

# 航空工程建设

AERO-INDUSTRY ENGINEERING CONSTRUCTION

2017年第3期 总第131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

## 中国航空工业建设协会举办2017年度QC小组成果发布会



5月24日，中国航空工业建设协会联合中国航空规划设计研究总院有限公司组织举办2017年度QC小组成果发布会。

本次发布会特邀国家级评委组成评审委员会，采用现场打分、现场出结果的评审方式，对成果进行了评审及讲评。发布会上，QC小组代表进行了成果发布，经过激烈的角逐，最终评选出中国航空工业建设协会2017年度优秀QC小组。协会将推荐部分获奖QC小组参评2017年度国家工程建设（勘察设计）优秀QC小组的评选。QC小组活动作为一项自发性的群众性质量提升活动，随着近几年在航空工业建设领域的持续开展，提升了员工质量意识和企业质量管理发展水平。

（中国航空工业建设协会供稿）

## “一带一路”通用航空产业国际论坛在京召开

5月13日，在国家“一带一路”国际合作高峰论坛召开的前夕，由中国航空工业集团公司主办的“一带一路”通用航空产业国际论坛在京召开。以此为起点，国内多个省、市、自治区同步开展首个全国“通航日”活动，旨在紧扣国家发展战略，搭建开放平台，联合各方力量，加快通用航空业发展。此次论坛是首个全国“通航日”的重要组成部分，也是去年5月13日国务院办公厅出台《关于促进通用航空业发展的指导意见》以来，中国航空工业集团公司主办的规格最高、规模最大、内容最为丰富的一次通航国际论坛。来自国务院参事室、工信部、发改委、民航局等政府部门领导，“一带一路”沿线国家、地方政府、通航企业、行业协会、航空院校等机构的代表300余人应邀出席了论坛。中国航空工业总经理、党组书记谭瑞松出席论坛并致辞，党组成员、副总经理陈元先出席会议并对聚焦国家战略、推动中国通航产业全面发展进行了深度解读，党组成员、总会计师李耀主持论坛。

谭瑞松指出，“一带一路”倡议的推进与实施，使得沿线国家迎来重大的发展机遇，通用航空产业发展恰逢其时，并将成为这些国家和地区未来发展的重要方向。如果说，两千多年前，是骆驼和帆船开辟出了古丝绸之路；如今，高铁和公路组网促进了京津冀一体化；未来，包括通用航空飞机在内的航空飞行器，将成为连接“一带一路”的空中纽带，架起新时代的“空中丝路”。

谭瑞松表示，过去一年来，作为国内通航发展的领军企业，中国航空工业贯彻落实国务院相关指导意见，构建了较为



完善的通航飞机研制生产和维护保障体系，形成了特种飞机、固定翼飞机、直升机三足鼎立的发展格局，实现了通航产业全球布局，提供通航发展系统解决方案的能力大大提高。

谭瑞松强调，未来中国航空工业将秉承“联合、混合、融合”的合作思路，全力推进“一带一路”通航合作，联合各方力量，开展深入多样的合作，开放通航产业链，全力支持国内外企业发展通航产业；混合各类资本，通过设立通航产业发展基金、通航企业增资扩股等形式，积极探索推进通航领域的混合所有制实践，与社会资本合作共赢；推动通航产业发展与“一带一路”倡议相融合，与“一带一路”沿线国家经济社会发展相融合，与各国人民生活需求相融合。

（摘自《中国航空报》）

## 国务院常务会议部署以试点示范推进《中国制造2025》深入实施

国务院总理李克强5月17日主持召开国务院常务会议，确定进一步减少涉企业经营服务性收费和降低物流用能成本，为企业减负助力；部署以试点示范推进《中国制造2025》深入实施，促进制造业转型升级。

会议指出，《中国制造2025》是推动新旧动能转换和经济迈向中高端的重要抓手，实施两年来取得明显成效。下一步深入实施《中国制造2025》，要深化供给侧结构性改革，以市场为导向，以企业为主体，强化创新驱动和政策激励，把发展智能制造作为主攻方向，与“互联网+”和大众创业、万众创新紧密结合，打造勇于改革创新、成果不断涌现、具有引领作用的“示范方阵”，促进整个制造业向智能化、绿色化和服务型升级，加快建设制造强国。一要攻关键、强基础。以高端装备、短板装备和智能装备为切入点，狠抓关键核心技术攻关，加快突破传感器、工业软件、工控系统等瓶颈制约，集中支持重点领域创新发展和传统产业改造提升急需装备的工程化、产业化，启动实施新材料等研发和应用重大工程，持续提升基础研究、开发应用和系统集成能力。二要加快建设工业互联网云平台和基于互联网的开放式“双创”平台，积极支持大中小企业融通发展、服务业与制造业有机结合，鼓励制造、电信、软件等企业跨界合作，发展网络化协同研发制造、大规模个性化定制、服务型制造等新模式。三要抓好试点示范。因地制宜建设“中国制造2025”试点示范城市（群）和智能制造示范区，择优创建一批“中国制造2025”示范区，支持在政策和制度创新上先行先试，形成智能制造创新氛围和产业集群，打造新的增长区域。四要提高产品和服务品质。弘扬企业家精神和工匠精神，培育创客品质，推广先进质量管理方法，建立优质制造标准体系。对接多样化消费升级需求，增品种、提品质、创品牌。五要优化发展环境。深化简政放权、放管结合、优化服务改革。完善市场监管，强化知识产权保护。健全技术入股、股权激励等收益分配机制，更好调动科技人才积极性。通过整合中央多种专项基金加大担保贴息力度、在有条件的地方建立信贷风险补偿机制、引导社会资本投入等，形成促进制造业升级的合力。六要扩大开放和国际合作，实现优势互补、共赢发展。

（摘自“工信部网站”）

## 工程质量安全提升行动试点开始申报

日前，住建部发布通知，部署开展工程质量安全提升行动试点申报工作。根据通知，试点周期为2年，申报时间截至5月31日。同时，通知明确了8项试点内容：

- 监理单位向政府报告质量监理情况试点
- 工程质量保险试点
- 建立工程质量评价体系试点
- 建筑施工安全生产监管信息化试点
- 建筑施工安全生产标准化考评试点
- 大型公共建筑工程后评估试点
- 勘察质量管理信息化试点
- 城市轨道交通工程双重预防机制试点

对于试点申报要求，通知规定：

第一，具备条件的省（区、市）积极选取单项或多项试点，也可以在上述八项试点内容之外，围绕工程质量安全提升，自主申报试点内容。

第二，申报试点的省（区、市）应编制《工程质量安全提升行动试点方案》，内容包括：指导思想和原则、试点目标、工作基础、试点内容、工作进度、保障措施等。如申报多项试点，请分别编制试点方案。

（摘自《中国勘察设计》）

## 我国建设领域推行认证认可制度助力建筑质量提升

6月9日，是第十个“世界认可日”，由国家质检总局、住房和城乡建设部、国家认监委主办，中国建筑标准设计研究院等单位承办的“认证认可助力质量提升——2017‘世界认可日’”活动在京举办。当天，国家认监委发布了《认证认可助力质量提升行动》，决定在认证认可领域重点开展十个方面的先导性质量提升行动；住建部介绍了《工程建设施工企业质量管理体系规范》的修订和进一步推进工程建设施工企业质量管理体系认证的有关工作情况。

国家质检总局、住建部领导在讲话中充分肯定认证认可制度的作用，介绍了国家在认证认可工作取得的成绩，并对今后的认证认可工作开展做出了部署。现场，住房和城乡建设部与国家认监委共同签署了《全面推动住房城乡建设领域认证认可发展的战略合作协议》，两部委将在多个方面开展合作，推进建设领域的认证认可发展。

（摘自“新华网”）

## 住建部出台《施工总承包企业特级资质标准》（征求意见稿）

6月7日，从住建部官网了解到，住建部对2007年颁布的《施工总承包企业特级资质标准》（建市[2007]72号）（以下简称07版）进行了修订，并发布《施工总承包企业特级资质标准》（征求意见稿）（以下简称征求意见稿）。与07版标准相比，《征求意见稿》在资信能力、企业人员、科技进步水平、承包范围、业绩等五方面存在较大变革。

根据《征求意见稿》，在企业资信能力方面，征求意见稿提出企业净资产6亿元以上；企业近三年营业收入均在50亿元以上；企业银行授信额度近三年均在10亿元以上；企业未被列入失信被执行人名单；近三年未被列入行贿犯罪档案等要求。

（摘自《建筑时报》）

## 建筑业发展统计分析公报：支柱产业地位稳固 劳动生产率达历史新高

由住房城乡建设部计划财务与外事司和中国建筑业协会联名完成的《2016年建筑业发展统计分析》日前发布，这份行业发展统计分析报告涵盖了建筑业的现状和发展特点以及建筑业特、一级资质企业基本情况分析。数据显示，建筑业支柱产业地位稳固，从业人数和企业数量增加，劳动生产率达历史新高。

2016年，全国建筑业企业（指具有资质等级的总承包和专业承包建筑业企业，不含劳务分包建筑业企业，下同）完成建筑业总产值193566.78亿元，同比增长7.09%；完成竣工产值112892.60亿元，同比增长2.54%；签订合同总额374272.24亿元，同比增长10.79%，其中新签合同额212768.30亿元，同比增长15.42%；完成房屋施工面积126.42亿平方米，同比增长1.98%；完成房屋竣工面积42.24亿平方米，同比增长0.38%；实现利润6745亿元，同比增长4.55%。截至2016年底，全国有施工活动的建筑业企业83017个，同比增长2.60%；从业人数5185.24万人，同比增长1.80%；按建筑业总产值计算的劳动生产率为336929元/人，同比增长3.98%，创下历史最高纪录。

（摘自《建筑时报》）

## 新版总承包企业特级资质标准征求意见

为深化行政审批制度改革、促进建筑业科学发展，住房城乡建设部建筑市场监管司对2007年颁布的《施工总承包企业特级资质标准》进行了修订，日前发布征求意见稿，要求各地6月30日前反馈意见。

征求意见稿明确了施工总承包企业申请特级资质应具备的条件。在企业资信能力方面，要求企业净资产6亿元以上，未被列入失信被执行人名单，近三年营业收入均在50亿元以上、银行授信额度均在10亿元以上、未被列入行贿犯罪档案。对企业技术负责人，要求具有15年以上从事本类别工程技术管理经历、工程序列高级工程师或注册建造师执业资格；主持完成过2项符合施工总承包一级资质标准要求的代表工程。在科技进步水平方面，企业须具有省部级（或相当于省部级水平）及以上的企业技术中心、近三年科技活动经费支出均达到营业收入的0.8%以上。

根据征求意见稿，取得施工总承包特级资质的企业可承担本类别各等级工程的工程总承包、施工总承包和项目管理业务。

（摘自《中国建设报》）

## 高峰论坛达成270多项具体成果 涵盖5大类76大项

5月15日，新华社播发“一带一路”国际合作高峰论坛成果清单。据悉，高峰论坛期间及前夕，各国政府、地方、企业等达成一系列合作共识、重要举措及务实成果，中方对其中具有代表性的一些成果进行了梳理和汇总，形成高峰论坛成果清单，主要涵盖政策沟通、设施联通、贸易畅通、资金融通、民心相通5大类，共76大项、270多项具体成果。

15日，“一带一路”国际合作高峰论坛圆桌峰会上，各方还通过了《“一带一路”国际合作高峰论坛圆桌峰会联合公报》。《联合公报》提出，推动在公路、铁路、港口、海上和内河运输、航空、能源管道、电力、海底电缆、光纤、电信、信息通信技术等领域务实合作，欢迎新亚欧大陆桥、北方海航道、中间走廊等多模式综合走廊和国际骨干通道建设，逐步构建国际性基础设施网络。

（摘自《北京青年报》）

• 项目展示

安阳是全国的航空运动之都，通用航空产业发展示范基地，具有良好的航空产业发展基础与航空文化氛围。安阳无人机产业园定位为全国工业级无人机创新发展示范基地，以植保无人机为重点，兼顾其他工业级无人机产业发展，拓展无人机配套生产、无人机运营与保障、无人机衍生等产业，建设无人机飞行公园，打造无人机产业发展链条。项目从产业、空间、项目、保障措施、行动计划等各个方面，有序推进产业发展与园区建设，具有较强的可行性与可操作性。

## 安阳无人机产业园

建设地点：河南安阳

设计单位：航空工业规划综规院

建设情况：在建

规划用地：67ha





以航空主业为核心引领，坚持产城共生，通过强化生产、优化生态、润化生活、活化生机的建设路径，依托现有的产业、机场、空域、旅游资源，在建设“航空制造”、“通航运营”两个基地中融合“东乡人文”、“航空运动”两个产业，形成以产业为中心、项目为载体、生产生活生态相融合，打造通航旅游小镇、整机制造小镇、航空运动小镇、生态富民小镇。项目涉及航空制造与运营、创意体验与微游、文脉传承与活化三大板块，目前已进入江苏省首批25个特色小镇的创建名单，按照江苏省特色小镇建设标准，预计2018年建成。

## 镇江通航特色小镇

建设地点：江苏镇江  
 设计单位：航空工业规划综规院  
 建设情况：在建  
 总用地面积：3.5km<sup>2</sup>  
 总建筑面积：375万m<sup>2</sup>

# 广州空港经济区战略规划

建设地点：广东广州

设计单位：航空工业规划综规院

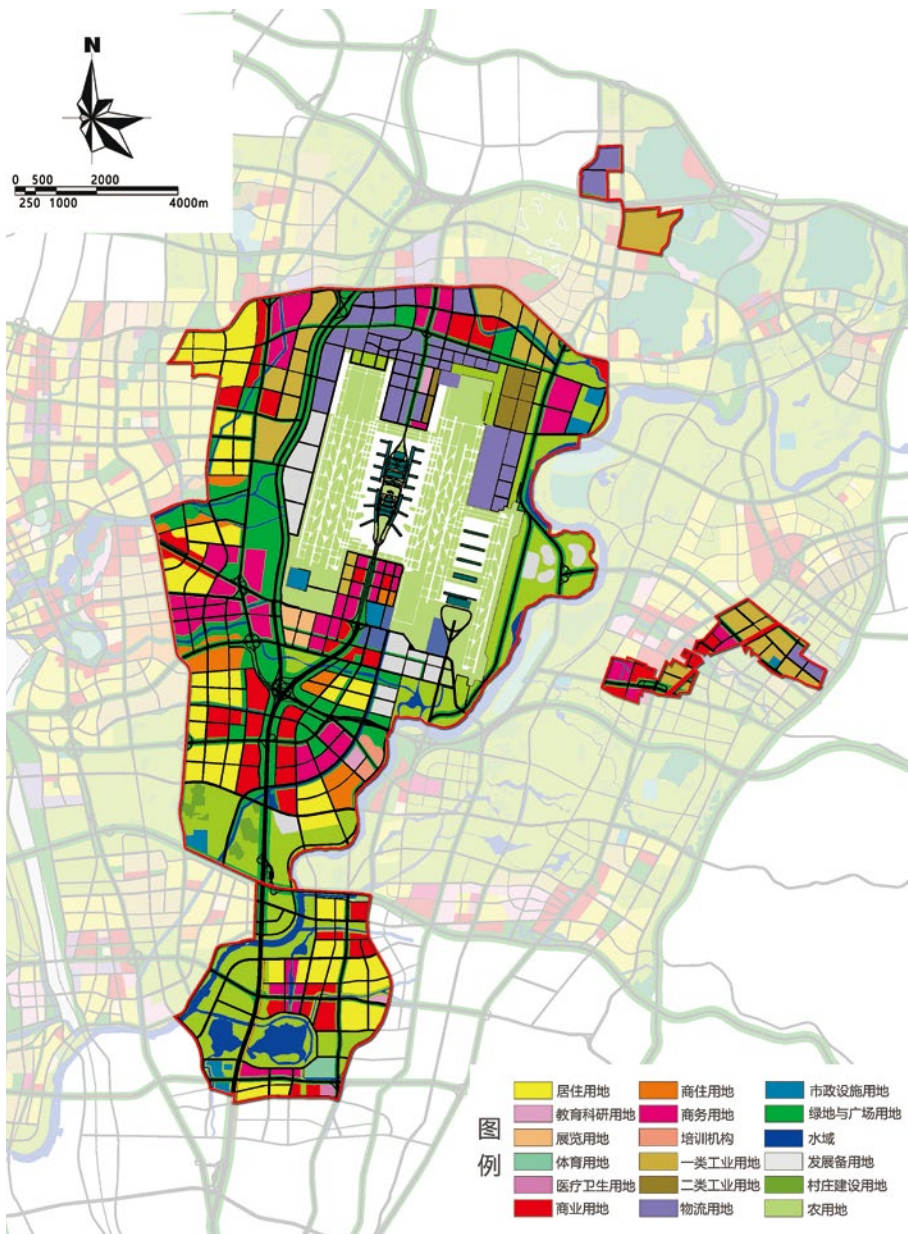
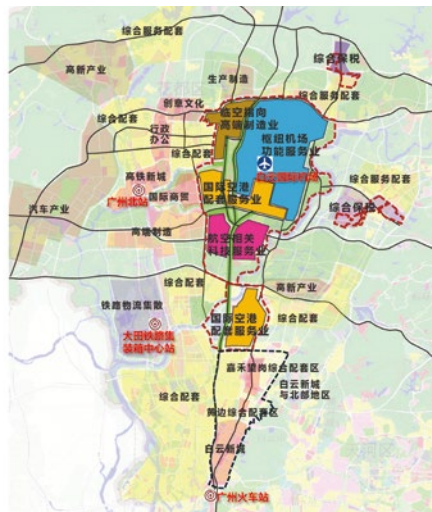
建设情况：在建

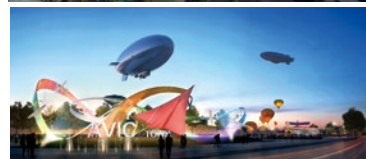
规划用地：135.5km<sup>2</sup>

《广州空港经济区重点开发区域战略规划》项目为广州市空港经济区构建了“枢纽机场—产业生态—临空城市”三维模型。依据中流、北运、南商、西城、东绿的空间策略打造空港复合功能区、临空高端制造区、信息化智慧新区、空港服务门户区的空间格局。将广州空港经济区规划成为国内乃至全球最具投资价值、最具前往、驻留吸引力的临空新区，并通过产业经济研究和城市规划手段建立起国际临空城市的价值体系和崭新的发展系统。

本项目技术创新：

- 建立数据库，展示“全球化”的航空城市案例；
- 结合国际理念与实证分析，首创“新航空城系统”指标与体系；
- 设计航空城“REPLAN三维体系”，从机场运营、产业发展、城市空间三个维度进行定量分析和城市设计；
- 打造景观设计、生态环保、城市改造相结合的新发展理念。





荆门爱飞客镇是全国首个将通用航空产业、新型城镇化、文化创意休闲融为一体的大型综合体项目，这里将成为华中地区最大的航空运动休闲体验中心、华中地区最大的通用航空运营服务基地。

极客公园在爱飞客镇具有重要作用，它是全国首家“爱飞客”品牌的创意综合体第一个实践项目，承担着爱飞客镇的门户和形象展示作用。

设计总体目标为“航空魅力舞台、极客水天秀场”。爱飞客极客公园以航空文化为灵魂，以极客体验为特色，将航空创意体验与城市滨水休闲相结合。为航空专业化人群和城市休闲旅游消费人群营造彰显航空魅力、时尚激情迸发、山水田园诗情、健康人文宜居的航空文化体验公园。

## 湖北荆门极客公园景观规划设计

建设地点：湖北荆门

设计单位：航空工业规划综规院

建设情况：一期已建成，二期设计中

总建筑面积：38ha

总建筑面积：1.8万m<sup>2</sup>



## 住房和城乡建设部关于发布行业标准《生活垃圾焚烧厂标识标志标准》的公告

现批准《生活垃圾焚烧厂标识标志标准》为行业标准，编号为CJJ/T270-2017，自2017年10月1日起实施。

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准《建筑智能化系统运行维护技术规范》的公告

现批准《建筑智能化系统运行维护技术规范》为行业标准，编号为JGJ/T417-2017，自2017年10月1日起实施。

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准《建设电子文件与电子档案管理规范》的公告

现批准《建设电子文件与电子档案管理规范》为行业标准，编号为CJJ/T117-2017，自2017年10月1日起实施。原《建设电子文件与电子档案管理规范》CJJ/T117-2007同时废止。

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准《装配式劲性柱混合梁框架结构技术规程》的公告

现批准《装配式劲性柱混合梁框架结构技术规程》为行业标准，编号为JGJ/T400-2017，自2017年10月1日起实施。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《建筑信息模型施工应用标准》的公告

现批准《建筑信息模型施工应用标准》为国家标准，编号为GB/T51235-2017，自2018年1月1日起实施。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《建设项目工程总承包管理规范》的公告

现批准《建设项目工程总承包管理规范》为国家标准，编号为GB/T50358-2017，自2018年1月1日起实施。原国家标准《建设项目工程总承包管理规范》GB/T50358-2005同时废止。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《建设项目工程总承包管理规范》的公告

现批准《建设项目工程总承包管理规范》为国家标准，编号为GB/T50358-2017，自2018年1月1日起实施。原国家标准《建设项目工程总承包管理规范》GB/T50358-2005同时废止。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《建设工程项目管理规范》的公告

现批准《建设工程项目管理规范》为国家标准，编号为GB/T50326-2017，自2018年1月1日起实施。原国家标准《建设工程项目管理规范》GB/T50326-2006同时废止。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《工程建设施工企业质量管理规范》的公告

现批准《工程建设施工企业质量管理规范》为国家标准，编号为GB/T50430-2017，自2018年1月1日起实施。原国家标准《工程建设施工企业质量管理规范》GB/T50430-2007同时废止。

## 住房和城乡建设部关于发布国家标准《数据中心设计规范》的公告

现批准《数据中心设计规范》为国家标准，编号为GB50174-2017，自2018年1月1日起实施。其中，第8.4.4、13.2.1、13.2.4、13.3.1、13.4.1条为强制性条文，必须严格执行。原《电子信息系统机房设计规范》GB50174-2008同时废止。

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准《建筑与小区管道直饮水系统技术规程》的公告

现批准《建筑与小区管道直饮水系统技术规程》为行业标准，编号为CJJ/T110-2017，自2017年11月1日起实施。原行业标准《管道直饮水系统技术规程》CJJ110-2006同时废止。

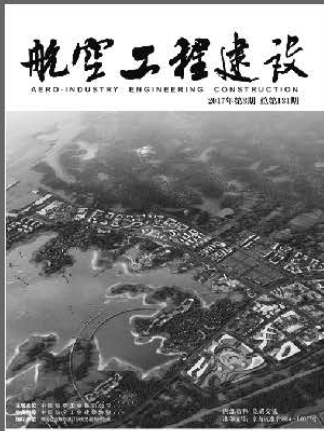
## 住房和城乡建设部关于发布行业标准《焊接作业厂房供暖通风与空气调节设计规范》的公告

现批准《焊接作业厂房供暖通风与空气调节设计规范》为行业标准，编号为JGJ353-2017，自2017年11月1日起实施。其中，第4.1.12、5.2.2、6.2.4、6.6.1、7.2.1条为强制性条文，必须严格执行。

## 住房和城乡建设部关于发布行业标准《聚苯模块保温墙体应用技术规程》的公告

现批准《聚苯模块保温墙体应用技术规程》为行业标准，编号为JGJ/T420-2017，自2017年11月1日起实施。

(来源“国家工程建设标准化信息网”)



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

**顾问委员会**

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

**编辑委员会**

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

**总编** 陆国杰  
**主编** 陈海风  
**执行主编** 王蕊  
**责任编辑** 李楠  
**出版** 《航空工程建设》编辑部  
**地址** 北京德外大街12号  
**邮编** 100120  
**E-mail** hkgcjs@avic-apc.com  
**印刷单位** 北京奇麟印刷有限责任公司分公司  
**发送对象** 公司内部及本系统内部  
**印刷日期** 2017年6月  
**印数** 1500册  
**电话** (010)62038276 62038235  
**传真** (010)62038297  
**封面** 荆门爱飞客镇系列规划

# CONTENTS

## 目录 2017年第3期 总第131期

### 航空能力建设

02 某民航飞机喷漆机库通风设计

梁乃正 张海桥

### 研究与探讨

05 人用狂犬病疫苗生产厂房设计要点分析

杨勇 张垚 张瑞超

08 垃圾焚烧发电厂四肢钢管格构柱柱肩节点分析研究

王群 顾强强

13 缀管布置对四肢钢管格构柱稳定性的影响分析 王海波 顾强强

18 某综合医院门诊楼通风空调系统设计要点 刘鑫 孟凡兵

23 BIM在某科研楼暖通设计中的应用 魏珊珊 孟凡兵

26 齿啮式卡箍多目标拓扑优化方法 周焕红 端木兵雷 郟方

29 垃圾焚烧厂厂内道路交通荷载分析 薛彩翔 何晶

32 工程总承包项目招标采购实施建议 滕宇飞 朱志明

35 PPP+EPC模式下项目的风险管理分析 景浩盟 朱志明

39 电镀及阳极化生产线生产用水量计算方法的研究

张天奇 刘芳 赵洁

44 常见电气火灾监控系统报警案例分析 周彬 丁杰

47 压缩空气系统节能方案探讨 李彬彬 杨丽莉

51 现场总线技术在数字化垃圾焚烧电厂的应用 李江 苏丹

### 工程设计

55 新媒体传输站供配电的设计 晋明华 陈泽毅

61 垃圾焚烧发电厂火灾自动报警系统的设计 任晓朦 赵亮亮

# 某民航飞机喷漆机库通风设计

■ 梁乃正 张海桥 [暖通]

**摘要:** 飞机喷漆机库作为飞机整机喷漆的专用厂房,其通风系统为满足工艺使用要求而设计,具有鲜明特征。本文以天津某民航飞机喷漆机库为例,介绍了喷漆工况下通风系统的特点,进一步对在设计过程中应注意的问题,如气流组织、空气处理、运行控制和废气处理等问题进行了分析和总结。

**关键词:** 喷漆;气流组织;废气处理

## 0 引言

随着国内民航产业发展,航空公司机队规模不断增加,飞机整机喷漆业务随之逐年增加,飞机喷漆机库作为飞机喷漆的专用厂房,其需求量越来越大。同时,业主对改善工作环境、防治大气污染及控制室温湿度等方面,也提出了更加严格的要求。

## 1 工程概况

本工程为天津某飞机维修公司的飞机喷漆机库工程,建设地点在天津市。总建筑面积22620m<sup>2</sup>,喷漆机位大厅约3500m<sup>2</sup>,设计为单架空客某系列飞机的喷漆,属于Ⅲ类机库。

## 2 喷漆工艺通风系统

### 2.1 室内设计参数

飞机整机喷漆工作包括准备、清洗、打磨、退漆、喷漆、干燥等工序。其中,喷漆和干燥两个工序对暖通专业提出了特殊的室内环境要求,喷漆机库大厅室内设计参数见表1。

### 2.2 气流组织

飞机在喷漆过程中,会产生大量的漆雾。漆

雾的主要成分是树脂和有机溶剂<sup>[1]</sup>,有机溶剂中含有二甲苯、甲苯等挥发性有机物。这些挥发性有机物具有易燃易爆、污染环境、有害人体健康的特点,须通过合理的通风系统设计将漆雾及时带走排除。

排除有害物最有效的办法是局部排风,但飞机整机喷漆由于其工作面大,且局部通风设施需与工艺修理平台等进行良好结合才具有实操性,目前还未有成熟的局部排风方案及案例。因此就要营造一个合理的“类局部排风”气流组织,抑制漆雾弥漫,使有害物通过最短路径排出,同时保证喷漆工作区的气流均匀,且风速适合。风速太大会降低喷漆的附着率,导致喷漆用量增加,风速太小通风效果太弱,达不到排除漆雾的要求。为了达到这些要求,本项目采用了由布置在机库屋面网架内的喷口向下送风,机库大厅内的排风地沟排风的全面空气覆盖通风形式。

网架内的风口满布飞机定位平面投影内区域,风口选择多孔喷口,送风保持一定扩散角度,使气流行程至工作区域时形成搭接,确保送风均匀覆盖全部喷漆工作区及其外围一部分区域。自上而下的气流,可以有效抑制漆雾在大厅内弥漫,一部分遇到飞机机身或机翼遮挡后,会形成横向或者斜

表1 喷漆机库大厅室内设计参数

房间名称	工况	室内温度	室内相对湿度
		℃	%
机库大厅	喷漆	≥15	≥30
	干燥	≥25	≥30

作者简介:梁乃正,男,助理工程师,2012年毕业于北京工业大学建筑环境与设备工程专业,现就职于航空工业规划民航设计研究院。

向下的气流,这部分气流,与工作区外围一部分未受遮挡的向下气流混合,由设置在机库大厅地面的排风地沟排走<sup>[4]</sup>。排风地沟沿飞机轮廓外围布置,使漆雾能够沿最短路径排出。

全面空气覆盖的气流组织方式,是按照飞机定位平面投影面积作为气流控制范围,气流速度控制在 $0.25\text{m/s}\sim 0.50\text{m/s}$ 。由于飞机定位平面投影面积巨大,所以通风量也同样巨大。为了降低通风系统的总风量同时兼顾喷漆作业的合理工序,本项目设计了分区送风的形式,即将飞机划分为左侧机翼,左侧机身及尾翼,右侧机身及尾翼,右侧机翼四个两两对称的区域,由两套进排风机组负担这四个区域,每套机组分别负担一侧的机翼及机身的区域。当机身及尾翼区域喷漆时,对该区域送风。当机身工作结束,转而对机翼喷漆时,停止机身区域送风,开始对机翼区域送风。切换送风区域,是通过控制设置在风管上的电动风阀启闭来实现的。同理,排风地沟同样划分为不同区域,根据工作区变换排风位置。

另外,为了进一步防止漆雾向大厅内非工作区域扩散,大厅内还设置了空气幕系统。该空气幕系统为循环风系统,回风口位于机库上空非防爆区域,送风口选择小型球形喷口进行高速送风,沿飞机轮廓密集布置,使飞机周围的立体空间形成了一道空气幕,将有可能外溢的漆雾挡在空气幕内一侧,进一步防止漆雾向大厅内非工作区域扩散,送风口布置图见图1。

## 2.2 空气处理

在飞机喷漆工况下,由于漆雾中含有易燃易爆的成分,且排风地沟属于机库内I类防爆区

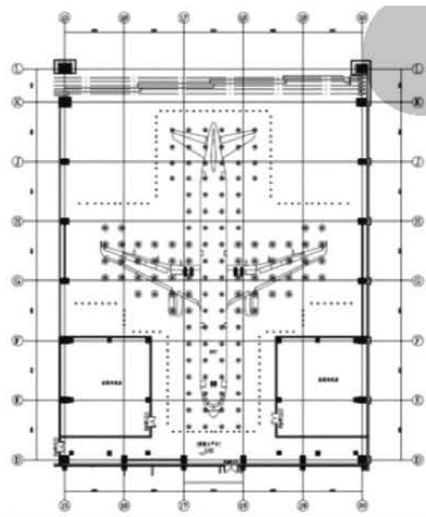


图1 喷漆机库大厅风口布置图

域,通过排风地沟收集的空气禁止在大厅内循环使用,通风系统必须为直流系统。直流风系统能耗是很惊人的,所以出于节能角度考虑,进排风机组采用了带热回收功能的空气处理机组以回收部分能量。热回收方式为全热型转轮式,全热回收效率不低于60%。同时,为防止排风中的微量污染物长期使用导致其附着在蓄热体上,造成转轮热回收率下降,转轮要具有自清洗装置。清洗时通过压缩空气和高压水沿芯体方向通过,同时做水平往复运动,把转轮蓄热体表面的污垢清洗掉。

为了满足喷漆大厅的温湿度要求,空气处理机组除具有常规加热功能外,还需具有加湿功能。加湿方法宜首选高压饱和蒸汽快速吸收式,但本机库所在地区无蒸汽供应,也没有自建蒸汽锅炉房的条件。故机库大厅采用高压微雾加湿为主的方式。同时考虑到本项目热源为风冷热泵热水机组,极端天气下机组制热量衰减等因素,又配置少量的电热加湿作为极端天气下的辅助加湿源。

## 2.3 控制原理

喷漆工况下,开启两台进排风机组及空气幕系统。通过风阀切换送风区域满足喷漆工位需求。室内温度、湿度由设在厂房内回风口处的温度传感器、湿度传感器发出信号给BAS系统。BAS系统根据输入数据综合判断,控制加热盘管的电动三通调节阀阀门开度、高压微雾加湿器加湿量大小以及电热加湿器加湿量大小。

