

航空工程建设

AERO-INDUSTRY ENGINEERING CONSTRUCTION

2013年第3期 总第109期



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

内部资料 免费交流

2013年度航空工业优秀工程勘察设计奖评选工作会议在北京举行

2013年7月2-3日，中国航空工业建设协会在北京组织承办了2013年度航空工业优秀工程勘察设计奖评审工作会议，来自中航工业建发、中航工业建发长沙院、中航勘察等七家单位的二十多位领导、专家和相关人员参加了会议。

为迎接全国优秀工程勘察设计行业奖评选活动，进一步提高航空工业建设工程的勘察设计质量和水平，总结表彰优秀工程勘察设计项目和有关人员，推动航空工业工程勘察设计行业技术进步与创新，鼓励工程勘察设计人员创作出更多的质量优、水平高、效益好的优秀工程勘察设计项目，中国航空工业集团公司组织开展了航空工业2013年度优秀工程勘察设计评选活动，并委托中航工业集团公司专家管理组和中国航空工业建设协会组成专家评审委员会，按照有关规定和要求，对航空工业系统的勘察设计单位推荐上报的60个项目进行了评审。

经评委会审查和集团公司审定，本次评选共评出获奖项目45项，其中优秀工程设计（含工业工程、建筑工程等）35项，优秀工程勘察项目10项。



第三期中航工业固定资产投资建设培训研讨会成功举办



9月12-13日，第三期中航工业固定资产投资建设培训研讨会在沈阳召开。本期培训研讨会由集团公司战略与资本部主办，中国航空工业建设协会承办。集团公司战略与资本部条件建设办公室主任常洪亮等领导出席，中国航空建设协会秘书长、中航工业建发高级专务张忠良主持会议。

常洪亮在开班讲话中首先肯定了前两期固定资产投资建设培训取得的良好效果，认为培训研讨会为各单位交流工作成果、总结经验、查找不足搭建了有利的平台。他强调，随着国家固定资产投资管理政策的严格化、专业化，加强对固定资产投资建设的学习、交流和研讨是推进“十二五”战略目标落地、助推集团公司快速发展的必然要求。随后，常洪亮结合丰富的实际案例，以《固定资产投资建设中存在的问题及解决措施》为题作了报告发言。

在为期两天的培训研讨中，中航工业发展研究中心研究员郑卫方、中航技国际经贸发展有限公司总经理助理徐军、中航国际航空发展有限公司综合技术处副处长刘潇、中航工业建发总工程师陆国杰、特级项目总监米敬明等多位领导和专家，分别从固定资产投资政策、设备引进、招标投标采购、基本建设程序和工程管理等方，结合实际案例和工作经验做了较为全面、系统的报告交流。来自北京航空制造工程研究所、西安飞机设计研究所、沈阳飞机工业（集团）有限公司等30余家会员单位的近60位学员参加了培训研讨会。

按照集团要求和会员单位需求，协会将把培训研讨作为一项长期坚持的工作，每年举办2~3期，以优质、高效的投资建设工作推进中航工业科技水平的不断进步！

民航通航市场信息

武汉重大项目向民资开放，首开通航设施领域

武汉市日前发布2013年第一批《武汉市拟对民间资本开放的重大项目》明细表。该表显示，将有1943.33亿元总投资额的项目对民营资本开放。其中，2013年计划投资额为202.36亿元，并首次开放通用航空设施、广电等领域。这也是武汉市政府今年3月份发布《进一步鼓励和引导民间投资健康发展的实施意见》后，该市首次为民间资本端出的投资“大餐”。武汉市新出炉拟对民间资本开放的重大投资项目有87个。其中，重大设施项目达66个，包括四环线建设、汉口客运中心、公共停车场项目建设等；新能源建设和循环经济项目2个，包括分布式光伏发电建设项目和千子山循环产业园。

(来源：经济日报)

云南出台《关于进一步加快民用机场建设的实施意见》，将新建4大机场

近日，云南省人民政府出台的《关于进一步加快民用机场建设的实施意见》中提出，2013—2015年，实施新建泸沽湖机场、红河蒙自军民合用机场、临沧市沧源机场、普洱市澜沧机场和昆明长水国际机场“9+2”配套项目、腾冲机场改扩建项目，完成投资103亿元。到2015年，新建民用机场4个，全省民用机场运营和在建总数达16个，初步将昆明长水国际机场培育成面向东南亚、南亚和连接欧亚非的国家门户枢纽机场。《意见》要求加大省财政投入力度，省财政对每个新建支线机场统筹安排1亿元补助。同时，机场所在地州、市人民政府负责新建、改扩建机场征地拆迁、场外配套工程建设资金筹措和组织实施，要按照建设进度及时提供机场项目建设用地，完成相应场外配套工程建设。

(来源：民航资源网)

哈国家财政拟拨款120亿用于国内机场建设

哈萨克斯坦交通与通讯部民航委员会副主席穆赫特巴耶夫称，2015—2020年，哈拟对国内16个机场进行建设和改造。为此，哈国家财政拟拨款120亿坚戈（1美元=153.12坚戈）。此外，还拟吸引私人投资75亿坚戈。机场建设和改造后，其中5个机场可接受起飞重量达50吨的飞机（可乘坐50~70位旅客），11个机场可接受起飞重量10~15吨的飞机（可乘坐10~30位旅客）。

(来源：中国驻哈萨克斯坦共和国大使馆经济商务参赞处)

缅甸将投15亿美元建新机场

缅甸将用3年多时间在距仰光80km处建设一个比现有仰光国际机场大9倍的新国际机场——汉达瓦底，以期大大改善缅甸的航空交通。新国际机场设计年客运量为1200万人次，投资15亿美元，预计2018年初运营。新国际机场建成后，仰光机场的国际航班将转至汉达瓦底机场，仰光机场继续作为国内航班机场使用。为了旅客交通快速方便，仰光与汉达瓦底机场之间将建设高铁。另外，仰光国际机场、曼德勒国际机场也已招标将进行改造，以适应新的发展需要。

(来源：新华社)

能源环境市场信息

2015年节能环保产业总产值有望达4.5万亿

为加快发展节能环保产业，强化约束激励，为节能环保产业发展创造良好的市场和政策环境，国务院于8月11日印发了《国务院关于加强发展节能环保产业的意见》。根据《意见》“十二五”期间需重点发展的四大产业领域包括：节能产业重点领域、资源循环利用产业重点领域、环保产业重点领域、节能环保服务业等。2015年节能环保产业总产值达到4.5万亿元。为实现上述目标，中国将加大中央预算内投资和中央财政节能减排专项资金对节能环保产业的投入，继续安排国有资本经营预算支出支持企业实施节能环保项目。地方各级人民政府要提高认识，加大对节能环保重大工程和技术装备研发推广的投入力度，解决突出问题。

(来源：新华网)

三部委推进生物质能产业发展

从近日召开的第五届中国国际生物质能大会上获悉，国家发改委、国家能源局和农业部正多方推进生物质能利用。据介绍，发改委将以秸秆利用工程为重点，落实资源税收优惠政策；国家能源局则力推新型城镇化背景下的农村生物质能利用；农业部在积极制定农村生物质能炉灶升级换代和生物质能在生态农业中利用等专项规划。国家发改委能源研究所研究员秦世平表示，目前，生物质能产业化规模和程度最高的还是在发电领域，包括垃圾发电、秸秆发电、沼气发电等。未来随着政府补贴进一步到位，示范工程范围扩大，更多生物质能特别是发电企业将受益。

(来源：证券时报网)

24个城市试点编制城市环境总体规划

《全国城镇化发展规划（2013-2020年）》草稿明确提出在新一轮的城镇化规划中，将充分考虑资源环境的承载能力，要推进绿色循环低碳发展，提高城镇土地、水和能源等资源利用效率，建设资源节约型、环境友好型社会。应新型城镇化的要求，环保部也正在推行城市环境总体规划试点，已经确定两批24个城市作为试点，其中包括大连、广州、福州和海口等城市。对比《规划》草稿初步确定的目标，在“十三五”期间，我国设城市污水处理率将在“十二五”的基础上再提高5%以上，而生活垃圾无害化处理率也将有所提高，这将蕴藏着更大的市场空间。

（来源：21世纪经济报道）

国务院发布《大气污染防治行动计划》 十条措施力促空气质量改善

日前，国务院发布《大气污染防治行动计划》。这是当前和今后一个时期全国大气污染防治工作的行动指南。《行动计划》按照政府调控与市场调节相结合、全面推进与重点突破相配合、区域协作与属地管理相协调、总量减排与质量改善相同步的总体要求，提出要加快形成政府统领、企业施治、市场驱动、公众参与的大气污染防治新机制，本着“谁污染、谁负责，多排放、多负担，节能减排得收益、获补偿”的原则，实施分区域、分阶段治理。《行动计划》提出，经过五年努力，使全国空气质量总体改善，重污染天气较大幅度减少；京津冀、长三角、珠三角等区域空气质量明显好转。力争再用五年或更长时间，逐步消除重污染天气，全国空气质量明显改善。具体指标是：到2017年，全国地级及以上城市可吸入颗粒物浓度比2012年下降10%以上，优良天数逐年提高；京津冀、长三角、珠三角等区域细颗粒物浓度分别下降25%、20%、15%左右，其中北京市细颗粒物年均浓度控制在60微克/立方米左右。

为实现以上目标，《行动计划》确定了十项具体措施：一是加大综合治理力度，减少多污染物排放；二是调整优化产业结构，推动经济转型升级；三是加快企业技术改造，提高科技创新能力；四是加快调整能源结构，增加清洁能源供应；五是严格投资项目节能环保准入，提高准入门槛，优化产业空间布局，严格限制在生态脆弱或环境敏感地区建设“两高”行业项目；六是发挥市场机制作用，完善环境经济政策；七是健全法律法规体系，严格依法监督管理；八是建立区域协作机制，统筹区域环境治理；九是建立监测预警应急体系，制定完善并及时启动应急预案，妥善应对重污染天气；十是明确各方责任，动员全民参与，共同改善空气质量。

（来源：国务院办公厅）

基础设施及其他市场信息

国务院：加强城市基础设施建设

7月31日，国务院总理李克强主持召开国务院常务会议，研究推进政府向社会力量购买公共服务，部署加强城市基础设施建设。会议认为，加强城市基础设施建设，重点改善薄弱环节，既可拉动有效投资和消费，又能增强城市综合承载能力、造福广大群众、提高以人为核心的新型城镇化质量。为此，会议提出加强城市基础设施建设的6项重点任务，占据第一位的，就是加强市政地下管网建设和改造，完善城镇供水设施，提升城市防涝能力。其次是加强污水和生活垃圾处理及再生利用设施建设；加强燃气、供热老旧管网改造。对于这两项任务，会议提出的目标是，“十二五”末，城市污水和生活垃圾无害化处理率分别达到85%和90%左右；到2015年，完成8万公里城镇燃气和近10万公里北方采暖地区集中供热老旧管网改造任务。

除了上述管网改造任务，会议还提出了加强地铁、轻轨等大容量公共交通系统建设；加强城市配电网建设，推进电网智能化；加强生态环境建设，提升城市绿地蓄洪排涝、补充地下水等功能等3项任务。

（来源：21世纪经济报道）

地方密集批复城轨项目，至2020年投资达4万亿

8月11日，重庆市发改委、市轨道集团联合发布消息称，重庆市《轨道环线工程可行性研究报告》已经顺利通过专家评审，将于年底前开工建设，2018年开通试运行。这是国家下放轨道交通项目审批权限后，重庆市自行组织的第一个轨道交通项目。该项目投资估算总额为314.18亿元。与此同时，重庆轻轨3号线北延伸段“可研报告”获批，也同时拿到重庆市发改委的批复函，批复函称，这一线路将在2013年内开工，总工期为30个月。相比轨道环线，这一项目总投资要少得多，为41亿元左右，建设工期为30个月。重庆市于近期由本地发改委批复的两个城市轨道交通项目，仅是国家发改委下放审批权之后地方政府积极投资建设地方交通设施浪潮的一个缩影。近期有10多个城市的发改部门批复了本地建设城市交通项目的开工申请。

（来源：21世纪经济报道）



中航长沙设计研究院有限公司：
湖南平江石牛寨国家地质公园
地质博物馆及广场项目
建筑面积：4166.1m²

石牛寨博物馆位于湘鄂赣三省交汇的石牛寨景区丹霞迎宾区，主要由室外广场和室内展览两个部分组成。整个建筑形态表现的是由于球状风化，顶部大多呈馒头状，牛背状的丹霞地貌，顺应自然地势、演绎造山运动、隐喻人类起源，寓意为“丹霞石牛”。利用基地原始高差，置入潺潺流水，穿行其间，形成一幅美妙的画卷。馆内设有开篇厅、地史演化厅、实物标本厅、模拟实景展厅，以及360°环幕影院和报告厅，同时还有地质博物馆及地质公园管理处12人办公室及贵宾接待等配套等，具有科普教育、休闲旅游、地质研究、宣传展示、信息交流五大功能，是游客感受自然变迁，了解地球造化的理想之地。



中航长沙设计研究院有限公司：

中航紧固件系统工业园项目 建筑面积：12.7万m²

中航紧固件系统工业园建设选址于衡阳松木经济开发区内，分生产厂区和生活区两部分。其中，生产厂区由冷加工车间、材料库、拉丝厂房、热处理车间、抛丸车间和动力站、酸洗车间和久美特、电镀车间、污水处理站、机械加工厂房、研发楼组成；生活区由倒班宿舍、食堂以及室外活动区域组成。

岩土工程专业

中航工业勘察院参加国标《地基动力特性测试规范》(GBT50269-XXX)征求意见稿修订会议

今年年中,国家标准《地基动力特性测试规范》(GBT50269-XXX)征求意见稿修订会议在温州大学召开,中航工业勘察院副总工程师刘金光参加了本次会议。

国家标准《地基动力特性测试规范》(GBT50269-XXX)征求意见稿于去年年底编制完成,本次会议共收集反馈回来的意见223条,会上对收到的反馈意见逐条进行了认真地讨论,并形成处理结论,为最终定稿奠定了基础。而在此前,为了更好地将反馈意见反映到本次大会上,该规范主要起草人、勘察院副总工程师刘金光特邀请行业权威人士,82岁的五洲设计院吴邦达专家来中航工业勘察院进行交流与沟通。通过与专家充分交换看法,最终达成共识,并将专家的意见以书面形式带到本次修订会上。



上对收到的反馈意见逐条进行了认真地讨论,并形成处理结论,为最终定稿奠定了基础。而在此前,为了更好地将反馈意见反映到本次大会上,该规范主要起草人、勘察院副总工程师刘金光特邀请行业权威人士,82岁的五洲设计院吴邦达专家来中航工业勘察院进行交流与沟通。通过与专家充分交换看法,最终达成共识,并将专家的意见以书面形式带到本次修订会上。

中航工业勘察院参加北京市地方标准编制会议

近日,北京市地方标准《城市轨道交通规划监督测量技术规程》编制会议在北京召开。中航工业勘察院公司副总工程师石俊成参加了会议。

当前北京正处于建设国际城市、迈向世界城市的伟大发展进程之中,北京建设世界城市的发展战略对城市规划和规划监督测量及规划监察执法提出了更高的要求。随着城市建设的飞速发展,相关技术规程的局限性逐渐显现。北京市地方标准《城市轨道交通规划监督测量技术规程》的编制目的在于:统一北京城市轨道交通的测绘技术要求,为城市轨道交通的测绘作业提供技术依据;为北京市规划监察执法部门对城市轨道交通的监察执法提供技术依据;对按规划方案实施城市轨道交通起控制性作用。

《城市轨道交通规划监督测量技术规程》主编单位分别为:北京市规划监察执法大队、北京市测绘设计研究院、北京城建勘测设计研究院有限公司、中航勘察设计研究院有限公司和北京市勘察设计研究院有限公司。编写进度安排分五个阶段,起止时间为2013年3月至2013年12月。

中航工业勘察院参加《工程地质手册》(第五版)编委会全体会议



近日,《工程地质手册》(第五版)编委会第一次全体会议在北京召开。中航工业勘察院党委书记、总工程师王笃礼,副总工程师刘金光参加了会议。

《工程地质手册》(第五版)主编单位分别为中兵勘察设计研究院和机械工业勘察设计研究院,副主编单位分别为中航勘察设计研究院有限公司和中船勘察设计研究院有限公司。勘察院党委书记、总工程师王笃礼担任副主编,副总工程师刘金光担任编委。《工程地质手册》(第五版)编委会第一次全体会议就编制的有关问题进行了认真、充分的讨论。《工程地质手册》(第五版)原则上分为九

篇,基本上按主编、副主编负责各篇的组织编写工作,由各编委负责章节内容编写,体现目前最新规范的内容,体现最新的科研成果。

建筑专业

公司两个项目获得2012年中国建筑设计奖（建筑创作）

近日，2012年建筑设计奖（建筑创作）在北京揭晓，经过投票，评选出钱学森图书馆等36个项目荣获首届中国建筑设计奖（建筑创作）金奖，中国民主党派历史陈列馆等62个项目荣获银奖。由我公司设计的贵阳奥林匹克体育中心主体育场工程获得金奖，中国国家话剧院剧场及办公楼工程获得银奖。这是我公司首次有两个项目同时入选，同时也是工业综合设计院中获奖最多的单位。

中国建筑设计奖是经国务院国评办核定，中国建筑学会主办的建筑设计最高荣誉奖。2012年的中国建筑设计奖（建筑创作），来自包括港澳地区在内的全国25个省、市、自治区共80余家建筑设计研究单位的339项设计作品参加了评选。我公司的获奖，充分展示了公司在建筑设计领域的技术实力和专业水平，



公司荣获“最佳BIM应用企业奖”和“最佳BIM拓展应用奖”

9月6日，第四届“创新杯”——建筑信息模型（BIM）应用设计大赛在北京举行颁奖典礼，本次颁奖共揭晓50项应用奖项，我公司获得了“最佳BIM应用企业奖”，由电子工程院设计的中关村航空科技园项目一期工程荣获“最佳BIM拓展应用奖”。BIM是在项目建造之前以数字化方式对其关键物理特性和功能特性进行探索的综合过程，可以帮助提高项目交付速度、减少成本，并降低环境影响。借助BIM，设计人员可在整个过程中使用协调一致的信息设计出新项目，可以更准确地查看并模拟项目在现实世界中的外观、性能和成本，还可以创建出更准确的施工图纸。“创新杯”BIM设计大赛旨在提高中国勘察设计行业三维数字模型技术的应用水平，帮助各勘察设计企业实现真正意义的计算机辅助设计，提升工程质量和效率、降低造价和节约资源，推动技术创新、设计创优和人才队伍建设。由于BIM技术具有众多优势，我公司一直在全公司进行推广，明确提出加快BIM等技术在勘察设计、施工和工程项目管理中的应用。而在公司内部，建筑专业则一直处于公司BIM技术应用的领先地位。

结构专业

公司获得第十一届中国土木工程詹天佑奖

7月9日，第十一届中国土木工程詹天佑奖在北京揭晓，由公司设计的贵阳奥林匹克体育中心主体育场工程等全国32项工程获此殊荣。住房城乡建设部副部长郭允冲在颁奖典礼上表示，第十一届詹天佑奖评选出了在工程技术、绿色节能技术、生态环保技术、历史文化保护、工程全寿命安全监测等方面都具有较大创新的优秀工程项目。

中国土木工程詹天佑奖于1999年创立，是我国土木工程领域科技创新最高荣誉奖，贵阳奥林匹克体育中心主体育场工程的获奖是公司第五次获得该奖项。该项目占地面积为1700余亩，总建筑面积为25.7万 m^2 ，是2011年第九届全国少数民族传统体育运动会主体育场，现在为中超球队贵州人和队的主场。



