的设置地位举足轻重。

根据甲类厂房设计要求,在工艺要求不精确的情况下,传统做法进行事故通风,通风量一般采用换气次数法,且不小于12次/h。而根据现行国家标准《爆炸危险环境电力装置设计规范》GB50058-2014第3.2.4条规定,爆炸危险区域内的通风,其空气流量能使易燃易爆物质很快稀释到爆炸下限的25%以下时,可定义为通风良好。因此根据可燃物浓度及火灾性危险分析,运用稀释通风原理,在规范规定时间内将可燃物浓度进行稀释,使之浓度降到爆炸下限的25%,也可以得到满足规范要求的通风量。

对于飞机喷漆维修机库这种高大厂房,防爆通风系统相当庞大,本文接下来将通过两种计算方法应用于某工程实例进行阐述和对比,探究节能解决方案。

1 工程实例

该飞机喷漆维修机库位于长沙市,为单层建筑,屋顶为钢网架结构,下弦高度16.0m,高度20.0m,南北长50.0m,东西宽48.0m,建筑面积3513.40m²,其中一层为2400m²,维修机库平面布置见图1。

维修机库东西两侧为通风机房,共3层,南边为飞机入口大门,中间为喷漆区。维修机库采用封闭式手动式喷漆工艺,调漆,喷漆均在喷漆区进行。

2 换气次数法

2.1 通风量

根据规范规定,在散发易燃易爆或爆炸性气体的房间应设置事故通风。事故通风所必须的通风量应根据工艺设计所提供的资料计算确定,当工艺不能提供有关计算资料时,换气次数不应小于12次/h。因此,该厂房事故通风量最低要求为:

$$L=2400 \times 20 \times 12=576000 \text{ m}^3/\text{h}$$

2.2 通风系统原理

排风通过无泵水幕漆雾过滤器与水混合净化(见图2),并通过挡水达标后,经防爆型柜式离心风机高空排放至大气中。进风系统设备采用组合式送风机组,新风经初、中效过滤后从厂房上部直接送入厂房内。

作者简介:谭智威,男,工程师,2011年毕业于重庆大学动力工程及工程热物理专业,现就职于中航长沙设计研究院有限公司航空工程设计研究院。

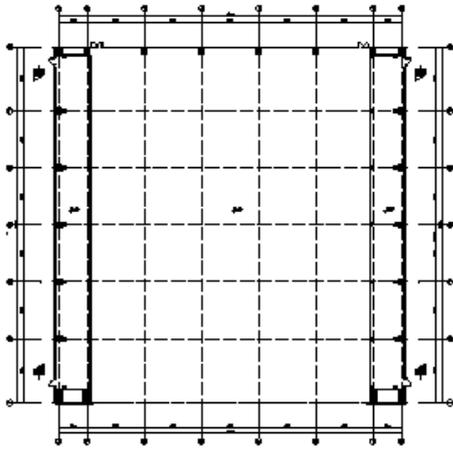


图1 维修机库平面布置图

3 稀释通风法

3.1 可燃气体浓度及火灾危险性分析

该飞机喷漆维修机库火灾危险性定性为甲类，但根据飞机喷漆区生产过程特殊性，可进行个别评价。根据《飞机喷漆维修机库设计规范》GB50671-2011第3.0.2条及其条文解释可将该飞机喷漆维修机库的“以飞机整机或飞机主要部件外形为基点，向外延伸3.0m并向下投影的空间区域，及飞机喷漆区与地面相同的地沟、地坑与相通的其他区域”规定为1区；“与飞机喷漆区相通而无隔断的地面区域，其空间高度距地面上0.5m处，及飞机整机或飞机主要部件外形为基点，向外延伸6.0m并向下投影除1区以外的空间区域”规定为2区。

另外，对于本飞机喷漆维修机库属于高大空间，且根据《飞机喷漆维修机库设计规范》GB50671-2011第3.0.2条注解“危险区内装有自动检测仪器，在爆炸性气体最易聚集的地点，可燃气体浓度达到爆炸下限的25%时可发出报警信号，并自动有效启动通风装置且该区域通风良好，上列区域的级别均可降低一级”。因此，本飞机喷漆维修机库可按2区爆炸危险区域定义。

根据现行国家标准《建筑设计防火规范》GB50016-2014条文说明第3.1.2条规定，对于任何一种甲、乙类火灾危险性液体，其单位体积(L)全部挥发后的气体体积可按下式进行计算：

$$V = 830.93B/M$$

式中，V为气体体积(L)；B为液体比重，以水的比重为1；M为挥发性气体密度(kg/L)，以空气的密度为1。

由此可以计算出该飞机喷漆维修机库中作业中用到的二甲苯、丁醇、汽油及丙酮等在室温下全部挥发后每升的气体体积，见表1。

由上表可以得知，喷漆使用的稀料和清洗剂等甲、乙类液体所产生的蒸汽与空气的相对密度均大于1.20，根据《爆炸危险环境电力装置设计规范》GB50058-2014第2.0.25条规定，表示这些可燃气体的挥发性气体属于比空气重的气体，易与在地面上沉积。

《爆炸危险环境电力装置设计规范》GB50058-2014第3.3.1条规定，当厂房内空间大，释放源释放的易燃物质量少时，可按厂房内

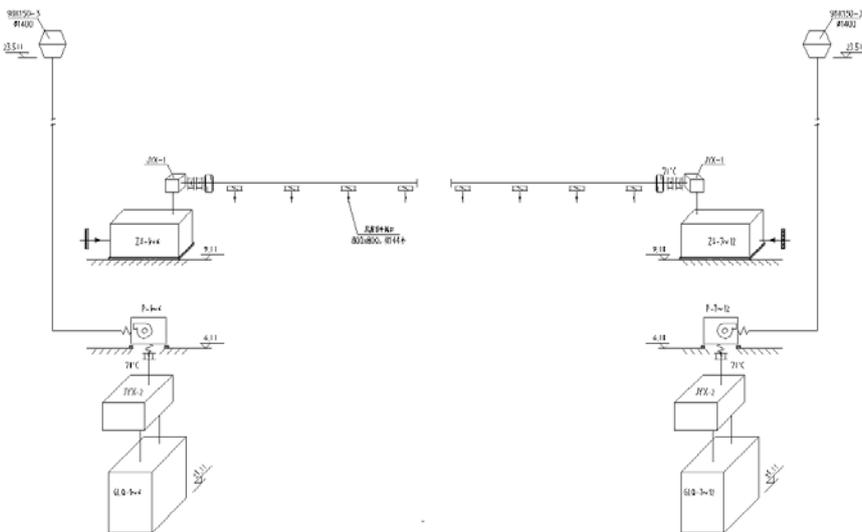


图2 通风系统原理图

部分区间划定爆炸危险的区域范围，当厂房内具有比空气重的易燃易爆物质时，厂房内通风换气次数不应小于2次/h，且换气不受阻碍；厂房地面上高度1.0m以内的空气与释放至厂房内的易燃易爆物质所形成的爆炸性气体混合浓度应不小于爆炸下限。因此根据该喷漆厂房空间计算，则厂房地面以上1m的空间

表1 室温下各液体物理参数表

名称	爆炸下限 (%)	闪点 (°C)	蒸气密度 (空气=1)	液体密度 (水=1)	每升挥发气体体积 (L)
二甲苯	1.0	17	3.66	0.88	199.79
丁醇	1.4	28.9	2.55	0.8098	263.88
汽油	1.1	<-20	3.20	0.70~0.73	189.56
丙酮	2.6	-17.8	2.00	0.7899	328.18

表2 稀料和清洗剂日平均用量

名称	日平均用量 (kg/天)
清洗剂	3.75
二甲苯	10.5
丁醇	4.5

体积 V_1 和厂房总体积 $V_{总}$:

$$V_1 = 48 \times 50 \times 1 = 2400m^3$$

$$V_{总} = 48 \times 50 \times 20 = 48000m^3$$

根据维修机库喷漆工艺条件, 维修机库喷漆使用的稀料和清洗剂日平均用量见表2。

由表2知, 清洗剂日平均用量为3.75, 假设作业高峰期按3倍考虑为11.25kg。再假设最不利情况下, 即在作业高峰期, 一次性将全天清洗剂用量全部送入飞机喷漆区内, 在运送途中突然全部翻倒, 造成所有清洗剂在瞬间蒸发为可燃挥发性气体。由表1知, 丙酮的爆炸下限高于汽油, 为便于计算, 清洗剂按全部为汽油考虑, 则汽油蒸气体积 $V_{汽油}$ 为:

$$V_{汽油} = 11.25 / 0.7 \times 189.56 / 1000 = 3.05m^3$$

汽油蒸气的爆炸下限为1.1%, 可以计算出最不利情况下汽油蒸气体积与机库空间比值:

$$V_{汽油} / V_{总} = 3.05 \div 48000 = 6.35 \times 10^{-5}$$

$$V_{汽油} / V_1 = 3.05 \div 2400 = 127.08 \times 10^{-5}$$

根据《建筑设计防火规范》GB50016-2014条文说明第3.1.2条, 一般可燃气体检测报警装置的报警控制值是该可燃气体爆炸下限的25%。本文采用5%这个数值式考虑到本喷漆维修机库面积较大, 可能存在可燃气体扩散不均匀现象, 会形成局部高浓度而引起爆炸的危险。假设该局部空间占整个空间的20%, 则 $25\% \times 20\% = 5\%$ 。

则该体积比与汽油蒸气爆炸下限1.1%的百分比为:

$$6.35 \times 10^{-5} \div 1.1\% = 0.58\% < 5\%$$

$$127.08 \times 10^{-5} \div 1.1\% = 11.55\% > 5\%$$

即汽油在全部翻倒并瞬间蒸发且没有通风的

条件下, 其蒸气与空气的混合气体在地面以上1m范围内的局部区域存在可能达到爆炸下限的情况。

由表2知, 稀料(二甲苯和丁醇)日内平均用量15kg, 同样假设作业高峰期按3倍考虑为45kg(二甲苯31.5kg, 丁醇13.5kg), 且假设最不利情况下, 即在作业高峰期, 一次性将全天稀料用量全部送入飞机喷漆区内, 在运送途中突然全部翻倒, 造成所有稀料在瞬间蒸发为可燃挥发性气体。则二甲苯和丁醇蒸气体积分别为:

$$V_{二甲苯} = 31.5 / 0.88 \times 199.79 / 1000 = 7.15m^3$$

$$V_{丁醇} = 13.5 / 0.8098 \times 263.88 / 1000 = 4.40m^3$$

$$V_{稀料} = V_{二甲苯} + V_{丁醇} = 11.55m^3$$

由此可以计算出最不利情况下稀料挥发出来的爆炸性蒸气体积与厂房空间体积比值:

$$V_{稀料} / V_{总} = 11.55 \div 48000 = 24.1 \times 10^{-5}$$

$$V_{稀料} / V_1 = 11.55 \div 2400 = 481.3 \times 10^{-5}$$

二甲苯、丁醇的爆炸下限分别为1.0%和1.4%, 根据混合气体爆炸下限应按高者取值, 本设计采用二甲苯的爆炸下限作为混合气体爆炸下限, 则该体积比与混合蒸气的爆炸下限1.0%的百分比为:

$$24.1 \times 10^{-5} \div 1.0\% = 2.41\% < 5\%$$

$$481.3 \times 10^{-5} \div 1.0\% = 48.13\% > 5\%$$

即稀料在全部翻倒并瞬间蒸发且没有通风的条件下, 其混合蒸气与空气的混合气体在地面以上1m范围内的局部区域存在可能达到爆炸下限的情况。

上述计算均是基于喷漆作业发生最危险的情况, 即作业高峰期, 一次性将全天喷漆用料全部送入喷漆区域, 在运送途中全部翻倒, 造成所有可燃液体在瞬间蒸发为可燃性蒸气, 且未考虑通风的情

况下。在实际作业中,稀料和清洗剂用量为高峰期的1/3,且生产过程各喷漆作业工艺不同时进行。尤其清洗剂也不是一次性取用,取量很低。从上述计算中看出,喷漆区域内清洗剂可燃液体的实际用量和挥发情况,在通风系统正常的情况下,可燃液体蒸气与空气混合达不到其爆炸下限。

3.2 通风量计算

根据喷漆工艺,清洗剂和稀料不存在同时使用的情况。在作业高峰期,清洗剂日平均用量为11.25kg;稀料日平均用量为45kg。考虑到最不利情况下,在作业高峰期,一次性将全天喷漆用料全部送入喷漆区域,在运送途中全部翻倒,造成所有可燃液体在瞬间蒸发为可燃性蒸气,聚集在地面以上1.0m的范围内,根据前面分析,稀料瞬间蒸发的可燃性蒸气浓度达到爆炸下限的48.13%。

现行国家标准《爆炸危险环境电力装置设计规范》GB50058-2014第3.2.4条规定,爆炸危险区域内的通风,其空气流量能使易燃易爆物质很快稀释到爆炸下限的25%以下时,可定义为通风良好。根据安全需求及技术经济比较确定,该喷漆维修机库通风能在5分钟内使稀料稀释到爆炸下限的25%以下即可满足规范要求。

根据通风稀释方程:

$$\alpha = \alpha_0 e^{-L t / V}$$

式中, α 表示经过 t 时刻室内可燃气体的浓度, g/m^3 ;

α_0 表示初始时刻可燃气体的浓度, g/m^3 ;

L 表示设计通风量, m^3/h ;

V 表示需要通风的厂房体积, m^3 ;

t 表示将可燃气体浓度稀释到爆炸下限25%所需要的通风时间, s ;

于是,可以得到设计通风量为:

$$L = -(V/t) \ln(\alpha/\alpha_0) = -(2400/300) \ln(25\%/48.13\%) \approx 5.24 m^3/s = 18864 m^3/h$$

则该喷漆维修机库地面以上1.0m范围内的换气次数为:

$$n = 18864 / 2400 \approx 8 \text{次/h}$$

由以上计算描述,喷漆区域地面以上范围内在换气次数8次/h的情况下,经过5分钟即300秒,可燃液体蒸气的浓度将降到爆炸下限的25%以下。表明,该喷漆维修机库在最不利区域即喷漆维修机库地面以上1.0m范围内通风换气次数达到8次/h,可燃液体蒸气的浓度将降到爆炸下限的25%以

下。进一步表明,在换气次数为8次/h的情况下可以在较短时间内降低爆炸性混合气体的浓度,该喷漆维修机库达到通风良好的要求。该机库的防爆通风量为:

$$L = 2400 \times 20 \times 8 = 384000 m^3/h$$

根据上述情况,对喷漆维修机库设计防爆型全室机械通风系统,在喷漆区域处设置排风地沟,地沟应根据飞机整体外形布置。进风系统设备采用组合式送风机组,新风经初、中效过滤后从厂房上部直接送入厂房内。

由上可见,在满足规范要求的情况下,稀释通风法所计算的通风量比按换气次数法求得的通风量要小的多。

4 结论

本文针对某飞机喷漆维修机库防爆通风系统,采用换气次数计算方法和稀释通风方法进行计算,可得出不同的防爆通风量。从精确地建立易燃易爆区域,排除机库内易燃易爆气体,达到通风良好的效果方面来看,稀释通风计算方法得出的通风量比换气次数计算方法得出的通风量要小得多,这将使防爆通风系统设备材料投资、运行能耗大幅减少,具有良好的经济性。

同时,利用基础的有害物散发机理,提出有害物的方法,如稀释通风计算方法,将为排除有害物系统设计提出了新思路。

参考文献

- [1] 建筑设计防火规范GB50016-2014[M]. 北京:中国计划出版社,2014.
- [2] 飞机喷漆维修机库设计规范GB50671-2011[M]. 北京:中国计划出版社,2011.
- [3] 爆炸危险环境电力装置设计规范GB50058-2014[M]. 北京:中国计划出版社,2014.
- [4] 石油化工可燃气体和有毒气体检测报警设计规范 GB50493-2009[M]. 北京:中国计划出版社,2009.
- [5] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册(第二版) [M]. 北京:中国建筑工业出版社,2008.

火灾自动报警系统组网分析

■ 陈勇 [电气]

摘要: 随着社会发展进步,物质、精神文化不断丰富,人们对人身及财产的安全日益重视。与之对应的,在工程建设当中相关的预警与保障措施在不断的完善,新的技术与更高的要求也在逐渐推行之中。本文结合相关工程案例,对多个单体建筑组成的园区内的火灾自动报警系统组网形式、特点及工程造价进行探讨和分析。

关键词: 火灾自动报警;组网形式;联网设备;传输;通讯;造价

1 组网应用的相关背景

就火灾自动报警及联动控制系统而言,在现行的消防监管体系中,职能部门对所在区域内多个单体建筑的火灾自动报警系统与消防控制中心控制主机的联网方式不作硬性规定,但要稳定可靠、能够实现相关功能。

建设方认为,只要满足规范、法律法规及职能部门要求即可,要尽可能地节省资金及人力投入。

站在设计单位的角度,我们要综合分析项目的整体情况。火灾自动报警系统的规模、项目用地的地形状况、通信距离等因素均应充分考虑,从可靠性、稳定性、经济性、可扩展及易维护等方面出发,确定出最适用于该工程的联网方案。

由于国内各火灾自动报警产品之间通用性差且互不兼容,在没有开放代码时,地址编码及通

信信号不能识别。而各公司为了自己的利益,一般不会向其他竞争对手提供代码。这就为系统联网制造了障碍,也给建设方增加了不小的资金压力。

随着近年的发展,人工使用成本越来越高,如何精减人员并提高工作效率也成为了新的课题。消防控制室要求24小时有人值班,按8小时工作制,那就需要配备3组值班人员,每班2人,共6人。如不集中管理,这对企业来说更是一笔不小的负担。

2 组网的形式及其特点

接下来以国内市场占有率较高的海湾公司GST系列产品为参考,对火灾自动报警系统联网的主要形式及各自特点进行介绍。

按照传输介质和通讯协议来划分,系统网络接口设备分为:CAN联网设备、RS485联网设备、RS232联网设备及PSTN联网设备^[1]。各种联网形式的特点见表1。

作者简介:陈勇,男,高级工程师,2006年毕业于湖南科技大学电气工程及其自动化专业,现就职于中航长沙设计研究院有限公司航空工程设计研究院。

表1 联网形式及其特点

名称	传输介质	传输距离	扩展容量	安装方式	通讯权限	联网卡/传输设备单价
CAN	截面积 $\geq 1.0\text{mm}^2$ 屏蔽双绞线	$< 3\text{km}$ 通过光纤转换可延长至 25km	240台控制器	卡件固定孔或母板插槽安装	各个分支控制器之间能够对等通讯	3000元/块
RS485	截面积 $\geq 1.0\text{mm}^2$ 屏蔽双绞线	$< 1.2\text{km}$ 通过光纤转换可延长至 50km	32~5000台控制器	卡件固定孔或母板插槽安装	各个分支控制器之间不能互相通讯,只能和主控制器通讯	2500元/块
RS232	截面积 $\geq 1.0\text{mm}^2$ 屏蔽双绞线	$< 15\text{m}$ 通过光纤转换可延长至 50km	32台控制器	卡件固定孔或母板插槽安装	各个分支控制器之间不能互相通讯,只能和主控制器通讯	2500元/块
PSTN	截面积 $\geq 0.5\text{mm}^2$ 双绞线	利用电话网,无距离限制	< 5000 台控制器,在服务器硬件设施允许的情况下可通过软件扩展	卡件固定孔或母板插槽安装	各个分支控制器之间不能互相通讯,只能和主控服务器通讯	24000元/个

3 项目案例的比较分析

结合本人所做相关改造项目,主要针对CAN联网与PSTN联网这两种方式进行比较分析。

3.1 CAN联网

1) 项目改造前原貌

A园区现有消防控制室(10号厂房一层)内火警主机为依爱EI-2000G联动型,现有12个试验厂房的火警控制器中依爱有9台,松江2台,海湾2

台。园区各建筑火警设备统计表见表2。

现场的情况及主要的问题如下:

(1) 缺少线路防雷保护装置。

(2) 火警主控设备缺少图形显示装置^[2](含服务器及相关软件);报警信号只能显示厂房对应编号而不能显示具体发生火灾位置;值班人员不能对报警信号进行处理,需要至就地的火警控制器处才能操作。

(3) 部分火警线路有损坏及连接不到位的

表2 园区各建筑火警设备统计表

序号	厂房名称	现有火警设备型号	运行状况
1	02号厂房	依爱EI系列产品	受雷击损坏较大。
2	04号厂房	依爱EI系列产品	受雷击损坏较大。
3	05号厂房	依爱EI系列产品	受雷击损坏较大。
4	08号厂房	松江系列产品	年久失修,不能正常运行。
5	10号厂房	库房:海湾GST系列产品 消防控制室:依爱EI-2000G火灾自动报警主机及其系列产品	库房区域运行良好,消防控制室内设备受雷击损坏较大。
6	12号厂房	松江系列产品	年久失修,不能正常运行。
7	13号厂房	依爱EI系列产品	受雷击损坏较大。
8	17/18号厂房	依爱EI系列产品	受雷击损坏较大。
9	18S号厂房	依爱EI系列产品	受雷击损坏较大。
10	19号厂房	依爱EI系列产品	受雷击损坏较大。
11	20号厂房	海湾GST系列产品	运行状况良好。
12	21号厂房	依爱EI系列产品	受雷击损坏较大。

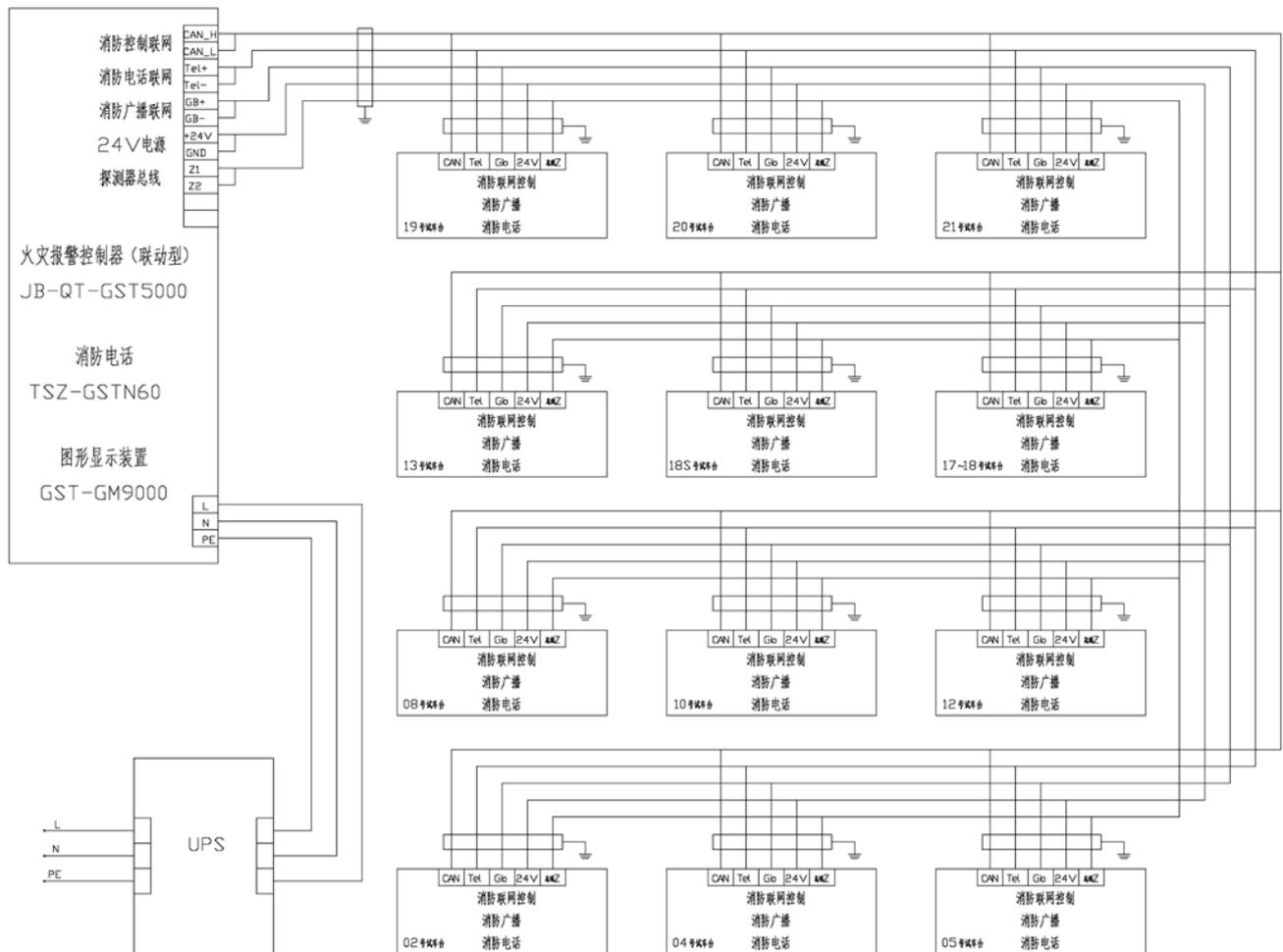


图1 火灾自动报警系统CAN联网接线图

情况。

(4) 园区内各建筑比较集中, 场地也较平整, 与消防控制室的距离均在200m范围内。

(5) 各建筑内火警设备数量不多、绝大部分现有室内外火警线路可以利用。

(6) 10号厂房及不久前投入使用的20号厂房均采用的GST系列火警产品, 运行状况正常。

(7) 消防控制室及除10号、20号厂房外的其他各建筑内火警控制器损毁(雷击损坏或年久失修)比较严重, 建设方有意向更换品质更可靠的火警产品品牌。

2) 改造实施方案

经过多次与建设方沟通, 了解到其资金压力较大, 且改造周期要短, 尽量不影响生产。综合上述各方面的因素, 最终确定园区按GST系列火

警产品进行改造:

(1) 对10号厂房的气体灭火控制器及20号厂房的火警控制器及气体灭火控制器进行联网设计。

(2) 更换其他各厂房带地址编码的火警探测报警设备、信号控制模块、不满足绝缘要求的线路及气体灭火控制器, 对气体灭火控制器进行联网设计, 并取消厂房原火灾自动报警控制器。

(3) 消防控制室内已损坏的火灾自动报警及联动控制主机、原消防电话主机、火灾应急广播主机均进行更换, 并增设图形显示装置。

(4) 室外线路进入厂房处增设火警专用线路防雷保护装置。

(5) 园区火灾自动报警系统采用集中报警型式, 各厂房火警信号尽量利用现有室外相关线路引至消防控制室, 各控制器之间采用CAN网卡

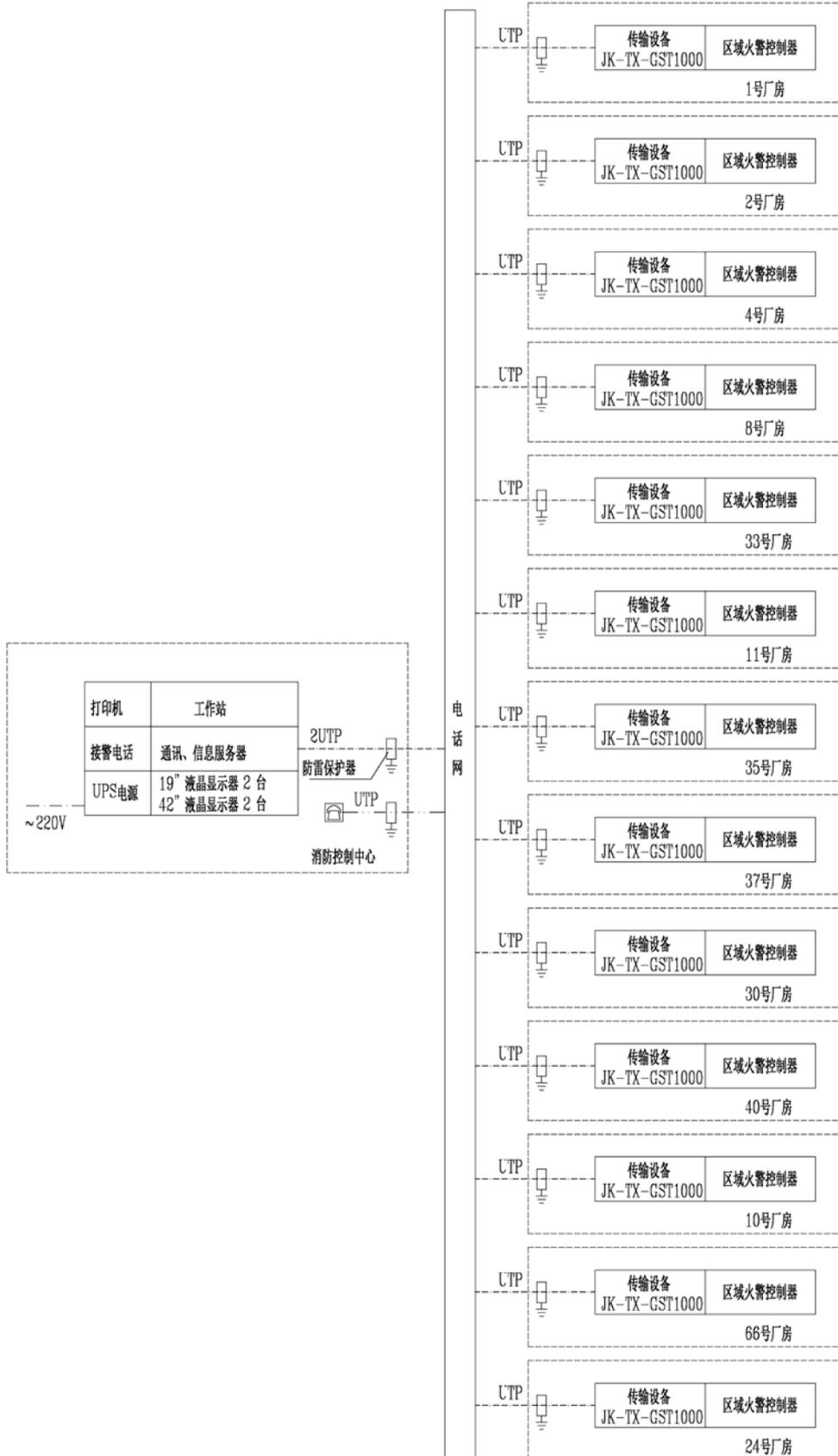


图2 火灾自动报警系统PSTN联网接线图

进行总线制连接,见图1。

3.2 PSTN联网

1) 项目改造前原貌

B园区内无集中管理的消防控制中心,现共有13个试验厂房设置了火灾自动报警系统。此工程建设方采购时注意了火警产品的一致性,各厂房火警设备均采用了GST系列产品,且运行状况良好。这为联网改造提供了一个较好的基础。

因本园区依山而建,整个场地随之起伏,局部还存在较大高差。主要分为两个试验区和一个生产区,各区域建筑相对的集中,最远处与消防控制中心的距离在800m左右。

2) 改造实施方案

园区现有各专业室外管网复杂,并受场地地形及布线距离的限制,室外布线工程开展困难。于是我们选择了PSTN联网型式。

火灾报警监控管理系统网络由火灾报警监控管理中心、传输网络、火灾报警网络传输设备构成。其中传输设备与火灾报警监控管理中心之间使用电话网络,网络上的任一台传输设备均为网络上的一个节点,连接不同的控制器,并将信息传送到火灾报警监控管理中心,可以在火灾报警监控管理中心显示、控制节点的相关设备。

火灾自动报警监控管理网络系统可以通过网络实现对已安装的所有建筑消防设施系统的运行状况进行数据采集和处理,对下辖区域进行报警设备联网。使用JK-TX-GST1000/CFS-JK2000传输设备直接连接到网络线路之中,实时向监控管理中心发送报警、管理资料。实时监控内部中所有建筑消防设施系统的运行状况,及时准确接收处理各类火灾早期信息;快速接收建筑消防设施系统的故障、动作信息。

当网络发生故障断开时,不影响网络中正常结点的工作,与中心正常联结的网络仍能正常工作,并显示网络状态,以声光方式进行故障报警。当网络故障排除时,网络可自动还原工作状态。PSTN联网接线见图2。

3) 主材造价

本方案最大的优点就是不用重新布设通讯电缆,主控及各节点设备就近接入厂区电话网即可实现集中监视、管理和控制,极大地减少了室外工程量,缩短了施工周期。但传输设备及系统应用软件成本较高。

4 结论

通过上述两个典型案例我们可以看到,对于不同的工程,针对不同的情况,解决方案并不是唯一的,但安全可靠、经济合理的设计原则不会改变。

对于改造工程,往往是各方面因素博弈的结果。需要仔细了解现场的情况,认真比较分析,有效地权衡各方关系,两权相害取其轻。本文对现阶段几种主要的火警组网方式进行了介绍和比较,相信随着科技的发展,未来还会出现更多的新技术、新方法来指导工程应用。

参考文献

- [1] 《GST火灾自动报警及消防联动控制系统应用设计说明书》海湾安全技术有限公司 2014.7.
- [2] 《火灾自动报警系统设计规范》GB50116-2013 中国计划出版社 2014.3.

某实验平台结构构件冷桥现象处理探讨

■ 田赫 [结构]

摘要: 某多灾种耦合作用实验平台, 基于大型风洞, 耦合了风、雨、雪、冰冻、日照、高低温、湿热等一系列极端恶劣气候条件, 工艺条件复杂, 设计难点较多。本文对若干结构构件冷桥问题的处理进行了总结和阐述, 比如风道拐角导流片冷桥现象及处理; 驻室运输悬挂吊车吊杆冷桥现象及处理; 驻室地面冷桥现象处理及耐久性设计。设计中, 针对以上难点采取了相应的措施, 即满足了结构安全, 也达到了平台要求的实验效果。

关键词: 多灾种耦合; 实验平台; 结构构件; 冷桥现象

0 引言

当前我国各类突发事件频发, 特别是各类突发事件耦合的多灾种耦合事件时有发生, 给国民经济及人民生命财产带来了巨大损失。如汶川地震后发生的滑坡泥石流和化工厂装置破坏而产生的危化品泄露给救援工作带了较大的困难; 2008年的低温雨雪冰冻灾害及2010年春季的寒潮, 造成了电网冻害、交通瘫痪、电煤紧缺、城市供电供气短缺等系列次生衍生灾害。为了研究公共安全事故、灾害或事件孕育、发生、发展、演化机理等方面的共性问题, 促进公共安全科学和技术的发展, 需要建设一套大型的综合模拟各类灾害及多灾种耦合

的综合实验平台。

1 工程实例

1.1 工程概况

实验平台位于某综合实验大楼内, 工作环境为室内, 平面尺寸为71.5m (长) × 25.75m (宽) × 9.7m (高)。主体为现浇钢筋混凝土框

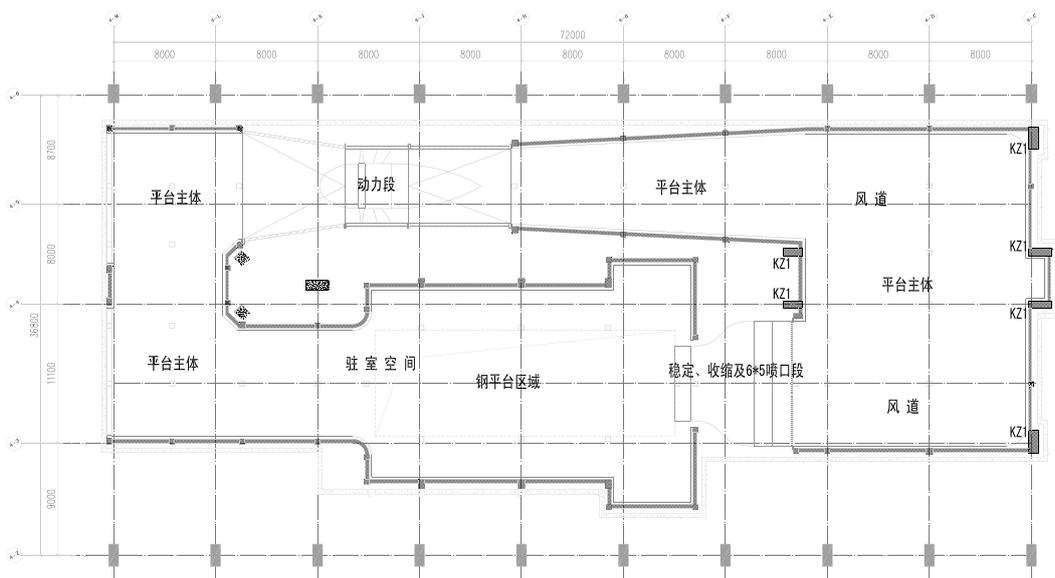


图1 多灾种耦合作用实验平台平面布置图

作者简介: 田赫, 男, 高级工程师, 2003年毕业于北京建筑大学土木工程专业, 现就职于中航长沙设计研究院有限公司航空工程设计研究院。

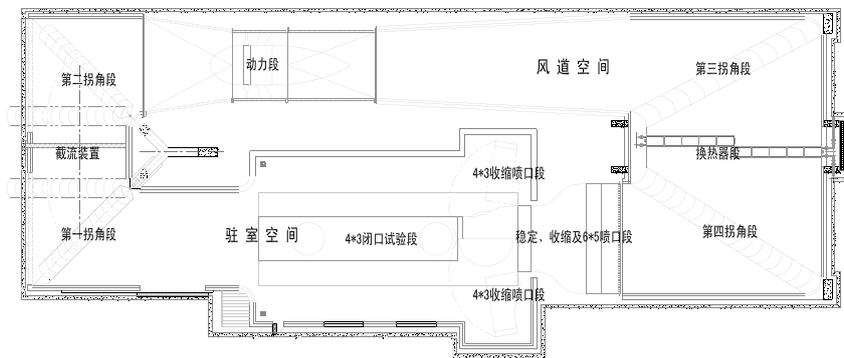


图2 多灾种耦合作用实验平台工艺布置图

架结构；动力段、稳定收缩及 6×5 喷口段采用成套非标钢结构设备。平台主体风道底板、侧壁为300mm厚现浇板，顶板为250mm厚现浇板，为保证平台风道内侧的光滑以及内保温的施工质量，所设置的框架梁、柱均突出于平台风道外侧面。实验平台平面布置图见图1。

1.2 工程工艺特点

根据实验平台气动设计单位的相关技术资料^[1~2]可知，本工程中的多灾种耦合作用实验平台，耦合了风、雨、雪、冰冻、日照、高低温、湿热等一系列极端恶劣气候条件，该平台实验段尺寸大，可以容纳各种应急装备、产品的整体测试，将成为应急装备、产品的检验检测及标准制定的主要依托设施，目前国内尚无可参考和借鉴的类似工程。在平台实验过程中，由于环境的特殊性，要求平台结构主体设计不仅要满足结构安全性要求，还要结合其具备的实验功能进行匹配设计，且兼顾经济合理性。

高低温环境模拟是该实验平台的一个重要实验条件，实验温度范围在 $-40^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ 之间，且要求不结露。保证实验时的温度，是整个平台设计的一个关键点，也是一个难点。平台主体结构采用现浇钢筋混凝土框架结构与钢结构构件相结合的设计，不同材质的结构构件与外界进行热量传导时，由于钢材质构件部位的传热系数明显大于其他砼部位，从而产生冷桥现象，使得热量集中地从这些部位快速传递，增大了平台的空调负荷及能耗，影响实验的效果。因此结构设计必须通过采取合理的结构方案和细部设计，结合相关专业采取的保温措施来共同解决冷桥现象，以保证达到最佳实验效果。

1.3 工程结构特点

该平台整体保温措施为：钢筋混凝土平台

顶部及侧面采用硬质聚氨酯库板内保温，保温层厚度为200mm；钢筋混凝土平台地面采用泡沫玻璃（优等）内保温；钢结构平台则采用硬质聚氨酯现场浇注外保温，保温层厚度为250mm；两种不同材质部位保温层的无缝对接是保证整体保温效果的关键。