当室内温度向温度上限偏移或高于温度上限时,关小电动三通调节阀阀门开度,减少通过加热盘管的水流量。当室内温度向温度下限偏移或低于温度下限时,开大电动三通调节阀阀门开度,增加通过加热盘管的水流量。当室内相对湿度向湿度下限偏移或低于湿度下限时,逐步开大高压微雾加湿器以保证室内湿度。整个控制过程,由室内温度超控室内相对湿度。若电动三通阀开至最大,室内温度仍低于温度下限,则开始减小高压微雾加湿,至室内温度满足要求,然后逐步开启电热加湿,保证室内相对湿度。空气处理机组控制原理图见图2。

## 2.4 废气处理

随着大气环境的日益恶化,国家对工业企业污染物排放的要求和监管也都越来越严格。该项目所在地天津市,也在本项目设计前不久出台了新的《工业企业挥发性有机物排放控制标准》DB12/524-2014。该标准中对喷漆工作中产生的

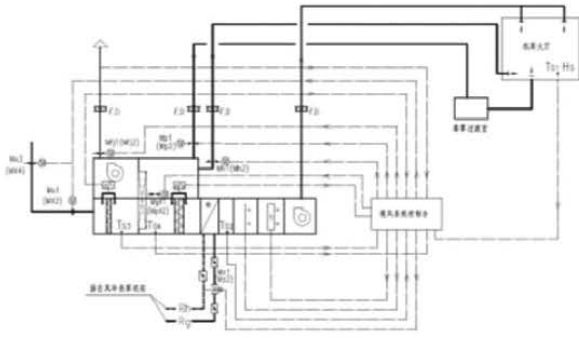


图2 空气处理机组控制原理图

苯、二甲苯等污染物的排放浓度和排放速率提出了严格的要求，具体数值见表2<sup>[2]</sup>。本机库排气筒高度设置高度为25m，根据内插法计算，得出本项目排放标准，见表2。

为了满足国家及地方排放标准，本机库设计采用了废气的干式净化法。干式净化法是将含有漆雾的空气经三级过滤，一、二级为专门用于过滤漆雾的玻璃纤维过滤器，漆雾颗粒物的废气通过过滤材料时，漆雾颗粒与过滤材料纤维的反复碰撞，是漆雾颗粒从气体中分离出来，干净的气流排走<sup>[3]</sup>。第三级为活性炭过滤器，主要负担苯系物的过滤。活性炭作为一种高效吸附材料，具有很大的比表面积、丰富的微孔和一定的孔径分布，吸附量大，对有机气体有较强的吸附能力。

玻璃纤维漆雾过滤器和活性炭过滤器，均需要控制气流通过过滤器的流速。活性炭过滤器的吸附效率会随着过滤风速的增加而降低，同时，过滤器的阻力会随着风速增加而加大，因此风速不能过大，若使过滤风速降低，需增加过滤器的断面积，增加滤料的用量，造成成本的增加。本项目玻璃纤维过滤器设计空气通过流速为不超过1.5m/s，活性炭过滤器设计空气通过流速为不超过1.0m/s。喷漆工况下，含有漆雾的空气通过排风地沟收集并

输送至过滤室，经过三级过滤处理后，再经进排风机组进行能量回收，最后高排至室外。

由于活性炭吸附效率在吸附率小于35%时，能够稳定保持在90%以上，大于35%时，吸附效率急剧下降。本项目设计有VOCs在线监测装置，能够实时监测排气筒出口处VOCs的排放浓度及排放速率。使用过程中，业主或相关环保部门可根据监测结果，适时更换活性炭材料，保证排放达标。

### 3 结语

(1) 喷漆工艺通风的通风量巨大，其最大风管尺寸可达直径2000mm。而民航飞机喷漆机库的屋面结构形式多为网架形式，风管设计既要满足送风对飞机定位平面投影面积是覆盖，又要布置在网架内，设计过程十分繁琐。设计时，可采用一定的三维设计手段，即降低了设计难度，又提高了设计准确性，可谓一举两得。

(2) 为应对日益恶化的大气环境及严格的污染物排放标准，目前国内汽车喷涂行业开始引入蓄热式热力焚烧处理装置(RTO)进行喷漆废气处理。飞机喷漆行业，由于具有总风量大，排放浓度低，非连续工作等特点，国内的飞机喷漆机库尚未采用此种方法。据了解，国外已经有采用RTO装置处理废气的先例。这一点，笔者将持续关注。

### 参考文献

- [1] 《飞机喷漆机库设计规范》(GB 50671-2011).
- [2] 《工业企业挥发性有机物排放控制标准》DB12/524-2014.
- [3] 《建筑工程设计技术细则-暖通专业》中国航空工业规划设计研究院.
- [4] 叶鸣，《超大部件喷漆工位通风及废气净化系统设计》

表2 污染物浓度排放标准

工作阶段	污染物种类	最高允许排放浓度	最高允许排放速率(20m)	最高允许排放速率(30m)	最高允许排放速率(25m)
		mg/m <sup>3</sup>	kg/h	kg/h	kg/h
调漆喷漆工艺	苯	1	0.4	1.0	0.7
	甲苯与二甲苯合计	40	2.0	7.0	4.5
	VOCs	90	4.0	14.0	9
烘干工艺	苯	1	0.4	1.0	0.7
	甲苯与二甲苯合计	40	2.0	7.0	4.5
	VOCs	80	4.0	13.0	8.5

# 人用狂犬病疫苗生产厂房 设计要点分析

■ 杨勇 张垚 张瑞超 (工艺)

**摘要:** 本文结合工程设计实践,在符合GMP法规前提下,从狂犬疫苗生产流程入手,分析狂犬疫苗的工艺和工程设计特点,并提出狂犬疫苗工艺布置采用单元化、模块化的设计方式,严格控制有毒和无毒区域,核心分装工序、冻干工序需要在B+A级区域内,并采用RABS系统设备。工程设计上,人用狂犬病疫苗的生产过程需要低温洁净、低温冷媒等条件,工程设计在满足工艺需求的前提下应尽量达到节能、安全的要求。

**关键词:** 人用狂犬病疫苗; 厂房设计; 单向流设计; Vero细胞

## 0 引言

人用狂犬病疫苗是我国国内销售额最大的疫苗品种之一,目前我国有十余家企业生产销售人用狂犬病疫苗。近年来,每年人用狂犬病疫苗的使用量约为1200万至1500万人份,年直接费用约为35亿至50亿元(按终端售价计算)。我国2010版GMP及附录1和附录3对于人用狂犬病疫苗的工程设计,从毒种制备、细胞培养、接种扩增、病毒灭活到纯化、分装、冻干等环节都提出了严格的要求。

我公司已设计过多个人用狂犬病疫苗工程,包括地鼠肾细胞(BHK)、Vero细胞基质等。本文将结合我公司以往设计的人用狂犬病疫苗工程实例,分析人用狂犬病疫苗工程在工艺设计和工程设计方面的特殊要求。

## 1 人用狂犬病疫苗产品分析

我国企业生产的人用狂犬病疫苗主要有地鼠肾细胞(BHK)、Vero细胞、人二倍体细胞三种类别。其中,Vero细胞狂犬病疫苗占据绝对优势,不同细胞基质培养的狂犬病疫苗优缺点见表1。

2013~2015年,Vero细胞狂犬病疫苗分别占95.8%、96.4%、93.6%的批签发数量,有5~6家

企业分享这个市场。辽宁成大一枝独秀,批签发数量稳定维持在41%~54%;辽宁依生和吉林迈丰的签发量快速减少,宁波荣安和长春长生的签发量逐渐攀升,广州诺诚有一定波动。2014年,成都康华的人二倍体细胞狂犬病疫苗上市,在2014年和2015年分别批签发了31.53万支和104.63万支。

## 2 人用狂犬病疫苗产品的生产流程

本文以占据市场主流的Vero细胞基质生产的人用狂犬病疫苗技术为例,其生产过程主要包括Vero细胞培养、接种、收获、灭活、纯化得到原液,然后合并,加入适当的稳定剂,再经过分装、冻干而制成产品。

人用狂犬病疫苗的生产流程主要分为两个阶段,即原液制备阶段和无菌制剂阶段。

表1 不同细胞基质培养的狂犬病疫苗优缺点

类型	优缺点	主要生产企业
地鼠肾细胞(BHK)	外源致病的微生物污染风险较大;难以利用生物反应器进行大规模生产。	河南远大、中科生物
Vero细胞	可以通过生物反应器大规模培养;产量、质量均较高。	成大生物、宁波荣安、长春长生、吉林迈丰、广州诺诚、辽宁依生
人二倍体细胞	可减少外源因子的污染;生产成本较高,技术难度较大。	成都康华

作者简介:杨勇,男,高级工程师,2000年毕业于华东理工大学制药工程专业,现就职于航空工业规划医药工程设计研究院。

## 2.1 人用狂犬病疫苗产品的生产工艺简述

Vero细胞人用狂犬病疫苗的原液生产是用人人用狂犬病疫苗减毒株接种到工作代的Vero细胞基质上,经过细胞复苏培养、病毒接种培养,收获单次病毒收获液,经超滤浓缩、病毒灭活后纯化分离得到原液。

由于最终的疫苗产品在分装前不可除菌过滤,因此其上游的暴露工序均需要进行无菌操作,其中细胞复苏以及培养需在B级生产区,其余生产区和配液区为C级,清洗辅助区为D级。

无菌制剂的生产过程是将合格的原液添加稳定剂后进行分装和冻干制成产品。按照2010版GMP的要求,无菌制剂的分装和冻干工序为B+A级,轧盖工序为D级,其余辅助的洗瓶、器具清洗区域为D级。

## 2.2 人用狂犬病疫苗产品的生产工艺流程

### 2.2.1 原液生产工艺流程

细胞复苏→细胞培养→病毒接种→病毒培养→收获单次病毒收获液→超滤浓缩→病毒灭活及验证→纯化分离→原液。

### 2.2.2 无菌制剂生产工艺流程

洗瓶→干燥灭菌→灌装→冻干→轧盖。

## 3 人用狂犬病疫苗的工艺布置

人用狂犬病疫苗的工艺布置设计应根据2010版GMP要求和生产流程的需求,合理进行工艺布局,避免生产流线交叉污染,尽量做到人、物流线最短。

### 3.1 整体工艺布置设计

考虑人用狂犬病疫苗生产厂房为三层模式建设,见图1。一层设置为仓库、动力站、变配电站等;二层集中设置人用狂犬病疫苗的原液生产车间和分包装车间等;考虑人用狂犬病疫苗生产车间面积大,空调系统多,输送距离远等,在整体设计上考虑把空调机组放在三层,由空调机组直接对工艺区提供空调,以保证路径最短。

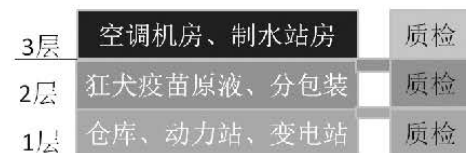


图1 人用狂犬病疫苗生产厂房的整体布置方式

## 3.2 各功能区的工艺布置

人用狂犬病疫苗生产厂房的各功能区应严格按照2010版GMP对人用狂犬病疫苗产品工艺布置的特殊要求,各功能区需要单独设置人、物流进出通道,要求严格分开制品在病毒灭活前与病毒灭活后的房间,应分别设计空气净化系统<sup>[1]</sup>。由于病毒灭活及验证区域为特殊区域,因此要求将其设置为单独区域,运行使用时按照无毒区管理,如果灭活验证失败,则需要对整个区域按照有毒区域处理。

按照人用狂犬病疫苗的生产流程可以将人用狂犬病疫苗的生产过程划分为:细胞复苏培养区、毒种制备区、发酵培养和收获区、病毒灭活及验证区、纯化分离区、分装冻干生产区、包装区等,共计7个大类的生产区。工艺布置采用单元化、模块化的设计方式。各区块衔接流畅,并满足工艺路线最短,人、物流路线合理的要求,避免交叉污染,兼顾参观需要。对于毒种制备区、发酵培养和收获区这些有毒风险区域,可采用国际上的人、物“单向流”的模式设计,以避免交叉污染。我公司设计的人用狂犬病疫苗产品毒种制备区所采用的“单向流”布局模式见图2。

## 4 人用狂犬病疫苗的生产工艺设备

人用狂犬病疫苗的关键工序、关键设备对生产的产能和产品的质量有较强的制约性,其中,发酵收获工序至关重要;灭活工序是产品质量安全的重要保障;分装工序是新版GMP要求最严格的工序,要求分装环境达到B+A级别要求<sup>[1]</sup>。

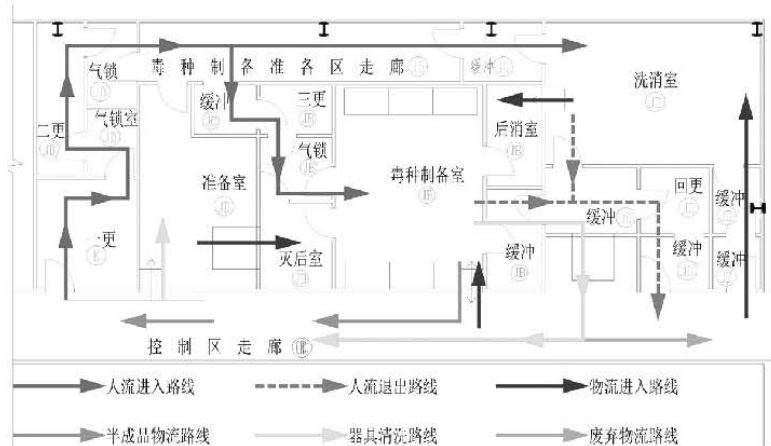


图2 人用狂犬病疫苗毒种制备区的“单向流”布局模式

#### 4.1 发酵工序的关键设备

由于Vero细胞的贴壁生长特性,人用狂犬病疫苗采用微载体生物反应器进行培养,细胞贴附于微载体上,悬浮于培养基中,逐渐分裂生长成单层细胞。该培养模式把单层培养和悬浮培养融合起来,具有表面积/体积比大,单位体积培养细胞的产率高的优点。另外,微载体悬浮于培养基中,细胞生长环境均一,简化了培养条件的监测和控制,同时培养基的利用率高,重复性好,降低了劳动强度<sup>[2]</sup>。

#### 4.2 灭活工序的关键设备

灭活工序采用带夹套的移动罐,夹套内通入0℃冷媒,用β-丙内酯在4℃灭活。β-丙内酯被证明是狂犬病毒灭活的有效手段,同时采用的移动罐可以进行CIP/SIP,可有效保证产品的安全。

#### 4.3 纯化工序的关键设备

纯化工序主要采用层析设备,人用狂犬病疫苗通过层析方式有效地去除残余的牛血清、细胞碎片、残余细胞DNA等杂质,使产品达到高质量的标准<sup>[3]</sup>。

#### 4.4 分装工序的关键设备

人用狂犬病疫苗属于无菌产品,2010版GMP的附录1《无菌药品》对于无菌产品有非常严格的要求,分装工序、冻干工序要求在B+A级别区域内完成。由于分装过程是风险最高的工序,因此目前人用狂犬病疫苗项目多采用带RABS系统的分装线设备来完成分装和带自动进出料系统的冻干设备完成冻干。这种生产方式能有效降低人员对分装、冻干过程的干扰,满足分装、冻干工序的A级要求。

### 5 工程设计特点

#### 5.1 空调系统划分的特殊要求

根据2010版GMP的要求,人用狂犬病疫苗的毒种制备区、发酵收获区及灭活验证区应当同其他区域彼此分开,各区域应当有独立的空气净化系统,因此空调系统按照工艺平面分区的要求严格分开。空调系统配有消毒工况和值班工况,采用变频、节能、低噪空调系统。

#### 5.2 温、湿度独立控制技术

空调系统的设计方案采用区域新风机组与循环机组、排风机组相结合的模式,实现了房间的温、湿度独立控制,避免传统系统因露点控制造成的冷热抵消的问题,实现节能运行。

#### 5.3 恒温、低温的洁净系统设计

人用狂犬病疫苗的生产部分工序需要在(37±0.5)℃的恒温洁净室中完成,该房间采用孔板送风模式,下侧回风,同时厂房考虑采用冷水降温、电加热。(5±3)℃的低温洁净房间则采用独立的处理机组,采用双套管、直膨制冷盘管交替使用,热氟融霜,同时考虑电热微调去湿,以满足房间的湿度要求。

#### 5.4 注射水系统的设计

注射水系统采用有毒区单独设置系统的方式,有毒区单独设置水罐和循环系统,有毒区的水罐由无毒区的循环系统作为一个供应水点供应,可有效避免压力异常时有毒区对于无毒区的污染风险。

#### 5.5 供电可靠性的保障措施

人用狂犬病疫苗项目的用电负荷大,应在厂房内设置变电所。净化空调系统风机的变频调速装置会引起系统较大含量的谐波,应尽量在靠近设备处设置净化空调系统的变频调速装置,以降低线路因谐波引起的过热。

人用狂犬病疫苗的产品价值高,因此关键的工艺设备、核心区域的空调送风、低温冷库、低温冷媒等不允许在关键生产阶段或产品保存阶段出现故障,需要考虑设置柴油发电机,以确保不间断供电。

### 6 结语

(1) 人用狂犬病疫苗属于生物无菌产品,从法规上必须符合2010版GMP及附录1和附录3的要求。在工艺布局上应有效防止病毒灭活前后的制品交叉污染,在工艺流程上采用可靠的灭活工艺,车间设计做到灭活前后区域严格分开。

(2) 人用狂犬病疫苗的毒种制备区、发酵收获区等有毒区域,可考虑按照国际先进的人、物“单向流”的模式设计,最大限度地避免交叉污染。

(3) 人用狂犬病疫苗的生产过程需要低温洁净、低温冷媒等条件,工程设计在满足工艺需求的前提下应尽量达到节能、安全的要求。

#### 参考文献

- [1] 卫生部.药品生产质量管理规范(2010年修订)[S].
- [2] 乐威,叶林柏,张捷,等.微载体灌注培养制备Vero细胞狂犬病疫苗[J].中国病毒学,2004,19(4):373-375.
- [3] 张延龄,张晖.疫苗学[M].北京:科学出版社,2004.



# 垃圾焚烧发电厂四肢钢管格构柱 柱肩节点分析研究

■ 王群 顾强强 (结构)

**摘要:** 对于垃圾焚烧发电厂的主厂房钢结构而言,柱肩是连接网架和格构柱的重要构件,用以保证上部网架的荷载传递到下方格构柱,因此柱肩必须要有足够的强度和刚度。本文以某电厂为例,提出多种柱肩节点的布置形式,并对不同柱肩节点进行了对比分析,最后提出了柱肩节点优化设计的方法,可供工程设计参考。

**关键词:** 钢管格构柱;格构柱柱肩;有限元分析;优化

## 0 引言

钢结构和普通钢筋混凝土结构相比具有质量轻、施工周期短、材质均匀等优势。对于垃圾焚烧发电厂项目主厂房的焚烧间及烟气净化间而言,根据工艺布置和建筑造型的要求,一般均采用钢管格构柱排架结构。而且柱肩位置受力较大且复杂,设计的合理与否对于主厂房整体的强度、刚度和稳定性都有很大影响,进而会影响到主厂房的运行和安全。本文以某电厂为例,分析和阐述了主厂房钢管格构柱柱肩节点设计中需注意的一些问题。

## 1 柱肩主要设计参数

本工程钢结构整体采用Q345-B钢材,主体受力钢柱采用四肢格构柱,宽度3600mm,高度3000mm,分肢截面: $\Phi 500 \times 20$ 与 $\Phi 500 \times 16$ ,见图1~图3。

## 2 方案对比及分析

由于工艺布置及设备高度的影响,焚烧间与烟

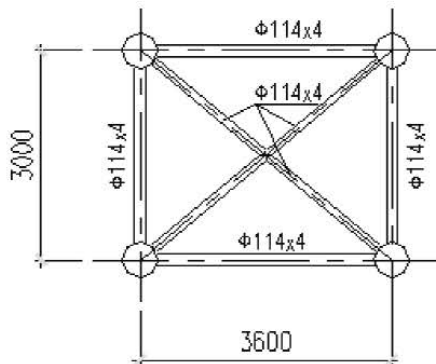


图1 格构柱示意图

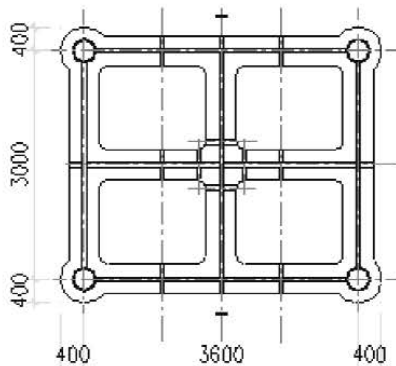


图2 柱肩图(一)

气净化间格构柱高度不同,分别为48.9m、39.4m,因此高度交接处格构柱有两处柱肩,见下图4。

根据柱肩受力特点,考虑如下柱肩类型,其

作者简介:王群,男,助理工程师,2013年毕业于西南交通大学结构工程专业,现就职于航空工业规划市政设计研究院。

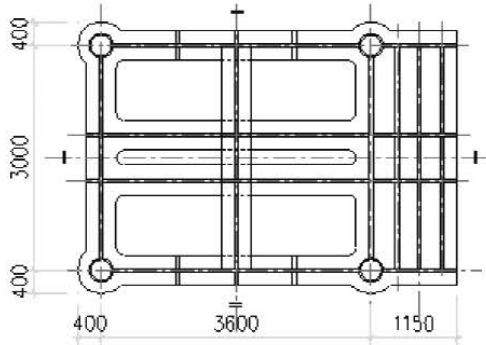


图3 柱肩图 (二)

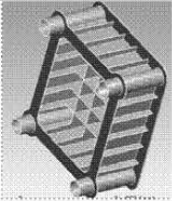
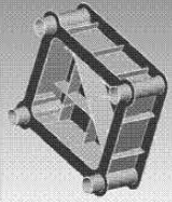

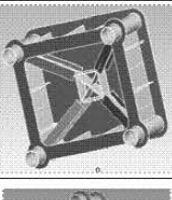
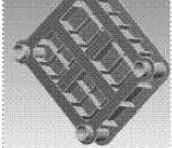
中柱肩 (一) 详见表1; 柱肩 (二) 详见表2; 柱肩 (二) 承受上部屋盖传来的集中力。

柱肩均采用Q345-B钢材, 柱肩高度参考钢结构设计手册柱肩梁的刚度构造要求: 取柱截面高度的0.4~0.6倍, 本工程取0.5, 则柱肩高度为1500mm。

柱肩顶板及底板厚度均为40mm, 加劲肋厚度为20mm。柱肩 (一) 受力情况如下:

在柱肩顶部施加竖向荷载 $2 \times 106\text{kN}$ , 作用面

表1 柱肩 (一) 分析表

类型	实体模型	质量	最大应力 (MPa)	最大位移 (mm)
井字梁		14.203t	132	1.55
十字交叉		13.745t		1.15
交叉支撑		12.854t	292	2.10
工字梁式		15.202t	50.0	0.61

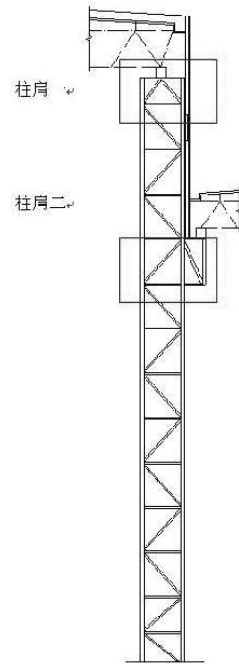


图4 柱肩分布示意图

为 $600\text{mm} \times 600\text{mm}$ , 即考虑网架球铰支座的作用力分布宽度。

柱肩 (一) 各类型应力及位移计算如下:

井字梁式柱肩应力见图5; 位移见图6; 十字交叉式柱肩应力见图7; 位移见图8; 交叉支撑式柱肩应力见图9; 位移见图10; 工字梁式柱肩应力见图11; 位移见图12。

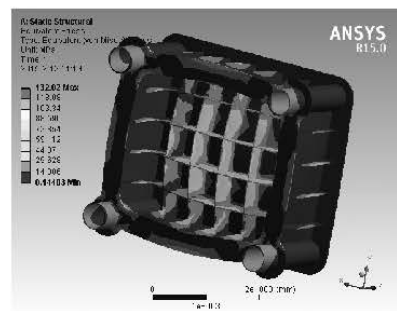


图5 应力分布示意图

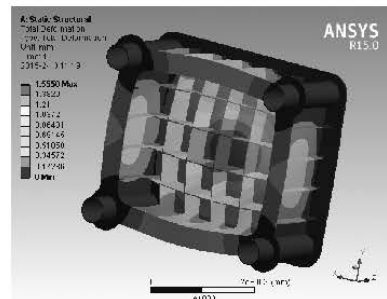


图6 位移分布示意图

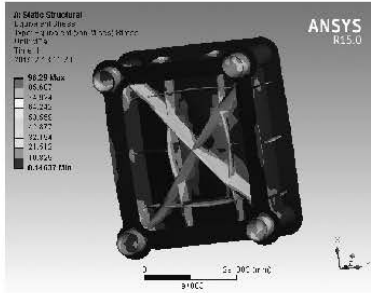


图7 应力分布示意图

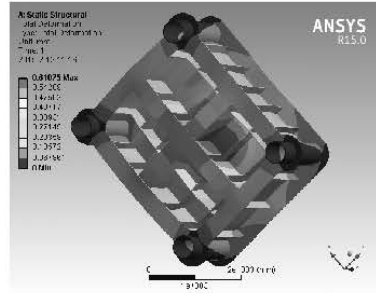


图12 位移分布示意图

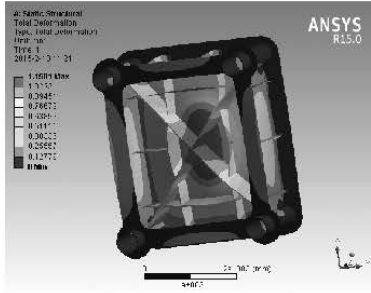


图8 位移分布示意图

通过上面四种柱肩类型的应力分布及位移结果可以看出,工字梁式柱肩应力最小,分别占交叉支撑、十字交叉、井字梁式最大应力的17.1%、51.9%、37.8%;并且其位移最小,分别占交叉支撑、十字交叉、井字梁式最大位移的29%、53.0%、39.3%;基本和应力比重接近,但其自重最大,分别占交叉支撑、十字交叉、井字梁式自重的118%、110.9%、107%,综合上述来看,工字梁式柱肩性能比较好,可在此基础上进行优化设计。

优化的原则是:1)不改变其传力途径;2)减少不必要的加劲肋的数量及其余加劲肋的厚度;3)根据球铰支座的力分布宽度,加强其受力区域,降低顶板的厚度。

经优化达到如下结果:其重量为12.4t,较先前方案减少了2.8t,应力为92MPa。最大位移为0.84mm,具有较好的优化效果,见图13、图14。

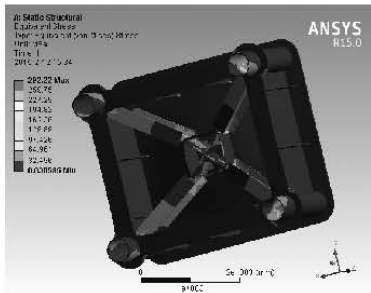


图9 应力分布示意图

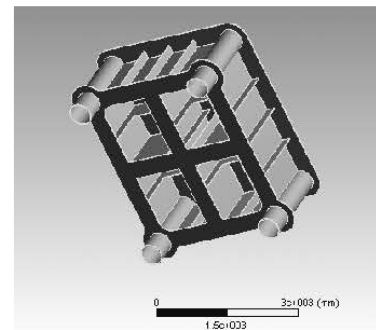


图13 优化后几何模型

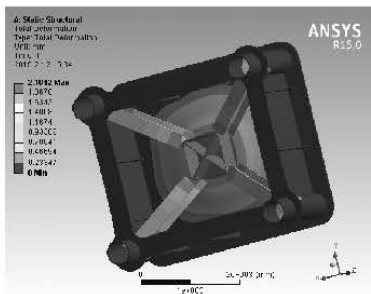


图10 位移分布示意图

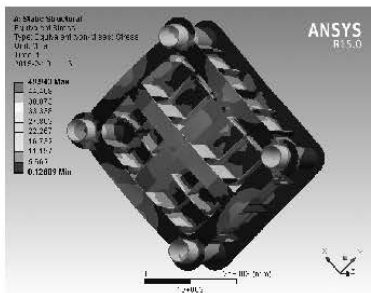


图11 应力分布示意图

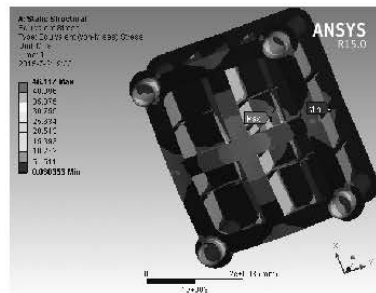
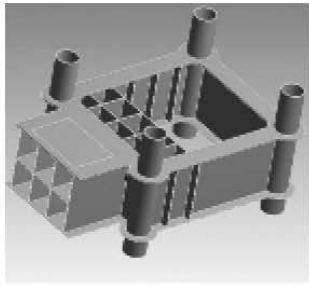
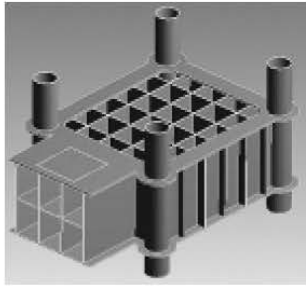
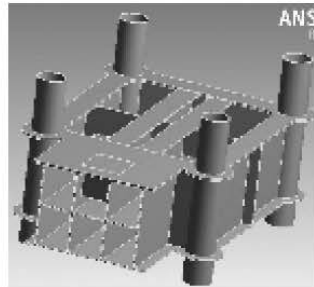


图14 优化后应力分布

柱肩(二)受力情况如下见表2。在柱肩悬挑端中部施加竖向荷载 $2 \times 106\text{kN}$ ，作用面为 $600 \times 600\text{mm}$ ，即考虑网架球铰支座的作用力分布宽度。

工井结合式柱肩应力见图15，位移见图16，井字梁式柱肩应力见图17，位移见图18，工字梁式柱肩应力见图19，位移见图20。

表2 柱肩(二)分析表

类型	工井结合式	井字梁式	工字梁式
实体模型			
质量 (t)	14.01t	14.65t	14.50t
最大应力	135MPa	180.6MPa	86.9MPa
最大位移	2.86mm	3.09mm	2.27mm

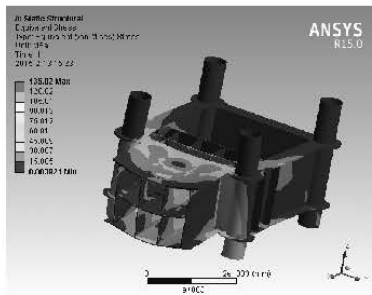


图15 应力分布

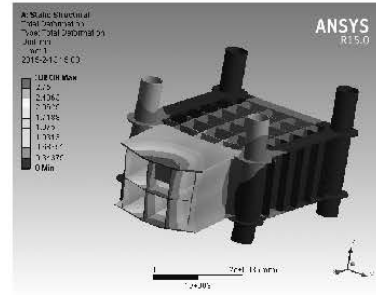


图18 位移分布

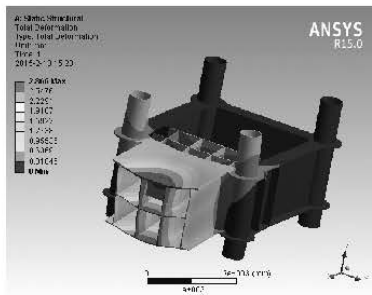


图16 位移分布

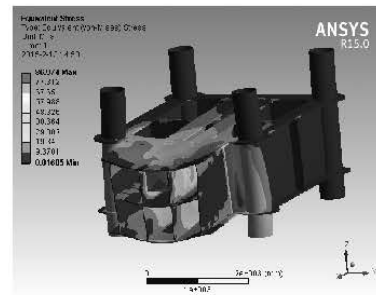


图19 应力分布

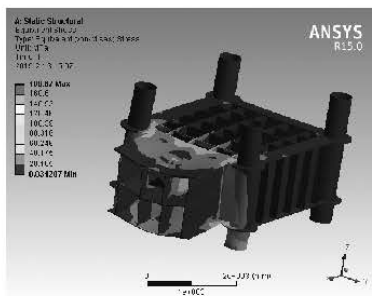


图17 应力分布

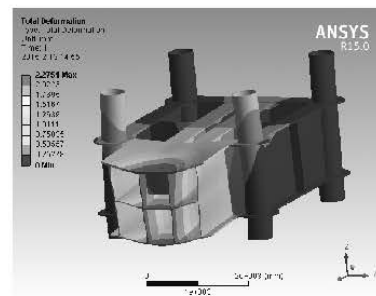


图20 位移分布

通过上面三种柱肩类型的应力分布及位移结果可以看出,工字梁式柱肩应力最小,分别占工井结合式、井字梁式最大应力的64.3%、48.2%;并且其位移最小,分别占工井结合式、井字梁式最大位移的79%、73.4%;自重三者比较接近,分别占交叉支撑、十字交叉、井字梁式自重的79%、73.4%;综合上述来看,工字梁式柱肩性能比较好,可在此基础上进行优化设计。

优化的原则是:1:不改变其传力途径;2:减少不必要的加劲肋的数量及其余加劲肋的厚度;3:根据球铰支座的力分布宽度,加强其受力区域,降低顶板的厚度。经优化改进,柱肩的重量降低至14.12t。

优化后的结构几何模型见图21~图23。

可以看出,优化后的应力及位移都有较大幅度的下降,具有较好的优化效果。

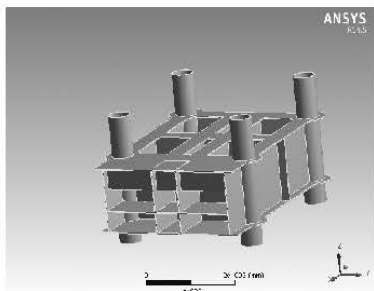


图21 几何模型

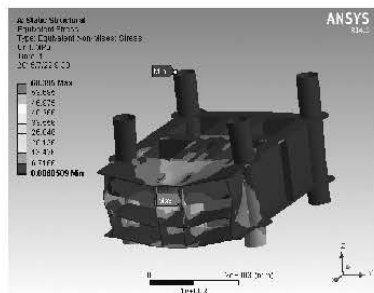


图22 应力分布云图

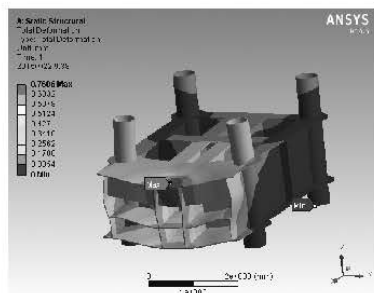


图23 位移分布云图

### 3 结论

(1) 在柱肩腹板设置加劲肋能够可以改善腹板的应力分布,增加腹板的平面外刚度,有效消除失稳破坏,从而使腹板发生剪切屈服,形成剪切塑性铰,传力机理和耗能较为理想。在腹板厚度相同的情况下,虽增加加劲肋的数量可以提高柱肩的承载力,但与增加腹板厚度相比所带来的增幅比较并不明显,故可适当减少加劲肋数量。

(2) 在荷载不变的情况下增加顶板厚度,柱肩顶板的应力变化不大,因此在柱肩顶应力较大区域增加顶板厚度可以提高承载力,防止顶板应力过大,但这样做也会增加工程造价,造成材料浪费,故顶板厚度也可适当减小。

(3) 对格构柱柱肩以及中部的柱肩节点进行了不同方案设计的有限元分析,根据有限元分析结果,对其中的性能比最高的节点再次进行优化设计,使得受力更为合理,经济性也得到体现。

### 参考文献

- [1] GB50017-2003 钢结构设计规范[S].北京:中国计划出版社,2003.
- [2] GB50011-2010 建筑抗震设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,(2016版).
- [3] GB5009-2012 建筑结构荷载规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.