暖通专业

公司暖通专业人员参加中国制冷展设计院观摩团活动

第24届中国制冷展于今年夏天在上海新国际博览中心隆重举行。本次展会由中国制冷空调工业协会和中国勘察设计协会建筑环境与设备分会主办，北京中冷通质量认证中心有限公司承办的“2013年中国制冷展全国设计院总工观摩团”参加了本届展会，中国勘察设计协会建筑环境与设备分会邀请我公司及全国各大设计院暖通专家组成专家团参加了本次活动。在活动中，观摩团的专家代表们就自己关心的热点问题与企业进行了深入交流，对自己感兴趣的话题进行了深入了解，并发表了看法和见解，现场气氛热烈融洽。本届制冷展还组织开展了内容丰富的技术交流互动。

通过这次活动，使众多工作在生产一线的设计人员实现了与企业的近距离深度交流，他们可在现场考察新产品与新技术，并在短时间内了解自己想要的目标产品，从而有助于今后的设计工作。

公司参加“北京市新建项目节能设计抽审”工作

8月22、23日，北京市勘察设计管理处开展了“北京市新建项目节能设计抽审”工作，我公司建筑专业执行总师陈海风、暖通专业总师肖武作为评审专家参加了本次审查工作。本次审查的目的是检查设计单位在节能设计方面是否有违反强制性条文的情况，以及审图机构是否有漏审违反强制性条文的情况，作为对北京市节能设计现状进行评判的依据。本次检查共抽到北京市10家咨询设计单位设计的住宅类、公建类项目共14项，涉及10家审图机构，来自我公司以及中冶京诚、五州设计院的6位专家参加了本次审查工作。在审查过程中，各设计单位的建筑和暖通设计人员到场与审查专家进行了面对面的交流。在本次抽查中，我公司审查中心的工作受到了好评。

电气专业

公司电气专业人员参加国家标准制修订工作会议

9月9日，在北京召开了由全国建筑物电气装置标准化技术委员会（SAC/TC205）组织的国家标准制修订工作会议，成立了国家标准《低压电气装置第5-54部分：电气设备的选择和安装 接地配置和保护导体》GB16895.3-xxxx的制修订组，该国家标准由中国航空规划建设发展有限公司作为主编单位，公司电气专业副总师苏碧萍和全国建筑物电气装置标准化技术委员会（SAC/TC205）顾问刘屏周（公司退休职工、曾任电气专业总师）作为主编人员参加了本次会议。

公司参加国防系统设计院电气设计专业委员会第十九届电气技术交流会

9月4-6日，国防系统设计院电气专业委员会第十九届电气技术交流会在成都召开，我公司作为常委单位，委派牛犇、郝鹏超两位同志参加了此次年会。本届年会由总装备部工程设计研究总院主办，参会单位基本囊括了参与国防工程设计的所有国有大型设计院及军队设计单位。在本次年会上，邀请了多位国内知名电气设计专家进行讲座。本届年会还出版了《技术交流论文集》，我公司投稿的多篇论文均被收录到此论文集。

国防系统设计院电气专业委员会电气技术交流会每两年举行一次，共涉及陆、海、空、总参、总后、总装、二炮、核工业、兵器工业、航空、航天等领域的30多家国防系统电气设计院单位参与，通过技术交流会的举办，为电气设计人员提供了良好的交流与沟通平台，同时也极大地促进了军工行业设备供应企业与国防系统的相互交流。



工程造价专业

公司获得中国勘察设计协会2013年度国家工程建设（勘察设计）优秀QC小组称号

7月2日，中国勘察设计协会2013年度国家工程建设（勘察设计）优秀QC小组表彰交流会在太原举办，工程造价专业孟繁同志担任项目负责人的“中航工业规划建设技术经济——绍兴老酒”小组获得“优秀QC小组奖”称号，获奖成果为“减少绍兴射击馆项目概算设计总工日”的报告。



公司建筑院工程造价研究室举办修缮定额座谈会



7月3日上午，建筑院工程造价研究室邀请北京市造价管理处修缮定额主编人员到建筑院进行座谈，建筑院全部造价人员及其他各院代表共26人参加了此次座谈会。

在会上，定额主编人员对2012版修缮定额编制的原则、背景及适用范围进行了详细讲解，同时回答了公司造价人员提出的问题。

公司工程造价专业人员参加北京市建设工程计价依据—预算定额（2012年）培训活动

今年7-8月份，公司工程造价专业共30人分四批（土建专业两批，安装专业两批）参加了北京市住房和城乡建设委员会在首都图书馆报告厅举办的北京市建设工程计价依据—预算定额（2012年）培训，通过此次培训，极大地提高了相关人员的业务水平。

公司工程造价专业人员参加2013版建设工程工程量清单计价规范讲座

8月15日，公司工程造价专业12人参加了由广联达公司组织的《建设工程工程量清单计价规范》（GB50500-2013）讲座，本次讲座邀请规范编制专家马楠教授进行授课。讲座深入广泛地解读了2013版计价规范，各位与会人员积极参与讨论，更相互交流了自己对新版规范的理解。



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

顾问委员会

主任 陈元先
副主任 廉大为
委员 (按姓氏笔画排序)
王伟 刘晋忠 李世民
陈远明 张忠良 杨锐
周训文 周凯 姜力
胡海银 常洪亮 梁相文

编辑委员会

主任 陆国杰
副主任 刘子彦
委员 (按姓氏笔画排序)
丁杰 卜国磊 马培贤
王玉平 王坚 王笃礼
王锋 朱丹 向立学
米敬明 陈丹湖 李中强
李守旭 李纲 肖武
杨杰 陈海风 张海飞
金来建 周桂 贺宏斌
唐永堃 郭志海 徐克利
徐晓东 黄春晖 傅绍辉
葛家琪 魏旗

总编 陆国杰
主编 陈海风
执行主编 王蕊
责任编辑 冯志军
出版 《航空工程建设》编辑部
地址 北京德外大街12号
邮编 100120
E-mail hkgejs@avic-apc.com
印刷 北京盛世双龙印刷有限公司
电话 (010)62038235 62038276
传真 (010)62038297

封面 西双版纳航站区改扩建工程

CONTENTS

目录 2013年第3期 总第109期

岩土工程

- 02 山岭隧道施工阶段围岩动态分级研究 马超锋 王笃礼
11 加筋土挡墙稳定性计算研究 王璐 马宏剑 张靖杰

研究与探讨

- 16 生物制药企业自动化与信息化发展模式探究 聂晶 刘景灏
19 空调系统应用变频技术若干误区的探讨 乐有奋
24 冷却塔供冷技术在实际项目中的应用 赵磊
28 智能建筑电气控制节能与成本控制 陈寅生
31 EPC承包商费用控制优化研究 王旭

新兴产业咨询

- 36 北美航空工业发展概况与新动态 张波
42 探索新型城镇化背景下的航空城规划——以珠海航空产业园规划为例
李辉 胡赵征 李守旭

工程设计

- 48 中国商飞制造工程技术大楼结构设计
樊钦鑫 景辉 贾洁 吕敬辉 王德刚 王亚曼 陈丽颖
57 中关村国家自主创新展示中心折线形布索预应力钢桁架结构设计研究
黄季阳 聂悦 王树 张国军 葛家琪 沈斌

山岭隧道施工阶段围岩动态分级研究

■ 马超锋 王笃礼 「岩土工程」

摘要: 山岭隧道施工阶段的围岩动态分级以开挖揭露的围岩为评价对象,随着隧道开挖支护循环动态进行。由于隧道施工的时效性,要求围岩分级不仅要合理且其评价指标要取值简便、实施过程快捷。本文以岩体结构控制论为基础,选取岩块强度、结构面发育特征和岩体结构特征作为基本分级因素,选取地下水、地应力发育状态和不利结构面产状影响作为修正因素;采用Bieniawski模型作为数学模型,并给定各因素权重;用字符RMD表示围岩动态分级各因素的评分,并给出各因素的定性特征和定量指标及其对应的评分区间;总评分采用百分制,并等分为五级,从差到好依次对应 级、 级、 级、 级和 级围岩。结合河北省境内若干条山岭隧道的2000余幅掌子面的围岩分级实践,将本方法与国标BQ法进行了比较应用。结果表明:RMD评分与[BQ]值呈线性关系,其分级结果与BQ法有较高的一致性。

关键词: 隧道工程; 山岭隧道; 围岩动态分级; 施工阶段

0 引言

据有关资料统计,在山岭隧道建设过程中,我国勘察阶段围岩分级的准确率一般为50%,有30%~40%的分级结果与实际相差1~2个级别。进而据此进行的设计方案必定与实际工况相差较大。如此,要么支护参数与开挖方案保守,造成浪费;要么不满足工程实际,存在重大安全隐患。因此,在山岭隧道建造期间,必须以开挖揭露的实际围岩为评价对象,重新对围岩级别进行评定,并选择与之匹配的开挖方式和支护衬砌参数,如此动态循环进行直至隧道贯通,即对隧道围岩进行动态分级,这对隧道建设意义重大^[1-3]。

显然,山岭隧道施工期间的围岩动态分级包含三层含义:其一其评价对象是钻爆开挖揭露的真实围岩,而非勘察阶段的钻孔岩芯;其二是随着开挖支护循环而动态进行;其三是由于隧道

施工过程的时效性,动态分级方法及其实施过程既要科学合理又要快捷方便,且其评价指标既要能反映围岩的质量又要能快速便捷地获取其值。

目前,国内外常用的围岩分级或分类方法有:美国的Terzaghi分类^[4],奥地利的Lauffer分类^[5],美国Deere的RQD分类^[6-8],美国Wickham的RSR分类^[9],挪威Barton的Q系统^[10-11],南非Bieniawski的RMR分类^[12-14],挪威Palmström的RMi分类^[15],国标《工程岩体分级标准》^[16]等。然而,这些常用方法在山岭隧道施工阶段的围岩动态分级应用中存在若干不足^[17-18]。例如:RQD分类法的指标比较单一,单独使用不能全面反映隧道围岩质量;Q分类法虽然能比较全面地反映围岩的质量,但是缺少岩块强度这一重要评价指标;RMR分类法虽然使用便捷,但缺少地应力发育状态这一因素,而这对地下工程稳定性却有较大影响;国标BQ分类法在实践过程中发现岩块强度指标对分级结果影响敏感,岩体完整性指标需要进行昂贵的地球物理测试方能获得,且探测过程对环境要求苛刻,严重阻碍了隧道施工的有序进行。由此可见,这些方法均不能满足山岭隧道施

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973)项目(2010CB732103),中航勘察设计研究院有限公司博士后科研基金(2012bsh001)。

作者简介:马超锋,男,高级工程师,2011年博士毕业于中国科学院地质与地球物理研究所,现就职于中航勘察设计研究院有限公司技术质量部。

表1 国内外典型围岩分级方法考虑因素综合表

年代	分类名称	地质因素										力学因素					工程因素	
		结构面组数	结构面间距	结构面状态	RQD	岩体结构	岩体完整性	风化程度	地应力	地下水	地质构造	岩块强度	结构面抗剪强度	岩体变形模量	岩体弹性波速	完整岩石波速	结构面方位	施工方法
1946	Terzaghi 分类				✓							✓						
1967	Deere RQD分类		✓															
1972	Wickham RSR分类		✓	✓						✓	✓	✓					✓	
1973	Bieniawski RMR分类		✓	✓	✓		✓			✓		✓					✓	
1974	Barton Q分类	✓	✓	✓	✓				✓	✓		✓				✓		
1979	谷德振 Z分类					✓	✓					✓	✓		✓	✓	✓	✓
1994	工程岩体分级标准		✓	✓			✓	✓	✓	✓		✓			✓	✓	✓	

工阶段的围岩动态分级需要。因此，研究围岩动态分级方法十分必要。

本文在借鉴RMR分级法的基础上，结合山岭隧道围岩分级实践，考虑隧道施工的阶段特点及其对围岩分级的特殊要求，研究了与之相适应的围岩动态分级方法，并与国标BQ法进行了比较应用。

1 山岭隧道围岩动态分级因素选取

隧道围岩动态分级因素应密切结合山岭隧道施工阶段的特点，即围岩的真实性、工程的时效性以及工序的循环性等。所选指标不仅要能客观反映隧道掌子面围岩的实际质量，而且指标的取值或评价要能方便和快捷地实现。

1.1 常用围岩分级方法考虑的因素

表1为一些典型围岩分级方法所考虑的因素。从表中可以看出，这些因素可以归为三类：地质因素、力学因素和工程因素。其中，岩块强度、岩体结构面发育特征、地下水等围岩赋存环境和不利结构面产状影响是各类岩体分级方法常用的指标。

1.2 围岩动态分级因素的选取原则

围岩质量评价与分级涉及的因素很多，不可能全都考虑进去。一般而言，分级因素的选取应基于以下原则：

(1)分级因素必须是体现隧道围岩质量最重要、最基本的因素；

(2)分级因素应相互独立，避免重复和搭接；

(3)分级因素的特征必须易于描述，评价指标必须容易获取，测试方法必须简单易行。

1.3 围岩动态分级的因素选取

纵观典型围岩分级方法所考虑的因素，发现一部分是围岩本身所固有的自然属性因素，一部分是围岩的赋存环境因素，还有一些是与工程活动密切相关的因素。这些因素的共同作用影响着隧道围岩的稳定性及其力学特性。

1.3.1 围岩基本属性因素

岩体结构控制论^[19-20]认为，岩体是由结构面和结构体（在隧道开挖尺度内为岩块）组成的，结构面和结构体在岩体内的排列、组合方式（即岩体结构）影响和决定着岩体的稳定性及其力学特性。因此，需从影响隧道围岩稳定性的岩块、结构面和岩体结构特征等方面去选取动态分级指标。

1) 岩块强度

描述和体现围岩块体特征的指标有：岩石强度、风化程度、完整岩石的弹性波速、块体尺寸等。其中，风化程度终归于对岩块强度的影响上；完整岩石的弹性波速和块体尺寸等指标反映的是岩体的完整程度，且岩石的弹性波速测试费用昂贵、对测试环境要求较高，不便于在隧道施工阶段进行。岩块强度这一指标物理意义明确，直接体现了岩块的力学特性，且其取值可通过室内单轴或三轴抗压试验、现场不规则岩块的点荷载试验和现场回弹试验等多种途径获得。因此，

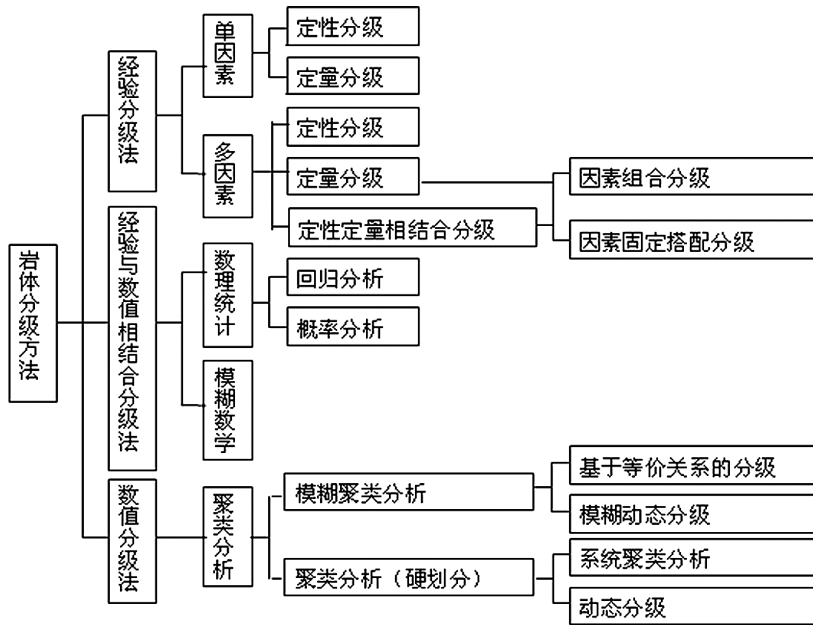


图1 岩体分级方法模型^[21]

岩块强度可用作表征围岩基本属性的指标之一。

2) 结构面特征

结构面的几何和物理特征与岩体的完整程度和抗剪切能力密切相关。用于表征和描述结构面发育特征的指标繁多，有结构面间距、组数、张开度、起伏度、迹长、产状、RQD、充填度、粗糙度、结构面抗剪强度、岩体完整性系数等。这些指标可归为两类：其一是体现结构面的几何发育特征的，即岩体的破碎程度，如：组数、间距、迹长、RQD等；其二是体现结构面的物理特征，即充填胶结状态，如张开度、起伏度、粗糙度、充填度、抗剪强度等。其中，结构面迹长在隧道掌子面尺度范围内其工程意义不显著，RQD需要用特定的钻具钻取岩心获取，不便于在施工阶段进行，因此选用结构面间距和组数来描述其几何特征；而起伏度、粗糙度、充填度、抗剪强度虽物理意义明确，但这些指标取值困难，有的尚无确切的含义和标准，不便采用，因此采用结构面的张开度和充填胶结物特征来表征结构面的结合状态。

3) 岩体结构

岩块和结构面不是孤立存在的，它们在岩体内的排列、组合形式构成了岩体的结构特征。岩体结构是岩体的基本特征之一，它控制着岩体的

变形、破坏及其力学性质^[20]。因此，选取岩体结构作为描述岩体基本特性的因素之一。

1.3.2 围岩赋存环境因素

岩体赋存环境可以使岩体结构的力学效应和岩体力学性能发生改变，是若干活的、易变的因素。主要包括：地温、地下水和地应力^[20]。其中，地温的力学效应还没有提到地质工程需要研究的日程上来；地下水对围岩的作用一方面体现在对岩石强度的影响，另一方面是作为围岩的赋存环境，此处指后者。因此，地下水和地应力可以选作动态分级体系中的围岩赋存环境因素。

1.3.3 工程活动因素

工程因素主要包括隧道围岩的开挖方式、开挖尺寸、循环进尺、软弱结构面方位与隧道轴线的交叉组合等。其中，开挖方式、开挖尺寸和循环进尺等是人为可控的，而软弱结构面方位与隧道轴线的交叉组合是客观的。因此，将软弱结构面方位与隧道轴线的交叉组合特征纳入到围岩动态分级体系中来。

2 围岩动态分级模型及各因素评分

2.1 常用围岩分级方法模型

围岩分级方法依据分级因素可分为：单参数法、多参数法和多参数组成的综合指标法；依据计算岩体质量的数学模型有：Barton、谷德振模型、积商模型、Bieniawski模型和差模型等。还可依据具体操作方式分为：经验分级法、数值分级法以及经验与数值相结合的方法等(见图1)。

2.2 隧道围岩动态分级模型

隧道围岩动态分级方法以简洁、易用为出发点，并密切与隧道施工阶段的特点相结合。本文着重参考RMR分级方法，选取多因素的Bieniawski模型作为围岩动态分级的数学模型。即对选定的动态分级因素的定性特征或定量指标进行评分，并将评分进行和差计算，给出表征围

表2 岩石强度点荷载试验换算值及其评分

R_c/MPa	>60	60~30	30~15	15~5	<5
坚硬程度	坚硬岩	较坚硬岩	较软岩	软岩	极软岩
RMD评分	30~25	25~12	12~5	5~3	2~1

注：表中的 R_c 是由不少于16块不规则岩石试样的点荷载强度换算而来的均值。

表3 结构面组数 J_n 评分

结构面组数 J_n	0	1~2	2~3	>3	无序
RMD评分	10~9	8~7	6~5	4~3	2~1

注：0组表示结构面发育较少，未成组发育；“无序”

