

# 航空工程建设

AERO-INDUSTRY ENGINEERING CONSTRUCTION

2016年第6期 总第128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

# 浙江杭州萧山国际机场国际峰会专用候机楼

**建设地点：**浙江 杭州

**设计单位：**中航规划民航院

**建设情况：**建成

**总用地面积：**4万m<sup>2</sup>

**总建筑面积：**0.4万m<sup>2</sup>

## 项目概况：

该工程是为迎接2016年9月在中国杭州举办的G20国际峰会以及2022年亚运会而专门建设，主要用于专机迎送各国领导人使用。该工程的建设成为继我公司设计的首都机场专机楼之后，由我公司完整设计（含土建、精装、陈设、字画、家具、景观、智能化、机电及室外工程等专业）的中国第二大专机重要接待门户和窗口。庄重优美舒适的环境在G20峰会期间不仅给各国领导人留下第一美好印象，同时也为随后的各项国家事务活动带来良好的潜在效应。

设计理念体现在如下方面：其一，建筑整体采用均衡对称院落式布局，室内空间和内庭院景观有无相生；沿中轴均衡展开空间序列，采用抽象简化、富有汉风唐韵的元素，古朴素雅、大气深邃，体现蕴传统于现代的诗意美；其二，点缀每幅窗楣上下的西湖十景精雕石刻，镂空石雕壁画、铜质藻井和地面形成入口层层序列空间，精致的江南风格突显杭州元素于建筑细微；其三，该工程始终秉承交通建筑简洁快速的功能特征，结合专用候机楼满足多国领导人迎送要求，充分整合特殊功能、地域文化、造型、绿色、交通等核心要素，在建筑造型和室内外空间设计上，汲取中国传统建筑技艺之美的精髓，力求做到古典精神与现代理念、中国风格与地域特色的完美结合。

## 项目特点及意义：

美丽的浙江杭州萧山国际机场专用候机楼在2016年9月3日G20峰会终于揭开它迷人的面纱，成功地完成了国家任务并获得来自机场以及世界各方的赞誉，它向全世界人民展现了一个崛起中华古老大国的国风雅韵，谱写了一首清新隽永的殿宇华章。它寄托了我们对美好中国建筑技艺共融的梦想，也是借以唤醒吾辈大国工匠自信原点的启航时刻。



## 中国航空工业建设协会举办“营改增”后工程造价、招标采购、合同管理实操要点暨新形势下工程造价“精细化”管理实务培训

11月10~11日，中国航空工业建设协会在杭州举办了“营改增”后工程造价、招标采购、合同管理实操要点暨新形势下工程造价“精细化”管理实务培训。本次培训邀请了山东科技大学工程管理系副主任、造价研究所副所长孙凌志博士授课，共有19家会员单位的49名相关人员参加了培训。

本次培训主要从增值税的基本原理与实践要点、建筑业“营改增”工程计价的依据、“营改增”对建筑业的影响、新常态下招标采购实务四个方面为内容，以实际案例与理论知识相结合，具有很强的及时性和实用性，为提升行业内工程造价精细化管理水平起到了很好地推动作用。

(中国航空工业建设协会供稿)



## 中央政治局会议传递2017年经济发展六大信号

12月9日，中央政治局会议召开会议，分析研究2017年经济工作。会议认为，2016年我国实现了“十三五”良好开局。2017年要召开党的十九大，也是实施“十三五”规划的重要一年和推进供给侧结构性改革的深化之年，做好经济工作意义重大。会议字里行间的表述，传递出2017年我国经济

发展六大重要信号：明确稳中求进工作总基调是治国理政重要原则；供给侧结构性改革步入“深化之年”；加快推进一批基础性关键性改革；大力振兴实体经济；加快研究建立房地产平稳健康发展长效机制；多举措释放扩大开放积极信号。(摘自《中国航空报》)

## 《智能制造发展规划(2016~2020年)》正式发布

12月8日，工业和信息化部、财政部联合发布了《智能制造发展规划(2016~2020年)》，作为指导“十三五”时期全国智能制造发展的纲领性文件。

《规划》明确了“十三五”期间我国智能制造发展的指导思想、目标和重点任务，将统筹国内智能制造发展，加快形成全面推进制造业智能转型的工作格局。

《规划》提出2025年前，推进智能制造实施“两步走”战略：第一步，到2020年，智能制造发展基础和支撑能力明显增强，传统制造业重点领域基本实现数字化制造，有条件、有基础的重点产业智能转型取得明显进展；第二步，到2025年，智能制造支撑体系基本建立，重点产业初步实现智能转型。(摘自“新华网”)

## 全国工业和信息化科技创新大会在京召开

11月24日，工业和信息化部在北京召开全国工业和信息化科技创新大会，旨在贯彻落实全国科技创新大会精神，深入学习习近平总书记关于科技创新的系列重要论述，总结“十二五”期间工业和信息化科技创新工作成效，部署“十三五”期间工业和信息化科技创新的工作任务和要求。会议以电视电话会议形式召开，工业和信息化部部长苗圩出席会

议并讲话，工业和信息化部副部长怀进鹏主持会议，中航工业副总经理、CIO张新国应邀在会议上代表工业企业做交流发言。

全国各省、自治区、直辖市及计划单列市工业和信息化主管部门、通信管理局、部直属有关单位、部属各高校的负责同志及科技工作主管人员在北京主会场和各地分会场参加会议。(摘自“工信部网站”)



## 住建部举办推动工程技术进步工作研讨会

日前，住房和城乡建设部工程质量安全监管司在湖南省长沙市组织召开了推动工程技术进步工作研讨会，宣传贯彻《2016~2020年建筑业信息化发展纲要》。

会议邀请中建股份有限公司、清华大学、中国建筑学会、中建钢构、中国建筑标准设计研究院等单位的有关专家，就BIM技术应用、装配式建筑发展、钢结构技术现状和开放建筑等方面做了精彩报告。湖南、浙江、江苏、上海、天津、云南、内蒙古、山东等地相关负责人就数字化审图工作进行了经验交流，并讨论和部署了推进工作。

据介绍，数字化审图工作有利于提高效率、优化管理、进一步提升勘察设计质量，是勘察设计监管工作的未来发展方向。推进数字化审图工作，要试点先行、打牢基础、以点带面、稳步前进，争取用10年左右的时间在全国范围内全面推行数字化审图。（摘自《中国建设报》）

## 住建部召开全国工程质量治理两年行动总结电视电话会议

11月21日，住房和城乡建设部召开全国工程质量治理两年行动总结电视电话会议，全面总结全国工程质量治理两年行动开展情况，研究部署下一阶段工程质量治理和建筑业改革发展工作。住房和城乡建设部副部长易军出席会议并讲话。

易军指出，全国工程质量治理两年行动推进有序，深入扎实，达到了预期目标，取得了重大成果，社会反响良好。通过两年行动，全行业质量意识得到普遍提高，违法违规行为得到有力打击，建筑业和工程质量管理体制体系更加完善。两年行动进一步强化了“百年大计、质量第一”的工程建设理念，进一步凝聚了推动建筑业改革发展的正能量，进一步坚定了全行业抓好工程质量的信心和决心，成果显著，意义重大。易军对下一步工程质量提升和建筑业改革发展工作提出具体要求：一是严格落实参建各方主体责任；二是切实提高政府监管能力；三是全面深化建筑业改革。（摘自《中国建设报》）

## 住建部简化建筑工程设计事务所资质标准指标

为落实《中共中央国务院关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》，为建筑工程设计事务所发展创造更加良好的条件，激发设计人员活力，促进建筑工程设计事务所发展，近日，住房和城乡建设部印发《关于促进建筑工程设计事务所发展有关事项的通知》（以下简称《通知》）。

《通知》对《工程设计资质标准》（建市〔2007〕86号）中建筑工程设计事务所资质标准指标进行了简化，减少了合伙企业形式设计事务所的注册人员数量，放宽了合伙企业形式设计事务所对人员年龄的限制，取消了技术装备以及管理组织结构、标准体系、质量体系、档案管理体系等指标的考核。《通知》要求，各级住房城乡建设主管部门要进一步完善建筑工程设计事务所相关配套政策，建立健全工程设计责任保险制度，促进建筑工程设计事务所健康发展。（摘自《中国建设报》）

## 住建部工程质量安全监管司召开部分地区勘察设计质量监管工作座谈会

日前，住房和城乡建设部工程质量安全监管司在江苏省南京市组织召开“部分地区勘察设计质量监管工作座谈会”。会议通报了今年开展的部分地区建筑工程勘察设计质量监督检查工作情况。江苏、重庆、辽宁、山东、福建5个省市的主管部门代表交流了勘察设计质量监管工作成效、经验做法及存在问题。会议邀请专家对《建筑工程设计文件编制深度规定（2016年版）》进行解读，对“勘察设计企业卓越绩效评价准则”课题研究成果进行了介绍。

据介绍，全国工程质量治理两年行动开展以来，各地在加强建筑工程勘察设计质量监管方面取得了卓有成效的阶段性成果。今后，将遵照中央城市工作会议精神，深入贯彻落实新时期建筑方针，不断完善施工图审查制度，以信息化手段创新质量监管方式，用准确、详实的审查数据支撑全国建筑工程诚信体系建设，进一步规范勘察行为，努力提升勘察设计质量，打造精品工程。（摘自《中国建设报》）

## 住建部印发建筑工程设计文件编制深度规定（2016年版）

近日，住建部发布建质函[2016]247号文件关于印发《建筑工程设计文件编制深度规定（2016年版）》的通知，自2017年1月1日起施行，原《建筑工程设计文件编制深度规定（2008年版）》同时废止。《建筑工程设计文件编制深度规定（2016年版）》修订的目的在于控制建筑工程设计文件在设计深度方面满足现行的相关法律法规、技术标准，尤其是绿色建筑技术、建筑节能、结构工程超限设计、建筑设备控制、专项设计等方面的法律法规、技术标准的要求，同时解决2008年版深度规定在使用过程中所反映的问题。（摘自“中国勘察设计协会网站”）

## 住建部印发《绿道规划设计导则》

为贯彻落实《中共中央国务院关于进一步加强城市规划建设管理工作的若干意见》，指导各地科学规划、设计绿道，提高绿道建设水平，发挥绿道综合功能，住房城乡建设部在总结国内外绿道建设实践经验的基础上，组织编制了《绿道规划设计导则》。导则共分7章，主要包括总则、术语、绿道功能与组成、绿道分级与分类、绿道规划设计总体要求、绿道选线、绿道要素规划设计要求等内容。（摘自《中国建设报》）

## 世行：中国PPP改革进展已是全球领袖

世界银行专家日前在国际货币基金组织与世行秋季年会期间举行的一场研讨会上称赞中国政府和社会资本合作(PPP)改革实践取得的进展，并表示愿意与中国在PPP项目方面加强合作。

世行副行长劳拉·塔克7日在“PPP改革在中国”研讨会上表示，中国在基础设施PPP方面已是全球领袖，瞄准国际良好实践，建立了非常好的政策框架，世行愿意帮助中国开展能力建设，提高项目准备、交易准备的能力与质量，管控好PPP项目风险。

中国财政部PPP中心主任焦小平表示，经过三年发

展，中国PPP改革打破垄断、释放活力的作用初显。这得益于中国在借鉴国际经验基础上，立足国情，注重加强PPP的标准化和透明度建设，并对PPP市场进行了有效扩围。PPP改革将成为中国探索新的发展路径、发展模式、打造经济发展新引擎的重要抓手。（摘自“新华网”）

## 首届世界智能制造大会在南京召开

2016年12月7日，首届世界智能制造大会在江苏省南京开幕。开幕式上，工信部副部长辛国斌作了题为“务实合作 携手推进 共同开创制造业发展新局面”的主旨演讲。辛国斌指出，当前，以新一代信息通信技术与制造业融合发展为主要特征的产业变革在全球范围内孕育兴起，对制造业生产方式、发展模式和产业生态等方面都带来重大影响，智能制造是制造业转型升级的重大趋势，也是新一轮科技革命和产业变革的核心所在。（摘自“工信部网站”）

## 民航局着力推进通用航空试点工作

为贯彻落实国务院办公厅《关于促进通用航空业发展的指导意见》，民航局通航工作领导小组第二次会议提出了“抓好试点，以点带面推进”的指导方针，积极鼓励各地区管理局结合本辖区发展特点和需求，研究上报试点项目，着力推进通用航空试点工作。

民航局要求各地区管理局严密组织，加强领导，成立试点专项推进机构，分解任务，落实责任到人，确保试点方案从“蓝图”变为现实；大胆尝试，结果导向，探索新的管理思路和管理模式；明确节点、分步实施，按照发展的内在逻辑逐步推进，先易后难，严格落实；加强沟通、争取共识，借鉴国外先进经验，用事实说话，用道理服人，力争得到广泛认可。

民航局运输司负责人介绍，下一步，民航局将加强与国家发改委、卫计委、旅游局等单位的沟通合作，陆续推进交通通勤短途运输、“通航+旅游”、航空医疗救护、适航审定、通航机场建设等试点项目落地实施。（摘自《中国航空报》）

## 智能制造发展规划（2016—2020年）

智能制造是基于新一代信息通信技术与先进制造技术深度融合，贯穿于设计、生产、管理、服务等制造活动的各个环节，具有自感知、自学习、自决策、自执行、自适应等功能的新型生产方式。加快发展智能制造，是培育我国经济增长新动能的必由之路，是抢占未来经济和科技发展制高点的战略选择，对于推动我国制造业供给侧结构性改革，打造我国制造业竞争新优势，实现制造强国具有重要战略意义。

根据《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》《中国制造2025》和《国务院关于深化制造业与互联网融合发展的指导意见》，编制本规划。

### 一、发展现状和形势

全球新一轮科技革命和产业变革加紧孕育兴起，与我国制造业转型升级形成历史性交汇。智能制造在全球范围内快速发展，已成为制造业重要发展趋势，对产业发展和分工格局带来深刻影响，推动形成新的生产方式、产业形态、商业模式。发达国家实施“再工业化”战略，不断推出发展智能制造的新举措，通过政府、行业组织、企业等协同推进，积极培育制造业未来竞争优势。

经过几十年的快速发展，我国制造业规模跃居世界第一位，建立起门类齐全、独立完整的制造体系，但与先进国家相比，大而不强的问题突出。随着我国经济发展进入新常态，经济增速换挡、结构调整阵痛、增长动能转换等相互交织，长期以来主要依靠资源要素投入、规模扩张的粗放型发展模式难以为继。加快发展智能制造，对于推进我国制造业供给侧结构性改革，培育经济增长新动能，构建新型制造体系，促进制造业向中高端迈进、实现制造强国具有重要意义。

随着新一代信息技术和制造业的深度融合，我国智能制造发展取得明显成效，以高档数控机床、工业机器人、智能仪器仪表为代表的关键技术装备取得积极进展；智能制造装备和先进工艺在重点行业不断普及，离散型行业制造装备的数字化、网络化、智能化步伐加快，流程型行业过程控制和制造执行系统全面普及，关键工艺流程数控化率大大提高；在典型行业不断探索、逐步形成了一些可复制推广的智能制造新模式，为深入推进智能制造初步奠定了一定的基础。但目前我国制造业尚处于机械化、电气化、自动化、数字化并存，不同地区、不同行业、不同企业发展不平衡的阶段。发展智能制造面临关键共性技术和核心装备受制于人，智能制造标准/软件/网络/信息安全基础薄弱，智能制造新模式成熟度不高，系统整体解决方案供给能力不足，缺乏国际性的行业巨头企业和跨界融合的智能制造人才等突出问题。相对工业发达国家，推动我国制造业智能转型，环境更为复杂，形势更为严峻，任务更加艰巨。我们必须遵循客观规律，立足国情、着眼长远，加强统筹谋划，积极应对挑战，抓住全球制造业分工调整和我国智能制造快速发展的战略机遇期，引导企业在智能制造方面走出一条具有中国特色的发展道路。

### 二、总体要求

#### （一）指导思想

深入贯彻党的十八大及十八届三中、四中、五中全会精神，牢固树立创新、协调、绿色、开放、共享的发展理念，全面落实《中国制造2025》和推进供给侧结构性改革部署，将发展智能制造作为长期坚持的战略任务，分类分层指导，分行业、分步骤持续推进，“十三五”期间同步实施数字化制造普及、智能化制造示范引领，以构建新型制造体系为目标，以实施智能制造工程为重要抓手，着力提升关键技术装备安全可控能力，着力增强基础支撑能力，着力提升集成应用水平，着力探索培育新模式，着力营造良好发展环境，为培育经济增长新动能、打造我国制造业竞争新优势、建设制造强国奠定扎实的基础。

#### （二）基本原则

坚持市场主导、政府引导。充分发挥市场在配置资源中的决定性作用，强化企业市场主体地位，以需求为导向，激发企业推进智能制造的内生动力。发挥政府在规划布局、政策引导等方面的积极作用，形成公平市场竞争的发展环境。

坚持创新驱动、开放合作。建立健全创新体系，推进产学研用协同创新，激发企业创新创业活力，加强智能制造技术、装备与模式的创新突破。坚持互利共赢，扩大对外开放，加强在标准制定、人才培养、知识产权等方面国际交流合作。

坚持统筹规划、系统推进。统筹整合优势资源，加强顶层设计，调动各方积极性，协调推进。针对制造业薄弱与关键环节，系统部署关键技术装备创新、试点示范、标准化、工业互联网建设等系列举措，推进智能制造发展。

坚持遵循规律、分类施策。立足国情，准确把握智能制造的发展规律，因势利导，引导行业循序渐进推进智能化。针对不同地区、行业、企业发展基础、阶段和水平差异，加强分类施策、分层指导，加快推动传统行业改造、重点领域升级、制造业转型。

### （三）发展目标

2025年前，推进智能制造发展实施“两步走”战略：第一步，到2020年，智能制造发展基础和支撑能力明显增强，传统制造业重点领域基本实现数字化制造，有条件、有基础的重点产业智能转型取得明显进展；第二步，到2025年，智能制造支撑体系基本建立，重点产业初步实现智能转型。

2020年的具体目标：

——智能制造技术与装备实现突破。研发一批智能制造关键技术装备，具备较强的竞争力，国内市场满足率超过50%。突破一批智能制造关键共性技术。核心支撑软件国内市场满足率超过30%。

——发展基础明显增强。智能制造标准体系基本完善，制（修）订智能制造标准200项以上，面向制造业的工业互联网及信息安全保障系统初步建立。

——智能制造生态体系初步形成。培育40个以上主营业务收入超过10亿元、具有较强竞争力的系统解决方案供应商，智能制造人才队伍基本建立。

——重点领域发展成效显著。制造业重点领域企业数字化研发设计工具普及率超过70%，关键工序数控化率超过50%，数字化车间/智能工厂普及率超过20%，运营成本、产品研制周期和产品不良品率大幅度降低。

## 三、重点任务

### （一）加快智能制造装备发展

聚焦感知、控制、决策、执行等核心关键环节，推进产学研用联合创新，攻克关键技术装备，提高质量和可靠性。面向《中国制造2025》十大重点领域，推进智能制造关键技术装备、核心支撑软件、工业互联网等系统集成应用，以系统解决方案供应商、装备制造与用户联合的模式，集成开发一批重大成套装备，推进工程应用和产业化。推动新一代信息通信技术在装备（产品）中的融合应用，促进智能网联汽车、服务机器人等产品研发、设计和产业化。

#### 专栏1 智能制造装备创新发展重点

创新产学研用合作模式，研发高档数控机床与工业机器人、增材制造装备、智能传感与控制装备、智能检测与装配装备、智能物流与仓储装备五类关键技术装备。重点突破高性能光纤传感器、微机电系统（MEMS）传感器、视觉传感器、分散式控制系统（DCS）、可编程逻辑控制器（PLC）、数据采集系统（SCADA）、高性能高可靠嵌入式控制系统等核心产品，在机床、机器人、石油化工、轨道交通等领域实现集成应用。

依托优势企业，开展智能制造成套装备的集成创新和应用示范，加快产业化。促进智能网联汽车、智能工程机械、智能船舶、智能照明电器、服务机器人等研发和产业化，开展远程无人操控、运行状态监测、工作环境预警、故障诊断维护等智能服务。

到2020年，研制60种以上智能制造关键技术装备，达到国际同类产品水平，国内市场满足率超过50%。

### （二）加强关键共性技术创新

围绕感知、控制、决策和执行等智能功能的实现，针对智能制造关键技术装备、智能产品、重大成套装备、数字化车间/智能工厂的开发和应用，突破先进感知与测量、高精度运动控制、高可靠智能控制、建模与仿真、工业互联网安全等一批关键共性技术，研发智能制造相关的核心支撑软件，布局和积累一批核心知识产权，为实现制造装备和制造过程的智能化提供技术支撑。



专栏2 智能制造关键共性技术创新方向

建设若干智能制造领域的制造业创新中心，开展关键共性技术研发。整合现有各类创新资源，引导企业加大研发投入，突破新型传感技术、模块化/嵌入式控制系统设计技术、先进控制与优化技术、系统协同技术、故障诊断与健康维护技术、高可靠实时通信、功能安全技术、特种工艺与精密制造技术、识别技术、建模与仿真技术、工业互联网、人工智能等关键共性技术。引导企业、高校、科研院所、用户组建智能制造创新联盟，推动创新资源向企业集聚。

加快研发智能制造支撑软件，突破计算机辅助类（CAX）软件、基于数据驱动的三维设计与建模软件、数值分析与可视化仿真软件等设计、工艺仿真软件，高安全高可信的嵌入式实时工业操作系统、嵌入式组态软件等工业控制软件，制造执行系统（MES）、企业资源管理软件（ERP）、供应链管理软件（SCM）等业务管理软件，嵌入式数据库系统与实时数据智能处理系统等数据管理软件。

到2020年，建成较为完善的智能制造技术创新体系，一批关键共性技术实现突破，部分技术达到国际先进水平；核心支撑软件市场满足率超过30%。

（三）建设智能制造标准体系

依据国家智能制造标准体系建设指南，围绕互联互通和多维度协同等瓶颈，开展基础共性标准、关键技术标准、行业应用标准研究，搭建标准试验验证平台（系统），开展全过程试验验证。加快标准制（修）订，在制造业各个领域全面推广。成立国家智能制造标准化协调推进组、总体组和专家咨询组，形成协同推进的工作机制。充分利用现有多部门协调、多标委会协作的工作机制，形成合力，凝聚国内外标准化资源，扎实构建满足产业发展需求、先进适用的智能制造标准体系。

专栏3 智能制造标准提升专项行动

组织开展参考模型、术语定义、标识解析、评价指标、安全等基础共性标准和数据格式、通讯协议与接口等关键技术标准的研究制定，探索制定重点行业智能制造标准。强化方法论、标准库和标准案例集等实施手段，以培训、咨询等方式推进标准宣贯与实施。推进智能制造标准国际交流与合作。

到2020年，国家智能制造标准体系基本建立，制（修）订智能制造国家标准200项以上，建设试验验证平台100个以上，公共服务平台50个以上。

（四）构筑工业互联网基础

研发新型工业网络设备与系统，构建工业互联网试验验证平台和标识解析系统。推动制造企业开展工厂内网络升级改造。鼓励电信运营商改良工厂外网络，开展工业云和大数据平台建设。研发安全可靠的信息安全软硬件产品，搭建面向智能制造的信息安全保障系统与试验验证平台，建立健全工业互联网信息安全风险评估、检查和信息共享机制。

专栏4 工业互联网建设重点

研发融合IPv6、4G/5G、短距离无线、WiFi技术的工业网络设备与系统，构建工业互联网试验验证平台及标识解析系统、企业级智能产品标识系统。开发工业互联网核心信息通信设备、工业级信息安全产品及设备。支持工业企业利用光通信、工业无线、工业以太网、SDN、OPC-UA、IPv6等技术改造工业现场网络，在工厂内形成网络联通、数据互通、业务打通的局面。利用SDN、网络虚拟化、4G/5G、IPv6等技术实现对现有公用电信网的升级改造，满足工业互联网网络覆盖和业务开展的需要。面向智能制造发展需求，推动工业云计算、大数据服务平台建设。推动有条件的企业开展试点示范，推进新技术、产品及系统在重点领域的集成应用。

到2020年，在重点领域制造企业建设新技术实验网络并开展应用创新。



### （五）加大智能制造试点示范推广力度

在基础条件好和需求迫切的重点地区、行业，选择骨干企业，围绕离散型智能制造、流程型智能制造、网络协同制造、大批量定制、远程运维服务、工业云平台、众包众创等方面，开展智能制造新模式试点示范，形成有效的经验和模式。围绕设计、研发、生产、物流、服务等全生命周期，遴选智能制造标杆企业，在相关行业进行移植、推广。

#### 专栏5 智能制造试点示范及推广应用专项行动

第一阶段，聚焦制造过程关键环节，在基础条件较好、需求迫切的地区和行业，遴选一批智能制造试点示范项目，总结形成有效经验和模式。第二阶段，围绕产品全生命周期，研究制定智能制造标杆企业遴选标准，在实施智能制造成效突出的企业中，遴选确定一批标杆企业，在相关行业大规模移植、推广所形成的经验和模式。

到2020年，建成300个以上智能制造试点示范项目，数字化车间/智能工厂试点示范项目实施前后实现运营成本降低20%，产品研制周期缩短20%，生产效率提高20%，产品不良品率降低10%，能源利用率提高10%；遴选确定150个以上智能制造标杆企业。

### （六）推动重点领域智能转型

围绕《中国制造2025》十大重点领域，试点建设数字化车间/智能工厂，加快智能制造关键技术装备的集成应用，促进制造工艺仿真优化、数字化控制、状态信息实时监测和自适应控制。加快产品全生命周期管理、客户关系管理、供应链管理系统的推广应用，促进集团管控、设计与制造、产供销一体、业务和财务衔接等关键环节集成。针对传统制造业关键工序自动化、数字化改造需求，推广应用数字化技术、系统集成技术、智能制造装备，提高设计、制造、工艺、管理水平，努力提升发展层次，迈向中高端。加强传统制造业绿色改造，推动产业间绿色循环链接，提升重点制造技术绿色化水平。

#### 专栏6 重点领域智能转型重点

围绕新一代信息技术、高档数控机床与工业机器人、航空装备、海洋工程装备及高技术船舶、先进轨道交通装备、节能与新能源汽车、电力装备、农业装备、新材料、生物医药及高性能医疗器械、轻工、纺织、石化化工、钢铁、有色、建材、民爆等重点领域，推进智能化、数字化技术在企业研发设计、生产制造、物流仓储、经营管理、售后服务等关键环节的深度应用。支持智能制造关键技术装备和核心支撑软件的推广应用，不断提高生产装备和生产过程的智能化水平。在基础条件较好的领域，开展数字化车间/智能工厂的集成创新与应用示范。支持地方、园区、龙头企业等建设一批公共服务平台，开展技术研发、产品设计、软件服务、数据管理、测试验证等服务。

到2020年，量大面广、有基础、有条件的重点领域数字化研发设计工具普及率达到70%以上，关键工序数控化率达到50%以上，数字化车间/智能工厂普及率达到20%以上。

### （七）促进中小企业智能化改造

引导有基础、有条件的中小企业推进生产线自动化改造，开展管理信息化和数字化升级试点应用。建立龙头企业引领带动中小企业推进自动化、信息化的发展机制，提升中小企业智能化水平。整合和利用现有制造资源，建设云制造平台和服务平台，在线提供关键工业软件及各类模型库和制造能力外包服务，服务中小企业智能化发展。

专栏7 中小企业智能化改造专项行动

支持第三方机构提供分析诊断、创新评估等服务，鼓励系统集成商、装备供应商、软件供应商等，针对中小企业实际需求，研究制定简便易行的智能化改造方案，推广一批成熟使用的单元装备和先进技术。推进“互联网+”小微企业，推广适合中小企业发展需求的信息化产品和服务，促进互联网和信息技术在生产制造、经营管理、市场营销各个环节中的应用。推进云制造，构建云制造平台和服务平台。推动中小企业与大企业协同创新，鼓励有条件的大企业搭建信息化服务平台，向中小企业开放入口、数据信息、计算能力。

到2020年，有基础、有条件的中小企业生产自动化程度大幅提高，管理信息化和数字化水平明显提升。

(八) 培育智能制造生态体系

面向企业智能制造发展需求，推动装备、自动化、软件、信息技术等不同领域企业紧密合作、协同创新，推动产业链各环节企业分工协作、共同发展，逐步形成以智能制造系统集成商为核心、各领域领先企业联合推进、一大批定位于细分领域的“专精特新”企业深度参与的智能制造发展生态体系。加快培育一批有行业、专业特色系统解决方案供应商；大力发展具有国际影响力的龙头企业集团；做优做强一批传感器、智能仪表、控制系统、伺服装置、工业软件等“专精特新”配套企业。

专栏8 智能制造系统解决方案供应商培育专项行动

支持以技术和资本为纽带，组建产学研用联合体或产业创新联盟，鼓励发展成为智能制造系统解决方案供应商。支持装备制造企业以装备智能化升级为突破口，加速向系统解决方案供应商转变。支持规划设计院以车间/工厂的规划设计为基础，延伸业务链条，开展数字化车间/智能工厂总承包业务。支持自动化、信息技术企业通过业务升级，逐步发展成为智能制造系统解决方案供应商。研究制定智能制造系统解决方案供应商标准或规范，发布智能制造系统解决方案供应商推荐目录。

到2020年，主营业务收入超10亿元的智能制造系统解决方案供应商达到40家以上，系统集成能力明显提升，基本满足制造业智能转型的需要。

(九) 推进区域智能制造协同发展

打造智能制造装备产业集聚区。积极推动以产业链为纽带、资源要素集聚的智能制造装备产业集群建设，完善产业链协作配套体系。加强规划引导，提升信息网络、公共服务平台等基础设施水平，促进产业集聚区规范有序发展。

促进区域智能制造差异化发展。结合《中国制造2025分省市实施指南》，紧密依靠本区域智能制造发展基础，聚焦重点。大力推进制造业发展水平较好的地区率先实现优势产业智能转型，积极促进制造业欠发达地区结合实际，加快制造业自动化、数字化改造，逐步向智能化发展。

加强区域智能制造资源协同。搭建基于互联网的制造资源协同平台，不断完善体系架构和运行规则，加快区域间创新资源、设计能力、生产能力和服务能力的集成和对接，推进制造过程各环节和全价值链的并行组织和协同优化，实现区域优势资源互补和资源优化配置。

(十) 打造智能制造人才队伍

构建多层次人才队伍。大力弘扬工匠精神，突出职业精神培育。加强智能制造人才培养，培养一批能够突破智能制造关键技术、带动制造业智能转型的高层次领军人才，一批既擅长制造企业管理又熟悉信息技术的复合型人才，一批能够开展智能制造技术开发、技术改进、业务指导的专业技术人才，一批门类齐全、技艺精湛、爱岗敬业的高技能人才。

健全人才培养机制。创新技术技能人才教育培训模式，促进企业和院校成为技术技能人才培养的“双主体”。鼓励有条件的高校、院所、企业建设智能制造实训基地，培养满足智能制造发展需求的高素质技术技能人才。支持高校开展智能制造学科体系和人才培养体系建设。建立智能制造人才需求预测和信息服务平台。

## 四、保障措施

### （一）加强统筹协调

发挥国家制造强国建设领导小组作用，有效统筹中央、地方和其他社会资源，协调解决智能制造发展中遇到的问题，形成资源共享、协同推进的工作格局。发挥国家制造强国建设战略咨询委员会作用，为把握技术发展方向提供咨询建议。加强规划与其他专项、工程有机衔接。

### （二）完善创新体系

在智能制造领域研究建立若干制造业创新中心，建立市场化的创新方向选择机制和鼓励创新的风险分担、利益共享机制，解决技术研究与产业化应用的鸿沟。围绕重点领域智能制造发展需求，建设重大科学研究和实验设施。支持智能制造公共服务平台建设，增强为行业服务能力。鼓励企业加大研发投入力度，加强智能制造关键技术与装备创新。

### （三）加大财税支持力度

充分利用现有资金渠道对智能制造予以支持。按照深化科技计划（专项、基金等）管理改革的要求，统筹支持智能制造关键共性技术的研发。完善和落实支持创新的政府采购政策。推进首台（套）重大技术装备保险补偿试点工作。落实税收优惠政策，企业购置并实际使用的重大技术装备符合规定条件的，可按规定享受企业所得税优惠政策。企业为生产国家支持发展的重大技术装备或产品，确有必要进口的零部件、原材料等，可按重大技术装备进口税收政策有关规定，享受进口税收优惠。

### （四）创新金融扶持方式

发挥国家财政投入的引导作用，吸引企业、社会资本，建立智能制造多元化投融资体系。鼓励建立按市场化方式运作的各类智能制造发展基金，鼓励社会风险投资、股权投资投向智能制造领域。搭建政银企合作平台，研究建立产融对接新模式，引导和推动金融机构创新产品和服务方式。依托重点工程项目，推动首台（套）重大技术装备推广应用，完善承保理赔机制。支持装备制造企业扩大直接融资，发展应收账款融资，降低企业财务成本。

### （五）发挥行业组织作用

发挥行业协会熟悉行业、贴近企业优势，推广先进管理模式，加强行业自律，防止无序和恶性竞争。各相关行业协会要指导企业深化改革、苦练内功，抓好技术创新、人才培养，及时反映企业诉求，反馈政策落实情况，积极宣传和帮助企业用足用好各项政策。鼓励行业协会、产业联盟提升服务行业发展的能力，引导企业推进智能制造发展。

### （六）深化国际合作交流

在智能制造标准制定、知识产权等方面广泛开展国际交流与合作，不断拓展合作领域。支持国内外企业及行业组织间开展智能制造技术交流与合作，做到引资、引技、引智相结合。鼓励跨国公司、国外机构等在华设立智能制造研发机构、人才培训中心，建设智能制造示范工厂。鼓励国内企业参与国际并购、参股国外先进的研发制造企业。

## 五、组织实施

规划是指导未来5年智能制造发展的纲领性文件，工业和信息化部、发展改革委、科技部、财政部联合印发的《智能制造工程实施指南（2016—2020年）》明确的重点任务是规划的核心内容。工业和信息化部、财政部负责规划的组织实施，加强领导，精心组织，及时解决规划实施过程中遇到的问题，推动各项任务和措施落到实处。建立规划实施动态评估机制，适时对目标和任务进行必要的调整。

各地工业和信息化、财政主管部门要按照职责分工，抓紧制定与规划相衔接的实施方案，落实相关配套政策，做好信息反馈工作。相关行业协会和中介组织要充分发挥桥梁和纽带作用，协同推动本规划的贯彻落实。



### 项目概况:

兰州中川国际机场是国内干线机场、西北地区次枢纽机场、欧亚航路国际航班 I 级备降机场、国家一类航空口岸，它是甘肃乃至西北地区重要的对外开放窗口，是甘肃立体交通体系中的重要站点。

航站楼采用2层（局部3层）的T型指廊式构型，指廊设置6个D类机位和3个C类机位。新安装12个旅客登机口、30个值机柜台、安装9部旅客登机廊桥并建设成民航安全检查系统，行李系统等25个新建系统工程。建成新站前广场及停车场1.9万m<sup>2</sup>；新建570多米高架桥与老航站楼高架桥相接；陆侧景观绿化5.9万m<sup>2</sup>；航站楼前预留与城际铁路综合交通衔接工程的建设空间，包括了铁路、航站楼、长途汽车站以及航站区地下车库的综合换乘等立体交通的空间。