# 缀管布置对四肢钢管格构柱稳定性的影响分析

■ 王海波 顾强强 [结构]

**摘要:** 钢管格构柱具有较大的侧刚度,在钢框架结构中能够较好的控制结构的变形与整体位移。缀管作为钢格构柱的重要部件,其布置方式对格构柱的整体稳定性有一定的影响。本文为研究不同的缀管布置对四肢钢管格构柱的影响,在MIDAS中分别建立8种不同缀管布置的四肢钢管格构柱有限元模型,对其进行整体稳定性屈曲分析,从而得出最为合理的缀管布置方式。

**关键词:** 钢管格构柱;缀管;屈曲分析

## 0 引言

随着我国经济社会的发展,大跨度钢结构的应用已是随处可见,尤其是大型工业厂房。由于钢管格构柱具有较大的侧刚度,在钢框架结构中能够较好的控制结构的变形与整体位移,所以钢管格构柱在钢框架结构中得到了广泛的使用。缀管作为保证钢管格构柱整体性的重要部件,其材质与截面规格对格构柱的稳定性有一定的影响。在大量使用钢管格构柱的工程中,缀管的设计亦会影响施工投资。因此,在设计中如何选择合理的缀管设计方案,使钢管格构柱设计的安全性、经济性得到合理的均衡,显得越来越重要。本文通过对某钢框架结构厂房的四肢钢管格构柱进行计算分析,对8种不同的缀管布置方案进行比较,得出缀管布置对四肢钢管格构柱稳定性的影响。

## 1 工程概况

本工程为北京某垃圾焚烧发电厂,其中焚烧间与烟气净化间采用了钢框架结构,该结构南北轴线

长65.8m,东西轴线长49m。根据设备高度及检修的要求,钢管格构柱高度设有两种,分别为41.9m与29.6m。有关平面图、剖面图见图1、图2。

在满足工艺布置及建筑造型要求的基础上,为更加准确地模拟厂房的实际受力情况,采用MIDAS计算软件对整体结构进行建模,并将网架按照实际模型导入整体结构进行分析,网架与钢管格构柱连接为铰接。

结构整体采用Q345-B钢材,主体受力柱采用四肢钢管格构柱,宽度:3500mm,高度:2500mm;分肢截面: $\Phi 500 \times 20$ 与 $\Phi 500 \times 16$ 。抗风柱: $\Phi 299 \times 14$ 。

结构整体控制目标:风荷载作用下最大位移小于1/400。结构计算模型图见图3。

## 2 钢管格构柱缀管布置形式

以41.9m高度四肢钢管格构柱为例进行分析。格构柱截面为 $3500 \times 2500$ mm,分肢截面: $\Phi 500 \times 20$ 。斜缀管采用 $\Phi 140 \times 8$ ;水平缀管采用 $\Phi 114 \times 4$ 。柱脚为刚接。钢管格构柱示意图见图4。

根据格构柱常用缀管布置形式,现列出以下几种并进行编号:斜缀管对称布置(一)见表1;斜缀管同向布置见表2;斜缀管对称布置(二)见表3。

作者简介:王海波,男,助理工程师,2013年毕业于英国诺丁汉大学土木工程专业,现就职于航空工业规划设计研究院。



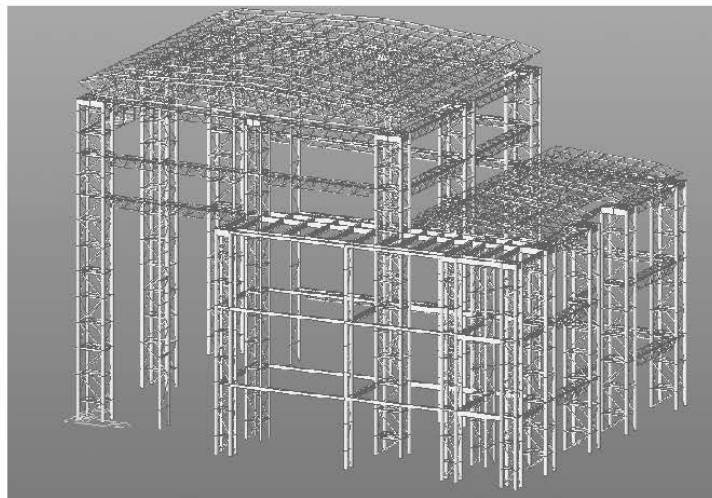


图3 结构计算模型图

表1 斜缀管对称布置 (一)

分类	A1	A2	A3
立面			
剖面 a-a			

表2 斜缀管同向布置

分类	B1	B2	B3
立面			
剖面 a-a			



表3 斜缀管对称布置 (二)

分类	C1	C2
立面		
剖面 a-a		
剖面 b-b		



图4 5m钢管格构柱示意图

#### 4 结论与建议

在该工程钢结构设计过程中, 根据缀管的布置形式对四肢格构柱进行编号区分, 并对四肢格构柱进行了不同缀管布置下的特征值屈曲分析,

通过分析出:

(1) 缀管的对称和同向布置对整体稳定承载力有一定的影响。

(2) 水平缀管的有无或交叉布置或单一布置对整体承载力影响不大, 但根据钢结构设计规范要求, 水平缀管设计时, 隔层设置, 并在受集中力处设置交叉腹杆支撑。

本文对于格构柱的整体稳定分析是建立在无

表4 同缀条布置形式特征值屈曲分析结果

模态	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1	C2
1	91671.59	91678.75	91673.17	80528.65	81850.73	80507.45	91664.67	91668.10
2	123502.67	123478.22	123470.88	100706.10	106302.31	100535.67	123453.81	123457.76
3	249054.84	316861.10	316799.31	175423.25	221428.53	219321.64	316437.58	316147.98
4	316348.64	361932.34	361908.80	219687.31	250659.61	222857.14	360629.32	359152.17
5	359141.45	373895.32	373888.99	223361.97	262890.10	250556.32	373395.79	373625.54
6	360154.23	388389.83	385302.93	246061.58	262928.34	261699.92	386884.58	383268.05
7	376903.85	412919.00	400856.78	255837.76	275674.05	268030.58	408978.72	398687.83
8	383440.01	427096.82	416401.24	263911.02	289550.90	274350.33	421219.64	414005.75
9	398914.39	429323.95	427350.98	268792.18	314909.83	289343.30	429039.10	424979.31
10	400776.39	436153.91	430433.72	275059.25	322223.91	308963.18	433851.39	429616.45
11	414010.58	446444.58	435386.36	289278.48	323884.03	317452.22	438552.27	433144.35
12	424727.57	450590.40	438713.78	303862.68	362425.09	323770.23	446159.28	437823.72
13	425105.68	457996.27	446005.07	310722.87	367292.86	356578.50	451906.52	446198.93
14	430152.98	459491.88	453819.05	318080.76	367613.94	365714.93	454888.75	453665.17
15	432947.32	469374.57	457231.32	323982.87	411496.79	367580.42	458646.61	457272.06
16	437313.54	476095.35	458405.88	353255.28	421111.94	412171.41	459645.25	458950.47
17	444989.43	486226.35	475311.79	358300.96	421414.14	420936.20	465085.72	475576.93
18	448340.05	494081.00	483606.60	366503.65	465218.89	421785.05	475385.88	484923.93
19	452972.92	496585.41	487679.16	368501.19	485883.63	475713.44	486199.82	488427.71
20	457720.11	508426.66	494862.89	410838.87	487037.68	485817.58	495708.65	495380.38

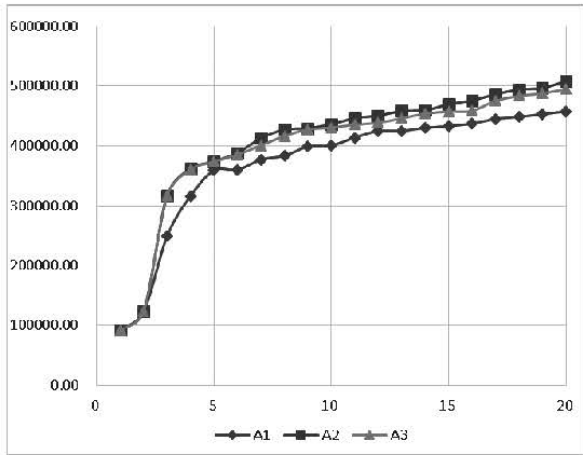


图5 A组数据对比示意图

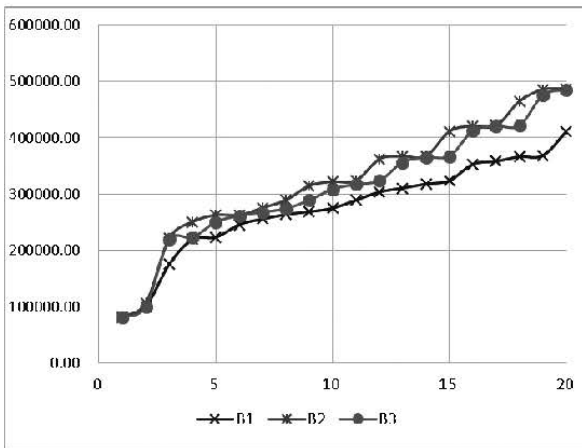


图6 B组数据对比示意图

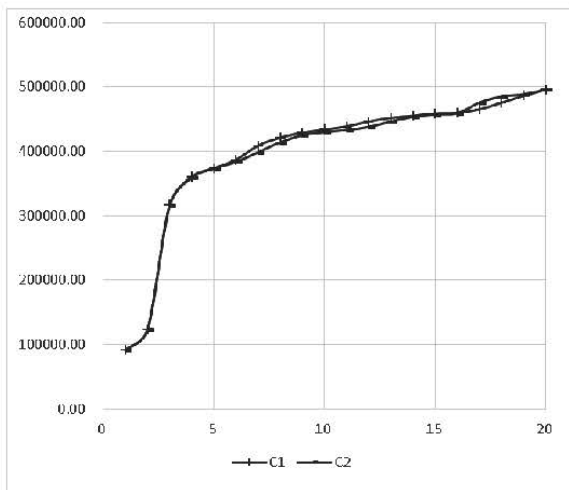


图7 C组数据对比示意图

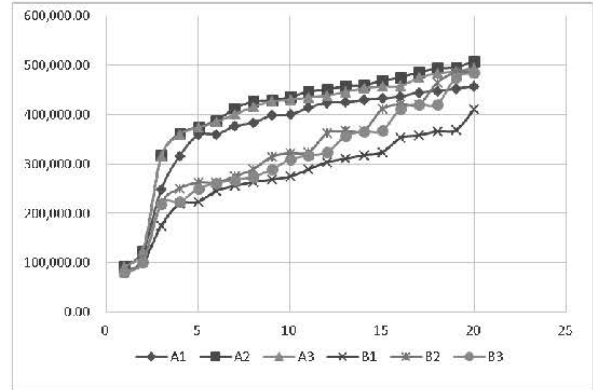


图8 A组与B组之间数据对比示意图

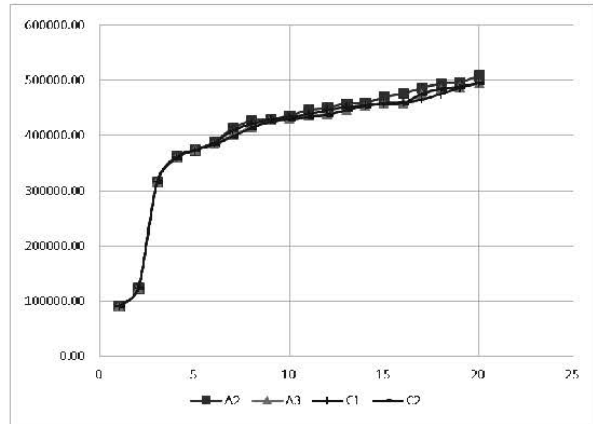


图9 A2、A3与C组之间数据对比示意图

### 参考文献

- [1] GB50017-2003 钢结构设计规范[S].北京:中国计划出版社,2003.
- [2] GB50011-2010 建筑抗震设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [3] GB5009-2012 建筑结构荷载规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.

缺陷基础上的,实际结构会存在制作误差及安装误差,所以可以采用一致缺陷模态法进行缺陷下的特征值屈曲分析。另外对于偏心作用下的格构柱应当进行更为详细的分析与研究。

# 某综合医院门诊楼通风空调系统设计要点

■ 刘鑫 孟凡兵 (暖通)

**摘要:** 本文结合医院建筑特点和医疗工艺流程,针对综合医院门诊楼,介绍其通风空调系统设计的特点、原则及设计要求。明确了设计参数的选择依据,从降低室内空气污染物浓度、防止交叉感染的角度,合理配置通风空调系统,维持有序的压力梯度,来满足消除室内污染物及余热余湿的要求,并对技术措施要点进行了总结。

**关键词:** 综合医院;门诊;医疗工艺;空调;通风

## 0 引言

随着医疗制度改革,医疗技术更新,并为了解决各地区医疗水平发展不平衡的问题,国内医院建设将迎来一个高潮时期。现代化医疗建筑呈现出更加注重安全性、节能性、功能综合化的发展趋势。

门诊楼作为医院的重要组成部分,患者集中、人员密度,是各类病人的集散中心,也是交叉感染严重的区域之一。通风空调系统对维持门诊楼安全性极为重要,一方面改善室内热湿环境,补充新鲜空气,另一方面降低室内空气污染物浓度,并维持房间之间的有序压力梯度、降低医院交叉感染风险。

本文以某新建医院为例展开论述。

## 1 工程概况

某医院为新建项目,位于内蒙古通辽,是涵盖门诊、医技、病房、科研教学楼于一体的大型综合医院,其中门诊楼位于医院总平面的南侧(见图1),门诊区域建筑面积约2万 $\text{m}^2$ ,地上4层,首层为门诊大厅、急诊部、药房收费、儿科、产科;二层为皮肤科、肿瘤治疗、内科、妇科、儿童保健;三层为日间病房、内镜中心、外科、生殖科、骨科;四层为口腔科、耳鼻喉科眼科、男科、泌外科、专科与VIP门诊。

门诊楼科室类别全面,并拥有相应工作人员和医疗设备。各科室彼此相对独立,可通过医疗主街和高大中庭的扶梯形成水平交通与垂直交通,彼此相互联系。

## 2 门诊区布局特点

### 2.1 “回”字形采光天井与板块式布局相结合

门诊楼的建筑构造采用“回”字型结构(见图2),科室单元两个为一组,形成一个“回”字形板块,中间形成一个自然采光天井,门诊楼每层可分为四个板块。各板块设有独立的出入口,通过医疗主街将各功能空间在水平方向联系起来,竖向交通组织依靠自动扶梯与电梯相结合,自动扶梯围绕门诊楼的高大中庭设置,即方便了使用者上下,又丰富了共享空间的空间层次,在医疗主街中央及两端设置电梯厅,作为主要垂直通道。



图1 医院门诊楼俯视图

作者简介:刘鑫,男,助理工程师,2015年毕业于哈尔滨工业大学暖通专业,现就职于航空工业规划建筑设计研究院。

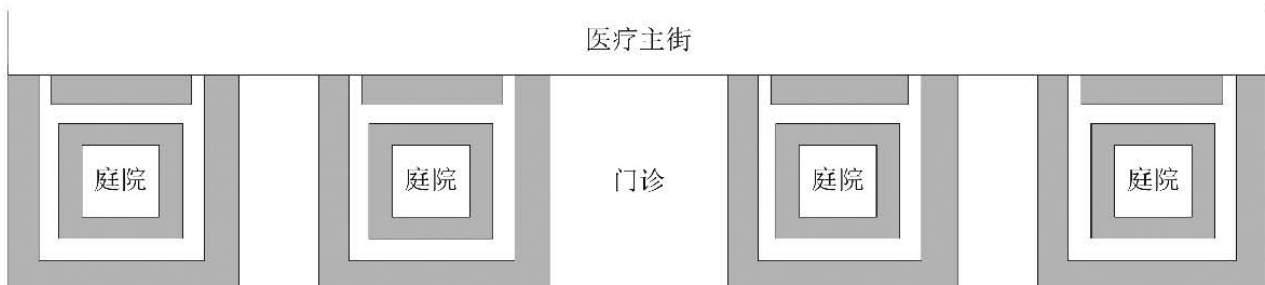


图2 门诊楼平面布局示意

(1) 该空间布局层次分明，流线清晰，有利于患者对门诊楼的总体功能布局形成清晰的认识。板块式布局使得各科室相对独立，从源头上避免了不同诊区患者的交叉感染。

(2) 各板块内环形科室的布置，使得中间形成天然的采光天井，为自然通风和采光提供了良好的条件，可避免出现较大进深、无外窗房间，改善了不利自然采光和通风的弊端。该建筑构型，从体型系数的角度来看，增加外围护结构的面积，提高了建筑的冷热负荷，但是大部分房间均有外窗，可根据气候变化情况适时开窗通风，降低污染物的浓度，减少机械通风的开启时间。柔和的自然光和新鲜空气能给人一种恬静愉悦的感觉，空气流通可以调节室内温湿度，增加空气中含氧量，降低二氧化碳浓度和微生物的密度，有利于病体康复。在满足病人心理及生理需求的同时，达到节能的效果。

## 2.2 合理的空间流线，避免交叉感染

(1) 门诊大厅：作为医院的门户，是进行挂号、收费、取药等行为的人流集散所在地，还承担着联系各科室单元空间的交通枢纽作用，同时也是最容易出现交叉感染的场所。本项目中门诊大厅设计为高大中庭，顶部设有天窗，使整个大厅开敞、明亮。设计中首先采取合理的人流组织（见图3）、医患分流，避免两者交叉感染。其次，增强各区域内部空气的稳定性，本区内的污染空气尽量直接排至屋面，减少不必要的穿越。

(2) 儿科流线：儿童抵抗能力弱，设置在首层西侧尽端，并独立设计出入口，尽可能地避免了与其他患者接触，形成一定的传染隔离<sup>[1]</sup>。

(3) 妇产科分离：妇科属病科，产科就诊者不属于病人，因此两科分开设置，以保证产妇不受感染。产科患者行动不便，布置于首层，并设计独立出入口。

(4) 五官科流线：包括耳鼻喉科、眼科和口腔科，患者一般行动方便，设置于四层。

## 3 工艺要求及设计原则

医疗建筑空调除了需维持区室的温湿度外，还需要有包括确定室内空气洁净度、气流分布和压力平衡等在内的综合对策。通风空调系统应能为医院全年提供健康安全、热感觉良好的室内空气质量。

医院感染离不开三个因素，感染源、易感寄主和感染途径。感染源主要有两个方面，一方面来自于病人以及携带某种病菌的医护人员和陪护人员，另一种是环境感染源，如空气、食物、水盆、通风和呼吸设备<sup>[2]</sup>。易感寄主主要是来医院就诊的患者和医护人员，患者一般是某种疾病的传染源，同时因免疫系统薄弱，也是易受感染的群体，而医护人员因长期处于各种病患者、病源汇集的环境中，发生感染的风险也大大增加。传播途径通常有空气传播、接触传播、飞沫喷噎传播等。

综上所述，为了保护人群，降低感染的可能性，除建筑专业合理规划医疗功能分区外，通风空调系统的设计同样至关重要。围绕交叉感染的三个因素，从医疗工艺角度对通风空调系统的设计有如下要求：

(1) 独立排风：该方法是从源头处控制感染源的扩散，对产生污染物较多、危害性较大的场所单独排风，是较为有效控制方式。此处感染源

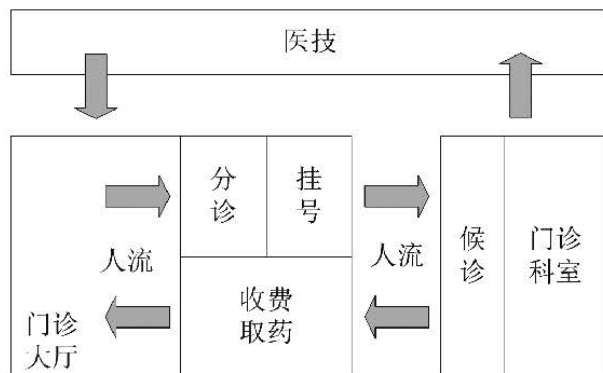


图3 门诊区人流组织

分为两类,一是病人或患者携带的病菌易传染的场所,如感染治疗室、隔离诊室,另一类是环境感染源,如中药熏洗、艾灸等。

(2) 压差控制:该要求旨在控制交叉感染的空气传播途径,对门诊区也可人为分为清洁区、污染区和半污染区。对于综合医院,门诊区压力梯度一般是按照小手术室→诊室、输液室、办公室→大厅公共空间→污洗间、有污染物的房间、卫生间的梯度设计<sup>[3][4][5]</sup>。具体压力值没有要求,一般要求的房间可维持在5Pa。而控制压差是靠送风、回风、排风以及渗漏风等的动态平衡以及围护结构性能的合理配置共同维持。

气流控制的设计原则如下<sup>[6]</sup>:

1) 为使感染污染物、病原体或细菌的风险降低,气流的安排必须由病菌较少的房间流向病菌较多的房间。

2) 会发生污染或产生病菌的房的空气必须消毒或除臭后全部直接排至室外。

3) 会发生污染或产生病菌的房的空气,不能再流向任何其他房间。

4) 不能让已污染或有病菌的空气进入特定用途房间,特定用途房间必须保持正压。

5) 应防止污染区的空气进入其他区域,污染区域房间应保持负压。

## 4 通风空调系统

### 4.1 设计参数的确定

(1) 室内设计参数(见表1)

(2) 人员密度及通风量(见表2)

(3) 设备散热量(见表3)

医院的医疗设备具有较大的散热量,且对环境的温湿度要求较高,这是区别于一般民用建筑的重要特点之一,因此在负荷计算时,首先应清晰各科室的医疗设备,然后计算设备的散热量。

### 4.2 通风系统设计

医院建筑的暖通空调设计,应先进行通风设计,再进行空调供暖的温湿度调控设计。通风是医院建筑的基本需求,是保证室内空气品质和实现节能的重要手段。医院建筑所有功能空间所有时段都需要通风,而空调和供暖只是医院建筑部分功能空间部分时段的补充需要<sup>[7]</sup>。

通风系统的作用为降低室内空气污染物浓度、维持有序压力梯度,防止交叉感染和改善室内

热湿环境的功能;通风量应满足消除室内污染物及余热余湿的要求。当室内污染物主要来源于人员时,应根据人员数量和人均新风量指标计算房间所需的最小新风量。当建筑本身、医疗工艺为主要污染物来源时,采用换气次数计算通风量。

该工程的通风系统设计如下:

(1) 新、回风系统:门诊楼以科室为单元,设置独立的送、回风系统,以防止不同科室的交叉感染。每个送、回风系统中,取回风量为送风量的80%,保证门诊楼相对于其他区域为微正压。考虑到医院建筑的特殊性,回风系统中可能含有大量有害气体,因此门诊科室采用直流式新风系统,新风机组处理的空气全部来自室外,可避免与回风交叉感染,保证送风的清洁度。新风口布置于护士站、等候区以及各个房间内,回风口可采用集中设置或分散设置,本项目中将回风口分散布置于各房间内,以利于调控房间内压力。

室内外压差应遵循的一个重要原则是:凡是洁净的、无菌的、无臭味、无粉尘、无湿热产生的房间,室内应该为正压;相反,凡是污秽的或者散发有害气体的、有菌的房间,室内必须保持负压,以避免有害的空气散发到其他房间去;室内卫生间条件要求不高,并且不产生有害气体、细菌的房间,室内可保持等压<sup>[8]</sup>。儿科整体独立设置,整体较其他区域为正压。

(2) 排风系统:对于卫生间、更衣淋浴室、污物污洗等房间内含臭味、水蒸气的区域应保持负压,防止臭味溢出,采用一套单独的排风系统,排至屋面,高空排放,排风量按 $10\text{次}/\text{h}^{-1}$ 计算。门诊不同科室各功能房间压差要求见表4。

(3) 独立排风系统:对产生污染物较多、危害性较大的场所,在屋顶设置独立的排风机,独立排放,不与任何房间合用排风管道,该方法是从源头处控制感染源的扩散,同时避免交叉感染。

门诊区域房间种类较多,功能复杂,根据医疗工艺特点,需进行独立排风的场所及换气次数总结见表5。

### 4.3 空调系统设计

根据门诊区的功能和使用特点,不同区域采用了不同的空调系统形式。

(1) 风机盘管加新风系统:对于门诊楼各科诊室、候诊室等房间设置风机盘管加新风系统,可便于各房间独立控制,同时可避免各房间污染物互相传播。

表1 室内设计参数

房间名称	夏季 (°C)		冬季 (°C)		新风量 m <sup>3</sup> /(人/h)	风速 m/s	A声级噪声允许 值/dB
	25~27	40~60	18~20	40~60			
诊室	25~27	40~60	18~20	40~60	30	≤0.1	≤45
候诊室	26~28	≤65	18~20	40~60	20	≤0.3	≤55
药房	25~27	45~55	20~22	40~50	30	≤0.2	≤45
大厅	26~28	40~65	18~22	40~60	14	≤0.3	≤55
办公室	25~27	≤65	18~20	40~60	30	≤0.1	≤45
复苏室	25~27	≤65	18~20	40~60	30	≤0.1	≤45

表2 人员密度及通风量

医院功能房间	新风换 气次数	排风换 气次数	人员密度 (m <sup>2</sup> /人)	最小新风量 (m <sup>3</sup> /h·人)
诊室			6	50
等候			3	30
B超, 彩超, 心电图	4	4		
实验室、标本、组织		10	6	50
医生、护士办公			6	50
护士站			3	30
化验、换药、清创		10	6	50
煎药房	6	15		
控制室	4	4		
内镜室		10	6	50
配药, 注射			6	50
清洗消毒		10		
石膏		10	6	50
示教会议			3	30
挂号收费			6	30
输液			4	50
真菌、细菌		10	6	50
中西药房	2	3		
准备	4	4		

注: 表中数据参考《综合医院通风设计规范》

(2) 变制冷剂流量多联式空调: 对于房间内医疗设备散热量大的, 需要全年供冷的房间, 设置变制冷剂流量多联机空调加新风系统, 其中室外机位于地下车库, 以保证在冬季极端天气, 仍能高效制冷。这类房间包括: 消防控制室、肿瘤治疗科的热疗和超声聚焦室、内镜中心的ERCP、泌外门诊的碎石和膀胱镜。

### (3) 门诊大厅全空气系统

门诊大厅为高大中庭, 采用一次回风的全空气定风量系统和地板辐射供暖系统, 夏季采用露点送风, 送风量新风量取总风量的10%, 可满足人员所需新风量要求, 气流组织为侧送下回; 过渡季节考虑全新风运行, 屋顶设置变频排风机, 空调机组的新风管尺寸、新风百叶按总风量计算确

定, 可在室外气象参数适宜时, 实现过渡季节全新风运行, 在保证室内空气品质的情况下, 能够获得较大的节能效果。考虑到通辽市属于严寒地区, 冬季以地板辐射供暖为主, 空调系统为辅, 室外新风先经预热到5°C, 再与回风混合, 通过湿热处理到送风状态点后送入室内。

## 5 小结

(1) 满足医疗工艺要求: 医疗建筑工艺条件比一般的民用建筑复杂、要求高、设备贵重。因此设计时要明确房间功能, 了解工艺要求。首先满足各科室的洁净度要求, 通风及换气对空气中臭气、细菌、有害物质的允许量有明确规定, 在此基础上满足舒适性要求。

(2) 空调通风方式选择要恰当: 针对医院各部门及各科室的功

能、室内空调设计参数、医疗设备、卫生要求和使用时间等因素, 综合考虑, 确定合理的通风空调方案, 保证各室要求的参数, 减少不同区域间的相互影响。对一些污染物较多、危害性较大的场所独立排风, 避免与其他区域一起回风; 针对使用时间不同的科室区域, 设置独立的冷热源, 尽可能降低系统的运行费用。

(3) 系统的消声减振要求高: 医院内多数科室对消声减振要求高, 如胎心监护等, 需为患者、医护人员提供较为安静的环境, 以利于病人的康复、避免干扰医疗工作。此外风机、水泵等设备引起的振动可能会影响一些精密的诊疗设备。应严格按照消声减振要求, 综合考虑机房设计、设备选用、消声隔振措施等因素。

表3 设备散热量

所属科室	房间名称	主要医疗设备	设备散热量
一般科室	诊室	诊疗仪器	20W/
产科	超声骨密度	超声骨密度仪	60W/
	心电图	心电图仪	60W/
	胎心监护	胎儿监护仪	40W/
	B超	B超仪	60W/
内镜中心	ERCP	ERCP设备	10kW
肿瘤治疗	超声聚焦室	超声聚焦设备	4kW
	热疗	热疗仪	4kW
皮肤科	窄波红光	红光治疗仪	6W/
	紫外线治疗	紫外线治疗仪	60W/
	激光治疗	激光治疗仪	60W/
门诊手术	手术室	无影灯、吊塔、麻醉机、呼吸机等	10kW
泌尿门诊	碎石	碎石治疗机	300W/
	超声介入	超声介入治疗仪	60W/

## 参考文献

- [1] 蒋凌志. 大型综合医院门诊部流线与时空系统化研究[D]. 重庆大学, 2005.
- [2] 隋文君. 医院门诊大楼空气压差的关联性分析[D]. 重庆大学, 2013.
- [3] 沈晋明. 医院病房暖通空调设计[J]. 洁净与空调技术, 2002.
- [4] 陈娴. 眼耳鼻喉科医院门诊楼空调设计[J]. 制冷技术, 2004 (1): 6-9.
- [5] 王娜, 郭宇. 惠州市大亚湾人民医院门诊、急诊楼空调设计[J]. 制冷, 2009 (2): 68-70.
- [6] 付海明, 江阳. 建筑环境与设备系统设计实例及问答[M]. 机械工业出版社, 2010.
- [7] 重庆市城乡建设委员会. 综合医院通风设计规范[M]. 重庆, 2014L 1.
- [8] 陈惠华, 肖正辉. 医院建筑设计与设备[M]. 中国建筑工业出版社.