指结构面十分发育。

表5 结构面结合特征及其评分

结合程度	结构面结合特征	RMD评分
结合好	张开度<1mm，无充填物； 张开度1~3mm，为硅质或铁质胶结； 张开度>3mm，结构面粗糙，为硅质胶结。	16~20
结合较好	张开度1~3mm，为钙质胶结； 张开度>3mm，结构面粗糙，为铁质或钙质胶结。	12~16
结合一般	张开度1~3mm，为泥质胶结； 张开度>3mm，结构面粗糙，为泥质或钙质胶结。	8~12
结合差	张开度1~3mm，结构面平直，为泥质或泥质和钙质胶结； 张开度>3mm，多为泥质或岩屑充填。	4~8
结合很差	泥质充填或泥夹岩屑充填，充填物厚度大于起伏差。	1~4

岩质量的总评分，并将总评分划分若干档次，对应不同的围岩等级。

将围岩动态分级方法(Rock Mass Dynamic Classification)记为RMD法，并用RMD表示各因素的评分总和，则RMD可以表示为：

$$RMD = [R_c + (J_n + J_s + J_c) + RMS] - (GS + GW + JO) \quad (1)$$

其中： R_c 表示岩块强度，评分区间为[0, 30]；

J_n 表示结构面组数，评分区间为[0, 10]；

J_s 表示结构面间距，评分区间为[0, 10]；

J_c 表示结构面状态，评分区间为[0, 20]；

RMS为岩体结构特征，评分区间为[0, 30]；

GS表示地应力状态，评分区间为[0, 10]；

GW为地下水发育情况，评分区间为[0, 10]；

JO为不利结构面影响，评分区间为[0, 10]。

式(1)中，通过给定各因素不同的评分区间来

表4 结构面间距 J_s 划分及其评分

结构面间距 J_s/m	>1	1~0.4	0.4~0.2	<0.2	极密
RMD评分	10~9	8~7	6~5	4~3	2~1

表6 岩体结构类型及其评分

岩体结构类型RMS	整体结构	块状结构	层状结构	碎裂结构	散体结构
RMD评分	30~26	25~19	18~13	12~6	5~1

体现其在分级体系中的权重。各因素的权重及其评分区间是在充分参考已有围岩分级方法的基础上并结合大量的隧道围岩分级实践确定的。

式(1)中岩石强度、结构面发育特征和岩体结构特征为围岩的基本质量因素，其评分为正向评分，总和为100。地应力状态、地下水发育情况和不利结构面产状影响为修正因素，其评分为负向评分。围岩动态分级根据RMD的最终评分将其等分为5档，对应隧道围岩的5个等级。

2.3 隧道围岩动态分级各因素评分

由于隧道施工的实效性，隧道在钻爆开挖后，必须快速而合理地对围岩进行动态分级，进而确定合适的支护衬砌参数。应避免围岩分级实施过程较长而贻误了围岩的最佳支护时间、耽误各施工环节的高效衔接。鉴于此，对于围岩动态分级的各因素评分，如果该因素可以在现场进行简单的测试或测量，则以量化指标为评分依据；如果该因素在现场测试困难、对测试环境要求高或者测试周期较长，不利于分级过程的快速实施，则以其定性特征和描述为评分依据。

2.3.1 岩石强度 R_c 评分

结合隧道工程施工阶段的特点，岩石强度不便于采用室内单轴或三轴试验来确定其强度。而岩石点荷载强度试验以其方法简便、有利于现场试验、成本低、可对不规则岩块进行测试等优点得到广泛使用。且已有研究表明^[22]：岩石点荷载试验值与其单轴抗压强度之间有很好的相关性。二者之间的关系式参照文献[17]的内容，并可将其

表7 地应力状态及其评分

地应力发育特征		RMD评分				
地应力状态	主要现象	100~81	80~61	60~41	40~21	≤20
极高地应力区	硬质岩：开挖时有岩爆发生，有岩块弹出，洞壁岩体发生剥离，新生裂隙多，成洞性差； 软质岩：常有岩芯饼化现象，开挖时洞壁岩体有剥离，位移极为显著，甚至发生大位移，持续时间长，不易成洞。	7	7	7~10	7~10	7
高地应力区	硬质岩：开挖时可能有岩爆，洞壁岩体有剥离或掉块现象，新生裂隙较多，成洞性差； 软质岩：岩芯时有饼化现象，开挖时洞壁岩体位移显著，持续时间较长，成洞性差。	4	4	4	4~7	4~7
低地应力区	无岩爆、岩芯饼化等现象发生。	0	0	0	0	0

注：表中的RMD值为围岩基本因素的总评分，尚未考虑修正因素。

表8 地下水发育状态及其评分

RMD GW	100~81	80~61	60~41	40~21	≤20
干燥	0	0	0	0	0
潮湿	0	0	0	1~2	3~4
渗水、滴水状	0	0	1	2~3	4~6
淋雨、流线状	0	1	2~3	4~6	7~9
涌流状	0	1~3	4~6	7~9	10

注：表中的RMD值为围岩基本因素的总评分，尚未考虑修正因素。

换算过程编制成Excel表格，以方便进行。岩石强度点荷载试验换算值及其评分见表2。

2.3.2 结构面组数 J_n 评分

成组结构面指的是力学性质相同、产状基本一致的一群结构面。结构面组数与围岩的完整程度密切相关，组数越多，围岩越破碎。结构面组数 J_n 评分见表3。

2.3.3 结构面间距 J_s 评分

国内外有关结构面间距划分的标准较多，其划分界限也各不相同。此处参考工程岩体分级标准^[16]相关内容。结构面间距及其评分见表4。

2.3.4 结构面结合状态 J_c 评分

选取结构面的张开度和充填胶结特征来表征其结合状态，一是因为它们是决定结构面结合程度的主要方面，再则是为了方便隧道现场的工作，工程师们在现场工作时凭直观观察就能判断。应将这两者综合起来，相互搭配。结构面结合程度特征及其RMD评分见表5。

2.3.5 岩体结构特征RMS评分

一般将岩体划分为：整体状结构、块状结构、层状结构、碎裂状结构和散体状结构五种结构类型^[20]。各种岩体结构类型及其评分见表6。

2.3.6 地应力状态GS评分

地应力是天然状态下存在于岩体内部的应力，是客观存在的物理量，是岩石工程的基本外荷载之一。高地应力常引起岩爆或岩芯饼化。一般情况下，岩爆发生在岩性坚硬完整或较完整的地区，岩芯饼化发生在中等强度以下的岩体中。一定的地应力状态对不同岩性的围岩，其对围岩稳定性的影响程度不同。山岭隧道场区的地应力状况常在勘察阶段进行测试或评定，并给出极高应力区、高应力区和低应力区3种评定结果。此处参照《工程岩体分级标准》^[16]相关内容并做适当补充。地应力状态及其评分见表7。

2.3.7 地下水发育状态GW评分

地下水是影响围岩稳定的重要因素，其作用表现为溶蚀岩石或结构面中的易溶胶结物，使岩石强度降低，增加岩体渗流压力等。这些作用有些可通过围岩基本因素反映，如：溶蚀结构面胶结物可通过结构面结合状态因素体现，降低岩石强度可通过岩石的强度试验体现。而其他作用在基本因素中体现不出，仍需通过修正因素来反映它们对围岩质量及稳定性的影响。

综合国内外资料显示，地下水发育状态对不同级别的围岩其影响不同。常将地下水发育状态分为：渗水、滴水状，淋雨、流线状，涌水状三类。此处结合隧道工程实际，另外考虑掌子面干燥和潮湿两种状态。其RMD评分见表8。

表9 不利结构面产状修正及其评分

结构面走向	走向垂直于隧道轴线				走向平行于隧道轴线		任意走向
	顺倾角开挖		反倾角开挖				
结构面倾角	45°~90°	20°~45°	45°~90°	20°~45°	45°~90°	20°~45°	0°~20°
工程效应	非常有利	有利	一般	不利	非常不利	一般	一般
RMD评分	0	1~2	3~5	6~8	9~10	3~5	3~5

表10 山岭隧道围岩动态分级

RMD区间	100~81	80~61	60~41	40~21	≤20
围岩级别	I	II	III	IV	V
围岩质量特征	非常好	好	一般	差	极差

注：本方法主要针对岩质隧道进行，其评判的围岩级别与国标BQ的岩质隧道分级及其支护衬砌参数对应。

表11 山岭隧道围岩动态分级体系

A	动态分级基本因素及其评分					
1	岩石强度 R_c /MPa①	>60	60~30	30~15	15~5	<5
	岩石坚硬程度	坚硬岩	较坚硬岩	较软岩	软岩	极软岩
	RMD评分	30~25	25~12	12~5	5~3	2~1
2	结构面组数 J_n	0	1~2	2~3	>3	无序
	RMD评分	10~9	8~7	6~5	4~3	2~1
3	结构面间距 J_s	>1m	1m~0.4m	0.4m~0.2m	<0.2m	极密
	RMD评分	10~9	8~7	6~5	4~3	2~1
4	结构面结合状态 J_c ②	结合好	结合较好	结合一般	结合差	结合很差
	RMD评分	20~16	16~12	12~8	8~4	4~1
5	岩体结构类型RMS	整体状结构	块状结构	层状结构	碎裂状结构	散体状结构
	RMD评分	30~26	25~19	18~13	12~6	5~1
B	动态分级修正因素及其评分					
	RMD③	100~81	80~61	60~41	40~21	≤20
地应力发育状态GS④	极高地应力区	7	7	7~10	7~10	7
	高地应力区	4	4	4	4~7	4~7
	低地应力区	0	0	0	0	0
地下水发育状态GW	干燥	0	0	0	0	0
	潮湿	0	0	0	1~2	3~4
	渗水、滴水状	0	0	1	2~3	4~6
	淋雨、流线状	0	1	2~3	4~6	7~9
	涌流状	0	1~3	4~6	7~9	10
不利结构面产状JO⑤	结构面工程效应	非常有利	有利	一般	不利	非常不利
	RMD评分	0	1~2	3~5	6~8	9~10
C	隧道围岩动态分级					
	RMD⑥	100~81	80~61	60~41	40~21	≤20
	围岩级别	I	II	III	IV	V
	围岩质量特征	非常好	好	一般	差	极差

注：①岩石强度 R_c 为若干块不规则岩石试件的点荷载强度换算值；②参见表6；③此处为动态分级基本因素的RMD评分之和；④参见表8；⑤参见表10；⑥此处为修正后的RMD值。

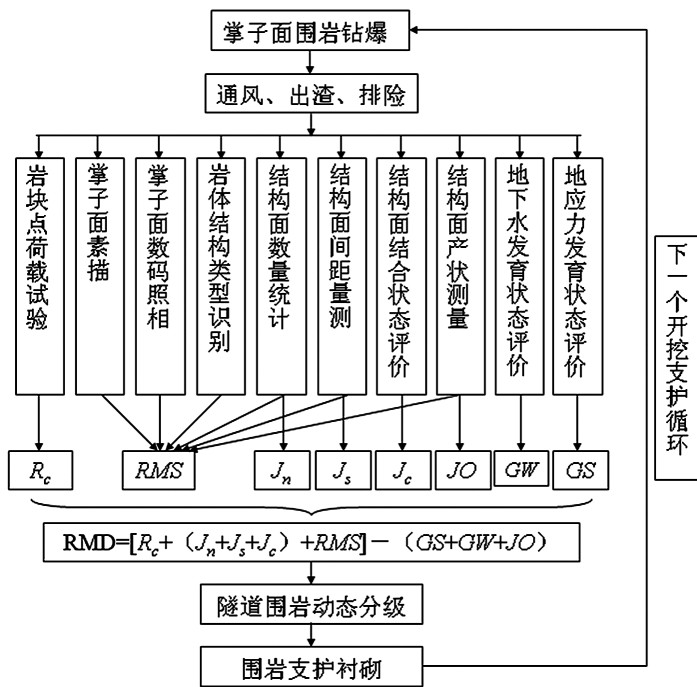


图2 隧道围岩动态分级流程

2.3.8 不利结构面产状影响JO评分

结构面是影响隧道围岩稳定的一个重要因素，尤其是对围岩稳定影响起控制作用的软弱结构面，比如：层状围岩的泥化层面、一组宽大裂隙、泥化夹层、断层带、构造剪切带等。结构面产状与山岭隧道轴线的组合关系不同对围岩稳定的影响程度也不同。不利结构面产状影响的修正方法很多，此处参照文献[23,24]的研究成果，具体见表9。

2.4 山岭隧道围岩动态分级

根据隧道围岩动态分级的基本因素和修正因素的RMD总评分，将RMD值等分为5个区间，依次对应隧道围岩的5个等级(见表10)。

2.5 山岭隧道围岩动态分级方法体系

为方便围岩动态分级方法的应用，将动态分级各因素的定性特征或定量指标及其评分综合成表，见表11。

3 隧道围岩动态分级方法与国标BQ分级法的应用比较

依托河北省境内若干条大跨度高速公路隧道

工程实例，将本方法应用于若干条大跨浅埋高速公路隧道的2000余幅掌子面的围岩分级实践之中并与国标BQ分级法进行了比较应用。通过对相关数据进行分析，研究RMD与[BQ]之间的关系，并比较两种方法的分级结果，验证了本方法的可行性。

3.1 依托山岭隧道工程概况

依托河北省境内青岛—兰州高速公路邯郸—涉县段的5条三车道隧道和张家口—石家庄高速公路二期工程的19条三车道隧道。这些隧道短则200m左右，长则4,300m左右；设置形式涵盖了标准分离式、小净距和连拱三种类型；围岩岩性主要有页岩、泥岩、灰岩、白云岩、片麻岩、花岗岩、角砾岩等。

3.2 围岩动态分级方法的应用流程

动态分级方法在应用过程中需密切结合隧道工程的施工工序，应发挥其方便、快捷的特点，避免耽误隧道施工，以免贻误隧道围岩的最佳喷锚支护时机。其应用流程见图2。

3.3 围岩动态分级方法的应用及与BQ法的比较

3.3.1 RMD法、BQ法的应用比较

针对同一幅掌子面，分别采用RMD法、BQ分级法进行围岩质量评价和围岩级别划分。共选取了有代表性的92个隧道掌子面来进行应用比较。为便于数据对比，以国标BQ分级法判定的围岩级别顺序进行，从V级围岩到II级围岩依次进行。由于工程实际遇到的I级围岩少之又少，不便于数据收集，故此处不做该类围岩的应用比较。其应用结果见图3、图4。

3.3.2 RMD法与BQ法划分的围岩级别比较

以国标BQ法划分的围岩级别为比较对象，从国标的V级围岩至II级围岩依次比较(见图4)。

3.3.3 RMD值与[BQ]值之间的关系

针对这92组数据，通过数据拟合得到了RMD与[BQ]、RMD之间的关系(见图5)。

由图5曲线及拟合关系式可知RMD和[BQ]之间呈近似线性关系。

3.4 讨论

由图4可知，RMD法与国标BQ法的围岩分级结果有较高的一致性，但RMD法对某些掌子面围

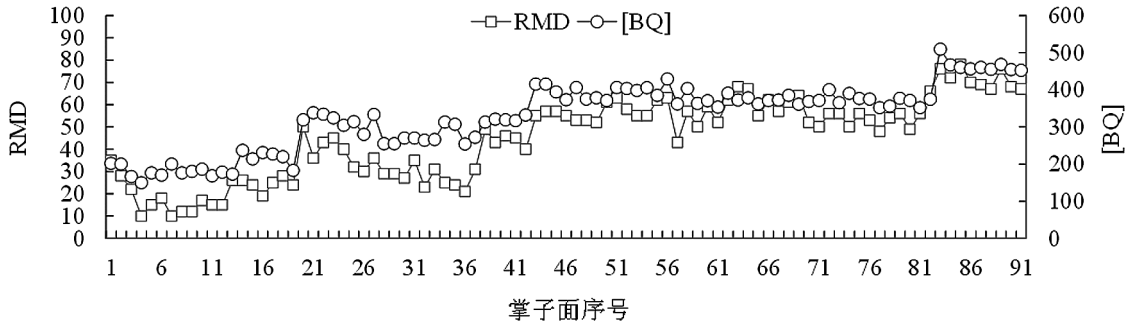


图3 隧道掌子面的RMD评分和[BQ]值曲线

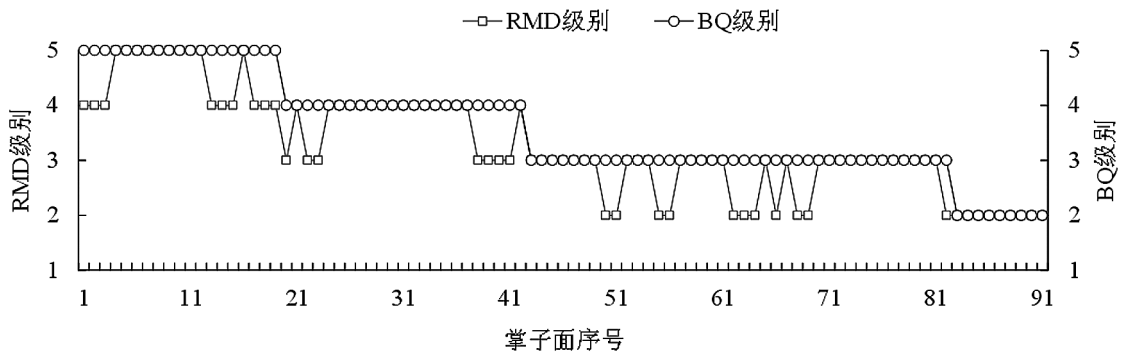


图4 隧道掌子面的RMD级别和BQ级别比较

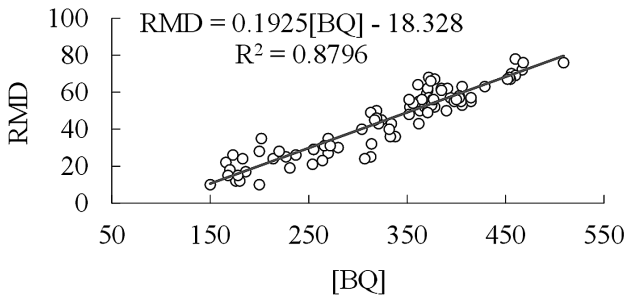


图5 RMD与[BQ]的拟合关系

岩判定的级别高于BQ法的级别。分析原始数据发现：这些掌子面围岩的岩块强度均较高，而岩体比较破碎，若采用BQ法就用到了该法的限制条件之一^[25]，相当于对岩块强度进行了折减；而RMD法为各因素评分的和差运算，无需对岩块强度进行折减后评分。

4 结论

本文探讨了适用于山岭隧道施工阶段的围岩动态分级方法（RMD法），并以具体的围岩分级实践，与国标BQ分级法进行了比较应用，主要结

论与认识如下：

- (1) 鉴于山岭隧道施工阶段围岩分级的特殊性，必须研究与之匹配的围岩动态分级方法；
- (2) 岩体结构控制着隧道围岩的稳定性及其力学特性，因此应将岩体结构发育特征作为一个评价指标参与到隧道围岩动态分级体系中；
- (3) 围岩动态分级方法（RMD法）的指标选取意义明确，其特征和量化指标易于获取和评分，方便用于山岭隧道施工阶段的围岩动态分级之中；
- (4) 92个代表性隧道掌子面的比较应用表明本方法的分级结果与国标BQ法有较高的一致性，说明该方法具有一定的工程应用价值。

参考文献

[1] 宋成辉. 隧道围岩快速分级及稳定性超前预测方法研究[博士学位论文D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2005.