### 项目特点及意义:

建筑理念取意“金水龙源”，将金水龙源的

## 甘肃兰州中川国际机场二期航站楼

建设地点：甘肃兰州

设计单位：中航规划民航院

建设情况：建成

总建筑面积：6.1万m<sup>2</sup>

文化气质贯穿航站楼内外，其人文理念与绿化、商业、交通流线巧妙结合形成动态文化主题系统，同时将甘肃粗犷有力，轻灵空透的地方气质通过建筑造型语言加以表现，最终实现传统文化和现代文明自然和谐的共生体，提升航站区整体的建筑品质和景观效果。

该工程的顺利完工必将为推进国家“一带一路”的建设、发展“丝绸之路经济带”起到积极的作用。依托兰州中川国际机场的吸引力和辐射力，在机场所在区域和更广泛地区内，将形成与空运相关的密集产业集群，从而带动兰州新区经济的迅速发展，也必将为甘肃省的经济腾飞发挥巨大作用。





陆侧效果图



空侧效果图



海航海口基地2号飞机维修库坐落于海口美兰国际机场跑道东侧，与1号机库、喷漆机库等遥相呼应，共同构成海航海口核心维修区。新机库总投资3.6亿元，为宽体飞机深度维修机库，净跨度153m，下弦高度26m，可同时容纳3架宽体飞机和2架窄体飞机入库大修，满足波音全系列机型、空客A330/350及以下机型的维修需求，规模能力居海南省第一，并位于全国领先水平。

机库附楼内配备复合材料车间、打磨喷漆车间、无损探伤车间、钣金车间、座椅维修车间、客舱类维修车间等，全面支持飞机深度维修各项功能需求。

该机库设计以“精益机库、绿色机库、人文机库”为理念，建筑整体简洁明快、朴素大方。在设计和建设过程中，

## 海航海口基地2号飞机维修库

建设地点：海南海口

设计单位：中航规划民航院

建设情况：建成

用地面积：2.6万 $m^2$

建筑面积：3.1万 $m^2$

应用全生命周期管控、智能照明系统、太阳能及雨水利用系统、花园式厂区设置、屋面TPO系统等，体现了绿色人文的建设理念，在提高生产效率的同时，加强人文与环境关爱。



## · 项目展示

本项目为厦门航空有限公司在福州飞机维修基地内投资新建维修机库，建筑由机库维修大厅及地上五层、地下一层附楼组成。

机库大厅结构为钢筋混凝土柱、钢网架结构，大厅跨度为117m，进深85m，侧向柱距10m，机库网架下弦中心线高22m，机库大门上部网架下弦中心线高19.9m，机库大门高19m；建筑物高度31.2m。附楼为钢筋混凝土框架结构，主体柱网为9m×10m、10m×10m，各层层高分别为：地下1层6m，地上1层5m，2层至5层4m。

本工程为Ⅰ类机库，机库大厅及地下室耐火等级为一级，附楼部分建筑物耐火等级为二级。

整个机库建筑造型简洁大方，富有韵律，展现

## 厦门航空福州分公司 长乐基地8号维修机库

建设地点：福建福州

设计单位：中航规划民航院

建设情况：在建

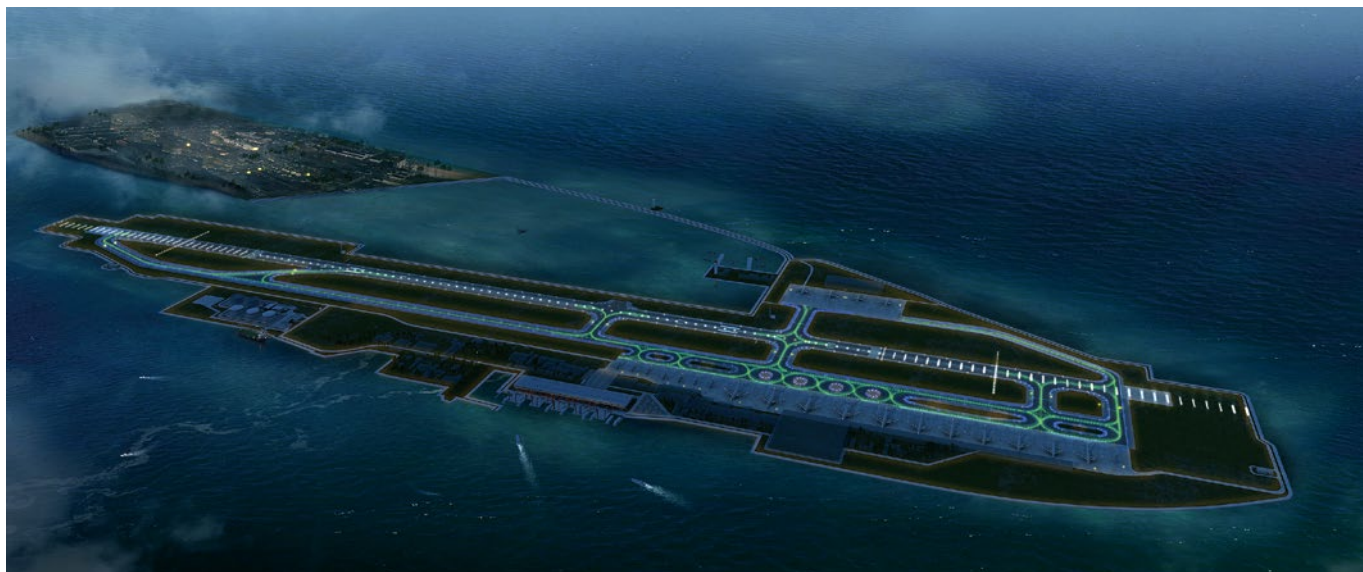
占地面积：1.5万m<sup>2</sup>

总建筑面积：3.6万m<sup>2</sup>

厦门航空蒸蒸日上企业风采。机库外立面主要采用装饰铝板及玻璃幕墙，充分考虑当地气候特征，局部设置装饰百页，使功能与美观完美结合在一起，成为福州长乐机场的代表性建筑。







### 项目概况：

易卜拉欣·纳西尔国际机场（INIA）是马尔代夫主要的国际机场。它位于北马岛东北部2km处的机场岛，靠近首都马累，是进入马尔代夫的门户。按照目前的发展计划，预计2040年机场旅客量将突破1200万人次，货运量达到21.7万吨。

民航院本次承担飞行区整体工程的改扩建、货运库的新建、油库的新建以及相关的填海护堤工程全过程的咨询设计工作，包括方案设计、可行性研究、地形图测量、地质勘察、初步设计以及施工图设计等一系列工作。

本项目是中航规划付诸实施的具有重大意义和影响力的一个4F类机场项目，项目规模大，设计难度高，涉及专业广，国际创新点多，业主要求严格，具有广泛的国际影响，对提升公司机场咨询的能力和品牌将产生深远意义。

## 马尔代夫易卜拉欣·纳西尔国际机场改扩建项目

**建设地点：** 马尔代夫 马累机场岛

**设计单位：** 中航规划民航院

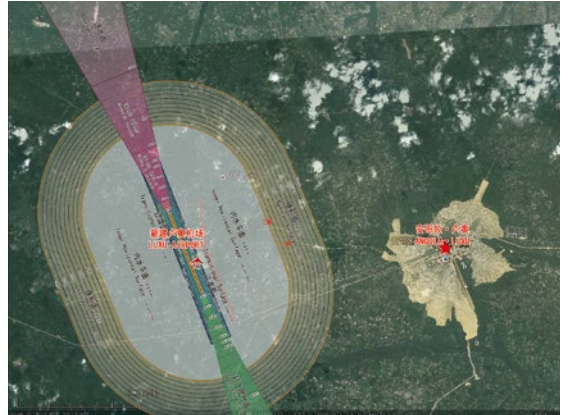
**建设情况：** 在建

**用地面积：** 飞行区总占地约235ha  
(其中新填海用地面积约为75ha)

### 项目特点及意义：

马尔代夫易卜拉欣·纳西尔国际机场改扩建项目是在国家主席习近平及马尔代夫总统亚明的共同见证下签署的重点项目，受到中国政府和马尔代夫政府的高度关注，是公司在“一带一路”战略下成为国际化机场咨询机构的力作之一，同时也为民航院开拓海外市场奠定了基础。





### 项目概况

安哥拉卢奥市位于安哥拉东部边境，距离最近的邵里木机场三百多公里，交通极为不便。卢奥机场作为卢奥对外文化沟通、开展全球商务、带动地方经济发展的重要媒介，是安哥拉全国基础设施规划中的重点机场建设项目，一期工程跑道全长2600m，飞行区指标等级4C,包括飞行区跑道、停机坪、联络道、空管、灯光、航站楼等，建成后可满足B737、A320系列等大型飞机的起降要求。

### 项目特点及意义

安哥拉卢奥机场是由民航院完整设计的第一个海外民航运输机场，为民航院海外市场的开拓打开了良好局面，

### 安哥拉卢奥机场项目

**建设地点：**安哥拉卢奥  
**设计单位：**中航规划民航院  
**建设情况：**建成（2014年）  
**占地面积：**151万m<sup>2</sup>

具有里程碑意义。卢奥机场的设计质量和施工质量得到了安哥拉各级领导的赞赏与肯定，提高了中航规划在非洲市场的影响力，增进了中非双方的友谊，为非洲推动“三网一化”奠定了良好的基础。



自贡凤鸣通用机场位于四川省自贡市成佳工业园，机场定位为一类通用机场，功能覆盖飞机适航试飞、飞行驾照执照培训、通用航空公司运营基地、通勤飞行、公共服务类航空飞行等。跑道长1200m，飞行区等级为2B。该机场是四川省第一个通过正式程序审批立项的通用机场，项目总投资5.9亿元人民币。

本期工程分为飞行区及航站工作区两部分，飞行区的主要建设内容包括跑道、滑行道、停机坪、NDB导航台、航空加油站、气象观测场等。航站工作区包括办公航站楼（含塔台）、动力站、特种车库等建筑物，总建筑面积2000m<sup>2</sup>。

## 自贡凤鸣通用机场

建设地点：四川自贡

设计单位：中航规划民航院

建设情况：在建

用地面积：39.39ha

机场规划与设计以安全、高效、兼容为指导思想，统筹安排各种设施的规模及布局，妥善处理机场与城市的关系，促进机场均衡协调发展。





## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《火炸药及其制品工厂建筑结构设计规范》的公告

现批准《火炸药及其制品工厂建筑结构设计规范》为国家标准，编号为GB51182-2016，自2017年4月1日起实施。其中，第3.0.1(2)、5.0.1、5.0.5、7.1.1、7.1.5(2)条款)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《高耸结构工程施工质量验收规范》的公告

现批准《高耸结构工程施工质量验收规范》为国家标准，编号为GB51203-2016，自2017年7月1日起实施。其中，第4.5.1、5.2.5、5.7.4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《通风与空调工程施工质量验收规范》的公告

现批准《通风与空调工程施工质量验收规范》为国家标准，编号为GB50243-2016，自2017年7月1日起实施。其中，第4.2.2、4.2.5、5.2.7、6.2.2、6.2.3、7.2.2、7.2.10、7.2.11、8.2.4、8.2.5条为强制性条文，必须严格执行。原《通风与空调工程施工质量验收规范》GB50243-2002同时废止。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《通信电源设备安装工程验收规范》的公告

现批准《通信电源设备安装工程验收规范》为国家标准，编号为GB51199-2016，自2017年7月1日起实施。其中，第1.0.6、2.0.10、3.3.5条为强制性条文，必须严格执行。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《微组装生产线工艺设计规范》的公告

现批准《微组装生产线工艺设计规范》为国家标准，编号为GB/T51198-2016，自2017年7月1日起实施。

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准《公墓和骨灰寄存建筑设计规范》的公告

现批准《公墓和骨灰寄存建筑设计规范》为行业标准，编号为JGJ/T397-2016，自2017年5月1日起实施。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《老年人居住建筑设计规范》的公告

现批准《老年人居住建筑设计规范》为国家标准，编号为GB50340-2016，自2017年7月1日起实施。其中，第4.2.1、5.3.1、5.4.1、6.1.1、6.4.3、7.2.1、8.6.1条为强制性条文，必须严格执行。原国家标准《老年人居住建筑设计标准》GB/T50340-2003和行业标准《老年人建筑设计规范》JGJ122-99同时废止。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《人工制气厂站设计规范》的公告

现批准《人工制气厂站设计规范》为国家标准，编号为GB51208-2016，自2017年7月1日起实施。其中，第5.2.14、5.2.16、5.2.17、5.2.19、6.1.5、7.5.4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《高压直流换流站设计规范》的公告

现批准《高压直流换流站设计规范》为国家标准，编号为GB/T51200-2016，自2017年7月1日起实施。

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准《城镇燃气自动化系统技术规范》的公告

现批准《城镇燃气自动化系统技术规范》为行业标准，编号为CJJ/T256-2016，自2017年5月1日起实施。

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准《建筑拆除工程安全技术规范》的公告

现批准《建筑拆除工程安全技术规范》为行业标准，编号为JGJ147-2016，自2017年5月1日起实施。其中，第5.1.1、5.1.2、5.1.3、5.2.2、6.0.3条为强制性条文，必须严格执行。原《建筑拆除工程安全技术规范》JGJ147-2004同时废止。

(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 马培贤  
 王玮 王玉平 王锋  
 王笃礼 刘国新 刘晓评  
 李纲 李守旭 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 黄滨  
 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** hkgcjs@avic-apc.com  
**印刷单位** 北京奇麟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** 2016年12月  
**印数** 1500册  
**电话** (010)62038276 62038235  
**传真** (010)62038297  
**封面** 浙江杭州萧山国际机场国际峰会专用候机楼

# CONTENTS

## 目录 2016年第6期 总第128期

### 航空能力建设

- 02 航空发动机整机动力学研究进展与展望 门艳杰
- 04 基于QR码的复合材料生产质量管理体系研究 张超
- 10 国内粉末高温合金的生产工艺及设备分析 孙黎 邵长星 曾莹雪
- 13 对激光近炸引信的无源干扰技术研究  
苏如意 章媛媛 张睿悦 孟庆华 冯梦桥 刘葳

### 研究与探讨

- 17 存量型工业园区控规编制策略探析  
——以景德镇市高新区控制性详细规划为例 邵贵芳
- 21 强腐蚀环境下预应力混凝土屋架的抗裂性能研究 王军
- 26 钢支撑—混凝土框架结构抗震性能探讨  
闫军 余长霞 张晓光
- 31 浅谈低压配电系统电缆热稳定校验 高凤荣 丁杰
- 35 初步设计调整概算编制方法应用研究  
——以某项目为例 李楠
- 38 垃圾焚烧工程垃圾渗滤液处理厌氧工艺沼气综合利用研究 陆新生
- 42 热网变流量水力工况分析中摩擦阻力系数计算公式选取初探  
李浩然 肖武

### 工程设计

- 46 关于辅助等电位联结与局部等电位联结的说明  
刘叶语 丁杰 王厚余
- 51 钦州电厂二期扩建工程煤场封闭罩棚设计研究  
刘鑫刚 王树 葛家琪
- 59 《航空工程建设》2016年第1~6期文章索引



# 航空发动机整机动力学 研究进展与展望

■ 门艳杰「工艺」

**摘要:** 航空发动机与航空设备的运行有着直接关联,为促进我国航空航天领域的发展,促使该领域不断有新的血液融入,相关人员需要不断加强研究力度。航空航天领域是我国科研工作的重要内容,我国政府部门对此非常看重,每一年都会投入大量的科研资金。经过科研人员长时间的努力和付出,我国航空发动机整机动力学研究取得了非常可观的成就,同时也在向着更深层次领域快速发展。本文对航空发动机整机动力学研究进展和展望进行了深入探究,以期对相关人员有所启示,促进我国航空航天领域的可持续发展。

**关键词:** 航空航天; 发动机; 整机动力学; 进展

## 0 引言

通过对航空发动机运行状态进行深入调查可以了解到,发动机实际工作中会受到气动和机械激振等众多因素影响,从而导致发动机产生故障问题,降低了航空航天设备运行的稳定性和安全性。如何避免外界因素对航空发动机造成的不良干扰,促进航空发动机抗干扰性能提升已经逐渐成为航空航天领域的热点研究课题。因此对于航空发动机整机动力学研究进展与展望进行探讨是具有现实意义的,下面就对相关内容进行详细阐述。

## 1 航空发动机整机动力学的研究进展

### 1.1 双转子固有特性研究

对于双转子运行进行分析,高压和低压转子的转动速度是根据二者工作线而不断发生改变

的,需要明确工作线与内部和外部两个转子发动机临界转速必行会存在交点,这个交点也就是双转子发动机在实际运行过程中产生的转速点。以往科研人员对于发动机临界转速的计算方式主要是采用递矩阵法等,对过于复杂的动力反应进行科学计算。但是应用的计算方式具有很大局限性,在高阶临界转速计算过程中会存在较大的误差。为了提升转速值计算的精准性,新时期众多科研人员都在积极的对双转子临界转速进行改进和研究。经过长时间的钻研,科研人员创造出了带轴间轴承双转子系统的动力学模型,并且依据相应数值进行仿真实验,分析外部和外部转子转动速度存在的差值对双转子系统运行造成的影响进行了深入探究,并且得知,可以依据内部转子和外部转子转动速度的临界点,来确定双转子系统的临界转速。

还需要注重的就是双转子耦合方面的研究,因为内部转子和外部转子的震动会导致轴承轴发生耦合情况,而限制耦合情况的重要因素就是转子转动速度与二者之间的比值。因为耦合问题导

作者简介: 门艳杰,女,工程师,2005年毕业于中国农业大学农业工程专业,现就职于中航工程集成设备有限公司。

致双转子动力系统运行不稳定,也是航空发动机整机动力学研究中的重点内容。熊纯等科研工作者对双转子的动平衡问题进行了深入研究,并且依据专业理论对计算模型进行了构建。研究过程中对一个转子和两个转子转动速度的比值进行合理设定,在对内部转子和外部转子施加不平衡的情况下,取得内部转子和外部转子上任意部位的振动数值,将利用影响系数法进行分析,使得动平衡研究领域取得了巨大进展<sup>[1]</sup>。

### 1.2 转子-滚动轴承的系统动力学

航空发动机整机运行过程中,滚动轴承的转子系统会涉及到分岔、混沌等众多非线性的振动情况。所以科研工作者有必要将科研目光投入到转子-滚动轴承的系统动力学研究中去,对非线性动力学情况产生的根本原因进行解释。科研工作者在深入分析航空发动机整机运动惯性和阻尼的基础上,对发动机的变刚度情况进行了深入研究,分析了因为变刚度所导致的非线性振动现象产生。在对称简支条件下对转子系统进行简化,构建旋转荷载下可以稳定运行的单一化滚动轴承,对转子非线性振动现象的产生进行深入研究,并且采用数值套入的方式对转子系统实际运行过程中产生的亚谐波和混沌现象进行更深层次的研究<sup>[2]</sup>。

### 1.3 转子叶片振动研究

科研工作者对转子叶片的运行进行深入研究可以了解到,如果转子叶片在某一阶级产生的倍频,与转子系统具有的激振力频率具有一致性,那么转子叶片就会有共振情况产生。此阶段,受到发动机高性能和高质结构要求的限制,就会使得转子叶片产生相应的自激振动,从而致使转子叶片产生裂缝,对航空发动机系统造成严重损害。张大义等科研工作者以涡扇发动机的运行原理为基础,对致使转子叶片受到严重破坏的根本原因进行了探究。经过大量研究和认证表明,如果发动机离散噪声强度高,会对航空发动机整机结构造成严重破坏,同时也包括转子叶片。通常情况下因为疲劳破坏所产生的离散噪声在0.1~1kHz范围内,航空发动机自身运转也会导致噪声产生,其范围也是在0.1~1kHz范围内。所以转子在运行的过程容易产生共振,导致航空发动机包括转子叶片在内的整机结构受到严重破坏。受到噪声的影响导致转子叶片发生振动,从而加重了机械构件的损耗,缩减了转子叶片机械

构件的应用年限<sup>[3]</sup>。

## 2 航空发动机整机动力学研究展望

我国众多科研工作人员不能只是满足于现阶段所取得的科研成果,还需要不断的加强研究力度,为我国航空航天领域实现可持续发展输入更多生命力。在日后的研究中,科研工作人员必定会重点研究航空发动机简化模型。通过上文叙述的内容可以了解到,在航空发动机实际运行存在着复杂和非线性的特征,航空发动机的全面研究具有较高难度。但是如果科研工作人员可以从航空发动机自身的结构和运行特点为切入点,利用专业的理论知识和丰富的实践经验,对航空发动机系统进行简化处理,从而创建出可以清晰呈现航空发动机动力学行为,以及动力学行为变化的科学模型。以这一模型为基础,科研工作者可以较为容易的找寻航空发动机行为或者是某一现象在设定参数下的发展规律。除此之外,航空发动机整机参数集成也是日后研究的重点内容,因为发动机实际运行中受到影响因素众多,而且这些因素复杂多变。所以科研工作者可以对整机参数进行精细化模型建设,从而对参数变化对航空发动机运行影响进行全面分析。

## 3 结语

经过长时间科学研究,我国在航空发动机整机动力学方面已经取得了非常可观的成绩。但是众多科研工作人员还需要进一步加强研究力度,明确航空发动机整机动力学研究的发展趋势。使得我国航空发动机动力学研究可以发展到一个新的高度,为促进我国航空航天领域发展奠定良好的基础。

### 参考文献

- [1]史峰,杜建标,程礼.双转子动力学研究[J].机械与电子.2011(10):56-58.
- [2]熊纯,都昌兵.双转子航空发动机转子动平衡研究[J].长沙航空职业技术学院学报.2011(02):33-36.
- [3]陈果.双转子航空发动机整机振动建模与分析[J].振动工程学报.2011(13):619-632.

# 基于QR码的 复合材料生产质量管理体系研究

■ 张超 「工艺」

**摘要：** 复合材料的质量密切关系到航空器的安全。随着航空复合材料在飞行器上的应用逐步增加，加强复合材料产品生产的安全质量管理愈加凸显出其重要性。围绕制造过程中的生产过程跟踪与质量问题处理两大质量业务模块展开研究。为实现生产现场质量数据的快速采集，并实现快速、规范化的信息传递，将二维码技术引入复合材料生产过程的质量跟踪管理，解决了质量管理和质量诊断的问题，能够定位缺陷产品的所处位置，通过过程参数分析可以帮助诊断问题产品的根源。为企业生产决策提供了准确、及时、有效的信息支持和技术保障，为航空产品全寿命管理提供解决方法。

**关键词：** 复合材料；在制品；质量管理；跟踪；二维码

## 0 引言

复合材料具有质量轻，较高的比强度、比模量、较好的延展性等各种性能优点，是制造飞行器的理想材料，其用量的多少已成为衡量飞机先进性和市场竞争力的重要标志<sup>[1]</sup>。在军机中，美国四代机F22，其复合材料用量达24%，F35达到了35%，欧洲EF2000的复合材料用量达到了40%，RAH-66攻击直升机用量为51%。在民机中，空客的A380复合材料用量达结构质量的25%，而A350的复合材料用量占全机结构重量比例达52%，超过了波音787复合材料结构重量比例的50%。

复合材料的质量密切关系到航空器的安全，加强复合材料产品安全质量管理愈加凸显出其重要性。复合材料生产除存在产品结构复杂、加工工序长、零部件种类多等特点外，还存在以下特点：①工艺设计质量基本决定了产品质量；②多品种、小批量生产；③试制时存在频繁的设计或工艺更改，直接影响复合材料生产；④质检环节多，质量信息交互经常出现滞后。如何加强复合材料生产过程的质量控制，建立质量责任明晰的安全质量防控体系，实现优质运作管理成为复材企业必须考虑的问题。

本文着眼于航空复合材料生产过程质量跟踪管理，围绕制造过程中的生产过程跟踪与质量问题处理两大质量业务模块展开研究。为实现生产现场质量数据的快速采集，并实现快速的信息传

作者简介：张超，男，高级工程师，2008年毕业于清华大学水利工程专业，现就职于中航规划技术研究院。



递和规范化,将二维码技术引入生产现场的质量跟踪管理过程,对生产资源进行统一编码,并对基于QR码的质量数据采集和质量问题追溯技术展开研究,开发了基于QR码的复合材料生产质量管理体系。

## 1 质量管理体系

### 1.1 质量管理概念

ISO9000:2000标准将质量定义为产品、体系或过程的一组固有特性满足顾客和其他相关要求的能力<sup>[2]</sup>,同时将质量管理的定义为在质量方面指挥和控制组织的协调的活动,中心任务是建立、实施和保持一个有效的质量管理体系并持续改进其有效性<sup>[3]</sup>。

生产过程质量控制构成质量管理的核心,其适用于从产品设计、原材料的采购、生产制造、市场营销等领域,一方面保证质量,一方面满足质量要求。生产质量控制过程可以由戴明模型解析:首先根据质量要求设定标准,然后执行测量并根据结果判定是否达到要求,最后视质量问题采取针对性补救措施并防止再发生的过程。

### 1.2 质量管理体系

信息化技术的进步对质量管理起到极大的支撑作用。越来越多的航空制造企业采用质量信息管理系统,实现了质量数据采集、分析、处理与传递,但仍然存在许多质量问题,质量管理工作也还需要进一步的提升。一方面,当前多数质量管理系统的功能重心偏向于对管理类质量信息的分析与处理,包括质量体系建设、质量问题管理、质量计划管理和质量成本管理等内容,但针对离散制造模式下的生产过程中的质量业务管理下沉不足,还存在许多传统手工报表、纸质单据等数据信息采集手段,底层的生产过程数据对上层质量管理信息系统不可见或接口不统一,导致质量信息的反馈、追踪、回溯、分析等与生产过程脱节<sup>[4]</sup>,也无法通过质量数据优化工艺,防止同类质量问题的再次发生;另一方面,航空企业质量检验的分布于不同责任主体,质量信息传递以及各个系统如ERP、PDM、IQS信息交互上存在延迟和滞后。

在数字化制造背景下,企业对制造过程的质量管理日益重视,也有学者进行了大量的研究,如王天成<sup>[5]</sup>从原材料质量控制、工艺过程质量控制

和成品检验等方面阐述了先进复合材料成型工艺过程中的质量控制的意义,通过对先进复合材料生产质量进行全面监测控制,可有效地提高航天复合材料产品的质量和可靠性;刘磊等<sup>[6]</sup>在飞机制造过程分析的基础上,提出了基于制造物料清单MBOM(Manufacturing Bill of Materials)的制造过程质量管理方法,并对QBOM(Quality BOM)的组织结构与管理进行了研究。

## 2 系统功能需求分析与管理模式设计

### 2.1 复材质量管理现状

目前国内企业对复合材料生产过程的质量控制主要依靠专门的检验部门检验把关,处于事后检验阶段。此检验方式能够有效检出不合格品,但不能做到预先防止不合格品的产生。复合材料的原材料和加工成本高昂,不合格品的产生严重影响企业的效益。因而此种质量控制方式还有较大的提升空间,需要进一步降低不合格率、提高生产效率,且在不合格品出现时,能快速追查导致质量问题的原因。在新机研制、国外航空产品转包生产时是以单架次方式生产,所以在对航空企业复合材料零部件生产过程进行质量管理与控制的难度较高。

利用科学的方法来控制复合材料生产过程是时代发展的需要,企业相关部门需要实时了解零部件加工状态及各工段的忙闲情况,基于实际状态有效控制整个生产管理过程,从而提高生产质量和生产效率。因此,对在制品采用信息化手段进行有效的跟踪和控制显得尤为重要。

### 2.2 关键支撑技术

跟踪的前提是对在制品的有效识别,条码是一种高效的手段。各种条码中,二维码通过水平和垂直两个方向表示信息,可以承载远超一维码的数据容量,其中获得广泛应用的码制为QR码(Quick Response),对应的ISO国际标准为2000年6月获得批准的ISO/IEC18004。与其他码制相比,QR码优势明显,具有高速识读性和高可靠性,提供有多重纠错级别,有效解决光学变形或基地弯曲等情况的识读问题,同时也是唯一的、有效的能对汉字编码的码制,而且汉字字符集编码可减少20%空间。

区域于一维码的识别,其不再使用线性扫描的方式工作,而是使用CCD进行光学识别,降低

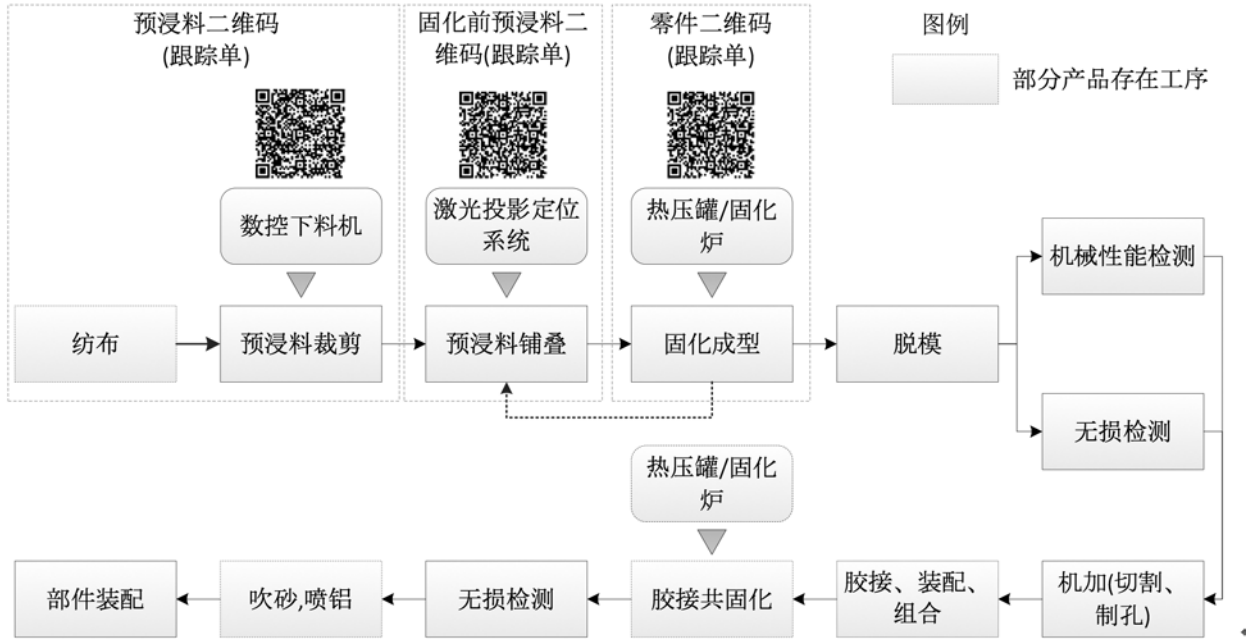


图1 复合材料一般工艺流程

了对反射角度的要求。通过图形边角的3个定位图案，使用者不需要对准，无论以任何角度扫描，资料仍可正确被解析此外，二维码还具有较强的自校验能力，即使受到一定程度的污损仍能正确识读。

### 2.3 在制品加工过程跟踪

传统的在制品跟踪模式是利用制造大纲（FO）和装配大纲（AO）进行跟踪，这种跟踪模式只对加工过程做简单的记录，缺乏实时性。由于铺带机、铺丝机的送料原理不同于手工铺叠，本文设计相应的跟踪模式主要面向手工铺叠的复合材料，其一般工艺流程见图1。

接收生产计划后，生产准备工段根开料单，将从原材料库和冻库领取的原材料进行帆布加工成预浸料，此时每块预浸料都标识二维码，记录预浸料的编号、构成信息（碳纤维批号，树脂批号等）、环境状态（温度、湿度等）信息。若直接购入预浸料，则在出库后进行二维码标识。二维码打印在跟踪单上进行在制品跟踪，跟踪单的样式见表1，质量管理系统同时录入预浸料跟踪单所载信息。

在铺叠工序，先采用数控下料机对预浸料进行下料，然后利用激光投影定位仪进行人工铺叠。在此过程中，通过条码枪扫描构成本零件的

表1 预浸料跟踪单

预浸料编号	碳纤维批号	树脂批号	
XXXXXX	XXXXXX	XXXXXX	
加工设备号	环境温度	环境湿度	
XXXXXX	XX.X	XX.X	

各块预浸料的二维码，并由质量系统解析、记录，信息包括工序号、工位、开工时间、完工时间、模具号和加工人员。其中，开工时间、完工时间的记录对于复材生产至关重要，排产系统依赖预浸料的时效性信息进行排产，一旦超时预浸料将失效报废。此时，相应零件的新二维码也随之产生，该二维码中记录的零件编号将成为该零件生命周期内的唯一标识。

铺叠后的零件由热压罐或固化炉进行预吸胶和固化成型，对应不同产品加载不同的工艺程序（加温曲线）。在固化工序，质量系统跟踪采集零件固化的温度、时间等信息。

脱模后即进行机械性能检测和无损检测。在质检过程中，质量系统要对零件的检测信息进行

记录。检验合格的零件进行少量机械加工处理，部分需预装配的零件要运输到装配区进行预装件装配，还有部分零件需要进行二次胶接共固化等工序。

#### 2.4 在制品质量管控模式

从图1可以看出，复材在制品的流动过程始终伴随着质检，既有目视检查也有C扫描等设备检查，确保在制品进入下一加工节点前质量或性能是可靠的，阻断不合格在制品进入后续加工环节。在制品质量控制方法主要是对在下道工序接收在制品前进行质量验收，并依照质检结果对其质量状态进行标识，达到分类控制和处理的目的。

与其他制品不同，复材在制品需在固化工序后再通过C扫描设备进行质量检测，同时质量管理体系系统采集质检相关数据，主要包括：检验数量、合格数量、返工数量、返修数量、报废品数量、问题原因、加工工序、操作人员、检验日期以及处理意见等。

根据检测结果，检验部门通知合格品转移并等待验收，检验合格的在制品交付下一加工点；检验不合格的在制品需要对其质量状态进行区分，开具返工、返修、报废的质量处理通知单，按通知单对在制品进行转移操作，并对处理节点位置进行标识。质量跟踪模式可由图2描述。

在对在制品进行跟踪的过程中，质量控制是一个重要环节，是确保在制品能够最终形成合

格成品的重要保证，在对在制品进行质量控制的过程中，通过对质量数据实时采集，为在制品的质量统计和质量分析提供科学依据，使管理层能够及时了解对在制品存在的质量问题，准确掌握在制品在各个节点的质量分布情况。根据质量结果及时对加工节点进行技术调整，对设备进行校正，从而降低不合格在制品的发生率，避免造成不必要的损失。

### 3 质量管理体系设计

#### 3.1 总体方案设计

本系统采用物联网技术，利用QR码技术作为质量跟踪采集手段，将工业以太网作为传输层，以在制品生产流程为主线，结合具体加工工艺，实现航空复合材料零部件从原材料投产到部件装配的全过程跟踪管理，满足复材生产在制品质量跟踪管理的需求。

为了对在制品进行实时有效的跟踪控制，需要根据生产车间各区不同情况，分别构建基于QR码的在制品跟踪控制结构。在标准件库、原材料库、辅料库、零件库配置条码枪设备和打印设备，在生产区中选择纺布、铺叠间、固化区、机加区、打磨区、无损检测区各工位配置条码阅读设备（见图3）。