平台局部特殊部位，如拐角导流片、驻室等位置，考虑设备工艺功能的复杂性，需要结构专业专门进行即满足承载受力，又能实现实验功能的针对性设计。实验平台工艺平面布置图及设备三维图，见图2、图3。

多灾种耦合作用实验平台的结构设计较为复杂，需考虑的因素较多，本文将重点介绍拐角导流片、驻室悬挂吊车、驻室等几处特殊位置结构构件的冷桥处理。

2 拐角导流片位置冷桥现象的处理

2.1 拐角导流片的功能特点

以第三拐角导流片（第四拐角导流片与之相同，第一、第二拐角导流片可参照设计）为例

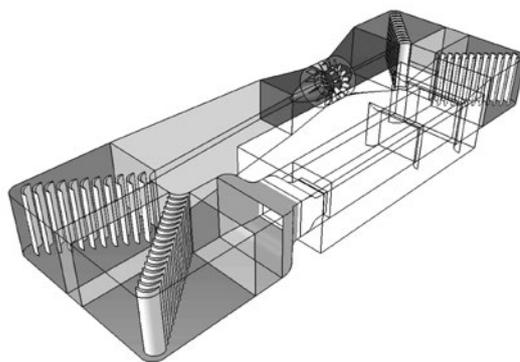


图3 多灾种耦合作用实验平台工艺布置三维图

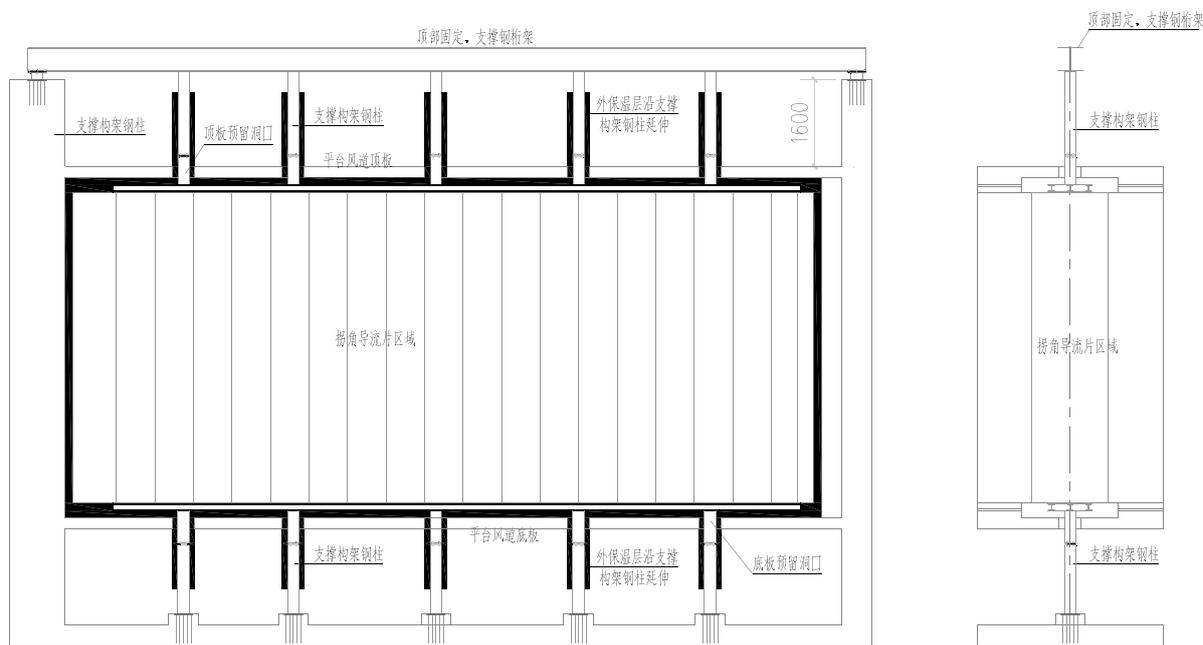


图4 第三拐角导流片立面示意图

进行分析。该实验平台位于实验大楼的建筑物之内，受场地区域的限制，该实验平台设置成环状回路的形式，第三拐角导流片所处位置，是从钢结构动力段转折到平台实验段（驻室）的90°直角区域，用于将动力段所产生的风力导流进入实验段；在拐角位置成45°角布置；模拟风力作用实验时，保证从动力段所产生的风力在通过此区域时的损耗最小，满足实验功能的要求。

导流片采用钢框架蒙皮结构，Q235钢，板厚6mm。叶片为11片，弦长为2.121m，叶片间距为1.241m，高8.4m。总重约47吨。导流片设计的原本固定方案是支撑于平台风道钢筋混凝土底板上，为保证在风荷载作用下导流片自身的稳定性，利用与之连接的平台风道钢筋混凝土结构板中预埋件，固定导流片，同时将作用于导流片上的风荷载传递出去。由于导流片自身体积较大，展开面积较大，数量多（共11个），用于固定导流片的预埋件规格尺寸大，进行内保温施工时，施工难度大，保温材料连接细部难以保证施工质量，容易产生冷桥现象；在长期实验风荷载的循环作用下，导流片以及预埋件连接处会有一定的变形，导致细部连接位置处保温材料的使用耐久性降低。

2.2 拐角导流片位置冷桥处理措施

为保证拐角导流片在实验过程中的受力稳定性，同时还要保证较好的处理拐角导流片的冷桥问题，经与风洞模型设计人员进行协商，决定采

取将拐角导流片与平台风道钢筋混凝土底板、顶板完全脱开的独立设计模式。

平台风道在拐角导流片位置分别设置了6个现浇钢筋混凝土柱（见图1中KZ1），截面分别为：600mm×1500mm，800mm×1800mm，柱顶标高高于平台风道顶板面以上1600mm（见附图四），用于留置钢质导流片采用外保温层的空间。柱顶预留预埋件，跨度最大为20m的钢桁架通过预埋件与现浇钢筋混凝土柱连接，拐角导流片整体设置于一个钢框架中，顶部5个连接件穿过平台风道顶板，与钢桁架进行连接、固定；下部5个连接件穿过平台风道的底板，直接延伸到设备基坑中，分别单独设置钢筋混凝土短柱，包裹钢质连接件的底部，竖向承重直接传递到600mm厚的筏板基础。平台风道顶板和底板分别设置10个800mm×800mm的预留洞口，用于钢质连接件分别穿过平台风道顶板和底板，连接于上部的平面设备钢桁架和底部的筏板基础，形成独立于平台风道顶板和底板的风力导流系统，见图4。

顶板和底板设置的10个预留洞口，钢质连接件穿过洞口，每侧留有净空尺寸200mm，用于硬质聚氨酯现场浇注外保温，保温层厚度200mm，保温段的长度为1500mm。参照国内相关资料所提供的钢结构构件冷桥处理办法^[3]，平台风道内部钢质连接件设置断桥连接，两段钢质连接件中间设置20mm厚的高密度聚异氰脲酸酯垫板，以达到断桥的效果（见图5）。

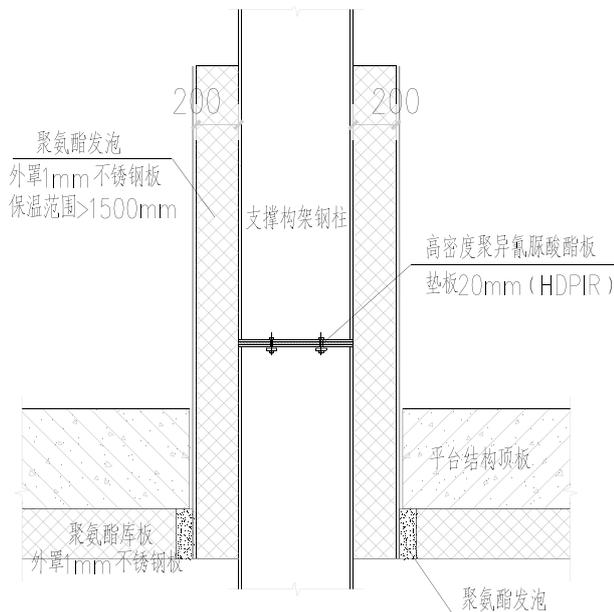


图5 冷桥细部处理大样图

综合分析,采取以上结构布置体系以及保温措施,能保证拐角导流片在风荷载作用下的支承、稳定,同时可有效解决该处拐角导流片的结构支承构件的冷桥问题。

3 驻室悬挂吊车位置冷桥现象的处理

3.1 驻室悬挂吊车位置功能特点

驻室是实验器材摆放的空间,各种类型的应急装备、产品的整体测试,都在这个空间来进行,该位置的特点是空间大,实验器材多,为方便部分实验器材的运输,在驻室的顶部设置了一台2吨的悬挂运输吊车,吊车的运输长度范围在10m左右。

考虑到驻室空间各种实验项目器材的使用,以及驻室空间对空气流动顺畅性的较高要求,在驻室空间内不能设置承重结构柱用来支撑悬挂运输设备(即类似龙门架形式的方案不可行)。

按照正常设置,悬挂运输吊车应在土建的钢筋混凝土平台顶板内预置吊点,以保证对悬挂运输吊车有必要的拉结和固定。但同时就不可避免的出现了冷桥现象,吊点冷桥现象的处理是能否达到实验要求的关键点。

3.2 驻室悬挂吊车位置冷桥处理措施

对于吊点冷桥的解决方法过去常采用硬木绝

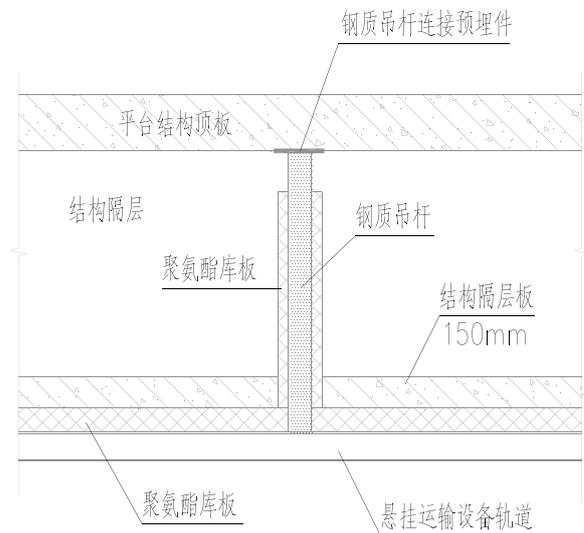


图6 悬挂运输设备钢质吊杆冷桥处理大样图

缘子的方式进行隔冷桥的处理,类似于电线杆子上的瓷绝缘子的使用;但目前实验平台的综合性越来越强,模拟自然环境种类多,硬木绝缘子常年处于低温、高湿、受力的状态下,时间一长,就会使绝缘硬木的强度下降、变形,进而影响到连接件,易发生破坏。国内已有学者专门分析了冷库吊点冷桥处理各种措施的利弊^[4]。

通过总结以往的设计经验教训,本次针对悬挂运输设备吊点的冷桥问题处理借鉴了冷库的结构隔层设置原理,一来可以满足悬挂运输设备高度设置要求,二来可以解决悬挂运输设备吊点的冷桥问题(见图6)。

驻室的净空高度达到了9.5m,悬挂运输设备的设置高度在8.5m左右,钢质吊杆从顶板的预埋件中下挂1.0m左右,固定悬挂运输设备的轨道。由于驻室空间对空气流动顺畅性要求较高,为保证实现此目标,特设置结构隔层,结构隔层板厚为150mm,将所有钢质吊杆封闭于结构隔层空间中,同时为保证驻室空间空气流动顺畅性,在实验气流的行进方向(即迎风面)对砼构件的90°棱角运用保温材料硬质聚氨酯库板进行圆弧处理。

钢质吊杆可有效连接、固定悬挂运输设备的轨道,但在结构隔层内易形成冷桥,进而出现水汽凝结,产生结露。凝露和凝水现象对于保温材料硬质聚氨酯库板的使用效果和使用寿命均会产生较严重的后果。为防止吊杆热交换产生凝结露,在吊杆肋根部就应进行保温处理,可通过实验环境的温度区间变化值,运用吊杆等截面肋的

传热计算公式,计算出所需的保温长度值,可以使该传热肋不发生凝露,吊杆的温度处在空气的露点温度之上。

采用设置结构隔层和对吊杆肋部进行防结露保温设计,可满足悬挂运输设备的使用功能要求和解决结构吊点的冷桥问题。

4 驻室地面位置冷桥现象的处理

4.1 驻室地面位置的功能特点

驻室地面分为钢筋混凝土地面部分和钢结构平台地面部分,两者的保温方式不一样,前者为泡沫玻璃(优等)内保温,后者为硬质聚氨酯现场浇注外保温,驻室的使用特点前面已经进行过介绍,所有的实验器材均在这个空间里面进行实验,钢结构平台地面部分采用外保温,且大型实验件不在此平台范围内,故冷桥现象较好处理。钢筋混凝土地面采用内保温,重型的应急救援指挥车做装备实验时,停放位置在此平台地面上,所以在保证结构支撑构件承重要求的同时,还要对重载作用下的保温层进行强度保护设计,是驻室钢筋混凝土地面冷桥处理的关键点。

4.2 驻室地面位置冷桥处理措施

考虑到驻室钢筋混凝土地面部分的承重荷载较大,在驻室底板下采用十字形梁布置方案,兼顾满足底部基坑空间内的设备摆放要求,梁截面高度均控制在250mm×600mm,设计过程中关键控制钢筋混凝土构件的挠度变形值,以避免上部保温材料出现变形,影响保温效果。

钢筋混凝土结构板以上部分做法,见图7。

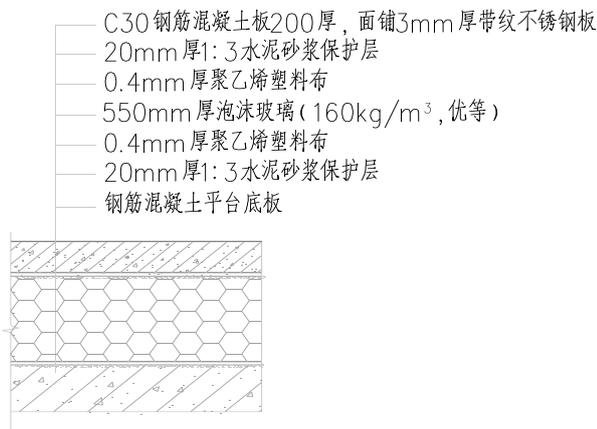


图7 驻室钢筋混凝土地面部分做法

为保证保温效果,防止冷桥出现,同时要保证一定的抗压强度,这部分的泡沫玻璃保温层厚度较大,达到550mm,四层错缝设置,保证每一层之间有足够的搭接长度,达到最佳的保温效果。为了保证550mm厚的泡沫玻璃保温层的使用效果和保护其使用寿命,在保温层的上部设置200mm厚的钢筋混凝土结构板,双层双向钢筋网片拉通,整个200mm厚的钢筋混凝土结构板板面铺设3mm厚的带纹不锈钢板(驻室地面的实验工艺要求)。通过以上措施,在满足驻室地面承重要求的同时,也可消除冷桥现象。

5 结论及建议

1) 结构设计起始阶段应对实验平台的实验功能进行深入了解,掌握实验功能的关键点,注重与相关专业的密切配合,以保证结构设计最终能满足工艺要求,实现实验功能。

2) 注意分析不同部位结构构件的冷桥现象产生原因,采取相应的措施,保证处理效果。

3) 设计过程中应充分考虑实际施工的可操作性,以保证最终的实施效果。

4) 对于各种新型保温材料的收集了解,以便于设计过程中方案的多样选择性。

参考文献

- [1] 多灾种多灾种耦合作用实验平台项目建设可研报告.
- [2] 多灾种多灾种耦合作用实验平台气动轮廓图及性能指标说明书.
- [3] 钢结构工程中的冷桥及其处理方法 [J] 车松岩 赵金城 《钢结构》2004第19卷第4期.
- [4] 浅谈冷藏库的吊点处理 [J] 李绍济 《冷藏技术》2007年6月 第2期(总119期).
- [5] 几种常见冷桥的处理方法 [J] 李秋启 《房材与应用》1998年 第2期.

某文体中心管桁架结构设计研究

■ 张海滨 蒋华 李江 金碧 [结构]

摘要: 某文体中心屋盖采用空间钢管桁架结构, 桁架最大跨度53.0m, 最大悬挑18.0m。本文对该管桁架的设计要点进行总结, 介绍了结构的设计过程, 采用3D3S计算软件对结构在各主要荷载组合工况下进行受力分析比较, 确定管桁架的合理型式及截面尺寸, 满足承载力及建筑造型、使用功能要求, 为类似工程的结构设计提供参考。

关键词: 空间钢管桁架; 相贯节点; 大悬挑; 橡胶支座

1 工程概况

某文体中心位于湖南省株洲市, 是一个集篮球、羽毛球、游泳池、舞厅等多功能为一体的大型体育馆, 建筑面积16868m², 屋盖长156m, 宽52m, 曲线形屋面, 主体采用钢筋混凝土框架结构, 屋盖采用正放四边形钢管桁架结构, 桁架最大跨度53.0m, 最大悬挑18.0m, 建筑高度为16.6~23.8m, 建筑外形效果详见图1, 建筑剖面详见图2。

工程设计使用年限为50年, 株洲地区抗震设防烈度小于6度^[1], 根据株洲市地震局文件[株抗震(2013)80号], 本工程设防分类为标准设防类, 按6度抗震设防, 设计地震分组第一组, 场地类别为Ⅱ类, 建筑结构的安全等级为二级, 结构构件的重要性系数为1.0, 建筑耐火等级为二级。株洲地区基本