[2] 王明年, 何林生. 建立公路隧道施工阶段围岩分级的思考[J]. 广东公路交通, 1998, 24(S1): 125-128.

[3] 付守旺. 隧道围岩动态分级内容、方法与现场实施[J]. 交通世界, 2010, 18(4): 155-157.

- [4] Terzaghi, K. Rock defects and loads on tunnel supports [R]. Youngstown, OH: Commercial Shearing and Stamping Company, 1946.
- [5] Lauffer, H. Gebirgsklassifizierung für den Stollenbau [J]. Geology, 1958, 24(1): 46—51.
- [6] Deere D.U., Hendron A.J., Patton F.D., et al. Design of Surface and Near Surface Construction in Rock[C]// C. Fairhurst ed. Failure and Breakage of Rock. New York: Society of Mining Engineers of AIME, 1967: 237—302.
- [7] Deere, D.U., Deere D.W. The Rock Quality Index in Practice[C]//L. Kirkaldie ed. Rock Classification Systems for Engineering Purposes. Philadelphia: ASTM Special Publication 984, 1988: 91—101.
- [8] Deere, D.U. Rock quality designation (RQD) after 20 years[R]. U.S. Army Corps Engrs Contract Report GL-89-1. Vicksburg: MS Waterways Experimental Station, 1989.
- [9] Wickham, G.E., Tiedemann, H.R. and Skinner, E.H. Support determination based on geologic predictions[C]// Proc. North American Rapid Excav. Tunneling Conf. Chicago, 1972: 43—64.
- [10] Barton, N.R., Lien, R. and Lunde, J. Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support [J]. Rock Mechanics. 1974, 6(4): 189—239.
- [11] Barton, N., L set, F., Lien, R. and Lunde, J. Application of the Q-system in design decisions [M]. New York: Pergamon, 1981.
- [12] Bieniawski, Z.T. Engineering classification of jointed rock masses [J]. Transaction of the South African Institution of Civil Engineers, 1973, 6(4): 335—344.
- [13] Bieniawski, Z.T. Rock mass classification in rock engineering[C]// Bieniawski, Z.T. ed. Exploration Forrock Engineering, Proc. of the Symp. Cape Town: Balkema, 1976: 97—106.
- [14] Bieniawski, Z.T. Engineering rock mass classifications [M]. New York: John Wiley, 1989.
- [15] Arild Palmstr m. RMi—a rock mass characterization system for rock engineering purposes [D]. University of Oslo, Norway, 1995.
- [16] 中华人民共和国行业标准编写组. GB 50218-94 工程岩体分级标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 1995.
- [17] 陈昌彦, 王荣贵. 各类岩体质量评价方法的相关性探讨[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(12): 1894—1900.
- [18] Arild Palmstr m. Combining the RMR, Q, and RMi classification systems [J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2009, 24(4): 491—492.
- [19] 谷德振. 岩体工程地质力学基础[M]: 北京: 科学出版社, 1983.
- [20] 孙广忠. 岩体结构力学[M]. 北京: 科学出版社, 1988.
- [21] 王思敬. 中国岩石力学与工程世纪成就[M]. 南京: 河海大学出版社, 2004.
- [22] 李茂兰, 钟光宙. 岩石点荷载测试及其应用 [M]. 成都: 西南交大出版社, 1994.
- [23] T. E. Francis. Determination of the influence of joint orientation on rock mass classification for tunneling use a stereographic overlay [J]. Quarterly Journal of Engineering Geology, 1991, 24(3): 385—396.
- [24] 杜时贵, 周良庆, 孙有法. 公路隧道稳定的结构面影响[J]. 中国公路学报, 1997, 10(2): 65—69.
- [25] 秦峰. 公路隧道围岩分级中存在的问题探讨[J]. 公路隧道, 2008, 16(4): 11—14.

加筋土挡墙稳定性计算研究

■ 王璐 马宏剑 张靖杰 「岩土工程」

摘要: 通过对加筋土挡墙破坏模式和加筋机理、稳定性计算方法的介绍,以南京市某加筋土挡墙倒塌为例,对加筋土挡墙的稳定性进行了分析,对类似工程具有指导与借鉴意义。

关键词: 加筋土挡墙; 工作机理; 稳定性计算

0 前言

加筋土挡墙由填料、在填料中布置的拉筋和墙面板组成。在有些情况下,还需要设置面板基础、墙顶帽石及一些排水辅助措施,如图1所示。目前,所使用的加筋材料主要包括土工格栅、土工织物、土工条带、土工格室等。

加筋土挡墙可承受抗拉、抗压和抗剪作用,能显著提高填土强度;通过土—加筋系统维持稳定,能安全地修筑非常陡的边坡甚至是直立的挡墙,能承受更大的沉降变形。通过充分利用土与拉筋的共同作用,使得挡墙对地基承载力的要求相对降低,整体性增强,抗震性能提高。由于筋材可大大减小墙面的侧向变形,能使整个加筋土挡墙更加稳定,与重力式挡墙相比,加筋土挡墙工程造价也更低。因此,加筋土挡墙被广泛应用于道路边坡防护等领域。

本文将在加筋土挡墙的简介、加筋土挡墙的破坏模式和加筋机理研究的基础上,以南京市某加筋土挡墙设计为例,对其进行稳定性计算实例介绍。

1 加筋土挡墙的工作原理

1.1 加筋土挡墙的破坏模式

加筋土挡墙的面板包括刚性面板和柔性面板两种。在刚性面板条件下,加筋填土体保持整体运动,根据破坏或变形的成因和方式可分为:(a)加筋土挡墙水平滑动破坏;(b)加筋土挡墙倾覆破坏;(c)地基承载力破坏;(d)深层(整体)滑动破坏,如图2所示。在柔性面板条件下,除了图2中(a~d)所示的破坏模式外,还可能存在(e)层间滑动

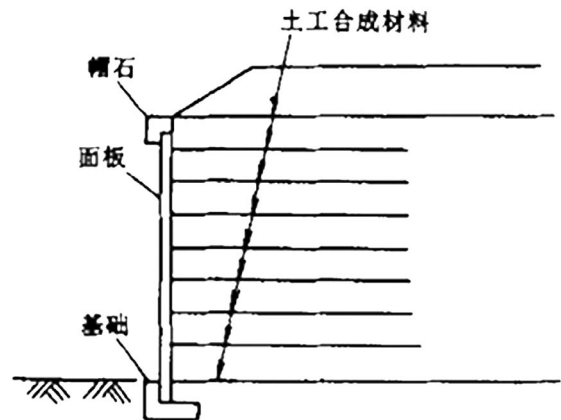


图1 加筋土挡墙基本结构图

作者简介:王璐,女,工程师,2011年毕业于同济大学地下建筑与工程系,现就职于中航勘察设计研究院有限公司勘察一部。

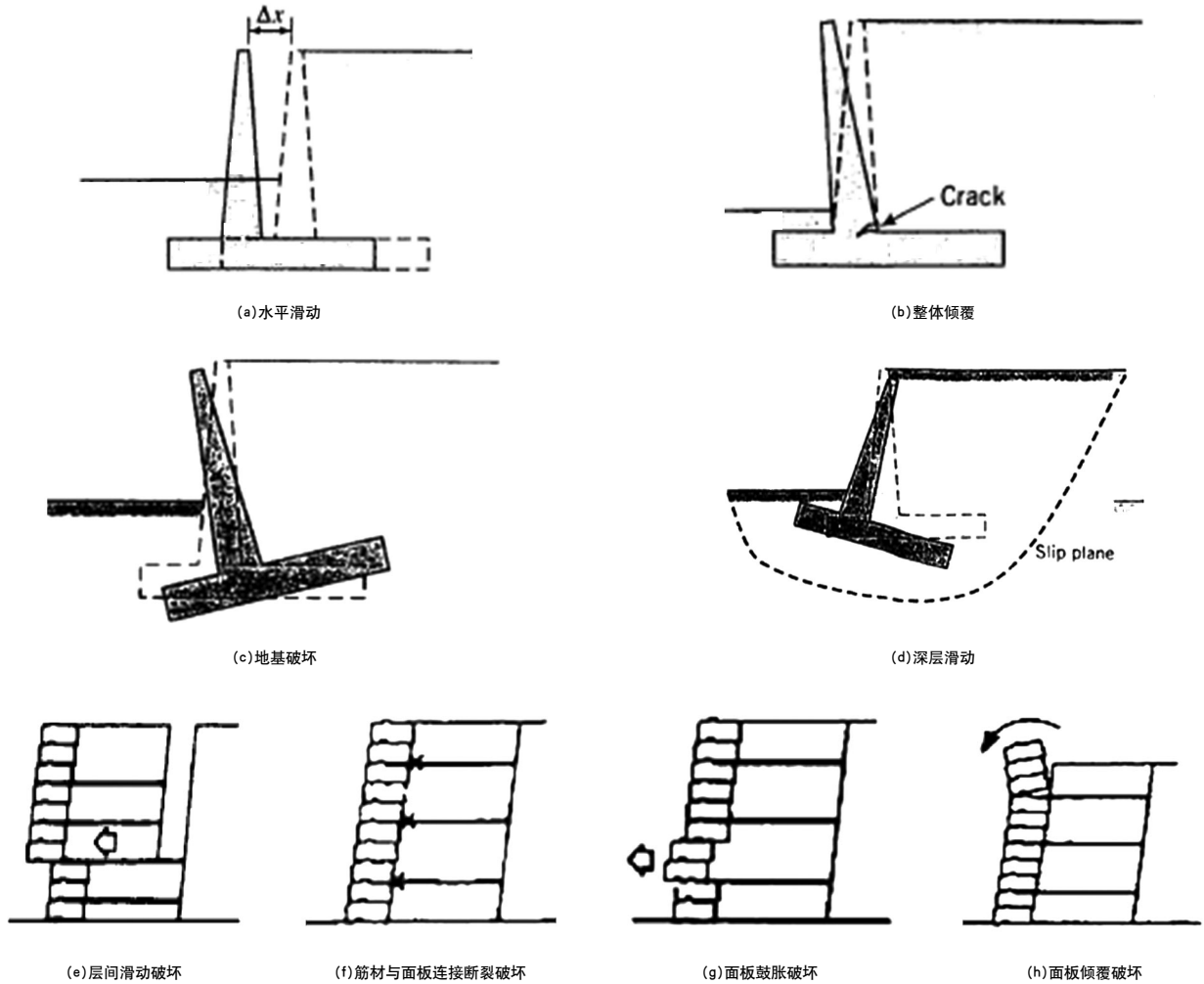


图2 加筋挡土墙的破坏模式

式的局部界面剪切破坏、(f)筋材与面板连接断裂破坏、(g)面板鼓胀破坏和(h)面板倾覆破坏等几种挡墙内部破坏模式。后三种模式，也被称为面板稳定性破坏模式。

根据我国规范《土工合成材料应用技术规范》(GB50290-98)^[1]的相关规定，按加筋材料的力学特性，加筋土挡墙按加筋材料的刚度(延伸率)大小可分为“刚性筋式”和“柔性筋式”挡墙，前者指“用抗拉模量高、延伸率低的加筋土工带等作为筋材”，挡墙内填土中的潜在破裂面见图3(a)；后者是指“以织造土工织物等中等拉伸模量材料作为筋材”，挡墙内填土中的潜在破裂面见图3(b)。可见，“刚性筋式”和“柔性筋式”挡墙的内部破裂面存在明显的差别。

1.2 加筋机理

在土体中加筋，以筋材作为抗拉构件与土产

生相互摩擦作用，限制其上下土体的侧向变形，增强土体的整体性，从而提高土体的抗剪强度。目前对加筋机理的解释，绝大多数都是关于筋土界面之间的相互作用而展开的，这也是加筋机理中的实质问题。

由于加筋材料存在空间几何特征上的差异，加筋材料与土之间的应力传递可以通过两种方式来完成：摩擦阻力和被动阻力。加筋材料与土体之间的摩擦作用力和被动阻力是土体在外部荷载作用下发生剪切变形时出现的，其作用表现为限制土体的变形，提高土体的强度和整体性。

在加筋土挡墙结构中，随着侧向伸张应变发展和加筋率的变化，墙面所受侧向土压力与加筋所受拉力都发生着变化。加筋土挡墙墙面板的作用是防止土在拉筋间松动，承受剩余侧压力，同时保持墙的设计形状及外观要求等。加筋土中

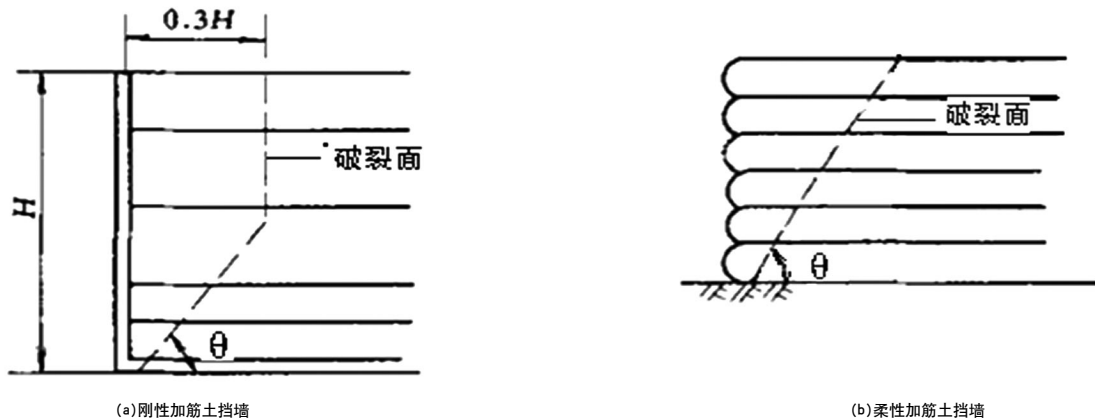


图3 加筋土挡墙的破裂面示意图

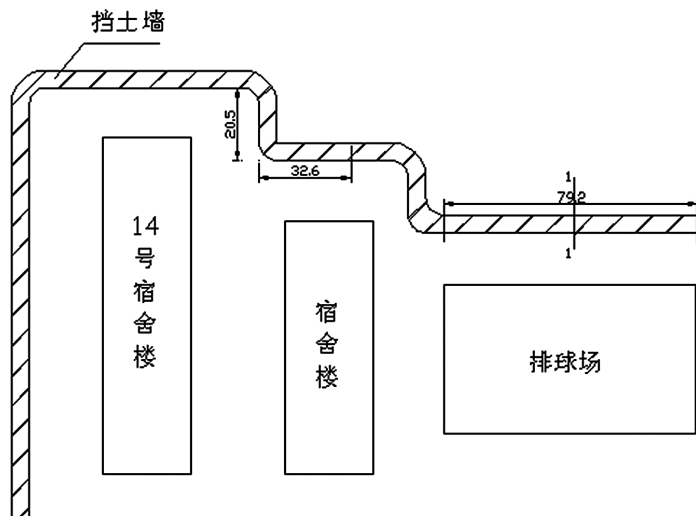


图4 加筋土挡墙平面分布图(标注距离部分为坍塌段)

拉筋的功能是，通过拉筋抗拉强度及拉筋与填土间接接触面的摩擦阻力，来限制土体的应变，从而增加土的强度及加筋土结构的稳定性。如果由于某些因素的作用墙面未发生任何位移，处于静止状态，这时，拉筋不起作用，墙面承受静止土压力。然而，如果墙面发生位移，则是另一种情况，这时，加筋会发挥越来越大的作用。这说明，只有当加筋土的侧向伸张应变达到一定程度时，加筋才能发挥明显作用，加筋约束土体变形的能力才得以发挥。在主动极限状态下，加筋的补强作用得到了最大程度的发挥。

2 稳定性计算

在加筋土挡墙的设计计算中，需要考虑的影

响因素较多，包括挡墙的地基条件、几何形式、面板特性、加筋和填土的种类与特性、墙顶荷载类型与大小、加筋布置形式，以及筋土之间的相互作用特性。在进行加筋土工程设计时，有众多国内外相关规范可以参考，纵观这些规范体系，大致可以划分为两类：基于极限平衡原理上的容许应力法(即我国规范采用的总安全系数法)^[1-4]和同样基于极限平衡原理上的分项系数法(又称Load and Resistance Factor Design，简称LRFD，即荷载抗力系数法)。

对加筋挡土墙采用基于极限平衡原理的容许应力法设计，主要包含内部稳定性验算及外部稳定性验算两部分。

内部稳定性验算，首先要假设潜在的破坏面来进行计算，包括侧向土压力计算、筋材拉力计算、筋材抗拉强度和锚固强度验算。可能的破裂面有多种，实际工程中一般采用传统的朗肯型和0.3H简化型，见图3。一般而言，墙体上部的筋带数量及长度由抗拔控制，下部的筋带数量及长度由强度控制；筋带根数由强度控制，筋带长度由抗拔控制。恒载下，抗拉力由筋带强度控制。规范规定在计算活载效应时，只考虑其产生的水平应力，而不考虑其产生的竖向应力，这使得上层筋带的抗拔总是在筋带长度很大时才能得到满足。

外部稳定性验算又包括抗水平滑移验算、深层滑动稳定性验算、地基承载力验算三部分。在规范中，外部稳定计算中，把筋体范围内的整个加筋土体视为一个刚性“墙体”，但“墙”底实

表1 黏性土物理力学参数指标

液限(%)	塑限(%)	塑性指数Ip	配置含水率(%)	湿密度(g/cm ³)	黏聚力(kPa)	内摩擦角(°)
37.5	18.57	18.93	31.9	1.91	1.29	23

表2 各土层物理力学特性

土层	砂砾层	填土	2-1粉质黏土	2-2粉质黏土	3-1粉质黏土
材料模型	莫尔-库仑	莫尔-库仑	莫尔-库仑	莫尔-库仑	莫尔-库仑
材料类型	排水	不排水	不排水	不排水	不排水
水位以上土体重度 $\gamma_{unsat}/(kN \cdot m^{-3})$	20.0	19.5	19.4	18.9	19.6
水位以下土体重度 $\gamma_{sat}/(kN \cdot m^{-3})$	20.0	20.0	20.0	19.5	20.1
水平渗透系数 $kh/(10^{-3}m \cdot d^{-1})$	8.64E+01	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-04
竖向渗透系数 $kh/(10^{-3}m \cdot d^{-1})$	8.64E+01	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-04	8.64E-04
弹性模型 E_{ref}/MPa	200	8	8.44	5.74	6.5
泊松比	0.2	0.25	0.25	0.25	0.25
有效黏聚力 c'/kPa	5	20	20	15	10
有效内摩擦角 $\phi'/(°)$	45	36	34	32	30
剪胀角 $\psi/(°)$	0	0	0	0	0



图5 加筋土挡墙倒塌现场照片

实际上是柔性的，按刚性墙体的计算方法计算地基反力，计算的值必将较实际的偏大。

3 实例分析

3.1 工程背景

建于南京市某高校的自嵌式加筋土挡墙，墙高2.70~4.35m不等，墙顶为一水平平台。挡墙由面板、加筋材料、填土构成，填土与面板之间设置排水碎石，碎石与填土之间采用无纺土工织物作为过滤材料。面板采用400mm×305mm×150mm(长×宽×高)自嵌式混

凝土空心块体，其强度等级为C30，块体前端到回填土之间填筑500mm宽级配碎石；加筋材料采用玻璃纤维土工格栅。挡墙位置见图4。2008年7月31日到8月2日的连续强降雨之后，挡墙现场状况见图5。