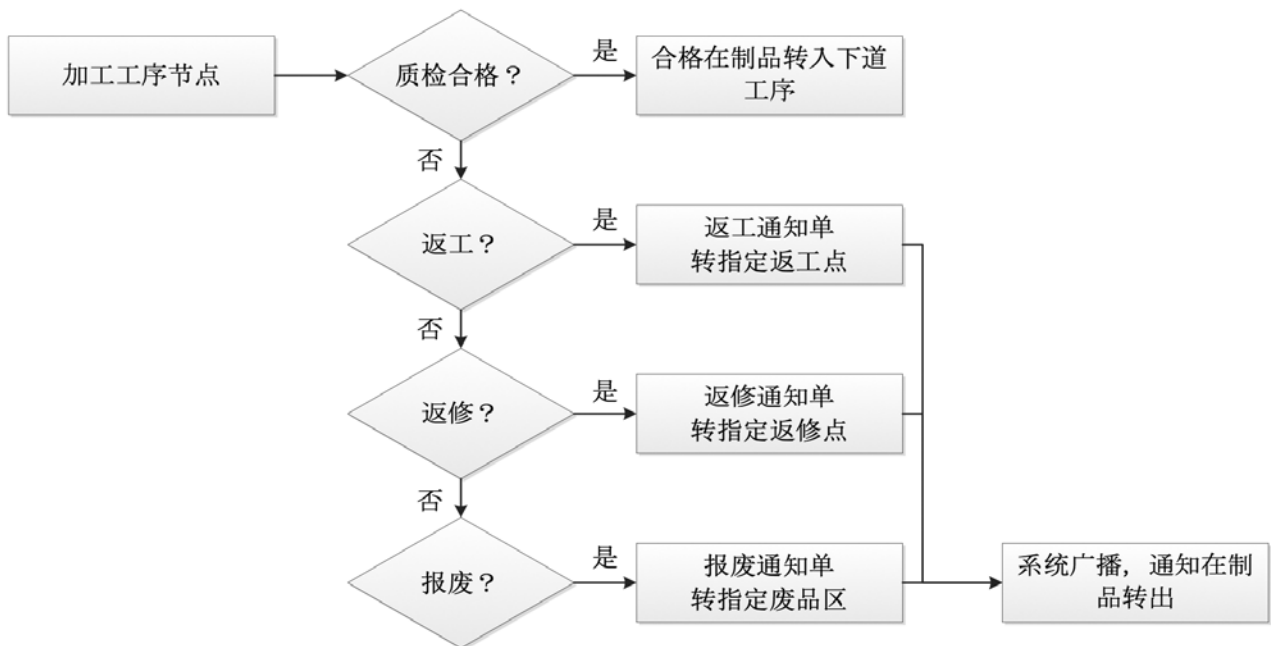


图2 复材在制品质量控制流程



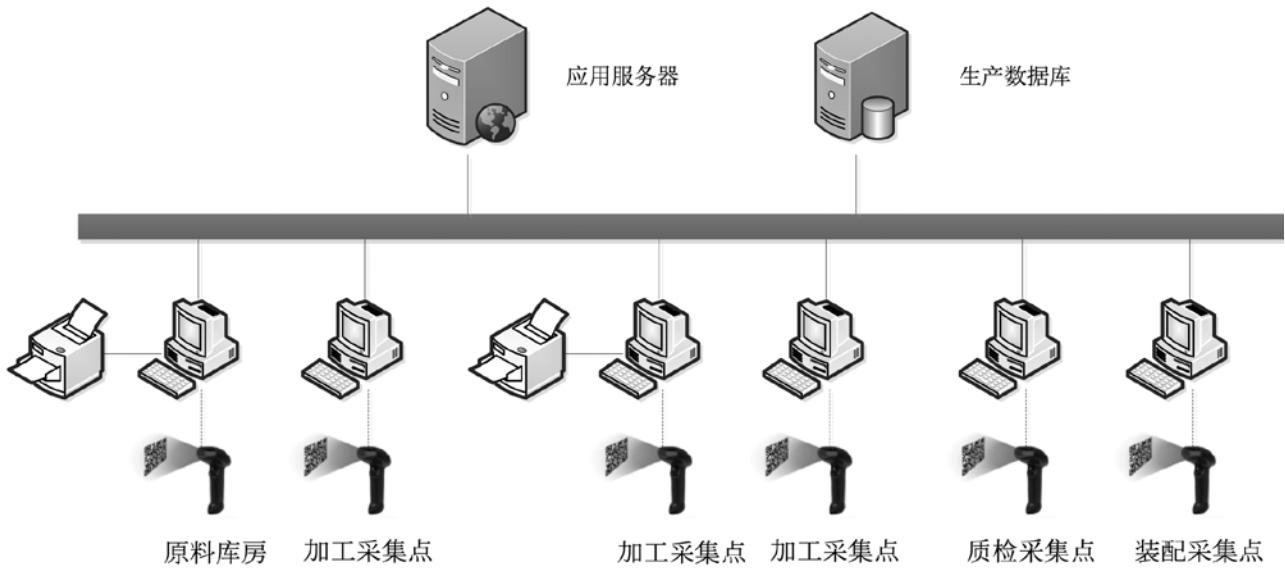


图3 质量管理体系结构

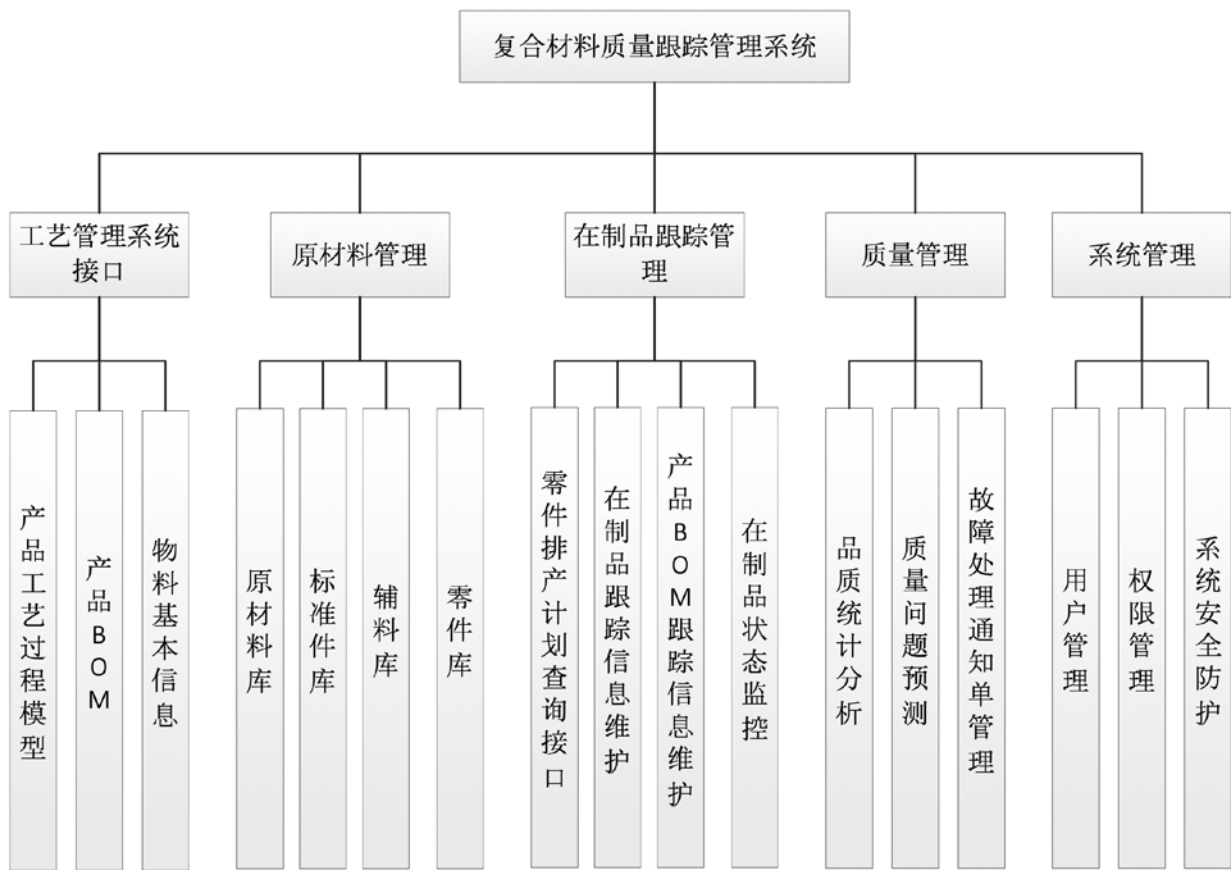


图4 质量管理体系结构

在制造车间每个工位配置条码枪，各工位的实时加工的零件信息、人员信息、工位信息和设备信息等由条码枪读取，开始加工和结束加工均需扫描QR码，从而记录开始/结束加工时间。这

种加工流转跟踪方式增强了信息对一线生产人员的透明度，同时也将零件加工信息、零件状态信息、加工设备信息等实时数据信息反馈到上层管理系统。为了让质量跟踪系统有效运作，还需配

套管理措施,下一工位接收零件并开始加工的前提条件是系统中上一工序完成质量跟踪信息。

### 3.2 系统功能架构

基于前述管理模式设计,该系统主要分为工艺管理系统接口(基础工艺数据管理)、原材料管理、在制品跟踪管理、质量管理、系统管理5个模块(见图4)。

其中,工艺管理系统接口主要接入产品工艺过程模型、产品BOM等数据,为复材生产定义加工流程;原材料管理模块主要功能是对原材料库、标准件库、辅料库和零件库中的原材料进行管理,包括出入库、库存状态查询等;在制品跟踪管理模块主要功能是实现在制品状态跟踪和产品BOM跟踪;质量管理模块实现对在制品加工的品质管理,包括质量统计分析,工艺过程参数与质量故障关联分析,返工/返修/报废通知单管理等功能;系统管理模块主要实现对用户权限配置、系统安全防护等功能管理。

本质量管理体系可为复材企业带来可观效益,作为一个质量管理信息化平台,为提高质量安全、促进工作效率、及时响应及处置质量信息发挥了积极的作用。系统能保证质量管理信息的一致性、准确性、全面性、及时性,流程化管理模式极大提高工作效率,做到产品全称跟踪、都有据可查,减少人为失误。

## 4 结论

本文运用基于QR码的识别技术实现了复合材料生产过程质量跟踪管理,解决了质量管理和质量诊断的问题,能够定位缺陷产品的所处位置,通过过程参数分析可以帮助诊断问题产品的根源。质量管理体系为企业生产决策提供了准确、及时、有效的信息支持和技术保障,为航空产品全寿命管理提供解决方法,为产品的追根溯源提供了依据,对企业质效提升有重要促进作用。

### 参考文献

- [1] 何东晓. 先进复合材料在航空航天的应用综述. 高科技纤维与应用[J]. 2006, Vol. 31(2): 9-11.
- [2] 严晶. 基于ISO/TS16949:2002的汽配企业质量管理体系研究[D]. 南京:南京理工大学, 2008.
- [3] 陈国华, 贝金兰. 质量管理[M]. 北京: 北京大学出版社, 2010.

[4] 唐晓青, 段桂江, 杜福州. 制造企业质量信息管理系统实施技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009.

[5] 王天成, 葛云浩, 沃西源. 先进复合材料成型工艺过程中的质量控制. 航天制造技术[J]. 2011, Vol. 1: 42-45.

[6] 刘磊, 张振明, 田锡天, 等. 基于MBOM的飞机制造过程质量管理[J]. 航空制造技术[J]. 2008, Vol. 7: 74-76.

# 国内粉末高温合金的生产工艺及设备分析

■ 孙黎 邵长星 曾莹雪 「工艺」

**摘要:** 粉末高温合金是先进航空发动机涡轮盘的首选优质材料。本文在国内飞机涡轮盘用粉末高温合金研究进展的基础上,重点分析了粉末高温合金涡轮盘直接热等静压成形的生产工艺及其主要设备的应用情况。分析表明等离子旋转电极制粉工艺的粉末氧含量及非金属夹杂含量低,粉末球形度高。氩气雾化制粉工艺向超纯净细粉方向发展,细粉收得率提高。

**关键词:** 粉末高温合金; 等离子旋转电极工艺; 氩气雾化工艺

## 0 前言

随着航空航天技术的飞速发展,对高推比、高功重比先进航空发动机热端部件的性能要求愈加提高,特别是对涡轮盘强韧性、疲劳性能、可靠性及耐久性提出了更高的要求。但由于涡轮盘件材料合金化程度的提高,合金偏析严重,热工艺性能恶化,采用传统的铸锻工艺技术制造的高温合金涡轮盘无法满足高推重比先进发动机的要求;而采用粉末冶金技术制取的粉末高温合金,粉末细小,合金成分均匀,制件性能稳定,热加工变形性能较好,合金化程度提高,特别是合金的屈服强度和抗疲劳性有显著提高。

在粉末冶金高温合金领域,只有美国、俄罗斯、英国、法国和德国等少数几个国家掌握了合金部件的生产技术。目前,我国研制粉末高温合金的单位主要有钢铁研究总院、北京科技大学、北京航材院等几家单位<sup>[1]</sup>。

## 1 国内粉末高温合金的研究发展

为满足对高性能航空发动机发展需求,国内20世纪70年代末就开始了粉末高温合金技术的研究。1980年底,北京钢铁研究总院建成了一条粉末高温合金研制生产线。1984年采用“AA制粉+

包套模锻”工艺成功研制出了Φ420mm的某发动机二级涡轮盘,其基本性能接近或达到了美国GE公司标准的水平。1994年,我国从俄罗斯引进了PREP制粉设备以及粉末处理、大型真空退火炉等设备,并从荷兰引进了大型超声波水浸探伤仪。目前,我国已经形成了“PREP制粉+热等静压成形+包套模锻+热处理(固溶/盐淬+两级时效)”的粉末涡轮盘生产工艺路线<sup>[2]</sup>。

经过30多年的发展与研究,我国已成功研制出了两代粉末高温合金,建立了我国的粉末高温合金材料体系。第一代粉末高温合金(相当于美国一代合金Ren'95)是以FGH95合金为代表的使用温度为650℃的高强型合金。直接热等静压工艺生产的FGH95粉末涡轮盘及导流盘已完成生产定型。第二代粉末高温合金(相当于美国二代合金Ren'88DT)是以FGH96合金为代表的使用温度为750℃的损伤容限型粉末高温合金,该合金具有良好的抗疲劳裂纹扩展性能。采用“热等静压+等温锻造+热处理”工艺已研制出先进航空发动机用FGH96合金全尺寸高压涡轮盘。此外,在俄罗斯 $\Theta \Pi 741H \Pi$ 合金的基础上进行改进而成的FGH97合金也即将获得应用。当前,国内正在研制温度为800℃以上的具有高强度和损伤容限特性的第三代粉末高温合金<sup>[3, 4]</sup>。

## 2 粉末高温合金的主要生产工艺

粉末高温合金制备的主要工艺流程见图1。

作者简介:孙黎,女,工程师,2009年毕业于北京航空航天大学材料加工工程专业,现就职于中航规划动力研究院。



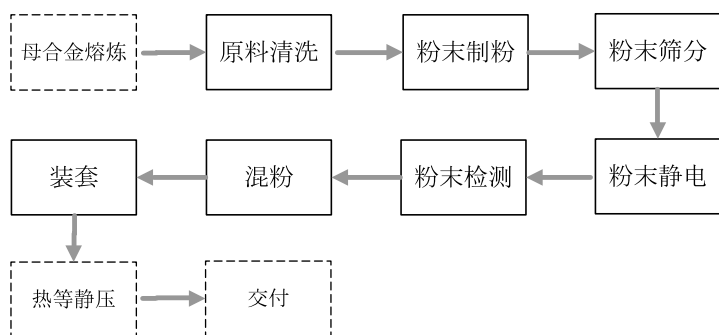


图1 粉末高温合金生产工艺流程图示意图

## 2.1 等离子旋转电极工艺

目前, 各国粉末高温合金制备的常用粉末制备方法有两种, 即等离子旋转电极 (PREP) 制备工艺和氩气雾化 (AA) 制备工艺, 前者主要是俄罗斯主要采用的工艺, 后者主要是美国等国家所主要采用的工艺。

等离子旋转电极工艺 (Plasma Rotating Electrode Processing, 简称PREP工艺) 首先是将制粉的合金制成自耗电极, 在高速旋转的状态下, 利用等离子枪产生的等离子流使合金棒料电极端部熔化。在离心力的作用下, 熔融的薄层液态金属雾化成极小的液滴飞射出去, 由于表面张力的作用, 液滴凝固成球形的粉末颗粒。该工艺制备的粉末氧含量及非金属夹杂含量低, 粉末球形度高, 粉末粒度可控制在较窄的范围内。该制备工艺关键设备为等离子旋转电极制粉设备。

等离子旋转电极制粉法的主要工艺参数及其作用如下: ① 电极棒转速——控制粉末的粒度, 可以通过调节转速得到所需粒度的粉末; ② 惰性气体介质——其纯度和配比直接影响等离子弧的稳定性和粉末中的气体含量; ③ 等离子枪的功率——对保证成品粉收得率、提高生产效率起着决定性作用。

等离子旋转电极法制得粉末的主要特征为: ① 具有较窄的粒度分布, 电极棒转速高时, 细粉多, 成品粉收得率较高; ② 球形度好、表面光滑洁净、氧含量低于0.006%、物理性能良好。

### 2.1 氩气雾化工艺

氩气雾化工艺 (Argon Atomizing, 简称AA工艺) 是运用高速运动的氩气流, 将熔融金属液切断、分散、裂化为微小液滴。金属液滴沿着雾化氩气的运动方向运动, 雾化氩气对金属液滴急剧冷却而产生的热应力作用使液滴粘化, 并凝结

成微细的粉末颗粒。氩气雾化 (AA) 工艺采用了细粉制造技术如快速凝固旋转气体雾化和超声气体雾化等许多新技术, 细粉收得率显著提高。研究表明, 减小夹杂物尺寸主要可改善合金的热工艺性能, 降低其对合金疲劳寿命的影响。传统来说俄罗斯多使用等离子旋转电极工艺, 而欧美国家多使用氩气雾化工艺。一般来说氩气雾化工艺所制备的高温合金粉末粒度更小, 但俄罗斯一直在使用等离子旋转电极工艺, 所生产的数万个涡轮盘件产品亦能够满足先进航空发动机的使用需求。

## 3 粉末高温合金的主要生产设备

### 3.1 制粉设备

制粉设备依据生产工艺的不同包括等离子旋转电极制粉设备和氩气雾化制粉设备。

等离子旋转电极制粉设备主体结构示意图2, 设备主体分为雾化室、机械传动室和装料室三部分。雾化室是设备的主要机构, 与其相通的是使合金棒料旋转并沿轴向移动的机械传动室。等离子枪通过雾化室的门插入其内。装料室与机械传动室密封联接, 通过分配机构将棒料逐根送到机械传动室。在压紧辊轴、鼓轮和推杆的作用下, 合金棒料被压紧、旋转并沿轴向逐渐推进雾化室。在密封的雾化室中与合金棒料相对安装、可沿轴向前后移动的等离子枪产生等离子流, 使高速旋转的合金棒料电极端部熔化。在离心力的作用下, 薄层液态金属雾化成小液滴飞溅出去, 同时在惰性气体介质中以约104℃/s的速度冷却。液滴凝固成球形粉末, 最终将金属粉末收集至密闭容器里。

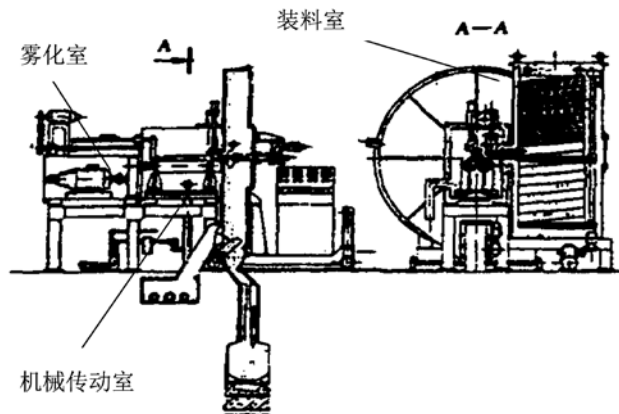


图2 等离子旋转电极制粉设备结构示意图

氩气雾化制粉设备结构见图3，设备主体分为真空室、雾化塔及分离器三部分组成。合金在真空室的坩埚中熔化、精炼和脱气，精炼熔化金属通过一个预热中间包倒入喷气管系统；此处，熔体流被高压氩气流所分散。雾化塔直接位于雾化喷嘴下面，分散的微小金属液滴弥漫在雾化塔中凝固成粉末颗粒。生成的粉末气体混合物通过输送管输送至旋风分离器中，在此处将精细粉末、粗大粉末与雾化气体分离。金属粉末最终收集至位于旋风分离器下面的底箱中。

该类设备制造厂家主要有德国ALD真空工业股份公司，其在全世界范围内已有数十台以上的制粉设备投入运行。国内主要有锦州航星真空设备有限公司，其主要是与国内科研院所合作进行设计、制造，公司本身无自己的雾化技术。

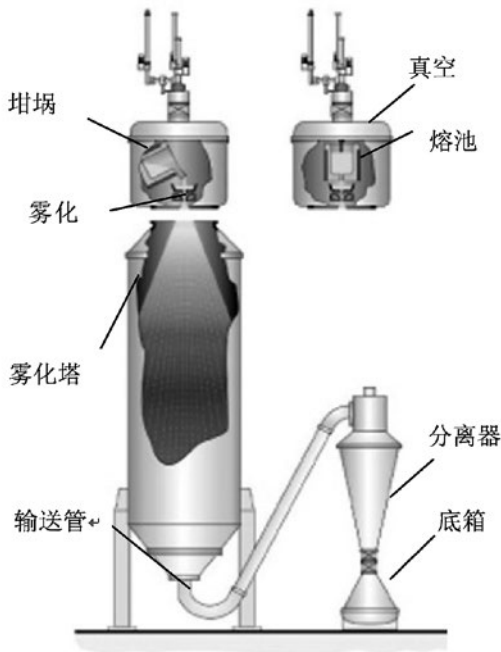


图3 氩气雾化制粉设备结构示意图

### 3.2 粉末处理设备

粉末在制取、处理及运输过程中一直与惰性气体接触。粉末内的夹杂、粉末间隙、表面残留的惰性气体以及包套内壁的大气不利于随后的热等静压，并对涡轮盘的组织性能造成很大的影响。所以，在热等静压前对粉末进行筛分、去夹杂、脱气及粉末表面质量处理。

粉末处理设备主要包括筛分设备、去除夹杂设备、分级合批设备和粉末改性处理设备。

### 3.3 包套封焊设备

高温合金粉末经过合批及处理后需要装入包套，进行封焊。封焊质量是保证粉末成型的关键因素之一。如果封焊质量不达标，包套内部和外界有气流沟通，不仅会造成整个包套内的高温合金粉末报废，同时由于包套内渗进的高压气体，在热等静压泄压时可能会造成包套的爆炸，造成事故。包套封焊设备主要包括粉末输送、高温除气、填充、振实及电子束封焊系统，整个工艺全部在真空状态下进行。该类设备为非标设备，国内目前的数台设备全部为乌克兰巴顿研究所的产品或与其进行技术合作制造的非标设备。

## 4 结论

(1) 我国实现了第二代损伤容限型粉末高温合金的成熟应用。

(2) 等离子旋转电极制粉设备制备的粉末氧含量及非金属夹杂含量低，粉末球形度高。

(3) 氩气雾化制粉工艺向超纯净细粉方向发展。制粉采用新技术，细粉收得率提高。

### 参考文献

- [1] 陈焕铭, 胡本芙, 张义文, 余泉茂, 李慧英. 飞机涡轮盘用镍基粉末高温合金研究进展[J]. 材料导报, 2002, 16(11): 17~19.
- [2] 张义文, 杨士仲等. 我国粉末高温合金的研究现状[J]. 材料导报, 2002, 16(5): 1~4.
- [3] 邹金文, 汪武祥, 粉末高温合金研究进展与应用, 航空材料学报, 2006年6月, 第26卷第3期, 244~249.
- [4] 周晓明. 粉末高温合金中非金属夹杂物的遗传特征及损伤力学行为研究[D]. 北京: 中国航空工业第一集团公司北京航空材料研究院, 2006.

# 对激光近炸引信的无源干扰技术研究

■ 苏如意 章媛媛 张睿悦 孟庆华 冯梦桥 刘葳 「工艺」

**摘要:** 随着激光近炸引信技术的发展,其在抗外界干扰方面的性能得到了显著提高。本文是在了解激光近炸引信抗干扰性能的基础上,研究了对其进行无源干扰的原理及方式。研究表明,虽然激光近炸引信的抗干扰性能得到了提高,但烟幕、气溶胶和水幕等对其干扰依然有效。

**关键词:** 激光近炸引信; 无源干扰; 烟幕; 气溶胶; 水幕

## 0 引言

早期的近炸引信普遍采用无线电近炸引信。由于现代战争电子对抗的发展,战场空间的电磁环境日趋恶劣,无线电引信的抗干扰性能和安全性不足,容易被敌人干扰。红外引信容易受到背景或人为干扰的影响,早炸和误炸的情况比较严重,抗干扰能力难以达到要求。而激光亮度高、方向性好、单色性好、相干性好,使得应用激光作为探测手段的激光近炸引信在探测精度、探测距离、角分辨力、抗干扰能力等许多方面有其特有的优点。它的这些特点弥补了无线电近炸引信和红外近炸引信的不足。20世纪90年代以来,激光近炸引信已被广泛应用,而有效对抗激光近炸引信的威胁也成为未来战场上的重要课题。

## 1 激光近炸引信

### 1.1 工作原理

激光近炸引信是一种主动型的引信,它本身发射激光。激光束通常以重复脉冲形式发送,光束到达目标后发生反射,有一部分反射激光被引信接收系统接收变成电信号,经过适当处理,使引信在距目标一定距离上引爆战斗部<sup>[1]</sup>。

由激光近炸引信的原理可以看出,其主要任务是测出光束从发射瞬间到遇目标后反射回来的光波返回到引信处的时间 $\tau_0$ 。这样就得到弹头

与目标之间的距离 $R$ ,即

$$R = \frac{c\tau_0}{2}$$

由上式可见,在光速已知的情况下,目标距离的获取实际上就变成了对测距回波信号到达时间的测量。

激光近炸引信按其工作原理可分为主动式和半主动式两类,目前应用在引信中的方式是主动式的。主动式激光近炸引信原理图见图1。

对于整个近炸引信系统而言,发射光学系统产生所要求的频率、能量的激光,并以光束的形式向空间辐射光能量,以空间形成所需的探测场,同时给出同步信号,此时时刻记为 $t_0$ ;当反射光波回到引信时,接收光学系统完成由目标返回激光的探测、目标信号的识别,此时时刻记为 $t_1$ 。则:

$$\tau_0 = t_1 - t_0$$

以上两式即可求得弹目之间的距离 $R$ 。若此距离为近炸引信的启动距离,导弹就会被执行机构引爆,否则导弹将继续飞行,直至距离达到启动距离。

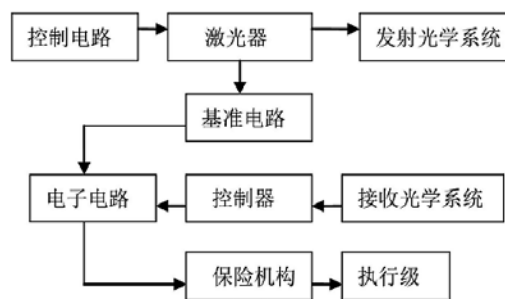


图1 主动式激光近炸引信原理图

作者简介: 苏如意,男,助理工程师,2014年毕业于北京理工大学兵器科学与技术专业,现就职于中航规划飞机工程设计研究院。



## 1.2 抗干扰性能

引信的抗干扰能力通常用探测概率和虚警概率表示。在目标与干扰同时存在时,系统能检测到目标存在的概率称为探测概率;当无目标存在时,系统判断为有目标存在的概率称为虚警概率。

作用于激光近炸引信的干扰主要有两类。一类是引信内部产生的干扰,包括接收机的固有噪声、发射接收之间的光信号泄漏(发射系统中强电信号的辐射及通过电源地线耦合到接收系统中形成的干扰)。另一类是外部干扰,包括背景、海浪、雨、雾、雪及云层等自然干扰,还有人工干扰。由于本文主要研究无源干扰,所以只针对外部干扰方面进行分析。

传统脉冲体制的激光近炸引信虽然有优良的抗干扰性能和其他优越性,但其优越性一般是在减小作用距离、提高工作信噪比、牺牲瞬时性的复杂信号处理能力等条件下取得的,所以对于外部干扰,脉冲体制没能从根本上解决抗干扰问题。于是有人提出采用可编程逻辑门阵列器件实现大视场激光近炸引信目标识别信息处理系统可有效提高抗云雾干扰性能<sup>[2]</sup>。也有人提出一种“云雾压制与边缘增强复合探测技术”。它是用相邻距离信号相减来抑制云雾杂波干扰和识别真实目标存在,消除了因悬浮微粒所引起的虚警探测<sup>[3]</sup>。还有人提出了一种通过探测回波的偏振信息来解决激光近炸引信抗悬浮粒子干扰问题的新方法<sup>[4,5]</sup>。北京理工大学在伪随机码激光引信探测系统方面对背景干扰和有源干扰的抗干扰性做了研究。研究表明其抗干扰性能比较好,尤其在有源干扰方面<sup>[6,7]</sup>。还有人在激光近炸引信的发射脉冲宽度方面对抗干扰性能的影响进行了研究,研究表明发射脉冲越窄,激光引信的测距精度越高,目标回波特征信息就越丰富,抗干扰能力也更强<sup>[8-10]</sup>。由于发射窄脉冲需要的高功率的电源,有人在引信发射单元的设计上做了研究。研究称采用5V电源时,输出激光脉冲峰值功率达2018W、脉宽3.3ns、重复频率达10kHz<sup>[11]</sup>。如果可行,将解决窄脉冲激光近炸引信的能源问题。另外有人对双色激光近炸引信的抗干扰性能进行了研究,研究表明该方法可应用于引信的抗干扰,在烟雾浓度大时尤为有效<sup>[12]</sup>。

## 2 无源干扰的可行性研究

激光近炸引信测距的实质是测定激光从发射

到目标反射回来的总时间。如果改变这一时间就能起到干扰作用。显然,如果在弹目之间合适的位置进行干扰,就能改变这一时间。对激光近炸引信的对抗通常有两类:有源干扰和无源干扰。

### 2.1 有源干扰的局限性

有源干扰技术由一系列通过辐射、转发、发射和吸收光波能量,达到削弱和破坏对方光电设备使用性能的技术措施构成。主要有干扰机、欺骗式诱饵、致盲武器和反辐射激光武器等。有源干扰的对抗要求较多。对于欺骗系统来说,其发出的信号必须与被干扰的激光信号具有相同波长、脉宽和更高重复频率的激光信号;还须调整其输出功率,使到达敌方导引头的激光欺骗干扰信号高于导引头的阈值功率;为了配合欺骗式干扰,要对所保护的目标采取激光隐身等技术来降低目标表面的半球反射率,从而使到达敌方激光导引头的真实信号功率低于导引头的阈值功率;对于假目标而言,其距所保护目标必须足够远,使被保护目标处于敌方激光武器的杀伤半径之外等<sup>[13]</sup>。由于有诸多条件限制,研制周期长,对抗波段窄,对抗效率与可靠性不高,对预警系统的要求高等问题,所以相对于无源干扰,实现有源干扰难度较大。

### 2.2 无源干扰可行性

由于目前激光近炸引信的工作波段是 $1.06\mu\text{m}$ ,处于近红外波段。而大气中的云雾、烟幕、雨雪等很容易对光束造成影响。烟幕、气溶胶、水幕等干扰剂粒子(固体微小颗粒或水滴)对激光有显著的消光作用和后向散射作用。消光后,激光近炸引信的接收光学系统无法接收到接收阈值以上的有效回波,实现遮蔽效果,使被保护目标隐身。引信就无法测定距离完成引爆任务;后向散射后,激光近炸引信接收到的回波信号,会误认为是目标的回波,进而对测量距离产生误判,导致早炸。

由以上分析可知:无源干扰主要是将烟幕、气溶胶或水幕等人工制造的物质施放在被保卫目标与干扰目标之间的传输通道上,将被保卫目标在烟幕等无源干扰物所形成的屏障中隐蔽起来,降低其被探测与识别的机率,或干扰回波以达到干扰测距的目的。

## 3 无源干扰

无源干扰技术的主要因素有遮蔽波段、衰减

率、有效干扰面积、持续时间、形成时间和使用环境要求等。其中遮蔽波段与衰减率是决定光电无源材料技术性能的两项最重要指标，有效干扰面积和持续时间是衡量无源干扰战术使用性能的两项重要判据<sup>[14]</sup>。对于激光还需要增加对其特定波长的后向散射率等指标。本文将对烟幕、气溶胶和水幕的遮蔽波段、衰减率和后向散射率等方面进行研究，来表征它们的干扰效果。

### 3.1 烟幕

烟幕是最主要的无源干扰技术，是用人工方法造成的在一定时间和范围内起迷茫或遮蔽作用的烟云。它是靠悬浮于空气中的固体微粒反射和折射光线而引起干扰作用的。通常的激光干扰材料是碳基（石墨等）干扰粉剂、铜基干扰粉剂和组合型干扰粉剂。组合型干扰粉剂具有干扰波段宽、体积消光系数大、不导电、相容性好、滞留时间长等特点，对激光的遮蔽率达到90%以上<sup>[15]</sup>。由于铜基干扰粉密度大，沉降速率大，一般不单独使用。

单位体积内烟幕微粒多，对入射激光的反射、散射和吸收就越多，激光的透射能力就越弱，不仅会造成目标的遮挡和模糊，也会造成激光近炸引信误输出目标信号的发生<sup>[12]</sup>。当微粒直径显著大于入射光波波长时，微粒使光只产生反射和折射，光入射到烟幕上，一部分由其表面反射，另一部分被折射。当微粒直径显著小于入射光波波长时，发生分子散射（瑞利散射）。当微粒直径增大时，微粒对入射光的散射强度迅速增大，便形成粒子散射（米氏散射）。实验证明：当粒子直径大约与光波波长相当时，产生的散射最大。当烟幕微粒直径接近于可见光波长时，烟幕微粒不仅能散射，而且能吸收一部分光。烟幕微粒将光能转化成其他形式的能。所以烟幕微粒对激光传输的影响是：随着波长的缩短，造成的散射和衰减吸收会加大。分子散射和粒子散射会具有显著的区别，波长较长的光波在烟中的散射和衰减吸收会小很多<sup>[16]</sup>，远红外波段的激光的散射远远小于近红外波段的激光。所以烟幕粒子的粒度应该根据所对抗的激光波段来选择，以达到最佳的散射和衰减吸收效果。

由于1.06 μm波段的激光对烟幕的抗干扰性先天不足，近来各国都在加紧研制远红外波段的激光近炸引信。10.6 μm的激光对烟幕的穿透能力明显高于1.06 μm的激光。但浓厚烟雾对各波段

激光的遮蔽作用都很大，使其透射性大大降低，所以研究高密度的烟幕是的研究方向之一。另外的对抗10.6 μm激光的途径是寻找其他干扰材料。如含P-O-C键的磷酸铝在9.5 μm~20.5 μm，含Si-O-Si键的硅氧烷、硅酸盐在8.7 μm~10.0 μm都有较强的吸收<sup>[17]</sup>。Al粉、Cu粉和石墨粉等，由于受红外辐射的激发而引起自由电子的运动，从而在8 μm~14 μm大气窗口区的红外活性比较显著<sup>[18]</sup>。10.6 μm的激光在红磷烟幕中透过率较低。石墨烟幕对10.6 μm波长的激光也具有非常优异的衰减效果。另外在雾油烟幕中添加石墨发烟剂以后对10.6 μm激光的消光系数增加更加显著<sup>[19]</sup>。

### 3.2 气溶胶

气溶胶是以人工方法造成的雾云。它是靠悬浮于空气中的小液滴反射、折射、吸收和散射光线而产生干扰效果的。它属于液体烟幕的一种，是一种非烟火型的宽波段干扰材料。其干扰波段从可见光到毫米波和雷达波段，以及1.06 μm和10.6 μm的激光波段。由于水等小液滴的后向散射对激光的影响难以消除，所以是目前对抗激光近炸引信武器的有效手段。气溶胶不产生任何烟火，且无毒无腐蚀，所以特别适合于在已方阵地上运用。

如图2所示：设功率为 $P_0$ 的激光辐射在大气气溶胶中传输距离 $L$ 后功率衰减为 $P$ 并且未出现非线性效应，则其透过率服从描述单色光辐射在大气中衰减的Lambert-Beer定律，即：

$$T = \frac{P}{P_0} = \exp(-\beta L)$$

式中 $T$ 为传输距离 $L$ 后激光的透过率，（%）； $P_0$ 为激光辐射通过气溶胶前的功率（W）； $P$ 为激光辐射通过气溶胶后的功率（W）； $\beta$ 为气溶胶衰减系数（包括散射和吸收）（1/km）。

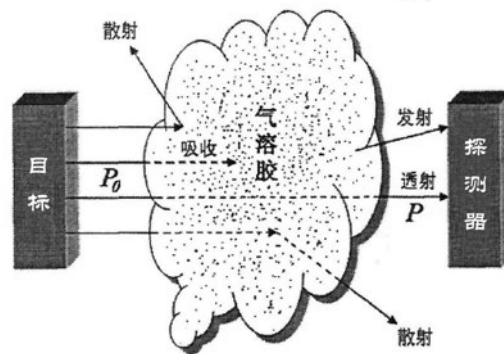


图2 气溶胶对电磁辐射的衰减机理<sup>[19]</sup>

上式表明激光功率随传输光程的增加呈指数规律衰减,因此,如何增加气溶胶的浓度与厚度是研究的主要内容;另外衰减系数与气溶胶液滴的粒度和激光的波长有关,选择合适粒度的气溶胶是有效对抗激光的另一项内容。美国研制的无色无毒的406B气溶胶据称能有效衰减 $1.06\ \mu\text{m}$ 和 $10.6\ \mu\text{m}$ 波段的激光,对 $\text{CO}_2$ 激光的衰减高达77%。

### 3.3 水幕

水幕是指水在高压喷射状态下形成的水雾。水分子对激光的吸收作用十分显著,可造成激光的严重衰减。当水雾粒径在 $5\ \mu\text{m}\sim 15\ \mu\text{m}$ 之间时,不仅水雾可保持较长时间,而且对可见光、近红外以及中红外波段的隐身效果也好<sup>[14]</sup>。它对激光的干扰原理与气溶胶基本相同,但由于水雾一般在目标附近施放,所以可以吸收目标散发的部分热量,减少目标红外辐射强度。这是气溶胶所不具备的。现在的水幕可达几米或几十米,但由于激光应用波段将向远红外波段发展,由Lambert-Beer定律可知:更厚的水幕才能起到更好的干扰和隐身的作用。现代战争中,水幕主要用于海面舰艇和大型地面目标的保护。

## 4 结论与展望

虽然激光近炸引信的作战效率、作战距离和抗干扰能力都得到了提高。但烟幕、气溶胶和水幕等光电无源对抗以其成本低、宽波段的遮蔽效果、易于实现等优点,在现代战争中应用日益广泛。发展高性能的光电无源对抗技术有很高军事意义。未来的激光近炸引信将向着准纳秒的超窄激光脉冲、多维成像、远红外波段(如 $10.6\ \mu\text{m}$ )抗干扰、 $360^\circ$ 全视角和数字化(DSP)方向发展,而光电无源对抗技术将向着面源化、更宽波段干扰、新型干扰材料(以获得长时间大面积干扰)等方面发展。

### 参考文献

- [1] 崔占忠, 宋世和, 徐立新. 近炸引信原理[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2005.
- [2] 吕华, 姚宏宝, 陈平. 大视场激光引信目标识别方法研究[J]. 红外与激光工程, 2005, (04): 427-429.
- [3] 梁冬冬. 数字化激光引信回波波形处理算法仿真研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2006.