图1 建筑效果图

风压为0.35kN/m² (50年重现期), 地面粗糙度为B类, 基本雪压为0.5kN/m² (100年重现期)。

2 结构方案选型

近年来钢管桁架结构越来越多地应用于体育馆、航站楼、高铁站等大跨结构中, 建筑造型美观简洁, 本工程经与网架结构分析比较采用空间钢管桁架结构。

该体育馆屋盖沿长方向有18.0m悬挑, 并且建筑要求挑出部分屋盖厚度尽量薄, 将主桁架沿长向布置 (利于实现悬挑), 主桁架间距9.0m,

作者简介: 张海滨, 男, 高级工程师, 2008年毕业于河海大学结构工程专业, 现就职于中航长沙设计研究院有限公司航空工程设计研究院。

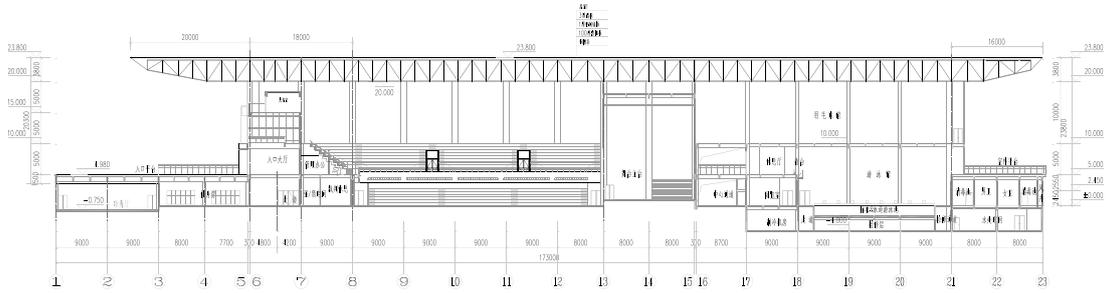


图2 建筑剖面图

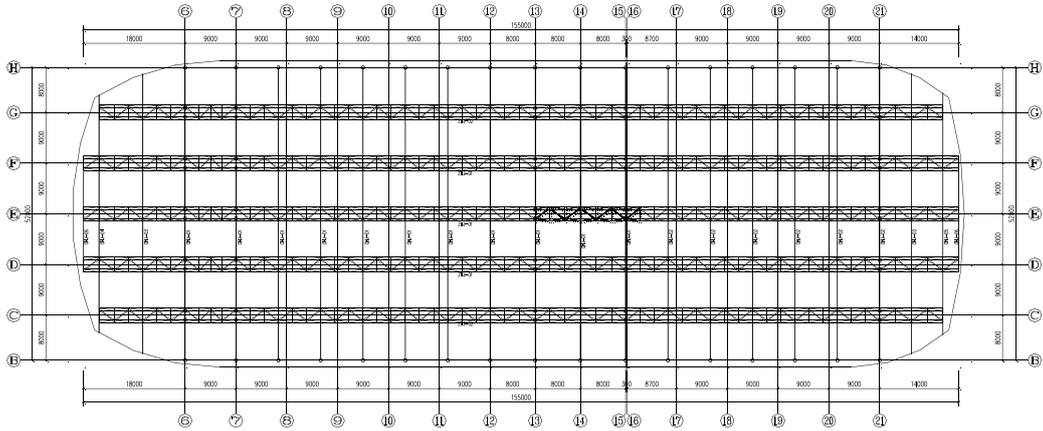


图3 桁架平面布置图

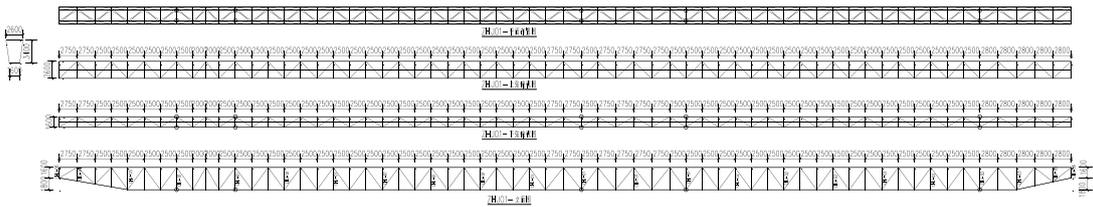


图4 主桁架布置图

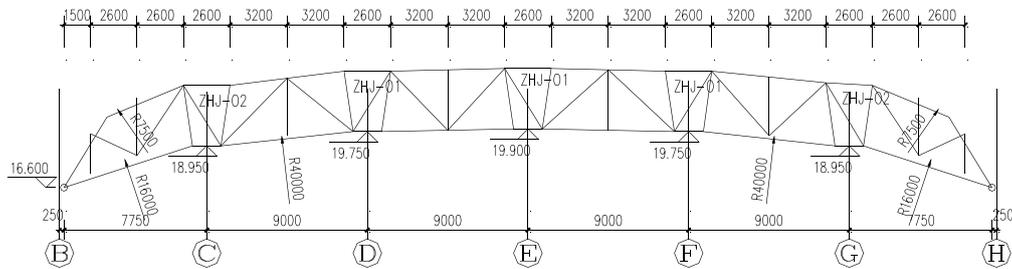


图5 次桁架布置图

短方向布置次桁架，次桁架为平面桁架，与主桁架的上下弦节点相连以保证主桁架的平面外稳定，使屋盖形成一个整体。主桁架采用双支点支座，支承在钢筋混凝土柱牛腿上，次桁架支座支撑在钢筋混凝土梁上（柱顶设一圈700×1000混凝土梁，使次桁架支座位置不受柱限制），桁架布置详见图3～图5。

空间钢管桁架采用正放四边形，上下弦杆和腹杆均采用无缝钢管，节点为直接焊接的相贯节点。钢管桁架的截面尺寸一般根据跨度、荷载和使用要求综合确定^[2]，截面高度 h 一般取跨度 L 的 $1/15 \sim 1/20$ ，截面宽度 b 一般取高度 h 的 $1/2 \sim 1/3$ ，斜腹杆与弦杆之间的夹角为 $30 \sim 60$ （45度最佳）。根据上述数据，并经计算分析比

较,本工程空间桁架高度取3.4m,上弦宽2.6m,下弦宽1.6m,节间长度2.5m,悬挑根部桁架高度3.4m,悬挑端部桁架高度1.6m,下弦平滑过渡。

3 管桁架结构设计要点

3.1 荷载取值

恒载:上弦檩条+金属屋面板+保温等取 0.5kN/m^2 ,下弦吊挂荷载取 0.2kN/m^2 ;活载:上弦 0.7kN/m^2 (湘建明电[2008]13号),其他按实际荷载取用。资料表明^[3],屋面有大悬挑,迎风时,具有很大的上吸力,根据相关资料^{[3][4]}并结合本工程实际综合考虑,18.0m悬挑部分风荷载体系系数取-2.5,非悬挑部分按规范取值,风阵系数取1.0。考虑温度荷载 $\pm 25^\circ\text{C}$,合拢温度 $10\sim 15^\circ\text{C}$ 。

将所有荷载根据受荷面积或作用点位置计算出节点荷载,施加在桁架节点上,按工况进行荷载组合,本工程空间桁架计算主要考虑以下组合:

- (1) 1.2恒+1.4活 (2) 1.35恒+1.4x0.7活
(3) 0.9恒+1.4风 (4) 1.2恒+1.4活+1.4x0.6风
(5) 1.2恒+1.4x0.7活+1.4风 (6) 1.35恒+1.4x0.7活+1.4x0.6风
(7) 1.2恒+1.4活+1.0温 (8) 1.35恒+1.4x0.7活+1.0温
(9) 0.9恒+1.0温

3.2 支座刚度计算

橡胶垫片指采用具有良好弹性的橡胶片和具有较高抗压强度的薄钢板分层粘合压制而成,在竖向具有一定的承压能力,在水平方向又可产生一定的剪切变形,适用于具有水平位移及转动要求的大、中跨度网架、桁架支座节点,本工程采用板式橡胶支座。橡胶垫片大样详见图6。

橡胶支座支承在钢筋混凝土柱上,因此桁架计算时,支座约束应考虑橡胶垫片与混凝土柱的

组合刚度。橡胶垫片竖向刚度 K_z 和两个水平方向的侧向刚度 K_n 和 K_s 分别按下式计算:

$$K_{z0} = EA/d_0, K_{n0} = K_{s0} = GA/d_0 \quad (1)$$

本工程偏安全的按悬臂柱计算柱的竖向刚度 K_{z1} 和两个水平方向的侧向刚度 K_{n1} 和 K_{s1} 分别按下式计算:

$$K_{z1} = E_1 A_1 / d_1 \quad (2)$$

$$K_{n1} = 3E_1 J_{n1} / l^3 \quad (3)$$

$$K_{s1} = 3E_1 J_{s1} / l^3 \quad (4)$$

E_1 :支撑柱的弹性模量, J_{n1} 、 J_{s1} :支撑柱两个方向的惯性距。

橡胶垫片与支撑柱的组合刚度采用串联弹性元件的原理,分别求得相应的组合竖向刚度和侧向刚度。

$$K_z = K_{z0} \times K_{z1} / (K_{z0} + K_{z1}) \quad (5)$$

$$K_n = K_{n0} \times K_{n1} / (K_{n0} + K_{n1}) \quad (6)$$

$$K_s = K_{s0} \times K_{s1} / (K_{s0} + K_{s1}) \quad (7)$$

根据上述公式并结合柱、橡胶垫片相关参数即可计算出桁架支座约束刚度。

3.3 管桁架设计

3.3.1 结构受力体系

规范规定^[5],在桁架平面内杆件的节间长度或杆件长度与截面高度(或直径)之比不小于12(主管)和24(支管)时,分析桁架内力可将节点视为铰接。本工程计算采用主管刚接、支管端部铰接的模式,满足规范要求,并符合工程实际情况。采用3D3S程序计算时,将结构体系定义为空间框架,腹杆端部转动约束释放,以满足主管刚接,支管铰接的要求。

3.3.2 计算参数控制

桁架钢材采用符合国标的Q345B级钢,钢材屈服强度 345N/mm^2 。屋盖构件设计时控制应力比,一般构件小于0.85,关键构件小于0.80。拉杆长细比一般杆件按250控制,关键杆件按200控

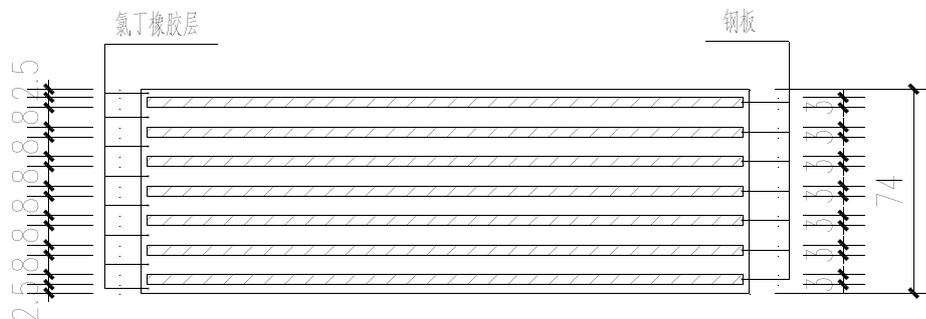


图6 橡胶垫片大样

表1 设计结果 (53m跨计算结果)

桁架厚度/m		2.7	3.0	3.4	3.6	4.0
矢跨比		1/19.6	1/17.7	1/15.6	1/14.7	1/13.3
上下弦杆尺寸/mm	上弦圆管	351×14	351×12	299×12	273×8	245×8
	下弦圆管	351×14	299×12	273×10	245×8	245×8
杆件最大应力比		0.948	0.921	0.842	0.769	0.681
最大竖向挠度/mm		64.7	58.2	44.5	40.6	32.7

表2 设计结果 (18m跨悬挑计算结果)

桁架厚度/m		2.7/1.6	3.0/1.6	3.4/1.6	3.6/1.6	4.0/1.6
矢跨比		1/6.7	1/6.0	1/5.3	1/5.0	1/4.5
上下弦杆尺寸/mm	上弦圆管	351×14	351×12	299×12	273×8	245×8
	下弦圆管	351×14	299×12	273×10	245×8	245×8
杆件最大应力比		0.981	0.947	0.854	0.817	0.784
最大竖向挠度/mm		92.4	79.7	58.3	50.2	41.3

注：桁架厚度指悬挑根部和端部厚度。矢跨比按悬挑根部计算。

制，压杆长细比一般杆件按180控制，关键杆件按150控制。其中关键杆件指支座周边杆件，悬挑根部杆件。桁架挠度按 $L/250$ 控制（悬挑部分为 $L/125$ ）。杆件的径厚比按 $100(235/F_y)$ 控制。

3.3.3 计算分析比较

采用3D3S计算软件对桁架进行受力分析，研究不同情况下结构的性能见表1、表2。

随着结构矢跨比的增大，结构用钢量，结构弹性变形呈递减规律，在强度安全性能满足要求的条件下，增大结构的矢跨比对降低结构用钢量，提高结构刚度，控制弹性变形均非常有效。综合分析比较，并满足建筑专业要求，桁架的合理计算结果：桁架高度3.4m，上弦宽2.6m，下弦宽1.6m，节间长度2.5m，悬挑根部桁架高度3.4m，悬挑端部桁架高度1.6m，桁架上弦杆 299×12.0 ，下弦杆 273×10.0 ，腹杆 114×4.0 ，关键杆件腹杆 159×6.0 。

根据选定的截面尺寸对结构分别进行线性分析及动力特性分析。分析结果表明：静载作用下杆件内力最大，最大轴力 $N=683.7\text{KN}$ ，最小轴力 $N=-796.6\text{KN}$ ；静载作用下，悬挑处竖向位移最大，最大竖向位移 58.3mm ；温度荷载作用下，X向水平位移最大，最大水平位移 25.6mm 。地震作用不起控制作用，静载工况

起控制作用；风荷载的上吸力对前端悬挑根部构件产生很大的内力，与静载活载方向相反。

3.4 节点设计

3.4.1 相贯节点设计

相贯节点是指在节点处，只有在同一轴线上的两个相邻杆件（相交各杆件中最粗的钢管）是相通的，其余杆件通过端部相贯线加工后，直接焊接在贯通杆件的外表，非贯通杆件在节点处可能互相分离，也可能部分重叠^[6]，相贯节点示意图详见图7。

根据规范^[5]，管桁架节点验算必须满足下列七个方面：（1）节点极限承载力必须大于相应轴力的绝对值，（2）支管与主管夹角不宜小于 30° ，（3）角焊缝高度不应大于支管壁厚的2倍，（4）支管壁厚不应大于主管壁厚，（5）支管外径与主管外径之比应在 0.2 到 1 之间，（6）支管外径与壁厚之比不应大于 60 ，（7）主管外径与壁厚之比不应大于 100 。

经3D3S程序验算，4个节点不满足要求，后

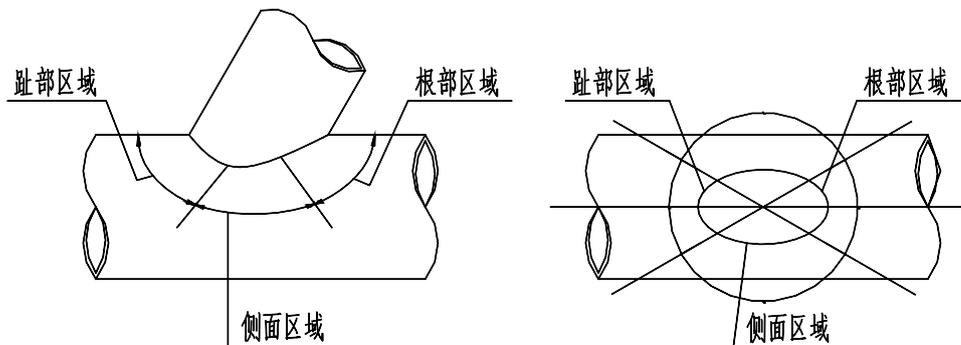


图7 相贯节点示意图

调整杆件截面至节点满足。

3.4.2 支座节点设计

(1) 确定橡胶垫板的平面尺寸

板式橡胶支座节点中, 橡胶垫板的平面尺寸取决于其抗压强度条件, 按下式计算^[7]:

$$\sigma_m = R_{\max} / A = R_{\max} / ab \leq [\sigma] \quad (8)$$

σ_m : 平均压应力; A : 垫板承压面积, 即 $A = ab$; a, b : 橡胶垫板的短边和长边边长;

R_{\max} : 桁架全部荷载标准值引起的最大支座反力值; $[\sigma]$: 橡胶垫板的允许抗压强度

(2) 确定橡胶垫板的厚度

板式橡胶支座节点中, 桁架的水平位移通过橡胶层的剪切变形实现, 但橡胶层厚度太大易造成支座失稳, 为使橡胶垫板能正常工作, 从构造上规定橡胶层厚度应不大于支座法向边长的0.2倍, 因此橡胶层总厚度按下式计算:

$$0.2a \geq d_0 \geq 1.43\mu \quad (9)$$

$$d = d_0 + (n+1)d_s \quad (10)$$

d : 橡胶垫板总厚度; n : 中间橡胶片数目; d_0 : 橡胶层总厚度; μ : 最大水平位移; d_s : 薄钢板厚度

橡胶层的总厚度确定后, 可确定橡胶片数目, 加上各胶片薄钢板厚度之和即可得橡胶垫板的总厚度, 本工程根据水平位移和竖向位移计算出的橡胶垫片平面尺寸为500mm×500mm, 橡胶层总厚度74mm。

3.5 相关构造措施

(1) 支管与主管的连接节点处, 应尽可能避免偏心, 交汇于节点的杆件必须通过轴线中心线。

(2) 焊缝: 支管与主管的连接焊缝, 应沿全周连续焊接并平滑过渡, 焊缝质量等级按不低于二级控制, 杆件对接连接的焊缝质量等级按一级控制。

(3) 为保证钢管桁架的耐久性, 桁架进行涂漆, 本工程采取的方案为环氧富锌底漆, 干膜厚度75 μm, 固体含量不低于50%; 快干型环氧云铁中间漆, 干膜厚度125 μm, 固体含量不少于70%; 丙烯酸聚氨酯面漆, 干膜厚度60 μm, 固体含量不少于60%。建筑耐火等级二级, 采用超薄型防火涂料, 耐火极限1.5小时。

(4) 橡胶支座安装时应使基层保持平整, 以保证橡胶垫板受力均匀。为延缓橡胶垫块的老化, 在垫板四周涂酚磺树脂, 并粘帖泡沫塑料。使用过程中, 应经常检查, 外观上是否出现偏移

或局部脱空现象。

4 结论及建议

通过对本工程管桁架的计算分析, 提出如下结论及建议:

(1) 大跨度空间钢管桁架结构根据节间长度及杆件截面, 将主管视为刚接, 支管两端视为铰接, 满足规范要求并符合工程实际。

(2) 内力分析表明: 本工程按6度抗震设防地震工况不起控制作用, 静载工况起控制作用; 温度荷载作用下, 桁架产生较大的水平变形; 静载作用下, 悬挑端部的竖向变形最大; 屋面大悬挑处迎风时, 上吸力较大, 在结构设计中应引起重视。

(3) 在各种荷载组合工况下, 本工程管桁架计算得到的各项控制指标(强度, 稳定, 变形等)均满足规范要求, 并采取一定的构造措施保证结构安全可靠, 同时满足建筑造型及功能要求, 为类似工程的研究和设计提供参考。目前, 本工程管桁架已完成吊装。

参考文献

- [1] 建筑抗震设计规范 (GB50011—2010) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [2] 空间网络结构技术规程 (JGJ7—2010) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [3] 周青, 朱丹等. 兰州中川机场新航站楼屋盖钢结构设计[J]. 建筑结构, 2012, 1(2).
- [4] 建筑结构荷载规范 (GB50009—2012) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [5] 钢结构设计规范 (GB50017—2003) [S]. 北京: 中国计划出版社, 2003.
- [6] 陈以一, 陈杨骥. 钢管结构相贯节点的应用与研究[J]. 工业建筑, 2001增刊.
- [7] 严慧, 董石麟. 板式橡胶支座节点的设计与应用研究[J]. 空间结构, 1995, 1(2).
- [8] 景明勇, 王元清等. 大跨度体育馆空间钢管结构的设计与分析[J]. 建筑结构, 2008, 38(2).