3.2 加筋土挡墙材料性质

本次试验所用材料为玻璃纤维土工格栅和黏性土。

加筋材料玻璃纤维土工格栅采用的是南京金路土工复合材料有限公司生产的R2522-A型双向玻纤土工格栅，其断裂强度50kN/m，断裂伸长率≤4%，单位面积质量325g/m²，网孔尺寸25mm×25mm，纵向极限抗拉强度35kN/m，极限延伸率≤3%，横向极限抗拉强度20kN/m，极限延伸率≤3%。土体中加筋布置长度根据挡墙高度的不同，采用2.5m和4.0m两种。其容许拉应力为15.5kN/m，加筋的层间距为0.45m。

采用的黏性土为粉质黏土。取样后，对现场取样的天然黏性土先烘干，然后用粉碎机进行粉碎，粉碎后的黏土呈粉粒状，然后掺水均匀拌合，制成一定含水率的重塑土，最后对重塑土进行不同物理指标的量测，得到的参数见表1。

3.3 稳定性计算基本资料

本次加筋挡土墙及墙后山体的边坡稳定性计算是参照国标《土工合成材料应用技术规范》

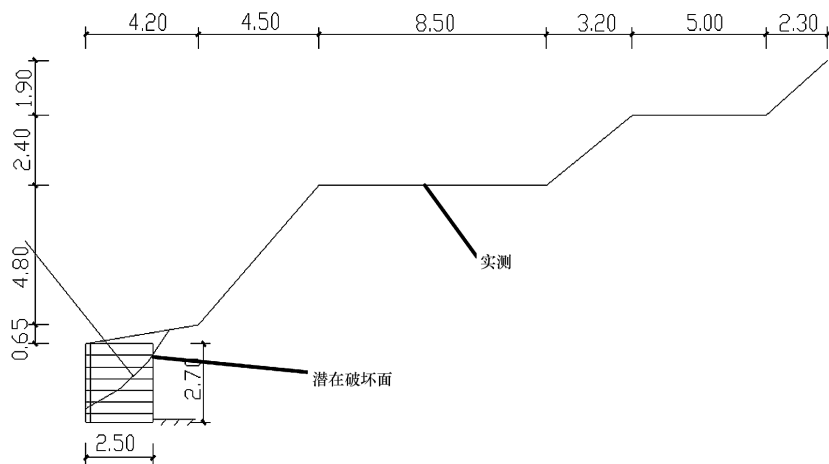


图6 剖面1处挡墙的潜在破坏模式

(GB50290-98)^[1]和《水利水电工程土工合成材料应用技术规范》(SL/T225-98)^[2]进行, 计算软件为理正岩土系列软件(5.11版挡土墙设计程序)。

稳定分析计算过程包括以下几种工况: 一是正常情况下的挡土墙及墙后山体边坡稳定性验算; 二是考虑强降水过程, 挡墙内水位升高, 水压力增大情况下的挡土墙边坡稳定性验算; 三是考虑地震作用下, 挡土墙边坡稳定性的验算。正常条件下的计算参数按照《农大工学院第二生活区岩土工程勘察报告》和材料相关参数进行选取; 在暴雨条件和地震作用下, 对计算强度参数进行折减。

稳定性分析计算剖面位置如图4所示, 该位置处挡土墙高度为2.70m, 土工格栅长度为2.50m。

稳定性计算中各土层相关物理力学特性参考《农大工学院第二生活区岩土工程勘察报告》和经验值, 详见表2。初始地下水位位于地面以下0.9m处。

参考经验值, 填土与筋材、填土与墙面块体、墙面块体与墙面块体、混凝土板与地基土之间的界面摩擦角分别取29°、24°、23°和36°。

3.4 稳定性计算结果

图6所示为图4中剖面1处地形特征和计算所得的潜在破坏面位置。图中所示地形特征是根据现场实测资料绘制。

计算结果表明: 在正常情况下, 整体稳定性验算最小安全系数为1.628, 满足规范要求, 其他各项内部稳定性、外部稳定性指标验算也满足规范要求, 整体状况稳定。在考虑强降水情况下,

整体稳定性验算最小安全系数为1.537, 满足规范要求, 但是内部不稳定性验算采用应力分析法验算所得的筋带抗拔验算不满足: 最小安全系数为0.845, 小于2.000。

计算结果显示, 挡土墙边坡整体稳定, 但在强降雨条件下是不稳定的, 所以最终导致挡墙破坏。前端筋带抗拔能力不足则说明: 可能存在由于筋带拉拔而造成的侧向位移过大。

本项目中挡墙的实际破坏模式有水平滑动破坏、整体倾覆破坏、面板倾覆破坏等。

4 结语

加筋土挡墙由填料、在填料中布置的拉筋和墙面板组成。不同类型的挡墙其内部破裂面存在明显的差别。对加筋挡土墙采用基于极限平衡原理的容许应力法设计, 主要包含内部稳定性验算及外部稳定性验算两部分。只有内部稳定性验算和外部稳定性验算均满足相关规范要求, 才能说明此挡墙是稳定的。

参考文献

- [1] 中华人民共和国国家标准. GB 50290-98 土工合成材料应用技术规范, 1998.
- [2] 中华人民共和国行业标准. SL/T 225-98 水利水电工程土工合成材料应用技术规范, 1998.
- [3] 中华人民共和国行业标准. JTJ/T 019-98 公路土工合成材料应用技术规范, 1998.
- [4] 中华人民共和国交通行业标准. JTJ 015-91 公路加筋土工程设计规范, 1991.

生物制药企业自动化与信息化 发展模式探究

■ 聂晶 刘景灏 「工艺」

摘要: 基于制药企业生产过程自动化控制和管理规范化问题,以某制药产业基地为例,探讨了工厂综合自动化系统在制药企业中的应用。

关键词: 制药企业; 自动化; 信息化

1 制药行业的信息化发展趋势

生物制药行业是朝阳行业。作为生物工程研究开发和应用中最活跃、进展最快的领域,被公认为21世纪最有前途的产业之一。我国生物制药行业2000年销售增长率达到21.6%,预计每年能保持20%~25%的年增长速度。但是面临国外生物制品冲击我国市场,我国大多数企业生产管理不规范,产品质量不过关,无法与国外产品竞争。制药行业同其他现代化工业一样,为确保生产的稳定、优质、高产、节能、降耗、环保,需要用自动化技术实现对生产过程的控制。因此,实现工厂生产过程自动化控制和管理规范化,扩大生产规模,提高产品质量,降低生产成本,成为本行业急需解决的问题。

2 综合自动化系统

上个世纪80年代后期,流程工业过程控制与生产管理发生了巨大变化,多学科间的相互渗透与结合,使过程控制与生产管理朝着一体化的方向发展,形成了企业综合自动化的新模式。

综合自动化系统是应用计算机网络技术、数据通信技术、应用软件技术、多媒体技术和控制技术等实现企业网络化、系统化、智能化和信息化综合管理和控制的系统,包括生产可视化、信息管理

系统化、管理优化、计划优化和调度、操作优化和过程控制及智能优化管理与决策的技术环境。

3 工厂综合自动化系统在制药企业中的应用

在以原料药生产和成品药生产为主的大中型制药企业中,企业综合智能自动化信息系统通常具有三层网络系统结构:即企业资源计划(ERP)、制造执行系统(MES)和过程控制系统(PCS)。基于MES的大中型制药企业智能ERP信息系统实施方案模型如图1所示。

其中,ERP层主要完成生产管理决策与生产计划;MES层的主要功能是动态地进行生产调度、生产过程实时监控和现场数据的分析;PCS层主要负责生产过程的自动控制与现场数据的采集与初步分析。整个网络以工业以太网和PROFIBUS现场总线为重要组成部分,可完成工厂通讯,数据通讯和过程/现场自动化通讯等不同层次,不同性能的复杂联网任务,见图2。

各车间底层信息采集与监控系统使用了先进的工业控制技术和计算机技术,这些控制设备根据预先设计好的控制程序,将控制信号传递给生产设备控制器件控制动作,同时将采集的参数数据上传给上位机,供管理层查看并实现信息共享。

3.1 控制层(PCS)

生产车间底层控制的子系统相当于一个控制单元,根据各自车间的实际需要,通过工业以太

作者简介:聂晶,女,高级工程师,2005年毕业于荷兰代夫特理工大学生物化工专业,现就职于中航建发医药工程设计研究院。

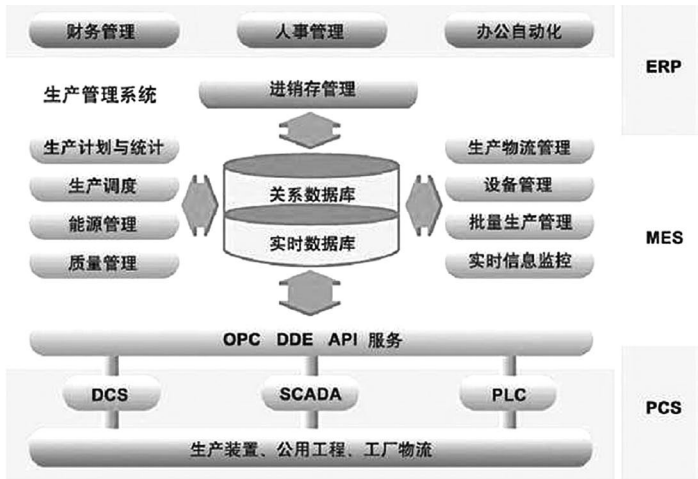


图1 大中型制药企业智能ERP信息系统实施方案模型图

网与各自车间的控制层主机构成二级分布式控制网络系统。

3.1.1 控制层系统组成

现以某制药产业基地为例，进行各控制子系统功能说明：该产业基地工程中控制层系统主要包括生产车间实时控制子系统、自动化立体仓库子系统、全厂能源管理子系统、设备状态监视与管理子系统等。

3.1.2 控制层各子系统的功能

1) 生产车间实时控制子系统

(1)工艺过程控制功能：根据工艺要求自动控制其作业流程、介质压力、温度、pH值和液位等。工艺流程中配液、油佐剂处理、投料、灭活、浓缩纯化等工序实现管道化和自动化；

(2)环境控制功能：主要由HVAC自控、冷站自控构成。其主要功能为控制生产环境的温度、湿度和压力，保证生产环境的洁净度，以满足GMP指标要求；

(3)人流、物流控制功能：GMP要求不同的人流、物流仅允许其在相应的洁净环境下活动，通过门禁控制，可使拥有不同权限和工作性质的工作人员只能活动在被允许的范围之内。

2) 自动化立体仓库子系统

自动化立体仓库主要由机械和控制两部分构成：机械部分包括货架、输送部分和码垛部分等；控制部分包括传感器、条码阅读器、计算机网络通讯数据库等。采用计算机控制和现代自动化机械，使出入库的效率和效益大幅度提高；可自动结算库存的货物种类和数量，并控制各种货物的流通速度。

3) 能源管理子系统

包括全厂供汽设备即锅炉控制，主要控制参数是炉膛温度、压力、冷却水水位、鼓风、引风及送煤系统等控制；以及全厂供水供电设备的实时监测主要对水压、水流量、气压、气流量、电流、电压、有功功率、无功功率、功率因素等参数监测。

4) 设备状态监视与管理子系统(工业电视)

主要由现场的摄像系统构成。在工艺生产过程中，许多关键运行状态必须实时跟踪监控。为了确保无人管理的有效性，本系统采用了数字图像监视系统。此外，图像监视系统为客户展示现代化工厂的风采，加大企业宣传力度。生产车间底层控制单元的监控台，可在图形监视器上完整、直观地动态显示各生产车间的生产过程的工艺流程总图，各工序设备运行状态、质量和工艺参数报表、实时趋势及历史趋势画面、故障及越限报警。并具有利用在线数据和数据库中数据计算主要生产指标完成情况的数据处理能力，可作为MES执行层监控、决策和动态调度的基础。不同级别的管理人员按照相应的权限，通过所局域网络系统或Internet实现远程浏览，以便随时掌握现场生产状况，为各级领导准确决策提供必要数据以指导生产。

3.2 执行层 (MES)

制造执行系统(MES)是位于企业上层企业资源计划(ERP)和底层工程控制系统(PCS)之间，系统向下具有丰富的实时数据采集接口支持各种DCS、PLC、SCADA系统，向上提供标准凭证，可与通用财务系统和OA系统集成。

3.2.1 执行层系统网络结构

MES系统主要由MES管理软件、MES数据库

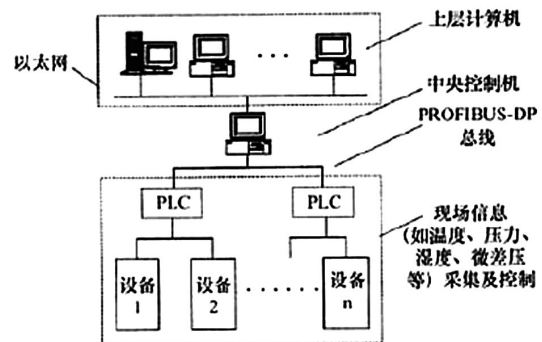


图2 车间全自动信息采集及控制系统结构示意图

服务器、MES调度台、车间作业信息显示屏等构成,采用星形网络拓扑结构;这种结构接线方式简单,便于网络维护和资源配置以及系统的监控和管理。

3.2.2 执行层系统的功能

MES为企业生产管理人员进行过程监控与管理、保证生产正常运行,控制产品质量和生产成本提供了灵活有力的工具。包括以下功能:实时信息监控、生产计划与统计、生产调度综合协调、管理生产作业过程、质量管理、设备管理、能源管理、生产物流管理、批量生产管理、进销存管理等。

以某制药产业基地项目为例:

对于生产车间,可根据生产线人力和物力的资源能力信息对车间进行排产、安排相应的计划。执行层系统可以获取控制层的有关控制参数值,实现协调管理;

动力站可由生产计划部门根据生产车间的生产任务所需的动力能源下达供应计划;

建立成品药的进入仓库和生产所需原料的进入藏库管理系统,随时根据备料计划执行情况的反馈和在成品库存配套缺料信息,为管理人员提供制定排产计划和备料计划的决策依据。

总之,基于实现车间生产统计的网络化,自动编制生产进度、工时利用、产品实耗和质量统计等报表,并为产品生产成本的核算提供定量依据;根据控制层的实时监控和反馈数据及作业计划进度情况,提供直观、灵活的产品生产动态跟踪查询,并可进行生产进度的预测,以实现实时的生产指挥调度。

3.3 计划层(ERP)

3.3.1 计划层系统的结构

计划层系统的结构采用基于Web的C/S与B/S混合结构的多层分布式信息平台。面向上层经营计划管理的ERP层主要采用C/S结构模式,只能由各功能模块管理人员使用,包括数据的录入、凭证和各种报表的打印、查询和分析等,增加了系统的安全性和可伸缩性。面向车间生产调度管理的MES层主要采用B/S结构模式,提供物料跟踪,成品半成品的状态、库存、价格、项目用料,以及调度的实时跟踪等,这样,既方便领导和一般客户的查询,又可发布企业的信息等。

3.3.2 计划层系统的功能

计划层系统的功能主要包括:进行厂级的生

产管理决策,绩效指标考核;人力资源管理;财务、销售管理;企业公共信息发布,电子商务服务)管理;成品、半成品、原料库存管理、为车间级管理提供物料信息支持、工厂维护;生产工艺规划设计管理;接受客户订单,制定周/日生产计划,向下传递给制造执行系统。

基于MES的大中型制药企业智能ERP信息系统,加强了大中型制药企业生产经营计划的可行性,可对生产车间数据信息自动采集和分析;对整个车间的生产过程进行监控;实现产品质量的在线监控,完成生产计划和动态生产调度,从而缩短生产经营周期,降低物料浪费,降低成品及在制品库存,保证生产交货期。

4 结语

综上所述,目前针对生物制药行业提出以生产过程制造执行系统(MES)为核心的综合自动化系统解决方案,在MES层面的基础上,探索以过程控制(PCS)层、企业管理层为基本框架的工厂自动化解决方案,研究企业工厂自动化网络与企业局域网之间的先进管理模式和工程实施方法。开发建立人流、物流、资金流、能量流、质量流、工作流和数据流全集成平台系统和应用软件工具集成,形成适合我国国情的生物制药行业MES管理软件系统。在此基础上,逐步建立数据管理/企业资源管理(PDM/ERP),供应链信息管理(SCM),客户关系管理(CRM)等技术的集成。提高企业的研发能力,管理水平,节约能源、提高产品质量,降低生产成本,提高售后服务质量,实现生物制药行业企业设计数字化、制造自动化、管理网络化、资源集约化目标,实现信息化建设的跨越式发展。

参考文献

- [1] 吴跃芳,朱菊红,吕拥军. DCS在发酵过程中的应用. 化学工业与工程技术,2002,23(3).
- [2] 熊茂华,喻宏庆. 基于MES的大中型制药企业智能ERP信息系统的研究. 计算机与现代化,2006(8).
- [3] 龙文,李祥全,吴义生,王宁生. 药业ERP系统的研究与开发. 计算机与应用化学,2005(22).