- [4] 孟祥盛. 基于偏振探测的激光引信[J]. 航空兵器, 2008, (01): 42-45.
- [5] 刘健, 柯熙政, 胡淑巧, 等. 激光偏振特性在近炸引信中的应用[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2010, (05): 162-165.
- [6] 闫晓鹏, 栗苹, 陈慧敏, 等. 伪随机码激光引信探测系统设计[J]. 光学技术, 2008, (S1): 292-294+296.
- [7] 王伟, 邓甲昊, 黄艳, 等. 基于伪随机码的激光引信探测技术[J]. 北京理工大学学报, 2003, (06): 754-758.
- [8] 李合新, 张京国, 高宠. 激光引信脉冲宽度对目标回波的影响研究[J]. 航空兵器, 2011, (03): 52-55.
- [9] 胡俊雄, 张艳. 激光引信抗干扰技术综述[J]. 制导与引信, 2009, (04): 6-13+18.
- [10] 王广生. 激光引信云雾后向散射的特征与识别[J]. 探测与控制学报, 2006, (06): 20-24.
- [11] 唐敏, 李加庚, 韩海, 等. 激光引信中发射单元的设计[J]. 电子测试, 2008, (04): 65-69.
- [12] 张好军, 赵建林. 采用双色技术的激光引信抗干扰技术[J]. 红外与激光工程, 2011, (06): 1070-1074.
- [13] 侯振宁. 激光有源干扰原理及技术[J]. 光机电信息, 2002, (03): 22-26.
- [14] 刘京郊. 光电对抗技术与系统[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2004.
- [15] 常怀东. 宽波段烟幕干扰战斗部装药结构研究[D]. 南京理工大学, 2009.
- [16] 彭双春, 刘光斌, 张健. 烟雾干扰下的实时图滤波方法研究[J]. 红外与激光工程, 2005, (04): 478-480.
- [17] 翁诗甫. 傅立叶变换红外光谱仪[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [18] 陈兵, 李澄俊, 徐庆红. 红外烟幕消光性能及选材途径分析[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版), 2004, (06): 58-61.
- [19] 王玄玉. 烟幕对 $10.6\ \mu\text{m}$ 激光的衰减规律及应用计算研究[D]. 南京理工大学, 2007.



# 存量型工业园区控规编制策略探析

## ——以景德镇市高新区控制性详细规划为例

■ 邵贵芳 「规划」

**摘要:** 在中国经济新常态下,城市规划正在由增量规划转向存量规划,存量型控规将是“规划界新常态”下的重要研究对象。本文以景德镇高新区控制性详细规划为例,总结存量型工业园区控规编制面临的四大问题:村庄安置、存量工业用地再开发、公共设施量化和园区品质提升,并提出规划应对策略。

**关键词:** 存量型工业园区;控制性详细规划;景德镇市高新区

### 0 绪论

自改革开放30多年以来,伴随着工业化进程加速,中国经济发展增长的速度令人叹为观止。这一时期“土地城镇化”快于人口城镇化,城市发展大量采用新城区、开发区、工业区的模式。但是,我们现在所处的城市,特别是大城市北上广正在面临着高速发展带了一系列问题,如人口与资源环境的矛盾、部分建设用地粗放低效、城市建设用地紧张等“城市病”。因此国土部制定下发《关于推进土地节约集约利用的指导意见》,要求“严控建设用地增量,盘活存量建设用地,严控城市新区无序扩张。”近期存量用地规划的概念已经引起国内城市规划研究和管理者的关注,越来越多的城市正在进行实践和探索。本文以景德镇市高新区为例,总结存量型工业园区面临的主要问题,探讨控规阶段的工业园区存量规划如何解决问题的方法,以指导工业园区的存量土地的更新建设。

作者简介:邵贵芳,女,工程师,2003年毕业于中国农业大学规划专业,现就职于中航规划综合规划研究院。

### 1 存量型工业园区控规的概述

#### 1.1 存量土地的概念

广义上,泛指城乡建设已占有或使用的土地,狭义上,指现有城乡建设用地范围内的闲置未利用土地和利用不充分、不合理、产出低的土地,即具有开发利用潜力的现有城乡建设用地。

#### 1.2 存量型工业园区控规

存量型工业园区控规是在工业园区的存量土地上进行控制性详细规划,即在布满色块的用地现状图上,转变部分严重不符合经济转型、社会转型和城市发展方向的土地性质或者建设指标,使用地建设更合理。

#### 1.3 项目概况

景德镇高新技术产业园区(以下简称“高新区”)位于景德镇市西南部,为国家高新技术产业开发区。2014年《景德镇市城市总体规划(2012~2030)》(以下简称景德镇市总规)和《景德镇市高新区分区规划(2014~2030年)》先后通过审批。为了进一步指导高新区的项目落地和开发建设,加强城市规划管理,为规划区开发建设提供立法依据,因此编制景德镇高新区控制性详细规划。

高新区土地利用现状：第一现状建设用地主要位于东侧，与老城区相接的区域；第二村庄大量分散在规划范围内；第三公共配套设施体系不完善、分布不均；第四高新区的绿地系统不成体系；第五规划区内多山、地势不平坦。

## 2 存量型工业园区控规中面临的主要问题

### 2.1 村庄安置的问题——现状村庄用地低效利用、拆迁难如何搬迁安置

在村庄搬迁安置过程中一般存在两方面的问题：一是村庄建设质量差、分散且大量空置；二是村民搬迁意愿不大，并且搬迁涉及到政府、开发商、村集体和村民之间的利益。因此应在控规中制定如何调动村民搬迁的积极性的方法和规划措施，既最大限度保证农民利益，又能满足区域开发的需求，平衡各个利益间的分配。

例如在高新区的现状村庄，除有一处新建村庄安置用地外，规划区其余村庄建筑质量较低，村庄人均用地约 $452\text{m}^2/\text{人}$ ，远超规定标准（ $150\text{m}^2/\text{人}$ ），不少地方存在村内旧房无人住，村外新房争相建的所谓的“空心村”现象，居住配套较差，政府为了解决村庄的拆迁问题，曾经提出“一房一地”的安置方案，但收效甚微。

### 2.2 存量工业用地再开发的问题——存量工业用地的低效利用和闲置如何再利用

存量工业用地土地利用主要存在两方面问题，一是用地建设强度不高，土地利用效率低下，例如高新区由于早期工业园区管理经验不足，土地批租审查机制不健全，对企业土地需求的监管不严格，造成土地出让规模远超企业实际需求，因此企业在厂区内建设有较大面积观赏水面、山体及服务设施，导致土地利用效率低下；二是一部分企业入驻后由于经营不善，企业出现运行困难，出现大量闲置用地，例如高新区部分企业由于生产的产品经济附加值低，且经营管理不善，企业已破产，土地闲置。因此控规中应提出存量工业用地改造、激励企业改造积极性的方法和措施。

### 2.3 公共设施量化的问题——公共设施缺少增加何种配套类型和数量

工业园区早期开发一般按照“单纯的工业区”进行建设，不仅缺乏为园区工作人员生活所需的餐饮、娱乐和体育休闲等配套公共设施，而且为

企业发展服务的商务金融、技术咨询、法律中介等生产服务业同样较为缺乏，“有业无城”现象突出。因此在控规中应研究工业园区需要增加什么类型配套用地、各类型用地占多少比例的问题。

例如高新区由于开发较早，没有经过统一规划部署，因此在实施中“重产业、轻配套”，导致了现状建设中产业配套设施非常缺少，目前仅有少量的市政设施和临街形成的陶瓷商铺。

### 2.4 园区品质提升的问题——生态系统和空间形象差如何完善、提升

工业园区在早期规划建设过程中，片面追求场地平整，破坏自然生态资源。同时由于没有规划设计引导，开发区建设风貌追求单体的标新立异，建筑色彩、尺度、体量、比例等设计与周围自然景观环境不够协调，也不能形成宜人的生活环境，更不用说工业园区整体景观、形象。因此城市设计中应按照已建和新区用地分类进行引导。

例如高新区地形为丘陵，早期园区的建设中片面强调土地平整，使诸如山体、林地等丰富的生态资源消失殆尽。现状企业按照自己的意愿进行建筑设计，导致已建区域的建筑立面参差不齐、材质纷杂、色彩混乱和景观不协调。

## 3 规划应对策略及实际应用

### 3.1 安置先行、绿色搬迁——综合权衡合理的安置标准

首先在控规中落实搬迁安置用地，按照先安置，后拆迁的原则进行拆迁；再者把村庄安置纳入城市建设中，按照《城市居住区规划设计规范》落实各类配套服务设施；同时借鉴我国很多经济发达地区，如北京、上海、广州等拆迁安置先进理念，最大限度地保证农民利益，在规划实施中建议采取政府主导，村集体带领村民入股成立公司，共同参与搬迁的模式，调动村民拆迁的积极性和平衡各种利益之间的平衡。

高新区规划范围内有两处新建村庄安置用地，控规对其保留。其余现状村庄均为拆除重建模式，按照《景德镇市城市房屋拆迁安置办法》被拆迁户原住面积予以安置。高新区内需拆迁的房屋面积为 $44.5\text{万m}^2$ ，规划设置5处回迁安置用地，考虑拆迁中各种不确定性因素，总村庄拆迁安置用地为 $50\text{ha}$ ，容积率为1.2，同时在安置用地中规划教育、医疗、商业配套、开放空间等公共服务设施，提升村民居住环境。规划实施中应优

先保障村民回迁安置住房的建设，建议村集体成立股份制公司结合市场企业参与改造，村民在获得安置房屋的同时拥有股权，可以参与未来土地经营收益的分红，同时周边建设的企业优先招收因开发而失去土地的村民。

### 3.2 分类改造、合作更新——灵活的改造制度和多元的改造主体

存量工业用地改造分为政策改造和空间改造。政策改造存量用地需调整原控规控制指标，可分为政府将土地收回、由权利主体自主开发建设两种类型。其中由权利主体自主开发建设按照控规调整的其应提出改造申请由园区转型发展领导小组审批，小组成员为发改、规划、国土、环境等多部门领导组成。领导小组审批通过的，土地使用权人应当按照相关规定缴纳地价，或者适当建设公益性公共设施。空间改造的控制指标与原控规的控制指标相同（容积率、建筑密度、绿地率），即对重点地区、重点路段存量工业用地进行城市设计，引导其功能细化与空间形态，如果公共设施数量不足，则补充相应的公共设施，保证城市的生活品质。为了保证工业用地的改造，在控规中引入奖励机制，通过诱导开发商在开发活动中满足一定的城市设计要求和准则并在审核通过之后，获得一定比例的容积率奖励。

高新区目前已经加大对企业征而未用土地的处置力度，设置建立园区土地回收储备基金，依

据《景德镇市闲置土地清理处置工作实施方案》予以回收，将其纳入土地储备体系，在控规中按照高新区产业规划、总体规划和城市设计的调整用地性质。例如景德镇众旺钢构有限公司破产，按照政策改造，高新区管委会已收回，控规中结合总体规划和利益权衡修改其用地性质为居住用地；同时鼓励沿梧桐大道的现状工业用地进行空间改造，在可建设的用地上，新增加临街生产性服务业（研发设计、电子商务、商务咨询、售后服务等）用地，提高沿街界面的连续性，提升街道人气，但这种工业配套设施的建筑面积不得大于项目总建设总建筑面积的10%，对于企业积极自行改造的，其容积率可提高一档。梧桐大道沿线改造见图1。

### 3.3 类比分析——对公共设施的类型进行细化和量化

通过对国内成功产业新城或工业园区的用地的研究，从人的需求和产城融合的建设出发，应对工业园区植入居住、产业配套及生活配套等功能，完善其综合服务功能。并且我们认为其用地比例相比具有如下特点：第一，产业用地虽然是新区重要构成部分，但其占园区总用地的比例并非越高越好，为40~55%；第二，随着新区的发展成熟，现代服务业的比重应逐渐增加，主要由管理服务、商业金融、商务会议、文化展览、科研服务等功能组成，商业类用地的比重应逐渐提高，为5%~10%；第三，工业园区的生产与生活功能具有逐渐融合的趋势，居住用地与居住配套用地比例应逐渐提高，分别为9%~15%和4%~10%。

例如在高新区随着工业化从较低阶段向较高阶段的演进，其生产性服务业以及其他集聚要素，如智力要素等作用 and 地位将更为凸显，整个区域对产业配套用地需求较初期略有提高，因此在飞虹片区、白果树片区控规中增加园区的产业配套和生活配套的比例，从而提高整个高新区的公共配套



图1 梧桐大道沿线改造



表1 高新用地关系分析表

用地名称比例	产业用地	居住用地	产业配套用地	生活配套	其他
国内成熟工业园区比例	40~55%	9~15%	5~10%	4~10%	15~35%
规划比例	50.1%	9.7%	7.6%	8.7%	24.5%

的比例，但是整个高新区整体的产业配套用地、居住用地及生活配套用地的比例不应高于国内成熟产业新城用地的比例，见表1。

### 3.4 分类控制——对已建区、新区采取针对性的管控措施

城市设计中对已建区和新区采用不同的规划控制引导。对已建成区域规划改造沿城市道路建筑立面、建筑色彩、公共活动空间和界面的控制，同时增加建成区的提高绿化覆盖率。对新区通过城市设计对各种建筑设计要素都提出控制，对新区的建筑形态提出要求。

例如在高新区城市设计中，我们对重点地段的建成区提出断面改造方案，同时鼓励立体绿化，减少企业内部绿化面积，营造多层次景观效果。新区规划中将妇女水库中心公园及对面规划保留自然山体形成规划区最高点，以强化城市核心节点和城市门户节点的景观地位，并对新区的重点风貌区的建筑体量、建筑风格、建筑色彩、建筑材料等提出建议。使规划区最终形成一个美观生态的、可持续发展的产业园区，从而提高景德镇高新区整体的园区品质和形象（见图2）。



图2 高新区鸟瞰图

## 4 结论

存量型工业园区控规编制策略不同于增量型工业园区控规编制策略，总结存量型控规面临的问题，提出四种应对策略：(1)安置先行、绿色搬迁；(2)分类改造、合作更新；(3)类比分析；(4)分类控制；使规划具有弹性、实效性和可操作性。

### 参考文献

- [1] 邹兵.由“增量扩张”转向“存量优化”——深圳市城市总体规划转型的动因与路径.规划师, 2013 (5):5-10.
- [2] 2014中国城市规划年会自由论坛——面对存量和减量的总体规划.城市规划, 2014 (11):16-21.
- [3] 郭琪, 陈阳, 章晶.转型发展背景下工业园区存量型规划探索——以景德镇国家高新技术产业园区规划为例[J].规划师, 2013, 29(05): 23-29.
- [4] 林隽、吴军.存量型规划编制思路与策略探索：广钢新城规划的实践.城乡规划 园林景观, 2014:96-102.

[5] 王纪武 赵怡.存量盘活视野下的城市中心区更新策略研究——以宁波市大梁街片区为例.西部人居环境学刊, 2015年(1): 87-61.

[6] 岳隽.深圳市存量土地二次开发利用策略研究.科技创新导报, 2009(NO.25).

# 强腐蚀环境下预应力混凝土屋架的抗裂性能研究

■ 王军 付桂宏 「结构」

**摘要:** 根据《工业建筑防腐蚀设计规范》(GB50040-2008)处于强腐蚀环境中的结构裂缝控制等级为一级;现有国标图集04G415-1《预应力混凝土折线型屋架(预应力钢筋为钢绞线 跨度18~24m)》(以下简称《屋架》)裂缝控制等级按二级进行设计。对于强腐蚀性环境下常用到的18~24m跨预应力砼屋架抗裂性能进行分析非常必要。本文给出参考性的改进措施,使其在今后的工程中能够正常使用。

**关键词:** 屋架;强腐蚀;抗裂

根据《工业建筑防腐蚀设计规范》(GB50040-2008)(以下简称《防腐规范》)的规定,处于强腐蚀环境中的预应力结构裂缝控制等级为一级,按现行《混凝土结构设计规范》(以下简称《混凝土》)第3.4.4条即“严格要求不出现裂缝的构件”;而现有国标图集04G415-1《预应力混凝土折线型屋架(预应力钢筋为钢绞线 跨度18~30m)》(以下简称《屋架》)屋架杆件(包括腹杆、下弦杆)按二级裂缝控制等级进行设计,只适用于一般环境,不能满足强腐蚀环境下厂房的使用要求。

本文针对这一问题,对经常使用的18~24m跨、在不同荷载作用下的预应力屋架逐一进行内力分析,对预应力在屋架的承载力、正常使用方面的重要程度进行对比分析,提出建议性的改进措施,能够满足强腐蚀环境厂房的使用要求。

## 1 《屋架》图集不同跨度、不同承载力等级划分的情况

现行《屋架》图集下弦受拉预应力杆件是按照二级裂缝控制等级进行设计,即一般要求不出现裂缝的构件,公式表达:

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leq f_{tk} \quad (1)$$

$\sigma_{ck}$ ——荷载标准组合下抗裂验算边缘的混凝土法向拉应力;

$\sigma_{pc}$ ——扣除全部预应力损失后抗裂验算边缘混凝土的预压力;

$f_{tk}$ ——混凝土轴心抗拉强度标准值。

屋架18m、21m、24m根据承载力及正常使用情况分别划分了3、3、2个等级,见图1(原图集《屋架》第6页表5)。各不同等级屋架在配置预应力筋、普通钢筋方面有所区分。预应力筋配置在受拉的下弦,采用直径 $\Phi 15.2$ mm高强度1860MPa预应力钢绞线,两端同步张拉。不同承载力等级的屋架配置的预应力钢筋数量及张拉力

作者简介:王军,男,高级工程师,1993年毕业于哈尔滨建筑大学工业与民用建筑专业,现就职于中航规划动力设计研究院。

图1 屋架承载力等级选用表

### 3 18~24m跨屋架内力分析及比较

《屋架》图集将不同的屋面荷载、天窗架形式及下弦悬挂吊车的不同吨位进行组合，经过计算，供设计者进行选用（见《屋架》P6页表5）。本文仍然延续《屋架》的设计思路，以原图集的表5为基础，计算各不同工况组合下的屋架的下弦及各杆件的内力。

#### 3.1 计算模型

几何尺寸按照图集的尺寸，支座为两端不动铰支座，采用STS框排架模型计算。为了验证程序的准确性，以单元力 $P=1$ 作用桁架上弦，结果与《屋架》附录“内力数值表”对照，满足要求。

#### 3.2 荷载工况

恒荷载：屋面自重 $G_K$ （含屋面做法、大型屋面板自重等）

屋架自重 $G_1$ （计算屋架内力时程序自动计入）

活荷载：屋面活荷载 $Q_K$ 、吊车荷载 $Q_1$

《屋架》图集抗裂验算采用荷载短期效应组合值，即按屋面荷载组合设计值/1.25采用。悬挂吊车荷载按标准值计算。

#### 3.3 荷载工况组合

预应力抗裂验算采用荷载的短期效应组合，表达式：

$$S_d \leq C \quad (5)$$

$$S_d = \sum S_{G_{ik}} + S_{Q_{ik}} + \sum \psi_{Ci} S_{Q_{ik}} \quad (6)$$

《屋架》图集在屋面活荷载与吊车荷载组合时，组合系数未特别说明。在《屋架》第4页表1列出不同吊车吨位荷载值，本次计算直接按表1值采用，未再考虑组合系数。

#### 3.4 内力计算结果与《屋架》图集的对比

采用STS程序对18m、21m、24m跨约60种不同荷载组合进行了计算，得出下弦最大轴力标准值 $N_K$ ；以《屋架》图集表5为基础、以表1“屋架下弦各级承载最大轴力 $N_{kmax}$ ”值为标准，将超过该级轴力值 $N_{kmax}$ 的承载力等级提高一级，以阴影示出，见表2、表3、表4。

#### 3.5 对比分析

经过与原图集表5对比，18m跨屋架承载力等级需要调整的较多，即原来承载力等级为

1级的需提高到2级、2级的需提高到3级；而21m、24m跨则不需调整，原因分析如下：

将屋架简化为简支梁，设屋面均布线荷载均为 $q$ ，屋架计算跨度为 $L_0$ ，则跨中弯矩 $M$ 中：

预应力钢筋张拉时，应保持孔道中心、锚具中心和千斤顶中心“三心一线”。

下弦预应力筋张拉力 (kN) 表6

屋架型号	1		2		3	
	钢筋规格	每束张拉力	钢筋规格	每束张拉力	钢筋规格	每束张拉力
YWJ18-	2 $\phi$ 15.2	399.44	3 $\phi$ 15.2	599.17	4 $\phi$ 15.2	798.89
YWJ21-	3 $\phi$ 15.2	580.00	3 $\phi$ 15.2	580.00	4 $\phi$ 15.2	690.00
YWJ24-	3 $\phi$ 15.2	580.00	4 $\phi$ 15.2	690.00		
YWJ27-	3 $\phi$ 15.2	580.00	4 $\phi$ 15.2	690.00		
YWJ30-	3 $\phi$ 15.2	580.00	4 $\phi$ 15.2	690.00		

总说明 图索号 04G415-1 设计使用页 7

图2 下弦预应力筋张拉力

见图2（《屋架》第7页表6）。

## 2 屋架下弦在各级荷载下承载的最大轴力 $N_{kmax}$

在腐蚀性等级为“中”或“强”预应力混凝土结构厂房，裂缝控制等级为一级，即严格要求不出现裂缝的构件，公式表达：

$$\sigma_{ck} - \sigma_{pc} \leq 0 \quad (2)$$

$$N_{kmax1}/A_0 - N_P/A_n = 0 \quad (3)$$

$$N_{kmax} = (A_0/A_n) N_P \quad (4)$$

$N_{kmax}$ —— 荷载标准组合下弦最大轴力

$N_P$ —— 构件预加力(扣除全部预应力损失后)

$A_n$ —— 构件净截面面积

$A_0$ —— 构件换算截面面积

根据(4)式可分别计算出各跨下弦轴力承载标准值 $N_{kmax}$ ，见表1。



表1 屋架下弦各级承载最大轴力 $N_{kmax}$  (参考值)

承载力等级	18m跨			21m跨			24m跨		
	1 (2束)	2 (3束)	3 (4束)	1、2 (6束)	3 (8束)	1 (6束)	2 (8束)		
$N_{kmax}$ (kN)	331	486	624	987	1150	994	1196		

注:《图集》中关于各跨张拉控制应力 $\sigma_{con}$ 取值未明确说明, $N_{kmax}$ 是按《图集》表六张拉力反算得出。

表2 18m跨预应力砼屋架等级变化一览表

屋面荷载设计值 (kN/m <sup>2</sup> )	3.5			4			4.5			5.0			5.5			6		
	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e
天窗类型	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e
无悬挂吊车	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1台1t电动葫芦	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1台2t电动葫芦	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1台3t电动葫芦	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1台1t电动单梁 悬挂起重机	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1台2t电动单梁 悬挂起重机	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1台3t电动单梁 悬挂起重机	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

表3 21m跨预应力砼屋架等级变化一览表

屋面荷载设计值 (kN/m <sup>2</sup> )	3.5			4			4.5			5			5.5			6		
	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e
天窗类型	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e
无悬挂吊车	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	1	2	2
1台1t电动葫芦	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2
1台2t电动葫芦	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1台3t电动葫芦	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
1台1t电动单梁 悬挂起重机	1	1	1	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2		
1台2t电动单梁 悬挂起重机	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
1台3t电动单梁 悬挂起重机	1	1	1	1	2	2	1	2	3	2	2	3	2					

表4 24m跨预应力砼屋架等级变化一览表

屋面荷载设计值 (kN/m <sup>2</sup> )	3.5			4			4.5			5			5.5			6		
	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e
天窗类型	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e	a	b、c	d、e
无悬挂吊车	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2		
1台1t电动葫芦	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2			2		
1台2t电动葫芦	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2					
1台3t电动葫芦	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2					
1台1t电动单梁 悬挂起重机	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2			2			2		
1台2t电动单梁 悬挂起重机	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2			2					
1台3t电动单梁 悬挂起重机	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2			2					

表5 相同荷载条件下18~24m跨屋架下弦轴力对比表

跨度	高度 H (m)	跨度 L <sub>0</sub> (m)	非18m跨 较18跨轴力增加 %
18m跨	2.65	18	
21m跨	2.95	21	22
24m跨	3.10	24	52

$$M_{\text{中}} = (1/8) q L_0^2 \quad (7)$$

假设屋架高度为H, 下弦轴力近似为:

$$N = M/H \quad (8)$$

$$\text{即 } N = (1/8) q L_0^2 / H \quad (9)$$

从式9可以看出, 在相同荷载q作用下, 不同跨度的屋架内力存在对应关系。假设以18m跨为对象, 21m、24m内力与其比较, 见表5。

以《屋架》图集表5“屋面荷载设计值为5kN/m<sup>2</sup>、天窗类别为de、一台3t电动葫芦”为例, 各跨预应力筋数量对比见表6。

由此可见在相同荷载条件下21m、24m跨无论是预应力筋数量还是承载力增加的幅度超过了内力的增加幅度, 原21m、24m预应力筋的配置在抗裂方面有较大安全储备, 即使按现行《防腐规范》提高抗裂等级的情况下仍然能够满足规范要求。

## 4 原《图集》屋架下弦承载力与荷载效应的比较

### 4.1 预应力构件承载力设计值与标准值的比较

依据《混凝土》, 轴心受拉构件正截面承载力公式为

$$N \leq N_u = f_y A_s + f_{py} A_p \quad (10)$$

忽略非预应力筋, 上式变为

$$N_u = f_{py} A_p \quad (11)$$

上式中,  $f_{py}$  为预应力筋强度设计值, 对于1860MPa级钢绞线取1320 N/m<sup>2</sup>=0.71 $f_{ptk}$

$$\text{即: } N_u = 0.71 f_{ptk} A_p \quad (12)$$

$$\text{抗裂验算时, } \sigma_{ck} \leq \sigma_{pc} \quad (13)$$

$$\text{可以写为: } N_K / A_0 = N_P / A_n \quad (14)$$

$$N_K = (A_0 / A_n) N_P \quad (15)$$

$$= (A_0 / A_n) \cdot \sigma_{pe} \cdot A_p \quad (16)$$

(注:  $(A_0 / A_n)$  —— 对于21、24m下弦截面约为1.10)

$\sigma_{pe}$  —— 预应力筋有效应力, 一般为

$$\sigma_{pe} = \frac{(0.70 \sim 0.75) \times \text{张拉控制应力} - \text{扣除损失后应力比} \times 0.75}{\text{预应力筋极限强度标准值}} \times \frac{f_{ptk}}{1.03} = (0.54 \sim 0.58) f_{ptk} \quad (17)$$

式17变为

$$N_K = 1.10 \times (0.54 \sim 0.58) f_{ptk} A_p = (0.60 \sim 0.64) f_{ptk} A_p \quad (18)$$

比较式12、18, 可以看出在配有相同预应力筋种类、相同预应力筋数量的情况下, 下弦抗拉承载力设计值 $N_u$ 约是抗拉承载力标准值 $N_K$ 的1.1~1.18倍, 二者相差并不大。

### 4.2 预应力构件荷载效应设计值与标准值的比较

依据《建筑结构荷载规范》及本文的情况, 屋架应为永久荷载控制效应组合, 荷载效应基本组合设计值表达式为:

$$S_{\text{设}} = 1.35 \times S_{\text{恒}} + 1.4 \times S_{\text{活}} \quad (19)$$

表6 相同荷载条件下18~24m跨屋架下弦预应力筋数量及承载力对比表

跨度	承载力等级	预应力筋数量	非18m跨与18跨对比 预应力筋数量增加百分比 (%)	非18m跨与18跨承载力 N <sub>kmax</sub> 增加百分比 (%)
18m跨	3	4		
21m跨	2	6	50	58.2
24m跨	2	8	100	91.7

注: N<sub>kmax</sub>见表1

表7 21m、24m屋架内力对照表

荷载情况	21m跨		24m跨	
	天窗类型: b、c 一台3t电动葫芦	天窗类型: a 一台2t单梁吊车	天窗类型: b、c 一台3t电动葫芦	天窗类型: a 一台2t单梁吊车
下弦轴力设计值 $N_{\text{设}}$	796	851	928	1055
下弦轴力标准值 $N_{\text{标}}$	607	628	704	779
$N_{\text{设}}/N_{\text{标}}$	1.31	1.355	1.31	1.35

表8 18~24m屋架受拉斜腹杆普通钢筋的调整

杆件编号	18m跨		21m跨		24m跨		
	F1a (F1b)	F3	5-5剖面	F2	5-5剖面	F2	F5
原设计配筋	4Φ12 (4Φ14)	4Φ10	4Φ12+2Φ14, 6Φ14	4Φ10	4Φ12+2Φ14, 6Φ14	4Φ12	4Φ14
建议调整配筋	4Φ14 (4Φ16)	4Φ14	6Φ14	4Φ12	6Φ16	4Φ14	4Φ14 (受力较小)

(计算从略)

荷载效应标准组合设计值表达式为:

$$S_{\text{标}}=S_{\text{恒}}+S_{\text{活}} \quad (20)$$

经过对多个普通排架厂房屋面恒荷载的统计,活载约为恒载15~20%,配以权重,总的分项系数约为1.35,式20变为

$$S_{\text{设}}=1.35 (S_{\text{恒}}+S_{\text{活}}) \quad (21)$$

式21看可以理解为屋架内力的荷载效应设计值约是荷载效应标准值的1.35倍。

为了说明问题,分别选取21m、24m屋架各两种情况进行计算比较,见表7。

从上表也印证轴力设计值约是标准值的1.35倍。为了清楚显示上述关系,见图3。

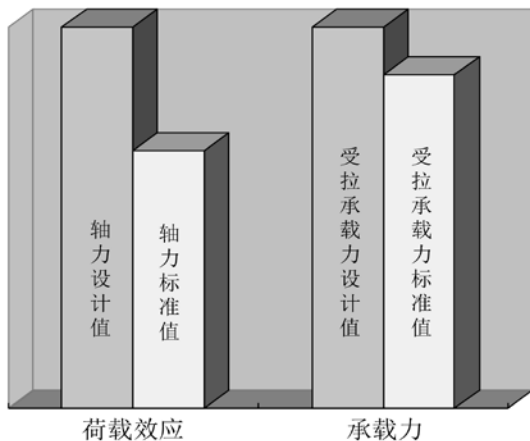


图3 荷载效应和承载力关系图

《图集》预应力屋架既要满足抗裂要求,更要满足承载力设计值的要求,具双重任务,就要看是哪种情况起控制作用。从上图可以看出,当轴力设计值达到承载力设计值时,受拉承载力标准值远大于轴力标准值,也就是抗裂承载力留有较多安全储备,预应力筋的配置是承载力控制,而非抗裂控制。