强夯地基处理在 联东U谷·长沙望城产业中心的应用

■ 李春 贺桂超 [结构]

摘要: 采用强夯法,对大面积回填土进行地基处理,具有适用范围广、工期短、节约投资、操作方便等优点。本文以联东U谷·长沙望城产业中心为例,介绍了工程概况、地质条件,强夯法及其用于地基处理的设计和各主要参数的选择,结果显示,对于填土厚度适中(以不超过6~8m为宜),荷载分布均匀的多层结构,强夯处理后的地基承载力和沉降均可满足设计要求,效果良好,对于指导强夯设计和施工具有一定的实用价值。

关键词: 强夯;地基处理;沉降

1 工程概况及地质情况

1.1 工程概况

长沙联东金煜投资有限公司投资的联东U谷·长沙望城产业中心一号地一期工程位于望城县经济开发区马桥河路以西,金山路以东,杨家湾路以南。一期工程共有18栋厂房、2栋设备用房。厂房为2层或3层,房屋高度11.6m或15.6m,采用框架结构,柱网尺寸为8.0m×8.0m,层高为7.2m+3.9m或7.2m+4.2m+3.9m,钢筋混凝土现浇楼盖(7.2m层高结构考虑后期夹层,在4.2m标高处设置外圈梁,并考虑后期夹层荷载),根据甲方要求基础采用独立柱基,持力层为粉质粘土或经强夯处理后的回填土。

1.2 场地地质情况

本工程场地原始地貌单元属剥蚀残丘及山

间洼地,地势东南高、西北低,回填土深度为0~12m。场地内覆盖层主要由第四系人工填土层、第四系冲洪积粉质粘土层及淤泥质粉质粘土层组成,基岩为冷家溪群第三岩组泥质板岩。地层分布从上至下依次为:

人工填土①:褐黄色、灰白色,松散,稍湿,主要由粘性土组成,场地东南部地表含碎砖块。该土层为新近回填而成,未完成自重固结,地基承载力低。

淤泥质粉质粘土②1:灰黑色,流塑,主要由粘粒组成,含植物根系,韧性低,粘性低,干强度低,有光泽反应。层顶埋深2.1~7.5m。

粉质粘土②:褐黄色、灰褐色,可塑状为主,局部软塑状,稍湿~湿。成分为粘土质。层顶埋深1.2~13.6m。

粉质粘土③:褐黄色、红褐色,硬塑状,湿,含少量石英圆砾。层顶埋深0.0~15.0m。

全风化泥质板岩④:褐黄色、红褐色,变余结构、板状构造,中厚层状态,质软,明显可

作者简介:李春,男,高级工程师,2002年毕业于哈尔滨工业大学建筑工程专业,现就职于中航长沙设计研究院有限公司。

表1 土层主要参数表

土层	重度 (KN/m ³)	粘聚力 C(kPa)	内摩擦角 φ (°)	承载力 特征值 f_{ak} (kPa)	压缩模量 Es(MPa)
人工填土①	19.4	8	10	—	—
淤泥质粉质粘土② ₁	17.7	5	2	80	1.74
粉质粘土②	18.5	30	13	150	3.4
粉质粘土③	19.4	40	20	200	7.8
全风化泥质板岩④	19.6	40	22	300	8.0
强风化泥质板岩⑤	21.5	50	24	450	55
中风化泥质板岩⑥	23.5	65	35	1000	70

见原岩节理裂隙，岩芯多为土状，局部为碎块状，手捏易碎为粉末状，遇水具可塑性、易软化崩解，节理裂隙极发育，原岩矿物成份已不可辨认，层顶埋深0~25m。

强风化泥质板岩⑤：褐黄色、红褐色、浅灰绿色，变余结构、板状构造，中厚层状态，岩芯多为碎块状，易碎，手折易断，节理裂隙发育，层顶埋深3.5~33.7m。土层主要参数表见表1。

场地水文地质主要分为上层滞水和基岩裂隙水。上层滞水主要赋存于人工填土及粉质粘土层中，由大气降水补给，水位随季节变化而异。基岩裂隙水主要赋存于强-中风化泥质板岩的风化、节理裂隙中。场地地下水主要接受大气降水入渗补给。场地地势较平坦，地下水水平径流交替作用较慢，主要以地下潜流方式向北侧低洼地带排泄为主，其次以蒸腾方式垂直排泄。

2 强夯法简介

强夯法也称动力固结法或动力压密法 (Dynamic consolidation, Dynamic compaction, Heavy tamping)，自1969年法国梅那 (L. Menard) 首先应用以来，迄今国内外已广泛应用。这种方法是将重锤（一般为80~400kN）起吊至一定高度（一般为10~40m）后，使其自由落下，产生巨大冲击能量作用于地基，给地基以冲击和振动，从而在一定的范围内使地基强度提高，压缩性降低，改善了地基的受力性能。同时夯击还能提高土层的均匀程度，

减少将来可能出现的差异沉降。

2.1 强夯加固原理

强夯法加固原理简单地讲就是将机械能转化为势能（夯锤提起），再转变为动能（夯锤自由下落），通过强大的冲击能以振动波的形式（压缩波、剪切波、瑞利波）向下传播，作用于地基，冲击形成较深的夯坑，产生较大的瞬间沉降。在其影响范围之内，土体天然的疏松结构遭到破坏，改变了土颗粒间的连接方式。压缩波使土中孔隙水压力增加，使土颗粒错位后重新排列，成致密结构。剪切波使土的侧压力系数增大，土被侧向挤密，从而降低此深度范围内土的压缩性，提高地基承载力。

2.2 强夯法适用条件

2.2 强夯法适用条件

强夯法主要适用于处理碎石土、砂土、低饱和度的粉土与粘性土、湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基。强夯法适用的条件：

- (1) 强夯加固深度最好不超过15m（特殊情况除外）。
- (2) 对于饱和软土，地表面应铺一层较厚的砾石、砂土等粗颗粒填料。
- (3) 地下水位离地面宜为2~3m。
- (4) 夯击对象最好为粗颗粒组成。
- (5) 施工现场离既有建筑物有足够的安全距离（一般不应小于10m），否则不宜施工。

2.3 强夯加固优缺点

强夯法经过多年的发展和应用，积累了丰富的工程经验，主要优点如下：

- (1) 施工速度快，工期短，效果明显。强夯处理后的地基强度可提高2~4倍。与其他施工方法相比，可节省约1/3的工期。
- (2) 节约投资，施工中不消耗贵重、特种材料，可以收到较好的经济效益，比较适用于目前低标价工程。
- (3) 工序简单，操作方便，只用到起重机具，便于组织施工。

强夯法的缺点主要是施工时噪声和振动较大，

所以不宜在人口密集的城市及夜间施工。可采用在夯区周围设置隔振沟以减少对附近建筑物的影响。

3 强夯法设计的主要参数

3.1 有效加固深度

有效加固深度是强夯法地基处理首先要考虑的变量之一,在强夯法中有效加固深度不仅是上部结构基础设计的主要依据,而且对强夯夯击能量的确定、夯点布设、加固的均匀性等参数起着决定作用,强夯法的有效加固深度应根据现场试夯或当地经验确定。

3.2 锤重和落距

夯锤按材料可分为混凝土和锤铸钢(铁)锤。混凝土锤重心较高,冲击后晃动大,夯坑易塌土,夯坑开口较大,易起锤,易损坏。铸钢锤则相反,特别是夯坑较深时,塌土覆盖锤顶易造成提锤困难。可将锤底制成稍带凸弧,增加了侧挤,使坑壁稳定,减小了起锤力及坑壁塌土。按形状夯锤可为圆形、方形。方锤落地方位容易改变,与夯坑形状不一致影响效果,圆锤无此弊端,故多用圆锤。夯锤宜设3~5个与其顶面贯通的排气孔,孔径宜取250~300mm,过小易堵空,丧失作用。同样的夯击能重锤提升低比较轻锤提升高加固效果要好。锤重一般为10~40t,与加固土层的含水率和落距有关,落距一般为5~25m。

3.3 夯击能

夯击能可分为单击夯击能和单位夯击能。单击夯击能即夯锤与落距的乘积,一般根据工程加固深度来确定。单位夯击能指施工场地单位面积上所施加的总夯击能。根据大量的工程实践经验,在一般情况下,对粗颗粒土单位夯击能可取1000~3000kN·m;细颗粒土可取1500~4000kN·m。

3.4 夯击次数

夯击次数是强夯设计中的一个重要参数。夯击次数一般通过现场试夯来确定,常以夯坑的压缩量最大、夯坑周围的隆起量最小为确定原则,目前常通过现场试夯得到的夯击次数与夯沉量的关系曲线来确定,但要满足下列条件:

(1) 最后两击的平均夯沉量不大于下列数值;当单夯击能小于4000kN·m时为50mm;当单夯击能为4000~6000kN·m时为100mm;当单击夯击能为6000~8000kN·m时为150mm;当单击夯击能大于8000kN·m时为200mm;

(2) 夯坑周围地面不应发生过大的隆起;

(3) 不因夯坑过深而发生提锤困难。

3.5 夯击遍数

夯击遍数应根据地基土的性质确定,一般来说,由粗颗粒土组成的渗透性强的地基,夯击遍数可少些;反之,由细颗粒土组成的渗透性差的地基,夯击遍数应多些。根据工程实践经验,一般夯击遍数为两遍,最后再以低能量满夯,夯击遍数可适当增加。满夯可采用轻锤或低落距锤多次夯击,锤印应搭接。

3.6 夯点布置

夯点布置可根据基底平面形状采用等遍三角形,等腰三角形或正方形布置,为了有效加固深层土,加大土的密实度,强夯常需要分遍。夯点分为点夯和满夯。为了便于说明,将不同时夯击的夯点称为批,将同一批夯点间距一定时间夯击称为遍。点夯各批夯点的遍数累计加上满夯组成总的遍数。

3.7 夯点间距

夯点需有一定间距,使冲击时夯坑产生冲剪,在夯坑产生一挤压加固区,为使所产生的挤压力受周围土约束,侧面应不隆起,因此侧面应有一定间距的不扰动土。由于夯点间距大,夯点间需增设夯点以加固未挤密土,故需增加遍数,这种分遍实际上是夯点分批夯击。根据工程经验,第一批夯点间距一般为5~9m,以后各批夯击点间距可与第一批相同,也可适当减少,对有效加固深度较深或单击夯击能较大的工程,第一批夯击点间距宜适当增大。

3.8 夯击之间间隔

两遍夯击之间应有一定的时间间隔,间隔时间取决于土中超孔隙水压力的消散时间。当缺少实测资料时,可根据地基土的渗透性确定,对于渗透性较差的粘性土地基,间隔时间不应小于3~4周;对于渗透性好的地基可连续夯击。

3.9 夯前标高

夯前标高的取值,会直接影响到夯后的开槽土方量,从而在一定程度上影响到工程施工造价。如果夯后高程过低,虽减少了开槽深度,但可能会增加建筑物建成后的室内填方工程量,并且需分层压实,不如直接夯实更节省费用。若抬高夯后标高,还可以取得预铺垫层的作用,对防治橡皮土和治理软弱土方面,起到其他方法不可替代的作用,可以减少工程总费用。一般最好是开挖0.3~1.0m左

右,保证基础置于强夯地基处理后最密实的土层上,达到最佳的夯实效果。

4 实例分析

现以联东U谷·长沙望城产业中心为例,对强夯处理地基过程及设计、施工遇到的问题进行分析说明。

4.1 夯击区域划分

根据地勘报告提供的资料,本工程场地填土厚度分布差异较大,为节省工程造价及工期,对不同厚度填土,采用不同的强夯能级进行强夯。填筑厚度在8m~10m范围内,采用6000kN·m能级(E区);填筑厚度在6m~8m范围内,采用4000kN·m能级(D区);填筑厚度在2m~6m范围内,采用3000kN·m能级(C区);填筑厚度小于2m时,可只用1000kN·m能级(B区)。不需要强夯区域划分为A区。强夯区域划分见图1。

本项目考虑后期强夯对一期建筑物的影响,本次强夯区域考虑在一期红线范围北侧及西侧外扩30m。从图一中看出,项目东侧为马桥河路,为保证强夯施工过程中道路安全及对减少对周边环

境影响,强夯施工前在强夯区域和道路之间设置隔振沟,隔振沟开挖型式见图2。

4.2 强夯技术参数

本工程强夯夯锤直径2.0~2.6m,采用两遍点夯,夯点布置按梅花式布点,见图3。

夯点布置时应注意:不同能级区域分界处应以“高能级覆盖低能级”为原则;填方外侧临空面(边坡)处,夯点应沿强夯区域边界线进行布置,填方与山坡面交界处,夯点应尽量靠坡面布置;各高程施工缝处应布置夯点。强夯参数见表2。

A区域为粉质粘土不需要进行地基处理。但局部出现虚土或原状土经现场勘验达不到设计要求时,应按B区域1000kN·m能级要求处理。

B区域采用1000kN·m能级进行满夯处理,满夯2遍,第一遍每点夯4击,锤印搭接不小于 $d/4$,第二遍每点夯3击,锤印搭接不小于 $d/4$ 。

C区域采用3000kN·m能级进行满夯处理。分3遍夯,第一遍夯点按等腰三角形布置,单击夯击能为3000kN·m,单点连续夯击,夯击次数不少于12击,并满足最后两击平均夯沉量不大于50mm的要求,方可移至下一夯点。第一遍夯结束后,用碎石土填平夯坑,进行第二遍夯,夯

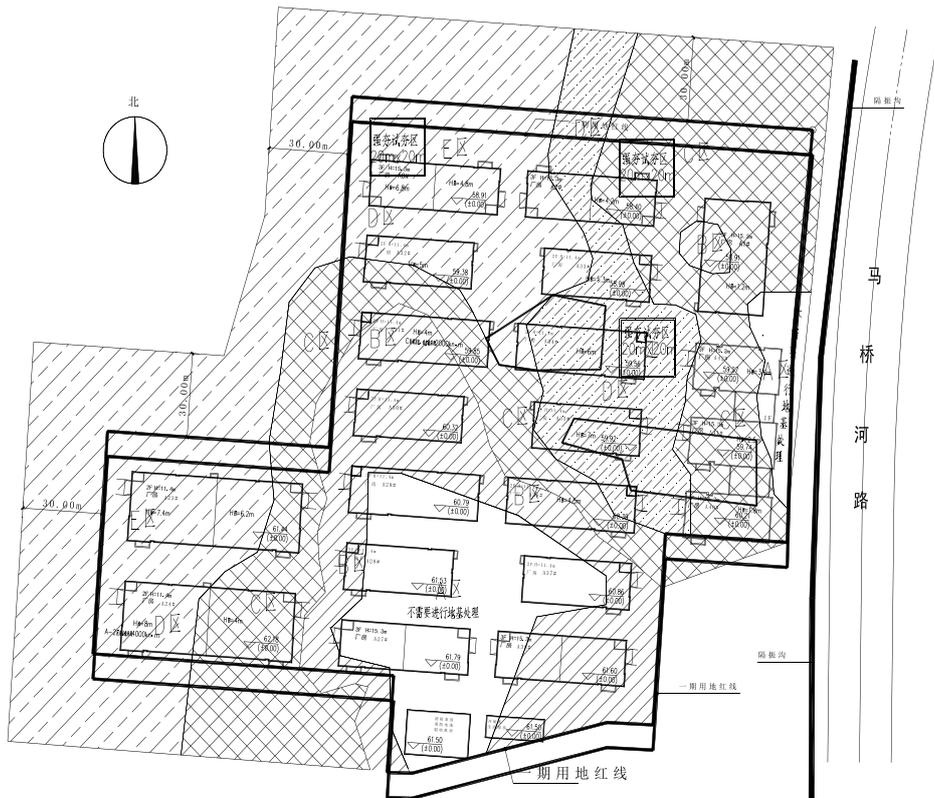


图1 强夯区域划分图

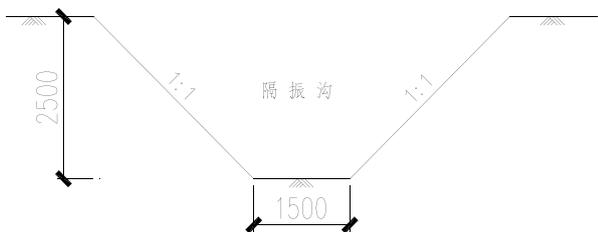
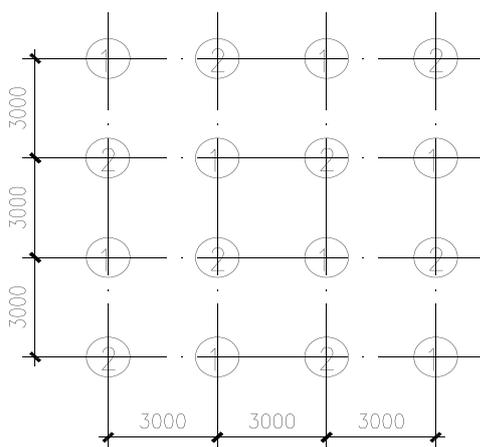


图2 隔振沟剖面图



① —— 第一遍夯点

② —— 第二遍夯点

图3 强夯区夯点布置示意图

点按等腰三角形布置，且在第一遍夯点间布置，单击夯击能为 $3000\text{kN}\cdot\text{m}$ ，单点连续夯击，夯击次数不少于8击，并满足最后两击平均夯沉量不大于 50mm 的要求，方可移至下一夯点。第二遍夯结束后，用碎石土填平夯坑，平整场地后，进行第三遍夯。第三遍夯为满夯，单击夯击能为 $1000\text{kN}\cdot\text{m}$ ，每点夯3击，锤印搭接不小于 $d/4$ ，

将场地表层松土夯实。

D区域采用 $4000\text{kN}\cdot\text{m}$ 能级进行满夯处理。分3遍夯，夯击要求同C区域。

E区域采用 $6000\text{kN}\cdot\text{m}$ 能级进行满夯处理。分3遍夯，夯击要求同C区域。但最后两击平均夯沉量应不大于 100mm 。

对强夯区域内存在淤泥质粉质粘土②1或软弱夹层应进行特殊处理。对于软弱层位于基底以下大于 5m 时采用夯击能 $6000\text{kN}\cdot\text{m}$ 进行处理；对于软弱层位于基底以下小于 5m 时采用夯击能 $4000\text{kN}\cdot\text{m}$ 进行处理，并在基底以下设置 1m 厚的级配砂卵石垫层。

4.3 施工顺序

强夯施工前，应做好施工组织，严格按照施工顺序进行施工。具体施工顺序为：（1）清理并整平施工场地；（2）测量场地高程；（3）夯机就位，起吊吊钩至设计落距高度，将吊钩牵引钢丝绳固定，锁定落距；（4）将夯锤平稳提起置于夯点位置，测量夯前锤顶高程；（5）起吊夯锤至预定高度，夯锤自动脱钩下落夯击夯点；（6）测量锤顶高程，记录夯坑下沉量；（7）重复步骤（5）~（6），按设计的夯击数和控制标准，完成一个夯点的夯击；（8）夯锤移位到下一个夯点，重复步骤（2）~（5），完成第一遍全部夯点的夯击；（9）用推土机将夯坑填平或推平，用方格网测量场地高程，计算本遍场地夯沉量；（10）在规定的间歇时间后，按以上步骤完成全部夯击遍数；（11）满足间歇时间后，进行满夯施工。

施工时应注意，不同能级区域分界处应先进行高能级施工，再进行低能级施工，满夯施工应

表2 强夯参数

序号	能级分类 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)	夯击遍数	单击夯击能 ($\text{kN}\cdot\text{m}$)	夯点布置	夯击次数 (击)	最后两击平均夯沉量 (mm)
1	1000 满夯	第一遍	1000	$d/4$ 搭接	≥ 4	
		第二遍	1000	$d/4$ 搭接	≥ 3	
2	3000	第一遍	3000	等腰三角形	≥ 12	50
		第二遍	3000	等腰三角形	≥ 8	50
		满夯	1000	$d/4$ 搭接	≥ 3	
3	4000	第一遍	4000	等腰三角形	≥ 12	50
		第二遍	4000	等腰三角形	≥ 8	50
		满夯	1000	$d/4$ 搭接	≥ 3	
4	6000	第一遍	6000	等腰三角形	≥ 12	100
		第二遍	6000	等腰三角形	≥ 8	100
		满夯	1000	$d/4$ 搭接	≥ 3	



图4 强夯降排水平面布置图

统一进行。相邻强夯区域存在高程差时，先施工较低处，再施工较高处。

4.4 降排水方案

土层中含水率对强夯质量有重要影响，因此在施工前应做好场地的降排水措施。强夯降排水平面布置见图4。

管井采用滤水型 $\Phi 300\text{mm}$ PVC管，布置间距 20m ，管井埋设深度 $2\sim 8\text{m}$ ，每根管井配备1台深井潜水泵，强夯期间不间断抽水，地下水通过 $\Phi 100$ 软管汇入排水沟排走。排水沟沟宽 1m ，深 $1.0\sim 1.65\text{m}$ ，两侧篱笆支挡防止夯击垮塌，沟面铺设土工布防渗。排水沟沿强夯分区边界线布置。降水过程中必须对地下水位进行控制，水位控制靠在降水区域埋设水位管控制，水位降低到距地表 5m 才能夯击，且应低于夯坑坑底面以下 2m 。

4.5 试夯试验

强夯正式施工前应在每个夯击能区域选择一

个有代表性的区域进行强夯试验，每块强夯试验面积不应小于 $20\text{m}\times 20\text{m}$ 。强夯试验区域见图二。根据初步确定的强夯参数，进行现场试夯，待强夯试验结束2周后，对试夯场地进行检测，并与夯前测试数据进行对比，检测强夯效果，以确定工程采用的各项强夯参数。

试夯的主要目的为：确定地基有效加固深度，确定处理后地基土的强度、承载力和变形指标；确定合适的夯击能、夯锤尺寸和落距等施工参数；校核强夯后场地的沉降量或抬升量，为确定起夯面标高提供依据；确定夯点间距、夯击次数、夯击遍数、最后两击夯沉量和间隔时间等设计参数；确定强夯施工停夯标准等施工质量控制指标；了解强夯施工振动、侧向挤压等对周边环境和工程的影响，确定与周边工程的安全施工最小距离。