空调系统应用变频技术若干误区的探讨

■ 乐有奋 「暖通」

摘要: 循环水泵和风机的能耗在整个空调系统能耗中占比重较大,正确地采用变频技术对降低空调系统能耗有积极意义;总结和分析变频技术在工程上的一些应用误区,可以促进包括变频技术在内的各种调速方式在空调系统中合理地应用。

关键词: 变频; 节能; 误区

0 引言

在当前大力倡导节能的潮流推动下,暖通行业越来越广泛地采用变频技术,许多人甚至简单地认为设置了变频器就等同于节能,导致工程上存在一些不分场合地滥用和误用变频器的现象。事实上,变频器本身也是要损耗能量的,在系统满负荷运行时反而会降低效率。

空调系统正确、合理地设置变频器,需要暖通、电气、自动控制等多专业的配合,涉及到一些有争议的关键问题和难点问题,不容易被大家完整、准确地掌握。而不合理、不必要地设置变频器,则会给初投资、专业配合、调试及运行等诸多环节造成一些危害和困扰。本文将对滥用和误用变频器的几个典型的、关键性的问题进行逐一分析。

1 定流量系统滥用变频技术

在实际工程中,“变频就等同于节能”的理念甚为流行,许多定流量的空调水系统和风系统,如常见的一次泵流量旁通(冷源侧定流量)系统、一次回风定风量系统等,也因此而设置了变频水泵或变频风机。这种现象,多见于对本专业理解不深的年轻同志和电气等外专业人士,笔者称之为“滥用变频器现象”。

定流量空调系统设置变频水泵或变频风机是

不必要的,不仅仅给初投资带来了浪费,也给自动控制施工调试单位、运行单位带来了困扰:定流量系统中该采集什么信号来逐时地控制频率变化呢?因为没办法自控,最后只能沦为手控,但是许多变频器是不带手控面板的,这样变频器就沦为了不能用的摆设。变频器产品大都是与自动控制系统相配套的,手控面板不一定是标配,许多是需要多花钱选配的。

定流量空调系统适应负荷变化的调节手段也有很多种,比如:流量旁通、间歇启停、台数调节、多速电机调速(改变电机极对数,可以做到双速、三速和四速^[1],其中双速电机是单绕组、三速和四速电机是双绕组)等。其中,台数调节、多速电机调速是其中最常用和最节能的调节方式,也有手册^[2]称之为“阶式量调节”。

在一些场合下,定流量空调系统末端不设流量旁通和自动调节阀(没有动态节流调节),系统管网阻抗 S 保持不变,采用多速电机调速时完全符合相似律,轴功率呈三次方规律变化,节能效果要优于阻抗逐时变化的变流量系统。如北京市地方规范《公共建筑节能设计标准》DB11 687-2009第4.3.7条对特定场合的定流量系统提出了设置多速风机的要求:商场、展览馆、会议中心等人员密集场所的全空气定风量系统,且单台机组风量大于 $10,000\text{m}^3/\text{h}$ 时,应采用变速风机(其实是指多速风机);当系统为多台风机并联时,也可采用台数调节改变送风量。该条文解释还指出,变速风机是指采用双速风机等简单措施,而并不是指采用变频技术;在改变风机风量时应做

作者简介:乐有奋,男,高级工程师,2002年毕业于南华大学暖通专业,现就职于中航建发飞机工程设计研究院。

好气流组织设计。

一些场合也证明,定流量空调系统采用“阶式量调节”要优于交流变频或直流变速等“无级调节”。以风机盘管机组为例,三档风量调节足以胜任房间舒适性空调要求,没有必要采用“连续无级调速”。西安某大型办公楼项目于2001年采用了无级调速的变风量风机盘管机组(直流无刷电机驱动),在负荷率较低时、送风量减小、气流组织非常差,远不如三速开关调节简单、实用,该项技术已退出了历史舞台。

不能准确区分定流量和变流量系统,是导致不分场合地滥用变频技术的原因之一。笔者发现,许多年轻同志常常误把“设置了阶式量调节措施”的定流量系统混淆为变流量系统;误把空气处理机组简单地增设变频器称为变风量空调系统,在10年前所谓的“变风量空调机组”大行其道之时,潘云钢先生就已辩驳了该种观点^[16]。变流量系统的关键,不在于动力侧(水泵和风机)是否设置了变频器、是否具备变流量的能力;关键在于动力侧、用户侧两个环节是否都能够追随负荷变化,进行协同控制和逐时调节。

2 滥用变频技术于节能改造和设计纠偏

许多项目把空调节能改造简单等同于变频改造,不做系统形式的变流量改革、不增设变风量末端措施,仅在原定流量系统的风机和水泵上增设变频器,居然也取得了较为明显的节能效果。深究其原因,就是通过变频器降低转速、调整了风机和水泵的运行工况点,实际上是通过“纠偏”达到节能^[3],而不是通过“系统性的变流量改造”达到节能。

改造纠偏很有必要,这是因为设计规范要求在选型中附加各种系数,导致在实际工程中空调循环水泵和风机流量偏大的现象大量存在,不仅仅造成运行效率低、大马拉小车、大流量小温差等高能耗问题,有时还会造成电机过载烧毁、风机气流噪声巨大等令人棘手事故。一些人还误以为电机过载烧毁是选型偏小造成的,于是在设备选型中变本加厉地附加安全系数。

但是,变频改造并不是最佳的改造纠偏方式,它虽然节电但不高效、初投资相对过高,而且,正确的变频改造应该将原普通电机更换为变频专用电机。变频水泵和风机在降频运行时全效率会变低。其全效率 η 等于变频器效率 η_p 、电

机效率 η_d 、机械传动效率 η_c 、水泵效率的乘积 η_j ,即 $\eta = \eta_p \eta_d \eta_c \eta_j$,在管网阻抗特性曲线不变的情况下,变频改造前水泵效率处于低效区,采用变频器降速后,水泵效率 η_j 基本不变,将仍处于低效区(见文献[4]第272页);电机效率、变频器效率则随着偏离额定转速、额定频率而越来越低,特别是在低于40Hz运行时效率下降很快^[5,6,7]。即使在工频下运行,变频器也需要经过交一直一交两次整流和逆变变换,至少需要损耗3%~4%的能量。

低估了变频器与水泵(和风机)的相对价格比,也是导致滥用变频技术的原因之一。朱伟峰博士介绍了一个2010年完成的变频改造项目^[8],系统原三台冷水循环泵流量253m³/h,功率55kW,选型偏大,流量远大于额定流量,水泵电机曾经过载烧毁,经变频改造后,冷水泵运行频率37.5Hz,结合台数调节,年节电56%。笔者算了一笔经济账,水泵(含电机)价格较低,一般可按每m³/h流量50元估算^[9],约1.3万元;增设变频器投资1000元/kW,需5.5万元。该改造增设变频器的成本约为更换水泵(含电机)成本的4.2倍,相对地看,变频器非常昂贵,足可以更换4台小型号、高效率的、低能耗的水泵了。

变频改造相对昂贵的结论普遍成立,因此笔者认为,将变频器用于改造纠偏是不经济的。该类节能改造或设计纠偏所需的调速范围较窄,且是一次性的,针对变频改造相对投资高、节电但不高效等缺点应该优先采用更换水泵叶轮或更换水泵、更换风机皮带轮、安装风机入口导流阀、更换风机、定子调压调速等这些传统、可靠、经济的手段。

对风机而言,入口安装导流阀是一种非常经济的纠偏方式。调节其导流阀片可使气流预旋改变进入叶轮的气流方向,降低了入口空气的压强和密度,从而改变了风机本身的性能曲线;同时,导流阀片又是管路上的调节阀,改变了管路性能曲线,所以其调节性能灵活、节能效果大大优于风机出口风阀节流调节^[10]。笔者所在单位编制了国标图《风机入口阀》93K110-1,一些风机厂家也生产该附件^[10],可以供工程上直接采用。但非常可惜的是,随着近几年来变频器推广和老同志退休,即使在笔者单位,也多年未曾用到风机入口阀,可以说是基本已经“失传”了。

对水泵而言,为了避免气蚀,不能采用入口

安装导流阀的纠偏方式；可以采用更换水泵叶轮或更换水泵等纠偏方式，其投资远低于变频改造、而且能获得更高的机械效率。笔者不推荐切削水泵叶轮，是因为有同志反映现场切削水泵叶轮的效果不太好，经过调研后发现确实如此，原因是：(1)一些空调水泵型号在出厂前已经切削了一次或两次，现场再次切削导致水泵的效率明显下降；(2)现场切削需要较高的专业技能，非常容易破坏水泵的动平衡，引起泵体振抖。因此笔者建议尽量采用更换水泵叶轮或更换整泵的方式，切削叶轮则必须由水泵厂家的售后维修人员亲自操作。

文献[10]第323页介绍了上海国际饭店空调水泵节电改造案例，可以验证以上观点。系统流量过大，原选的6BA-8型水泵流量 $275\text{m}^3/\text{h}$ ，扬程 178kPa ，效率50%。叶轮切削至6BA~8A，节电6kW，效率降为47%。叶轮切削至6BA~8B，节电9kW，效率降为45%。更换为8BA-6型水泵，节电18kW，节电率56%，效率高达81%。

避免设计选型偏大是解决滥用变频改造的重要措施。但对工程设计而言，选型不附加系数是不符合规范的；而且当前国内的设计工期一般都被严重压缩，往往缺乏认真仔细的阻力计算，为了避免选型偏大而造成令人棘手的问题，一些项目在定流量空调系统中预设变频器作为设计纠偏措施，虽不合理但也是可以理解的。设计规范存在缺陷，也助长了设置纠偏措施的必要性，例如：

(1)某全国性技术措施第5.9.2条要求，水泵选型时流量附加5%~10%、扬程附加5%~10%，如此一来，层层附加，导致运行中发生电机过载就很正常了。设计规范第5.7.2条指出，风机选型时风量附加5%~10%，是考虑漏风量因素。水泵选型时流量须附加5%~10%，难道是空调闭式冷水系统也要考虑5%~10%的“漏水率”？同样是空调系统设备选型，设计规范第7.1.5和6.2.15条强制要求，制冷机不得按负荷最大值累加进行选型、不得附加安全系数，水泵选型为什么就反其道而行之呢？

(2)某些现行规范提出了对水泵输送能效比、耗电输冷比的限制，但是限制值本身就是按比摩阻估算出来的，岂不是助长了“用怕脑袋代替计算”的不良风气？如果设计者在配管过程中附加较大的安全系数，把管径一律放大一号，即使水泵的输送能效比小于规范限制值，又怎么能保证真正节能、怎么能保证电机不过载烧毁呢？

3 因变频技术而忽略其他调速技术

由于当前变频技术过于流行，致使一些人认为“变速就是变频”、对其它调速方式缺乏了解，这是导致过于倚重和滥用变频技术的原因之一。其它一些传统的调速技术固然有其缺点，但是在特定场合下应用，却能扬长避短，恰到好处。

“定子调压调速”的缺点是调速范围比较窄(80%~100%)、不适合恒转矩型负载；优点是控制设备简单、初投资较低、使用维护方便、可兼作风机和水泵的降压启动设备、可无级调速、用于泵和风机时调速范围较宽且转差损耗小^[11]。这些特点决定了该种调速方式很适合作为设计纠偏措施，只需要在配电柜的自耦降压启动器上增设一个手动拨盘，就可以轻松调速，避免电机过载，而且节能效果优于阀门节流调节。

近年来出现的“变频离心式冷水机组”就是一个滥用变频技术的案例。单级压缩的离心式冷水机组的电动机转速为 $3000\text{r}/\text{min}$ 左右，通过增速齿轮使压缩机的转速可达到约 $7000\sim 9000\text{r}/\text{min}$ ，变频离心式冷水机组从100%负荷卸载到70%的过程中，先降频后增速，变频器减速与增速齿轮提速相互抵消，不符合节能理念^[11]。因此有业内专家提出，离心机能调速固然好，但应该直接赋予增速齿轮进行机械调速的功能，而不是每台机组增设几十万甚至几百万元的变频器来降频。其实，传统的离合器、耦合器等机械调速方式具有初投资较低、运行可靠、对电网无干扰、节电效果较好等优点，在大功率、高电压等场合应用很广泛，仅国内火力发电行业先后就有近4000台 $300\sim 3200\text{kW}$ 的水泵和风机采用了耦合器调速^[11]。

变频技术诞生已有近30年历史，并不属于最新的调速技术。随着技术进步，近年来“直流变速技术”以其更高的效率、更好的调速性能，在多联式、分体式空调领域得到了广泛应用。天津大学马一太教授指出，直流变速是分体空调业的发展趋势和主方向^[12]。

直流变速（一些人误称为直流变频）的特征是采用了直流电机和直流变速器。直流电机不是指其采用直流电源，它仍采用交流电源，但内部结构和转动原理不同于交流电机；直流变速器通过控制转子电压来调节直流电动机转速，不需要经过交一直一交两次整流和逆变。因此，直流

变速与频率无关，“直流变频”是一个错误的叫法。目前，欧美水泵企业还在主推变频水泵，还没有推出直流变速水泵产品。

笔者认为，我国水泵和风机企业应加强对直流变速水泵核心技术的研发，先于欧美巨头企业占领行业技术和市场的高端，实现超前和超越式发展。回顾历史，我国分体空调业因缺乏前瞻研究，致使变频的核心技术多年来一直被日本企业所控制，国内多数空调企业只能购买国外驱动芯片或购买国外产品组装。中国水泵和风机行业应吸取教训。

4 误用普通电机和常规配电方式

在变频改造项目和新建项目中，经常见到未改造电机、或误用普通电机代替专用变频电机的事情。原因是设计、总包、采购等环节不了解采用专用变频电机的必要性，或者总包单位为了利润而故意为之。普通交流电机在变频器的输出下降频运行时，高次谐波会引起转子等各种损耗，降低电机效率和功率因数，使电机额外发热并增加电机温升；高电压变化率会影响电机绝缘、严重时还会产生轴承电流、导致轴承损伤和降低寿命^[13,14]。特别是散热风扇也会随之降速，易导致电机温升过高烧毁。

所以，变频水泵和风机应采用专用变频电机，配电方式与普通电机有所不同，应为散热风扇单独配工频电。目前很多设计院的专业配合模式是：暖通专业做水泵和风机选型，电气专业做配电和变频器选型，楼宇自控专业做控制信号采集和频率控制。条块分割，导致现场散件拼装、兼容性很差、施工现场容易出错，比如遗漏散热风扇单独配电（暖通向电气交代不细）、遗漏频率运算控制器（有些变频器已内置控制器，而有些则需自控专业另配DDC控制器，配合不畅就形成双方不管的盲区）。一些施工单位为了便宜，会购买品牌水泵（非变频电机）、另购廉价变频器拼装成变频水泵，能省不少钱，但也埋下了隐患。

IEEE对用于变频调速的交流电机制定新的工业标准，其调查报告指出：变频是一个系统问题，必须将电机与电力电子变频器及其控制方法一并考虑。系统主要特征为：集成化，即电力电子、电机及其控制系统，设计、制造、运行都紧密地融为一体；智能化，即自适应、模糊、神经元网络及基于遗传算法的人工智能控制方法引入和应用；通用化，即同一系统可以针对不同形式

的电机及不同运行模式而实行不同的控制方式；信息化，即电机不但是转换、传送能量的装置，也是传递、交换信息的通道^[15]。

笔者建议，变频水泵和风机的功率 $\leq 18.5\text{kW}$ 时应优先采用集成了传感器、控制器、变频器和电动机的一体化产品，不宜现场拼装；功率 $\geq 22\text{kW}$ 时可现场集成，但是要特别重视暖通、电气、自控三个专业的融合和协调。

5 误用变频频率下限

工程上一般认为，水泵和风机长期安全运行的最低频率为 30Hz ^[3]或 25Hz ^[16,17]。将最低频率设置得较大，意味着水泵和风机将不得不长期运行在较高、较窄的频率范围内，不能适应较低负荷率工况，从而制约了其节能效果。

其实这是一个误区，水泵和风机是可以在更低的频率下运行的，理由如下：

(1)潘云钢先生在文献[16]中提到， 25Hz 是对常规电动机而言。对于变频专用电机而言，由于它在散热风扇、电磁、绝缘、轴承、定子转子槽形等方面作了特别设计，因而具有很大的变频范围，某著名水泵公司（格兰富）提供的资料显示，专用变频水泵可安全地运行在 12Hz 。目前变频空调行业能够达到的最低频率就是 10Hz 左右，并正在向最低频率 1Hz 发展^[18]；

(2)变频水泵的扬程分为可变化扬程和固定扬程两部分，在采用定压差变频时，压差设定值越大，水泵固定扬程部分就越大，水泵就越难以向下调速；水泵的 $Q-H$ 曲线越平缓，水泵在降频时就越容易出现扬程不够的现象，俗称为“泵不出水”^[7]。文献[5]通过试验证明了这一点；换言之，变频频率下限取决于压差设定值的大小、以及水泵 $Q-H$ 特性曲线；

(3)当水泵采用最远端定压差控制时，就可以运行到很低的频率，如 15Hz 。而且水泵全效率并不总是随着频率减小而一直降低，水泵效率与变流量系统管网阻抗的变化密切相关。天津大学对笔者单位设计的某项目变频水泵做了现场测试^[9]，测试数据证明了这一点（见表1）；

(4)通过选择 $Q-H$ 曲线较陡的水泵型号、降低压差设定值，可以获得较宽的变频调节范围和更好的节能效果。频率下限应由施工人员根据具体情况，在现场细致调试后得到；而不应该一刀切地设置为 30 或 25Hz 。

表1 某项目变频水泵现场测试数据(最远端定压差)

频率/Hz	15	25	33	36
转速/(r/min)	895	1491	1968	2147
总流量/(m ³ /h)	708.4	901.4	1470.6	1525.6
扬程/kPa	20	60	110	140
总输入功率/kW	11	23.8	109.2	129.8
管网阻抗/(Pah ² /m ⁶)	0.040	0.074	0.051	0.060
全效率/%	35.8	63.1	41.1	45.7

注:未实测变频器和电动机效率随频率变化的数据,可另行参考文献[5,6]。

6 结论

(1)变频不等同于节能,变频器本身也是要消耗能量的,频率越低时变频器和电机的效率也越低,特别是在低于40Hz时效率下降很快;

(2)不能准确区分定流量和变流量系统,是导致不分场合地滥用变频技术的原因之一。定流量系统适宜采用阶式量调节,如台数调节和多极调速等方式,其节能效果还优于阻抗逐时变化的变流量系统。定流量系统简单地设置变频器,不能称为变流量系统;

(3)节能改造不等同于变频改造,变频改造并不是最佳的改造纠偏方式,它虽然节电但不高效、初投资相对过高,应该优先采用更换水泵叶轮或更换水泵、更换风机皮带轮、安装风机入口导流阀、更换风机、定子调压调速等这些传统、可靠、经济的手段。低估变频器与水泵、风机的价格比,是导致滥用变频技术的原因之一;

(4)变速不等同于变频;对其它调速方式缺乏了解,是导致过于倚重和滥用变频技术的原因之一,“变频离心式冷水机组”就是一个滥用变频技术的案例。直流变速技术是未来发展的趋势和主方向,中国企业应加强对直流变速核心技术的研发,实现超前和超越式发展;

(5)在变频改造项目和新建项目中,经常见到误用普通电机代替专用变频电机的事情,设计、总包、采购等环节应认识到采用专用变频电机的必要性,优先采用集成了传感器、控制器、变频器和电动机的一体化产品,并加强暖通、电气、自控三个专业的融合和协调;

(6)将变频水泵和风机的最低频率设置得较大,意味着水泵和风机将不得不长期运行在较高、较窄的频率范围内,不能适应较低负荷率工况。通过选择Q-H曲线较陡的水泵型号、降低压差设定值,可以获得较宽的变频调节范围和更好的节能效果。

参考文献

- [1] 李玉街,蔡小兵,郭林. 中央空调系统模糊控制节能技术及应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [2] 陆耀庆. 实用供热空调设计手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1993.
- [3] 伍小亭. 循环水泵变频调速运行实例研究[J]. 暖通空调,2006,36(8):25-32.
- [4] 全国勘察设计注册工程师公用设备专业管理委员会秘书处. 全国勘察设计注册公用设备工程师暖通空调专业考试复习教材(3版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [5] 王寒栋. 变频冷冻水泵运行效率测试与分析[J]. 深圳职业技术学院学报. 2004,3:20-22.
- [6] 涂岱昕,李建兴,胡振杰. 空调变水量系统水泵变频的相关问题[J]. 流体机械,2007,35(1):49-52.
- [7] 曹琦. 空调变流量节能系统中的四个重要概念[J]. 变频器世界,2005,11:138-142.
- [8] 朱伟峰,叶倩,金正日等. 某办公大厦节能服务解决方案介绍[J]. 暖通空调,2012,42(10S):1-4.
- [9] 殷平. 空调大温差研究(1):经济分析方法[J]. 暖通空调,2000,30(4):62-65.
- [10] 蔡增基,龙天渝. 流体力学——泵与风机(4版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [11] 贾晶,严新娟. 对变频离心式冷水机组全年节电的探讨[J]. 暖通空调,2009,39(1):66-69.
- [12] 马一太,田华. 直流变速成变频技术发展主方向[N]. 中国电子报,2008-4-11.
- [13] 胡庚生,黄平林. 变频调速异步电动机设计研究[J]. 电机技术,2005,4:3-7.
- [14] 相阿峰,张晓媛. 浅谈变频电机设计时需考虑的一些问题[J]. 电机与控制应用,2006,3:12-16.
- [15] 张立心,巩方彬. 变频电机设计新理念[J]. 电机技术,2012,6:49-50.
- [16] 潘云钢. 以泵代阀末端系统的能耗分析与系统优化[J]. 暖通空调,2011,41(9):13-20.
- [17] 王寒栋. 冷冻水泵变频频率下限分析[J]. 深圳职业技术学院学报,2002,3:7-13.
- [18] 董莉. 1赫兹变频空调引发争议[N]. 中国企业报,2010-7-27(10).
- [19] 曹荣光,由世俊,张欢等. 变流量水系统调速水泵运行测试分析[J]. 暖通空调,2011,41(8):121-124.