21m、24m跨度屋架承载力分级虽分为三级,但一、二级配置预应力筋数量均相同,无极差,以控制受拉承载力为目标,则抗裂承载力有较多安全储备,所以不需调整。

## 5 非预应力受拉斜腹杆配筋调整

根据《防腐规范》4.2.4条、表4.2.4的规定,“钢筋混凝土结构在强腐蚀环境下的最大裂缝宽度允许值为0.15mm”。18~24m屋架受拉斜腹杆普通钢筋建议做如下调整,见表8。

## 6 构造方面

保护层厚度预应力筋部分可以满足要求;非预应力筋方面现行《图集》为25mm,《防腐规范》表4.2.5要求最小保护层厚度为“30mm”,建议保护层厚度调整为30mm。

## 7 结论及建议

本文通过对国标图集《屋架》的抗裂性能研究,结论如下:

- (1) 18m跨预应力混凝土屋架的承载能力等级建议做调整;
- (2) 21m、24m预应力混凝土屋架无需调整,继续使用可以满足要求;
- (3) 18~24m屋架受拉腹杆非预应力筋建议加大;
- (4) 建议设计者在选用《屋架》图集时建模计算。若下弦轴力不超表1的值,抗裂即可满足要求。

## 参考文献

- [1] 《工业建筑防腐蚀设计规范》(GB50040-2008)。
- [2] 《混凝土结构设计规范》(2015年局部修订)(GB 50010-2010)。
- [3] 《建筑结构荷载规范》(GB 50009-2012)。



# 钢支撑-混凝土框架结构 抗震性能探讨

■ 闫军 余长霞 张晓光 「结构」

**摘要:** 抗震设防烈度为6~8度的钢筋混凝土框架结构,当房屋高度超过其最大适用高度时,可采用钢支撑-混凝土框架结构。通过对模型工程进行小震弹性、大震弹性及大震弹塑性地震作用计算,分析了钢支撑框架对提高结构抗震性能所起到的作用,并对此类工程提出设计建议。

**关键词:** 抗震性能;抗侧刚度;钢支撑;弹塑性分析

## 0 引言

钢筋混凝土框架结构具有空间布置灵活、使用方便的优点,在多高层建筑中应用广泛。对于抗震设防烈度为6~8度的钢筋混凝土框架结构,当房屋高度超过抗震规范<sup>[1]</sup>6.1.1条规定的最大适用高度时,可采用钢支撑-混凝土框架结构。《抗规》将钢支撑框架在整个结构中的地位类比于框架-剪力墙中的剪力墙,对钢支撑框架的结构布置、抗震计算、水平位移限值等做了一些原则性的规定。

目前,各国在钢结构框架-支撑体系方面已取得了大量研究成果<sup>[2-6]</sup>,并得到广泛应用。但对钢支撑-混凝土框架的研究较少:陆新征等<sup>[7]</sup>开展了利用人字支撑提高异形柱框架结构抗扭性能的研究;陈新孝等<sup>[8]</sup>开展了偏心支撑钢筋混凝土框架的试验研究与极限分析;石见光等<sup>[9]</sup>对偏心钢支撑-钢筋混凝土框架的侧移和地震反应进行了研

究;代红军等<sup>[10]</sup>对钢筋混凝土框架-钢管支撑结构进行了地震反应分析;樊海涛等<sup>[11]</sup>进行了带X型支撑钢筋混凝土框架结构抗震性能分析;孟维华<sup>[12]</sup>进行了钢支撑-混凝土框架结构设计探讨。钢支撑-混凝土框架结构的工程实例不多,本文通过对模型工程进行地震作用计算,分析了钢支撑框架对提高结构抗震性能所起到的作用,并对此类工程提出设计建议。

## 1 抗震性能分析

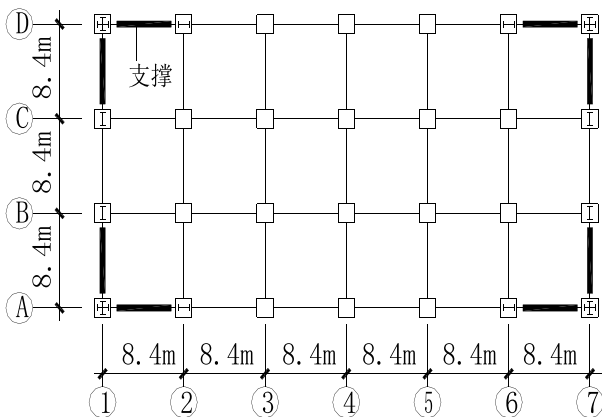
### 1.1 模型的建立

通过构造一个小高层模型来考察钢支撑对结构的影响。设定模型工程抗震设防烈度8度(0.2g),建筑场地类别Ⅲ类,特征周期值为0.45s;共12层,层高4.2m,建筑高度50.4m;楼面恒载取值为 $10\text{kN}/\text{m}^2$ (含楼板、建筑面层及隔墙重),楼面活荷取值为 $2.5\text{kN}/\text{m}^2$ 。结构体系采用钢支撑-混凝土框架结构(M-1模型),结构布置见图1。1~8层支撑斜杆采用 $280\times 14$ 方钢管,9~12层支撑斜杆采用 $240\times 12$ 方钢管。框架柱截

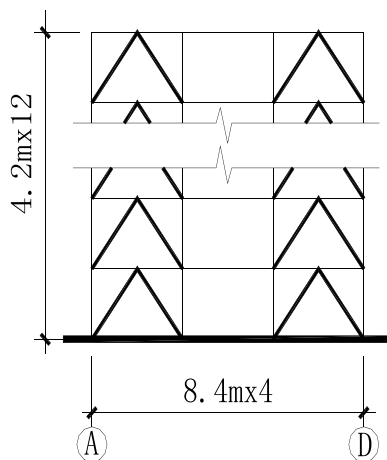
作者简介:闫军,男,研究员,1998年毕业于哈尔滨工业大学计算力学专业,现就职于中航规划电子设计研究院。

面及混凝土强度：1~4层 $900 \times 900$ , C60；5~8层 $800 \times 800$ , C50；9~12层 $700 \times 700$ , C40。框架梁截面均为 $400 \times 700$ , C30混凝土。钢筋采用HRB400，钢支撑采用Q235B。框架抗震等级一级，支撑-框架部分抗震等级特一级。与支撑斜杆相连的梁柱均采用型钢混凝土构件。

为进行对比，另外构造了一个框架-剪力墙模型（M-2模型）和一个纯框架模型（M-3模型）。M-2模型系将M-1模型中的钢支撑替换为剪力墙，剪力墙厚度及混凝土强度：1~4层350, C60，5~8层300, C50，9~12层250, C40；每片墙中部均开设 $2400\text{mm} \times 3600\text{mm}$ 洞口；型钢混凝土梁柱改为普通钢筋混凝土构件，其他均同M-1模型；剪力墙抗震等级一级，框架抗震等级二级。M-3模型系将M-1模型中的钢支撑取消，型钢混凝土梁柱改为普通钢筋混凝土梁柱，其他均同M-1模型；框架抗震等级一级。



a-支撑-框架平面布置



b-支撑-框架立面

图1 结构布置图

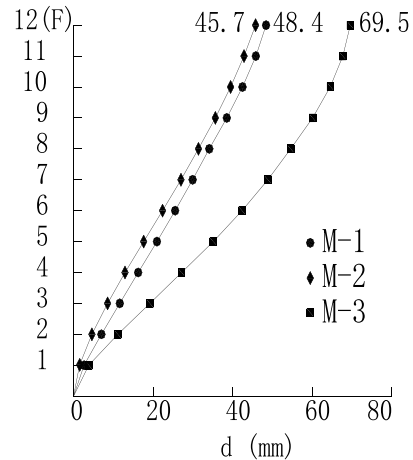


图2 楼层位移曲线

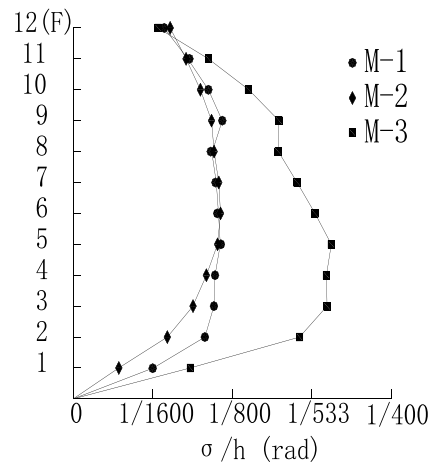


图3 层间位移角曲线

## 1.2 多遇地震作用分析

采用PKPM-SATWE软件进行多遇地震弹性分析，采用振型分解反应谱法计算地震力，振型组合采用CQC法，主要计算结果见表1。从计算结果可见，钢支撑-混凝土框架结构其抗侧刚度较纯框架结构明显提高，接近于框-剪结构；支撑斜杆与框架梁、柱组成的竖向桁架构成结构的主要抗侧力构件，承担了50%以上的地震倾覆力矩。不同于纯框架结构的剪切型变形特征，在水平地震力作用下，支撑-框架结构的位移曲线呈弯剪型，与框-剪结构类似，见图2；各层层间位移分布较均匀，最大层间位移角满足规范要求，见图3。从振动模态来看，M-1、M-2模型前两阶振型为平动，第三振型为扭转，由于主要抗侧力构件沿建筑周边布置，因而提供了很好的抗扭刚度，第一扭转周期与第一平动周期的比值远小于规范0.9的限值。

表1 多遇地震弹性分析结果

模型	支撑-框架 (M-1)	框架-剪力墙 (M-2)	纯框架 (M-3)
结构自重(t)	22750	23913	22350
底部剪力 $V_x, V_y$ (kN)	12734, 12613	13504, 13368	8982, 8664
剪重比	X向: 5.60%, Y向: 5.54%	X向: 5.65%, Y向: 5.59%	X向: 3.97%, Y向: 3.83%
自振周期(s)	$T_{y1}=1.46,$ $T_{x1}=1.43, T_{t1}=0.98$	$T_{y1}=1.37,$ $T_{x1}=1.35, T_{t1}=0.92$	$T_{y1}=2.19,$ $T_{x1}=2.10, T_{t1}=1.99$
周期比	$T_{t1}/T_{y1}=0.67$	$T_{t1}/T_{y1}=0.67$	$T_{t1}/T_{y1}=0.91$
最大层间位移角	X向: 1/852; Y向: 1/833	X向: 1/863; Y向: 1/852	X向: 1/511; Y向: 1/493
底层框架承担地震倾覆力矩	X向: 47.11%, Y向: 44.60%	X向: 28.86%, Y向: 25.12%	X向: 100%, Y向: 100%

### 1.3 弹塑性静力推覆分析

采用PKPM-PUSH软件对结构进行弹塑性静力推覆分析(Push-Over), 并考察结构在大震作用下的抗倒塌性能, 侧推荷载采用倒三角形, 材料强度采用标准值。M-1模型的性能点最大层间位移角为1/146, 满足“大震不倒”的要求; 从A轴框架在性能点时刻的塑性铰分布情况来看, 塑性铰主要集中在1~6层的支撑斜杆, 共48处,

与斜杆相连的框架柱出铰3处, 其他梁柱均完好。M-2模型的性能点最大层间位移角为1/87, 不满足“大震不倒”的要求; 塑性铰主要分布于剪力墙、连梁及中部楼层的框架梁端部。M-3模型的性能点最大层间位移角为1/47, 不满足“大震不倒”的要求; 塑性铰广泛分布于梁、柱端部。从静力推覆分析结果可见, M-1模型中钢支撑率先屈服, 较好的发挥了第一道防线的作用, 结构的抗倒塌性能良好。

### 1.4 弹塑性动力时程分析

首先, 参照小震选波条件, 选取了两条人工波RH2TG045、RH4TG045及一条天然波TH2TG045。对上述3条地震波进行了大震弹性反应谱与弹性时程分析之间底部剪力和频谱特性的比较, 以验证所选地震波的合理性。从表2计算结果可见, 所选地震波时程分析的结构底部剪力均不小于振型分解反应谱法计算结果的65%, 三条波平均底部剪力不小于振型分解反应谱法计算结果的80%。从图4可见, 所选地震波的平均谱地震影响系数曲线与规范谱比较吻合, 各条地震波的地

表2 大震弹性时程分析与反应谱法底部剪力对比

方向	反应谱	RH2TG045	RH4TG045	TH2TG045	平均谱
X 比值	71632	68542	71694	55408	65214
	100%	96%	100%	77%	91%
Y 比值	70951	65887	73815	55198	64967
	100%	93%	104%	78%	92%

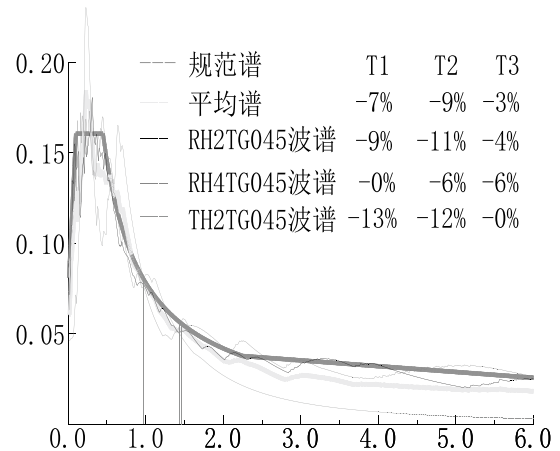


图4 大震规范谱与地震波谱对比图

震影响系数曲线在主要振型周期点上与规范谱相差均不大于20%。由此可见, 本工程所选用的三条地震波是合适的。

采用PKPM-EPDA软件对M-1模型进行大震弹塑性动力时程分析。主方向地震波加速度峰值取 $400\text{cm/s}^2$ , 主方向与次方向的峰值加速度比为



表3 大震弹塑性与小震CQC底部剪力对比及大震剪重比

方向	X为主输入方向			Y为主输入方向		
	底部剪力(kN)	大震/CQC	剪重比	底部剪力(kN)	大震/CQC	剪重比
地震波						
小震CQC	12734			12613		
RH2TG045	37112	2.9	16.3%	36897	2.9	16.2%
RH4TG045	40772	3.2	17.9%	40866	3.2	17.9%
TH2TG045	32410	2.5	14.2%	31517	2.4	13.8%

表4 大震弹塑性与弹性时程底部剪力对比

方向	X为主输入方向			Y为主输入方向		
	弹塑性(kN)	弹性(kN)	弹塑性/弹性	弹塑性(kN)	弹性(kN)	弹塑性/弹性
地震波						
RH2TG045	37112	68542	0.54	36897	65887	0.56
RH4TG045	40772	71694	0.57	40866	73815	0.55
TH2TG045	32410	55408	0.58	31517	55198	0.57

表5 大震弹塑性位移角

地震波	X向 (所在楼层)	Y向 (所在楼层)
RH2TG045	1/149 (3)	1/134 (3)
RH4TG045	1/149 (3)	1/139 (4)
TH2TG045	1/194 (9)	1/182 (9)

1:0.85;地震波持续时间为20s。材料强度采用标准值,混凝土本构关系采用三线性模型,钢材塑性刚度蜕化系数为0.01,杆系构件选择纤维束模型。从表3、表4计算结果可见,无论是大震剪重比,还是大震弹塑性与小震反应谱法或大震弹性时程分析所得的底部剪力之比均在合理范围之内。从表5可见,大震弹塑性位移角均满足规范要求,且最大位移角与Push-Over分析结果很接近。

图5为地震波RH4TG045主输入方向为X向时结构顶点位移时程曲线,弹性位移最大值为270mm,弹塑性位移最大值为234mm。对比两条曲线,4.5s以前弹性和弹塑性位移时程曲线基本一致,结构基本处于弹性工作状态。4.5s以后,弹塑性位移略小于弹性位移,且峰值出现时刻有一定滞后,说明部分构件开始进入塑性工作状态。检查构件损伤

情况发现,此时底部楼层钢支撑进入塑性状态,减小了结构刚度,起到了耗能作用,结构地震剪力有所减小。

## 2 有关设计建议

(1)本工程与支撑斜杆相连的框架梁柱均采用型钢混凝土构件,主要是考虑以下因素:①支撑框架部分是结构的主要抗侧力构件,采用型钢混凝土可提高结构延性及大震耗能能力;②对于底部楼层,由于支撑斜杆的轴压力分量,使得柱轴压力大幅增加,在不加大截面的前提下,通过设置柱内型钢较容易满足轴压比要求;③对于顶部楼层,由于支撑斜杆的轴拉力分量,使得柱承受较大拉力,设置柱内型钢可承受此拉力;④对于水平梁,当人字支撑的腹杆在大震下受压屈曲后,其承载力将下降,导致横梁在支撑处出现向

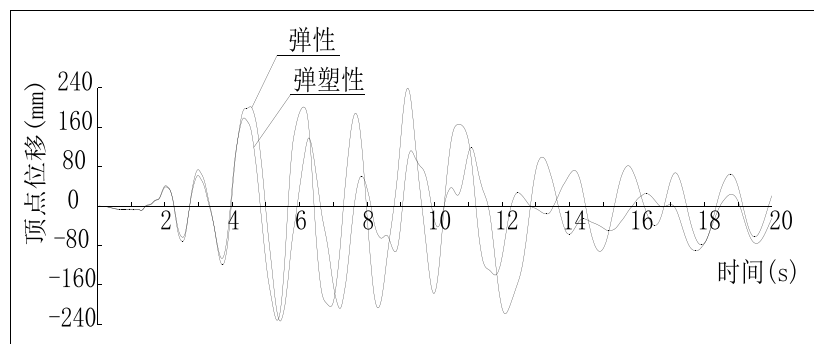


图5 X方向顶点位移时程曲线

下的不平衡力,可能引起横梁破坏和楼板下陷,故需对此梁加强;⑤便于连接,由于支撑斜杆内力较大,普通预埋件的拉剪承载力有限,为满足强连接弱构件的原则,可将支撑斜杆与焊接于梁柱内型钢的节点板相连。综上所述,建议与支撑斜杆相连的框架梁柱内设置型钢。

(2) 支撑框架部分是结构的主要抗侧力构件,作为第一道防线的支撑,大震作用下斜杆受压屈曲,混凝土框架部分按刚度分配的剪力会比多遇地震下大,需要对作为第二道防线的框架进行加强。

《抗规》G.1.4条第3款规定“混凝土框架部分承担的地震作用,应按框架结构和支撑框架结构两种模型计算,并宜取二者的较大值”。也就是说,对于混凝土框架部分需要进行包络设计。

(3) 钢支撑-混凝土框架结构的结构布置与框架-剪力墙结构有很多相似之处:钢支撑框架应在结构的两个主轴方向同时设置;钢支撑在平面内的布置应避免导致扭转效应,钢支撑间的楼板应能有效传递水平力;钢支撑在竖向布置上宜上下连续,当受到建筑方案影响无法连续布置时,宜在邻跨延续布置。

### 3 结论

(1) 通过在框架结构中引入钢支撑可有效提高结构抗侧刚度,小震作用下,钢支撑-混凝土框架结构与框架-剪力墙结构具有相似的振动模态,支撑框架部分承担大部分水平力,其作用与框剪结构中的剪力墙类似。

(2) 通过静力推覆分析及大震弹塑性分析可知,钢支撑-混凝土框架结构的大震抗倒塌性能良好;该体系可实现多道防线的抗震设计,大震作用下支撑部分首先屈服,成为结构的第一道防线,普通框架则为结构的第二道防线。

(3) 为提高支撑框架部分的延性,并满足连接节点的强连接弱构件要求,建议在与钢支撑相连的框架梁柱内设置型钢,从而提高整个结构的抗震性能。

### 参考文献

- [1] GB 50011-2010 建筑抗震设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [2] JGJ 99-98 高层民用建筑钢结构技术规程[S].北京:中国建筑工业出版社,1998.

- [3] 刘大海,杨翠如. 高楼钢结构设计[M].北京:中国建筑工业出版社,2003.
- [4] 黄世敏,杨沈等. 建筑震害与设计对策[M].北京:中国计划出版社,2009.
- [5] 陈明华,高轩能. 支撑类型和布置方式对高层钢框架结构抗侧移刚度的影响[J].钢结构.,2006增刊:220-225.
- [6] 管克俭,王新武,彭少民. 钢框架支撑体系的应用和分析方法[J].中国工程科学,2003,5(5):80-83.
- [7] 陆新征,江见鲸. 利用斜钢支撑提高异形柱框架结构抗扭性能的研究[J].工业建筑,2002,32(6):39-41.
- [8] 陈新孝,牛荻涛. 偏心支撑钢筋混凝土框架的试验研究与极限分析[J].工业建筑,2003,33(3):35-38.
- [9] 石建光,叶志明. 偏心钢支撑-钢筋混凝土框架的侧移和地震反应[J].工业建筑,2008,38(1):106-109.
- [10] 代红军,祁皓. 钢筋混凝土框架-钢管支撑结构地震反应计算分析[J].福州大学学报:自然科学版,2009,37(6):889-894.
- [11] 樊海涛,王志鑫,赵黄娟,孙爱伏. 带X型支撑钢筋混凝土框架结构抗震性能分析[J].建筑科学与工程学报,2013,30(2):35-41.
- [12] 孟维华. 钢支撑-混凝土框架结构设计探讨[J].甘肃科技,2013,29(10):124-126.

# 浅谈低压配电系统电缆热稳定校验

■ 高凤荣 丁杰 「电气」

**摘要:** 根据GB50054-2011《低压配电设计规范》及GB50217-2007《电力工程电缆设计规范》，对低压配电系统出线电缆的选择，除根据负荷计算电流按电缆载流量选择外，还要对电缆作热稳定校验，但目前缺少深入研究和量化计算，尤其在考虑短路电流非周期分量影响时，设计者更不知如何计算从而忽略了此项工作。本文根据保护电器的动作时间，论述如何按满足短路热稳定条件确定电缆导体允许最小截面，供电气设计者进行电缆热稳定校验时参考使用。

**关键词:** 短路电流非周期分量；保护电器动作时间；电缆热稳定校验；断路器的限流能力；允通能量

## 0 引言

电气设计人员常常对变压器高压侧电缆按满足热稳定条件确定电缆导体允许最小截面，但对低压侧电缆的短路热稳定却很少校验，有些设计者也不知该如何校验，设计手册也查不出明确的计算方法。随着大容量变压器的使用越来越多，低压侧的短路电流也越来越大和断路器的制造水平的提高，分断能力已不成问题，但一些自变压器低压侧母线引出的小负荷出线回路，如配电柜交流小母线回路、消防控制室、安防控制室等处的出线回路，负荷容量很小，所选电缆截面较小，不满足规范对电缆热稳定的要求。

## 1 相关规范对低压配电系统电缆热稳定校验的规定

根据GB50217-2007《电力工程电缆设计规

范》第3.7.7条的规定：对非熔断器保护回路，应按满足短路热稳定条件确定电缆导体允许最小截面。

根据GB50054-2011《低压配电设计规范》第6.2.3条：绝缘导体的热稳定，应按其截面积校验，当短路持续时间小于等于5s时，绝缘导体的截面积应符合公式 $S \geq \frac{I}{k} \sqrt{t}$  短路持续时间小于0.1s时，校验绝缘导体截面积应计入短路电流非周期分量的影响；大于5s时，校验绝缘导体截面积应计入散热的影响。

根据GB16895.5-2012/IEC60364-4-43：2008《低压电气装置第4-43部分：安全防护过电流保护》第434.5.2条：对于电缆和绝缘导体，应在使导体绝缘的温度上升到不超过允许限值的时间 $t$ 内切断在回路任一处的短路引起的所有电流。

对于保护电器的动作时间小于0.1s情况，短路电流的不对称分量起重要影响，而对于限流保护电器而言， $K^2 S^2$ 应大于由保护电器的制造厂提供的允许通过的能量 $(I^2 t)$ 值。

对于持续时间不超过5s的短路，由已知的短路电流使导体绝缘由正常运行的最高允许温度上升到极限温度的时间 $t$ 可近似地采用下式计算：

作者简介：高凤荣，女，研究员，1985年毕业于郑州工学院电力系统及其自动化专业，现就职于中航规划市政工程设计研究院。



表1 导体的k值

特性/状况	导体绝缘的类型							
	PVC 热塑型塑料		PVC 热塑型塑料 90℃		EPR XLPE 热固型的	橡胶 60℃ 热固型的	矿物质 PVC 护套 无护套	
导体截面积/mm <sup>2</sup>	≤300	>300	≤300	>300				
初始温度/℃	70		90		90	60	70	105
最终温度/℃	160	140	160	140	250	200	160	250
导体材料								
铜	115	103	100	86	143	141	115	135
铝	76	68	66	57	94	93	—	—

$$t=(K \cdot S/I)^2$$

式中:

t—持续时间,单位为秒(s);

S—导体截面积,单位为平方毫米(mm<sup>2</sup>);

I—有效的短路电流方均根值(r.m.s),单位为安(A);

k—取决于导体材料的电阻率、温度系数和热容量以及相应的初始和最终温度的系数。对于以常用材料绝缘的导体的k值,见表1。

## 2 如何进行低压配电系统电缆热稳定校验

随着低阻抗大容量变压器的使用,变压器低

压侧的短路电流可达几十千安以上,要求短路保护电器不但要有足够大的分断能力,还应带有显著的限流效应,这就促进了限流技术在低压电器中的应用。断路器的限流能力是指断路器在短路发生时具有限制短路电流的能力,所允许通过的电流值,低于预期的短路电流值,见图1。

限流型低压断路器的限流原理是依靠短路电流产生的电动斥力或通过冲击电磁铁产生的电磁力使触头系统在操作机构动作前就使提前斥开而呈现电弧,利用电弧电压来限制电流。由于有限流作用的存在,实际分断电流的幅值要比预期的短路电流值小很多,燃弧时间缩短,因此允通能量和电弧能量都减小。允通能量的减小能够降低断路器自身和电网中其他设备的短路电动力和热效应。

低压配电系统在变压器低压侧出口处的短路电流最大,短路电流在变压器低压母线电缆出线引起的热效应值也大,电缆应能耐受短路电流流过时间内的热效应而不致损坏,需要按满足热稳定条件确定电缆导体允许最小截面,以确定变压器低压母线各电缆出线是否满足规范对电缆热稳定的要求。

变压器低压侧配电设计所选用的短路保护电器多为断路器,主要为万能式断路器和塑料外壳式断路器。万能式断路器用在主进线及大容量负荷的出线回路,大容量负荷出线回路的额定电流较大,所选电缆截面积也很大,一般都可满足规范对电缆热稳定的要求。对于电缆热稳定校验,主要是针对根据计算电流选择了较小截面的电缆,

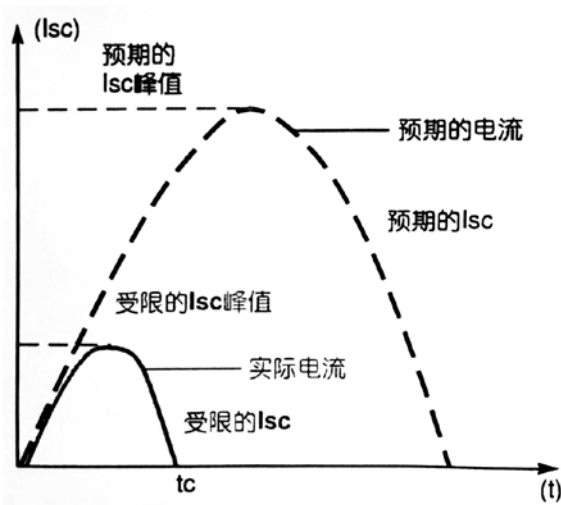


图1 断路器限流特性示意图

对于变压器低压侧出线大量采用塑壳断路器，国内外目前生产的塑壳断路器大多是能够快速开断而有限流作用的。对于自变压器低压侧母线引出的小负荷出线回路，采用塑壳断路器保护，负荷容量很小，所选电缆截面较小，需要对电缆热稳定进行校验。

从上述电缆热稳定校验相关规范可以看出，低压配电系统电缆热稳定校验首先看保护电器的动作时间，分 $t < 0.1s$ 、 $0.1s \leq t \leq 5s$ 、 $t > 5s$ 三种情况分别校验。

## 2.1 保护电器的动作时间 $t < 0.1s$ 的情况

塑壳断路器热磁脱扣单元短路保护，当短路电流达到额定电流的10倍以上时，断路器磁保护瞬时动作，ABB的 $T_{max}$ 、施耐德的NSX、常熟开关厂的CM系列塑料外壳式断路器的动作时间均在0.02s以下，国内外目前生产的塑壳断路器大多是能够快速开断的，分断时间短得足以阻止短路电流达到其预期峰值前分断，均为限流型低压断路器，保护电器瞬时动作时间都是 $< 0.1s$ 的。根据前面所列规范要求，对于保护电器的动作时间小于0.1s情况，短路电流的不对称分量起重要影响，而对于限流保护电器而言， $K^2S^2$ 应大于由保护电器的制造厂提供的允许通过的能量( $I^2t$ )值。如ABB、施耐德、常熟开关厂等制造厂提供了允通能量曲线，下面我们说明在工程中如何使用允通能量曲线做电缆短路热稳定校验。图2以施耐德公司的NSX塑壳断路器允通能量曲线为例进行说明：

图2中横坐标为有效的短路电流方均根值(r.m.s)，单位为千安(kA)；纵坐标为断路器允许通过的能量( $I^2t$ )值，单位为 $A^2s$ 。假设有一台变压器低压侧出线电缆首端短路电流有效值为30kA，出线的保护电器为NSX100，在

允通能量曲线横坐标上找出对应的点平移至纵坐标，在纵坐标上的数值约为 $6 \times 10^5 A^2s$ ，此值即为 $I^2t$ 。根据规范， $K^2S^2 > I^2t$ ，由表1中查出k值，若选用交联聚乙烯绝缘铜芯电缆，则 $k=143$ ，可以求出 $S > 5.42mm^2$ ，选择交联聚乙烯铜芯电缆 $6mm^2$ 即可满足热稳定要求。若选用聚氯乙烯铜芯电缆，则 $k=115$ ，可以求出 $S > 6.74mm^2$ ，选择聚氯乙烯铜芯电缆 $10mm^2$ 即可符合热稳定校验的要求。若按额定电流选择NSX100N脱扣器额定电流为16A或25A，选择交联聚乙烯绝缘铜芯电缆或聚氯乙烯铜芯电缆， $4mm^2$ 截面可满足额定电流的要求，但不满足热稳定校验的要求，故设计要进行电缆热稳定校验。不同的制造厂保护电器性能不同，提供的允许通过的能量( $I^2t$ )值也不同，以上是根据施耐德的NSX举例说明的，设计者在选用不同制造厂的产品时，应要求制造厂提供相关数据及允通能量曲线，根据以上说明在采用这些产品时进

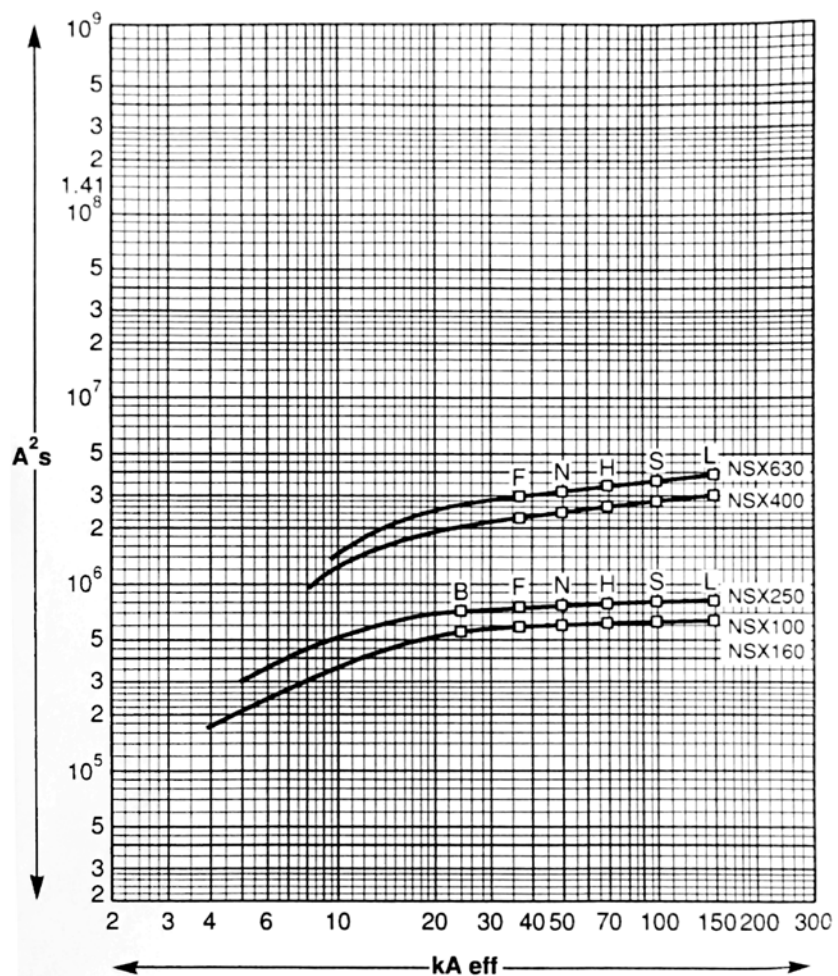


图2 NSX塑壳断路器允通能量曲线

行短路校验的方法是相同的。

## 2.2 保护电器的动作时间 $0.1\text{ s} \leq t \leq 5\text{ s}$ 的情况

对于个别性能参数差一些的断路器, 没有限流功能, 保护电器的动作时间相对较长, 在 $0.1\text{ s} \leq t \leq 5\text{ s}$ 的范围内, 短路电流热效应值会大一些, 电缆热稳定校验的最小截面积也会增大。电缆截面积应按公式 $S \geq \frac{I}{k} \sqrt{t}$ 进行校验, 式中 $t$ 为保护电器的动作时间;  $I$ 为通过保护电器的预期故障电流或短路电流 [交流方均根值 (A)]。短路点应选取在通过电缆回路最大短路电流可能发生处, 即短路点取出线电缆首端。假设有一台变压器低压侧出线电缆首端短路电流有效值为 $30\text{ kA}$ , 出线的保护电器为不带限流功能的断路器, 保护电器的动作时间 $0.1\text{ s}$ , 若选用交联聚乙烯绝缘铜芯电缆, 则 $k=143$ ,  $I=30\text{ kA}$ ,  $t=0.1\text{ s}$ , 求出 $S \geq \frac{I}{k} \sqrt{t} = 66.34\text{ mm}^2$ , 选择交联聚乙烯铜芯电缆 $70\text{ mm}^2$ 才能满足热稳定要求。若选用聚氯乙烯铜芯电缆, 则 $k=115$ ,  $I=30\text{ kA}$ ,  $t=0.1\text{ s}$ , 求出 $S \geq \frac{I}{k} \sqrt{t} = 82.49\text{ mm}^2$ , 选择聚氯乙烯铜芯电缆 $95\text{ mm}^2$ 才能符合热稳定校验的要求。若在变压器低压侧各出线均选择如此大截面的电缆, 不仅投资增加, 给施工接线也带来很大麻烦。变压器容量越大, 低压侧短路电流越大, 电缆截面积也就更大。因此设计者要选用具有限流功能的断路器, 发生短路故障时断路器能够快速开断, 实际分断电流的幅值要比预期的短路电流值小很多, 允通能量减小, 电缆热稳定截面积按允通能量曲线校验就可降低几档。

## 2.3 保护电器的动作时间 $t > 5\text{ s}$ 的情况

在实际设计和应用中没有设备或线路发生短路故障时, 保护电器在大于 $5\text{ s}$ 还不动作的情况, 故可不考虑。

## 3 结语

低压配电系统电气设计时, 若配电线路保护电器选择断路器, 应选用快速开断的限流型断路器, 保护电器的动作时间小于 $0.1\text{ s}$ 、应根据所选断路器制造厂试验结果提供的允通能量曲线, 选择低压配电系统出线电缆的最小截面, 以满足电缆热稳定校验的要求。被保护回路内任一点发生短路时, 保护电器都能在被保护回路的电缆温度

上升到允许限值前的时间内切断电源。

## 参考文献

- [1] 中机中电设计研究院有限公司, 起草。GB16895.5-2012/IEC60364-4-43: 2008 低压电气装置第4-43部分: 安全防护过电流保护 [S] 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [2] 中机中电设计研究院有限公司, 主编。GB50054-2011 低压配电设计规范 [S] 北京: 中国计划出版社, 2012.
- [3] 中国电力工程顾问集团西南电力设计院, 主编。GB50217-2007 电力工程电缆设计规范 [S]。北京: 中国计划出版社, 2008.
- [4] 施耐德电气。Compact NSX塑壳断路器。2009.