表4 门诊不同科室各功能房间压差要求

分区	正压或微正压	常压或无要求	负压或微负压
公用部分	药房、挂号收费、门厅	等候、询问电脑预约、病案室、输液、注射	卫生间、污物污洗
门诊科室	诊室、办公室、护士站、眼科手术	候诊室、观察室、资料室等	隔离诊室、灌肠、导尿、内窥镜肠镜、石膏、化验室、理疗、消毒室、实验室、膀胱镜、感染治疗室、技工、中药熏洗、艾灸

表5 门诊区独立排风房间有害污染物及换气次数要求

门诊区域	科室	功能及特点	有害污染物	换气次数
皮肤科	中药熏洗	用于需局部或全身中药熏蒸治疗病人的场所。房间需要设置通和除湿设备 <sup>[9]</sup> 。	臭气、湿气	10次/h
专科门诊	艾灸	用于中医针灸师采用中国传统医学方法对患者进行治疗。因可能用到中医拔火罐、艾灸等治疗手段, 对通风有一定的要求。	热、有害气体、臭气	10次/h
外科门诊	感染治疗室	坏疽、脉管炎、绿脓等高感染治疗, 区域相对独立, 避免交叉感染。	细菌、有害气体	6次/h
急诊区	隔离输液	门诊输液的治疗单元。	细菌、有害气体	6次/h
口腔科	技工	牙科技工室为口腔科的附属用房, 用于利用牙科有关器械和材料制作义齿、受损义齿的修复。义齿加工时易产生粉尘、噪音。	粉尘	10次/h
	气泵	即空气泵, 用于清洗牙齿。不停压缩吸入的空气, 产生一定气压后排出。	臭气、湿气	10次/h
内镜中心	内镜消毒洗消间	负责将医院中、医、教、研、护理工作使用的器械、物品、管路装置等回收、清洗、消毒灭菌。	细菌	6次/h
肿瘤治疗	热疗	含主机房、控制室、操作间, 注意操作间内的温湿度, 通风散热。	热	10次/h
--	真菌实验 男科实验等	各类医学实验	细菌	6次/h

# BIM在某科研楼暖通设计中的应用

■ 陶珊珊 孟凡兵 [暖通]

**摘要:** 与传统设计模式相比,建筑信息模型(BIM)以其可视化、参数化、协调设计等功能,对整个暖通空调设计行业产生非常深远的影响。本文以某科研办公楼为例,重点对BIM技术在暖通空调设计中的应用进行了论述,总结出BIM技术的优势,并提出发展建议。

**关键词:** BIM; 协同设计; 设计校审; 碰撞检测; 设计优化

## 0 引言

随着建筑需求的不断提高,智慧建筑、绿色建筑、装配式建筑等新建筑概念层出不穷,而现代建设项目一般具有投资规模大、建设周期长、参建单位众多、项目要求高以及全生命周期信息量大等特点。建筑的多样化和复杂化对建筑MEP(Mechanical, Electrical & Plumbing)的设计和施工提出了更高的要求。

传统的二维CAD设计,各专业之间相对独立,设计信息无法及时共享,各参与方不能及时的相互协调等,项目设计中的“错、漏、碰、缺”等问题日益突出,导致建筑工期延长和成本增加。

为解决传统二维CAD设计中存在的问题,欧特克公司提出了BIM(建筑信息模型)理念,以三维数字化模型为平台,将建筑工程项目的物理特征和功能特征等信息用数字化方式进行集成、管理。摒弃了传统设计中资源不能共享、信息不能同步更新、参与方协调困难、施工过程不能可视化模拟,检查与维护不能做到物理与信息的碰撞检测等问题,为实现设计、施工一体化提供良好的技术平台和解决思路。

笔者通过本文介绍BIM技术在某科研楼暖通设计中的应用,希望让读者了解如何在传统设计模式中应用BIM技术,发挥BIM技术在设计工作的优势,进而提高工作效率。

## 1 传统二维CAD设计与BIM技术的对比

### 1.1 传统二维CAD设计综述

传统二维CAD设计,各专业独立性较强,专业间协调性差,导致MEP专业不同设计人员或不同专业间的管线设计出现交叉碰撞现象较为突出,对于错综复杂的管线交错问题,需要设计师在脑海中联想其三维的空间位置,从而判断这些管线布置的合理性,这种仅靠人工检验管线交叉碰撞的方式不仅耗时、耗力,而且无法保证图纸质量。对于施工图纸,二维CAD设计还是采用手动创建平立剖视图,各视图间缺乏联动关系。而在工程量的统计上,只能依靠人工统计材料。所以,传统的二维CAD设计无法保证施工图纸及工程量统计的准确性,导致设计效率无法大幅度提高。

### 1.2 基于BIM技术的MEP优势

BIM作为一种全新的工程设计理念,具有可视化、协同性、模拟性、可出图性等特点,其实质是将建筑、结构、MEP等各专业设计数据整合到同一三维建筑信息模型,使建筑结构与设备、设备与管线间的空间位置关系得到更直观的表达。

基于BIM的协同设计,MEP各专业设计人员可在同一共享模型中协同工作,使用Navisworks软件可进行MEP专业内以及各专业间碰撞检查,根据碰撞报告,设计人员可以进行更合理的优化管线布置,从而形成最优化MEP设计方案,提升设计质量。

BIM模型创建好以后,可自动统计工程量,并且生成相互关联的平、立、剖视图。当模型优化后,与其相关联的平、立、剖视图自动更新,消除了二维CAD设计中存在的“信息孤岛”,提高了设计效率。

作者简介:陶珊珊,女,助理工程师,2006年毕业于北京城市建设学校暖通与空气调节专业,现就职于航空工业规划设计研究院。



## 2 BIM在暖通设计中的应用

### 2.1 概况

本项目为某科研办公楼，科研办公楼建筑面积47230m<sup>2</sup>，其中地上科研办公面积30000m<sup>2</sup>；地下人防、设备用房、车库等面积17230m<sup>2</sup>。办公楼总高60m。该地块办公用地总面积为1.71公顷，容积率3.5。

地上科研办公包括：公司总部办公、各实体院、网络信息中心、公司大中型会议室、300人科学技术报告厅等。地下用房包括：食堂、设备用房、车库、人防工程等。

本文以该科研办公楼为研究对象，采用BIM技术进行协同设计，搭建BIM模型，通过碰撞检测、可视化分析等方式最大限度地优化MEP综合管线，解决设计错误，提高MEP综合设计效率和准确率。

### 2.2 BIM软件的选择

市场上BIM软件众多，特色不一。目前主要有Revit、ArchiCAD、MagiCAD等。针对MEP专业，在本文中 choice 以Revit软件为平台，以协同设计模式搭建MEP三维模型。通过参数驱动模型能够即时地、清晰地呈现工程师的设计，专业间的协同能够大大减少机电专业与建筑、结构专业之间的协调错误。以Navisworks为设计校审平台，通过Navisworks进行设计校审及碰撞检查，避免设计失误，充分发挥BIM技术的优势。

### 2.3 前期规划

在正式创建BIM模型之前，要规划设计流程、设置项目样板、确定协同设计模式等。

#### 2.3.1 规划设计流程

在项目开始前，要整体规划设计流程，对项目进度进行整体把控。根据BIM工作特点，可将工作流程进行如下划分，见图1。

#### 2.3.2 设置项目样板

根据建筑标准，设置线样式、线宽、对象样式等。

#### 2.3.3 确定协同设计模式

在Revit中有两种协同设计模式，一种为链接模式，另一种为工作集模式。

(1) 链接模式。建筑、结构专业分别搭建各自专业的三维模型，MEP专业将其他专业模型分别链接到MEP项目文件中，根据其他专业模型进行MEP管线的空间布置。

(2) 工作集模式。建筑、结构、MEP各专业在同一个中心模型中进行设计，能够实时显示设计

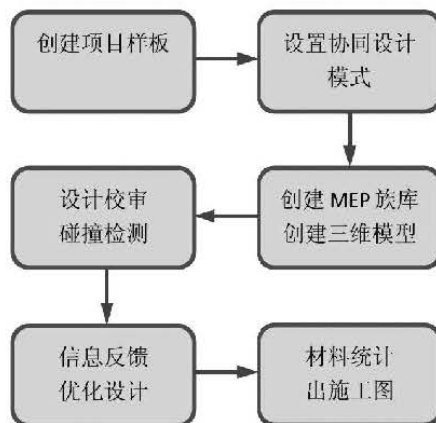


图1 工作流程图

进度，并优化设计模型。

根据本项目特点采用工作集模式，避免了各专业协同工作时出现错误的可能性。通过统一的数据平台，相互协作，实时查阅，共享信息，沟通顺畅及时，专业间的协作会更为顺利。

### 2.4 创建BIM模型

根据设计要求进行MEP族库的创建以及综合管线的排布。暖通设计中与设备密不可分，由于Revit是通过参数化族来创建三维模型，而软件自身携带的设备、阀门、各类管件等族比较少，所以首先需要根据图纸创建相应的族库。族模型参数的设置亦是项目后期软件自动统计材料表的关键。

本项目是第一次应用BIM技术，所以软件知识特别匮乏，暖通各类族需要比较多，由于建筑空间的限制风管阀件的族多为异形族，有些异形族在初用软件时创建不出来，导致后期出图管件与管道连接不上，而且创建族的工程量非常大。经过一段时间的学习，逐渐掌握了Revit的各项功能，完成了大部分族库的创建。

由于MEP管线种类和数量众多，布置极其复杂，需要对建筑模型空间内各构件对象按专业进行分类，如系统送风管、系统排风管、消防栓给水管、冷冻水供水管等，并定义默认的弯头，三通，四通等的形式。对各系统设置不同颜色以便区分。MEP三维模型见图2。

### 2.5 碰撞检测

碰撞检测可提前对图纸设计的错误进行预警并修正，避免因此导致的成本增加与工期延误所造成的损失。

在本项目中，当各专业BIM模型创建完成后，将BIM模型整合到Navisworks中进行碰撞检

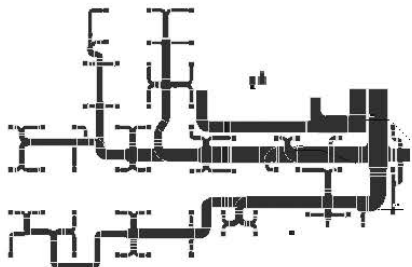


图2 MEP三维模型图

测,通过Navisworks软件自动查找管线与设备、管线与构件之间的冲突,同时生成碰撞检测报告并返回到Revit中找到对应的碰撞点,对其进行调整。通过统筹安排各种管线的空间位置,协调管线之间以及管线与其他工程之间的矛盾,完成管线的综合设计,以期实现“零”碰撞目标。检查出的碰撞见图3。

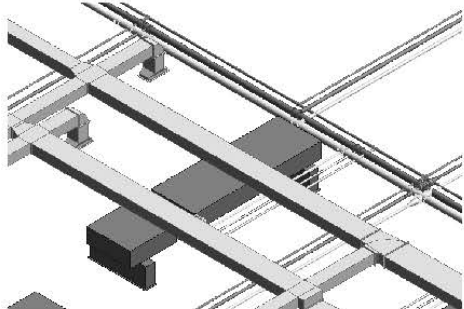


图3 碰撞图

## 2.6 管线综合优化

集成各专业的BIM模型进行碰撞分析后,在BIM整体模型中再进行多次的管线综合核查调整,对其不合理的布置进行修正调整。

本项目在进行管线排布设计时,改变了传统的深化设计方式,利用BIM的三维可视化技术,可以通过任意角度查看模型的任意位置,发现不合理的地方重新用三维模型进行深化设计,避免了施工过程中出现的“错、漏、碰、缺”等问题,大大提高了项目的施工效率。另外,设计师通过BIM三维可视化技术的特点弥补了个人空间想象不足的缺陷,使得设备繁多、管线纵横交错等复杂区域在管线排布方面更加合理,从而确保深化区域的合理性、可行性。

## 2.7 Revit在暖通设计中应用的注意事项

(1) 同一项目各专业在基础建模时,Revit文件的设置标准的制定统一。在项目的样板文件中,暖通专业最好将需要表现在图纸上所有的空调风、水系统分清楚类别和属性,并定义出适合的表达方式,最好能够定制出适合该项目的样板文件。

(2) 工作集的定制规则。对于各专业内部来说,相互协同工作主要依靠的是工作集,合理地划分工作集,尽量使需要在某一项目中同一专业的设计人员获得相应工作集的权限,使所有设计师都基于同一个建筑模型来开展设计、建模。如果不需要当前权限时,要及时释放工作集权限。

(3) 养成实时同步的好习惯。“与中心文件同步”可以将本地文件所做的修改保存到中心文件中,同时,自上次与中心文件同步或重新载入最新工作集以来,由其他工作组人员对中心文件所做修改也将被复制到用户的本地文件中,保证了同步后的模型是当前最新模型。

## 3 BIM应用体会

由于本项目是第一次应用BIM技术,软件知识储备较少,在使用Revit过程中,出现了很多问题,现将主要问题总结如下:

(1) 协同设计模式采用工作集模式,大家都在同一服务器上建模,对硬件设备要求较高,经常出现死机状况。

(2) 设备族库不完善。由于初期对软件不熟,并且异形管件过多,导致部分族库未能创建,模型中部分管件与管道之间没有连接,直接堆放在一起,设备机房、系统图和设备材料表还是由原始的CAD制作,没有实现BIM的其他功能。随着对软件的不断熟悉,后期又完成了很多族库的创建。

通过对BIM技术在本项目中的部分应用分析,发现BIM技术可以有效地解决传统二维CAD设计所存在的不足,利用BIM可视化,协同设计、信息共享等特点,可从根本上解决建筑生命周期各阶段和各专业系统间信息断层问题,可大大减少平面图纸中的错漏碰缺,全面提升设计工作的设计质量和效率,为以后的施工提供更加准确、详细的施工信息,对资源进行合理的配置,节省施工成本,有效降低材料的浪费。相信在不久的将来,随着BIM技术在暖通空调设计中的应用越来越多,设计技术会越来越完善,发挥的作用也会越来越大。

## 参考文献

- [1] 黄迪,刘琳琳 基于BIM的MEP管线综合技术优化性研究 工程建设与设计1007-9467 (2016) 09-0072-05.
- [2] 朱姣颖 谈Revit MEP在暖通设计中的应用.

# 齿啮式卡箍多目标拓扑优化方法

■ 周焕红 端木兵雷 鄧方 [设备]

**摘要:** 卡箍作为主要受压元件之一,基本采用锻件制造,由于卡箍的加工制造方法,决定其锻造成本相对其他结构件高出许多。为了研究卡箍在多工况下的质量和应力分布,本文提出了基于质量最小和结构应力最小的多目标拓扑优化研究方法,采用折衷规划法定义多目标拓扑优化的目标函数,而应力采用归一化目标函数来定义。该方法避免了单目标拓扑优化无法考虑其他因素的缺点,为卡箍多目标优化提供方法。

**关键词:** 齿啮式卡箍;多目标;拓扑优化

## 0 引言

结构拓扑优化能在工程结构设计的初始阶段为设计者提供一个概念性设计,使结构在布局上采用最优方案,与截面优化和形状优化相比能取得更大的经济效益,也更容易被工程设计人员所接受,已经成为当今结构优化设计研究的一个热点。用拓扑优化方法对压力容器部件进行设计研究是一种新的思路和方法<sup>[1]</sup>。

结构拓扑优化的基本思想是将寻求结构的最优拓扑问题转化为在给定的设计区域内寻求最优材料分布的问题。通过拓扑优化分析,设计人员可以全面了解产品的结构和功能特征,可以有针对性地对总体结构和具体结构进行设计<sup>[2]</sup>。特别在产品初期,仅凭经验和想象进行零部件的设计是不够的。只有在适当的约束条件下,充分利用拓扑优化技术进行分析,并结合丰富的设计经验,才能设计出满足最佳技术条件和工艺条件的产品。连续体结构拓扑优化的最大优点是能在不知道结构拓扑形状的前提下,根据已知边界条件和载荷条件确定出较合理的结构形式,它不涉及具体结构尺寸设计,但可以提出最佳设计方案。拓扑优化技术可以为设计人员提供全新的设计和最优的材料分布方案。拓扑优化基于概念设计的思想,作为结果的设计空间需要被反馈给设计人员并做出适当的修改。最优的设计往往比概念设

计的方案结构更轻,而性能更佳。经过设计人员修改过的设计方案可以再经过形状和尺寸优化得到更好的方案。

卡箍作为主要受压元件之一采用锻件制造,为节约锻造成本,实际工程中,尺寸较大的卡箍常采用分块式加工。通常将其分为两半,止口通过钢板和螺栓刚性连接而成。虽然考虑了分块锻造,但是从现有卡箍的结构形式和优化算法来看,卡箍原则上还是一个整体锻件,并未真正达到优化省材的目的。而在其他行业(特别在汽车行业),结构优化(多目标优化)方法已经广泛应用于结构的形状优化和尺寸优化中,并取得了良好的经济效益。

## 1 结构拓扑优化方法

拓扑优化法常用的主要有均匀化法、变厚度法和变密度法等。其中均匀化法由Bendsoe和Kikuchi<sup>[3]</sup>提出的,是连续体结构拓扑优化中应用最广的方法,属材料描述方式。其基本思想是在拓扑结构的材料中引入微结构(单胞),微结构的形式和尺寸参数,决定了宏观材料在此点处的弹性性质和密度,优化过程中以微结构的单胞尺寸为拓扑设计变量,以单胞尺寸的消长实现微结构的增删,并产生由中间尺寸单胞构成的复合材料,以拓展设计空间,实现结构拓扑优化模型与尺寸优化模型的统一和连续化。

变厚度法是较早采用的拓扑优化方法,属几何描述方式,其基本思想是以基结构中单元厚度

作者简介:周焕红,男,助理工程师,2009年毕业于中国石油大学机械电子专业,现就职于中航工程集成设备有限公司。

为拓扑设计变量,将连续体拓扑优化问题转化为广义尺寸优化问题,通过删除厚度为尺寸下限的单元实现结构拓扑的变更。

变密度法是一种常用的拓扑优化方法,属材料(物理)描述方式,其基本思想是人为地引入一种假想的密度可变的材料,材料物理参数(如许用应力,弹性模量)与材料密度间的关系也是人为假定的。优化时以材料密度为拓扑设计变量,这样结构拓扑优化问题被转换为材料的最优分布问题。代表性的工作有: Mlejnek建立的变密度模型,张东旭对平面弹性体问题的研究, Yang Renjie 对于车身拓扑优化的应用等等。

本文以单元密度SIMP(Solid Isotropic Material with Penalization Model),即将有限元模型设计空间的每个单元的“单元密度”作为设计变量。该“单元密度”同结构的材料参数有关(单元密度与材料弹性模量E之间具有某种函数关系),假设设计材料的宏观弹性模量与其密度具有非线性关系,采用惩罚因子约束抑制介于0~1之间的单元。在一定的材料用量的条件下,寻找具有某种度量的结构材料最佳分布形式。通常弹性模量与其密度的关系可表示为:

$$E(\rho) = \rho^p E$$

式中, E为弹性模量; p为惩罚因子;  $\rho$  为材料密度,  $\rho < 1$ 。

## 2 多目标优化目标函数

### 2.1 静态多工况质量优化目标函数

结构质量最小化拓扑优化是研究结构材料质量最小的材料分布形式问题。多个工况下的质量拓扑优化问题通常称为多工况质量拓扑优化问题。每一个工况对应一个质量的最优结构拓扑,一般来说,不同的荷载工况将得到不同的结构拓扑。因此,为了得到Pareto-front最优解,本文采用折衷规划法研究研究质量多目标拓扑优化问题。折衷规划法拓扑优化的目标函数为:

$$\min m(\rho) = \left\{ \sum_{k=1}^n w_k^q \left[ \frac{m_k(\rho) - m_k^{\min}}{m_k^{\max} - m_k^{\min}} \right]^q \right\}^{\frac{1}{q}}$$

式中, n为分析工况数;  $w_k$  为第k个工况的权值, q为惩罚因子,  $q \geq 2$ ;  $m_k(\rho)$  为第k个工况的质量目标函数;  $m_k^{\min}$ 、 $m_k^{\max}$  分别为第k个工况质量目标函数的最大值和最小值。

### 2.2 应力拓扑优化目标函数

应力拓扑优化将几个工况的应力最小化作为目标函数,并将体积和位移作为约束函数。为了保证多目标优化变量参与比重,避免优化变量数值数量级的影响,应力响应采用归一化公式来定义目标函数:

$$\min \text{stress}(\rho) = \sum_{k=1}^n w_k \frac{\text{stress}_k(\rho) - \text{stress}_k^{\min}}{\text{stress}_k^{\max} - \text{stress}_k^{\min}}$$

式中,  $\text{stress}_k(\rho)$  第k个工况的应力目标函数,  $\text{stress}_k^{\max}$ 、 $\text{stress}_k^{\min}$  分别为第k个工况应力目标函数的最大值和最小值。

### 2.3 同时考虑质量和应力要求的多目标拓扑优化目标函数及其在OptiStruct中的实现

结构多目标拓扑优化是以体积作为约束条件,同时考虑质量和应力目标的拓扑优化。由折衷规划法可得到多目标拓扑优化的综合目标函数:

$$\min F(\rho) = w^2 \left\{ \sum_{k=1}^n w_k^q \left[ \frac{m_k(\rho) - m_k^{\min}}{m_k^{\max} - m_k^{\min}} \right]^q \right\}^{\frac{1}{q}} + (1-w)^2 \sum_{k=1}^n w_k \frac{\text{stress}_k(\rho) - \text{stress}_k^{\min}}{\text{stress}_k^{\max} - \text{stress}_k^{\min}}$$

式中, F( $\rho$ )为综合目标函数, w为目标函数权重。

OptiStruct软件常规求解多目标优化问题的方法,如约束法、距离函数法、最大最小值法等,按某种策略确定多种多目标之间的权衡方式,将多目标转换为多个不同的单目标优化问题,是一种标量优化问题。该方法不能确保得到所有的Pareto最优解。OptiStruct软件中提供有自定义多目标优化响应函数DRESP2,本文利用DRESP2定义上述综合函数响应,而后把该响应作为目标函数进行拓扑优化。

## 3 齿啮式卡箍多目标拓扑优化

液压斧的齿啮式卡箍结构见图1、图2。齿啮式卡箍结构工作工况为:容器工作压力为内压6.6MPa,设计温度200℃,整个容器外保温,卡箍处接触温差最大为100℃,所以卡箍取设计温度100℃。卡箍处于常温状态,长时间工作状态下,温度保持恒定。卡箍设计材料为16MnIII,在设计温度下的弹性模量为197GPa,泊松比0.3,密度7850kg/m<sup>3</sup>。

本例中,卡箍为轴对称结构,故取1/4模型进行分析。卡箍拓扑优化考虑三个工况,即压力工

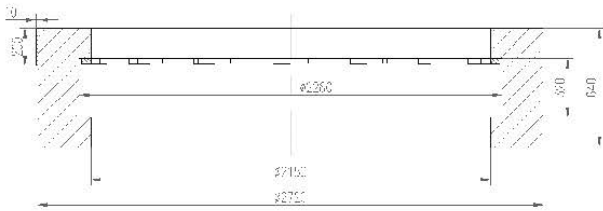


图1 卡箍结构图

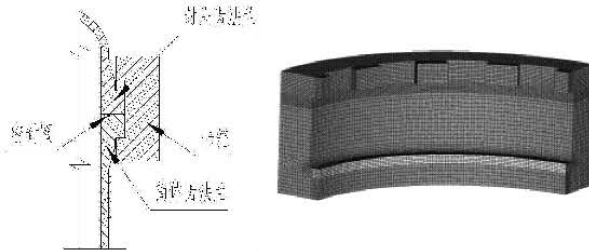


图2 齿啮式卡箍结构示意图

图3 卡箍有限元模型

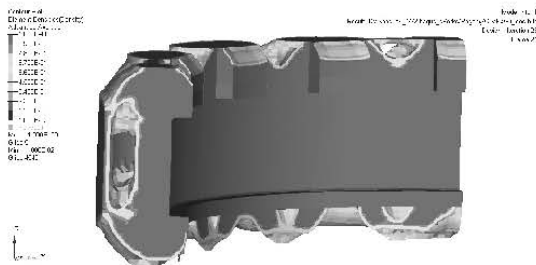


图4 卡箍拓扑优化结果

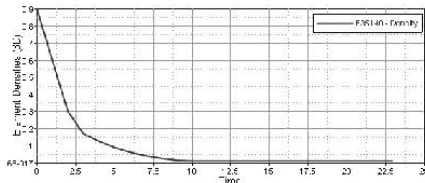


图5 质量迭代历程曲线

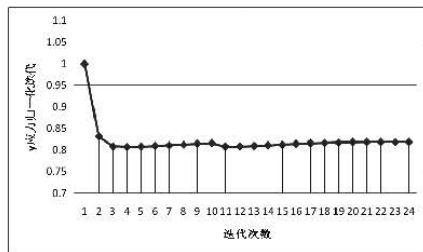


图6 应力迭代历程曲线

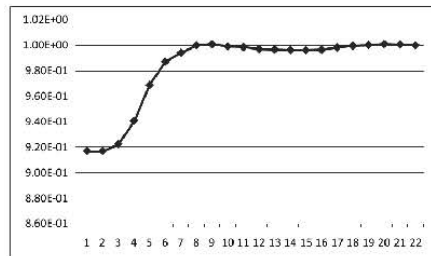


图7 柔度迭代历程曲线

况、温度工况、压力和温度同时作用工况，并把3种工况视为同等重要，取各工况权值相等。在多目标拓扑优化的综合函数中，取质量目标函数的权值为0.4，应力目标函数的权值为0.6。

三个工况中，约束卡箍下部轴向自由度，作用在容器上的压力、温度载荷折算在压力作用施加在卡箍上部齿作用面上。

图3为卡箍原始设计有限元模型，图4为经过多目标拓扑优化得到同时满足质量要求和应力要求的卡箍拓扑结构，从图中可以得出，传统卡箍的存在很大的优化和设计空间。

图5为优化质量迭代历程曲线。从图中可知，迭代10次后，拓扑优化收敛，质量趋于稳定。

图6为应力归一化迭代历程曲线。从图可得，应力最小化约为20%。

图7为柔度迭代历程曲线。为保证多目标质量和应力最小化，在进行拓扑优化时，柔度呈增大趋势。

## 4 结论

通过对卡箍进行多目标拓扑优化可以得出：

- (1) 传统的卡箍设计存在较大的材料浪费；
- (2) 卡箍设计存在很大的优化设计空间，比如可采用分块机加、分块焊接的设计法，而不只是传统的一体铸造方式。

## 参考文献

- [1] 赵丽红,郭鹏飞,孙洪军等结构拓扑优化设计的发展、现状及展望[J].辽宁工学院学报, 2004, 24(1):46~49.
- [2] 陈茹雯. 浅谈拓扑优化. [J]. 机电信息, 2004, 20: 42~44.
- [3] Bendsoe M P Kikuchi N. Generating Optimal Topologies in Structural Design Using a Homogenization Method[J]. Comp Meth Appl Mech Engrg, 1988, 71(1): 197~ 224.
- [4] 肖晓伟,肖迪,林锦国. 多目标优化问题的研究概述[J]. 计算机应用研究, 2011, 28(3): 805~808.
- [5] 郑津洋,苏文献,徐平等 基于整体有限元应力分析的齿啮式快开压力容器设计[J]. 压力容器, 2003, 20(7):20~24.
- [6] 杨刚,经树栋.齿啮式快开压力容器的接触分析[J].化工设备与管道, 2006, 43(3):19~23.

# 垃圾焚烧厂厂内道路交通荷载分析

■ 薛彩翔 何晶 [总图]

**摘要:** 交通荷载的作用是影响路面使用寿命的重要因素之一。以往在设计垃圾焚烧厂道路结构层时,只是简单的根据进出厂区车流量的大小进行交通荷载估算,经常出现设计荷载偏小,道路出现裂缝、坑槽、不均匀沉降问题,影响车辆运行及厂内美观;设计荷载偏大,浪费材料,经济效益差。本文结合实际项目,按照国家路面设计规范,分析在设计基准年限内焚烧厂内道路所承受的标准轴载当量,为道路设计提供准确的参考。

**关键词:** 交通荷载; 标准轴荷载; 轴型; 标准轴载当量换算

## 1 标准荷载

我国道路设计规范采用当量法来考虑考虑交通荷载作用,选用“双轮组单轴载100KN”作为标准荷载,根据等效原则,将不同车辆、轴型的交通荷载换算成以标准轴载为基准单位的交通荷载,并且根据设计基准期内车道临界荷位处所承受的标准轴载次数,将交通等级划分为五个等级<sup>[1]</sup>,见表1。

## 2 轴-轮型式

道路上行驶的汽车,其基本轴-轮型式可分为单轴单轮、单轴双轮、双联轴单轮、双联轴双轮、三联轴单轮、三联轴双轮<sup>[2]</sup>。不同轴-轮型式的车辆,其采用的换算系数也不同。为更清楚的表达不同轴型的,本文将不同轴-轮型式做以示意图,见表2。

## 3 车流分析及车辆类型

垃圾焚烧厂的主要运输物料车辆分为:垃圾运入车辆,点火所需燃油运入车辆,烟气净化所需反应剂(如熟石灰、活性炭、尿素)运入车辆,炉渣、飞灰等运出车辆。本文结合北京环卫

公司在安定生活垃圾焚烧项目中提供的车辆、车流信息进行分析。详细信息见表3。

从表中可知,厂区每日进厂运量为1500t,出厂运量为112t。应采用较大值,进厂垃圾的运输量为道路所承受的荷载。

按照目前垃圾运输站的运输模式,垃圾在实际运输中,车辆满载一般分为16t和8t车辆。北京市环卫集团目前采用的垃圾运输车辆详细参数见表4。

## 4 轴载换算

### 4.1 计算公式

#### 4.1.1 标准轴载的当量轴次

按照《城镇道路路面设计规范》-CJJ169-2012中的规定,将不同轴-轮型和不同轴载作用次数换算为标准轴载的当量轴次公式如下:

$$N_c = \sum_{i=1}^n \delta_i N_i \left( \frac{P_i}{100} \right)^{16} \quad \text{公式4.1}$$

表1 交通等级

交通等级	BZZ-100设计基准期内累计标准轴次 $N_e$ (104)
轻	<3
中等	3-100
重	100-2000
特重	2000-1×106
极重	>1×106

作者简介:薛彩翔,女,助理工程师,2011年毕业于西安建筑科技大学总图设计及其运输工程专业,现就职于航空工业规划市政工程设计研究院。

$$\delta_i = 2.22 \times 10^3 P_i^{-0.43} \quad \text{公式4.2}$$

$$\delta_i = 1.07 \times 10^5 P_i^{-0.22} \quad \text{公式4.3}$$

$$\delta_i = 2.24 \times 10^8 P_i^{-0.22} \quad \text{公式4.4}$$

式中:

$N_c$ ——标准轴载的当量次数

$P_i$ ——单轴-单轮、单轴双轮组或三轴双轮组轴型*i*级轴载的总重 (KN)

$n$ ——轴型及轴载级位数

$N_i$ ——各类轴型*i*级轴载的作用次数

$\delta_i$ ——轴-轮型系数, 单轴-双轮组时, 采用  $\delta_i=1$ ; 单轴-单轮组时, 按照公式2计算; 双轴双轮组时, 按照公式3计算; 三轴-双轮组时, 按照公式4计算。

表2 基本轴型示意图

编号	描述	示意图
1	单轴单轮 (每侧单轮胎)	
2	单轴双轮 (每侧双轮胎)	
3	双联轴单轮 (每侧单轮胎)	
4	双联轴双轮 (每侧双轮胎)	
5	三联轴单轮 (每侧单轮胎)	
6	三联轴双轮 (每侧双轮胎)	

表3 物料运输表

物料名称	运输方向	日运量(t)	物料来源或去向	运输车辆满载(t)	车流(次)
餐厨垃圾	运进	128	南官餐厨垃圾处理厂	8	16
大兴陈腐	运进	36	大兴区各地	8	5
马家楼转运站	运进	85	丰台区各地	16	6
大兴区自运	运进	1251	大兴区各地	16	79
灰渣	运出	88	各制砖厂	8	11
其他辅料	运出	24	其他区域	8	3

表4 常用垃圾运输车技术参数

车辆类型	自重(t)	额定载重(t)	总重(t)	轴距(m)	各轴满载轴荷(KG)及对应轴型
亚洁牌BQJ5311ZXXZ车厢可卸式垃圾车	15.19	15.68	31.00	1.8/3.8/1.35	6500(单轴-单轮)/7000(单轴单轮)/17500(双轴双轮)
广环牌GH5311ZDJ压缩式对接垃圾车	16.7	14.17	31.00	1.8/4.3/1.35	6500(单轴-单轮)/6500(单轴单轮)/18000(双轴双轮)
东风153大型对接式垃圾车	5.5	8.8	14.5	4.5	4960(单轴-单轮)/9530(单轴-双轮)