冷却塔供冷技术在实际项目中的应用

■ 赵磊 「动力」

摘要: 建筑节能是在当今人类面临生存与可持续发展重大问题的大环境下,世界建筑发展的基本趋向,建筑循环冷却水系统的节能对提高建筑的节能效率有积极意义。文章结合所设计的北京地区的具体项目,对冷却塔冬季供冷原理、形式、在设计中应注意的问题等进行阐述,对以后北京地区乃至北方严寒及寒冷地区相关项目的设计提供参考。

关键词: 建筑节能; 冷却塔供冷; 经济性

0 引言

我国建筑节能工作起步较晚,与发达国家相比,诸多领域存在着巨大的节能潜力空间,并且我们可以充分发挥我国的“后发优势”,有效利用国内外各种先进节能技术,并借鉴国外推动建筑节能工作的经验和教训,这也为今后有效地推动我国的建筑节能工作提供了良好的发展机遇。作为建筑能耗主体的采暖空调能耗属于季节性能耗,是导致能源供需矛盾的主要原因。我国的建筑物和建筑设备节能性能很差,大部分采暖空调系统存在着严重的能源浪费问题,我国建筑节能潜力巨大,此外我国的建筑物和建筑设备增量巨大。这些因素都说明加大建筑节能工作力度,是缓解能源短缺的有效途径,并可以带来非常显著的节能效果和社会效益。

建筑节能是在当今人类面临生存与可持续发展重大问题的大环境下,世界建筑发展的基本趋向,建筑循环冷却水系统的节能对提高建筑的节能效率有积极意义。通过冷却塔供冷技术的运用,还可以起到节能减排的作用。根据工程实践总结,在设有集中空气调节的办公建筑、商业建

筑、旅游建筑、科教文卫建筑、通信建筑、交通运输用房等公共建筑中,采用水冷方式循环冷却水系统时,其补水量占整个建筑最高日用水量的50%左右。系统的循环冷却水量所消耗的功率在建筑给水排水日常运行中占相当的比重,有必要对循环冷却水系统的节能途径和技术进行探讨。

1 冷却塔供冷技术

1.1 冷却塔供冷原理

随着过渡季节及冬季的到来,室外气温逐渐下降,相对湿度降低,室外湿球温度也下降,从而冷却塔出口水温也随之降低。而此时建筑室内湿负荷及冷负荷也在不断下降,空调末端所需除湿量减少,适当提高冷冻水温,减少其除湿能力,完全能满足空调系统舒适性的要求。冷却塔供冷系统是在常规空调水系统基础上适当增设部分管路及设备,当室外湿球温度低至某个值以下时,关闭制冷机组,通过冷却塔的循环冷却水直接或间接向空调系统供冷,以达到节能的目的。冷却塔供冷系统的形式、建筑内部负荷、气象条件、供冷温度等因素对冷却塔供冷系统运行能耗均有一定影响。这方面的研究成果加深了对冷却塔供冷技术的认识和了解,并为该技术的运用提供了一定的理论基础。

作者简介: 赵磊,男,高级工程师,2007年毕业于天津大学供热、供燃气、通风与空调专业,现就职于中航建发电子工程设计研究院。

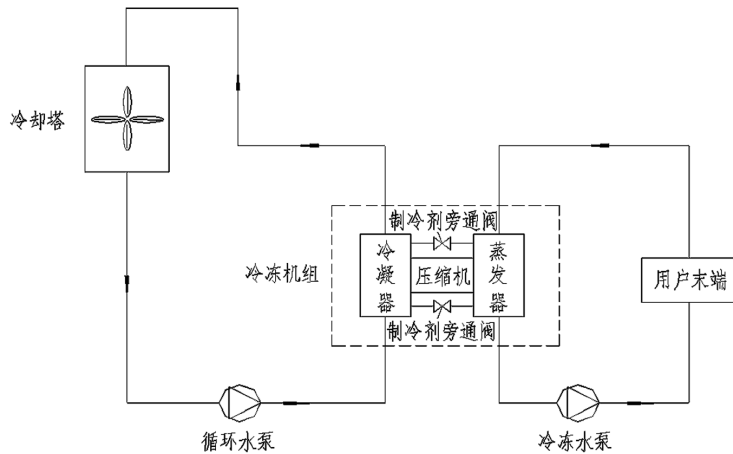


图1 制冷剂旁通式间接供冷

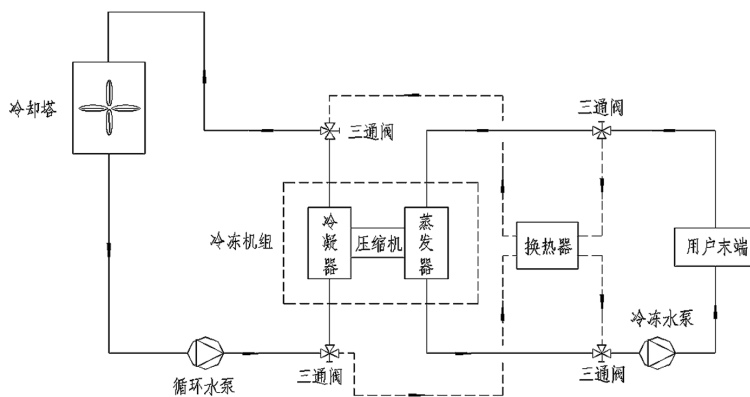


图2 换热式间接供冷

1.2 冷却塔供冷的形式

按冷却水是否直接送入空调末端设备来划分,冷却塔供冷形式可分为两大类:间接供冷系统和直接供冷系统。

1.2.1 间接供冷系统

间接供冷系统是指系统中冷却水环路间相互独立,其能量传递主要依靠中间换热设备进行。其最大优点是保证了冷冻水系统环路的完整性,保证环路的卫生条件,但由于存在中间换热损失,使供冷效果有所下降。间接供冷系统通常有两种形式。一种是在制冷机组制冷剂环路中的冷凝器与蒸发器间设旁通管路,上设制冷剂旁通阀(见图1)。工作时关闭压缩机,将旁通阀开启,制冷剂充当热载体在其形成的环路中流动,完成热量的传递。但此方法由于换热效率低且要改变制冷剂环路,故一般不采用。

另一种是在原有空调水系统中附加1台板式热交换器(见图2)。在冷却塔供冷时,关闭制冷机组,使冷却水与冷冻水分别接入板式热交换器,实现能量传递。目前工程中多采用此种形式。

1.2.2 直接供冷系统

直接供冷系统是指在原有空调水系统中设置旁通管道,将冷冻水环路与冷却水环路连接在一起的系统(见图3)。夏季时按常规空调水系统运行,当转入冷却塔供冷时,将制冷机组关闭,通过阀门打开旁通,使冷却水直接进入用户末端。系统中冷却塔可采用开式或闭式。当采用开式冷却塔时,冷却水与外界空气直接接触,管道系统容易被污染,需要适当增加水处理及过滤设备以满足冷却水系统的要求。采用闭式冷却塔时可满足冷冻水的水质要求,但由于其靠间接蒸发冷却原理降温,传热效果会受到一定的影响。

1.3 冷却塔供冷系统设计应注意的问题

冷却塔供冷模式的室外转换温度点的选择直接关系到系统供冷时数。在设计时应根据过渡季或冬季建筑内的余热量、余湿量及室内设计参数,通过焓湿图确定所需冷水供水水温,进行冷却塔供冷模式的转换。系统需对冷却塔供冷模式下的供冷能力进行校核。间接供冷系统中,换热器应选用具有较高效率换热能力的板式换热器。在

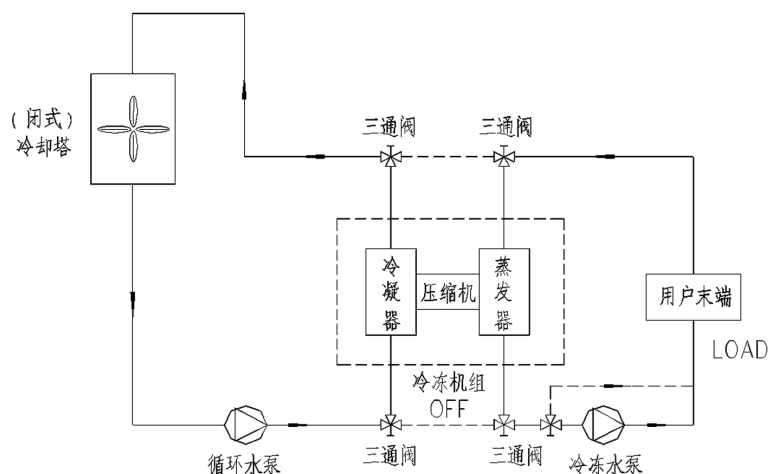


图3 冷却水直接供冷

冷却水泵的设置上, 需要考虑转换供冷模式下对循环冷却水泵扬程的复核。特别是在直接供冷系统中, 冷却塔供冷模式时的循环冷却水泵, 需考虑冷冻水泵是否串联运行。直接供冷系统的设计中还应重视循环冷却水的除菌过滤, 以防止阻塞末端盘管或设备。由于冷却塔供冷主要在过滤季节和冬季运行, 对循环冷却水系统的室外设置必需采取必要的防冻设施, 如设置旁管、增设加热器、管道保温(电伴热)等。

1.4 冷却塔的选择、设置和布置

设计应合理选择冷却塔。在空气湿球温度较低的干燥地区, 可通过设计计算来适当提高冷却水进出水温差, 以减少循环水量和循环水泵的能耗、缩小循环管道的管径。

在冷却塔的选择上, 设计应提倡采用冷效高、噪声低、飘水率少的省电机冷却塔。配水要均匀, 减少壁流和防止堵塞; 收水措施有效, 以减少水滴损失。一般来说, 圆形冷却塔的气流组织比方型要好, 不易产生死角。在相同条件下, 逆流式冷却塔的冷却效率相对横流式冷却塔要高。通过经济比较后, 也可选用无动力的冷却塔。

冷却塔的位置应选择通风良好、气流畅通、湿热空气回流影响小的建筑物最小频率风向的上风侧; 不应布置在热源、废气和烟气排放口附近, 如厨房排风等高温气体排放处; 不宜布置在高大建筑物中间的狭长地带。当冷却塔设在地下或用围墙、顶板等遮挡时, 宜采用能将高温气流送至远离冷却塔进风处的塔型, 并应配合生产厂进行冷却塔气流组织的计算, 避免热空气的回流, 确保足够的进风面积。同时, 冷却塔设置的高度宜靠近冷冻机组, 以减少管道的水头损失, 达到节能目的。

在冷却塔的布置上, 宜保证冷却塔之间的距离, 有良好的气流组织条件, 避免影响冷却塔的散热效果。冷却塔宜单排布置, 当需多排布置时, 塔排的间距应保证塔排的同时进风量。单侧进风塔的进风面宜面向夏季主导风向, 双侧进风塔的进风面宜平行夏季主导风向。冷却塔进风侧离建筑物的距离宜大于塔进风口高度的2倍。冷却塔的四周除满足通风要求和管道安装位置外, 还应留有检修通道, 通道净距不宜小于1m。

1.5 冷却水系统的防冻措施

由于冷却塔供冷主要在过渡季及冬季运行, 故在冬季温度较低地区应在冷却水系统中设置防

冻设施。我国大部分地区冬季温度都可达 0°C 以下, 室外冷却塔集水盘易结冰, 解决的方法是可根据当地室外极端最低温度, 在集水盘内设置一定容量的电加热器, 电加热器受集水盘内水温控制, 另集水盘应采用镀锌钢板或其它金属材料以防冻裂。为了保证能在 0°C 以下正常进行补水, 最好采用电极控制电磁阀进行补水, 以免浮球阀受结冰影响而失灵。

气温极低时, 集水盘水面溅起的水汽会在进风百叶上结冰。同时, 经过冷却塔上部风扇叶片的水汽亦可能会在风扇表面结冰, 如果结冰较多就会影响冷却塔运行。解决这个问题, 可以将风扇放在水汽通道之外即采用气流鼓吹式取代常用的抽吸式, 从根本上避免水汽对风扇的影响。另还可以将冷却塔顶的风扇定期反转, 以此把挂在风扇上的冰凌去除; 同时反向气流也可把进风百叶上的冰凌去除。

为保证冷却塔的室外补水管和供、回水管在冬季能正常工作, 需要对这些管线保温, 一般可采用带温度控制装置的电热线进行伴热, 电热线外包不吸水耐热绝热材料(如阻燃型聚苯乙烯等)。

2 工程实例

冷却塔供冷技术特别适用于需全年供冷或建筑有需常年供冷的内区建筑如大型办公建筑内区、大型货商场等或具有高显热需全年供冷且需严格的湿度控制的建筑如计算机房、程控交换机房或需四季供应工业用冷却水的工业厂房等。其在一些风机盘管新风系统应用可使过渡季、冬季免费供冷成为可能。故近年来在国外已有不少应用, 在我国也有应用实例。本文对在所做的位于北京的某项目进行简要介绍, 阐述该项目冬季冷却塔运行的相关情况。

2.1 项目概况

该项目位于中关村永丰高新技术产业基地。项目总用地面积为 $160,501\text{m}^2$, 总建筑面积为 $233,650\text{m}^2$, 其中地上建筑面积为 $208,650\text{m}^2$, 地下建筑面积为 $25,000\text{m}^2$ 。

整个基地供热、供冷、供气均设为集中供应, 所有站房布置在中心风景区地下区域。整个厂区集中设置制冷站, 制冷方式采用电制冷, 机组选高效节能型离心机组, 机组供应空调及工艺冷水通过厂区冷水管道送至各厂房内。站房位于

厂区中心,为全地下形式。

2.2 设计内容

该基地内部分厂房空调系统为洁净空调系统,一年四季均需供冷,另外工艺所需要的冷却水也需一年四季供应。根据相关专业条件,本站房为洁净空调及工艺冷水的冷源提供3台单台制冷量为 $Q=1,642\text{kW}$ 的螺杆式水冷冷水机组,供回水温度为 $5/10^{\circ}\text{C}$,配套选择了3台闭式冷却塔为机组提供冷却水及在冬季时考虑直接为系统供冷,同时选用系统所需的冷却水泵、冷冻水泵、冷却水箱及其它辅助设备。冷却塔设置在1号楼屋面,其余设备均设置在动力站房内。

夏季时按常规空调水系统运行。过渡季节时,由于冷水机组的冷却水进口最低温度不宜低于 15.5°C ,因此当冷却水进口温度过低时,开启冷却水供回水管之间的旁通阀,控制旁通水量,调节混合比来控制冷却水进口水温,放置水温过低。必要时可以停开冷却塔风机来满足冷却水进水温度过低的要求。

冬季时,当转入冷却塔供冷时,将制冷机组关闭,通过阀门打开旁通,使冷却水直接进入用户末端。系统原理图见图3。

2.3 经济性比较

该项目已经运行两年多的时间,运行状况良好,在冬季时达到了系统节能和降低系统运行费用的目的。系统共三台螺杆冷水机组,电功率为 $N=305\text{kW}$,相应的冷冻水泵电功率为 $N=45\text{kW}$,冬季及过渡季时,冷水机组及冷冻水泵均停止运行,按冬季及过渡季运行120天,每天运行8h来计算,每年节省的费用为: $(305+45)\times 8\times 120\times 3=1,036,800$ 元。

由此可见,冷却塔冬季供冷在冬季及过渡季运行的节能和经济效应明显。

3 结语

(1)以冷却塔代替制冷机供冷,可以减少冷冻机运行时间,从而大大减少了供冷费用。还可以防止当冷冻机长期在远离设备设计工况的情况下工作时,因冷却水温度较低(低于 15°C)而无法启动的情况,它在我国的推广与应用定能获得良好的效果;

(2)冷却塔供冷系统从其可实现的气候区域应定义为冬季冷却塔供冷,系统形式上应充分考虑

其经济合理性,使用开式冷却塔加板式换热器并联于冷水机组的供冷系统应作为较经济常用的冷却塔免费供冷方式被推荐使用;

(3)尽可能提高冬季内区空调计算供水温度,延长冷却塔供冷的时间,对于办公、商场建筑,当新风独立处理并送至内区供冷时,一般冷却水供水温度可取 9°C 左右。冷却水温差推荐取 $2\sim 3^{\circ}\text{C}$,尽可能在较高的湿球温度工况点切换至冷却塔供冷,这在实际工程中也证明是可行的;

(4)建议尽量利用夏季空调水系统中的水泵等设备,这样不但能减少节能设计带来的初投资的增加(确保在2年左右收回),而且对已有建筑利用该技术的节能改造也有很大意义;

(5)冷却塔供冷系统所选用的冷水机组对允许的冷却水最低温度要求也是至关重要的问题。

参考文献

- [1] 马最良,孙宇辉. 冷却塔供冷技术在我国运用的模拟与预测分析. 暖通空调,2000,30(2):5~9.
- [2] 马最良,孙宇辉. 冷却塔供冷系统运行能耗影响因素的研究与分析. 暖通空调,2000,30(6):20~22.
- [3] 林宏. 利用冷却塔供冷技术的初探. 制冷空调与电力机械,2002,23(3):19.
- [4] 张璐璐,张欢,由士俊等. 闭式冷却塔用于冬季直接供冷的设计及节能分析[J]. 山东建筑大学学报,2007,22(1):65~69.