# 初步设计调整概算编制方法应用研究 ——以某项目为例

■ 李楠 「工程造价」

**摘要:** 目前,我国建筑行业由于设计变更、政策性调整、物价水平变化等因素引起的工程超概情况时有发生,本文以某项目的实际案例分析工程概算调整的原因,总结其工程概算调整的方法,以期达到准确编制工程概算、合理调整概算的目的,同时也可为今后其他项目调整概算提供一个参考。

**关键词:** 工程;超概算;调整办法

## 0 绪论

工程建设项目概算是设计单位依据批复的可行性研究报告投资估算,在初步设计阶段,根据初步设计资料、图纸和设备材料表、建设项目所在地区现行建设工程概算定额或概算指标;国家、行业及项目所在地区工程建设其他费用定额、标准和有关规定,用科学的方法编制和确定的建设项目从筹建至竣工验收所需全部费用文件。

项目初步设计及概算批复核定后,应当严格执行,不得擅自增加建设内容、扩大建设规模、提高建设标准或改变设计方案。根据航空工业建设项目投资估算和设计概算编制办法[HB14—2013]规定,符合调整概算原因需要调整概算时,由建设单位调查分析变更原因报主管部门同意后,应由原设计单位核实编制调整概算,并按有关审批程序报批。本文以某项目为例分析概算调整方法及原因。

## 1 工程超概的原因

### 1.1 政策性调整引起费用变化

#### (1) 人工费调整

该项目建设周期长,根据当地的政策性文件每半年调整一次人工费,人工费由2011年初步设计编制期到施工期间的上涨约30%,较初步设计概算增加约2000万元。

#### (2) 建筑材料费调整

项目建设周期较长,且初步设计概算编制完成到项目施工阶段要经过一定的前期准备时间,材料价格波动较大。如钢材自初步设计概算编制完成到项目施工期上涨约12%,商品混凝土自初步设计概算编制完成到项目施工期上涨约10%,以上两种主要材料的价格上涨,导致实际实施价格较初步设计概算增加约2000万元。

#### (3) 规范标准提高费用调整

根据国家国防科技工业局及中国航空工业集团公司相关文件要求,保密技防规范标准提高,导致弱电工程实际实施费用较初步设计概算增加约5000万元;根据住房和城乡建设部、国家质量监督检验检疫总局联合发布的《建筑设计防火规

作者简介:李楠,男,工程师,2011年毕业于天津理工大学工程管理专业,现就职于中航规划动力工程设计院。

范》(GB50016-2014),对钢结构的防火要求进一步提高了标准,某些房号的钢结构需要增加防火涂料及某些部位的防火封堵,导致实际实施费用较初步设计概算增加约1000万元。

## 1.2 地质条件复杂及地基处理引起费用变化

### (1) 桩基及地基处理增加费用

该项目建设地点地貌总体上是浅丘地貌,中部有一座20m小山。老河道从北向南贯穿项目建设用地区域。根据地勘报告的主要建议:“老河道不具备勘察条件;地基处理方式建议采用CFG桩或桩基;建筑物回填区域建议采用强夯”。初步设计阶段大部分栋号规划区域内的房屋拆迁未完成,不具备地质勘察条件;且老河道区域在编制初步设计时并未改道,所以不具备勘察条件。在实际施工过程中,CFG桩试桩结果未达到设计要求的300kpa,经专业论证后将地质情况相似的附近厂房地基基础方案修改进行设计,由CFG桩改为砼灌注桩。此项方案更改造成费用较初步设计概算增加约5000万元;将建筑物及老河道区域场地平整回填分层碾压方案变更为强夯处理,其他区域处理方案不变,较初步设计概算增加约2000万元。

### (2) 室外边坡支护

随着对河道修正和场平施工的不断深入,发现原山体有滑坡迹象和隐患,边坡处于不稳定状态,采用原初步设计方案中的单一的挡土墙方案不能满足防护要求,故必须调整支护方案。采用专业的山体边坡支护方案,此项变化导致实际实施费用较初步设计概算增加约500万元。

## 1.3 工程复杂性引起费用变化

由于该项目的建设周期长、建设体量大,专业设计复杂,参建单位多,导致在实施过程中,遇到了很多不可控因素和条件变化,如因工艺设备布局改变、工艺设备参数增大造成建安工程设计方案调整,各专业工程量增加;该项目存在工艺设备安装与建筑工程施工大量交叉作业的现象,二者相互影响,由此产生施

工总包单位工期补偿费以及配合费,基于以上原因费用增加约8000万元。

根据分析总结的超概原因,该项目符合国家允许调概的前提要求,“因项目建设期价格大幅上涨、政策调整、地质条件发生重大变化和自然灾害等不可抗力因素等原因导致原核定概算不能满足工程实际需要的”可以申请调概。为了满足“原则上一个建设项目进行一次调整概算”的要求,避免出现一个建设项目多次进行调整概算,调整概算的编制时间应在影响设计概算调整的主要因素已经清楚,项目主要工作量已经完成,后续工作投资调整较少,方可编制调整概算。业主方因大多数项目未进行结算审计工作,施工单位尚未进行结算资料的编制。为推进调整概算工作,根据项目实施进度不同、费用性质不同,其调整概算费用分别采用不同的编制方法。

## 2 调整概算编制方法

### 2.1 编制过程及思路

根据批复概算收集项目资料,核算项目实际造价,按照原批复概算分解造价,分析项目调整原因,计算各原因可调整的造价,剥离不属于可调范围内容,形成调整报告及附件。流程见图1。

### 2.2 编制方法

该项目调整概算建安工程费用按室内工程、室外工程和厂外工程分别计算。按照工程实施情况分为完工已结算、完工待结算、在建未完成和未实施等4种情况。

#### (1) 完工已结算工程

结算价可以直接以审计审核后的结算费用作为调整概算费用。

#### (2) 已完工待结算工程

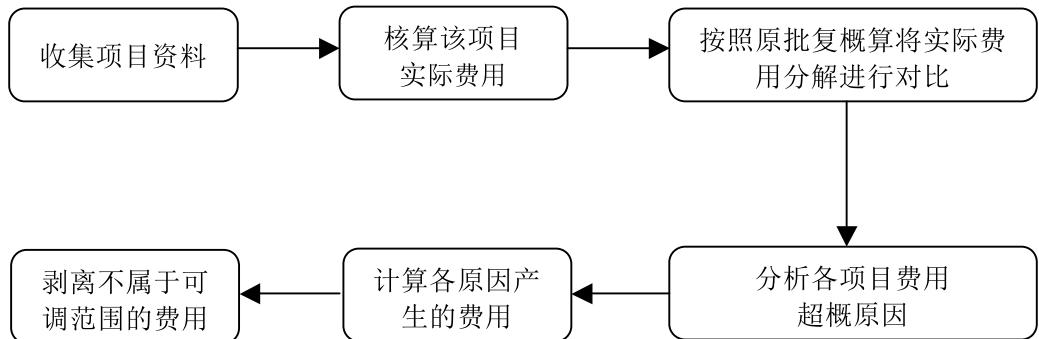


图1 编辑过程流程图

表1 工程费用调概原因汇总分析表

序号	工程名称	批复概算	调整概算	差值	政策	地质	复杂	备注
1	001号厂房	2100	3350	1250	160	230	860	单位: 万元
2	002号厂房	2000	3800	1800	300	500	1000	单位: 万元
3	003号厂房	660	780	120	20	90	10	单位: 万元

根据合同文件、招标文件、施工图、设计变更、工程洽商及合同中的调整价款因素如暂估价调整、人材机涨价情况、项目索赔、其他导致造价调整的情况编制项目预计结算价, 并作为调整概算的依据。

### (3) 在建未完成工程

按照合同价(剔除暂估价、暂列金额)、已发生的设计变更、洽商按实计算, 未完成工程部分参照已实施的类似工程洽商变更的变动幅度进行估算。

### (4) 未实施工程

根据已完工项目的实际情况分析, 参照其实施工阶段调整费用的变动幅度, 计算相应的预备费。

通过上述方法计算出工程费用后, 按照批复的初步设计概算及调概格式及深度要求进行分解及对比, 分析每个工程项目各个原因所涉及的费用, 见表1。

工程费用计算完成后还需将工艺设备费用按照初步设计概算批复内容进行汇总并逐项分析对比, 并说明变化原因; 将工程其他费用中已实施项目按照合同列入调整概算, 对变动内容进行分析说明, 如原初步设计概算征地费中未包含耕地占用税, 而该费用依据国家及项目所在地相关文件规定必须征收, 因此调整概算需增加此费用; 因项目基本实施完毕, 原概算中已实施部分的预备费取消。

最终形成调整概算成果文件, 包括调整概算说明及报表(包括总概算及单位工程概算)。

## 3 调整概算编制中应注意的问题

### 3.1 剥离不属于可调整范畴内费用问题

计算工程费用造价时, 应该注意剥离超过初步设计批复标准、范围的建设内容及因建设单位

管理或其他失误原因引起的费用增加。例如办公楼初步设计批复面积为10000m<sup>2</sup>。实际施工中办公楼的面积为30000m<sup>2</sup>。本次调整只调整批复面积部分的概算费用, 其余由建设单位自筹解决。

### 3.2 关于公用部分分摊问题

循环冷却水系统及综合管线、空气管网系统、弱电(含布线、交换机、生产视频、调度电话、安防等)、变配电系统均为整个园区各栋号作为一个标段进行招标、施工。但调整概算时需要将以上内容严格按照批复概算内容, 使单项工程、单位工程的内容与批复内容保持一致, 便于同口径的分析、对比、调整。

## 4 结论

调整概算的工作过程, 实际上就是一个实事求是的过程, 虽然工作较为复杂、繁琐, 但是只要找出其中规律性的内容, 找到费用增加的主要原因, 依据国家有关规范和规定, 有针对性的采用不同的处理方案加以解决, 就可完成相应的工作。

### 参考文献

- [1] 张剑昱. 超概及调整概算方法分析. 云南化工设计院有限公司. 2011.
- [2] 中华人民共和国工业和信息化部. 《航空工业建设项目投资估算和设计概算编制办法》——HBJ/T14-2014.
- [3] 付进, 邓晓思. 浅谈调整概算的必要性. 四川省水利水电勘测设计研究院. 2011.



# 垃圾焚烧工程垃圾渗滤液处理 厌氧工艺沼气综合利用研究

■ 陆新生 「给排水」

**摘要:** 垃圾焚烧工程垃圾渗滤液处理厌氧工艺过程中会产生沼气, 沼气主要成分是甲烷(50%~70%)、二氧化碳(30%~40%), 还含有少量 $N_2$ 、 $H_2$ 、 $H_2S$ 、 $NH_3$ 等, 沼气直接排入大气会造成严重的环境污染。本文通过对垃圾焚烧工程垃圾渗滤液处理厌氧工艺产生的沼气两种主要利用方式进行比较, 从节能和经济性角度进行分析研究, 得出合理利用厌氧沼气的途径和条件。

**关键词:** 垃圾渗滤液; 厌氧沼气; 沼气发电

## 0 引言

生活垃圾焚烧作为一种具有明显优势的“减量化、资源化和无害化”的垃圾处理方式, 近年来得到快速发展, 同时垃圾渗滤液资源化处理技术得到广泛关注。

采用厌氧生物处理工艺是垃圾焚烧工程垃圾渗滤液处理的必备处理单元, 在厌氧处理过程中, 绝大多数高浓度有机物在厌氧菌的作用下分解产生以甲烷为主要成分的沼气, 目前部分渗滤液处理设施没有沼气利用系统, 而是直接采用火炬燃烧装置处理, 或者回喷垃圾焚烧炉助燃, 沼气能源没有得到充分有效资源化利用。

沼气是一种具有较高热值的可燃气体(沼气中 $CH_4$ 含量为50~70%时, 其低位热值约为21~25MJ/m<sup>3</sup>, 用内燃机发电每立方米沼气可发电1.8~2.0KWh, 将其作为发电机的燃料发电,

可得到高品位的电能, 同时具有较高的经济性。

本文通过理论计算出渗滤液厌氧处理工艺的沼气产量, 并对不同利用方式从节能和经济性角度进行分析研究, 得出合理利用厌氧沼气的途径。

## 1 沼气性质、产生量及发电量

### (1) 沼气的性质

沼气是各种有机物质, 在隔绝空气厌氧条件下, 并在适宜的温度、pH条件下, 经过微生物的发酵作用产生的一种可燃烧气体, 沼气属于二次能源, 并且是可再生能源。生活垃圾渗滤液处理厌氧过程中会产生沼气。沼气的主要成分是 $CH_4$ , 含量为50%~70%, 二氧化碳(30%~40%), 还含有少量 $N_2$ 、 $H_2$ 、 $H_2S$ 、 $NH_3$ 等。

### (2) 垃圾渗滤液性质及沼气产量计算

由于垃圾渗滤液水质的复杂性和特殊性, 在工程实践中常规采用预处理+生化+膜处理工艺进行处理。在生化处理段, 一般采用厌氧+硝化反硝化工艺, 其中厌氧工艺以其较低的运行成本, 较

作者简介: 陆新生, 男, 研究员, 1987年毕业于东南大学环境工程专业, 现就职于中航规划市政工程设计研究院。

表1 厌氧工艺去除率效果表

序号	处理单元	项目	COD <sub>Cr</sub> (mg/L)	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	SS (mg/L)
1	厌氧反应器 (UASB) (UBF)	进水	50000	20000	1200	10000
		出水	<12000	<4000	<1200	<6000
		去除率(%)	>80	>80	-	>40

表2 垃圾渗滤液处理系统日沼气产量表

序号	项目	规模			
		100t/d	300t/d	500t/d	1000t/d
1	沼气日产量 (m <sup>3</sup> )	1710	5130	8550	17100
2	日发电量 (KWh)	3078	9234	15390	30780
3	发电机组总功率(KW)	150	400	750	1500
4	日发电效益 (元)	2000	6000	10000	20000

注：每立方米沼气发电量按1.8Kw.h 电费按0.65元/KWh。

高的有机物去除效率，成为整体工艺中不可或缺的处理单元。

在常规垃圾渗滤液工艺中，厌氧系统对COD去除，可以从进水的COD40000~60000mg/L降到出水的10000~12000mg/L，有机物去除效率在80%左右，如此高的有机物降解过程会产生大量的沼气，据有关研究和实际厌氧沼气运行统计数据，每降解1kg有机物的沼气产率约为0.45Nm<sup>3</sup>/kgCOD。垃圾渗滤液厌氧工艺处理有机物去除效果见表1。

垃圾渗滤液厌氧工艺沼气日产量 = 废水COD降解浓度 (kgCOD/m<sup>3</sup>) × 废水日处理量 (m<sup>3</sup>/d) × 产沼气率。以厌氧系统处理渗滤液100m<sup>3</sup>/d，进水COD浓度50000mg/L，出水COD浓度12000mg/L为例进行计算，沼气日产量1710Nm<sup>3</sup>/d (折合71.25Nm<sup>3</sup>/h)。

每吨垃圾渗滤液平均产气率为17.1m<sup>3</sup>/t (0.45m<sup>3</sup>/kgCOD)，不仅高于我国城市污水厂污泥消化池产气量10m<sup>3</sup>/t，也高于我国高浓度工业废水（如造纸废水）沼气产率0.35Nm<sup>3</sup>/kgCOD，这与城市生活垃圾中厨余物较多，导致渗滤液中有有机污染物浓度高、脂类物质含量较高有关。

当沼气中甲烷含量为50%~70%时，其低位热值为21~25MJ/m<sup>3</sup>，用内燃机发电每立方米沼气可以发电1.8~2kW·h，沼气热值转换成电能总效率在35~40%左右，而沼气进入垃圾焚烧炉的燃烧后余热锅炉蒸汽再进入汽轮发电后综合发电效率仅为20%左右。常见规模的垃圾渗滤液处理系统产生沼气日产量、发电量、发电机装机规模、发电效益见表2。

## 2 沼气利用主要途径和特点

沼气是一种优质的可再生能源，其中的甲烷的可燃性决定了沼气的潜在价值，其可代替相当数量的燃料的消耗。而且与其他燃料相比，沼气属于清洁燃料的一种。垃圾焚烧工程有三种沼气处理利用的方式，沼气产量较少时直接用火炬燃烧处理，沼气产量较大时通过风机送入垃圾焚烧炉作为助燃燃料，沼气产量到一定规模时采用沼气发电机组利用沼气。

### 2.1 沼气进入焚烧炉助燃

沼气通过沼气风机送至垃圾焚烧炉直接燃烧，可以通过余热锅炉产生蒸汽进入汽轮机组进

行发电,发电效率一般在20~22%左右,这种应用方式一般用在沼气量较大情况下使用。

## 2.2 沼气发电

沼气通过内燃机发电是沼气能量利用的一种有效形式。沼气的能量在沼气发电过程中经历由化学能,热能、机械能、电能的转化过程,其能量转化效率受热力学第二定律的限制,热能不能完全转化为机械能,热能的卡诺循环效率小于40%,在垃圾焚烧发电厂中以沼气为燃料的内燃机可以不再另设余热锅炉,可以直接利用垃圾焚烧余热锅炉回收内燃机的废气余热,从而简化了系统,减少了投资。

在4000kW以下的功率范围内,采用内燃机具有较高的利用效率。相对燃煤、燃油发电来说,沼气发电功率小。对于这种类型的发电动力设备,国际、国内普遍采用内燃机发电机组进行发电,否则运行不经济。因此,采用沼气发动机(内燃机)和发电机组是目前利用沼气最经济和有效的途径。在理论上沼气也可利用燃气轮机发电,但沼气项目的规模要大,否则运行经济性差。沼气发电系统工艺组成见图2。

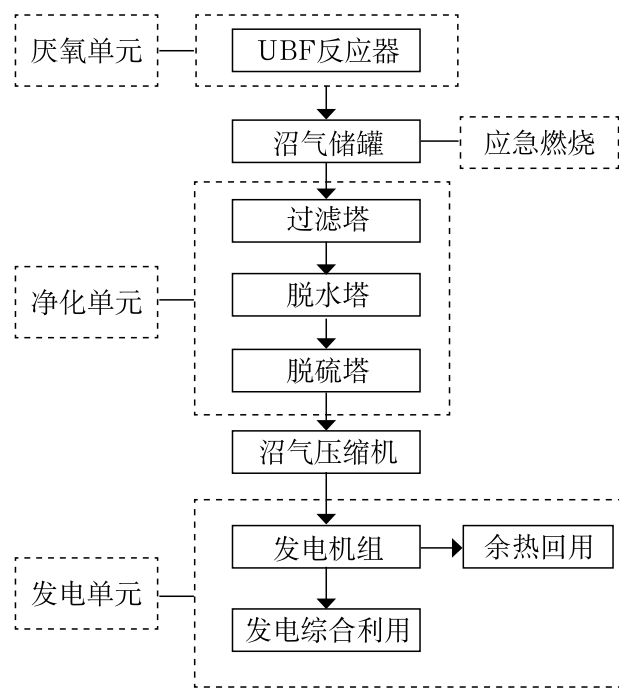


图2 沼气发电系统工艺组成

沼气发电系统由预处理净化单元和发电单元组成。

(1)沼气净化预处理系统:沼气从厌氧系统引

出,由沼气输送风机输送到过滤器经过脱硫装置处理后进储气柜,沼气从储柜出来后再进行脱水干燥、脱硫、加压等预处理,最后进入发电机组进行发电。为了防止沼气发电机检修时沼气不能进入发电系统,设计有沼气应急燃烧火炬,将沼气直接燃烧后高空排放。

沼气在导入内燃机时一般需要进行预处理并经过稳压防爆装置,由于沼气中含有少量的 $H_2S$ 气体,该气体对发动机有强烈的腐蚀作用,因此沼气必须先进行脱硫。通常用氧化铁作为脱硫剂,而且可以反复再生使用,另外沼气中含有的饱和水需要去除。沼气作为燃气,其流量调节是基于压力差实现的,为了使调节准确,必须确保沼气压力稳定,因此在沼气进气管路上安装稳压装置。另外,为了防止进气管路回火引起沼气管路发生爆炸的问题,应在沼气供应管路上安装防回火与防爆装置。

(2)沼气发电:经净化处理后的沼气进入燃气发动机,燃气发动机利用四冲程、高压点火、涡轮增压、稀释燃烧等技术,将沼气的化学能转化为机械能再转化成电能,发电机组为模块式,可采用集装箱式机房结构,可露天放置,沼气发电机发电效率(35~40%)。

## 3 焚烧厂沼气利用的技术经济比较

焚烧厂对沼气的利用主要有两种形式,一种是入炉焚烧,一种是沼气发电。

### 3.1 入炉焚烧

沼气的产生主要来自厌氧反应器,其主要成分是甲烷,厌氧生物反应产生的沼气含甲烷量为50%~70%时,其低位热值为 $21\sim 25MJ/m^3$ 。用沼气直接导入焚烧炉焚烧可以提高垃圾焚烧温度,改善垃圾焚烧污染物治理效果,沼气中含有的氨在垃圾焚烧炉中还可以把氮氧化物还原为氮气,从而降低烟气中的氮氧化物浓度,沼气中含有的硫化氢在燃烧后转化为二氧化硫,后续脱硫装置会将二氧化硫去除。沼气直接入炉焚烧,可以省去对沼气的预处理过程,比较易于操作。

但在实际操作过程中为了提高入炉焚烧的稳定性,需要设置沼气储罐、加压风机和配套的沼气管道等,以保障入炉沼气的连续性和稳定性。适合沼气的量较小(每小时 $200m^3/h$ 以下),由于垃圾焚烧炉最终发电综合热效率仅为18~22%左右,



远低于沼气发电机35~40%发电综合热效率。

### 3.2 沼气发电综合利用技术的经济性分析

以典型的日处理500t/d焚烧厂垃圾渗滤液为例，沼气的最高日产量为8550m<sup>3</sup>，最高日发电量15390kwh，最高日发电效益10000元，考虑垃圾渗滤液负荷年均系数0.70，年平均发电效益233万元，年运行成本一般为发电效益的45%左右，年运行成本为105万元，净效益128万元。发电机三台250KW沼气发电机组投资600万元（沼气

发电机组设备(包括净化等设备)总投资约为0.8万元/KW)，静态投资回收期4.7年，常见规模的垃圾渗滤液处理系统沼气发电静态投资回收期见表3。

## 4 结论

沼气发电技术本身提供的是清洁能源，将厌氧沼气用于发电产生清洁能源，不仅解决了垃圾渗滤液处理过程中的环境问题，而且通过发电为业主带来巨大的经济效益，符合能源再循环利用的环保理念。通过比较研究得出如下结论：

(1) 垃圾渗滤液在厌氧处理过程中产生大量沼气，沼气低位热值为21~25MJ/m<sup>3</sup>，据测算每吨垃圾渗滤液可产生17~20m<sup>3</sup>的沼气，每立方米沼气可发电1.8~2KWh，每吨渗滤液厌氧处理产生沼气可发电30~36KWh，约占垃圾渗滤液处理所耗电量的70%（吨垃圾渗滤液电耗48KWh），折合发电效益20~23元。

(2) 沼气发电机发电效率（35~40%）远高于汽轮发电机发电效率（18~22%）。沼气发电经济性比沼气回垃圾焚烧炉要高，垃圾渗滤液处理规模大于500t/d，建议采用沼气发电机对沼气进行利用，沼气发电及其配套设备总投资静态投资回收期约为5年。

(3) 沼气发电在垃圾焚烧发电厂渗滤液处理工程中的应用，不但提升了垃圾焚烧发电厂渗滤液处理工程的技术水平，而且提升了垃圾焚烧发

表3 沼气发电静态投资回收期明细表

序号	项目	300t/d	500t/d	1000t/d
1	配套机组 (KW)	400 (2×200)	750 (3×250)	1500 (3×500)
2	总投资 (万元)	320	600	1200
3	年发电量 (104KWh)	215	359	717
4	年发电效益 (万元)	140	233	466
5	发电运行成本 (万元)	63	105	209
6	年净发电效益 (万元)	77	128	257
7	静态投资回收期 (年)	4.20	4.7	4.8

注：年运行330天，沼气产量年平均系数0.70。

电厂整体的技术水平，为垃圾焚烧发电厂的运行带来更好的经济效益。

### 参考文献

- [1] 张璐等. 垃圾焚烧发电厂渗滤液处理系统中的能源回收热力发电
- [2] 白良成编 生活垃圾焚烧处理工程技术 中国建筑工业出版社

# 热网变流量水力工况分析中 摩擦阻力系数计算公式选取初探

■ 李浩然 肖武 「暖通」

**摘要:** 供热系统量调节可以有效降低供暖期内系统输配能耗,调节过程中系统水力工况随流量变化,对该过程的数值仿真需选取适当的水力计算公式。本文通过MATLAB热网水力工况计算工具箱和哈尔滨工业大学热网多功能实验台,对计算摩擦阻力系数的不同流态分区公式和紊流区综合公式,分别进行数值分析和试验验证。结果表明用紊流区综合公式计算摩擦阻力系数得到的数值仿真结果更接近热网运行水力工况。

**关键词:** 水力工况;变流量运行;系统仿真

供热系统中的循环水泵采用变频调速以后,可以将以前广泛应用的质调节和分阶段改变流量质调节的调节方法,改为量调节,以降低系统的输送能耗。管段摩擦阻力与管道中热媒流态有关,系统变流量运行时,管段中热媒流态可能发生改变。对该过程进行动态分析,如水力计算公式选取不当可能会影响模拟结果,从而得出错误结论。本文针对热网变流量运行水力工况模拟时水力计算公式的选取进行了初步探讨。

## 1 分析条件

本研究先选取不同的水力计算公式对所构建的热网系统(图1)的水力工况进行仿真分析,然后利用试验台进行试验验证分析,最后确定相对合理的水力计算公式。

图1所示的系统有10个用户,每个用户的面积

为7000m<sup>2</sup>,设计热指标为55W/m<sup>2</sup>,设计供回水温度为60℃/50℃,热网中管道参数见表1。假设该系统在设计流量条件下各用户水力失调度为1,即处于理想的水力平衡状态,并且在整个流量调节过程中系统各处阀门开度恒定。

## 2 变流量失调度

为了分析热网总流量改变时各用户对总流量分配状况,引入变流量失调度概念。用户的实际流量与用户的理想流量之比,称为变流量失调度(式1)

$$X_b = \frac{q_s}{q_b} \quad (1) \quad q_b = q_y' \frac{q_z}{q_z'} \quad (2)$$

式中:  $X_b$ ——变流量失调度;

$q_s$ ——系统总流量变化时,用户的实际流量(m<sup>3</sup>/h);

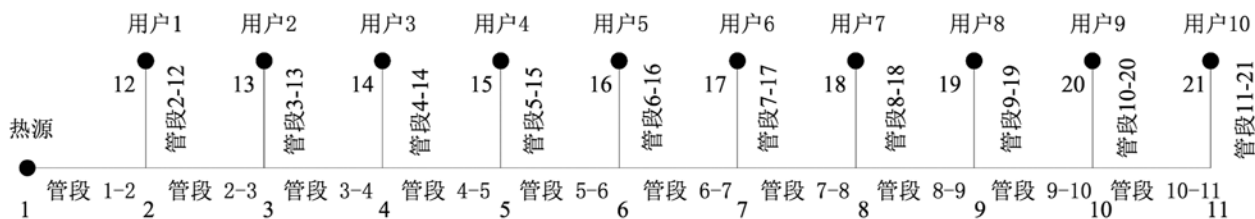


图1热网示意图

作者简介:李浩然,男,助理工程师,2013年毕业于哈尔滨工业大学供热、供燃气、通风及空调工程专业,现就职于中航规划民航工程设计研究院。

表1 热网管段参数

管段名称	管段长度 (m)	管段内径 (m)	设计流量 (m <sup>3</sup> /h)	比摩阻 (Pa/m)	管段名称	管段长度 (m)	管段内径 (m)	设计流量 (m <sup>3</sup> /h)	比摩阻 (Pa/m)
管段1-2	100	0.3	331	63.54	管段2-12	50	0.1	33.1	203.20
管段2-3	100	0.3	297.9	51.47	管段3-13	50	0.1	33.1	203.20
管段3-4	100	0.25	264.8	105.91	管段4-14	50	0.1	33.1	203.20
管段4-5	100	0.25	231.7	81.08	管段5-15	50	0.1	33.1	203.20
管段5-6	100	0.25	198.6	59.57	管段6-16	50	0.1	33.1	203.20
管段6-7	100	0.2	165.5	133.49	管段7-17	50	0.1	33.1	203.20
管段7-8	100	0.2	132.4	85.44	管段8-18	50	0.1	33.1	203.20
管段8-9	100	0.175	99.3	96.88	管段9-19	50	0.1	33.1	203.20
管段9-10	100	0.15	66.2	96.72	管段10-20	50	0.1	33.1	203.20
管段10-11	100	0.125	33.1	62.97	管段11-21	50	0.1	33.1	203.20

$q_b$ ——系统总流量变化时,用户的理想流量 (m<sup>3</sup>/h);

$q_y', q_z, q_z'$ ——分别为用户设计流量,系统实际总流量,系统总设计流量 (m<sup>3</sup>/h)。

$X_b$ 反映系统总流量变化时,各用户实际流量偏离理想流量程度。若某一时刻各用户均为1,  $X_b$ 则表示系统中各用户发生一致等比失调;若某用户大于1,  $X_b$ 则表示该用户实际流量要大于其理想流量;若某用户  $X_b$  小于1,则表示该用户实际流量要小于其理想流量。 $X_b - 1$ 的绝对值越大,表示用户过(欠)流量程度越大。

### 3 水力计算公式及管段的摩擦阻力系数计算式的确定

管段阻力损失采用式(3)和式(4)计算。

$$\Delta P = \Delta P_y + \Delta P_l = R_l(1 + \alpha) \quad (3)$$

$$R = \frac{\lambda \rho v^2}{d} \text{ Pa/m} \quad (4)$$

式中: $\Delta P$ 、 $\Delta P_y$ 、 $\Delta P_l$ ——分别为管段阻力损失、管段沿程阻力损失和管段局部阻力损失 (Pa);

$R$ ——每米管长的沿程压力损失 (Pa/m);

$l$ 、 $d$ ——分别为管段的长度和管段内径 (m);

$\alpha$ ——局部阻力当量长度百分数 (%);

$\rho$ ——热媒密度 (kg/m<sup>3</sup>);

$v$ ——热媒在管道中流速 (m/s);

$\lambda$ ——管段的摩擦阻力系数,  $\lambda = f(\text{Re}, \varepsilon)$ ;

$\text{Re}$ ——雷诺数,流体流动状态判断准则数,

$$\text{Re} = \frac{vd}{\nu};$$

$\nu$ ——热媒运动粘滞系数 (m<sup>2</sup>/s);

$\varepsilon$ ——管壁相对粗糙度,  $\varepsilon = K/d$ ;

$K$ ——管壁当量绝对粗糙度 (m)。

对于不同流态摩擦阻力系数的计算文献<sup>[1]</sup>给出了两种计算方式。方式一:对不同流态采用不同的计算公式。当流态为层流时 ( $\text{Re} < 2320$ ),