#### 4.1.2 累计当量轴次

设计基准期内水泥混凝土面层临界荷位所承受的累计当量轴次计算公式:

$$N_e = \frac{N'_1 \times [(1+r)^i - 1] \times 365}{r} \eta_s \quad \text{公式4.5}$$

式中:

$N'_1$ ——水泥混凝土路面设计基准期内临界荷位所承受的累计当量轴次(次)

$N_1$ ——水泥混凝土里面设计车道使用初期的当量轴载日作用次数(次/d)

$\eta_s$ ——水泥混凝土路面临界荷位处的车辆轮迹横向分布系数, 见表5。由于本文在车流量统计中, 统计的是进场车辆车次, 因此在本计算中, 此系数取1。

$r$ ——设计试用期内交通量的年平均增长率, 厂内道路如无扩建, 补充公式=1。

#### 4.2 计算示例

##### 4.2.1 $\delta_i$ 的计算

以表4中“亚洁车厢可卸

表5 车辆轮迹横向分布系数(补充公式)

道路等级		纵缝边缘处
高速公路、一级公路、收费站		0.17-0.22
二级及二级以下公路	行车道路>7m	0.34-0.39
	行车道路 7m	0.54-0.62

式垃圾车 BQJ5311ZXXZ”车辆为例,其前轴为单轴单轮,应按照公式4.2计算,结果如下:

$$\delta_{\text{前轴}}=2.22 \times 10^3 \times 65^{-0.43}=368.81$$

中轴为单轴单轮,按照公式2计算如下:

$$\delta_{\text{中轴}}=2.22 \times 10^3 \times 65^{-0.43}=357.24$$

后轴为双轴双轮,按照公式3计算如下:

$$\delta_{\text{后轴}}=\delta_i=2.24 \times 10^{-5} \times 175^{-0.22}=7.19 \times 10^{-6}$$

其他车辆计算结果如表5所示。通过上述的计算可以得知,在 $\delta$ 值的计算过程中,重要的是理解清楚车辆的轴-轮型式,这样便可正确的选择相应的公式,得出正确的 $\delta$ 值。

#### 4.2.2 标准轴载的当量计算

按照表3和表4中北京环卫公司在安定生活垃圾焚烧项目车流量进出情况,以及车辆的满载量,推算出满载16t车辆每日进厂车次为85次,满载8t车辆每日进厂车次为21次。因现实中无法准确的知晓“亚洁车厢可卸式垃圾车 BQJ5311ZXXZ”与“广环牌GH5311ZDJ型压缩式对接垃圾车”分别对应的进厂车次。因此在本文计算中,将满载16吨车辆的进厂车次平均分配,“亚洁车厢可卸式垃圾车 BQJ5311ZXXZ”车辆(以下简称A车)每日进厂车次为43,“广环牌GH5311ZDJ型压缩式对接垃圾车”车辆(以下简称B车)每日进厂车次为42,“东风153大型对接式垃圾车”车辆(以下简称C车)每日进厂车次为21。

##### (1) 各车型标准轴载当量

$$N_A=368.81 \times 43 \times (65/100)^{16}+357.24 \times 43 \times (70/100)^{16}+7.19 \times 10^{-6} \times 43 \times (175/100)^{16}=61.83$$

$$N_B=368.81 \times 42 \times (65/100)^{16}+368.81 \times 42 \times (63.70/100)^{16}+3.414 \times 10^{-6} \times 42 \times (176.40/100)^{16}=33.20$$

$$N_C=414.28 \times 21 \times (48.61/100)^{16}+1 \times 21 \times (93.39/100)^{16}=8.26$$

以上可知:  $N'_1=61.83+24.23+7.11=110.04$

##### (2) 累计当量轴次

安定生活垃圾焚烧厂道路宽度为8m双车道,未来二期规划容量与一起期相同,道路服务年限

20年。在设计年限内,按照公式4.5,累计标准轴当量为:

$$N'_e = \frac{N'_1 \times [(1+r)^t - 1] \times 365}{r} \eta_r$$

$$=20 \times (110.04 \times 2 \times 365) \times 1 = 160.7 \times 10^4$$

按照表1,累计轴载当量在 $100 \times 10^4-2000 \times 10^4$ 之间的位重型交通。因此可知,日焚烧垃圾量为3000t的焚烧厂,其交通荷载为重型交通。从计算w结果的数据来分析,焚烧厂的交通荷载等级属于重荷载等级里偏小的,因此普通混凝土路面即可满足运输要求。

根据以往工程经验,在重型交通荷载的设计过程中,不仅对道路层面面的要求高,道路路床、垫层以及基层在选材、施工处理上,更应严格按照规范要求。其中按照规范要求:路床顶面的综合回弹模量值,在中等或者重交通荷载等级时不得低于60MPa;底基层应选择级配碎石、水泥稳定碎石、石灰或粉煤灰稳定碎石;基层应选择密集配沥青稳定碎石或水泥稳定碎石。

## 5 结论与思考

本文结合工程实际,详细论述了道路交通荷载计算的过程,以及在交通荷载计算过程中需要注意的问题,交通荷载作为影响道路设计的重要因素之一,为道路设计提供了更为科学、准确的设计依据。

针对属于重型交通荷载的焚烧厂道路,在道路设计工作中,应该结合项目所在地的气候、水文、地质、材料、建设和混凝土养护等情况,设计出经济、合理、科学的道路结构型式。

### 参考文献

- [1] JTGD40-2011《公路水泥混凝土路面设计规范》中华人民共和国行业标准[S].2011.
- [2] GB/3730.1-2001《汽车和挂车类型的术语和定义》中华人民共和国国家标准[S].2001.
- [3] CJJ169-2012《城镇道路路面设计规范》中华人民共和国行业标准[S].2012.



# 工程总承包项目招标采购实施建议

■ 滕宇飞 朱志明 [工程管理]

**摘要:** 随着公司工程总承包项目的逐渐增多,招标采购工作在各项目主管单位工作中出现的频率越来越大。本文通过在招标采购工作执行过程中发现的一些问题——招标采购启动时间要求不灵活、项目部启动各招标环节不及时、项目部对招标活动控制不足、招标采购人员责任心不强、专业知识不足,提出相应的改进建议,确保工程总包项目高效、顺利地完成。

**关键词:** 工程总承包; 招标; 供应商

## 0 引言

随着我单位承接的工程总承包项目数量逐渐增多,分包供应商的选择显得尤为重要。由于牵涉的合同额较大,招标采购过程要求较为严格、全面,同时对项目整体的目标实现具有较大影响。因此本篇文章就工程总承包项目的招标采购过程中出现的问题进行总结,同时提出改善建议,使工程总承包项目的招标采购在执行过程中针对问题有的放矢,保证项目的质量管理、成本管理和工期管理顺利进行。

## 1 招标方式条件及工作流程

公司在《质量、环境、职业健康安全管理体系文件》(以下简称“三体系”文件)中将采购方式分为:公开招标、邀请招标、询价、单一来源采购、直接采购五种方式,其中施工类、材料设备类、服务类采购单项合同估算超过公司限额便需要进行项目的公开招标或邀请招标。

其中公开招标与邀请招标均统称为招标,依据单位“三体系”文件中有关采购管理的要求,所需完成的工作流程见图1。

## 2 招标采购执行过程中存在的问题

招标采购的范围包括工程总承包项目中标后的施工类招标采购、设备材料类招标采购和服务类招标采购。在日常招标采购实施过程中会存在以下现象:

**无法及时开工:**工程总承包项目在中标后,由于建设单位在招标过程中规定的项目工期极其紧张,同时公司要求与建设单位签订合同后方可进行招标采购。若为邀请招标,较为理想的情况是:潜在投标人准备资料到正式供方名录库需要大约2天时间,发布邀请招标公告5天,发售招标文件至投标文件截止20天,中标公示需要3天,与分包供应商双方签订合同大约需要5天,以上程序完成后,分包供应商进场至少需要: $2+5+20+3+5=35$ 天,影响分包供应商进入现场时间,影响项目工期。

**招标采购包较多:**在投资额较大的工程总承包项目中,采购包的数量是一定的,超过限额的标包需要进行招标采购,由于招标过程中要求持续的时间长,确定分包供应商的时间较长。

**招标启动滞后:**在与建设单位投标过程或谈判合同过程中,已经较明确地显现出工期紧张的情况,而且第一批需要进场的分包供应商的确定需要进行邀请招标采购,项目部在与建设单位签订合同后才进行潜在投标人供方调查程序、准备

作者简介:滕宇飞,女,助理工程师,2016年毕业于北京交通大学审计学专业,现就职于航空工业规划市政工程设计研究院。

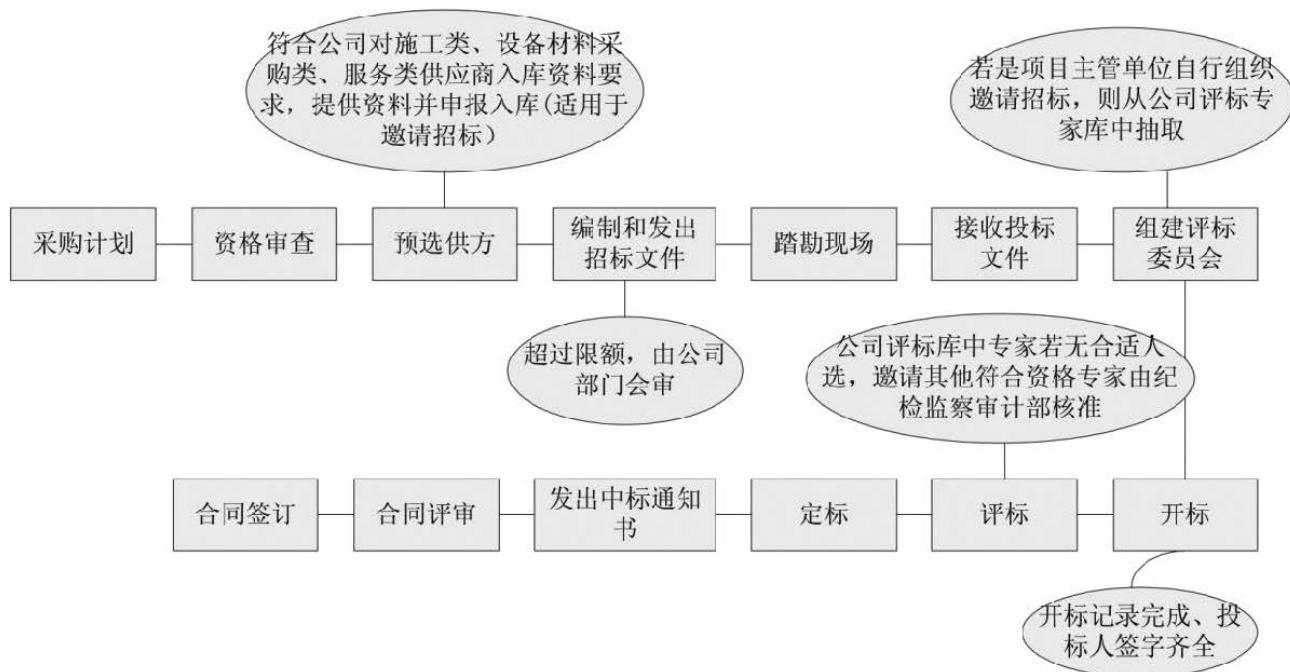


图1 公开招标与邀请招标工作流程图

招标文件等事宜，未提前进行，招标启动滞后。

**招标文件错漏：**由于采购经理组织编写招标文件的相关人员疏忽或者不熟悉招标文件编制等相关专业的知识、相关专业技术人员配合不全面、项目主管单位各级会审时未认真检查，而使招标文件存在评分标准、要求的投标文件内容不符合项目实质标包的情况：如近两年刚刚生产出的新型设备包却要求分包供应商提供此设备良好运行五年的证明、施工标包却只有价格最低者最高分，对业绩、信誉等方面并未纳入到评分体系中等。

**过程资料缺失：**公司的“三体系”文件中明确要求了在招标过程中所需要的资料，但检查中仍有资料缺失的情况。

通过以上现象，从项目部及公司两方面归纳总结出以下问题：

### 2.1 招标采购启动时间要求不灵活

公司要求与建设单位签订合同后才能启动招标采购，此项要求不灵活。针对一些工期较紧的工程总承包项目来说，此项规定不利于项目缩短工期。

### 2.2 项目部启动各招标环节不及时

由于前期采购策划准备不充分，没有进行良好的计划，启动招标工作时间较晚。项目主管单位

在取得工程总承包项目后，尤其是自行负责的邀请招标，在前期预计邀请的潜在投标人考察、评价不及时，未能提前录入合格供方库，影响招标。

招标准备工作不充分，不能及时澄清投标单位的疑问，导致部分项目无法达到发售招标文件至开标时间为20天或澄清文件发出至开标时间为15天的要求。

### 2.3 项目部对招标活动控制不足

从招标文件错漏及招标采购过程资料缺失中可以看出，项目部在进行招标采购活动过程中，没有充分发挥项目部各级人员对项目采购的控制，导致项目采购进行过程中出现问题。

### 2.4 采购人员责任心不强、专业知识不足

在项目主管单位或项目部执行招标采购过程中，由于部分采购人员责任心不强，同时相关的招标知识掌握不全面，会导致前期潜在投标人进入供方名录库时资料不符合要求、招标文件编制不符合采购包的实际需要——如设备采购类（无需安装）文件却在招标文件中出现了要求潜在投标人提供施工总平面图或施工文明措施等情况、抽取后的评标专家人员的专业与采购包不完全相符、招标过程证据性资料部分缺失等问题，从而最终的招标采购过程执行及程序文件较标准资料有所差距，影响招标采购项目资料完整性、正确性。

### 3 优化建议

根据以上提出的工程总承包招标过程中出现的问题,提出以下优化建议。

#### 3.1 项目部提前进行采购策划及招标前期准备

针对工期较紧的工程总承包项目,在我单位进行工程总承包项目投标时或收到中标通知书后可采取以下措施:

项目经理及采购经理可提前启动对潜在供方的调查,对采购计划中邀请招标的采购包的潜在投标单位进行合格供方入库工作;提前编制第一批需要进场的分包供应商的采购询价文件或招标文件。

#### 3.2 招标采购启动时间提前至我单位领取中标通知书后

公司规定工程总承包项目必须要与建设单位签订合同后方可进行项目招标采购等后续过程。但若我单位中标与建设单位签订合同后确定的工期迫使我们没有足够的时间进行项目的招标采购过程,项目部可采取如下措施:

(1) 各项目主管单位在收到工程总承包项目中标通知书后可发出邀请招标或公开招标的公告,从而使潜在投标人进行较早准备。

(2) 招标的开标时间若在我单位与建设单位合同签订之前,则发布延期开标的通知,直至合同签订后,方可选定潜在投标人均同意的最早时间开标。

(3) 在招标文件中应明确:此次招标要在与建设单位签订合同后方可开标,若特殊情况导致合同无法签订,此次招标将取消。同时招标人将不承担潜在投标人在投标过程中的任何费用。

(4) 项目主管单位内部确定在合同签订前发布招标公告,需形成书面申请文件,及时递交采购管理部备案。

#### 3.3 明确责任人,设立奖惩机制,加大项目部对招标采购的控制力度

在招标实施过程中,明确项目经理、采购经理及其他配合完成招标过程人员的责任,若项目招标未按计划实施进行,在项目主管单位或采购管理部门检查中发现问题,则应追究责任,设立一定的惩罚制度,例如:扣绩效奖金等。

同时,为了调动大家的积极性,项目主管单位可以设置劳动竞赛等奖励制度,若在一个工程总承包的招标采购中,各采购包的时间节点均在

计划内完成,则设计相应的绩效奖金,以鼓励对工程总承包项目的目标管理作出的积极贡献。

长此以往通过以上的奖惩制度,项目部队招标采购过程中的控制力度会不断加大。

### 4 总结

为了达到工程项目的工期、质量、成本目标,我们通过有效的管理来实现。本篇文章希望能在法律法规和公司规定要求下,提出提高采购效率、满足工期要求的优化建议,为工程总承包的管理提供参考和借鉴。

#### 参考文献

- [1] 建设工程施工管理[M]. 中国建筑工业出版社,2004: 7.
- [2] 刘解放,姚广成. 基于EPC总承包模式的分包管理[J]. 公路交通科技(应用技术版),2014,10:004.
- [3] 张越,邹常青. 总承包模式下的工程跟踪审计[J]. 中国内部审计,2014(5).

# PPP+EPC模式下项目的 风险管理分析

■ 景浩盟 朱志明 (工程管理)

**摘要:** 目前,国家大力推进PPP项目模式,并极力发展EPC工程总承包模式,工程承包商开始成为PPP项目的社会资本方,逐渐产生了PPP+EPC的组合模式,即在建设环节采用EPC工程总承包模式的PPP项目。基于此,本文对PPP+EPC模式下项目的风险识别、风险评估、风险应对、风险控制等进行了简单的分析和探讨,希望可为我公司此类型项目提供参考和借鉴,对今后此类型项目的风险进行有效的管理,以避免或减少风险的发生,增加风险的应对能力,降低风险造成的损失。

**关键词:** PPP; EPC; 风险控制; 变更; 索赔

## 0 引言

2013年底,中国经济进入新常态。李克强总理主持召开国务院常务会议,决定创新重点领域投融资机制、为社会有效投资拓展更大空间。“政府和社会资本合作”进入大众视野,即PPP模式。

2016年5月20日,住建部下发《关于进一步推进工程总承包发展的若干意见》(建市[2016]93号文),意见指出,“建设单位在选择建设项目组织实施方式时,应当本着质量可靠、效率优先的原则,优先采用工程总承包模式”。根据《中华人民共和国招标投标法实施条例》第九条第三款的规定,“已通过招标方式选定的特许经营项目投资人依法能够自行建设、生产或者提供”的,可以不进行招标。

在PPP模式下,通过招标确定的社会资本可能是具有工程总承包资质的企业,因此逐渐出现工程建设类PPP项目中“两招并一招”,即PPP投资人招标和EPC承包商招标合并,在PPP招标的同时,完成承包商的招标。

PPP+EPC模式是一种在建设环节嵌入EPC工程项目管理模式的PPP投融资模式。

## 1 概述

PPP模式为投资企业拓展了生存发展空间,提供了新的机遇,促进了投资主体的多元化。通过引入社会资本参与公共服务的供给,从而可以缓解政府的财政压力。通过推动PPP模式,政府和社会资本可以取长补短,提供高质量的公共产品和服务,使广大民众从中受益。

EPC模式下承包商对设计、采购和施工进行总承包,在设计时就考虑到采购和施工的影响,可以大大缩短从规划、设计到竣工的周期,减少设计变更,有利于控制建设投资,减少投资风险,并减少由于通货膨胀等不利因素造成的影响。

选择具有设计建设能力的社会资本方或社会资本方联合体,可以实现“PPP+EPC”的组合模式。作为一种复合模式,PPP+EPC模式吸收了PPP模式和EPC管理模式各自的特点<sup>[1]</sup>。

首先,提高生产效率。由政府财政单独投资并进行经营管理的生产方式往往缺乏效率,采取PPP+EPC模式则将“花别人的钱办别人的事”转变为企业“花自己的钱办自己的事”,必将提高生产效率。

第二,PPP+EPC模式可以提高项目沟通效率。一方面,PPP项目社会资本、地方政府对项目建设的支持力度相当大,在协调国土、电力、水利等部门方面尤为突出;另一方面,PPP社会资本

作者简介:景浩盟,女,助理工程师,2013年毕业于天津大学工程管理专业、法学专业,现就职于航空工业规划市政工程设计研究院。

在前期掌握了足够的项目信息，当社会资本参与EPC总承包管理时，可大大提高项目沟通效率。

第三，PPP+EPC模式可以让项目公司更加注重成本控制。因PPP项目需要社会资本的投资，社会资本参与到EPC时，在保证安全、质量的前提下，会更加注重成本控制。

第四，PPP+EPC模式有助于提升管理人员综合素质。PPP+EPC模式，要求EPC项目经理在设计阶段与设计人员深入沟通、密切合作，这样对公司管理人员综合能力的提高具有极大的推动作用。

## 2 项目风险的识别与评估

根据财金[2014]113号文，PPP项目的操作流程包含识别、准备、采购、执行和移交等五个步骤，项目采购是项目落地的关键步骤。PPP项目采购包括资格预审、采购文件编制、响应文件评审、谈判与合同签署等四个环节，而PPP项目风险谈判和分担的约定，则主要发生在项目谈判与合同签署阶段。

### 2.1 风险的识别

风险作为工程建设的客观现象是指一种不确定状况，一旦发生会对项目产生极大影响。PPP项目的风险管理是关系到项目运行是否成功的关键因素。

PPP项目风险包括政府方风险和社会资本方公司风险，本文主要讨论社会资本方风险。社会资本方风险通常有融资风险、项目设计、建设和运营维护相关风险、项目审批风险等；自然不可抗力通常由政府和社会资本共同承担。根据项目具体情形不同，土地获取风险、项目审批风险可能由政府方承担，也可能由社会资本方承担。

EPC承包方式能使整个项目的设计、采购、施工一体化，能提高整个EPC项目的工作效率。

EPC项目承包商的主要风险有：1) 通货膨胀风险，承包商承包合同多数都为固定总价条款，通货膨胀使工程造价大幅度高，管道设备原材料价格上涨，承包商需要承担额外支付的风险；2) 总价模式下的项目盈亏风险；3) 项目垫资风险；4) 项目工期延误风险；5) 分包、材料设备供应商合同履行不当风险；6) 工程项目拖延或无法竣工验收风险；7) 缺陷责任与质保期的风险；8) 分包商故意违约风险；9) 其他承包商风险等。

EPC模式下，工程承包商承担了较多的风险和责任，但不排除业主方的相应风险，如：对于工程功能的变更，对于工程等级（或档次）的变更，对于已确认的施工设计的变更，由于以上变更而引出的其他费用，以及其他法律风险。

通常，EPC合同双方要在合同中明确风险条款、索赔程序、争议的处理等，以减少争议，不损害任何一方利益，实现风险共担。

### 2.2 风险评估

风险等级按风险因素对投资项目影响程度和风险发生的可能性大小进行划分，风险等级分为一般风险、较大风险、严重风险和灾难性风险。可采用简单估算法对风险等级进行评估，风险程度分析表见表1。

## 3 项目风险的应对策略

### 3.1 风险应对措施

风险管理的核心是风险的应对，风险应对的方法主要有四种：风险规避、风险转移、风险减轻和风险接受。

风险规避是通过改变项目计划来消除特定风险事件的威胁。例如，项目建设过程中存在的地质风险，通过选址时的地质勘察来进行规避；对于运营过程存在的成本超支风险，可以在PPP合同中约定调价公式来进行规避。

风险转移是常用的风险应对方式。风险转移有三类：一、通过分包转移；二、将风险转移给担保人；三、将风险转移给保险公司。PPP项目合同种类繁多，每个合同都存在各自特有的风险，通过合理的合同条款，对权利义务进行约定，可以有效提出相应的风险防范策略，实现风险的合理分担和转移。通过购买保险，可以将一部分风险转移给保险公司。通过选择施

表1 风险程度分析表

序号	风险因素名称	风险程度				说明
		灾难性	严重	较大	一般	
1	市场环境风险					
1.1	市场竞争(唯一性)					
1.2	通货膨胀					
1.3	外汇风险					
...	.....					
2	自然环境风险					
2.1	气候/地质条件					
...	.....					
3	.....					

工分包单位,可以将一部分施工风险、完工风险,转移给分包商。

风险减轻是减少不利的风险事件的后果和可能性到一个可以接受的范围。例如,项目施工过程中,受天气影响巨大,项目公司可以提前找项目所在地的气象局拿到气象数据,选择合理的施工时间,来减轻气候对于施工带来的影响。或者通过联合体方式,将整体的风险分散给不同的主体,以减轻风险的独立应对<sup>[2]</sup>。

风险接受是指消极的接受风险事件的后果。例如不可抗力风险,或者在风险规避、风险转移或者风险减轻不可行时,或者上述风险应对成本超过接受风险的情况下采用。

### 3.2 风险分担

风险分担是指各种风险要素在参与者之间进行分配,合理分担风险直接关系到协议各方的经济利益,是PPP项目成功的又一个重要因素。风险分担的目的是:①减少风险发生概率,降低风险发生后造成的损失和风险管理成本;②利于项目各方权责的合理分担,有利于参与者在项目全生命期内注意保持理性和谨慎;③使各项目参与者达到互利互惠、共赢的目标。

风险分担的不合理会影响项目参与方的积极性甚至可能导致项目失败,无论是政府承担过多风险,还是把风险过多转移给社会资本,都是片面的做法,都可能导致项目流产。因此合理的PPP项目分担有其基本的原则。

PPP项目风险分担是原则是:一、风险共担;二、由对风险最有控制力的一方控制相应的风险;三、承担的风险程度与所得回报相匹配;四、承担的风险要有上限。

在PPP+EPC这种组合模式下,PPP项目社会资本同时也是本项目的EPC承包商,项目的风险分担往往更加复杂,而不单单只是PPP项目风险和EPC项目风险的叠加,PPP+EPC模式下的风险因素见表2。

## 4 项目风险控制

### 4.1 风险监控

风险监控是指在项目全生命周期中,对风险的发展与变化进行全程监督,并根据需要进行风险应对。风险监控是项目实施过程中的一项重要工作,其实质是监视项目的动态发展变化和项目环境。通过项目的风险监控,可以及时预测项目

风险,并做好风险的规避,或者在风险显露出苗头时,便采取有效措施,降低风险影响。

### 4.2 项目合同里的风险控制

PPP+EPC项目涉及的合同种类较多,风险可能隐含在合同的每一个条款和附件中。编制合同、协议、相关文件时,应充分重视风险的防控方法,细致审查,反复核对,注重合同文件的构成及法律效果的优先次序,为合同的顺利执行奠定坚实的基础。

在PPP项目中,项目参与方通过签订一系列合同来确立和调整彼此之间的权利义务关系,构成PPP项目的合同体系。PPP项目的合同体系通常包括PPP项目合同、股东协议、履约合同(包括工程承包合同、运营服务合同、原料供应合同、产品或服务购买合同等)融资合同和保险共同等(见图1)。其中PPP项目合同是整个PPP项目合同体系的基础和核心。

EPC项目中,风险和意外发生后,较为常见的结果是索赔和反索赔。索赔就是承包商针对业主所提出来的赔偿要求,索赔一般是要经济赔偿或者适当延长施工期限。而反索赔就是业主向承包商提出的补偿要求。当PPP社会资本成为项目的EPC承包商后,承包商和业主为同一人,很难像以往的工程项目一样,对于自身损失进行索赔或反索赔,这时更需要在合同中对风险的分担进行约定。

需要注意的是,PPP+EPC项目中,某些风险是相互矛盾的。例如,垃圾焚烧厂、污水处理厂项目中较为常见的“开始运营日”。通常情况下,政府会与社会资本方约定“开始运营日”,如果因社会资本方原因造成项目无法按时运营,无法按照约定时间提供公共服务,社会资本要向政府进行赔偿,即社会资本方要承担开始运营风险。当工期紧张,而又为了避免开始运营日的滞后,社会资本会要求承包商加速施工,从而导致承包商提出“赶工索赔”。PPP+EPC项目中,承包商赶工,却无法向自己索赔,这可能会导致施工利润的下降。所以,PPP+EPC项目,更要注重风险的管理工作,一方面加强风险的转移和分散,另一方面也要防患于未然,做好合同管理,做好风险控制,将损失降到最低。

## 5 结论

由于建设项目具有唯一性的特点,所以项目面

表2 PPP+EPC模式项目的风险分担清单

风险因素	PPP项目 社会资本承担	EPC项目 承包商承担	PPP+EPC项目 社会资本承担	
市场环境	市场竞争(唯一性)			
	市场需求变化(非竞争因素导致)			
	项目审批延误			
	通货膨胀	(承担部分)	✓	(承担部分)
	外汇风险	✓	✓	✓
	利率风险	✓	✓	✓
	融资风险	✓		✓
自然环境	土地获取风险	(特定情况下)	(特定情况下)	
	不可抗力风险	(共同承担, 可通过 保险规避)		(共同承担, 可通过 保险规避)
	气候变化(非极端天气)	✓	✓	✓
前期风险	地质条件变化	(政府承担)	(业主承担)	(政府承担)
	私营投资者变动	✓		✓
	融资风险	✓		✓
设计建造阶段	运营收益测算方法主观	✓		✓
	供应风险	(转移给第三方)	(转移给第三方)	(转移给第三方)
	技术风险	✓	✓	✓
	合同文件冲突/不完备	✓	✓	✓
	费用支付风险	✓	✓	✓
	配套基础设施风险	✓		✓
运营阶段	完工风险	(转移给承包方)	✓	✓
	残值风险	✓		✓
	工程/运营变更	✓		✓
	项目财务监管不足	✓		✓
	收费变更	✓		✓
关系风险	运营成本超支	✓		✓
	组织协调风险	✓	✓	✓
第三方风险	特许经营人能力不足	✓		✓
	第三方延误/违约	(转移给第三方)	(转移给第三方)	(转移给第三方)

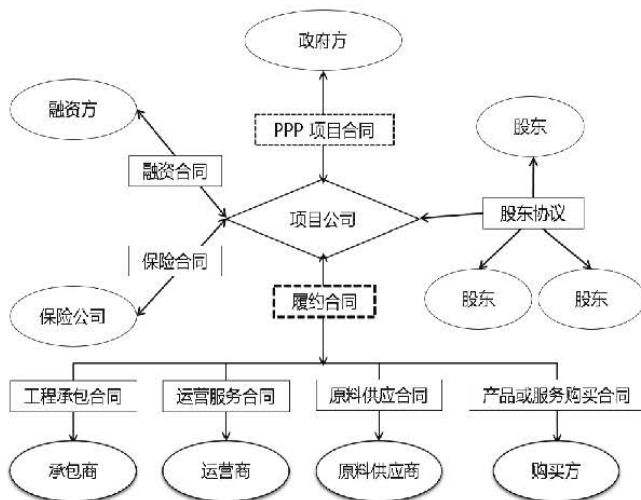


图1 PPP项目合同体系

临的风险各不相同,这决定了风险管理的复杂性。PPP+EPC项目的社会资本方兼具PPP项目社会资本风险和EPC项目承包商风险,且更为复杂,所以必须对风险进行有效管理,避免风险的发生,或者风险发生后能在可控的情况下进行应对,减少风险造成的损失,为企业创造更多的经济效益。

参考文献

- [1] 余双林. 浅谈PPP\_EPC模式项目的优势[J]. 中国建设报, 2015.
- [2] 孙向阳. EPC总承包工程项目风险管理分析[J]. 房地产导刊, 2016.
- [3] 袁华之. 建设工程索赔与反索赔[M]. 北京: 法律出版社, 2016:20-33.