强夯时起夯面标高暂定为拟建建筑物最高

± 0.00 以下0.5m, 预估夯沉量为0.5m。根据试夯结果调整起夯面标高, 满足起夯面标高-实际夯沉量=基础底标高+0.3m, 由于分区内各建筑物 ± 0.00 标高不一, 为减少后期土方平整费用, 在第三遍满夯后应尽量将夯后标高控制在分区内各栋建筑基础底标高以上300mm。

在场地北边深填土区域, 试夯时出现提锤困难甚至是吸锤现象, 经现场查看, 并与建设、施工、监理单位协商沟通后, 认为该区域填土太厚, 吸锤而周边场地未出现隆起, 说明填土太松散, 孔隙率大, 在保证提锤前提下, 可采用填碎石料(碎石要求级配良好, 最大粒径不超过300mm)后继续强夯, 且对第一遍最后两击平均夯沉量要求予以放宽, 以第二遍夯沉量来控制质量; 两遍强夯间隔尽可能长, 以利于孔隙水消散。经上述措施后, 发现强夯效果明显好于之前在试夯及正式强夯时, 还应注意的问题有(1)现场应有临时排水设施, 防止降雨浸泡正在施工的场地和已经完工的场地。(2)当场地地下水位较高时, 宜采取人工降水等措施, 夯坑内或场地的积水应及时排除, 地下水位应控制在夯坑以下2.5m。(3)应对整个施工过程作详细的纪录, 包括锤重、落距、夯击次数、每击的夯沉量及总夯沉量。(3)施工期间应对填筑边坡的稳定性进行监测。(4)当强夯施工所产生的振动对临近建筑物或设备会产生有害的影响时, 应设置监测点, 并采取开挖隔振沟等防振措施。

4.6 强夯后地基检测

在试夯施工结束14天后, 可对强夯后地基承载力、变形模量和压缩模量进行检测, 检测手段通常以静载荷试验、动力触探、瑞利波试验为主, 还应满足《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB50202-2002)及《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-2012)的有关规定, 以达到设计提出的承载力不小于160KPa, 强夯深度范围内地基土压缩模量不小于5MPa的要求。

从试夯后的静载荷试验报告中看出, 几个点的沉降量均很小, 在极限承载力为320KPa时, 平均沉降量为10mm左右, 说明夯后表层压缩模量达到设计要求; 从p-s曲线中还可看出, 在极限承载力为320KPa时, 曲线并未出现明显拐点, 说明承载力还有上升空间。

根据试夯检测结果可对试夯参数及施工中出现的问题进行修改, 之后便可进行正式的强夯处

理。考虑到土层的差异性, 施工中还应加强监测。

4.7 强夯后基础设计

根据《建筑地基基础设计规范》(GB 5007-2011)的规定, 本工程场地进行强夯处理后, 地基基础设计等级应按乙级考虑, 除满足承载力要求外, 还应按地基变形设计。

根据检测结果, 基底承载力高于160KPa, 满足设计要求, 可按独立柱基进行设计。

对相邻柱基的沉降差可按0.003l的变形允许值进行设计。沉降可按《建筑地基基础设计规范》(GB 5007-2011) 5.3.5条的分层总和法计算。该公式中的沉降计算经验系数和压缩模量应特别注意。(1)强夯时夯击能是从地表向内扩散并逐步消失, 可以判定土层深处收到的冲击和挤压作用逐渐减小, 当地表的压缩模量达到5MPa时, 沉降影响深度范围内土层的压缩模量也是逐渐减小, 当全部按照5MPa进行设计时, 计算得到的沉降会大于实际值。(2)在压缩模量当量值一定前提下, 沉降计算经验系数与基底附加应力成正比, 当基底附加压力小于0.75倍地基承载力特征值时, 沉降计算经验系数可取小值, 因此在确定基础面积时可按基底附加压力小于0.75倍地基承载力特征值设计。

5 结论

(1)强夯法暂无理论公式, 因此试夯非常重要, 通过试夯可确定强夯施工时的技术参数。

(2)拟建场地的填土采用强夯地基处理后, 密实度、承载力提高, 有效影响深度可满足变形要求的深度, 强夯处理效果明显, 强夯后可作为建筑物的基础持力层。

(3)强夯处理后的地基要同时满足承载力和变形的要求, 承载力易于达到要求, 沉降往往占控制因素, 在沉降计算时可通过加大基础面积, 使基底附加压力小于0.75倍地基承载力特征值, 从而达到规范要求的沉降值。

参考文献

- [1] GB 5007-2011 建筑地基基础设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.
- [2] JGJ 79-2012 建筑地基处理技术规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [3] GB 50202-2002建筑地基基础工程施工质量验收规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2012.

探讨工程总承包项目费用控制

■ 康晶晶 [工程造价]

摘要: 在工程建设市场竞争日趋激烈, 业主对工程质量、进度、费用等要求不断提高、材料价格日渐攀升的背景下, 为保证项目按已定目标实现所期望效益, 本文通过分析工程总承包模式的特点以及费用过程控制重点工作预见问题, 提出了两项项目管理的费用控制的方法, 即严格控制工程变更和转嫁投资风险, 严格执行分包合同价。

关键词: 工程总承包; 费用; 控制

随着工程建设市场竞争日趋激烈, 公司的远景发展, 业主对工程质量、进度、费用等要求不断提高、材料价格日渐攀升以及其他种种不利因素影响的环境下, 保证项目能按照已确定的项目目标实现所期望的效益, 工程总承包项目模式下的工程项目越来越多, 费用控制是工程公司项目的核心要素, 也体现着其项目管理水平及盈利能力的高低。如何在工程总承包项目全过程控制费用, 显得尤为重要, 是一个值得探讨的问题。

1 工程总承包模式的特点

1.1 工程总承包模式的优点

(1) 工程合同价格一般采用固定总包价格, 有利于控制总体工程造价。

(2) 由于EPC总承包商承担了项目实施阶段的管理工作, 减轻了业主方在项目管理方面的负担和投入。

(3) EPC总承包商提前介入工程前期工作, 并且可以将采购纳入设计过程, 有利于工期的缩短。

(4) 由于EPC总承包商责任的单一性, 能激励其更加重视质量。

1.2 工程总承包模式的缺点

(1) 由于总承包模式还没有形成固定的运作

方式, 在实践中有各类变型, 导致业主方与EPC总承包商就某些职责划分方面出现异议。

(2) 由于在我国实行建设监理制度, EPC总承包商与监理职能需要明确划分。

(3) 我国还没有标准的总承包合同范本, 需参考国际范本, 制定项目专用合同, 加大前期工作的投入。

(4) 总承包模式对业主、EPC总承包商以及监理的管理水平要求更高。

2 工程总承包项目管理的要点

(1) 在合同条件下启动项目

工程总承包项目业主和EPC总承包商双方的责任和风险都很大, 因此必须强调在合同条件下启动项目。但由于政府干预、主管部门指令、EPC总承包商为了赢得项目让步等原因, 造成在项目合同尚未签订就启动项目的情况屡有发生。合同尚未签订, 工程总承包的范围、风险分担、责权利均未明确, 在这种情况下启动项目, 必然会出现项目多变, 纠纷频发, 造成欲速则不达的结果。

(2) 强调项目综合管理

工程总承包项目管理的实质是E、P、C的综合管理, 工程总承包项目综合管理是项目经理的职责, 有经验的项目经理能熟练地协调、平衡和

作者简介: 康晶晶, 女, 高级工程师, 2005年毕业于河北工程学院工程管理专业, 现就职于中航长沙设计研究院有限公司民用建筑设计院。

控制E、P、C之间及项目管理各要素之间的相互影响,满足或超出项目干系人的需求和期望。

(3) 缩短建设周期

工程总承包项目管理充分发挥在EPC总承包商一个主体协调下实施项目的优越性,尽可能实行设计、采购、施工进度深度交叉,在保证EPC各阶段合理周期的前提下,缩短总建设周期,为业主创造最大的效益。

(4) 服从整体优化

与着眼于最终产品质量一样,工程总承包项目管理强调局部优化服从整体优化的观点。工程项目是一个系统工程,是一个整体,整体优化才是最终的目标。有一种设计、采购、施工各自关注局部优化的倾向,工程总承包项目管理着力克服和解决上述问题,为使工程项目达到整体优化的目的。

(5) 加强项目文档管理

项目文档管理是当前工程总承包项目管理的薄弱环节之一,严重影响了项目的顺利实施。

(6) 做好项目收尾工作

工程总承包项目管理的收尾工作包括合同收尾和管理收尾两个方面。合签发接收证书主要是办理好文件和装置设备的移交以及费用的期中结算。签发证约证书,主要是进行最终决算,提交结清证书和回收履约保函,然后取得业主颁发的履约证书。

3 费用过程控制重点工作预见问题

笔者常驻上海某项目现场,在工程总承包管理项目部工作中的部分主要问题提出并分析。

(1) 因精装修设计图纸的确定,必造成原建筑设计图中预留洞口的变更以及安装管道预留预埋的变更对投资的影响,实施过程中增加大量的经济签证单及工程洽商,变更发生以后与施工单位及现场工程师的协商确认事项增多,同时增大繁琐的工作量。

(2) 随着主体结构完成过程中,穿插机电安装工作,施工总包单位每月上报各专业工程进度工作量类别增多,需结合不同的专业工程技术力量。

(3) 待各专业分包工程合同签订以后,将会面对不同专业分包单位,不同时期应按向业主申请不同分包单位预付款及进度款的支付。

(4) 做好设备、材料采购阶段的控制工作是实现总承包商利润的主要环节。设备、材料费用占总承包合同价格比重比较大,类别品种多、技术性强、涉及面广、工作量大。

4 建议及措施

4.1 严格控制工程变更

在施工中引起变更的原因很多,如工程设计粗糙,市场供应的材料规格标准不符合设计要求、空间占用混乱、尺寸之间互相矛盾等,给费用增加带来隐患。在施工过程中,必须严把变更关。对必须发生的设计变更,尤其是涉及到费用增减的设计变更,必须经现场设计单位代表、建设单位现场代表、监理工程师共同签字,而且应尽可能提前实现这类变更,便于减少损失。严格控制初步设计和施工图设计的不合理变更,保证总投资限额不被突破,从而达到控制工程投资的目的。

4.2 转嫁投资风险,严格执行分包合同价

总承包项目涉及资金数量大,与公司收益大小、风险控制有着密切的关系,必须提高风险意识,由于本项目建设,具有投资大、周期长、科技含量高、施工难度大等特点,所以存在较高风险,必须采取相应的措施以转嫁风险。例如可以通过与分包商签订固定总价合同的方式,将风险转嫁给施工分包商,有效保证总承包商的利润。在签订施工分包合同时,不仅要重视可确定的价格,同样也要注意不可确定的因素,对设备、材料卸车、检验、仓储、二次倒运等责任及价格都应在合同中明确。

5 结束语

工程总承包项目费用控制是一项复杂的系统工程,必须从项目的各个环节入手,也需要后方各专业团队力量的支持,才能实现总承包项目的预期费用控制目标,从而为总承包商的持续发展提供坚实的基础。

重金属污染场地土壤治理修复 技术要点

■ 何清凤 周成铭 (环保)

摘要: 我国大量工业企业被关停并转、破产或搬迁,腾出的工业企业场地作为城市建设用地被再次开发利用时环境隐患突出,需要进行治理修复后方可使用。本文基于部门已完成重金属污染场地治理修复项目,归纳了重金属污染场地治理修复技术路线,分析了技术路线中各环节的工作要点,介绍了重金属污染场地土壤修复的关键技术,并重点介绍了化学稳定化技术在修复工程中的应用。同时,通过归纳、分析,指出重视前期调查评估以及治理过程中修复材料的选择为重金属污染场地治理修复实施过程中的重点难点。

关键词: 场地; 重金属污染; 治理修复; 化学稳定化

1 污染场地治理修复概述

随着我国产业结构调整的深入推进,大量工业企业被关停并转、破产或搬迁,腾出的工业企业场地作为城市建设用地被再次开发利用。但一些重污染企业遗留场地的土壤和地下水受到污染,环境安全隐患突出。《国务院关于加强环境保护重点工作的意见》(国发[2011]3号)提出“被污染场地再次进行开发利用的,应进行环境评估和无害化治理”的要求,以保障工业企业场地在开发利用的环境安全,维护人民群众的切身利益。2014年,环保部发布《关于加强工业企业关停、搬迁及原址场地再开发利用过程中污染防治工作的通知》(环发[2014]66号),通知指出要加强场地调查评估及治理修复监管,地方各级环保部门要建立日常管理制度,督促场地开发利用前、治理修复过程中污染防

治措施的落实。随着国家环保相关规定的出台,污染场地治理修复类项目将逐渐增加。

2016年,本部门进行的污染场地治理修复类项目如下:

(1) 株洲市天元区重金属污染土地综合治理王家坪片区工程

项目概况:王家坪片区处于清水塘园区的下风向,历年来受清水塘工业冶炼、化工等企业烟尘排放影响,造成区域内土壤重金属的严重污染,部分土壤重金属严重超过《土壤环境质量标准》

(GB 15618-1995)中的二级标准。该片区原大部分属于农用地,由于重金属污染严重已经无法从事农业生产,并转成城市用地。依据株洲市城市规划,王家坪片区属于天元区的重要武广客运片区的重要组成部分,规划建设,拥有完善配套、高品质环境和地区文化的新型城市化复合地区。为保障污染土地再开发利用后未来人体的健康及预防二次环境污染,在其开发利用前需要进行综合治理以消除环境隐患。

作者简介:何清凤,女,助理工程师,2015年毕业于天津大学化学工程专业,现就职于中航长沙设计研究院有限公司设备总成事业部。

(2) 衡阳市原锰制品厂废渣综合治理工程

项目概况：衡阳锰制品厂隶属冶金工业总公司，企业于2002年破产倒闭。企业长期的电解锰生产过程中遗留了大量的成分复杂的锰渣，这些锰渣几乎没有采取任何措施，简单堆置于企业厂区的低洼地带。含锰废渣一直露天堆放，挡渣坝、雨水导流渠年久失修也堵塞不通，严重污染环境，特别是废渣中锰的浸出浓度很高，给厂区及厂区周边居民生活造成了严重危害。根据《衡阳市城市规划》，锰制品厂及以南区域将重点改造置换老工业，形成以居住、商业服务、市场等功能为主的城区。因此，需要进行重金属污染治理，以保障区域的土地开发利用安全。

(3) 衡山县岭坡乡原金矿土壤污染治理项目

项目概况：上世纪90年代，衡山县采用土法炼金盛行。当地居民到处开采金矿，并就地冶炼，产生的尾砂、废渣临时堆放并分散各处，后来被政府强行关闭冶炼场所后，仅对废渣以黄土简易覆盖，但无任何防雨防渗措施，无围堰，无排水沟，无截留沟。大量的历史遗留尾砂、废渣随意堆放，常年露天曝晒雨淋，部分重金属等以可溶态污染物随着雨水进入土壤造成污染，随后污染地表和地下水；大量的农田和周边土壤因为重金属污染无法有效利用。根据湖南省衡山县土地利用总体规划（2006—2020年），需对衡山县岭坡乡原金矿土壤污染进行治理，改善和保护人们赖以生存的自然环境，恢复区域生态平衡。

(4) 某公司搬迁场地治理修复（即将进行）

项目概况：为企业长远发展，公司决定对整厂进行搬迁异地重建。搬迁原厂址涉及面积约为249.19万m²，其中试飞区152万m²，生产区95.95万m²，制氧站1.24万m²，搬迁后原场地改为商业用地。为了解土壤多年使用状况，判断土壤及地下水是否受到污染以及污染类型、程度和范围，需要对场地进行环境调查及风险分析，并以此为依据进行场地修复。

现就一年来本部门在进行此类项目中积累的技术材料进行总结梳理，提炼出重金属污染场地治理修复的技术要点，以期今后的项目提供参考。

2 污染场地修复治理技术路线

污染场地治理修复包括场地环境调查、风险

评估、修复设计、修复工程实施等一系列工作，其工作流程为通过调查确定污染因子、污染程度，并结合污染场地的规划用途确定修复目标划定修复红线，同时根据调查结果选择适用的修复技术进行修复，修复后进行环境监测以确保修复的有效性。修复治理路线见图1。

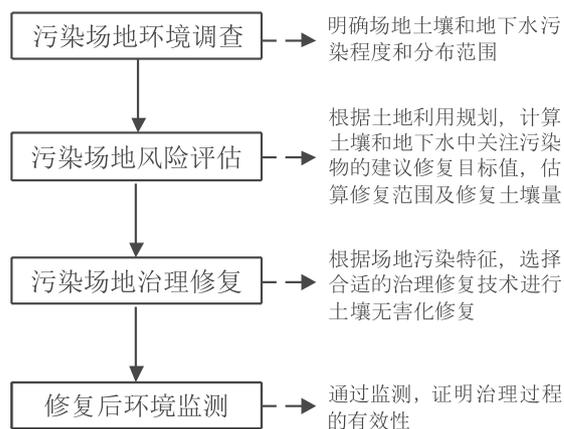


图1 污染场地土壤治理修复技术路线

3 场地污染治理修复实施

3.1 污染场地环境调查

污染场地环境调查工作是其他所有工作的根基。犹如建设高楼一般，如果根基没打扎实，修修补补会大大增加大楼的建设成本。污染场地调查设计多和学科的合作和交叉，如环境工程、水文地质学、环境化学等。水文地质调查是场地调查的重要内容之一，水文地质条件不仅影响污染物在场地中的迁移和转换，更是选择修复工艺的重要因素之一。污染场地调查工作程序见图2。

场地调查依据包括：

《场地环境调查技术导则》（HJ25.1—2014）；

《场地环境监测技术导则》（HJ25.2—2014）；

《土壤环境监测技术规范》（HJ/T166—2004）；

《地下水环境监测技术规范》（HJ/T164—2004）。

3.2 污染场地风险评估

风险评估工作的主要目的是筛选污染物，即将超过目标风险的污染物定为需要修复的污染物，并进一步确定污染物的修复目标和修复范围。每个污染场地的污染特征、水文地质条件和未来规划等

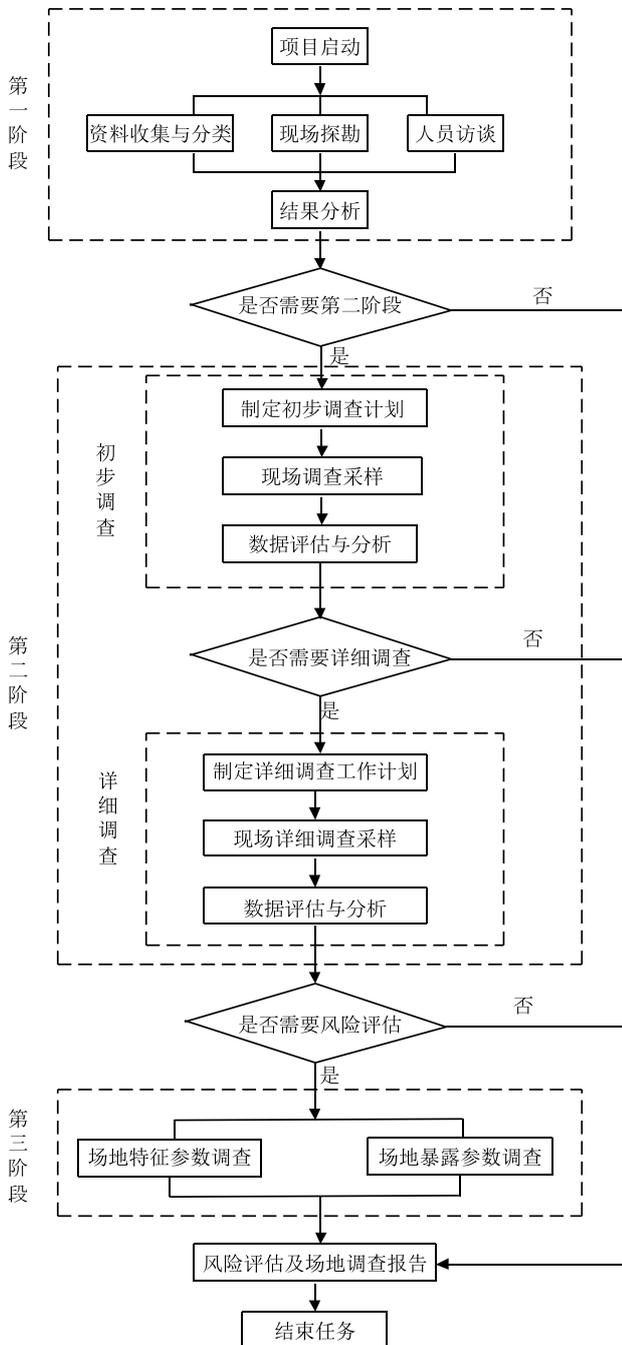


图2 污染场地环境调查工作程序

都具有特异性，风险评估应充分结合场地的实际情况，更好地为场地后期使用功能服务。将风险评估工作和场地后期的规划结合起来，既能达到有效控制环境风险的目的，又能降低修复成本。如衡阳某重金属污染场地占地面积 3.23km^2 ，纵向污染深度 0.5m ，如果对全部土壤进行修复，则修复土方量达 161.5万m^3 ，预计修复费用高达5亿元，远远超出修复单位的经济承受能力，不具有经济可行性。但