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}$$

当流态为紊流流动时,处于水力光滑区 ( $2320 < \text{Re} < 100000$ ),摩擦阻力系数  $\lambda$

$$\lambda = \frac{0.3164}{\text{Re}^{0.25}}$$

过渡区 ( $11 \frac{d}{K} < \text{Re} < 445 \frac{d}{K}$ ),用洛巴耶夫公

$$\lambda = \frac{1.42}{(\lg \text{Re} \cdot \frac{d}{K})^2}$$

式来计算,当流态处于阻力平方区 ( $\text{Re} > 445 \frac{d}{K}$ ),用尼古拉次公式计算

$$\lambda = \frac{1}{(1.14 + 2 \lg \frac{d}{K})^2}$$

方式二:采用适用于整个紊流区的计算公式,柯列勃洛克(式5)。通过文献<sup>[2]</sup>可知,柯氏公式(柯列勃洛克)精度高,但柯氏



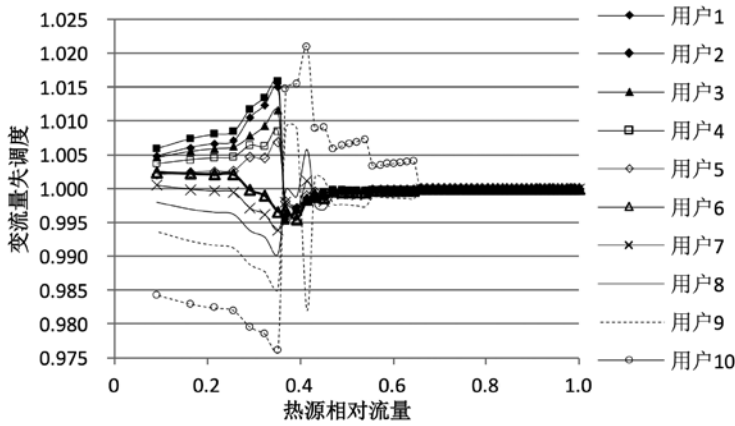


图2 方式一模拟结果

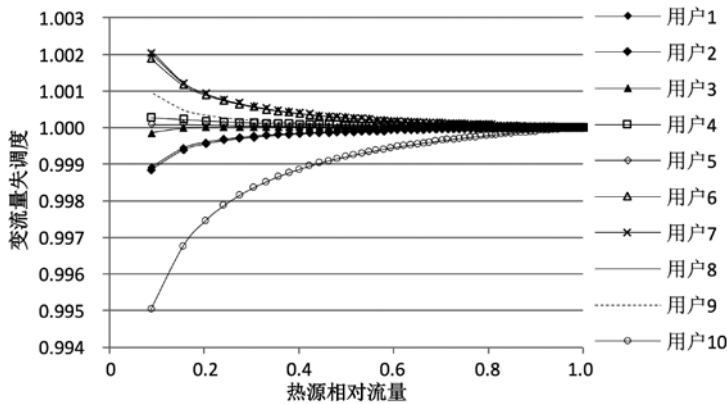


图3 方式二模拟结果

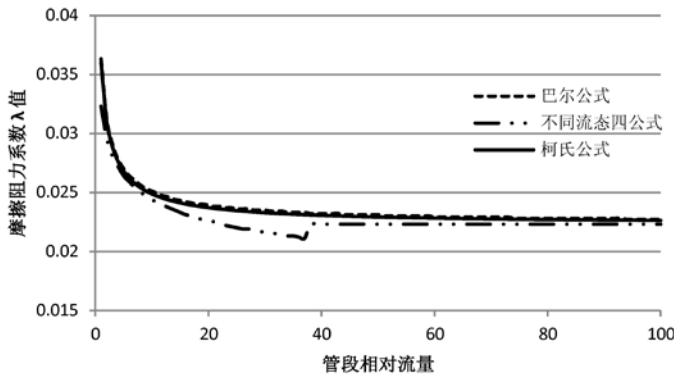


图4 管段1-2摩擦阻力系数值变化曲线图

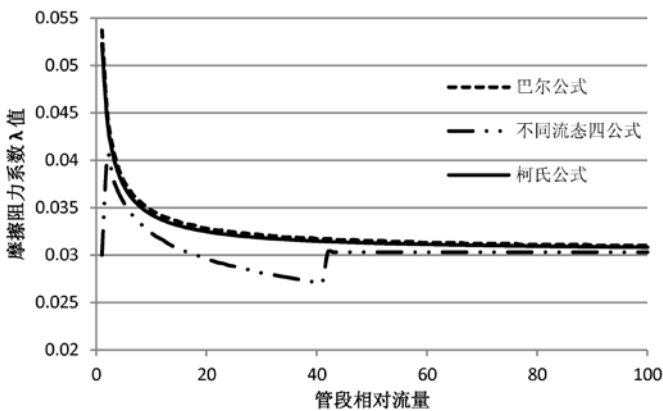


图5 管段2-12摩擦阻力系数值变化曲线图

公式为隐函数形式，为应用带来不便。通过文献<sup>[3]</sup>可知，可以使用精度相对较高的巴尔公式（式6）来替代柯氏公式。因此本文方式二选用巴尔公式。

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -21g\left(\frac{K}{3.7d} + \frac{2.51}{\text{Re}\sqrt{\lambda}}\right) \quad (5)$$

$$\lambda = \left[ \frac{1}{-21g\left(\frac{K}{3.7d} + \frac{5.1286}{\text{Re}^{0.89}}\right)} \right]^2 \quad (6)$$

分别采用方式一和方式二提供的摩擦阻力系数计算公式，对图一所示热网进行模拟分析，得出图2和图3所示结果。

对比图2和图3可知，方式一和方式二得出的模拟结果截然不同。当选用不同流态分区计算公式模拟时结果表现为，热网变流量运行各用户水力工况的变化情况存在明显的分区特点，并在某些流量时发生跳跃性变化；当选用适用于整个紊流区的计算公式模拟时结果表现为，热网变流量运行各用户水力工况发生渐变式变化，且系统中各用户失调规律不变。

为分析方式一和方式二的合理性及优劣，将两种方式摩擦阻力系数的计算结果与柯氏公式的计算结果进行对比。图4及图5为对图1所示的管段1-2和管段2-12采用不同方式计算摩擦阻力系数值的结果。

由图4及图5可知，采用不同的计算公式，得到的管段摩擦阻力系数值不同。整个变流量过程中采用巴尔与采用柯氏公式得出的计算结果高度吻合，并且均表现出平滑的变化特点；采用不同流态的分区公式与柯氏公式的计算结果偏差相对较大，并且不同流态的分区公式计算结果出现明显的分区变化特点，这与柯氏公式的计算结果明显不同。因此从数值计算角度考虑，巴尔公式更为精确。

#### 4 水力工况分析及试验验证

为进一步分析，作者在哈尔滨工业大学的热网多功能实验台上进行了试验验证。该实验台由热源（热泵机组）、热网（循环泵、管道和阀门）和热用户（换热

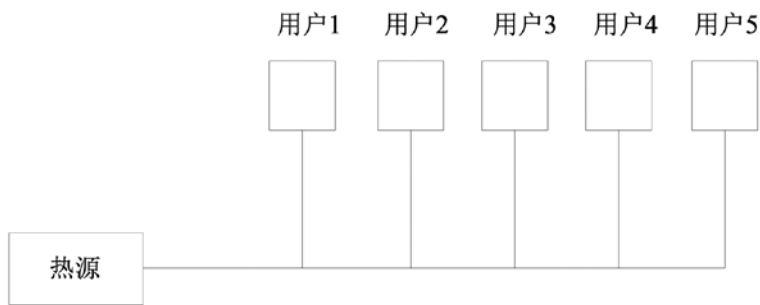


图6 试验台系统示意图

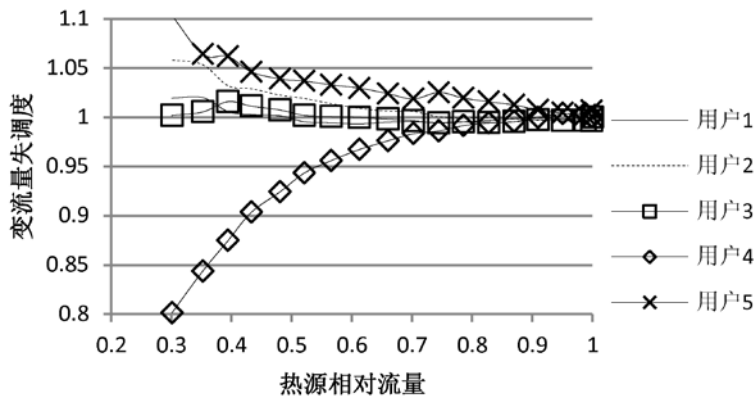


图7 各用户变流量失调度随热源流量变化曲线图

表2 用户流量

用户	用户1	用户2	用户3	用户4	用户5
流量(t/h)	2.518	2.454	2.433	2.179	2.299

器)组成。循环泵提供系统循环动力,干管管径为DN50,支管管径为DN25。系统总流量采用电磁流量计测量,用户采用涡轮流量计测量。系统见图6。初始状态各用户的流量见表2。

试验过程中各处阀门开度保持不变,主循环泵频率从50Hz开始逐步减少,步长为2Hz,直至主循环泵输出流量为初始流量的30%左右。每次调频后,待系统流量稳定后,记录各用户流量值。假设主循环泵频率为50Hz时各用户实际流量为设计流量,系统变流量运行时各用户变流量失调度见图7。

将图7与图2和图3进行对比,发现变流量试验得出的用户水力工况变化趋势与图3所示的模拟结果相似。这表明,模拟变流量运行热网的水力工况,利用适用不同流态的巴尔公式计算管段摩擦阻力更为合理。

## 6 结论

由上述分析可以得出:对热网变流量运行水力工况进行仿真分析时,选用不同摩擦阻力系数计算公式将影响模拟结果和分析结论。通过仿真分析和试验验证可知,利用适用不同流态的巴尔公式计算管段摩擦阻力,比先判断流态,然后再用不同流态的公式计算管段摩擦阻力的方法更为合理。

### 参考文献

- [1] 贺平,供热工程[M]. 中国建筑工业出版社,2009.
- [2] 龙天渝,蔡增基. 流体力学[M]. 中国建筑工业出版社,2008.
- [3] 毛根海,邵卫云,张燕. 应用流体力学[M]. 高等教育出版社,2006.

# 关于辅助等电位联结 与局部等电位联结的说明

■ 刘叶语 丁杰 王厚余 「电气」

**摘要:** IEC 60364标准中只有辅助等电位联结,而在《低压配电设计规范》GB 50054-2011中出现了局部等电位联结,本文针对此问题,说明了局部等电位联结的由来,比较了辅助等电位联结、局部等电位联结两种做法的优缺点,并对新版IEC标准中辅助等电位联结内容及做法的改进进行了说明。

**关键词:** 总等电位联结;局部等电位联结;辅助等电位联结;接触电压限值UL;保护导体;总等电位联结导体;辅助等电位联结导体;外露可导电部分;装置外可导电部分

在电击防护措施中,等电位联结是主要防护措施之一。笔者参加编写的《低压配电设计规范》GB 50054-2011(后文简称《低规》)于2002年开始修编,修编依据为当时将IEC标准转化为国标的GB 16895系列标准及其他相关IEC的标准和技术报告。编制过程中,编制组按照IEC标准将等电位联结写入了规范中。

在该规范执行过程中,有同行询问IEC 60364标准中只有总等电位联结(main equipotential bonding,后文简称MEB)和辅助等电位联结(supplementary equipotential bonding,后文简称SEB),而在GB50054规范中又多出了局部等电位联结(local equipotential bonding,后文简称LEB),为何与IEC60364的规定不同?作为规范编制

组成员,笔者编写了这部分内容,现对此问题作一解释说明,不当之处请建筑电气同行批评指正。

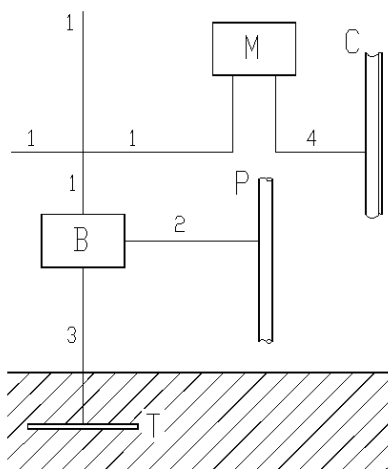
## 1 IEC 61140标准的表述与IEC 60364标准不同

MEB可以在一定程度上降低接触电压,但不一定能降低至接触电压限值UL(50V、25V、12V)以下,而SEB或LEB则可以作为附加保护弥补MEB的不足,将接触电压降至UL以下,这对电击防护十分必要,特别是在普遍采用电子式RCD的中国,该措施尤为必要。因为电子式RCD当接地故障残压过低时可能拒动,如果采用SEB或LEB作附加防护,可将人体接触电压限制在UL以下,能有效避免电击致死危险,详见参考文献<sup>[1]</sup>问答2.20。

1980版IEC 60364-5-54<sup>[2]</sup>对SEB的说明如图

作者简介:刘叶语,女,研究员,1994年毕业于上海交通大学电力工程系,现就职于中航规划电子工程设计研究院。





1——保护导体；2——总等电位联结导体；3——接地导体；4——辅助等电位联结导体；B——总接地端子；M——外露可导电部分；C——装置外可导电部分；P——金属水管干管；T——接地板

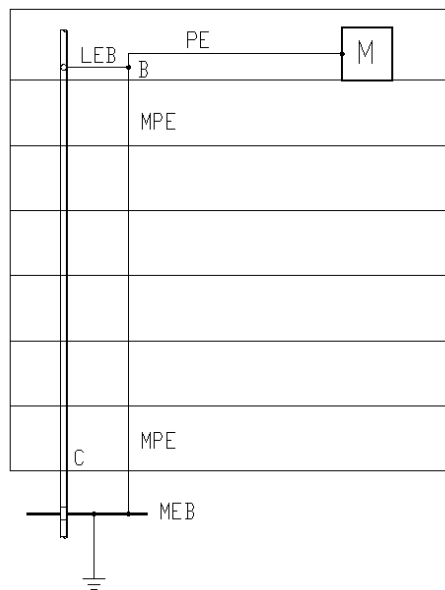
图1 SEB示意图 (摘自1980版IEC 60364-5-54 附录B)

1所示，其表达不够全面和具体，只要求在人体可同时接触的伸臂范围（2.5m）内将不同电位的导体加以联结。

在2001年第3版IEC 61140标准<sup>[3]</sup>中增加了LEB。该标准将保护等电位联结分为总等电位联结、辅助等电位联结和局部等电位联结。其对于LEB的规定如下：“在特定情况下，（可实施）在局部范围内将可触及的可导电部分连接到一起的等电位联结。”由此可知，IEC这两个标准的表述是有差别的，IEC 61140的规定更为具体、实用，可操作性更强，这在第三小节将做详细分析。

## 2 IEC 60364标准内也提到局部等电位联结的做法

IEC 60364标准虽然没有使用LEB这一术语，但是他多处提到了LEB的做法。例如2001版IEC 60364-4-41标准<sup>[4]</sup>的条文413.1.3.5 b)中提到：“在配电盘处（作）等电位联结，它包含了与总等电位联结相同类型的外界可导电部分，并符合413.1.2.1的要求。”该条款所述的配电盘处的等电位联结就是LEB，即在局部范围内按照总等电位的要求实施的等电位联结。1996版IEC 61200-413标准<sup>[5]</sup>中，对该条款作了进一步说明，还示意



B——参考点；C——装置外可导电部分；LEB——局部等电位联结；MEB——总等电位联结；M——外露可导电部分；MPE——总保护导体；PE——保护导体

图2 LEB示意图 (摘自IEC 61200-413<sup>[5]</sup>)

了LEB的做法，如图2所示。图中B即是作为局部范围内参考电位点的LEB端子板，它一般设在分配电盘旁。IEC标准表达得比较简单，图中配电盘等都没有详细表示出来。

## 3 实际应用中，LEB更易于实施，更节约投资

比较IEC 61140和IEC 60364两个标准中关于LEB与SEB的做法，笔者认为在实际应用中更易于实施和更多采用的是LEB而非SEB。文献<sup>[1]</sup>问答7.12中例举了一个实施SEB的实例，该实例中提到：当一个末端用电场所在伸臂范围内如出现电位差时，采用SEB可以避免发生危险的电击事故，但是实际应用中是不会这么做的。因为在一个末端用电场所内，可能有多台用电设备，又有多种金属管道和其他大量的电气装置外导电部分，它们与电气装置外露可导电部分之间的距离常常小于伸臂范围2.5m。如果都要做SEB，则施工工作量将不胜负担，而且容易挂一漏万，留下电击事故隐患。所以实际应用中很少做大量的SEB，而是只在一个特定范围内简单地作一个LEB。例如上例末端用电设备的配电箱旁设置一个LEB端子

板（如图2中的B），将末端用电场所配电箱的PE母排以及公用水、暖、动等金属管道钢结构等装置外可导电部分在此端子板上互相连接，这样寥寥几根连接线即可使该末端用电场所成为一个不大的等电位的法拉第笼，笼内的故障接触电压很

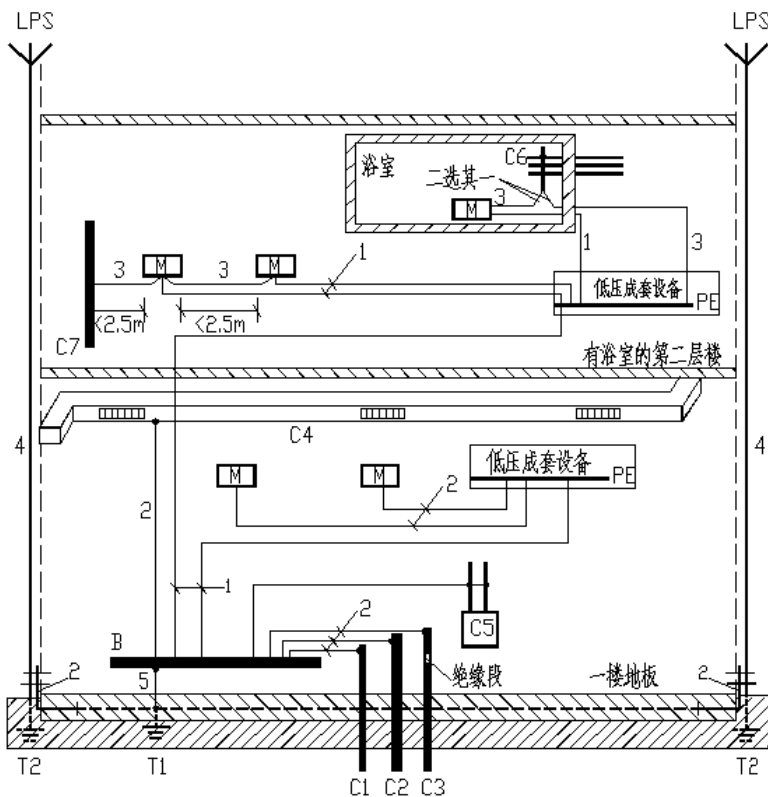
容易降到UL（如50V）以下，实现有效的电击防护，其施工非常简便。因此，在实际生活中许多类似情况下，实际应用的不是SEB而是LEB。基于上述情况，《低规》参考当时IEC61140标准增加和强调了LEB的应用。

表1 IEC 60364-4-41标准的改进

标准版本	关于等电位联结的规定	关于辅助等电位联结的规定
60364-4-41第4版：2001 <sup>[4]</sup>	等电位联结分为总等电位联结、辅助等电位联结	辅助等电位联结应包括所有可同时触及的固定设备的外露可导电部分和外部可导电部分，如果可行，还包括钢筋混凝土结构的主钢筋。等电位联结系统应与包括插座在内的所有设备的保护导体相联结
60364-4-41：2005 <sup>[6]</sup>	规定了保护等电位联结的做法、等电位联结范围	内容同上 标准增加的内容：辅助等电位联结可涵盖电气装置的全部或一部分，或涵盖一台电气设备或一个场所（笔者注：“电气装置的一部分”、“一个场所”所指即是某一局部范围或场所）

表2 IEC 60364-5-54标准的改进

标准版本	IEC 60364-5-54标准内附录B的附图内容
60364-5-54：1980 <sup>[2]</sup>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、示出了保护导体、总等电位联结导体、辅助等电位联结导体的区别；</li> <li>2、辅助等电位联结包括可同时触及的固定设备的外露可导电部分和外部可导电部分；</li> <li>3、见图1。</li> </ol>
60364-5-54：2002 <sup>[7]</sup>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、示出了保护导体、总等电位联结导体、辅助等电位联结导体的区别；</li> <li>2、辅助等电位联结包括所有可同时触及的固定设备的外露可导电部分和外部可导电部分；</li> <li>3、既可以将可同时触及的固定设备的外露可导电部分和外部可导电部分直接相联结，也可以将其分别与某点（如低压成套设备的PE排）联结（笔者注：后者的做法即是LEB）；</li> <li>4、见图3。</li> </ol>
60364-5-54：2011 <sup>[8]</sup>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、示出了保护导体、总等电位联结导体、辅助等电位联结导体的区别；</li> <li>2、示出了总接地端子MET与辅助等电位联结端子SEBT；</li> <li>3、既可以将可同时触及的固定设备的外露可导电部分和外部可导电部分直接相联结，也可以将其分别与SEBT联结（笔者注：后者的做法即是LEB）；</li> <li>4、见图4。</li> </ol>



M——外露可导电部分；C——外部可导电部分；C1~7——外部进来的各种金属管线；B——总接地端子（总接地母线）；T——接地板；T1——基础接地；T2——LPS（防雷装置）的接地板；1——保护导体；2——保护联结导体；3——用作辅助联结用的保护联结导体；4——防雷装置引下线；5——接地导体

图3 接地装置、保护导体与保护联结导体示意图

(摘自IEC 60364-5-54 2002 附录B)

#### 4 IEC 60364标准内关于等电位联结规定的改进

IEC 60364标准是在不断修正和改进的，关于等电位联结的规定也是如此。表1、表2列出了最近几版IEC标准中等电位联结内容的改进，从中可以看出，最近版本的标准强调了LEB的做法，只是没有使用LEB这一术语，而是将LEB的做法纳入SEB。这一变化容易使人混淆不清，以为IEC标准取消了LEB。

图3、图4体现了标准的这一改进。图3中有两种做法，一种是在2.5m伸臂范围内可将同时触及的外露可导电部分之间（如M与M之间）或者外露可导电部分与装置外可导电部分之间（如M

与C1~7之间）直接连接；另一种是外露可导电部分、装置外可导电部分与某局部参考电位点（如图中二楼低压成套设备的PE排）分别直接连接，这种做法就是LEB。

图4比图3更明确了LEB的做法：图中浴室内SEBT的作用是设立一个局部范围内等电位联结参考电位点，外露可导电部分、外部可导电部分与SEBT分别直接连接；图中未提及LEB，但是实际的做法就是LEB，图4中已经没有图1所示的SEB做法的踪影。

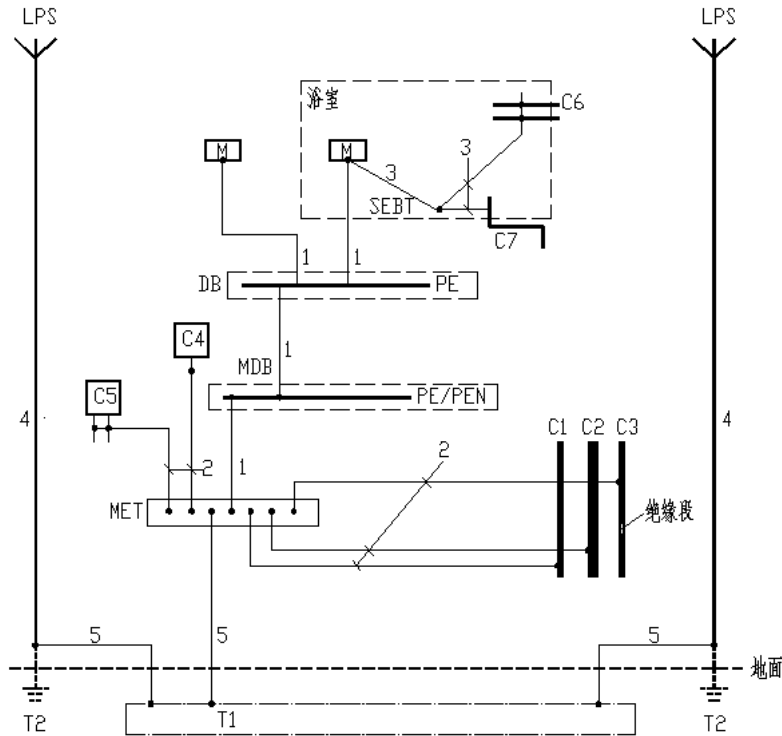
综上所述，图1所示1980年版IEC 60364标准内的SEB在通常情况下不切合实际应用。《低规》如不明确区分LEB和SEB，将在建筑电气设计工作中引起混淆和误导。随着IEC 60364标准的改进，新标准不再提及LEB

这一术语，但是LEB的做法没有取消，该做法已经成为新标准中SEB采用的做法。

#### 5 结束语

我国建筑电气应采用IEC标准。但IEC标准的条文都是原则性的，十分简略，又缺少详尽的条文说明，难以理解；有些条文还需加以具体化。为此笔者在我国自主编制的《低规》中较多地参阅、学习了有关IEC标准的参考资料，以求尽量领会IEC条文的编制意图，以充实和具体化《低规》的条文，使其便于在设计中执行，而不是简单地套用、照抄IEC原文。《低规》内写入实际应用中采用较多、更为方便的LEB的规定，即是出此考





M——外露可导电部分； C1~7——外部可导电部分，如外部进来的各种金属管线、空调、供热系统等；  
MDB ——总配电盘； DB ——配电盘； MET ——总接地端子； SEBT——辅助等电位联结端子； T1——埋入  
混凝土基础内接地板或埋入土壤基础内接地板； T2——可能安装的防雷装置的接地板； LPS——可能安装  
的防雷装置； PE ——配电盘内的PE端子(排)； PE/PEN——总配电盘内的PE/PEN端子(排)； 1——保护接地  
导体(PE)； 2——连接到总接地端子的保护联结导体； 3——辅助联结的保护联结导体； 4——防雷装置引  
下线； 5——接地导体

图4 接地装置、保护导体与保护联结导体示意图

(摘自IEC 60364-5-54 2011 附录B)

虑。《低规》再次修编时除了秉承该原则，也会尽量与IEC标准的变化相协调。

### 参考文献

[1] 《建筑物电气装置600问》 王厚余著。  
[2] 《Electrical installations of buildings. Part 5: Selection and erection of electriccal equipment. Chapter 54: Earthing arrangements and protective conductors》 IEC 60364-5-54:1980.  
[3] 《Protection against electric shock— Common aspects for installation and equipment 》 IEC 61140:2001.  
[4] 《Low-voltage electrical installations — Part 4-41 Protection for safety— Protection against electric shock》 IEC 60364-4-41:2001.  
[5] 《Electrical installation guide— Clause 413:

Explanatory note to measures of protection against indirect contact by automatic disconnection of supply 》 IEC 61200-413: 1996.

[6] 《Low-voltage electrical installations — Part 4-41 Protection for safety— Protection against electric shock》 IEC 60364-4-41:2005.  
[7] 《Electrical installations of buildings. Part 5: Selection and erection of electriccal equipment. Chapter 54: Earthing arrangements and protective conductors》 IEC 60364-5-54:2002.  
[8] 《Electrical installations of buildings. Part 5: Selection and erection of electriccal equipment. Chapter 54: Earthing arrangements and protective conductors》 IEC 60364-5-54:2011.

# 钦州电厂二期扩建工程 煤场封闭罩棚设计研究

■ 刘鑫刚 王树 葛家琪 「结构」

**摘要:** 钦州电厂二期扩建工程封闭煤场工程位于钦州湾北部, 结构跨度达到199m(支座间净跨191m), 纵向长度252m。本文对四种承重结构方案的使用性能、受力性能、经济性能进行了全面的分析与对比, 最终采用了技术先进的单跨预应力拱形钢桁架结构方案。

**关键词:** 封闭煤场; 结构方案; 预应力钢桁架; 网架结构; 索桁架桅杆+斜拉张弦桁架

## 1 工程概况与结构方案

钦州电厂位于广西钦州市南部的钦州港经济开发区鹰岭作业区内。厂址东邻金鼓江入海口, 南临北部湾, 西侧为正在建设的中石油10×104t原油码头。电厂二期扩建工程封闭煤场工程位于钦州湾北部, 结构跨度达到199m(支座间净跨191m), 纵向长度252m, 建筑面积49290.56m<sup>2</sup>, 建筑总高度约58m。

依据国家环境保护要求, 电厂露天堆煤场需要封闭, 我国现有煤棚单跨宽度大都在130m以内。根据封闭煤场的特点以及建筑造型的要求, 并结合封闭罩棚具有跨度大、荷载轻的特点, 提出了四个结构方案。

方案一: 三连跨拱形钢网架, 是目前电厂封闭煤棚中广泛采用的一种结构形式。煤场中布置两列钢筋混凝土支柱以减小网架跨度, 中间跨跨

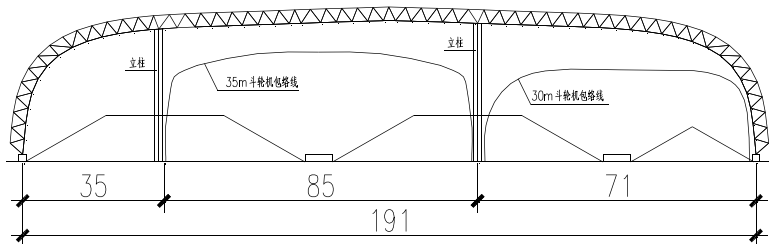


图1 方案一剖面图

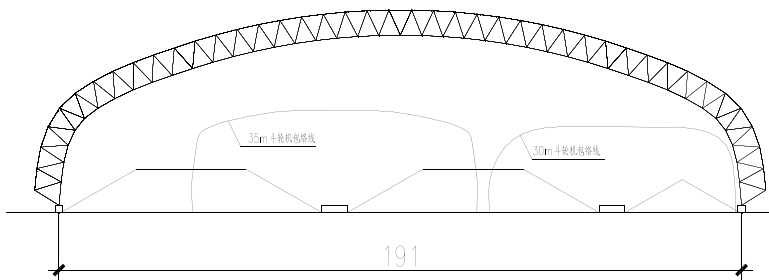


图2 方案二剖面图

度为85m, 两边跨跨度分别为35m和71m, 满足斗轮堆取料机工作需求。网架室内净高38.5m, 网架厚度3.5m, 剖面见图1。

方案二: 内部无柱大跨度钢网架结构体系, 跨度达191m, 网架室内净高47m, 网架厚度7m, 剖面见图2。

作者简介: 刘鑫刚, 男, 工程师, 2011年毕业于中国航空规划建设发展有限公司, 现就职于中航规划技术研究院。

方案三：单跨索桁架桅杆+斜拉张弦桁架结构体系，跨度为191m，桁架室内净高41m，桁架厚度4m，剖面见图3。

方案四：单跨预应力拱形钢桁架结构，跨度为191m，桁架室内净高47m，桁架厚度6m~8.5m，剖面见图4。

## 2 方案比选

为了实现结构安全、经济、适用的设计目标，从使用性能、受力性能、经济性能三个方面对四个方案进行了比较分析。

### 2.1 使用性能对比

方案一内部有两排混凝土柱，跨度小，设计、施工经验成熟，易于实现；有安全隐患；内

部设置混凝土柱，影响储煤空间，减小储煤容量约20%，同时易被输运煤设备碰撞损坏；

方案二、三、四为内部无柱大跨度空间，储煤空间利用率高，斗轮机、推煤机运行不受影响。

方案二由于跨度达191m，钢网架构件尺寸较大，施工变形很大，螺栓球难以满足节点构造和安装精度的要求。采用焊接球网架，现场焊接量大，施工困难，且国内尚无跨度大于160m的网架工程实例。

方案三造型新颖独特，但若稳定索落地将占用较大场地，不符合厂区规则条件。用自平衡索桁架柱，结构效率降低，施工难度较大。

方案四主体结构间距大，结构形式有利于抵抗沿海台风荷载；安装速度快，不影响煤场其他施工；预应力大跨度索桁架目前尚缺电力行业应用

实例，但在体育博览等大型民用公共建筑已得到成熟应用<sup>[1-7]</sup>。

### 2.2 受力性能对比

方案一采用螺栓球网架主体结构总用钢量约3026t，其计算模型、位移、应力比见图5~7。在恒载、活载标准组合作用下，方案一结构的竖向位移为182mm，为跨度的1/450。对结构构件进行设计验算，构件的最大应力比为0.875，满足设计要求。

螺栓球节点网架球节点和杆件采用高强螺栓连接，螺栓螺纹防腐较难处理，容易腐蚀。本工程位于沿海地区，属于高盐雾及硫化物双重较强腐蚀环境，后期防腐维护困难且成本较高。根据《工业建筑防腐设计规范》(GB 50046-2008)，第4.3.5条：“腐蚀性强度为强、中时，应采用焊接连接的空

心球节点。”对于本工程螺栓球网架结构已经不符合现行规范要求。

方案二采用焊接球网架，主体结构总用钢量约5484t，其计算模型、位移、应力比见图8~10。在恒载、活载标准组合作用下的竖向位移为228mm，为跨度的1/837。构件最大应力比为0.909，均满足设计要求。

方案三采用索桁架桅杆+斜拉张弦桁架体系，主体结构总用钢量约6121t，其计算模型、平面布

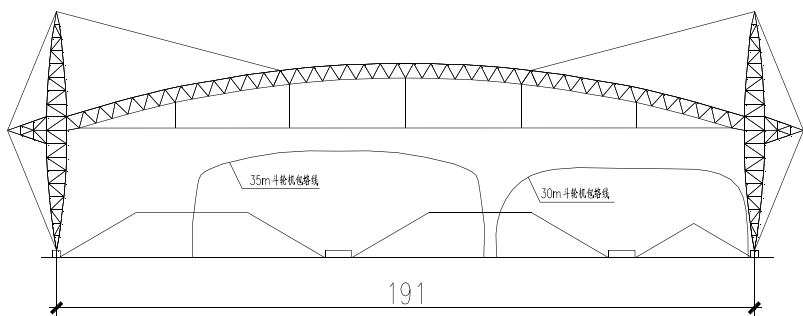


图3 方案三剖面图

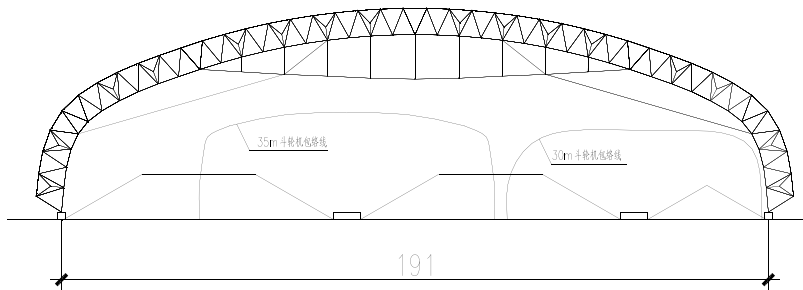


图4 方案四剖面图

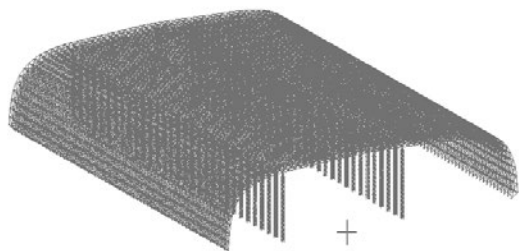


图5 方案一结构计算模型



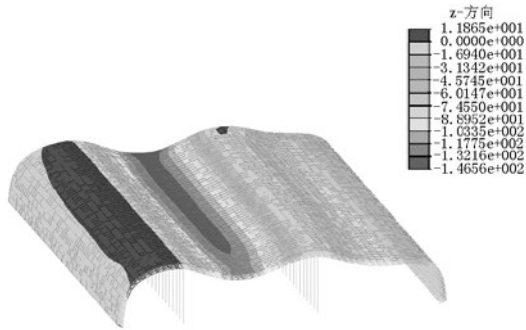


图6 方案一结构竖向位移

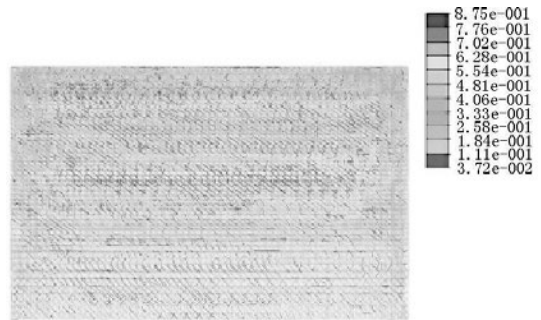


图7 方案一构件应力比

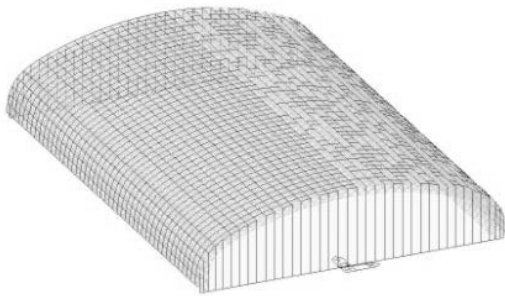


图8 方案二计算模型

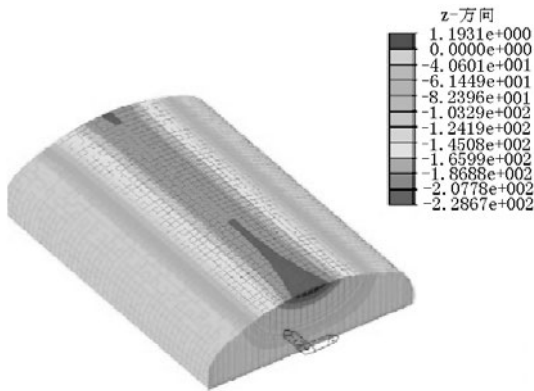


图9 方案二结构竖向位移

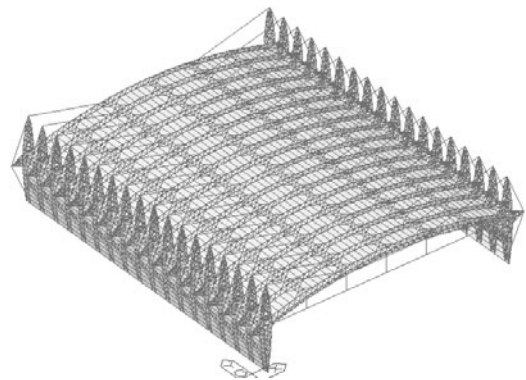


图11 方案三结构计算模型

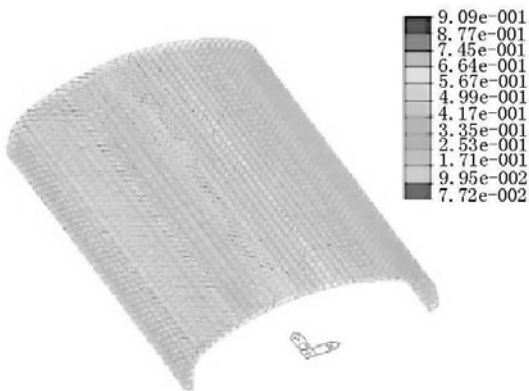


图10 方案二构件应力比

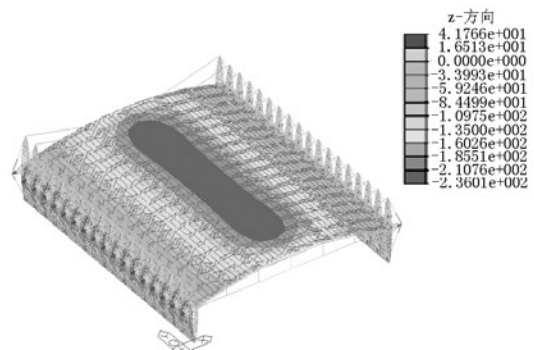


图12 方案三结构竖向位移

置图、侧立面图见图11~13。在恒载、活载标准组合作用下的竖向位移为236mm，为跨度的1/809。构件的最大应力比为0.90，满足设计要求。

索桁架桅杆+斜拉张弦桁架结构亦为较高效率的结构体系，但由于工程地处沿海台风区，风荷载较大基本风压达到 $0.8\text{KN}/\text{m}^2$ 且对结构设计起控制作用，塔柱斜拉索对垂直向下的荷载起作用，而在吸风（向上）荷载作用下，塔柱斜拉索将失效，不能起到抵抗风荷载的作用。因此本方案中的塔柱斜拉索的设置不但不能优化结构工程量，