# 电镀及阳极化生产线生产用水量计算方法的研究

■ 张天奇 刘芳 赵洁 (给排水)

**摘要:** 机械加工是我国重要的加工工业,根据使用地点的不同机加产品需要采用不同的方法进行防腐蚀处理,其中主要措施是电镀及阳极化,而目前企业关于电镀及阳极化厂房的生产水量及废水量计算方面普遍偏大。在本次研究中,我们跟踪电镀及阳极化厂房的生产进行水量检测,找出实际生产用水量与设计水量的差异,提出新的计算方法。

**关键词:** 电镀;阳极化,用水量;排水量;计算方法

机械加工是我国重要的加工工业,根据使用地点的不同机加产品需要采用不同的方法进行防腐蚀处理,其中主要措施是电镀及阳极化。在中国工业迅猛发展的时代,环境污染问题日益严重,环评审批部门对电镀及阳极化这类高耗能高污染的厂房审批日益严格,对含有一类污染物废水的零排放要求日益普遍。而目前企业关于电镀及阳极化厂房的生产用水量及废水量计算方面普遍高于环境影响评价审批单位批准的排水量,给项目设计审批过程带来了困扰;计算生产用水量和废水排水量过大也会导致纯水制备设备及废水处理设备能力过大,无效投资过多。在本次研究中,我们跟踪电镀及阳极化厂房的生产进行水量检测,找出实际生产用水量与设计水量的差异,提出新的计算方法,旨在解决设计计算与环评审批之间关于水量的矛盾,并通过合理的计算方法,为甲方减少不必要的建设投资。

## 1 电镀、阳极化生产线生产用水量计算方法存在的问题

目前,由于缺少对实际项目的用水水量的监测,各工厂并不能准确提供电镀及阳极化厂房有

计算依据的耗水量,在做新的厂房项目时,厂房内的生产用水及废水量均通过现有厂区内的厂房与新建厂房的规模进行对比、估算,得出水量并作为依据,所以新建厂房的生产用水量并没有准确的标准值。新建厂房的配水管路与供水能力均按照《电镀及阳极化车间设计规定》HBJ 2-96进行设计,与实际用水量严重不符,计算方法耗水量比实际用水量普遍偏大。

## 2 传统计算方法耗水量计算方法

### 2.1 槽类设备

最大耗水量=槽液容积/注满一槽所需时间

流动水槽平均耗水量=槽液容积/槽液更换一次所需时间

槽液容积=槽长×(槽宽-a)×(槽高-0.1)

其中,槽高≤500mm时,a=0.05;槽高>500mm时,a=0.1。水槽更换时间表见表1。

从上述计算方式可以看出,当前设计方式对于被加工零件供水能力是基于槽体换水时间设计,与被加工零件的大小形状多少没有关系,故设计与实际使用有可能存在较大的偏差。

### 2.2 非槽类设备

非槽类设备平均时耗水量按下式计算:

设备平均耗水量=设备最大耗水量×设备载荷系数×设备用水系数

作者简介:张天奇,男,助理工程师,2012年毕业于北京工业大学给排水专业,现就职于航空工业规划飞机工程设计研究院。



表1 水槽更换时间表

槽液容积 (L)	<300	301~1000	1001~2000	2001~5000	5001~8000	8001~10000	10001~30000	30001~50000	>50000
注满一槽所需时间	10	15	20	30	40	60	90	90	120
流动水槽载荷率>50%时 更换一槽所需时间 (h)	0.5	1	2	3	4	5	6	8	12
流动水槽载荷率<50%时 更换一槽所需时间 (h)	1	2	3	4	5	6	8	12	16

设备载荷系数=设备全年工作时间/设备年时基数

当设备全年工作时间没有具体数据时,非槽类设备最大耗水量参照槽类设备最大耗水量进行设计。非槽类设备(喷淋槽)当前采用数据的设备最大耗水量也是基于槽体更换一槽水水量时间计算,故喷淋槽数据也有偏差。

### 3 电镀及阳极化基本流程

电镀及阳极化主要步骤分为预处理及表面处理主工序。根据待处理材料的用途,对于待处理材料表面有不同要求,不同的工艺所需槽体的数量不同,本次计算针对于材料表面处理,故采取以下的化学预处理工艺流程。<sup>[1]</sup>

水洗——碱洗——二道水洗——出光——水洗——铝表面处理主工序——水洗

水洗——碱洗——二道水洗——活化——水洗——电镀——水洗

### 4 实际生产测试数据分析

某厂房按传统计算方法算出的耗水量与实测耗水量见表2。

表2 水量计算表

生产线	水槽数量	传统计算耗水量 m <sup>3</sup> /h	实际耗水量 m <sup>3</sup> /h
阳极化	7	22.56	1.34
镀铬	5	1.93	0.19
镀锌	6	1.93	0.05
镀锡	10	3.89	2.55
滚镀锌	3	0.95	0.62
磷化	3	1.87	0.044

### 4.1 槽类设备

从表2中我们可以看到实际检测耗水量与现行规范下计算的水量相去甚远,且远小于传统计算耗水量。滚镀线有些接近的原因是由于在低负荷工作状态下,滚镀篮携带了大量槽液进入洗槽,所有传统计算与实测耗水量相当。

### 4.2 非槽类数据(喷淋槽)

某厂房阳极化生产线实际喷淋槽内有28个喷头,用水规律为每槽喷淋喷放2min,经实测,喷淋槽喷头用水流量见表3。

表3 喷淋槽计算

槽体	实测 28个 喷头 流量 L/s	实际 耗水 量 m <sup>3</sup> /h	传统 计算 耗水 量 m <sup>3</sup> /h	水质
硫酸后喷淋 (12000×1500×2500)	2.032	12.19	13.44	B 类水
	1.36	8.14	13.44	C 类水
出光后喷淋 (12000×1500×2500)	2.032	12.19	13.44	B 类水
	1.62	9.75	13.44	C 类水

实测水量小于按传统标准计算得出的水量,可以看出传统计算方式在喷淋槽处计算方式是不符合的。故我们需要找新的方法来计算电镀及阳极化的设计水量。

### 5 新计算方式

传统设计计算水量的设计核心思路为多少时间换一槽用水,这种方法与被处理零件的多少大小没有必然联系,这会导致我们在做新的厂房设计时,设计水量与实际用水量严重不符,本次实测用水量了也证明传统设计方式计算出来的水量

与实测用水量的不匹配。故这里我们希望新的计算公式与生产工艺方式相结合,在未来新的设计中,更加符合实际。

我们希望新的计算方式如下,

每天最大耗水量=电镀或阳极化每天最大面积  
× 单位面积单位批次耗水量

我们认为表面处理零件的耗水量与表面积,比表面积,处理批次,单位面积耗水量相关。

电镀或阳极化每天最大面积也由根据厂区生产纲领确定,没有数据时可根据槽体大小计算,槽体宽×高×2。槽体大小由所有零件中最大的零件尺寸确定。

生产批次为工艺需求。

单位面积单位批次耗水量由后续试验跟踪实际生产时耗水量拟合曲线测得。

在实际生产过程中,每个清洗槽槽液的浓度上限值为350ppm,此数据为厂房对于清洗零件水质的工艺要求,我们基于此数据去实测电镀及阳极化零件带来的浓度变化,从而计算出维持浓度的情况下,实际用水的消耗量。

### 5.1 单位批次耗水量的影响因素

#### (1) 附着液与电镀工件的关系

镀件从镀槽提出时,在其表面形成一层由镀液构成的薄膜,其厚度可由下式表示(数值关系):

$$f = 0.02 \times \sqrt{\frac{v\mu}{d}} = 0.02 \sqrt{\frac{H\mu}{td}}$$

式中:  $f$ ——镀液薄膜厚度 (cm);  
 $v$ ——挂具出槽速度 (cm/s);  
 $\mu$ ——镀件动力粘度 (Pa.s);  
 $d$ ——镀液重度= $\rho g$ ,  $\rho$  ( $\text{g}/\text{cm}^3$ );  
 $H$ ——镀件垂直方向长度 (cm);  
 $t$ ——镀件出槽时间 (s);  
 $g$ ——重力加速度。

从上式可知,当槽液的粘度大时,薄膜层就厚,也就是带出液量增加,但槽液的粘度随槽液浓度增加而增加,并随槽液温度的升高而降低,因此,浓度越高带出液越多,温度越高带出液越少。挂去出槽越快,薄膜层就厚,带出液增加。由于本次公式的研究对象为表面处理厂房,故我们在测取数据时,均在槽液标准浓度,水温25℃,挂具实际生产速率下进行。

#### (2) 附着液与挂具的关系

吊挂零件的方向影响着不同的带出液浓度,垂直吊挂带出量最小,水平吊挂带出量最大。故

后续试验均采用垂直吊挂的方式进行(见图1)。

#### (3) 不同形状镀件的影响

电镀件:考虑到不同形状工件的槽液带出量不同,我们设想按照镀件比表面积进行分类,见表4。

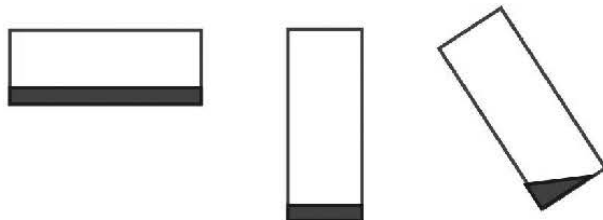


图1 不同悬挂方式导致的带出液不同

表4 单个零件电镀耗水量测试

名称	水温 ℃	比表面积 $\text{m}^2/\text{kg}$	耗水量 $\text{L}/\text{m}^2$
带螺纹的弯管接头	19.3	0.11	141.86
衬套	19.2	0.12	90.30
带托板的衬套	20.2	0.22	90.91
中空螺栓	21.0	0.25	114.33
试片	19.4	0.78	51.43

通过上述数据可以看出比表面积只是影响槽液带出液的一部分因素,镀件形状也是影响带出液的影响因素之一。故我们针对几种典型电镀工件进行了不同形状的实验。

从实验结果可以得知,最复杂的带螺纹的弯管接头的耗水量是最简单的试片的耗水量的2.8倍。

阳极化件:按照阳极化前对零件的加工方式可分为钣金件、机加件;阳极化钣金件由于面积较大,形状较为简单,带出液没有机加件带出液更多,但是由于机加零件的比例只有钣金零件的1/10,且机加零件的种类非常多,数量却很少,实际生产中不会出现都是机加件的情况,故阳极化零件可以统一考虑。

#### (4) 蒸发量的影响

参考电镀废水治理手册<sup>[2]</sup>中的测试数据室温常温(12~18℃)的情况下,槽液温度40~50℃,自然蒸发系统情况下镀槽单位面积蒸发量2.07[L/(h.m<sup>2</sup>)],槽液11~17℃自然蒸发情况下的镀槽单位面积蒸发量0.14[L/(h.m<sup>2</sup>)].蒸发量非常小,可以忽略不计。

## 5.2 槽类设备

### (1) 每批次每平方米耗水量

我们测量了被处理零件的表面积和处理时的耗水量,其结果见图2。

从统计数据拟合曲线可以看出每平方米阳极化耗水量为468.7L/m<sup>2</sup>。上述拟合曲线得出的结果来看,由于机加零件的影响,拟合曲线的确定系数并不是非常完美。

电镀由于镀种较多,电镀方式较多,故我们选择镀件面积最大的单位耗水量最多的进行分析,其中,镀镉的生产流程最长,单位面积耗水量最大,所以我们测量了镀镉零件的表面积和处理时的耗水量,其结果见图3。

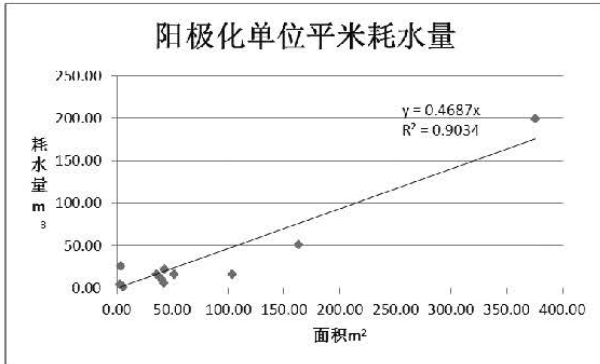


图2 阳极化每平方米耗水量曲线图

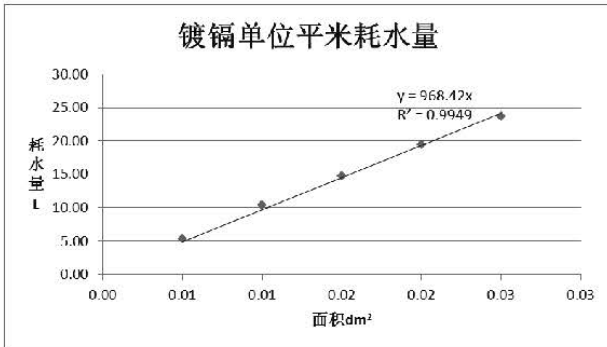


图3 镀镉每平方米耗水量曲线图

### (2) 各个工艺的批次时间计算:

批次时间计算=各个水槽使用时间+吊车运行时间+工人挂取镀件、机器停顿时间

各个批次间隔时间计算=(每天工作时间-工艺槽子使用总时间)/间隔次数

阳极化厂房批次及耗水量见表5,电镀厂房批次及耗水量见表6。

## 5.3 非槽类设备(喷淋槽)

喷淋槽用水

表5 阳极化厂房批次及耗水量

阳极化	耗水量 L/m <sup>2</sup>	次/天
	468.7	6

表6 电镀厂房批次及耗水量

电镀耗水量	耗水量 L/m <sup>2</sup>	次/天
镀锌	192.06	7
滚镀锌	396.19	5
镀铬	161.78	6
镀镉	968.42	8
磷化出光	60.72	16

喷淋槽最大日耗水量=批次×喷头个数×喷头流量×喷放时间

喷头个数——根据槽体内同时开放喷头个数确定

喷头流量——根据喷头压力及喷头流量系数确定

喷放时间——根据工件清洗时间确定

## 6 新计算方式与老计算方式的实际计算比较

通过实际测算的计算方式与原老计算方式的比较可以看出,新的计算方式与老的计算方式对比更加省水也与零件结合更紧密,详见表7(见下页)。

## 7 结语

通过上面的结果比较可以看出,新的计算方式与实际用水量更加接近,阳极化由于机加零件以及数据量的影响与实际仍有差距,但是相比于传统计算公式更加合理。采用新的计算方式可在符合生产的情况下更加节约用水,节省基建费用。

## 参考文献

- [1] 沈品华, 现代电镀手册——机械工业出版社。
- [2] 涂锦葆, 电镀废水治理手册——机械工业出版社。

表7-1 新旧计算方式结果

序号	设备名称	简要规格	槽液容积 $m^3$	原计算公式每天用水量 $m^3/d$	新计算公式计算水量 $m^3/d$	实际耗水量 $m^3/d$
2	碱洗槽液后温水槽	12000×1300×2500	34.56	23.04	2.81	0.033
4	碱腐蚀槽后冷水槽	12000×1300×2500	34.56	23.04	2.81	0.147
6	出光槽后冷水槽	12000×1300×2500	40.32	26.88	2.81	0.28
17	硫酸阳极化后冷水槽	12000×1500×2500	40.32	26.88	2.81	1.49
23	钝化槽后冷水槽	12000×1300×2500	40.32	26.88	2.81	0.058
			190.08	126.72	16.87	2.015

表7-2 新旧计算方式结果

序号	设备名称	简要规格	槽液容积 $m^3$	原计算公式每天用水量 $m^3/d$	新计算公式计算水量 $m^3/d$	实际耗水量 $m^3/h$
2502	除油后温水洗	2000×800×1200	1.54	4.11	2.17	0.776
2504	电解除油后冷水洗	2000×600×1200	1.1	2.93	2.17	7.008
2510	活化后冷水洗	2000×600×1200	1.1	2.93	2.17	2.08
2512	闪镀镍后冷水洗	2000×600×1200	1.1	2.93	2.17	3.68
2514	浸氟后冷水洗	2000×600×1200	1.1	2.93	2.17	1.76
2519	回收后冷水洗	2000×600×1200	1.1	2.93	2.17	4.32
2524	回收后冷水洗	2000×600×1200	1.1	2.93	2.17	0.336
2526	硝酸出光后冷水洗	2000×600×1200	1.1	2.93	2.17	0.152
2529	钝化后冷水洗	2000×600×1200	1.1	2.93	2.17	0
2530	温水洗	2000×700×1200	1.32	3.52	2.17	0.288
			25.52	31.09	21.68	20.4

# 常见电气火灾监控系统报警案例分析

■ 周彬 丁杰 [电气]

**摘要:** 电气火灾是工业建筑和民用建筑中常见的问题,由供电线路绝缘损坏引起的剩余电流对于潜在火灾危害及人身间接接触电击都不可忽视。本文首先阐述了剩余电流产生的基本原理,阐明其危害;并就施工现场中遇见的典型案列加以分析,对现场施工加以理论指导。

**关键词:** 电气火灾;剩余电流;人身电击

按照国家制造规范GB14287系列,电气火灾监控系统的监控探测器有以下三种:剩余电流式、测温式及故障电弧式。本文仅以剩余电流式电气火灾监控探测器为例,简述其在工程应用中的几个问题。我们在进行电气设计中也通常采用剩余电流式探测系统。

## 1 剩余电流的组成

采用剩余电流火灾探测器就要涉及到剩余电流的概念,在国家规范GB13955-2005中,术语剩余电流的定义为流过剩余电流动作保护装置主回路电流瞬时值的矢量和(用有效值表示)。其包括两个方面的含义:1.接地故障电流;2.对地泄露电流,接地故障电流是指由于绝缘故障而流入地的电流,对地泄露电流是指无绝缘故障从设备的带电部件流入地的电流。

采用剩余电流探测器的配电系统是TN-S型式,相线及中性线均穿过剩余电流探测器的互感器。在TN-S配电回路中,每一相对地绝缘情况基本相同,对地泄露电流幅值相同矢量和基本为零,仅有微小的对地泄露电流,见图1;当发生接地故障的情况时,相线及中性线的矢量和不在为零,其值就是接地故障电流,见图2。

在单相回路中,由于对地泄露电流不能像三相那样矢量和基本为零,因此在单相回路要考虑对地泄露电流对火灾报警系统的影响,不过在设计火灾报警系统时绝大部分情况下是在低压屏出

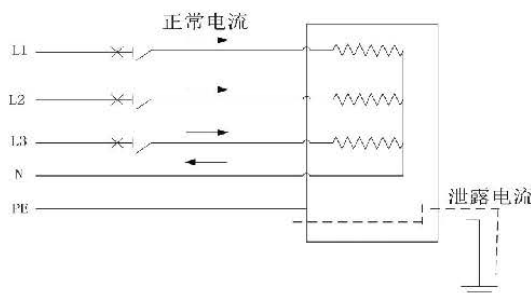


图1 TN-S型式正常电流与泄露电流

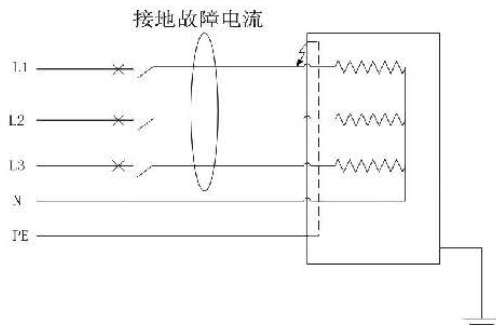


图2 接地故障电流

线处设置剩余电流探测器。配电系统采用TN-S接地型式,将相线和中性线穿过剩余电流互感器,可以测量配电回路的电流矢量和是否为零来判断回路的电气绝缘特性是否良好,剩余电流探测器的灵敏度较高,较小的剩余电流就能探测出来而进行报警,提醒人们对报警回路进行检查排除隐患,更换电缆保证配电系统的安全。

## 2 接地故障引起电气火灾及人身电击的危害

在配电系统中,配电回路根据用电负荷来设

作者简介:周彬,男,助理工程师,2015年毕业于北京建筑大学控制理论与控制工程专业,现就职于航空工业规划动力工程设计研究院。

计保护电器,其原则是当发生预期的短路、过负荷故障时能够及时动作与跳闸。而对于单相接地故障及非金属性接地故障,其故障电流很小往往不能引起保护电器及时动作造成故障电流热量的积累,小的接地故障变成大的故障才能使保护电器动作于切断电源,在这个过程中将会出现绝缘烧损甚至燃烧起火,如果周围存在可燃物质引起火灾的可能性更大。所以采用剩余电流电气火灾探测的方法是解决和预防电气火灾的方法之一,是一种预警装置。

同时小功率的手持式或移动式设备上当发生单相接地故障时,小功率的手持上或移动式电气设备与手掌接触,手掌因肌肉痉挛存在电击时不能摆脱故障设备的问题,此时通过大地流回变压器中性点的剩余电流就会流经人体,剩余电流达到30mA就会引发人体心室纤颤导致人身电击死亡,剩余电流动作保护器能够及时消除人身电击的危害。

### 3 装设剩余电流探测器或保护器的必要性

国家相关规范对剩余电流探测器和保护器也有相应的要求,《低压配电设计规范》GB50054-2011:

6.4.1 当建筑物配电系统符合下列情况时,宜设置剩余电流监测或保护电器,其应动作于信号或切断电源:

- 1 配电线路绝缘损坏时,可能出现接地故障;
- 2 接地故障产生的接地电弧,可能引起火灾危险。

6.4.2 剩余电流监测或保护电器的安装位置,应能使其全面监视有起火危险的配电线路的绝缘情况。

6.4.3 为减少接地故障引起的电气火灾危险而装设的剩余电流监测或保护电器,其动作电流不应大于300mA;当动作于切断电源时,应断开回路的所有带电导体。

《建筑设计防火规范》GB 50016-2014:

10.2.7 下列建筑或场所的非消防用电负荷宜设置电气火灾监控系统:

- 1 建筑高度大于50m的乙、丙类厂房和丙类仓库,室外消防用水量大于30L/s的厂房(仓库);
- 2 一类高层民用建筑;
- 3 座位数超过1500个的电影院、剧场,座位数超过3000个的体育馆,任一层建筑面积大于3000m<sup>2</sup>

的商店和展览建筑,省(市)级及以上的广播电视、电信和财贸金融建筑,室外消防用水量大于25L/s的其他公共建筑;

4 国家级文物保护单位的重点砖木或木结构的古建筑。

《建筑设计防火规范》GB 50016-2014对于剩余电流探测器要求较为宽泛,仅规定了宜安装电气火灾监控系统的场所,并没有规定具体的设置要求。《低压配电设计规范》GB50054-2011规定较为具体,不仅规定了当配电系统符合何种情况下需要装设剩余电流监测或者保护电器,而且规定了动作电流值不应大于300mA。

## 4 几个现场工程中剩余电流式电气火灾监控系统施工问题分析

### 4.1 N线与PE线反接

上海临港某项目变电站低压屏1D1-2(所供下级配电箱1AL2)电气火灾监控系统(剩余电流式电流火灾监控探测器)报警,低压屏出线L1相、L2相、L3相和中性线放入电流互感器的检测线圈,测出剩余电流7.51A(见图3)。配电箱1AL2为普通照明配电箱,一路电源供电。如果是正常的泄露电流一般在十几毫安以下,现场用摇表检测1AL2进线电缆及出线线缆的绝缘情况,每个配电回路绝缘均符合要求,排除接地故障的可能。1AL2为照明配电箱位于二层,现场先把所有1AL2出线回路断开,分别合闸每一个出线回路,每次只有一个出线回路带电运行(配电箱打开时只有1L1、7L1、8L2、9L3和10L1处于合闸状态),检测此时的线路剩余电流情况(进线L1相、L2相、L3相和中性线放入电流互感器的检测线圈),测出1L1剩余电流7.2A、7L1剩余电流25mA、8L2剩余电流13mA、9L3剩余电流28mA、10L1剩余电流28mA。通过检查1L1回路,发现N线和PE线在灯具进线处反接,纠正之后漏电报警消除,正确接线见图4。电气线路施工时接线要做到正确无误,严禁N线与PE线反接。

### 4.2 ATSE两路电源中性线未接入进线端、出线端串接

上海临港某项目低压屏2D9-3(所供下级配电箱1AT1)电气火灾监控系统(剩余电流式电流火灾监控探测器)报警,配电箱1AT1为变电所负荷供电,采用双路电源末端互投,ATSE为4P开关。把低压屏出线L1相、L2相、L3相和中性线放入电流



图3 测试电流



图5 火灾监控探测器所测漏电电流

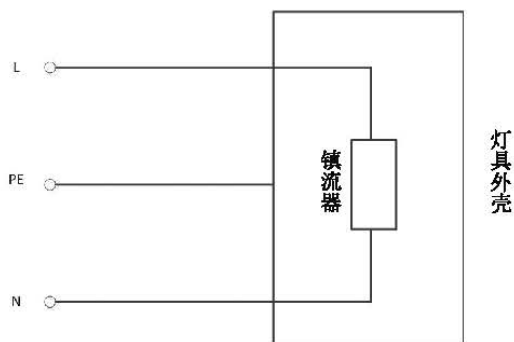


图4 灯具正确接线图

互感器的检测线圈，测出漏电电流1.51A(见图5)。

现场把配电箱1AT1出线回路全部断开，低压屏漏电报警解除。用摇表检测1AT1进线电缆及出线线缆绝缘均符合要求，分别合闸1AT1出现回路，此时无论哪一个出线回路处于合闸状态，用电流互感器检测出线漏电情况均小于30mA，而低压屏电气火灾监控系统均报警，配电出线线缆排除故障。仔细检查配电箱1AT1内部接线情况发现进线双路电源的中性线并没有接入ATSE的进线端子，而是直接在ATSE出线端子相连接(见图6)。因此只要配电箱1AT1出线有负载带电运行，就有一部分中性线电流经过另一路电源中性线返回变压器中性点，主供电源低压屏回路必定报警。对于双路电源ATSE的接线，两路电源中性线严禁不经过ATSE直接串接，错误接线见图7。

#### 4.3 桥架及导管内毛刺引起绝缘破损

现场施工发现桥架连接处毛刺情况非常普遍，施工人员有时并不打磨毛刺或者打磨的并不平整。这种情况下电缆或者电线在桥架内敷设时很容易造成绝缘的破损，进而造成线路漏电情况的发生。另外除了桥架有毛刺的情况，导管的质量也是很重要的一个方面。如果导管质量不好，断面有毛

刺就很可能造成线缆在穿管时绝缘破损引起电气火灾监控系统报警。如果经检查没有出现中性线N线与PE线反接或者ATSE两路电源中性线未接入进线端、出线端串接等情况，则很可能是配电线路绝缘破损，应该用摇表检测配电线路的绝缘，如若绝缘没有达到要求，应该更换合格电线电缆。

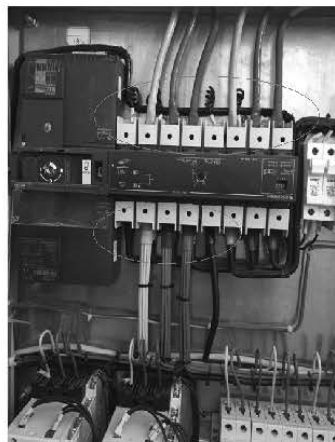


图6 现场接线图

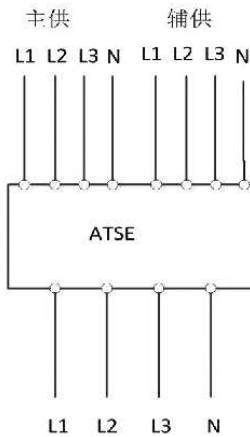


图7 ATSE正确接线图

## 5 结束语

电气线路、设备正常运行过程中产生的自然漏电电流并不会造成电气火灾的危险，TN-S系统相线或者中性线对地发生接地故障，很可能引起火灾及电击事故。电气火灾监控系统对于建筑物的防火起着至关重要的作用，在进行电气施工时电气线路接线正确，桥架及导管断面光滑无毛刺，造成电气火灾监控系统(剩余电流式电流火灾监控探测器)报警，这样就起不到电气火灾监控的目的，因此电气线路接线正确、导线绝缘质量达到国家的标准要求，对于采用剩余电流式电流火灾监控探测器电气火灾监控系统正常工作达到电气火灾监控目的起着至关重要的作用。

剩余电流探测系统也存在着一定的不足之处，即其同时检测接地故障电流、线路对地电容电流、设备正常运行的泄露电流，当系统中设备对地泄露电流较多时，会造成误报警。电线电缆随着使用时间的延长，绝缘老化也在随之进行，泄露电流在逐渐上升，同时缺少泄露电流达到何值时线路绝缘认定为不合格的国家标准。线缆对地电容电流在三相时矢量和基本为零，但是在单相时就不能不考虑泄露电流的影响，这些都是相关剩余电流式电气火灾监控设备生产商需要考虑解决的问题。

# 压缩空气系统节能方案探讨

■ 李彬彬 杨丽莉 [动力]

**摘要:** 压缩空气作为“第四能源”，其具有清洁、安全、调节性能好、使用便捷，输送方便等特点，可驱动各类设备工具运转工作，在工业领域的应用愈发广泛。随着国内环保要求的提高，政府对提高电机系统运行效率越发重视，企业也开始积极寻求降低压缩空气系统能耗的方法。本文以某大型厂房的压缩空气系统为实例，结合厂房内需求及生产现状，针对压缩空气系统中空压机、干燥器、输配管网等环节分析系统中的节能潜力，对节能方案进行探讨，给予节能措施。

**关键词:** 压缩空气；运行策略；节能减排；干燥装置

## 0 前言

压缩空气是工业领域应用最广泛动力源之一，其具有清洁、安全、调节性能好、使用便捷，输送方便等特点，可驱动各类设备工具运转工作，享有“第四能源”之称。我国的压缩机耗电量约占全国耗电量的9.4%，压缩空气系统的能耗在机械工业中占据了10%~40%<sup>[1]</sup>。近年来，随着国内环保要求的提高，控制能源消耗，减少环境污染，政府对提高电机系统运行效率越发重视，企业也开始积极寻求降低压缩空气系统能耗的方法。我国压缩空气系统的节能有着巨大的节能潜力，压缩空气站节能对我国的节能减排有着重要意义。本文将针对某厂的压缩空气系统现状进行分析，对节能方案进行探讨。

## 1 厂房的压缩空气系统构成

一个完整的压缩空气系统通常由空气压缩机（以下简称空压机）、储气罐、干燥过滤设备、输配管道、末端用气设备等组成。现以某厂压缩空气系统现状分析，其工艺需求耗气量约为70m<sup>3</sup>/min，气质要求：固体颗粒尺寸<0.1mm，

浓度<0.1mg/m<sup>3</sup>，压力露点≤-20℃，总含油量≤0.01mg/m<sup>3</sup>，用气压力0.4~0.6MPa。

该厂房采用自建空压站，站内目前设置两台喷油螺杆空压机，工频运行，单台排气量38.8 m<sup>3</sup>/min，排气压力0.85MPa，功率250kW，两台空压机共用1台储气罐，经两台Q=42m<sup>3</sup>/min的无热吸附式干燥装置处理后输送至厂房用气点。空气经空压机压缩后经过储气罐，进入干燥过滤装置除去固体颗粒、水分、油滴，达到生产所需的要求后由管网输送至各用气点。压缩空气系统原理见图1。

根据压缩空气系统构成，本文分别从空压机（气源），干燥装置，输配系统的角度对节能潜力进行分析研究，给出降低系统能耗的措施。

## 2 空压机能耗分析

### 2.1 空压机类型分析

常用的空压机类型有活塞式、螺杆式、离心式。对于一般空压机，活塞式功率范围是：≤560 kW，螺杆式功率范围是：2.2~630kW，离心式：≥250kW。各类型空压机压缩机的机组输入比功率见表1。

除能耗比较外，三种空压机各自有其优缺点。（1）活塞式：优点为压力范围广，气量调节时排气压力不受影响，一次投资及运行费用低等；缺点是机器体积大且重，结构复杂，易损件

作者简介：李彬彬，男，助理工程师，2015年毕业于北京建筑大学供热、供燃气、通风及空调工程专业，现就职于航空工业规划飞机工程设计研究院。



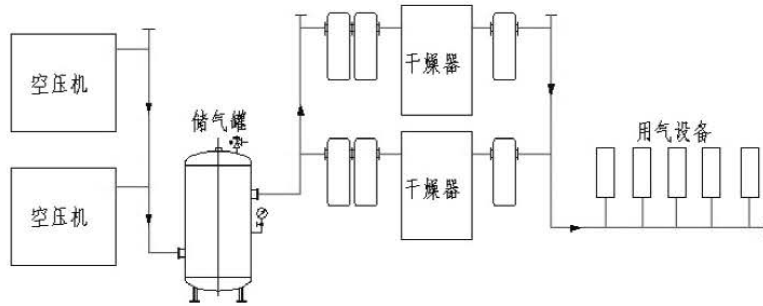


图1 压缩空气系统原理图

多，检修周期短，振动及噪声大，运行平稳性差等。(2) 螺杆式：优点为机器结构紧凑，重量轻，机器易损件少，运行平稳，安全可靠，排气量稳定，排气温度低等；缺点是只适用于中、低压范围。(3) 离心式：优点为转速高，气量大，易损件少，维护简单，压缩空气不受润滑油污染等；缺点为，小排气量时易喘振，制造和维护的成本较高等。

经比较分析，在相同排气量下螺杆式空压机能耗最高，活塞式与离心式更加节约能耗。但是结合该厂房具体生产现状，活塞式空压机由于其结构复杂、易损件多、维修工作量大等方面的缺点，目前常用于高压范围，不建议在本项目中使用；离心式空压机虽然能耗更小，并能满足无油工况需求，但由于其机组有单价过高，并且调节性能较差，小排气量工况易喘振等缺点，并且在该项目用气需求下，离心机组的初投资将会导致改造成本过高，所以不建议使用。而螺杆式空压机虽能耗稍高，但其运行特点适合实际需求，因此方案仍建议采用螺杆式空压机供气。

## 2.2 运行策略分析

对于多台空压机并联运行的系统，保持只有一台空压机处于部分负荷状态起调峰作用，其他空压机均处于满载状态时，系统运行效率最高。根据实地考察，目前厂房内两台空压机大部分时间都共同处于部分负荷工作。低负荷运转会明显降低系统运行效率，压缩机若在70%负荷下运行，耗能是正常的1.3倍，50%负荷下运行，耗能

是正常的1.7倍，负荷进一步降低，效率将急剧下降<sup>[2]</sup>。

解决问题关键是实现空压机变负荷运行，可以将现有一台工频空压机更换为变频空压机，或增加一台变频器，使气源变为一变频一工频机组配套供应。工频空压机作为主空压机在工作中始终加载运行，变频空压机负担系统流量及压力调节。改装后系统的节能可体现在：

- (1) 控制系统压力，减少无谓的功率消耗；
- (2) 减少加卸载频次，根据实际需求供应压缩空气。目前小于315KW的电机变频调速已经非常成熟，针对该厂房，使用变频空压机可以节约系统3%~5%的能耗。