是经过调查整块区域的污染是不均一的，只有其中5个区域经过风险评估于划定为风险不可接受的污染区域，需要进行土壤修复。这五个区域的修复土壤量为 15.8万m^3 ，修复费用预计为8000万，通过场地调查和风险评估大大增加了修复的精度，减少了不必要的浪费。风险评估流程见图3。

污染土壤质量评价有关的标准如下：

《污染场地风险评估技术导则》(HJ25.3-2014)；

《场地土壤环境风险评价筛选值》(DB/T811-2011)；

《展览会用地土壤环境质量评价标准》(HJ350-2007)；

《土壤环境质量标准》(GB15618-1995)；

《场地环境评价导则》(DB11/T 656-2009)；

《地下水质量标准》(GB/T 14848-93)。

3.3 污染场地治理修复技术

重金属污染土壤修复的技术原理可概括为：一是以降低污染的环境风险为目的，即使土壤中的重金属污染物由可交换态向稳定形态转变，或改变其与土壤的结合方式，从而降低其在环境中的可迁移性与生物有效性；二是削减土壤中重金属污染物总量，即通过人为处理将重金属污染物从土壤中去，以降低其在土壤中的总浓度。基于这两种基本原理，可以从物理、化学、生物和生态4个角度对土壤重金属污染问题进行治理。

3.3.1 物理修复

(1) 工程修复

治理重金属污染土壤的常规工程修复技术主要包括客土、换土和深耕翻土等措施。通过客土、换土和深耕翻土与污土混合，可以降低土壤中重金属的含量，减少重金属对土壤-植物系统产生的毒害，降低重金属元素进入食物链的量，从而使农产品达到食品卫生标准。深耕翻土一般用于轻度污染的土壤，而客土和换土则是用于重污染区的常见方法，在这方面日本和许多国家取得了成功的经验。

工程修复是比较经典的土壤重金属污染治理措施，它具有彻底、稳定的优点，但实施工程量大、投资费用高，措施不当时会破坏土体结构，导致土壤肥力下降。换出的污土还需妥善堆放处置，防止二次污染，其相应增大工程的投资与运行成本。

(2) 电动修复

电动修复的原理是通过电流的作用，在电场

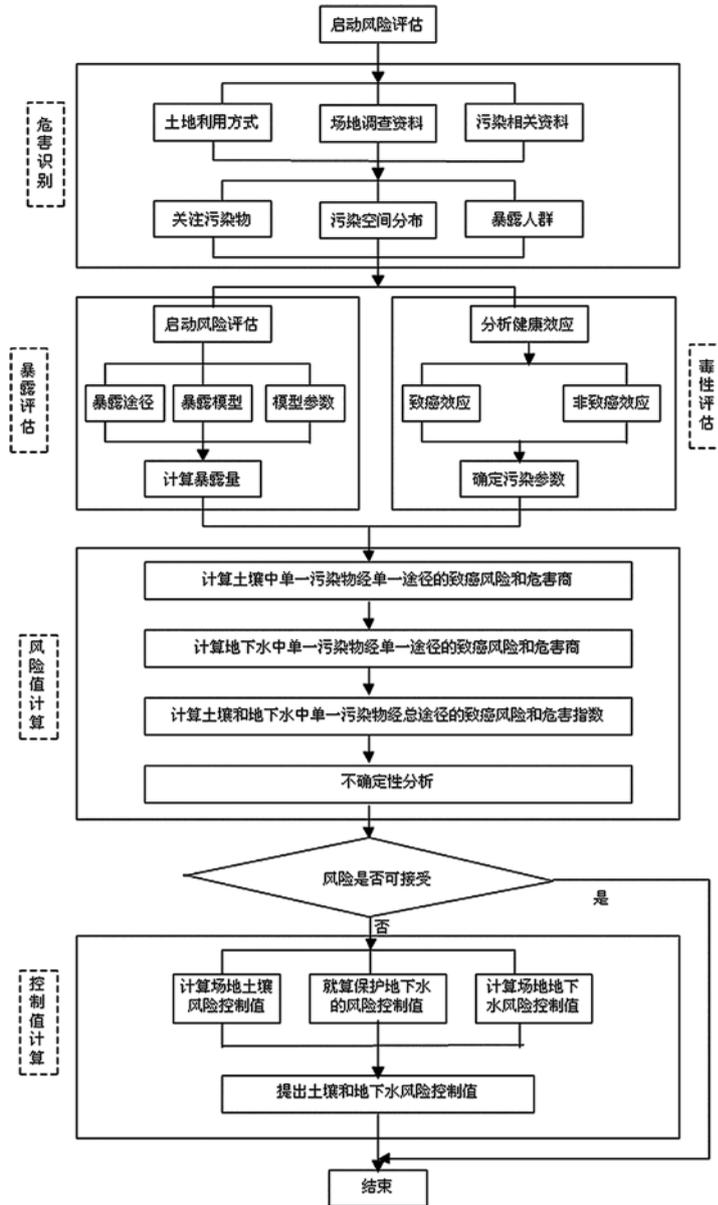


图3 污染场地风险评估工作程序

的作用下，土壤中的重金属离子（如Pb、Cd、Zn等）和无机离子以电透渗和电迁移的方式向电极运输，然后进行集中收集处理。研究发现，土壤pH、缓冲性能、土壤组分及污染金属种类会影响修复的效果。

该方法特别适合于低渗透的粘土和淤泥土，可以控制污染物的流动方向。在沙土上的实验结果表明，土壤中 Pb^{2+} 、 Cd^{3+} 等重金属离子的除去率也可达90%以上。电动修复是一种原位修复技术，不搅动土层，并可以缩短修复时间，对于小面积特殊的区域，是一种经济可行的修复技术，但用于大面积污染治理时，建设成本和能耗均较大。

(3) 电热修复

电热修复的原理是利用高频电压产生电磁波，产生热能，对土壤进行加热，使污染物从土壤颗粒内解吸出来，加快一些易挥发性重金属从土壤中分离，从而达到修复的目的。该技术可以修复被Hg和Se等重金属污染的土壤。另外可以把重金属污染区土壤置于高温高压下，形成玻璃态物质，从而达到从根本上消除土壤重金属污染的目的。电热修复技术仅适用于易挥发性重金属元素污染的治理，其应用具有一定的局限性，而且运行成本也较高。

3.3.2 化学修复

(1) 土壤淋洗

土壤固持金属的机制可分为两大类：一是以离子态吸附在土壤组分的表面；二是形成金属化合物的沉淀。土壤淋洗是利用淋洗液把土壤固相中的重金属转移到土壤液相中去，再把富含重金属的废水进一步回收处理的土壤修复方法。该方法的技术关键是寻找一种既能提取各种形态的重金属，又不破坏土壤结构的淋洗液。目前，用于淋洗土壤的淋洗液较多，包括有机或无机酸、碱、盐和螯合剂。国内研究发现EDTA可明显降低土壤对铜的吸收率，吸收率与解吸率与加入的EDTA量的对数呈显著负相关。土壤淋洗以柱淋洗或堆积淋洗更为实际和经济，这对该修复技术的商业化具有一定的促进作用。土壤淋洗技术应用尚存在进一步改进和完善的问题，其关键是如何提高淋洗效率和降低成本。

(2) 化学稳定化

稳定化固化技术是通过施用化学钝化剂等来降低土壤污染物的水溶性、扩散性和生物有效性，从而降低它们进入植物体、微生物体和水体的能力，减轻对生态系统的危害。一般来说，在镉、铜污染土壤中，施用石灰性物质，可提高土壤pH，使重金属生成氢氧化化学沉淀，降低其在土壤中的活性，减少作物对重金属的吸收。因此，对于受重金属污染的酸性土壤，施用石灰、高炉渣、矿渣、粉煤灰等碱性物质，或配施钙镁磷肥、硅肥等碱性肥料，能降低重金属的溶解度，从而可有效地减少重金属对土壤的不良影响，降低植物体的重金属浓度。同时也可以向土壤中施用腐殖酸类肥料、有机肥料、氧化剂/还原剂等，都可以降低污染物的毒性。随着对土壤治理低成本技术的广泛需求，低成本稳定化固化技术得到了快速的发展

(3) 可渗透反应墙技术

该技术是当前在欧美等许多国家新兴起来的用于原位去除地下水及土壤中污染组分的方法。可渗透反应墙主要由透水的反应介质组成，它通常置于地下水污染羽状体的下游，与地下水流相垂直。污染物去除机理包括生物和非生物两种，被污染的地下水在自身水力梯度作用下通过可渗透反应墙时，产生沉淀、吸附、氧化还原和生物降解反应，使水中污染物能够得以去除。

在我国，可渗透反应墙技术仍处于实验阶段。与其他技术相比，PRB技术具有能持续原位处理多种污染物（如重金属、有机物等）、处理效果好、安装施工方便、性价比较高等优点。可渗透反应墙技术主要用以去除地下水污染物，其在重金属

污染土壤治理中仍具有一定的局限性。

3.3.3 生物修复

(1) 植物提取

利用重金属积累植物或超积累植物将土壤中的重金属提取出来，富集并搬运到植物根部可收割部分和植物地上的枝条部位，随后收割地上部并进行集中处理，连续种植该植物，达到降低或去除土壤重金属污染的目的。这些植物有两大类：超积累植物和诱导的积累植物。前者是指一些具有很强的吸收重金属并运输到地上部积累能力的植物；后者则是指一些不具有超积累特性但通过一些过程可以诱导出超量积累能力的植物。

目前已发现有700多种超积累重金属植物，其中具有高生物量的可用于诱导植物提取的植物有印度芥菜、玉米和向日葵等。遏蓝菜属是一种已被鉴定的Zn和Cd超积累植物，蜈蚣草被发现对As具有超富集吸收能力，东南景天对Zn具有超富集能力，宝山堇菜对Cd有超富集能力，苎麻对Hg有超富集能力，商路对Mn有超富集能力。

(2) 植物稳定

利用重金属耐性植物降低重金属的活性，从而减少重金属被淋滤到地下水或通过空气载体扩散进一步污染环境的可能性。植物稳定修复的作用主要有两方面：一是通过根部累积、沉淀、转化重金属，或通过根表面吸附作用固定重金属。二是保护污染土壤不受风蚀、水蚀，减少重金属渗漏污染地下水和向四周迁移污染周围环境。重金属在土壤中可与有机物如木质素、腐殖质等结合，或在含铁氢氧化物或铁氧化物表面形成重金属沉淀及多价螯合物，从而降低了重金属的可移动性和生物有效性。稳定修复植物一般具有两个特征：一是能在高含量重金属污染土壤上生长；二是根系及分泌物能够吸附、沉淀或还原重金属。

植物稳定修复并没有从土壤中将重金属去除，只是暂时将其固定，在减少污染土壤中重金属向四周扩散的同时，也减少其对土壤中生物的伤害。但如果环境条件发生变化，重金属的可利用性可能又会发生变化，因而，没有彻底解决重金属污染问题。重金属污染土壤的植物稳定修复是一项正在发展中的技术，若与原位化学钝化技术相结合可能会显示出更大的应用潜力。

(3) 微生物修复

主要是指利用微生物自身特性与重金属发生一系列的反应过程来影响重金属的生物有效性，从

表1 重金属污染场地治理修复技术比选

技术类别	技术名称	优势	劣势	技术成熟度
物理治理	工程治理	工艺流程简单, 可操作性强, 治理效果稳定, 治理场地可作为建设或绿化用地。	未从根本上减少重金属的含量, 仅将土壤中重金属浓度稀释或置换, 污染同样存在。换出的污土还需妥善堆放处置, 防止二次污染。	在国外有案例, 国内少有。
	电动修复	不必向土壤中加入有害环境的物质; 费用比较经济且处理彻底; 不需挖掘而直接处理土壤; 修复时间短; 试剂用量少、安装方便、能耗低和修复彻底。	阴阳两极附近土壤pH变化过大; 两极产生水位差; 重金属离子可能下渗至深层土壤。	在国内仅有少量试探研究。
	电热修复	可进行原位电热毯修复和异位水泥窑加热修复, 但多针对易挥发总金属, 比如汞; 有机污染也可采用。	对土壤结构和土壤肥力破坏严重, 只适合挥发性重金属土壤治理。	在汞或其他有机污染土壤修复工程中应用较多。
化学修复	土壤淋洗	工艺流程原理简单, 治理效果稳定, 可操作性强, 能有效地治理修复重污染的土壤。	重金属污染物被洗出, 但土壤基质改变较大; 工程量较大。	在国内有部分研究, 主要是淋洗剂技术不够成熟。
	化学稳定化	工艺简单, 可操作性强, 经济可行, 处理周期短。	对重金属活度和土壤结构有影响。	国内外有较多工程应用, 技术成熟。
	可渗透反应墙	对土壤环境无不良影响, 施工流程简单, 可富集重金属, 净化地下水。	建设成本较高, 地下水季节性变化影响处理效果。不采用淋洗对土壤修复无直接效果。	在国外有较多应用研究, 国内较少。
生物修复	植物修复	成本低廉, 经济可行; 利用周边环境恢复; 对土壤结构和土壤肥料无伤害。	治理周期漫长, 后期植物收集、处理工艺较为复杂, 维护管理周期长。	国内有较多研究, 但大多针对某种重金属污染。
	微生物修复	可有效去除土壤重金属污染, 对土壤环境影响较小。	工艺流程复杂, 可操作性差。	由于技术手段的限制, 仅局限于科研和实验室水平。
生态修复	农业生态修复	耗能低, 效果好, 易于操作, 同时不易产生二次污染, 能达到对污染土壤永久清洁的目的, 又适于大面积土壤修复。	仅适用于中轻度污染土壤, 但也会因其修复时间较长、效率不高而受到限制。	国内外污染农田修复技术研究的热点方向。

而降低土壤中重金属的毒性。微生物对重金属的各种作用主要包括吸附/解吸、氧化/还原、甲基化/去甲基化、沉淀/溶解等作用。如某些自养细菌如硫—铁杆菌类、假单孢杆菌能使 As^{3+} 氧化, 使亚砷酸盐氧化成砷酸盐, 从而降低As的转移和毒性; 还有些微生物能够把剧毒的甲基汞降解为毒性小、可挥发的单质Hg。但目前由于技术手段的限制, 微生物修复土壤重金属污染仅局限于科研和实验室水平。

3.3.4 农业生态修复

农业生态修复, 主要是从土壤、作物、管理等方面减轻重金属对土壤的危害, 主要包括调控土壤化学环境(包括土壤水分含量、pH值、氧化还原电位等)、调整作物品种及作物布局、改变耕作措施和土地利用方式、增施有机肥(堆肥、厩肥、植物秸秆等)、控施化肥等措施。这种方法的优点主要体现在投资少、无副作用等方面, 适用于中轻度污染土壤, 但也会因其修复时间较长、效率不高而受到限

制。重金属污染场地治理修复技术比选见表1。

3.4 化学稳定化修复技术工程应用

化学稳定化技术是重金属污染土壤修复技术的主流技术，其核心是供试稳定化药剂通过与污染土壤中以不稳定的形式存在的重金属离子发生矿化反应，生成多种重金属的矿石晶体，也就是将重金属转化为其在自然界存在形式中的最稳定的化合物，反应生成的多种矿石晶体在自然界普遍存在，如磷氯矿石（对应Pb）、臭葱石（对应As）、硫镉矿（对应Cd）等，对土壤结构特性、肥力影响较小。

利用化学稳定化技术进行重金属污染土壤法修复，具有如下特点：

(1) 有效性：可以有效修复土壤中的单一、复合型重金属污染，而且由于其独特的稳定化效果，土壤pH值适用范围宽，在环境pH=2~13的范围都可以使用。根据pH值的不同及有害重金属的浓度差异，适当调整药剂配比和稳定化药剂的添加比例，都能达到良好的修复效果。

(2) 长期性：可以使重金属离子生成能长期稳定存在的矿石型化合物，因此即使长时间在酸性环境下，也不会重新释放出重金属离子，保证修复效果稳定性和长久性。

(3) 高效性：与常规的稳定化/固化技术需要一定时间反应及养护不同，固化稳定剂在与污染土壤混合过程中能与重金属离子快速发生矿化反应，养护时间3~5天，大大缩短了工程实施时间，并采用专用施工设备，可短时间大面积修复污染土壤，根据修复场地的不同，每小时的污染土壤处理量可达400~500吨。

(4) 实用性：可以原位修复污染土壤，通过专用土壤修复设备，一体化完成污染土壤的破碎、药剂混合等处理工艺，因而场地占用少，相比土壤淋洗、高温玻璃化、电动分离法及常规稳定化重金属污染修复技术，化学稳定化技术经济性、实用性更佳。

(5) 安全性：固化稳定化药剂无毒、无害，不造成二次污染。稳定剂本身成分不具有重金属或其他危险化学物质，相比于其他处理技术所用药剂，供试药剂安全性更好。在施用该药剂的土壤上种植的作物，其正常生长不受影响。

3.4.1 原位稳定化修复技术的工程应用

1、污染土壤原位修复工艺流程

(1) 土地翻刨，破碎、均质，取样测重金属

基线值，pH；

(2) 投撒稳定化药剂（前期小试试验确定稳定化药剂最佳投加比例）；

(3) 反复翻耕均匀；

(4) 补水，覆膜养护；

(5) 一周后测试修复效果，使用《固体废物浸出毒性浸出方法硫酸硝酸法》（HJ/T299—2007）对稳定化后土壤进行浸出测试实验；

(6) 筛选和利用稳定修复植物品种，利用生物措施对重金属进行进一步原位钝化，彻底消除原污染场地对环境的威胁，确保原场地再次开发利用的用地安全。污染土壤原位修复工艺流程见图4。

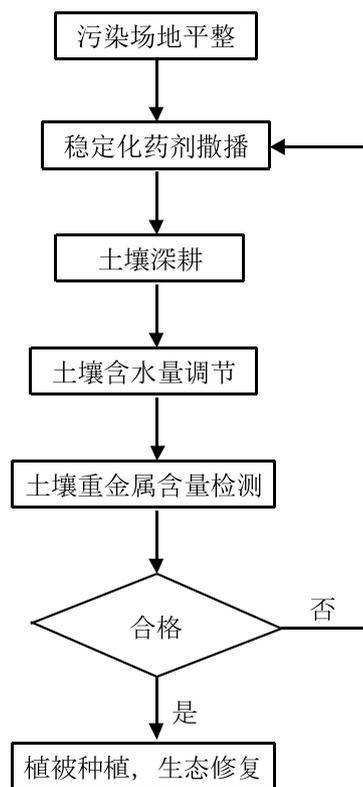


图4 污染土壤原位修复工艺流程

2、工程施工主要设备

污染土壤原位修复工程主要设备见表2。

3.4.2 异位稳定化修复技术的工程应用

1、污染土壤异位稳定化修复工艺流程

(1) 土壤挖掘、移位：根据被污染土地地势现状，拟采用挖掘机挖掘土壤，推土机配合将污染土壤装车，运输到项目范围内土壤待处理区，随挖掘随检测，保障表层被污染土壤全部移位。