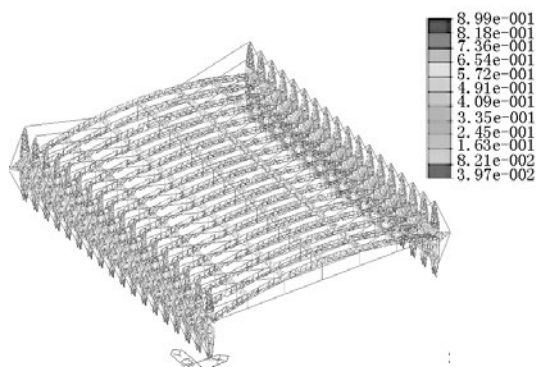


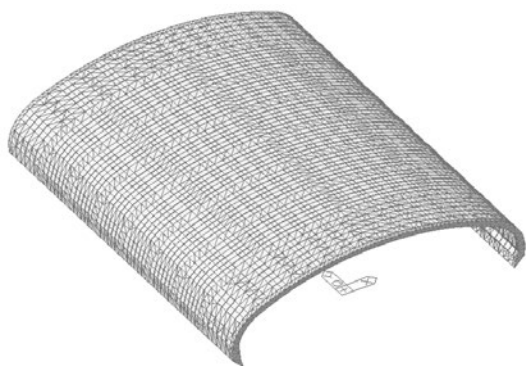
图13 方案三构件应力比

反而会导致工程量增加。

方案四采用单跨预应力拱形钢桁架结构，主体结构总用钢量约3775t，其计算模型、位移、应力比见图14~16。在恒载、活载标准组合作用下方案四结构的竖向位移为279mm，为跨度的1/670。构件的最大应力比为0.875，同样满足设计要求。

### 2.3 经济性能对比

根据四个方案的布置形式，对每个方案的工



(a) 三维示意图

程量与整体造价进行了初步估算，结果见表1、2和图17。

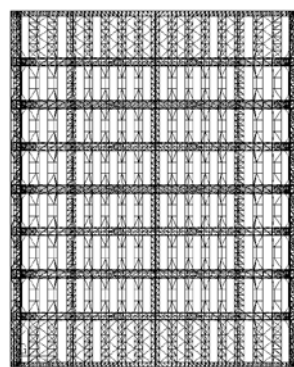
使用阶段全周期投资造价对比（考虑后期防腐涂装）见表2。

主要经济指标的对比见图17：

由以上图表可得到以下结论：

(1) 方案一相比于其他方案用钢量较小，直接建设投资总造价较低。但是其防腐性能不满足相关规范要求，钢网架结构构件及混凝土支柱数量较多，后期防腐维护成本较高。

(2) 方案二与方案三钢材用量大，造价高，经济性能均较差。



(b) 平面布置图

图14 方案四结构计算模型

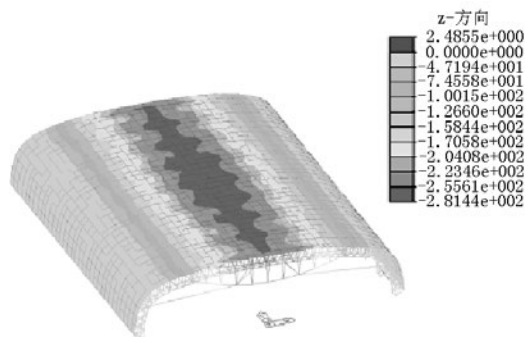


图15 方案四结构竖向位移

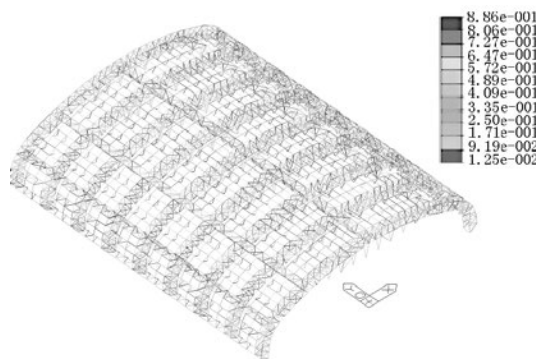


图16 方案四构件应力比

(3) 方案四直接建设投资比方案一略高，但是钢构件少，节点形式封闭，耐腐蚀性能好。预应力拉索采用锌-5%铝-稀土合金镀层钢索（Galfan索），防腐年限可达到50年左右，在煤棚设计使用年限以内，不需要后期防腐维护，后期维护工作量小且成本低。因此使用阶段全周期投资最低，经济性能最好。

## 3 结构设计研究

### 3.1 结构动力性能

对工程实施方案（方案四）进行了模态分

表1 承重结构经济性能比较

承重结构方案	方案一	方案二	方案三	方案四
方案描述	三连跨拱形钢网架 (内部双排柱)	内部无柱 大跨度钢网架	单跨索桁架桅杆+斜 拉张弦桁架	单跨预应力 拱形钢桁架
钢材用量 (t)	3026	5484	6121	3775
索用量 (t)			271	141
主檩条用量 (t)	406.1	431	617	487
次檩条用量 (t)	350.7	389	383	365
彩钢板面积 (m <sup>2</sup> )	64540	69520	72963	66600
中列梁柱砼用量 (m <sup>3</sup> )	5810	0	0	0
边列梁柱砼用量 (m <sup>3</sup> )	640	852	1090	916
桩基砼用量 (m <sup>3</sup> )	6820	7020	3392	3392
承台砼用量 (m <sup>3</sup> )	6230	7135	4752	3600
直接建设投资 (万元)	7374	10655	11955	8054

表2 使用阶段全周期投资经济比较

结构方案	方案一	方案二	方案三	方案四
钢构件个数	35781	36478	20344	7475
钢构件表面积 (m <sup>2</sup> )	76255	77581	60450	40361
使用期钢结构防腐涂装次数	2	2	2	2
后期防腐维护费用 (万元)	2288	2356	1814	1211
使用阶段全周期投资 (万元)	9675	13011	13769	9265

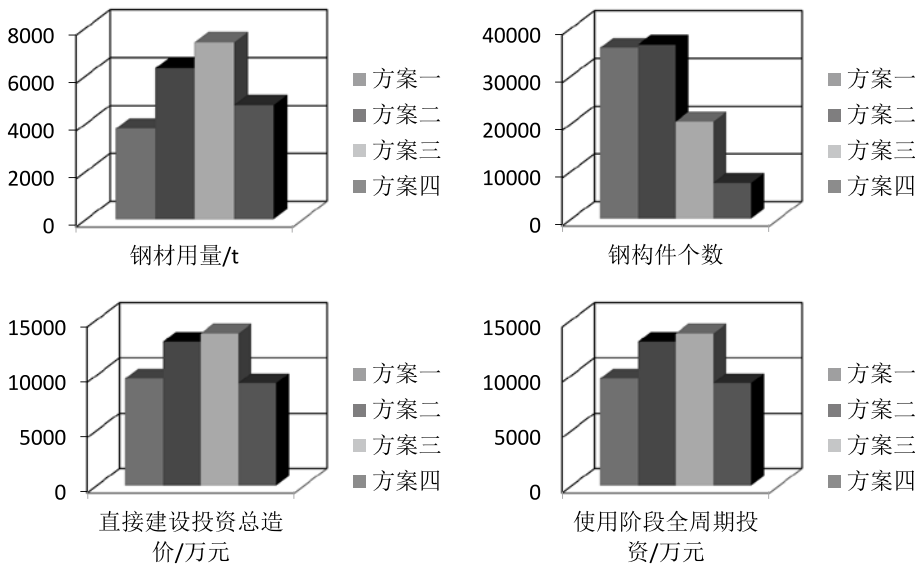


图17 主要经济性能指标对比

析, 分析结果表明整体结构第一阶振型为沿纵向整体振动, 没有出现局部振动, 说明结构沿纵向刚度分布合理且较均匀, 能够均匀有效地传递沿纵向的水平力。整体结构第二阶振型为沿跨度方向平动, 整体结构第三阶振型为扭转振动。扭转第一周期与平动第一周期比值 (T3/T1) = 0.837, 满

足规范要求; 剪重比X向1.86%, Y向1.77%, 满足规范要求。结构前三阶振型周期见图18。

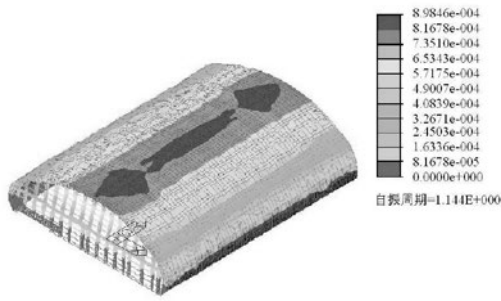
### 3.2 结构弹性性能设计

对方案四结构体系进行计算分析, 力学模型考虑结构几何非线性。并进行结构刚度, 构件强度验算设计。静力、多遇地震、中震计算结果均满足结构设计控制指标。计算结果见图19。

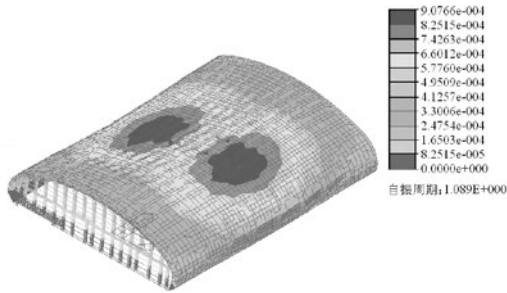
### 3.3 结构体系整体稳定性计算分析

整体稳定屈曲值控制标准: 参照《空间网架结构技术规程》JGJ7-2010, 当按弹性全过程分析时, 结构稳定承载力安全系数为4.2; 当按弹塑性全过程分析时, 结构稳定承载力安全系数为2.0。经计算, 取跨度的1/300作为初始几何缺陷时, 在弹性几何非线性全过程分析下, 结构稳

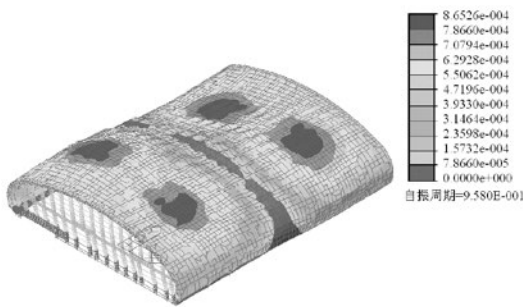




(a) 第一阶振型 T1=1.144s



(b) 第二阶振型 T2=1.089s



(c) 第三阶振型 T3=0.958s

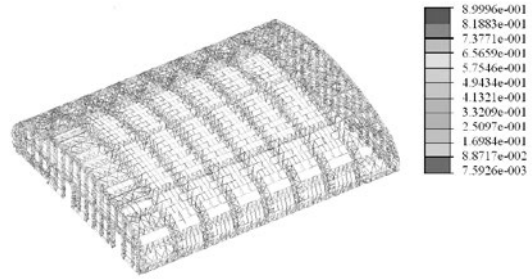
图18 方案四前三阶振型

定承载力系数为： $10.7 > 4.2$ ；在几何和材料双非线性弹塑性全过程分析下，结构稳定承载力系数为： $3.0 > 2.0$ ，且大变形失稳状态时的变形为  $1/191 < 1/50$ ，满足规范及性能化设计目标要求。弹性、弹塑性全过程分析的结构失稳模态见图20。

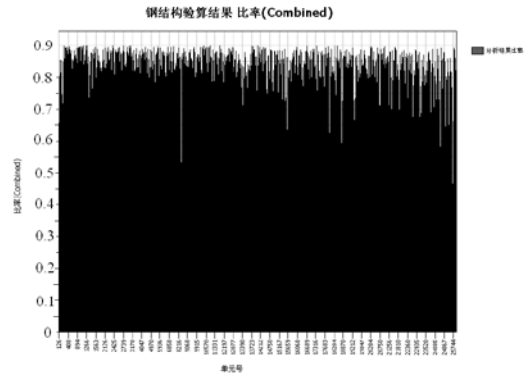
### 3.4 基于承载能力的风荷载全过程结构安全性能分析

工程位于钦州湾北部，每年承受台风侵袭，且钢结构跨度较大，属于对风荷载敏感结构，风荷载对结构设计起控制作用。风荷载体型系数根据《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012及风洞试验结果取值。风振系数根据风振动专项分析，取值为1.3~1.5。

在横向风荷载作用下，对整体结构进行几何、材料双非线性风荷载作用全过程安全性能计算分析。失稳变形形态及荷载变形曲线见下图。



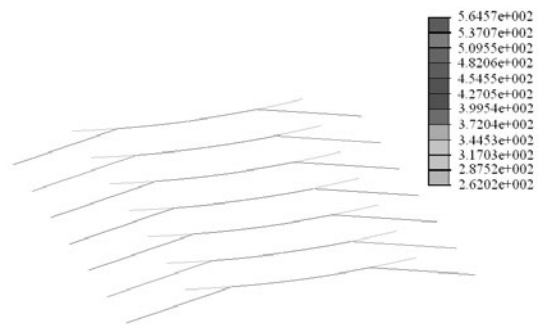
(a) 钢结构一般构件应力比云图 (<0.9)



(b) 钢结构构件应力比柱状图

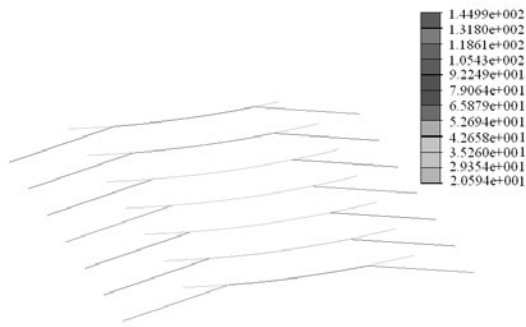


(c) 钢结构支座附近杆件应力比云图 (<0.85)

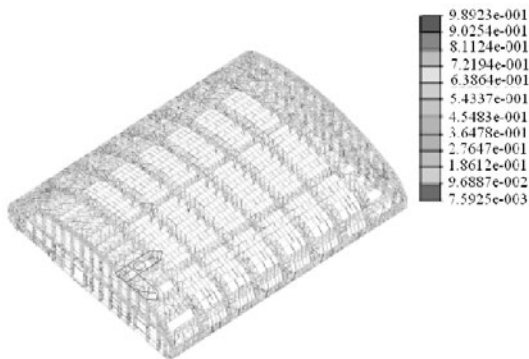


(d) 预应力索最大应力(MPa) (<1670x0.4=668MPa)

在横向风荷载作用下，整体结构失稳时，风荷载承载力系数为2.39（相当于55m/s，风力大于16级以上的超强台风），结构水平向变形为1.035m，为高度的 $1.035/58.5 = 1/56 < 1/50$ ，说明结构能够承受2.39倍的横向风荷载作用，且变



(e) 预应力索最小应力 ( $>1670 \times 0.01 = 18\text{MPa}$ )



(f) 中震钢结构构件应力比 ( $<1.0$ )

图19 方案四结构刚度、构件强度验算结果

形未达到倒塌极限，整体结构抗横向风稳定性能较好，满足性能设计目标。计算结果见图21。

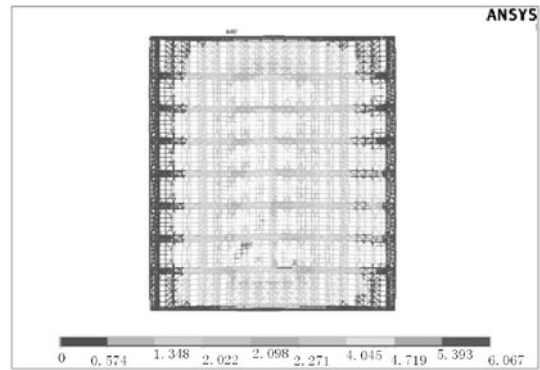
在纵向风荷载作用下，整体结构失稳时，风荷载承载能力系数为2.67（相当于风速58m/s，风力大于16级以上超强台风），结构屋面纵向水平变形为0.449m，为高度的 $0.449/58.5 = 1/130 < 1/50$ ，说明结构能够承受2.67倍的纵向风荷载作用，且变形未达到倒塌极限，说明整体结构抗纵向风荷载能力较强，满足设计目标。计算结果见图22。

#### 4 结论

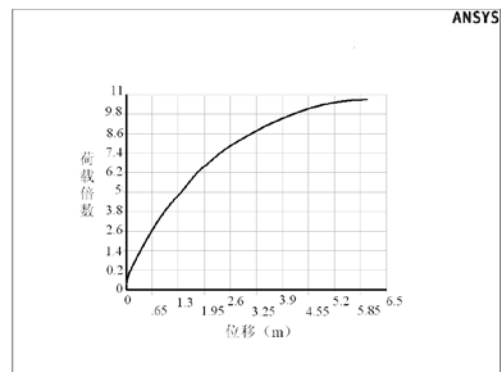
综合以上分析比较，在考虑本工程场地条件的基础上，可得出以下结论：

(1) 方案一三连跨拱形钢网架为常规方案，设计、施工经验成熟，但立柱对推煤机正常运行影响较大，存在隐患；直接建设投资造价最低，但防腐性能不满足规范要求，且使用期间维护费用高。

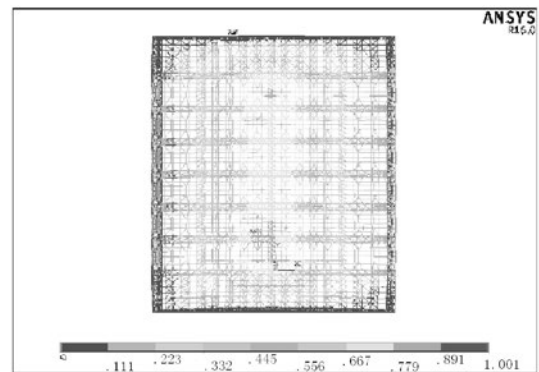
(2) 方案二内部无柱大跨度钢网架结构体系必须采用焊接球网架，现场焊接量大，施工精度



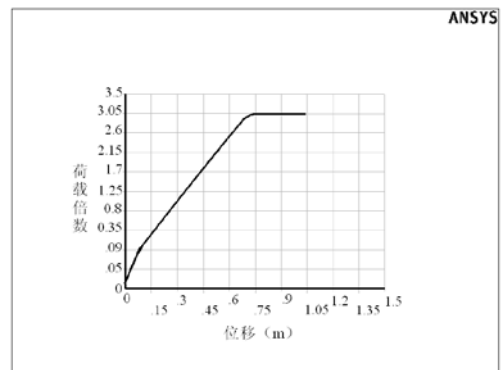
(a) 几何非线性结构失稳变形形态



(b) 几何非线性结构荷载变形曲线

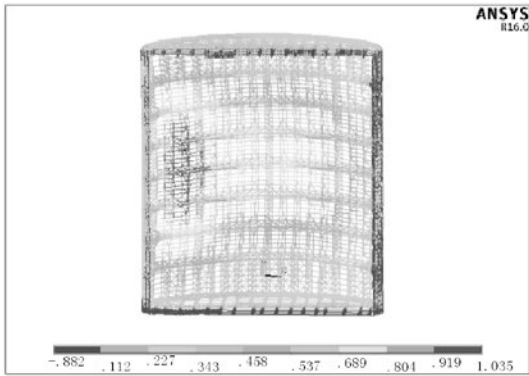


(c) 双非线性结构失稳变形形态

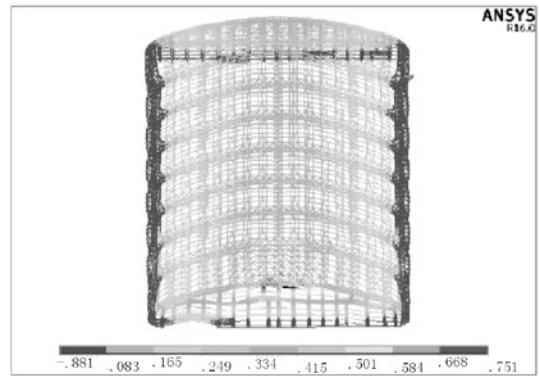


(d) 双非线性结构荷载变形曲线

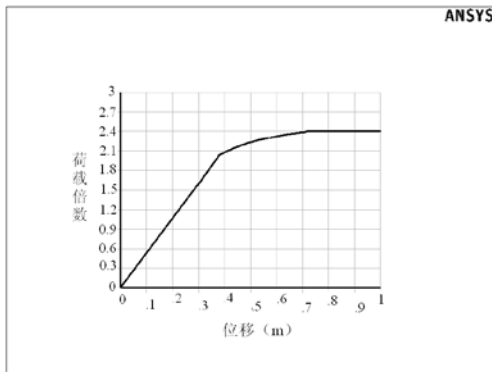
图20 方案四结构稳定计算结果



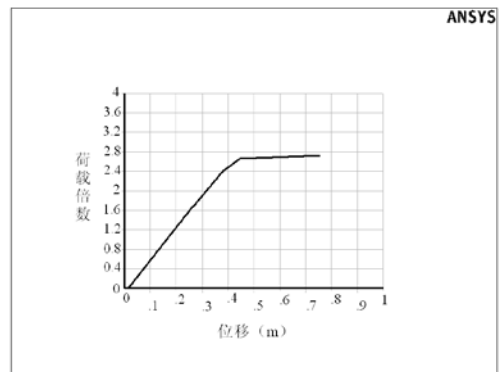
(a) 横向风荷载作用结构失稳变形形态



(a) 纵向风荷载作用结构失稳时变形形态



(b) 横向风荷载作用结构荷载变形曲线



(b) 纵向风荷载作用结构荷载变形曲线

图21 方案四横向风荷载计算结果

图22 方案四纵向风荷载计算结果

难以保证，施工困难。结构用钢量较方案一有柱网架结构方案增加一倍以上，经济性差。

(3) 方案三单跨索桁架桅杆+斜拉张弦桁架方案使封闭煤棚内部空间宽敞、方便推煤机的运行，但结构受力不合理，在滨海台风区存在安全风险，且上部钢结构用量最高，经济性差。

(4) 方案四单跨预应力拱形钢桁架方案使封闭煤棚内部空间宽敞、方便推煤机的运行，整体造型美观大方，结构技术先进，安全稳定，直接建设投资略高于方案一，但使用期间维护费用低，使用阶段全周期投资造价最低。跨度大于180m的单跨结构，在民用工程等其他建筑领域已有应用。

综上所述，考虑各方案使用性能、受力性能及经济性能，本工程结构方案采用技术先进的单跨预应力拱形钢桁架结构。

参考文献

[1] 葛家琪，王树等：2008奥运会羽毛球馆新型弦支穹顶预应力大跨度钢结构设计研究，建筑结构学报，2007,28 (6) .

[2] 张国军，葛家琪，王树等：内蒙古伊旗全民健身体育中心索穹顶结构体系设计研究，建筑结构学报，2012,33 (4) .  
 [3] 葛家琪，张国军，王树等：贵阳体育场体外预应力大悬挑钢管桁架结构设计研究，建筑结构，2010,40 (12) .  
 [4] 葛家琪，王树，张国军等：东北师范大学体育馆体内预应力大跨度钢管桁架结构设计研究，建筑结构，2009，39 (10) .  
 [5] 王树，葛家琪等：迁安文化会展中心张弦梁结构稳定性研究，建筑结构，2009,39 (10) .  
 [6] 覃阳，朱忠义等：国家体育馆双向张弦空间网格结构设计，预应力技术，2011,85 (2) .  
 [7] 卢清刚，耿笑冰等：黄河口模型试验厅新型张弦网壳组合结构设计，建筑结构，2013,43 (10) .  
 [8] JGJ7-2010 空间网格结构技术规程，北京：中国建筑工业出版社，2010.  
 [9] GB50046-2008 工业建筑防腐蚀设计规范，北京：中国计划出版社，2008.



# 《航空工程建设》2016年第1~6期文章索引

## 2016年第1期 总第123期 目录

- 02 基于改进逆向差分算法的第二类装配线平衡问题研究  
张 超 李 慧 孙元亮
- 08 GOOGLE EARTH在通用机场选址中的应用  
张 帆
- 14 基于多目标优化的叶片优异中心业务分工问题研究  
李金芝 王明珠 张 波
- 19 机械加工车间布局方法研究及案例分析  
池 力 陈 军
- 24 基于性能的预应力钢结构设计研究  
葛家琪 张国军 王 树 张 玲
- 32 探索经济新常态背景下的临空经济区规划  
——以南通滨海园区临空经济区规划为例  
张 媛 董 磊 郭璟坤
- 36 利用道路作为通用飞机临时起降点跑道的探索与实践  
孟祥龙 王勇传
- 39 《馆藏文物防震规范》关键技术  
——之防震安全设计研究  
宋毛毛 马伯涛 葛家琪
- 44 对工程量清单计价模式下招投标工作的研究  
黄卫群
- 50 导体截面减小处保护电器安装分析  
逯 霞
- 54 能源健康管理系统在集中供热工程中的应用研究  
赵瑞霞 邓剑宏
- 59 北京雁栖湖国际会展中心空调绿色节能技术应用  
孟凡兵

## 2016年第2期 总第124期 目录

- |   |                         |
|---|-------------------------|
| 02 美军第二代“空战装备体系”研究及思考                     | 佟京昊                     |
| 06 我国民航飞机维修产业研究                           | 郑应平                     |
| 09 中川航站楼结构抗震性能分析                          |                         |
|   | 周 青 郭 鹏 赵伯友 朱 丹 裴永忠 张俊杰 |
| 16 博物馆文物微振疲劳试验与分析研究                       | 葛家琪 马伯涛                 |
| 23 智能化系统设计中常见的UPS配置问题探讨                   | 白雪婧 刘 静                 |
| 28 大型计算机中心余热回收供热方案探讨                      | 赵 晨 李 超                 |
| 32 工程总承包项目（EPC模式）提高结算控制效果的方法              | 庞允盼 李 利                 |
| 36 基于产业价值链视角的创新商业模式研究<br>——以我国工程咨询和建筑行业为例 | 贾道清                     |
| 43 BIM技术为设备行业带来的变革                        | 陈 洁 李力军                 |
| 46 基于海绵城市（LID）理念的雨水控制模拟效果分析               | 乔梦曦 刘 芳                 |
| 49 基于某工程实例的膜制氮与液氮汽化方案技术经济分析               | 王晓东 杨丽莉                 |
| 54 高温烟道支架改造                               | 李博聪 孙雨生                 |
| 58 环保型风力循环喷丸设备                            | 车 青 刘劲松                 |

## 2016年第3期 总第125期 目录

- 02 航空货运站规划布局设计研究 朱 宇
- 05 民营企业参与航空航天领域国防科技工业四种竞争力模式 佟京昊 张 媛
- 08 中国飞机拆解市场前景预测分析 章 力 闫 慧
- 12 三种楼盖体系在航站楼楼盖选型中的应用 韦 恒 赵伯友 邢纪咏
- 17 多层悬挑转换结构设计探讨 程海永 崔巨宏 刘 茵
- 23 一次降温和二次降温系统用于配餐厂房中温车间的对比分析  
李 倩 张海桥
- 29 总承包项目的工程变更分类及控制措施 左 欣 李 利
- 33 总承包项目招投标阶段的造价控制要点 孟 宇 周雅飞
- 38 总承包模式下造价审计工作重点研究 李 超 蒙 春 房 健
- 41 生活垃圾焚烧烟气污染物分析及净化技术初探 洪博文 李 纲
- 44 生活垃圾焚烧发电厂《节能评估报告（节能专篇）》编制关键问题分析  
王海敏 安玉生 李 纲
- 48 大兴医药产业基地公园雨水资源景观化设计 殷丽燕
- 56 浅谈某垃圾焚烧发电工程主变系统倒送电调试方案 董俊峰 赵亮亮
- 61 火工区电气设计 赵 安 李 冬



## 2016年第4期 总第126期 目录

- |    |  |         |         |
|----|--|---------|---------|
| 02 | 航空配餐楼的物流特点及设计要点                                  | 李 箐     | 刘 烁     |
| 07 | 发动机模拟装置热力耦合分析                                    | 周保珍     | 郟 方 陈 果 |
| 11 | 低空旅游产业规划要点                                       |         | 陈文洁     |
| 14 | “文化+体验”主导下的航空主题公园及度假区规划研究<br>——以珠海航空文化博览中心投标方案为例 | 张 楠     | 张琳琳     |
| 21 | 中药提取车间工艺设计浅析                                     | 张媛媛     | 伍雅欣     |
| 25 | 脊髓灰质炎灭活疫苗原液生产车间工艺布置设计要点分析                        | 张瑞超     | 张媛媛     |
| 29 | 垃圾焚烧发电工程循环水余热利用研究                                | 陆新生     | 黄求诚     |
| 33 | 基于ANSYS的热压罐齿法兰应力分析                               | 陈 果     | 刘建华 周保珍 |
| 38 | 复合材料成形热压罐设备尾部保温结构优化研究                            | 马 瑞     | 刘建华     |
| 41 | 疏水阀后余压凝结水管径计算                                    | 赵一娥     | 邢志涛     |
| 45 | LED灯谐波电流浅析                                       | 晏浚博     | 黄 浩     |
| 49 | 某大型模式动物生产厂房工艺设计                                  | 高 灿     | 李 红 杨 勇 |
| 53 | 通辽图书馆超限结构抗震设计                                    | 崔巨宏 王德刚 | 金来建 刘 茵 |
| 61 | 固体制剂生产厂房洁净空调设计                                   | 卢 琳     | 董秀芳     |

## 2016年第5期 总第127期 目录

- 02 航空工业计量实验室平面布置研究 李 凯 余振中
- 07 求解第二类装配线平衡问题的改进粒子群算法 张 超 孙元亮
- 13 某挂架脉冲移动式装配线设计研究 侯康伟 张 超 戴恩雄
- 18 非最终灭菌产品分装车间工艺布局分析 张媛媛
- 22 设备完好状况评估研究 崔 晶 张 波
- 27 成都博物馆基础隔震结构隔震层抗拉性能设计指标研究  
葛家琪 张 玲 张国军 刘鑫刚 马伯涛 管志忠
- 37 成都博物馆基础隔震不规则结构扭转效应控制研究  
刘鑫刚 张 玲 马伯涛 管志忠 王明珠 葛家琪
- 43 对“成都市发展走廊控制规划”规划实践的批判性认识 孙佳历
- 49 变频调速供水技术在工业循环冷却水系统中的应用探讨  
张舰艇 刘 芳 孔庆波 李 丹
- 53 复合式地源热泵运行控制策略比较 乔卫来 陈九法
- 59 国内总承包项目投标报价测算研究 孙家超
- 62 置换通风空调系统在某油箱工段车间中的应用 付晓晨 刘银萍

## 2016年第6期 总第128期

- 02 航空发动机整机动力学研究进展与展望 门艳杰
- 04 基于QR码的复合材料生产质量管理体系研究 张超
- 10 国内粉末高温合金的生产工艺及设备分析 孙黎 邵长星 曾莹雪
- 13 对激光近炸引信的无源干扰技术研究  
苏如意 章媛媛 张睿悦 孟庆华 冯梦桥 刘蔚
- 17 存量型工业园区控规编制策略探析  
——以景德镇市高新区控制性详细规划为例 邵贵芳
- 21 强腐蚀环境下预应力混凝土屋架的抗裂性能研究 王军
- 26 钢支撑—混凝土框架结构抗震性能探讨 闫军 余长霞 张晓光
- 31 浅谈低压配电系统电缆热稳定校验 高凤荣 丁杰
- 35 初步设计调整概算编制方法应用研究——以某项目为例 李楠
- 38 垃圾焚烧工程垃圾渗滤液处理厌氧工艺沼气综合利用研究 陆新生
- 42 热网变流量水力工况分析中摩擦阻力系数计算公式选取初探 李浩然 肖武
- 46 关于辅助等电位联结与局部等电位联结的说明 刘叶语 丁杰 王厚余
- 51 钦州电厂二期扩建工程煤场封闭罩棚设计研究 刘鑫刚 王树 葛家琪
- 59 《航空工程建设》2016年第1~6期文章索引

## 中国航空规划设计研究总院有限公司 民航工程设计研究院

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

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

我们秉承“诚信经营、超值服务”的理念，竭诚为您提供国际一流的服务！





2016年第6期（总第128期）  
2016年12月出版



浙江杭州萧山国际机场国际峰会专用候机楼