## 3 干燥器能耗分析

目前压缩空气系统常用的干燥装置可分为冷冻式干燥器和吸附式干燥器，吸附式干燥器又分为无热再生型、微热再生型、外加热鼓风再生型及压缩热再生型。其中冷冻式干燥器受限于本厂房工艺对成品气的露点需求，因此方案将在其余几种干燥器形式中选择。

根据该厂房空压机参数选择不同干燥器计算其能耗及费用，以处理气量 $Q=42\text{m}^3/\text{min}$ 为例，其空压机功率 $N=250\text{KW}$ ， $P=10\text{bar}$ ，每天工作24h，每年工作300天，每度电按0.9元计算，计算数据如下：

(1) 无热再生：能耗全部为成品气，约占处理气量的15%。

$$(250\text{KW} \times 15\%) \times 24\text{h} \times 300\text{d} \times 0.9\text{元} = 24.3\text{万元/年}$$

(2) 微加热再生：吸附周期按4h，再生气量按8%，加热器功率18KW，加热时间2.5h，吹冷时间1.3h，泄压、均压、待命时间0.2h。

$$(250\text{KW} \times 8\% \times 3.8\text{h} + 18\text{KW} \times 2.5\text{h}) \times 6\text{次} \times 300\text{d} \times 0.9\text{元} = 19.6\text{万元/年}$$

表1 各类型空压机压缩机的机组输入比功率表

机型	活塞式				螺杆式				离心式
	22	55	132	560	22	55	132	355~630	355~630
功率kW	22	55	132	560	22	55	132	355~630	355~630
机组输入比功率 kW/(m <sup>3</sup> /min)	7.57 (F)	7.21 (F)	6.00	5.87	8.40 (F)	7.90 (F)	7.20	6.4	≤5.5

(3) 鼓风外加热: 吸附周期6h, 再生气量3%, 再生用气时间(吹冷)2.3h, 加热器功率24KW, 加热时间3.3h, 鼓风机功率5.5KW, 开机时间3.5h, 泄压、均压、待命时间0.2h。

$(250\text{KW} \times 3\% \times 2.3\text{h} + 24\text{KW} \times 3.3\text{h} + 5.5\text{KW} \times 3.5\text{h}) \times 4\text{次} \times 300\text{d} \times 0.9\text{元} = 12.3\text{万元/年}$

(4) 压缩热: 吸附周期4h, 再生气损耗2%, 用气时间1.5h, 余热再生时间2.3h, 泄压、均压、待命时间0.2h。

$(250\text{KW} \times 2\% \times 1.5\text{h}) \times 6\text{次} \times 300\text{d} \times 0.9\text{元} = 1.21\text{万元/年}$ 。

对于不同类型的干燥器, 其各自特点整理见表2。

由此可见, 该厂房使用外加热吸附式干燥器及压缩热再生干燥器可以显著降低干燥过滤步骤的能耗, 其中压缩热再生干燥器节能表现尤为明显。但压缩热再生式干燥器要求空气无油, 且排气温度较高时才可进行工作。其原理是空压机压缩后的高温压缩空气先进入再生塔, 带出水份后经冷却分离、再进入吸附塔脱水。若空压机排出气体带油, 在高温下油蒸气无法实现冷凝和过滤除油, 因此喷油螺杆和有油润滑活塞空压机都要先将排出的高温气冷却至常温后进行过滤除油, 然后才能进入后置吸附式干燥器, 而这又将导致空气温度不足, 再生效果降低。综合考虑, 选择外加热鼓风再生干燥器是最优选择。

#### 4 输配管网系统能耗分析

经分析该厂房工艺需求, 该厂房内用气点分为设备用气及吹扫用气, 用气设备的用气压力为0.5~0.6MPa, 而吹扫用气压力只需达到0.4MPa即可, 但空压机设定排气压力为0.85MPa。考虑到系统内的干燥过滤装置及管网输送压损, 以及用气负荷较大时导致的系统压力波动, 用户通常会将排气压力设置按照系统压力负荷波动的最大值人为提高, 以保证用气末端的安全生产, 但这也往往造成了更高的系统能耗。图2为压缩空气负荷波动与空压机排气压力波动曲线。

根据气体压缩功公式:

$$N_z = \frac{nRT}{3600} \times \frac{K}{K-1} \times \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{K-1}{K}} - 1 \right]$$

$N_z$ —压缩功率, kW;

$R$ —气体常数, 8.314;

$T$ —温度, K;

$\frac{P_2}{P_1}$ —压缩比;

以压力1.0MPa为额定压力, 压力的变化与能耗的关系见图3。

可知, 空压机排气压力每增加0.1MPa, 空压机会多消耗约5%的能耗。压力变化越大, 耗能变化也随之变大, 而当额定压力降低时, 耗能变化幅度还将增加。因此降低系统压力是降低整个系

表2 不同类型的干燥器特点

干燥器类型	无热再生	微加热再生	鼓风外加热	缩热
优点	结构简单, 制造成本低, 操作维修方便	再生消耗气量小于无热再生型	能耗较无热、微热式低50%左右, 且能适应各种类型空压机	可以利用空压机的余热回收, 将干燥器能耗降至最低
缺点	能耗高达15~20%(再生气14%, 切换卸放2%, 无负荷调节损失3~5%)且全部为高品质压缩空气成品气	再生消耗气量仍然较大, 为6%~8%, 且增加了加热器运行所需能耗	空气含水量过大时, 则必须提高加热温度以达到要求出口露点, 将带来电加热器能耗增加、吹冷时间延长和阀门工作寿命减少等弊病。	成品气露点不能很低, 且在再生塔与吸附塔切换后一段时间内, 产品气会出现较大范围的露点漂移。
特点及使用条件	一般限制在小排量如单机每分钟10m <sup>3</sup> 以下应用	介于无热再生与鼓风外加热之间的过渡型产品, 一般用于处理量10m <sup>3</sup> ~30m <sup>3</sup> 时	拥有出色的节能效果, 一般用于30m <sup>3</sup> 以上处理量时	根据压缩热干燥器的工作原理, 只能应用于无油空压机后端

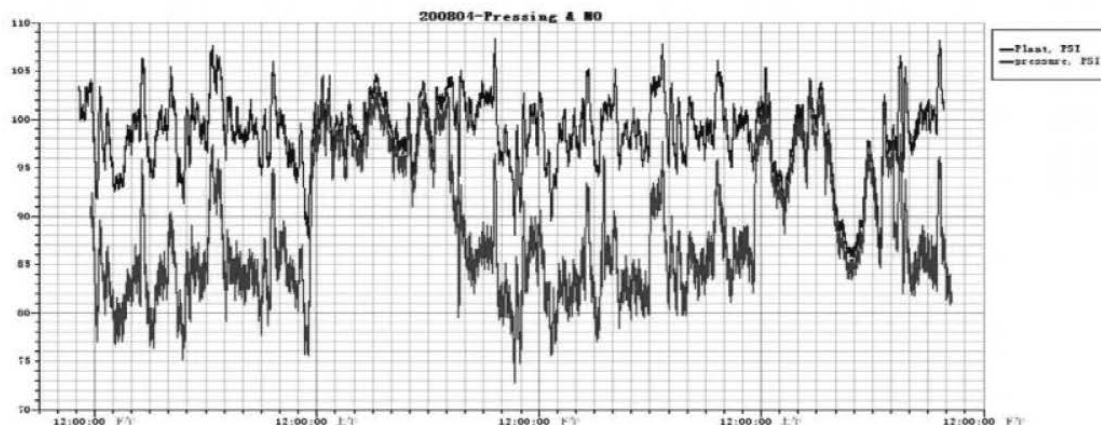


图2 压缩空气负荷波动与空压机排气压力波动曲线

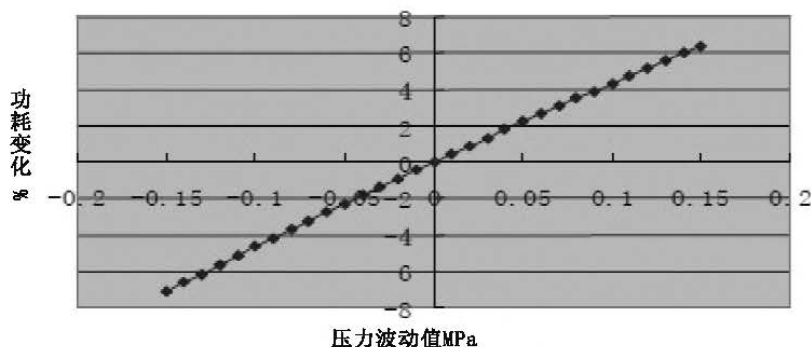


图3 压力的变化与能耗的关系图

统能耗的重要手段。

在压缩空气系统管网中增加储气设备可以减少系统处于峰值负荷的时间并延缓整个系统压力下降的速度，在保护工艺用气设备的同时可以降低空压机的初始排气压力。可在用气量较大或对压力变化比较敏感的设备附近设置储气罐，将压力稳定在较高于设备需求压力附近的范围，从而不必将空压机排气压力设置的过高。若配合变频空压机，则可以进一步将系统的压力控制的更低，使系统能耗进一步缩减。

## 5 结论

经以上分析，针对该厂的节能措施有：（1）改变空压机运行策略，工频空压机与变频空压机配合使用；（2）将原无热再生吸附式干燥装置更换为外加热再生吸附干燥装置；（3）在管道系统末端加装储气罐进行稳压。

压缩空气系统属于高耗能系统，系统的节能

潜力很大，可以从设备选型，运行策略控制，管网压力波动控制给予节能调整。本研究结合现有厂房内各方面特点，按照经济性、可操作性给出了适合该企业的节能方案：对于气源端，空压机及干燥器均可更换为更加节能的设备，如变频螺杆空压机及外加热吸附式干燥器，末端管网可增加储气罐保证管网压力稳定；同时随时调整供气参数及设备运行策略，使系统处于最佳工作状态。根据理论计算，节能效果显著，并且初始投资可以在短期回收。

## 参考文献

- [1] 秦宏波.工业压缩空气系统优化潜力研究.流体机械, 2010年.
- [2] 李红梅.工业压缩空气系统的节能评估及改造技术.中国工程咨询, 2016年.

# 现场总线技术在数字化垃圾焚烧电厂的应用

■ 李江 苏丹 (电气)

**摘要:** 近年来,“数字化电厂”这一概念备受关注。数字化电厂是将生产的整个过程及相关的信息进行数字化处理,利用信息技术进行可靠的信息化交换,并实时的共享资源。本文介绍了现场总线的特点,并结合某垃圾焚烧电厂项目的热控设计,阐述现场总线技术在数字化垃圾焚烧电厂项目的应用和效益。

**关键词:** 现场总线技术;数字化电厂;垃圾焚烧电厂;FF总线;PROFIBUS-DP总线

## 0 引言

随着控制技术、通信技术和计算机技术的飞速发展,数字化作为一种趋势正在从工业生产过程的决策层、管理层、监控层和控制层发展到现场设备。现场总线的出现,使数字通信逐步占领了工业过程控制系统中模拟量信号的最后一块领地。一种全数字化、全开放式的、可互操作的新型控制系统——现场总线控制系统正向我们走来。

## 1 现场总线控制系统概述

### 1.1 现场总线系统的特点

根据国际电工委员会(IEC)和美国仪表协会(ISA)的定义,现场总线是连接智能现场设备和自动化系统的数字式、双向传输、多分支结构的通讯网络,其最主要的标志是能够支持多节点、双向、总线型的全数字信号通讯,与现场智能设备共同组成现场总线系统。

### 1.2 现场总线技术的优势

#### (1) 系统的开放性

现场总线的目标是构建一个统一且开放的工厂底层网络系统。采用更具开放性的解决方案,使用者可以根据自身需要,尤其是在需要添加现场总线型设备时,可以布置在最方便、最适合的位置,并连接在现场总线控制系统的网端上。

#### (2) 互操作性与互用性

互操作性是指实现相连设备间、系统间的信息传送与沟通,而互用性的意思是不同厂家的功能相似的设备可实现互相替换。使用者可根据需求选择不同的生产的设备,并使它们满足用户统一要求的规范和标准,通过调试和检测即可进行不同厂家的设备间的交互操作。

#### (3) 数字化

现场总线系统传输的是数字信号,省去了数模转换和模数转换,传输的信息量也得到很大提升。此外,数字化传输方式的抗干扰能力强,从而降低误差,提高系统的稳定性和可靠性。

#### (4) 现场设备的智能化

现场总线设备将测量、计算、处理和控制等功能分配到现场设备中完成,仅靠现场设备即可完成自动控制和调节的基本功能,并可随时诊断设备的运行状态,在整个系统中缩短了控制和检测的周期。同时还可以对现场设备进行远程诊断和维护,发现问题和故障可以及时处理,提升控

作者简介:李江,男,助理工程师,2013年毕业于美国西雅图大学电气工程专业,现就职于航空工业规划市政工程设计研究院。

制系统的可靠性。

#### (5) 系统结构的分散性

现场总线系统是一种完全分散式的控制系统，彻底改变了集中和分散相结合的DCS控制体系，简化了系统结构，并提高了稳定性。

#### (6) 成本低

原本很多根普通控制电缆减少为一根总线电缆，随之而来的接线端子和电缆桥架等安装附件也大幅度减少，同时还减少了控制系统的卡件数量和机柜数量，缩短了安装调试时间，各阶段的成本都大大降低。

### 1.3 常用现场总线简介

国际电工委员会(IEC)制定的现场总线规格有十多种，但实际广泛应用于数字化电厂的有两种，分别为FF现场总线和PROFIBUS现场总线。

#### (1) FF现场总线

基金会现场总线，即Fieldbus Foundation，简称FF。FF总线以ISO/OSI开放系统层上增加了用户层。用户层主要针对自动化测控应用的需要，定义了信息存取的统一规则，采用设备描述语言规定了通用的功能块集。由于这些公司是该领域现场自控设备发展方向的能力，因而由它们组成的基金会所颁布的现场总线规范具有一定的权威性。基金会现场总线分低速H1和高速H2两种通信速率。H1的传输速率为31.25kbps，通信距离可达1900m(可加中继器延长)，可支持总线供电防爆环境。H2的传输可为1Mbps和2.5Mbps两种，其通信距离分别为750m和500m。

#### (2) PROFIBUS现场总线

PROFIBUS是过程现场总线(Process Field Bus)的缩写，于1989年正式成为现场总线的国际标准。在多种自动化的领域中占据主导地位，全世界的设备节点数已经超过2000万。它由三个兼容部分组成，即PROFIBUS-DP、PROFIBUS-PA和PROFIBUS-FMS。其中PROFIBUS-DP应用于现场级，它是一种高速低成本通信，用于设备级控制系统与分散式I/O之间的通讯，总线周期一般小于10ms，使用协议第1、2层和用户接口，确保数据传输的快速和有效进行；PROFIBUS-PA适用于过程自动化，可使传感器和执行器接在一根共用的总线上，可应用于本质安全领域；PROFIBUS-FMS用于车间级监控网络，它是令牌结构的实时多主网络，用来完成控制器和智能现场设备之间的通信以及控制器之间的信息交换。

## 2 现场总线技术在数字化垃圾焚烧电厂中的应用

在垃圾焚烧电厂中，主控系统与辅助控制系统已普遍采用总线通讯技术，但现场总线设备的采用并不多见。下面，结合北京某垃圾焚烧电厂项目，谈一下现场总线在数字化垃圾焚烧电厂中的应用。

### 2.1 项目概况

该垃圾焚烧发电厂项目的垃圾日处理量为3000吨，设置4台750t/d垃圾焚烧炉和2台30MW抽汽凝汽式汽轮发电机组及其配套设施。本工程采用集中监视、分散控制的控制方式。设立一个中控室，布置在主厂房的主控及展示区的三层，二层为电缆夹层。在主控及展示区三层电子设备间内安装汽机机柜、电气机柜等，在焚烧间设置锅炉就地机柜室，在综合水处理厂房设置水处理控制室，另设置垃圾吊、渣吊控制室安装设备配套的控制系統。

该项目采用可靠性高、技术先进的集散控制系统(DCS)为核心，完成对垃圾焚烧锅炉、烟气净化系统、汽机发电机组、除氧系统及其它辅助系统的集中监视和分散控制、异常工况的紧急处理和停机，保证机组安全经济运行。控制系统采用现场总线技术，以成熟的DCS为基本系统，无缝嵌入现场总线网络通信模块，形成现场总线的各级网络，连接现场总线仪表、设备，实现数据采集、控制和设备驱动。

### 2.2 总线网段划分

该项目的现场总线类型采用了PROFIBUS-DP总线和FF(H1)总线(这两种总线在该项目中的采用原则见2.4节)。PROFIBUS-DP总线的网段上的所有设备由DP电缆串联起来，通讯速率与串行通讯距离成反比。因此，想达到比较理想的传输速率，电缆敷设距离不得过远。垃圾焚烧电厂相较于大型火力发电厂和化工厂总体规模要小不少，厂房面积相对较小，设备布置也就相对集中，这一特点使垃圾焚烧电厂相对来说更适合采用现场总线技术。该项目的PROFIBUS-DP总线的传输速率要求在500kbit/s以上，也就是每个网段的DP电缆敷设距离不得超过400m，这对于垃圾焚烧电厂来说，是很容易满足的。FF总线的传输速率虽然不随传输距离的远近而改变，但FF总线需要设置现场采集盒，采集盒到现场仪表

的电缆长度尽量不要超过30m,这同样很适用于垃圾焚烧电厂设备集中的特点。

网段的划分主要遵循两个原则,一是满足工艺要求,二是就近原则,前者优先于后者。

所谓满足工艺要求,主要是根据工艺流程及控制要求,将一些相关的设备分配在不同的网段上。这么设计是为了避免由于一个卡件的故障导致相关设备全部失控。该项目的活性炭喷射系统中,两台罗茨风机为一用一备,这两个风机虽然离得不远,但也一定要分配在不同的网段上,以保证两台风机在任一所属的网段出现问题时,另一台可以保证正常运行。类似这种有主备或者并列运行的工艺需求,都需要注意网段的划分。

在满足工艺要求的前提下,要尽量满足就近原则,也就是同一网段的设备不要离得太远。对于FF总线,同一网段的设备需通过电缆接入现场采集盒,将比较集中的设备设计在同一个网段上,采集盒的布置就可以更有针对性,充分体现采集盒的作用,节省了电缆的用量,方便了电缆的敷设。PROFIBUS-DP总线更加需要遵循就近原则,其传输速率与传输距离相关,把邻近的一些总线设备设计在一个网段上,可以降低该网段的传输距离,也就提高了传输速率。遵循网段划分的就近原则需要设计者对设备的具体位置非常了解,该项目对全厂进行了三维建模,可以很直观、立体地展现设备的布置。余热锅炉有很多总线仪表和电动阀门,左右两侧的设备显然要划分在不同的网段,通过三维建模,可以很方便的将不同高度,不同区域的设备做进一步划分,并分配到不同的网段。在划分过程中,注意到用于检测垃圾进料斗料位的雷达料位计的安装位置离其他FF总线设备距离较远,针对这种情况,网段设计有两个方案,一种是选用传输信号为4~20mA的料位计,不采用FF总线型料位计;另一种是新增一个网段,也就要增加FF卡件和采集盒。两种方案各有利弊,前者相对简单且经济一些,传统的4~20mA的雷达料位计在实际应用中也是很可靠的,同样可以达到功能要求,但毕竟不是总线设备;后者由于增加了卡件和采集盒,且仅供一台仪表使用,成本相对较高,但成本不能完全以安装时的成本来衡量(后文中有介绍),而且总线仪表相较传统仪表是有很多优势的。目前并没有确定方案,无论最后采用哪种方案,都是遵循了网段划分的就近原则,不能因为数量少就将距离远的总线设备与其他总线设备划分在同一个网段。

## 2.3 总线电缆敷设及接线

该项目对总线电缆的敷设要求很高,为总线电缆设计专用桥架,不允许出现动力电缆或普通控制电缆与总线电缆共桥架的情况。在焚烧间、汽机间、中控室电缆夹层等区域设计了三层桥架,最上层敷设动力电缆,中间敷设普通控制电缆,最下层敷设总线电缆,这就很好地避免了其他电缆对总线信号的干扰。在一些电缆竖井里,动力电缆和普通控制电缆共桥架,并与总线电缆桥架平行安装,这种情况需将动力电缆在远离总线电缆桥架的一侧敷设,普通控制电缆与动力电缆用隔板隔开敷设在另一侧。同时,两个桥架应尽量远离,相隔距离不少于200mm。由于PROFIBUS-DP总线设备是通过DP电缆串联起来的,因此DP电缆的敷设应规划好路由,保证DP电缆总长度尽量短,不要出现电缆走向“东一榔头,西一棒子”的情况。对于DP电缆来说,还有个特殊要求,两个DP总线设备间的电缆长度必须大于1m。根据项目实际情况,发现现场设备由于距离不会很近,且电缆可敷设的空间较大,大于1m的要求容易满足。但在开关柜处,尤其是马达保护器之间的DP电缆,只能尽量绕大圈将DP电缆固定在柜子里以满足大于1m的要求。

总线电缆的接线同样对防干扰来说是很重要的,建议在设计说明中或施工交底时交代总线电缆的接线安装注意事项。FF电缆在机柜侧接线时,电缆内层护套尽可能地保留到接线端子处。绞合导线接线时剥离大约12mm的绝缘层,并且要求压接冷压端头。屏蔽排流线上要安装绝缘套管,屏蔽排流线也要求压接冷压端头。在仪表内接线时,屏蔽排流线必须反折并缠上绝缘带以防止其与变送器壳体接触。这么做是因为FF总线电缆采用单点接地,仅在机柜一侧接地即可。DP电缆的接线要求则更为苛刻,DP电缆有专用的连接头,连接头可以选用不同厂家的产品,由于没有统一的标准,连接头的接线方式以厂家说明书为准。应按照说明书要求,准确拨开导线的绝缘侧、屏蔽层和保护套到各自规定的长度。本项目要求绝缘层、屏蔽层和保护层拨开长度分别为5mm、18mm和24mm。如此精确的拨线要求,一定要用DP总线专用拨线工具。另外,DP电缆采用多点接地,通过敷设额外的接地电缆构成等电势系统。本项目中,将DP电缆的屏蔽层压在连接头里的屏蔽夹上,通过连接头与设备连通,再从设备外壳引一条接地电缆与镀锌钢管相连。

## 2.4 现场总线设备的选型

本项目根据设备的重要程度来决定是否选择总线设备,简单来说,就是重要的设备选用常规设备,不是很重要的选用现场总线设备。这并不意味着现场总线设备比常规设备可靠性差,而是考虑到电厂要求采用成熟的控制系统。现场总线设备在垃圾焚烧电厂中的应用并不多,尚不算成熟,因此,本项目中的一些重要设备选用常规设备。仪表方面,用于监测锅炉出口蒸汽压力、锅炉出口烟气压力和汽包压力等重要参数的压力/差压变送器选用常规仪表。而其他一些用于监测的压力测点,如锅炉各段烟道的烟气压力等,则选用FF总线型压力变送器。电动阀门方面,本项目锅炉排污和疏水系统的阀门应业主要求均采用电动阀门,这类阀门不涉及重要的保护联锁功能,因此很适合选用PROFIBUS-DP总线型电动执行机构。本项目对于电机的控制是比较谨慎的,大部分电机依然采用硬接线的方式接入控制系统,仅将锅炉灰渣输送机和渗滤液泵纳入现场总线系统。现场总线设备,在垃圾焚烧电厂的应用还处于摸索阶段,本项目总线设备的选用已走垃圾焚烧行业在前沿。相信随着现场总线的发展和推广,现场总线设备在垃圾焚烧电厂的覆盖率会越来越高。

本项目总线设备的总线类型选择原则:检测仪表选用FF总线;分析仪表、执行机构和马达保护器选用PROFIBUS-DP总线。这个原则主要还是针对检测仪表需要上传的信息相对较少,分析仪表、执行机构和马达保护器用于监控和诊断的信息很多且更复杂而制定的。值得注意的是,热电阻和热电偶的构成简单,不需要过多信息,同时为了避免干扰温度信号的传输,本次选用传统的4~20mA信号的温度测量仪表。

## 3 现场总线在数字化垃圾焚烧电厂中的应用效益

### 3.1 现场总线系统的真正效益

很多人一提到现场总线就会联想到一根总线上可挂很多仪表,也就节省了电缆。其实并不是,FF总线虽然原则上每个网段最多可连接32台设备,但实际应用中还要考虑抗干扰和采集盒设置等问题。本项目规定FF总线每个网段仅分配8台设备。节省电缆只是总线技术的诸多优点中的其中一个,采用PLC或DCS的远程分布式I/O也可以达到

节省电缆的效果。现场总线的真正意义在于其解决了现场智能仪表与智能控制系统之间的非智能连接问题,让我们可以从现场设备获得更多丰富的信息,这才是现场总线技术的核心优越性。

### 3.2 整个生命周期的成本节约

初期的成本节约主要表现在较低的采购成本、工程设计量和安装费用。长期的成本节约则体现在智能化、网络化的设备管理所带来的较低的运行维护成本,以及较低的扩建及改造费用。

由于现场总线设备具有更多的故障自诊断功能,可以同过设备管理系统(AMS)查询全厂所有总线仪表和设备的运行情况,诊断维护信息,从而可以更早地开始分析故障原因并及时排除故障。缩短停工维修时间,节约维修费用,降低生命周期成本。北京这个垃圾焚烧电厂就用到了AMS,这是一个合格的、完整的现场总线系统所必需的。

## 4 结束语

现场总线技术的发展和应用,实现了在垃圾焚烧电厂的运行与管理中,逐步走向现代化与数字化的目标。现场总线技术可以有效地满足运行控制需求,同时实现了设备数字化的更新换代,解决了困扰数字化电厂发展的最大难题。当前,现场总线技术对于单个机组的应用还处于推广阶段,仍需在实践中不断发展创新。同时,在现场总线控制技术的发展中,也需要充分考虑到设备造价、基本功能、发展效益等问题,兼顾技术的安全性,更好地实现现场总线技术在数字化垃圾焚烧电厂中的应用。

### 参考文献

- [1] 黄冬兰,吴国琪.现场总线技术在数字化电厂中的应用范围及投资分析.工业控制计算机,2009.
- [2] 马献果,曹奇英,焦阳.现场总线技术的应用及发展.石油化工建设,2010.
- [3] 张学孟,刘智铭.数字化电厂建设的关键技术及发展.广东电力,2012.
- [4] 马玉敏.现场总线技术在火电厂的应用.华电技术,2010.
- [5] 侯子良.推广应用现场总线系统.全面实现火电厂数字化.中国电力,2004.
- [6] 毛龙祥.分散控制系统在垃圾焚烧发电厂的应用.科技风,2012.

# 新媒体传输站供配电的设计

■ 晋明华 陈泽毅 [电气]

**摘要:** 新媒体传输站建筑涉及的负荷分级较多,其中包括一级负荷与一级负荷中特别重要的负荷。在此类建筑设计中,电气专业保障其工艺用电等重要负荷用电的安全性和可靠性是项目设计的关键环节。本文通过叙述某新媒体通讯传输站供配电设计,对用电负荷、供电电源及工艺机房供电方案进行了总结,重点论述此类项目特有的UPS电源的设置及提高供电可靠性的措施。

**关键词:** 负荷等级;新媒体工艺用电;供配电系统;UPS设置

## 0 引言

电视广播对人民群众的文化生活、宣传教育、信息传递等方面有着不可替代的重要作用,建设制作和播出广播电视节目的传媒中心新媒体受到了各级政府的特别关怀和支持。在此类建筑设计中,电气专业保障其工艺用电等重要负荷用电的安全性和可靠性是项目设计的关键环节。

## 1 工程概况

通辽市新媒体通讯传输站由通辽广播电视台、通辽日报社、通辽市蒙古语影视译制中心、通辽市微波管理总站、通辽市广播电视安全播出指挥调度中心5家使用单位组成,总建筑面积4万m<sup>2</sup>。

该建筑功能格局:地下一层为台仓、库房、活动室、设备用房,地下一层夹层为汽车库。1~10层为广播电视台,由低向高分别布置电视演播区、电视制作区、广播电视播控区、广播制作区、广播直播区;10~16层为日报社,主要为新媒体主机房等设备用房、新媒体演播、编辑区、蒙文报编辑及汉文报编辑区、主要办公用房;17层南侧为微波管理总站,北侧为安全播出控制中心。

## 2 负荷等级及安全播出保障等级

### 2.1 负荷等级

本建筑为一类广播电视建筑,一类高层建筑。根据GB50016-2014《建筑设计防火规范》、JGJ16-2008《民用建筑电气设计规范》,本项目所涉及一、二级负荷见表1。

### 2.2 安全播出保障等级

按照规模和重要程度,参照《广播电视安全播出管理规定电视中心实施细则(试行)》的规定,根据所播出节目的覆盖范围,电视中心安全播出保障等级分为一级、二级、三级,一级为最高保障等级。保障等级越高,对技术系统配置、运行维护、预防突发事件、应急处置等方面的保障要求越高。

本项目从业主使用性质考虑,安全播出保障等级定为二级。

二级应设工艺专用变压器,播出负荷供电应设2个以上引自不同变压器的独立低压回路,单母线分段供电并具备自动或手动互投功能。主要播出负荷应采用UPS供电,UPS电池组后备时间应满足设计负荷工作30min以上。

## 3 电源

### 3.1 市政电源

根据GB 50052-2009《供配电系统设计规

作者简介:晋明华,男,助理工程师,2012年毕业于北京建筑工程学院自动化专业,现就职于航空工业规划设计研究院。



表1 负荷分级

用电负荷	负荷级别	依据规范
计算机系统用电, 直接播出的电视演播厅、中心机房、录像室、微波设备及发射机房用电	一级负荷中特别重要的负荷	《民用建筑电气设计规范》附录A
网络机房、通信机房、网络接入机房等	一级负荷中特别重要的负荷	《民用建筑电气设计规范》第3.2.5条“重要电信机房的交流电源, 其负荷级别应与该建筑工程中最高等级的用电负荷相同”
为网络机房、通信机房、中心机房、微波设备及发射机房服务的精密空调	一级负荷	《民用建筑电气设计规范》第3.2.4条“当主体建筑中有一级负荷中特别重要负荷时, 直接影响其运行的空调用电应为一级负荷”
语音播音室、控制室的电力和照明用电	一级负荷	《民用建筑电气设计规范》附录A
客梯用电、排污泵、生活水泵	一级负荷	《民用建筑电气设计规范》
多功能厅、节目评审室、楼梯照明用电	二级负荷	《民用建筑电气设计规范》附录A

范》第3.0.2条的规定：“一级负荷应由双重电源供电。”第3.0.3条“一级负荷中特别重要的负荷, 除应由双重电源供电外, 尚应增设应急电源, 并严禁将其他负荷接入应急供电系统。”市政电源为2路10kV双重电源供电, 当一电源发生故障时, 另一电源不应同时受到损坏。

### 3.2 内部电源

在本建筑设置柴油发电机组及UPS电源, 保证播出保障工艺及其相关空调、机房照明部分电梯的用电。

## 4 变电所设置

在地下一层设1座10kV配变电所。安装2台10/0.4kV、2000kVA干式变压器3T、4T负责工艺机房、演播厅灯光等工艺用电; 安装2台10/0.4kV、1600kVA干式变压器1T、2T, 负责其他负荷用电。

根据各专业条件, 采用需要系数法进行负荷计算见表2, 供配电系统简图见图1。

## 5 供电可靠性的措施

### 5.1 A级工艺机房供电方案

本项目A级工艺机房包括电视节目上载机房、总控机房、卫星节目收录机房、新媒体服务器机房、新闻媒资服务器机房、信号传输机房、

工艺竖井(裙楼)、广播局域网服务器机房、电视局域网服务器机房、台内办公电脑上网服务器机房、媒资管理服务器机房、电视广播播控、广播节目导播间、广播主控机房、广播分控机房、日报社主机房、微波信号传输监控中心、微波主机房、安全播出指挥调度中心传输机房、广播电视应急发射机房, 供电方案采用柴油发电机+双市电+双总线输出冗余即2N方式供电方案。其蓄电池初装容量应保证备用时间不小于30min。

#### 5.1.1 专用柴油发电机负荷统计表

在本建筑地下一层设置柴油发电机房1座, 安装2台额定电压为230/400V、700kW柴油发电机组, 保证播出保障工艺及其相关空调、机房照明及1台电梯的用电。柴油发电机负荷计算表见表3。

#### 5.1.2 UPS设置

地下一层、四层、九层、十一层、十七层UPS容量统计表见表4~表9。

### 5.2 B级工艺机房供电方案

根据广电工艺咨询意见, B级工艺机房广播节目录制间、前期编辑机房、控制室、电视节目导演室、中心机房、设备机房、电视节目制作大厅、转播车库、手机台机房、网站机房、数字化转录机房、日报社导播间、视频非线性制作间、网络视频导播间、蒙文网络导播间、后期混音室、蒙古语平台交互中心、监测监控室、节目内容监管室、直播卫星服务中心、应急广播播控室, 供电方案采用双市电+就地UPS电源(由工艺提供)供电方案(见表10)。