(2) 土壤筛分、破碎：用装载机将污染土壤

表2 污染土壤原位修复工程主要设备一览表

序号	设备名称	用途
1	破碎抖筛	与挖机配合使用，土壤与药剂混合
2	挖机	土壤挖掘，场地平整
3	运输车	运输稳定化药剂及植物
4	叉车	装卸稳定化药剂
5	高压水泵	养护浇水

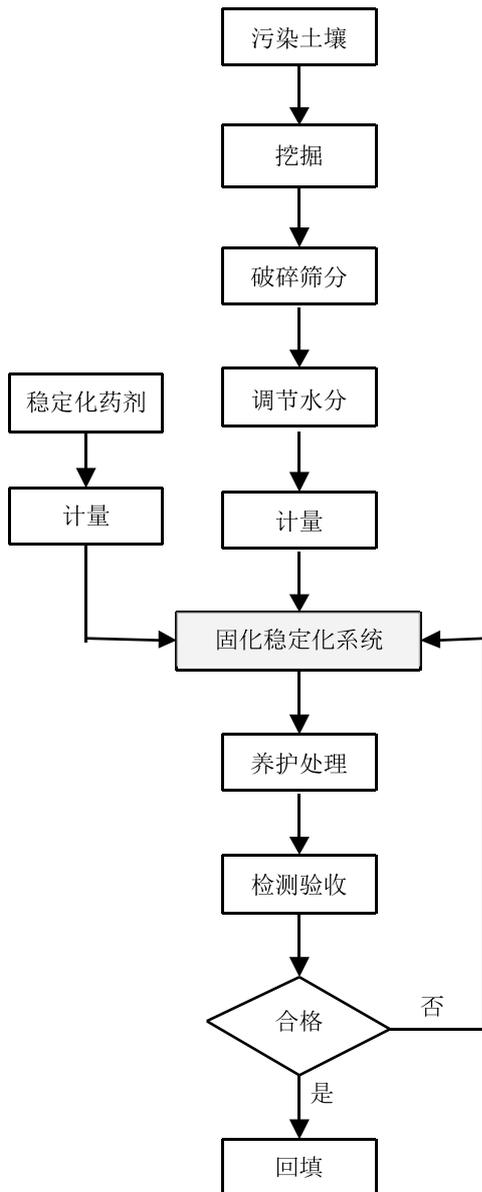


图5 污染土壤异位修复工艺流程

运往筛分仓，仓下由带式输送机运往筛分间，筛分机筛上的石块、鹅卵石分拣收集，筛下产品由带式输送机运往破碎间，用破碎机破碎土块，经破碎机将土壤破碎成合格粒径，然后进入土壤稳定化处理区。

(3) 污染土壤重金属化学稳定化：筛分、破碎后的土壤由带式输送机运往稳定化处理系统，从搅拌机顶部的加料斗加入化学稳定剂以及喷洒水，使土壤与稳定剂和水充分混合。

(4) 土壤养护：混合均匀的土壤，由卡车送至土壤养护区，进行养护，养护周期为5天左右，养护时应做好防护措施，避免被雨水淋洗。

(5) 稳定化验收：经过养护后需分批次进行固化稳定化处理效果验收，每处理100m³（或根据实际处理量作适当的调整）采集样品进行浸出毒性试验检测，达到预期修复目标后进行最终处置，否则，需重新进行处理。

(6) 修复后土壤处置：达到既定治理目标后土壤用自卸车运回原地，进行回填，用推土机平整土地，待开发利用。

污染土壤异位修复工艺流程见图5。

2、工程施工主要设备

污染土壤异位修复工程主要设备见表3。

表3 污染土壤异位修复工程主要设备一览表

序号	名称	用途
1	异位稳定化处理设备	异位稳定化
2	挖掘机	土壤挖掘、平整
3	装载机	供料、土壤回填
4	振动筛分设备	土壤筛分
5	自卸载重车	土壤运输
6	洒水设备	调节土壤水分

3.4.3 关键工艺参数确定

稳定剂配方和添加量是该技术的关键工艺参数，不仅直接影响稳定化处理效果，同时对项目投资有重要影响。稳定剂配方和添加量受土壤性质（如pH）、污染物含量、以及处理效果（验收标准）等关键因素影响。因此必须结合项目要求，对该技术开展技术测试，以确认药剂添加比例、药剂

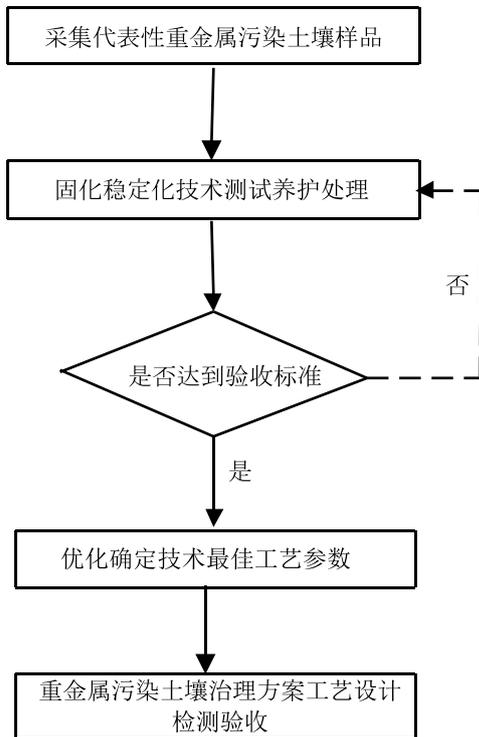


图6 稳定化技术测试程序

配比、养护时间等工艺参数，并将测试结果作为土壤污染治理方案中工艺参数确定的主要依据。稳定化技术测试程序见图6。

稳定化试验主要包括如下程序：

(1) 样品初始特性分析——分析污染土壤样品的实验室检测数据（超标重金属种类、浓度、浸出毒性、pH值等），确定关注污染物以及选用最佳的稳定化药剂配方；

(2) 稳定化修复试验——根据污染土地性质、污染类型、污染程度、修复后土地用途及修复标准等，初步确定药剂的配方，并进行添加不同稳定剂比例的对比试验，确定合理的药剂添加量。

3.4.4 土壤稳定化修复设备选择

根据土壤修复技术的处理办法，土壤修复设备主要有土壤的破碎筛分设备，土壤的药剂混合设备。两者是整个处理工艺中的核心设备，设备的选择直接影响到最终的治理效果。

1、土壤破碎筛分设备—ALLU设备介绍

芬兰ALLU公司是一家专注于固废处理近30年的专业技术公司，ALLU公司发明的筛分破碎铲斗、大型特种抛翻机是处理不同固体废弃物的专业技术设备，在欧美市场已成功应用几十年，行业内统称为ALLU设备。该设备自2004年进入中国以

来，已经在生活垃圾处理、建筑垃圾处理、污染土壤处理、城市污水厂污泥处置和湖泊淤泥治理等固废处理领域广泛应用，更参与了北京奥运会前市内大型250万 m^3 垃圾山处理工程，上海世博会拆迁区建筑垃圾零排放工程，上海虹桥枢纽26 km^2 拆迁垃圾原地资源化利用工程，北京化二工厂搬迁后土壤修复工程等大型项目，获得甲方、施工方、监理方、地方政府等多方好评。

ALLU筛分破碎铲斗是芬兰ALLU公司于上世纪80年代发明的全球专利产品，可以和通用装载机和挖掘机连接使用，简单方便可移动，将过去工序复杂的固废筛分破碎工作简化为一步内完成，现场便捷实现固废的筛分、破碎、混合、搅拌等作业。在工程应用中，每台设备的日处理能力（8小时）达到100~200方。设备处理高效，简易适用，便于维修，操作简便，非常适用于固体废物及土壤的快速简捷处理。ALLU设备破碎筛分施工现场照片见图7。



图7 ALLU设备破碎筛分施工现场照片

2、异位土壤修复一体机介绍

土壤修复处理过程中，保证土壤与样品的充分混合是治理过程中的难点，土壤修复一体机是近期在土壤修复领域研发应用的专业土壤修复设备，

表4 污染土壤回顾性评估监测一览表

序号	类别	监控指标	采样点	监测频次
1	地表水	目标污染物浓度	场地周边地表水体	1次/天, 连续2天
2	地下水	目标污染物浓度及地下水水位	场地内部采样及周边	验收后每季度一次
3	土壤	目标污染物含量	场地内部	验收后每年一次
4	生态	绿化植物的生长情况		

该一体化设备能实现土壤破碎、加药、混合、搅拌等一系统的功能, 特别适用粘土混合, 是修复工程有效实施的有力保障。

该土壤修复一体机采用了能瞬间疏松并完美混合的切土刀+三轴旋转破碎锤的工艺, 能很好地解决土壤修复过程中土壤的破碎难题。同时, 该设备通过螺杆定量投加药剂, 并随土壤在三次破碎中实现药剂与土壤的定量混合。土壤修复一体化设备现场施工图见图8。



图8 土壤修复一体化设备现场施工图

3.5 修复后环境监测

经过治理修复工程验收后, 在特定的时间范围内, 为评价治理修复后场地对地下水、地表水及环境空气的环境影响所进行的监测, 同时也包括针对场地治理修复工程措施的效果开展验证性的监

测, 监测计划见表4。

4 工程实施中的重点难点

4.1 重视前期调研, 分区、分级、分类治理

对于重金属污染场地的修复, 首先需要重点回答的问题是: 土壤污染物定量化量值与真实污染程度定性化的判别问题, 回答什么程度污染必须修复治理。因此, 场地环境调查和风险评估是场地土壤修复治理的关键一环。若对于场地中的土壤, 不加分别全部采用药剂稳定化等关键技术进行治理, 不仅工程量是巨大的, 造成项目投资额将非常可观。而且, 这种一刀切的做法会造成部分土壤被过度修复, 改变了土壤的原有生态, 是一种资源的浪费。通过场地环境调查和风险评估对场区污染土壤进行分区、分级, 确定场地土壤治理修复目标值, 重金属含量超过该目标值的土壤先选用化学药剂进行异位稳定化处理及填埋处置。对于中轻度污染土壤, 可采用化学药剂进行钝化并组合植物修复或者农艺生态修复等一般性措施进行修复。

4.2 污染土壤修复材料与植物的筛选

治理土壤重金属污染工程实施中首先确定修复材料的种类、配方和用量, 即工程化相关参数, 其直接关系到工程的主要费用和治理目标的实现效果。各个污染场地土壤重金属污染具有特异性, 不能一概而论, 在进行工程参数选择时, 需要针对特定的项目进行技术测试, 以获得最佳修复材料种类、配方和用量。如采用植物修复法, 重金属污染土壤修复植物种类多样, 理想的植物应具有大生物量、可富集重金属、安全利用等特。同时综合污染区重金属污染的类型和气候特点, 经多次对比试验, 最终筛选确定修复植物。

《航空工程建设》2017年第1~6期文章索引

2017年第1期 总第129期 目录

- 02 设施规划推进航空工业智能工厂建设
杨 骥 陆国杰 卜国磊 张立峰 张 超 孙元亮
- 09 通用航空产业创新发展路径浅述 徐学民
- 11 航空发动机燃气涡轮试验特殊工艺需求对专业设计的影响
刘炳伟 门艳杰 陈宣任 高福山
- 16 基于粒子群算法和仿真分析的飞机移动装配线平衡研究 张 超 李 慧
- 22 钢筋混凝土结构中受扭预埋件受力特点研究 贾 洁 王 军
- 28 洁净厂房夹层电击防护措施应用 刘叶语
- 32 建筑工程造价控制现状及问题分析 郝利平
- 35 基于指标规范变换TOPSIS法的地表水环境质量评价 问国强
- 40 全热冷凝热回收空调系统优化研究 邹立成 潘 茜 张晓莉 孙世川
- 45 论安全防范工程的建设构思与需要注意的问题 赵 芃
- 49 投放水道在发射车高速运行下的动力响应分析 宋晓璐 裴永忠
- 54 高温循环风机在铝合金热处理设备中的应用 崔清链
- 60 论网络硬盘在项目管理中的应用 董鹏鸣 谢启良

2017年第2期 总第130期 目录

- 02 WBS-RBS在飞机固定资产投资项目风险分析中的应用 赵 娜 余 璐
- 04 大都市卫星城通航产业功能及其定位研究
——以启东市江海产业园通航基地规划为例 岳 南
- 09 变加速度微重力落管实验方案工艺设计 徐雨生 端木兵雷 张明哲
- 17 细胞毒性抗肿瘤药物无菌冻干制剂车间工艺设计特点分析 李 红 杨 勇 张瑞超
- 20 血液制品生产厂房设计特点 杨 勇 董秀芳 邢志涛

26	高烈度区框架—双筒结构连接楼板应力分析	王毅	冯知夏	王倩	孙占军
30	养老地产建筑智能化设计研究分析			吴迪	赵芑
33	提高工程设计概算编制质量方法探讨				王旭
35	BIM技术在工程造价管理中的应用研究				陈文昭
37	典型空压机余热回收分析及应用			王博	赵洁
42	海绵城市建设中需要注意的问题			张宏扬	李力军
45	常用安全阀选用与计算方法分析			于建国	安玉生
48	LED照明在试车台厂房中的应用			王舒	王宏伟
54	某承力地板沉降过大的加固处理	张广英	汤小军	冯知夏	王蓓
58	带夹层大跨度楼屋面框架结构设计			贾雨萌	景辉

2017年第3期 总第131期 目录

02	某民航飞机喷漆机库通风设计			梁乃正	张海桥
05	人用狂犬病疫苗生产厂房设计要点分析	杨勇	张垚	张瑞超	
08	垃圾焚烧发电厂四肢钢管格构柱柱肩节点分析研究			王群	顾强强
13	缀管布置对四肢钢管格构柱稳定性的影响分析			王海波	顾强强
18	某综合医院门诊楼通风空调系统设计要点			刘鑫	孟凡兵
23	BIM在某科研楼暖通设计中的应用			隗珊珊	孟凡兵
26	齿啮式卡箍多目标拓扑优化方法	周焕红	端木兵雷	郗方	
29	垃圾焚烧厂厂内道路交通荷载分析			薛彩翔	何晶
32	工程总承包项目招标采购实施建议			滕宇飞	朱志明
35	PPP+EPC模式下项目的风险管理分析			景浩盟	朱志明
39	电镀及阳极化生产线生产用水量计算方法的研究	张天奇	刘芳	赵洁	
44	常见电气火灾监控系统报警案例分析			周彬	丁杰
47	压缩空气系统节能方案探讨			李彬彬	杨丽莉
51	现场总线技术在数字化垃圾焚烧电厂的应用			李江	苏丹

55 新媒体传输站供配电的设计	晋明华	陈泽毅
61 垃圾焚烧发电厂火灾自动报警系统的设计	任晓滕	赵亮亮

2017年第4期 总第132期 目录

02 民用航空发动机维修厂房工艺布局的设计研究	李 凯	曾萤雪
07 航空工业热处理的现状和展望	姜煜霞	孙 黎 张 萌
09 某发射器脉动装配线设计及仿真验证	侯康伟	李 慧 张 超
15 结冰风洞及其云雾环境模拟系统分析	白鹏博	张明哲
18 疫苗中试车间工艺设计分析	杨 勇	张 垚 暴学奇
22 水痘疫苗原液生产车间工艺布局设计要点分析	李 红	杨 勇 高 灿
26 基于激光准直仪的导轨几何误差测量	王云龙	雷凯淞 孙 谊
29 谈15D502《等电位联结安装》标准图的修编	牛 犇	丁 杰
33 低压变频设备的选择及设计中需注意的问题		董俊峰
37 2013版清单计价规范下工程量偏差引起的合同价款调整研究	陈 敏	李锐娟 王玉平
43 超长无支撑雨棚解决方案及抗震简化算法	张晓彤	周 青 郭 鹏
48 国有建筑工程企业招标采购风险及管控分析		廖 洁
50 大型单体建筑空调冷冻水大温差系统的经济性分析	张晓莉	孟凡兵
55 上海地区某办公楼消防设计及施工图审查注意要点		陈 雪
61 西安地裂缝场地的结构设计	张清清	李晓璐

2017年第5期 总第133期 目录

02 桩基础架空地坪的设计研究	裴永忠	王 毅 张广英
09 机坪主要助航设备设计探讨	王 烨	袁 颖
13 航空制造业环境影响评价工程要点分析		宜 慧
17 飞艇库水消防系统方案研究	牟 昊	陈洁如
21 基于机器视觉的零件自动识别研究	张 超	李 慧

26	BaTiO ₃ /MWCTNs复合材料制备与吸波性能研究	张 萌	王 虹	王云飞
30	电泳涂装技术及工艺分析	苏如意	田 虹	张睿悦 冯梦桥
33	机械加工工艺对零件加工精度产生的影响研究		雷凯淞	余振中
35	预应力混凝土技术在某大型数据中心的应用	王敬仁	安东凯	张清清 闫 军
38	西安某跨地裂缝钢桁架连廊结构设计			
		张清清	李晓璐 申若虚	赵 伟 闫 军 张海滨
42	基于SAP2000弹性时程分析下的爆炸试验塔结构设计			
		张 宽	王 蓓 张 虎	冯知夏 李冬星
46	初步设计概算在全过程投资控制中的作用研究			王 旭
49	EPC模式下工程总承包企业招标采购管理要点分析			廖 洁
52	城市综合管廊火灾自动报警系统设计探讨			孙 静
58	节能技术在某绿色建筑中的应用	孟凡兵	安玉双	乔卫来 隗珊珊
62	锂离子电池生产厂房管线综合深化设计			熊进华 赵凯峰

2017年第6期 总第134期 目录

02	我国警用直升机机场规划研究	匡代厅	赵 林
06	流体仿真与试车台设计	苏琳博	叶 哲
14	通航产业园空间布局规划探究 ——以荆门爱飞客航空小镇为例		何志军
23	某飞机喷漆维修机库防爆通风系统节能设计探讨		谭智威
27	火灾自动报警系统组网分析		陈 勇
32	某实验平台结构构件冷桥现象处理探讨		田 赫
37	某文体中心管桁架结构设计研究	张海滨	蒋 华 李 江 金 碧
42	强夯地基处理在联东U谷·长沙望城产业中心的应用		李 春 贺桂超
49	探讨工程总承包项目费用控制		康晶晶
51	重金属污染场地土壤治理修复技术要点		何清凤 周成铭
61	《航空工程建设》2017年第1~6期文章索引		

中航长沙设计研究院有限公司

中航长沙设计研究院有限公司（原中国航空第三设计研究院）成立于1978年，是隶属于中国航空工业集团公司规划建设板块的综合甲级设计院。经过三十多年的发展，公司历经航空工业建设发展的主要过程，参与了国防科技工业等多个领域的投资规划及建设，同时顺应时代发展积极融入地方经济圈，在地方工业和民用建筑领域树立了品牌，积累了丰富的经验和优秀工程项目业绩。公司拥有一支高水平的专业人才队伍，是中国航空规划设计研究总院有限公司在固定资产领域的投资、咨询、规划、设计、勘察、建设全过程服务的专业化子公司。公司已经形成从前期的咨询规划、勘察设计、工程设计、工程总承包、设备总承包到中后期评估一条完整的产业链。中航长沙设计研究院有限公司将以更广阔的视野、更坚实的技术储备、不懈创新的精神提供更优质的服务，通过“市场化改革、专业化整合、资本化运作、国际化开拓、产业化发展”，打造国内知名、业内一流的投资咨询建设全过程服务的科技型企业。



2017年第6期（总第134期）
2017年12月出版



湖南平江石牛寨国家地质公园地质博物馆及广场项目