表2 变压器设置及负荷表

变压器容量 (kVA)	安装功率(kW)	计算负荷		
		Pj(kW)	Qj(kVar)	Sj(kVA)
1600 (1T)	2171	1244	352	1293
1600 (2T)	2127	1249	429	1320
2000 (3T)	1781	1247	657	1110
2000 (4T)	1961	1120	699	1189

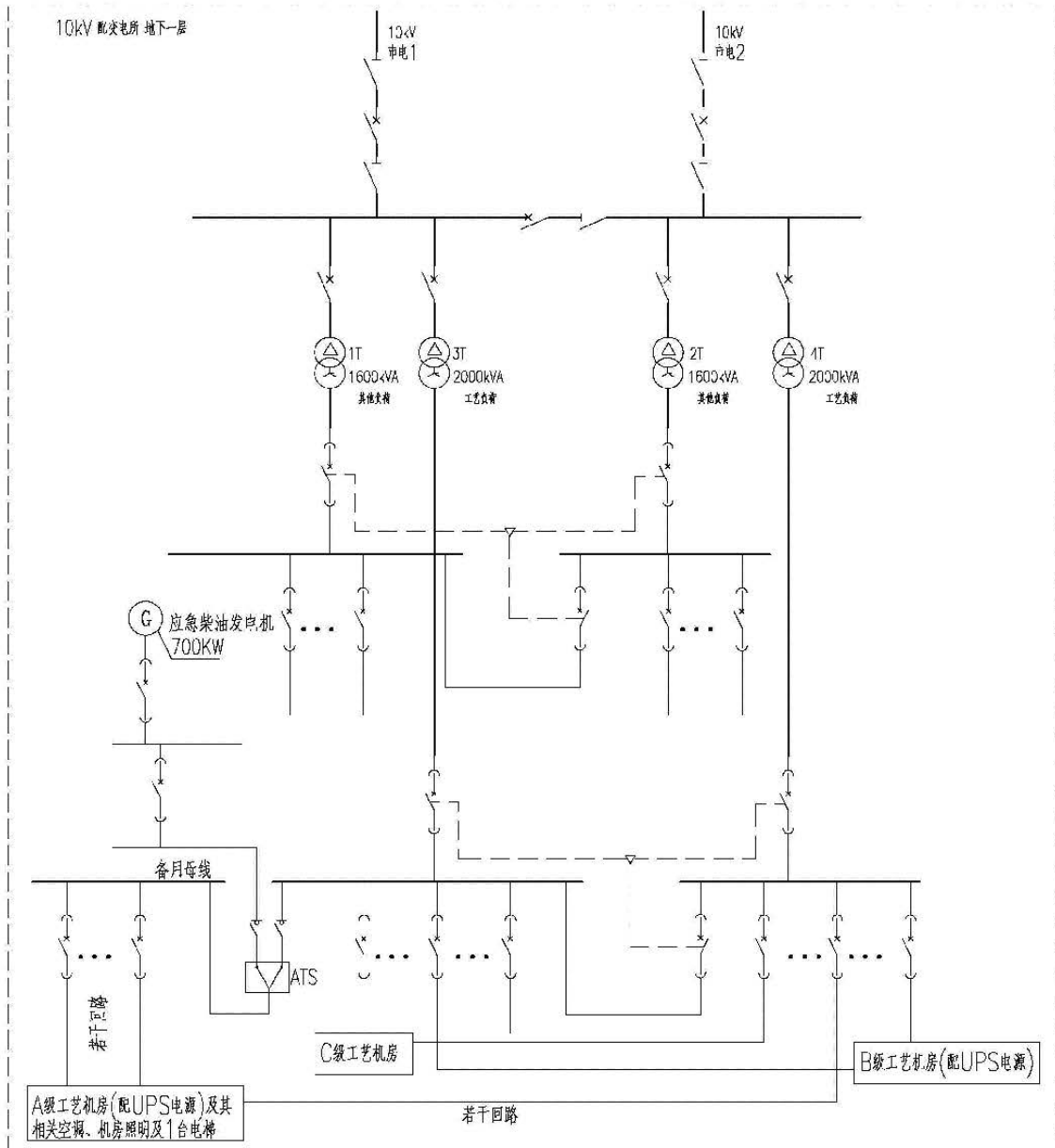


图1 供配电系统简图

不间断电源的基本容量可按下式计算：

$$E \geq 1.2P$$

式中：E—不间断电源系统的基本容量容量  
(不包含备份不间断电源系统设备) (kW/kVA)

P—电子信息设备的计算负荷 (kW/kVA)

### 5.3 C级工艺机房供电方案

根据广电工艺咨询意见，C级工艺机房节目  
评审室、调光器室、摄像机存放室、设备维修

表3 柴油发电机负荷计算表

负荷名称	安装功率
	Pe(kW)
B1F UPS 间恒温恒湿	76
1F~4F A级工艺	352
1F~4F B级工艺(柴油机带部分)	200
1F~4F A级恒温恒湿	195
1F~4F B级恒温恒湿(柴油机带部分)	90
1F~4F AB级机房照明	30
3F电视广播播控	150
5F~10F工艺	45
5F~10F空调	56
5F~10F AB级机房照明	20
11F工艺	135
11F空调	75
17F~18F工艺	90
17F~18F空调	51
17F~18F A级机房照明	20
水泵、冷却塔	12
电梯	20
合计	1617

表4 地下一层UPS容量统计表1

房间名称	间数	面积m <sup>2</sup>	设备用电量 kW	安全级别
电视节目上载机房	1	93	50	A
总控机房	1	130	65	A
卫星节目收录机房	1	68	35	A
新媒体服务器机房	1	103	55	A
新闻媒资服务器机房	1	70	50	A
信号传输机房	1	76	35	A
工艺竖井(裙楼)	4	4	3	A

根据UPS容量统计表, 设置两台500kVA的UPS。

表5 地下一层UPS容量统计表2

房间名称	间数	面积m <sup>2</sup>	设备用电量 kW	安全级别
广播局域网服务器机房	1	66.2	50	A
电视局域网服务器机房	1	173.8	50	A
台内办公电脑上网服务器机房	1	70	50	A
媒资管理服务器机房	1	68	50	A

根据UPS容量统计表, 设置两台360kVA的UPS。

表6 四层UPS容量统计表

房间名称	间数	面积m <sup>2</sup>	设备用电量 kW	安全级别
电视广播播控	1	203.4	150	A

根据UPS容量统计表, 设置两台200kVA的UPS。

表7 九层UPS容量统计表

房间名称	间数	面积m <sup>2</sup>	设备用电量 kW	安全级别
广播节目导播间	4	25	5	A
广播主控机房(控制室)	1	54.38	10	A
广播分控机房	1	25.44	15	A

根据UPS容量统计表, 设置两台90kVA的UPS。

表8 十一层UPS容量统计表

房间名称	间数	面积m <sup>2</sup>	设备用电量 kW	安全级别
日报社主机房	1	258.78	135	A

根据UPS容量统计表, 设置两台200kVA的UPS。

表9 十七层UPS容量统计表

房间名称	间数	面积m <sup>2</sup>	设备用电量 kW	安全级别
微波信号传输监控中心	1	72	10	A
微波主机房	1	60	15	A
广播电视安全播出指挥调度中心传输机房	1	32	15	A
广播电视应急发射机房	1	70	50	A

根据UPS容量统计表, 设置两台160kVA的UPS。

室、调光器室、小演播厅、导控室、审看室、光纤调配室、媒体资产磁带库、控制室、录音控制室、采用双市电供电方案。C级工艺机房负荷统计见表11。

#### 5.4 弱电机房供电方案

为蒙文报采编系统办公机房、汉文报采编系统办公机房按B级机房考虑, 采用双市电+UPS电源(“N+1”冗余运行)方式供电方案, 其蓄电池初装容量应保证备用时间不小于30min。十四层、十五层UPS容量统计表见表12、表13。

#### 5.5 线路敷设

在强电竖井内垂直敷设工艺专用金属线槽, 提高供电可靠性。

表10 B级工艺机房负荷统计表

房间名称	间数	面积m <sup>2</sup>	设备用电量 kW	安全级别
广播节目录制间	1	52.19	15	B
前期编辑机房	11	15	3	B
控制室	8	15	5	B
电视节目导演室	1	85	15	B
中心机房	1	61.6	40	B
设备机房	3	20	15	B
电视节目制作大厅	1	1775	360	B
转播车库	1	150	20	B
手机台机房	1	20	10	B
网站机房	1	20	10	B
数字化转录机房	4	30	6	B
日报社导播间	1	22.12	5	B
视频非线性制作间	1	28.61	6	B
网络视频导播间	1	25	15	B
蒙文网络导播间	1	35	5	B
后期混音室	1	50.15	10	B
蒙古语平台交互中心	1	76.25	15	B
监测监控室	1	54.8	10	B
节目内容监管室	1	30	10	B
直播卫星服务中心	1	25.6	10	B
应急广播播控室	1	25.6	10	B

表11 C级工艺机房负荷统计表

房间名称	间数	面积m <sup>2</sup>	设备用电量 kW	安全级别
节目评审室	1	87.75	5	C
调光器室	1	30	500	C
摄像机存放室	2	15	10	C
设备维修室	2	25	5	C
调光器室	1	30	200	C
小演播厅	3	200	30	C
小演播厅	1	110	30	C
导控室	1	85	40	C
审看室	1	66.4	5	C
光纤调配室	1	35	8	C
媒体资产磁带库	1	88	20	C
录音控制室	1	52.82	5	C

表12 十四层UPS容量统计表

房间名称	间数	面积m <sup>2</sup>	设备用电量 kW	安全级别
蒙文报采编系统办公机房	1	95	50	B

根据UPS容量统计表, 设置两台80kVA的UPS。

表13 十五层UPS容量统计表

房间名称	间数	面积m <sup>2</sup>	设备用电量 kW	安全级别
汉文报采编系统办公机房	1	95	50	B

根据UPS容量统计表, 设置两台80kVA的UPS。

## 6 工艺用房的应急照明设计

本项目采用采用智能消防应急照明和疏散指示系统, 安装在各防火分区内的应急电源配电装置均设置蓄电池, 其蓄电池初装容量应保证备用时间不小于90min。灯具选用LED应急照明灯具, 依据《广播电视建筑设计防火规范》

(1) 标称面积在75m<sup>2</sup>及以上的电视演播室、多功能演播厅、录音室、播音室出入口及其内走廊设置应急照明灯, 最低水平照度不应低于5.0lx。

(2) 工艺设备控制室、候播厅、化妆室、布景间、餐厅及其出口设置应急照明灯, 最低水平照度不应低于5.0lx。

(3) 建筑面积在50m<sup>2</sup>以上的录音室、演播室、多功能演播厅、餐厅、休息厅、候播厅、化妆室等的疏散出口设置灯光疏散指示标志。

(4) 多功能演播厅、餐厅等人员密集场所的主要疏散路线的地面或靠近地面的墙上应设保持视觉连续的发光疏散指示标志。

## 7 工艺接地系统设计

本工程设独立的工艺接地系统。导控室、控制室、直播室、工艺机房等处设置工艺接地端子排, 每个房间内的设备集中接在本房间的接地端子排上, 所有设备和机柜必须接地。

(1) 接地电阻要求

工艺用房处接地系统接地电阻小于 $1\Omega$ 。

(2) 接地干线做法

工艺接地干线采用WDZ-B(F)E-300mm<sup>2</sup>电缆，引接自工艺竖井内土建预留接地端子箱。工艺接地干线沿线槽敷设至工艺竖井，并与工艺竖井内每层设置的接地端子箱联接。由各层工艺竖井内接地端子箱引出工艺接地支线，采用WDZ-B(F)E-70mm<sup>2</sup>电缆，沿线槽引至房间内工艺接地端子排。

(3) 机柜、机架、控制台接地做法

由工艺接地端子排引出工艺接地线（WDZ-B(F)E-35mm<sup>2</sup>），与敷设于机柜、机架、控制台下方的汇流排联接。汇流排采用25mm×3mm紫铜带，由汇流排就近引出WDZ-B(F)E-6mm<sup>2</sup>接地线至机柜、机架、控制台接地点。

(4) 工艺接地系统的绝缘

为保持工艺接地系统的相对独立性，需要与其它接地系统作绝缘处理。汇流排采用绝缘橡胶包裹，工艺接地端子排通过绝缘子固定在箱体内或防静电地板下，机柜、机架、控制台等的固定处采取绝缘处理。

(5) 工艺供电系统接地形式TN-S型。机房、控制室内工艺末端配电箱设双PE排，随电源敷设的PE线端接在末端工艺配电箱处，机房内设备电源接工艺接地PE排，实现安全接地。工艺接地系统图见图2。

8 结束语

(1) 为保障工艺负载等特级负荷供电可靠性，除市政双路电源外，还需设置备用柴油发电机组、UPS电源等内部应急电源。

(2) 根据工艺条件预留数量、足够面积的UPS间。

(3) A级机房场地设备应按容错系统配置，即具有两套或两套以上相同配置的系统，在同一时刻，至少有两套系统在工作。在电子信息系统运行期间，场地不应因操作失误、设备故障、外电源中断、维护和检修而导致电子信息系统运行中断。

参考文献

- [1] 中国航空工业规划设计研究院组编. 《工业与民用配电设计手册》(第三版). 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [2] 中华人民共和国公安部. 《建筑设计防火规范》GB50016-2014. 北京: 中国计划出版社. 2014.
- [3] 主编: 刘征 《电视中心工程工艺设计》. 中国建筑工业出版社.
- [4] 中广电广播电影电视设计研究院《广播电视工程工艺接地技术规范》GY/T5084-2011.
- [4] 中国建筑标准设计研究院《全国民用建

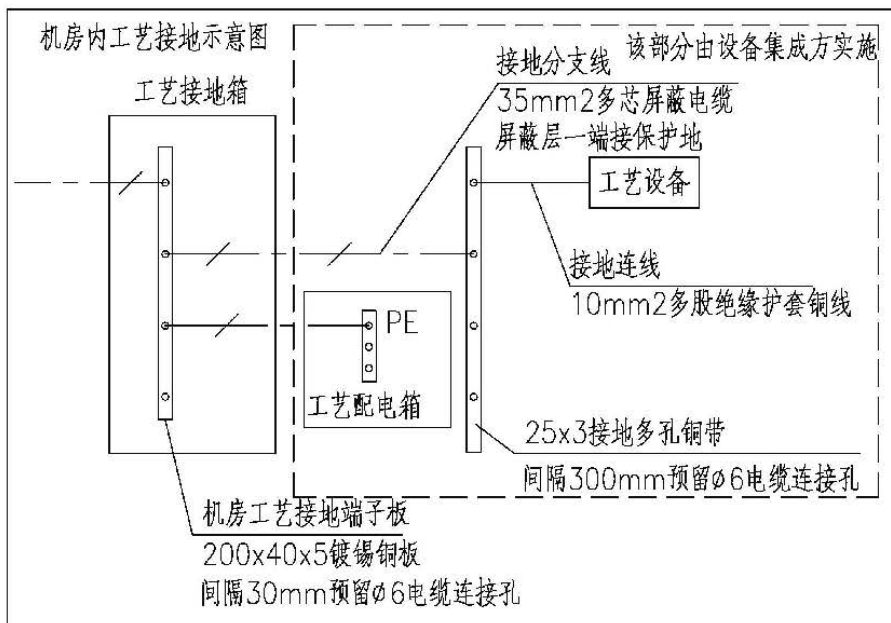


图2 工艺接地系统图

筑工程设计技术措施》

(2009) -北京: 中国计划出版社. 2009.

[5] 中广电广播电影电视设计研究院. 《广播电视建筑设计防火规范》GY 5087-2003.

[6] 中国机械工业联合会. 《供配电系统设计规范》GB50052-2009. 北京: 中国计划出版社. 2010.

[7] 中国建筑东北设计研究院. 《民用建筑电气设计规范》JGJ16-2008. 北京: 中国建筑工业出版社. 2008.

# 垃圾焚烧发电厂火灾自动报警系统的设计

■ 任晓朦 赵亮亮 [电气]

**摘要:** 垃圾焚烧发电技术近30年来日益成熟,在“垃圾围城”之困境和垃圾“资源化”之政策引导的双重激励下,我国垃圾焚烧发电厂的建设发展迅猛。结合我院目前设计在建的广州某垃圾焚烧发电厂,本文介绍了垃圾焚烧发电厂火灾自动报警系统的组成和设备布置,对设计中遇到的难点进行了简要分析。

**关键词:** 垃圾焚烧发电厂;火灾自动报警系统;消防联动控制

## 0 引言

垃圾焚烧发电厂是城市重要的基础设施,为保证其安全、稳定、可靠地生产运行,对火灾自动报警系统的安全可靠性提出了要求。既不能漏报而扩大事故范围,也不能误报误动而影响发电设备的正常运行。结合我院目前设计在建的广州某垃圾焚烧发电厂,对该类项目火灾自动报警系统的设计进行简要介绍。

## 1 火灾自动报警系统的组成

垃圾焚烧发电厂的火灾自动报警系统采用集中式,根据《火力发电厂与变电站设计防火规范》,消防控制室与全厂集中控制室合并设置在主控厂房内。控制室内设火灾报警控制柜、图形显示装置和电气火灾监控器。

火灾自动报警系统由点、缆式火灾探测系统,手动报警系统,区域显示,应急广播系统,火灾警报系统,消防水系统,防、排烟系统,防火门、卷帘系统和电梯系统等组成,见图1。

## 2 一般性场所火灾自动报警系统设备的设置

### (1) 火灾探测器和手动火灾报警按钮

根据《火灾自动报警系统设计规范》GB50116-2013的要求,在以下一般性场所设置点型感烟探测器:焚烧厂房配电室、控制室、就地机柜室、走廊、过厅、前室、参观走廊和楼梯间等,汽机厂房汽机发电小间、配电室和楼梯间等,主控厂房高低压配电间、集中控制室、电子设备间、接待大厅、过厅、展厅、办公室、走廊和楼梯间等,油泵房值班控制室,烟囱前室、参观走廊、环保监测平台和楼梯间等。

手动火灾报警按钮的设置:在厂房的主要出入口、疏散楼梯口等处设置手动火灾报警按钮(带消防对讲电话插口)。从一个防火分区内的任何位置到最邻近的一个手动火灾报警按钮的步行距离不大于30m,每个防火分区至少设置一个手动火灾报警按钮。

### (2) 区域显示器

在每个楼层设置仅显示本层的区域显示器。

### (3) 火灾应急广播

在焚烧厂房参观走廊等,主控厂房接待大厅、走廊、过厅、展厅等,烟囱参观走廊、环保监测平台等处设置消防应急广播扬声器。

作者简介:任晓朦,女,助理工程师,2015年毕业于华北电力大学电气工程专业,现就职于航空工业规划设计研究院。

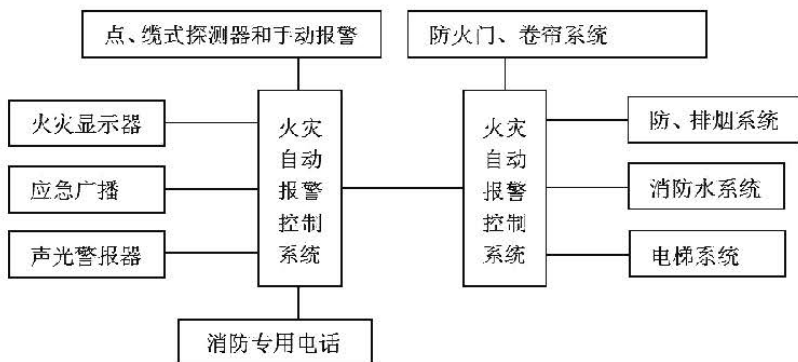


图1 火灾自动报警系统的组成

#### (4) 声光警报器

在厂房的主要出入口、疏散楼梯口等处设置声光警报器。火灾自动报警系统应能同时启动和停止所有火灾声警报器工作，并应在确认火灾后启动建筑内所有火灾声警报器。

#### (5) 消防专用电话

消防专用电话网络为独立的消防通信系统。在主控厂房集中控制室设置可直接报警的外线电话。在厂房各配电室、汽机发电小间、综合泵房、增压泵房、消防电梯机房、柴油发电机房等处设置区别于普通电话的消防电话分机。除焚烧厂房垃圾吊控制室及垃圾卸料平台观察室的手动火灾报警按钮外其余手动火灾报警按钮上设置消防专用电话插孔。

### 3 特殊场所火灾自动报警系统设备的设置

在垃圾焚烧发电厂火灾报警系统设计中，垃圾池、电缆夹层等为特殊场所，是设计中的难点，具体分析如下：

#### (1) 垃圾池

垃圾池一般为一个狭长纵深的厂房，且内部环境较差，有垃圾抓斗不断从池底抓取垃圾送入焚烧炉排进料口，导致垃圾池上空的水汽、灰尘和微小固体颗粒较多，严重干扰普通感烟探测器的工作。采用双鉴式成像感烟探测器可有效解决这一问题。双鉴式成像感烟探测器一般使用双波段探测技术，利用“雾降低紫外光的波段比红外光多，而灰尘和固体物体对两种波段产生的影响相同”的原理减小探测干扰。

此外，探测器发射端可不带电缆，且无需精确对准，能有效降低安装和维护成本。

在垃圾池上空两侧分别设置双鉴式成像感烟探测器的发射端和接收端。

#### (2) 电缆夹层

电缆夹层内一般可使用点型感烟探测器进行防护。但有时夹层层高较低，电缆密集排布，若直接将传统点式烟雾探测器安装在楼板下，一方面会对烟雾探测造成影响，更重要的是无法对探测器进行安装、调试、测试及检修等工作；

而若先设置集烟板，再在集烟板下安装探测器，则无法对上方电缆层进行防护。采用吸气式早期烟雾探测技术可有效解决这一问题。

在夹层顶部任何空隙内安装采样管道及下拉毛细管道。该管道上没有任何的电子元件，一旦安装好后就再也不需要对管道进行任何现场操作。探测器主机安装在人员易于接近的地方，维护工作完全在探测器主机的安装位置进行。主机中内置的气流传感器会实时检测管道及采样孔的堵塞状况，见图2。

(3) 在蓄电池室设置防爆感温探测器，在汽机厂房油箱上方设感温探测器。

(4) 在电缆沟、电缆桥架和竖向桥架等电缆密集处设置感温电缆。

### 4 消防联动控制的设计

消防联动控制设计主要包括排烟和防烟风机、消防水泵等设备的联动控制设计，除应采用

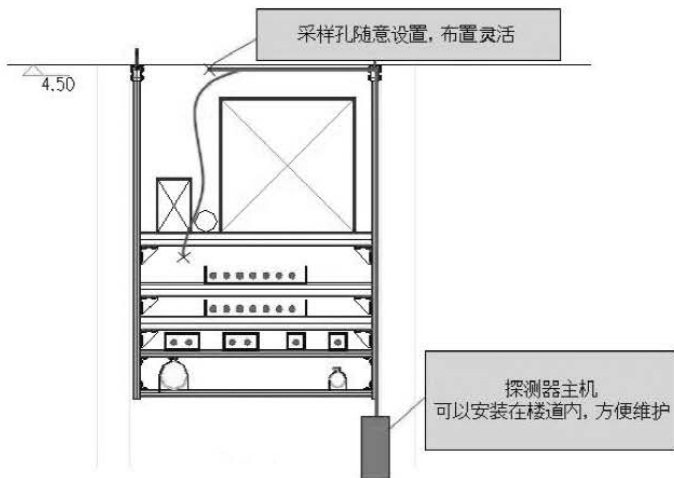


图2 吸气式早期烟雾探测技术示意图

联动控制方式外，还应在火灾报警控制柜上设置手动直接控制装置。

### (1) 排烟系统

#### 1) 排烟系统的联动控制

焚烧厂房除臭设备间消防排烟系统：以报警区域任一双鉴式成像感烟探测器报警与吊车控制室值班人员通过手报按钮手动报警，或70℃电动防火阀熔断关闭作为触发信号，打开280℃电动排烟防火阀（常闭）并向火灾报警控制器送出信号，开启排烟风机排烟；当温度达到280℃时，280℃电动排烟防火阀熔断关闭后联动控制风机停止。

主控厂房排烟系统：以防烟分区（一般与防火分区一致）内的两只及以上独立的火灾探测器或一只火灾探测器与一只手动火灾报警按钮的报警信号作为触发信号，联动开启排烟防火阀和相应的排烟风机排烟；当温度达到280℃时，280℃防火阀（常开）熔断关闭后联动控制风机停止。

#### 2) 排烟系统的手动控制

将排烟风机的启停按钮用专用线路直接连接至消防联动控制器的手动控制盘上，直接手动控制排烟风机的启停。将排烟防火阀及风机的动作信号反馈至消防联动控制器。

### (2) 防烟系统

#### 1) 防烟系统的联动控制

焚烧厂房消防楼梯间及消防电梯前室防烟系统：在焚烧厂房消防楼梯间及消防电梯前室设置加压送风机。以消防楼梯间及消防电梯前室外相关区域的两只及以上独立的火灾探测器或一只火灾探测器与一只手动火灾报警按钮的报警信号作为触发信号，联动启动加压送风机。

烟囱消防电梯机房前室及楼梯间防烟系统：当烟囱消防电梯前室及楼梯间外的区域内两只独立的火灾探测器或一只火灾探测器与一只手动火灾报警按钮报警时，联动启动加压送风机。

#### 2) 防烟系统的手动控制

将加压送风机的启停按钮用专用线路直接连接至消防联动控制器的手动控制盘上，直接手动控制加压送风机的启停。将加压送风机的运行、故障信号反馈至消防联动控制器。

### (3) 排风系统

#### 1) 焚烧厂房两侧渗沥液沟道排风系统

渗沥液沟道为检修通道，平时无人，设置排风系统以防止通道中甲烷浓度过高引发爆炸和检修人员中毒。当可燃气体报警探测器检测到可燃气体

浓度达到爆炸下限的20%时，可燃气体控制器联动启动进、排风机。在焚烧厂房两侧渗沥液沟道通风系统的进、排风机出入口处设置70℃防火阀（常开），发生火灾时，每侧对应的任意一处防火阀熔断联动关闭对应的进、排风机以防止火情扩散。待确认火灾扑灭后，再开启风机排出有害气体。

#### 2) 焚烧厂房除臭设备间排风系统

除臭设备间设70℃电动防火阀（常闭），全厂停炉时由DCS或手动启动除臭设备风机，联动开启70℃电动防火阀。当垃圾池内发生火灾时，该报警区域任一双鉴式成像感烟探测器与吊车控制室值班人员通过手报按钮手动报警，或70℃电动防火阀熔断关闭并向火灾报警控制器送出信号，关闭除臭风机。

#### 3) 焚烧厂房空调机房排风系统

确认火灾或70℃防火阀（常开）熔断关闭向火灾报警控制器送出信号，关闭风机及空调机房组合空调机组；待确认火灾扑灭后，再开启风机排出热量。

#### 4) 汽机厂房配电室、发电机小间排风系统

确认火灾或70℃防火阀（常开）熔断关闭向火灾报警控制器送出信号，关闭风机；待确认火灾扑灭后，再开启风机。

#### 5) 蓄电池室排风系统

蓄电池室内放有阀控式铅酸蓄电池，在使用过程中可能产生氢气，设置防爆轴流风机以抽排这些爆炸危险气体。火灾发生时由防爆感温探测器报警联动关闭风机以防止火情扩散；待确认火灾扑灭后，再开启风机排出火灾烟雾。

6) 其他设置了感烟探测器房间的轴流风机和空调需在火警时直接切断，动作信号反馈至消防联动控制器。

### (4) 消火栓系统

#### 1) 消火栓消防泵的联动控制方式

以消火栓系统出水干管上设置的低压压力开关或高位消防水箱出水管上设置的流量开关等信号作为触发信号，直接启动消火栓消防泵。此外，在消火栓箱内设置消火栓报警按钮，按钮的动作信号作为报警信号及启动消火栓消防泵的联动触发信号，由消防联动控制器联动控制消火栓消防泵的启停。联动控制不受消防联动控制器处于手动或自动状态的影响。

#### 2) 消火栓消防泵的手动控制方式

将消火栓消防泵的启停按钮用专用线路直接



连接至消防联动控制器的手动控制盘上，并直接手动控制消火栓消防泵的启停。消火栓泵的动作信号反馈至消防联动控制器。

#### (5) 消防水炮系统

在焚烧厂房垃圾卸料平台观察室和两个垃圾吊控制室分别布置三套消防水炮控制柜，对垃圾卸料平台和垃圾池内的火灾实施监控和进行灭火。当监控区域内任一水炮自带的红外探测器发现火情时，自动开启消防水炮消防泵，自动调整水炮的方向、角度对准灭火点，并自动打开消防水炮前的电动阀进行灭火。垃圾卸料平台观察室值班人员或垃圾吊车控制室运行人员也可远程遥控消防水炮，调整水炮的方向、角度。同时还可以在垃圾卸料平台上或垃圾焚烧炉进料斗平台上就地控制消防水炮及消防水炮前的电动阀。

#### (6) 自动喷水灭火系统

在主控厂房设置自动喷水灭火系统。

##### 1) 喷淋消防泵的联动控制方式

以湿式报警阀压力开关的动作信号作为触发信号，直接控制启动喷淋消防泵。联动控制不受消防联动控制器处于自动或手动状态的影响。

##### 2) 喷淋消防泵的手动控制方式

将喷淋消防泵的启停按钮用专用线路直接连接至消防联动控制器的手动控制盘上，直接手动控制喷淋消防泵的启停。水流指示器、信号阀、压力开关、喷淋消防泵的启停等信号反馈至消防联动控制器。

#### (7) 局部防火水雾隔绝系统

在焚烧厂房垃圾焚烧炉进料斗平台上每个料斗进口处设置开式喷头，由电动阀控制进水。垃圾进料口为焚烧线运行时，人工控制垃圾抓斗向焚烧炉排投料的入口，运行时均有吊车控制室值班人员监视。发生火灾时，由值班人员通过控制按钮手动打开电动阀，不需自动控制。电动阀打开后消火栓消防泵出口母管上设置的压力开关动作，并作为触发信号直接控制启动消火栓消防泵。同时可以在垃圾焚烧炉进料斗平台上就地控制电动阀。电动阀的运行、故障信号反馈至消防联动控制器。

#### (8) 防火门监控系统

防火门监控器设置在主控厂房集中控制室火灾报警控制柜内。

1) 常开防火门以所在防火分区内的两只及以上独立的火灾探测器或一只火灾探测器与一只手

动火灾报警按钮的报警信号作为关闭的联动触发信号，由消防联动控制器向防火门监控器发出信号，由防火门监控器联动控制常开防火门关闭。

2) 对疏散通道上的常闭防火门进行监控。疏散通道上各防火门的开启、关闭及故障状态信号反馈至防火门监控器。

#### (9) 防火卷帘监控系统

在主控厂房集中控制室所在防火分区设置防火卷帘监控系统。

##### 1) 防火卷帘的联动控制方式

以防火分区内的任两只独立的感烟探测器的报警信号作为联动触发信号，由消防联动控制器向防火卷帘控制器发出信号，由防火卷帘控制器联动控制防火卷帘下降至距楼板面1.8m处，或以专门用于联动防火卷帘的感烟探测器的报警信号作为联动触发信号，直接由防火卷帘控制器联动控制防火卷帘下降至距楼板面1.8m处。当任一专门用于联动防火卷帘的感温探测器报警时，防火卷帘控制器联动控制防火卷帘下降至楼板面。

##### 2) 防火卷帘的手动控制方式

由防火卷帘两侧设置的手动控制按钮控制防火卷帘的升降。防火卷帘下将至楼板面1.8m处、下降至楼板面的动作信号和防火卷帘控制器直接连接的感烟、感温探测器的报警信号，反馈至消防联动控制器。

#### (10) 电梯联动控制

在确认火灾后，消防联动控制器发出联动控制信号强制所有电梯停于首层。电梯的运行状态信息和电梯停于首层的信号反馈给图形显示装置显示。

## 5 结语

随着垃圾焚烧成为处理垃圾的主流方式，垃圾焚烧发电厂的建设受到各地政府的大力推崇和支持。本文从一般性和特殊性场所火警设备的布置，以及消防联动控制系统的设计三方面对垃圾焚烧发电厂的火灾自动报警系统进行了全面介绍，具有一定的实用价值。

#### 参考文献

- [1] 《火力发电厂与变电站设计防火规范》(GB50229-2006).
- [2] 《火灾自动报警系统设计规范》(GB50116-2013).
- [3] 曾自怡. 五强溪水电厂火灾报警消防系统[J]. 水电厂自动化, 2010, 31(2): 25-28.

2017年第3期（总第131期）  
2017年6月出版



荆门爱飞客镇系列规划