智能建筑电气控制节能与成本控制

■ 陈寅生 「电气」

摘要: 本文主要从空调控制和照明控制两个方面论述智能建筑的节能和降低工程造价问题,并根据部分实例分析设计中所存在的一些问题。

关键词: 智能建筑; 空调控制; 照明控制

智能建筑(Intelligent Building)的概念是美国UTBS公司(联合技术建筑系统公司)于1981年倡导提出的。此后,智能建筑在发达国家得到迅猛发展,我国于上世纪90年代开始引进智能建筑的理念。世界上发达国家对智能建筑都有专门的研究机构,对其定义只是在文字上略有差别。我国《智能建筑设计标准》(GB/T 50314-2006)将智能建筑定义为“以建筑物为平台,兼备信息设施系统、信息化应用系统、建筑设备管理系统、公共安全系统等,集结构、系统、服务、管理及其优化组合为一体,向人们提供安全、高效、便捷、节能、环保、健康的建筑环境”。

“智能建筑”从文字上理解主要应体现在“智能”二字上,除了应有基础设施的自动化,主要应具有办公自动化、信息现代化及管理现代化等功能,应使在建筑内工作的人充分享受现代化给人们带来的便利条件。在能源紧张的现代社会,从建筑的设计、施工阶段,我们应在不影响使用功能的情况下,尽可能地用最低成本实现建筑物的节能。就电气专业而言,在建筑物的电气控制方面要达到降低成本,实现节能,主要体现在空调控制和照明控制两方面。

1 空气调节自动控制

在空气调节系统中,核心设备是冷水机组、空调机组或风机盘管,无论采用水冷机组还是风冷机组,其冷水机组的控制和调节都是设备本身集成的,一般不需要楼宇自动化系统进行干预,更不允许非专业人员对其进行控制。因此在设计阶段并不需要将其纳入空调系统中进行控制。

以约克离心式冷水机组为例,它本身带有一套控制系统,这套控制系统可以提供远距离启停控制和机组的运行状态。它的控制系统中,还包括很多机组参数。但是这些参数对于楼宇自动控制的操作人员来说参考价值不大,比如它的能量调节是根据冷冻水的出水温度、流量和冷却水的温度,按照事先编制好的优化程序进行调节的,外界是无法改变的;而冷冻水出水温度的设定,在机组安装调试时,已经设定好,一般情况下也没有必要进行修改。

如果要在楼宇自控的空调系统中观察机组的运行电流、冷冻水流量等参数,则需另外订购接口电路板,同时要在楼宇自控系统中增加一个与其连接的“网关”,这笔费用至少需数万元。而按照我国国情,冷水机组的运行是由专门的操作人员负责,即使在系统中安装了网关,也并不会减少操作人员,抄表工作也还必须进行,这样的做法会使得投资增加,造成浪费。

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

由于冷水机组属于空气调节系统中的重要设备,运行部门通常都配备专人进行操作。从节能角度分析,操作人员只能改变出水温度设定值,且这个参数,在设备调试时已经设定,无需经常改变。因此,在楼宇自控系统中,对于冷水机组只要监视其工作状态即可,对于一些无人值守的机组,也最多做到远距离启停控制。从控制角度来讲,若要了解机组的这些参数,适当增加一些传感器引入楼宇自控系统的方式是比较经济的做法。

对于风机盘管来说,每台风机盘管都带有一个小型控制器,它的温度设定只能通过控制器的操作面板进行,并不具有远程控制方式和多点控制方式,假如要求对每台风机盘管进行集中控制,势必增大投资。所以,楼宇自动控制并不将其纳入。如果从节能角度考虑,防止下班后未关闭现象,楼宇自控也只能通过切断电源进行管理,无法对其进行更进一步的操作。

空调机组的控制方式并非一个固定模式,而是需根据工艺条件决定设备的选型和相应的控制。对于某些特殊地区或某些特殊要求的场合,同时需要在设备的安装上下功夫,否则可能会出现不能满足要求或产生能耗过高的现象。例如:在高温高湿地区,具有一定温、湿度要求的空调系统,不但要设备选型合理,而且机组安装要有一定的高度,控制系统和控制软件设计、编制合理,才可能达到工艺要求,做到节能。一个好的空调控制系统,通常体现在空调机组的控制上。

2 照明控制

在建筑设施自动化中,照明控制是比较简单的控制子系统,这个子系统设立的主要目的就是考虑节能问题。建筑物内有很多公共区域的照明,这部分照明在工作时间是需要全开或半开状态,而非工作时间可能不开或个别开启状态。在这种情况下,设计阶段就需要对这部分照明进行分析,分别对它的供电进行分区控制。分区控制设计合理,便能起到一定的节能效果。这一部分的工作,在设计阶段只会增加工作量,不会产生设计效益,做与不做并不影响使用功能,其效益只是对使用者受益,投资方只会增加投入,因此设计阶段很少有人去做这部分工作。但从长远目标来看,这部分工作是有很大意义的。

近些年景观照明发展迅速,由于景观照明

在视觉上能够给人产生比较强烈的景观效果,所以这部分的设计大多采用楼宇自动化系统进行控制,但有些承包商对楼宇自动化系统软件不熟悉,很多都是采用最简单的定时启动或人工启动方式,工作日和节假日完全一致,因此没有产生最大的节能效果。实际上在楼宇自动化系统的控制软件中可将景观照明按照自然日历的每一天进行控制,可以将开启时间分为工作日、休息日和节日等,这样控制才能充分体现楼宇自动化系统的控制作用,才能达到并产生明显的节能效果。

3 智能建筑设计中存在的问题

智能建筑的成功与否,首先取决于设计,一个好的设计是用最小的投资达到最大的收益。智能建筑包含了很多子系统,世界上任何一家厂商都不可能完全涵盖所有这些子系统的功能,每一个厂商开发设计产品都有自己的风格、方式。虽然在21世纪的今天,所有的数据都可以互通、互联、数据共享,但是从技术上来说,它必须有一个统一的格式或有一个允许互联的标准平台,就像计算机一样,每个厂商生产的主板、显卡都不相同,但是他们各自的驱动程序都能分别满足Windows或Unix操作平台,在这个平台基础上实现互联和共享。

有些设计人员由于对产品不熟悉,因此将这部分工作简单的划归为集成商二次深化设计,而很多集成商没有这方面的能力,或者有能力而拿不到接口技术条件,便会造成“各自为战”的局面。从经济效益上讲,集成商开发一个接口程序是要花费很大精力的,而下一个工程遇到的接口又不相同,因此没有一个集成商愿意做这种费力不讨好的事。从经济利益上讲,集成商愿意将系统最大化,这样他们的利润更高,所以有些集成商将一些不必要的测量也放入系统中,使得造价升高。实际上有些功能完全可以在设计阶段,利用自动控制技术就地解决,没必要全部归结到楼宇自动化系统或其他系统中,举例说明如下:

例一:空调系统中送、回风口处的防火阀与空调机组连锁问题。传统的电气连锁方式是就地将防火阀的微动开关触点引入空调机组电气控制柜中风机启停控制回路,再用接触器或继电器的触点将报警信号传送到火灾报警系统,这样的设计可在防火阀动作的第一时间切断空调机组的风

机电源,降低火灾扩大的可能性,同时也将火警信号传送到火灾报警系统。这种方式的远距离传输线路只需2条信号线,中间环节最少,造价最低,因此可靠性最高。如果将防火阀的微动开关触点信号送至火灾报警系统,再由火灾报警系统发信号给楼宇自控系统来停风机,则至少需要多增加2条信号传输线,还要增加硬件设施,中间环节增加过多,可靠性降低,还不能在第一时间停止风机。这种方式从表面上看,达到了自动控制的功能,满足“智能”要求,而实际上既增加了投资,又不能做到“高效”,实际上是违背了智能建筑的根本含义。

例二:将电梯信号接入楼宇自控系统,理由是管理人员可以从BA中知道电梯所在楼层。这个理由听起来似乎很有道理,可为管理者创造方便的条件,也符合“便捷”的定义。但是这需要根据实际情况决定是否可以接入BA。由于电梯生产厂并不公开控制系统资料,要想在BA系统中显示,首先电梯厂商需提供监测信号种类,其次是信号形式。如果电梯有监控系统,且在监控系统中存在共享数据库,这种情况可以利用以太网直接将共享数据库的数据提供给管理层,若再在BA的显示器上显示意义不大。若没有电梯监控系统,只需监视电梯的上、下行和故障信号,且电梯供应商提供触点信号,这种情况可以直接将触点信号引入BA。如果电梯供应商提供的不是触点信号,则须与供应商协调,提供BA能够接收的信号,否则需要增加“网关”或其他硬件设备。

楼宇自控系统软件通常采用的是问答查询方式,要想将电梯的运行参数送入楼宇自动控制系统,在两个系统之间需增加“网关”,该设备的投入为上万元。如果投入这笔费用,BA控制的“点”数量会增多,等到全部安装完毕后还会发现,在楼宇自控系统显示画面上的电梯位置不是实际位置,很可能是几分钟前的位置,只有电梯停运情况下显示的是正确位置。原因是电梯的运行是随机的动态动作,而且一般情况下的电梯运行速度大约为2m/s,大约1.5s改变一层,高速和超高速电梯运行速度要大于2m/s,变化更快,所以楼宇自控系统的问答查询方式无法得到电梯的动态正确位置。

实际上,从安全防范系统完全可以看到非常确切的电梯位置,而且还能知道当前的运行状态是“上行”还是“下行”。

例三:把冷水机组的所有参数纳入楼宇自控系统。实际而言,这种方式即增加了大量的投资,也是不可能实现的。原因很简单,冷水机组是空调系统中的核心设备,各生产厂商为了保证设备的正常运行,通常都有自己的控制器,根据自己的设备参数编制能量调节软件,确保各个部件的正常运转和机组的安全运行,不允许非专业人员进行改动。以YORK机组的控制为例,它为操作者提供了安全访问密码,以防在未经许可的情况下改变设定值。机组检修用的某些界面、显示数值、可编程设定和手动控制不会给出,这些只有在进入检修访问级别后才能显示出来。

4 结语

笔者认为,智能建筑所包含的内容是非常广泛的,它不仅包括基本建设阶段的设计、施工,更主要的是体现在建筑物的使用、管理方面。而国内对智能建筑理论和相关技术的研究开发起步较晚且未能得到足够的重视,大多数研究停留在国外相关成果上,与我国国情有一定的差距。许多设计者仅根据自己理解的“智能大厦”进行设计,没有成熟的理论指导,不符合统一的设计规范。而从电气产品来看,我们缺少国产化系统集成产品,也是造成这部分内容投资较大的主要原因。目前我国还没有开发出一套智能建筑系统集成产品,使得如美国江森自控、IBM、朗讯科技等公司的产品占据国内智能建筑市场。此外,在实际工程中,虽然国外楼宇自动化系统的供货都是从敏感元件、变送器、现场控制站、执行机构、中央控制系统、网络服务器及所有软件成套供货,产品质量有保证,但现场调试人员技术水平参差不齐,对国外产品了解不深入,使得这部分的节能效果没有得到发挥。

参考文献

- [1] Shengwei Wang著,王盛卫,徐正元译. 智能建筑与楼宇自动化(第一版). 中国建筑工业出版社,2010.
- [2] 中华人民共和国国家标准. GB/T 50314-2006 智能建筑设计标准.
- [3] Insight User Guide. Chapter 17: Time of Day. Siemens.

EPC承包商费用控制优化研究

■ 王旭 「工程造价」

摘要: 近年来EPC模式在我国应用广泛,但其在费用控制方面仍然存在较多不足,EPC模式下的费用控制成为EPC承包商承包项目所需考虑的关键环节。本文结合EPC模式的特点,在传统模式的基础上,综合考虑设计、采购、施工三个方面对EPC承包商费用影响,提出在EPC承包模式下建立EPC费用控制中心,提出费用优化的新措施,以此提高我国EPC承包商费用控制水平,增强EPC承包商承包的能力。

关键词: EPC模式; 费用控制; 费用优化

我国建筑行业与国际接轨以来,工程承包模式也越来越多样化和国际化,DB、PC、MC、EP和EPC等承包模式频繁出现在国内。其中,EPC承包模式在较大的工业项目上已经被广泛采用。

近年来我国建筑行业竞争越来越激烈,费用控制成了建筑行业关注的焦点,EPC承包模式与传统工程项目建设模式相比,在费用控制方面虽然取得了较好的效果,但仍然存在很大的缺陷,比如设计变更、材料浪费等现象依然存在,导致工程费用增加。

EPC承包模式一般采用固定总价合同,业主以固定价格的形式支付给承包商一定的费用。费用控制是一个工程项目成败的关键,也是承包商承包项目是否盈利关键环节。EPC项目的费用控制是一个全过程的系统控制,费用控制包括业主的费用控制和承包商的费用控制,对于承包商来说,费用控制主要是设计阶段的工程造价概算费用控制、采购分包阶段的采购分包费用控制、工程项目施工阶段的变更费用控制。

本文从承包商的角度出发,成立EPC费用控制中心(如图1所示),综合考虑EPC工程项目的设计、采购、施工三个环节的费用控制,结合系统管理学的思想,研究EPC承包管理模式费用控制的新方法,在缩短工期的基础上达到费用控制优化的目的。

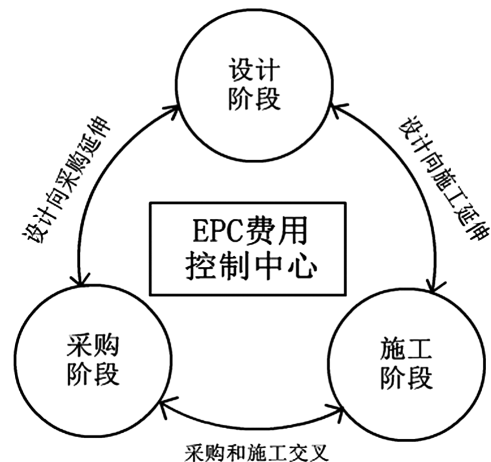


图1 EPC承包商费用控制优化系统示意图

作者简介:王旭,男,高级工程师,1997年毕业于天津大学投资经济专业,现就职于中航建发动力工程设计研究院。

表1 EPC费用控制要点

主要阶段	费用控制要点
设计阶段	1.采用适当的设计标准,优化设计方案;2.限额设计,科学决策
采购阶段	1.实行竞争招标,确定供货商;2.选取合理的采购价格;3.实行限额采购
施工阶段	1.严格控制工程变更;2.优化设计方案

1 成立EPC费用控制中心

1.1 传统工程项目建设模式下费用控制管理水平不高的问题

对于EPC管理模式而言,其优势在于它的综合管理能力。而传统的工程项目建设模式下,费用控制管理水平普遍不高,主要存在以下问题:

1) 各阶段费用控制脱节

EPC项目包含项目设计、采购、施工三大环节,我们传统上只对施工过程进行费用控制,而忽视了对项目成败起关键作用的设计环节,以及消耗大量成本的设备材料采购环节的费用控制。

2) 费用控制未做到科学化和系统化

EPC的承包项目是一项复杂的系统工程,有其内在的规律,必须采用与之相适应的管理模式和管理方法,科学的设计费用控制流程,系统的考虑费用控制因素,识别出费用控制的关键点。

3) 信息资源未充分利用

信息传递的通畅和资源的充分共享是保证项目高效、有序的运行的至关重要的因素,是实现全过程、实时控制的手段之一。如何在全项目范围内实现信息的充分共享,实现设计、采购、施工阶段的信息深度交叉,形成科学的反馈机制,体现系统管理的思想,也是EPC承包商需要考虑的问题。

4) 控制程序细化程度不够,各部门间的接口关系不明确

EPC项目的项目管理能够分解成上千道甚至更多的工序,涉及的合作部门众多,怎样有序的做好接口管理工作,体现管理的高效性,避免协调不畅,机构臃肿,减少中间费用环节,按照程序进行管理是EPC承包商需要解决的问题。

1.2 EPC费用控制中心

针对上述费用控制管理过程中存在的问题,在实行EPC总承包管理模式下的项目中建立EPC费用控制中心显得尤为重要。具体来说,EPC费用控制有以下措施:

(1)系统考虑设计、采购、施工三个环节,做好接口工作的协调和信息的充分共享。从整个项目层面上,加强新技术、新方法的引进工作,在设计阶段加以考虑,做到项目费用事前控制;

(2)充分重视设计阶段对项目费用控制的影响,科学的设计费用控制流程,系统的考虑费用控制因素,识别出费用控制的关键点,做好项目管理部组织机构的建设与及其内部各部门之间的工作协调与动作程序;

(3)重视资金的时间价值,合理安排项目资金使用计划。努力减少中间环节不必要的工作,加强各类资源的整合利用,使整个项目做到精简高效,降低管理成本;

(4)实行科学的成本控制管理过程:做好成本预测及测算、成本控制、成本分析和成本考核等一系列的环节;

(5)加强合同管理工作,提高项目风险意识,严格管理工程变更,做好工程商务资料的归档作用,做到有据可查。

EPC总承包的优势体现在设计、采购、施工合理交叉,有利于建设项目的整体优化,可以保证工期、质量、费用管理目标的顺利实现。作为EPC总承包主体的总承包商,费用控制环节主要包括设计、采购、施工等方面。每个环节都有其控制的要点(如表1所示),针对不同的环节采取不同的措施。

2 设计阶段的费用控制

虽然费用控制贯穿于工程项目的全过程,但项目费用控制的关键在于项目设计阶段。设计是一项工程项目的龙头,实践及资料证明,虽然设计阶段的费用只占总费用的5%,但是这5%的费用却对整个工程总费用的影响程度高达75%以上。从数字上我们可以看出设计阶段费用控制的重要性。将设计工作尽早向采购施工阶段延伸是EPC承包商费用控制优化的重要措施。

2.1 设计工作向采购施工阶段延伸

EPC总承包模式的一个特点就是设计、采购、施工一体化, 总承包商应充分利用这一特点, 将设计工作尽早向采购和施工阶段延伸, 将采购和施工阶段纳入设计程序, 实现设计、采购、施工的深度交叉^[1]。特别是对一些生产周期较长的设备, 在设计阶段就提前购买, 能够降低购买设备的风险, 同时达到有效控制项目周期和工程费用的目的。

在设计阶段, 设计人员根据初步设计列出材料设备采购清单, 在设计阶段就提前预测市场行情, 在资金充足的前提下可以购买部分材料设备, 一方面降低了在购买期材料设备价格上涨的风险, 另一方面, 承包商在设计阶段可以在设计人员的参与下购买材料设备, 不仅缩短了工期, 而且往往能买到物美价廉的材料设备。同时在设计阶段设计人员就提前接触材料和设备, 一方面设计人员可以加快进度, 另一方面设计人员可以发挥熟悉材料设备技术性能的优势, 进一步优化选材方案, 降低购买材料设备的费用。

2.2 设计阶段的费用控制

在设计阶段, 应用价值工程等方法对施工图设计做多方案的技术经济比较分析, 优化设计方案, 减少施工阶段设计变更的工作量, 达到费用控制优化的目的。

影响成本最主要的因素是设计, 一个不经济的设计, 无论在采购和施工阶段怎样优化费用, 总成本还是居高不下。作者结合传统承包模式的特点, 提出了设计阶段费用控制的具体措施:

1) 推行限额设计对费用进行有效控制

EPC总承包工程的限额设计应根据EPC合同额, 对各专业下达细化后的设计限额工作量, 使各专业进行精细化设计, 严格控制实际设计工作量与合同工作量不出现大的差异, 保证总投资限额不被突破, 同时对偏离预算的费用进行分析, 对限额设计工程量清单以外的变更进行补充, 对非发生不可的变更提前实现, 尽可能将设计变更控制在设计阶段, 争取控制投资的主动性^[2]。

同时, 各专业在保证达到合同约定使用功能的前提下, 按分配的成本限额控制设计方案, 严格控制技术设计和施工图设计的不合理变更, 保证总成本限额不被突破。限额设计是一种以目标为导向的成本控制方法, 关键是做好投资分解和工程量控制^[3]。

2) 多种设计方案经济性比较, 实施科学决策

多种设计方案经济性比较是设计人员提出多种满足工程质量、工期要求、使用功能及其他业主要求的设计方案, 成本人员进行多方案经济比较和分析, 在满足业主设计要求和方案可行的前提下选出费用最低的方案。对项目做多方案的技术经济比较分析, 可以努力挖掘节约工程投资的潜力, 从而达到控制工程费用, 获取更高经济效益的目的。

就EPC总承包商而言, 选择多种设计方案可以通过内部设计方案竞选和运用价值工程方法实现。内部设计方案竞选的方式要求两个或两个以上的设计小组提出不同的设计方案, 然后组织专家评定小组采用科学方法, 按照经济适用、技术先进、功能全面、结构合理等要求进行综合评定, 从中选择造价合理的最优设计方案, 或者将各方案优点重新组合, 提出最佳方案。价值工程方案也是常用的方法, 价值工程是通过各相关领域的协作, 对所研究对象的功能与费用进行系统分析, 不断创新, 旨在提高研究对象价值的技术经济分析方法, 目的是以研究对象的最低寿命期成本可靠地实现用户所需的功能, 以获得最佳的综合效益^[4]。

3 设备材料采购阶段的成本控制

在EPC总承包模式下, 所有的设备材料都是由总承包单位提供的, 设备材料费用占整个工程项目总费用的比重最大, 达到60%~70%, 设备材料的少许浮动都会对工程项目的总费用产生重大影响, 而且设备采购涉及面广, 周期长, 资金占用量大, 技术性强, 工作量大, 因此这一阶段承包商面临的不确定性及风险性较大, 对承包商是极大的挑战。所以, 设备材料采购已经成为了EPC承包商控制费用的重要环节。

3.1 采购和设计恰当融合

在EPC承包模式中, 在设计阶段设计人员已经列出材料设备采购单, 部分货物已经提前入库, 避免后期采购施工阶段物价上涨带来的价格风险。因此在EPC工程项目中, 将采购工作有机的纳入设计程序中, 统筹安排设计采购的融合, 是EPC费用控制优化的重要措施。同时在设备材料采购阶段, 承包商积极发挥自身的设计优势, 参与采购计划和采购费用的编制、供货商的选

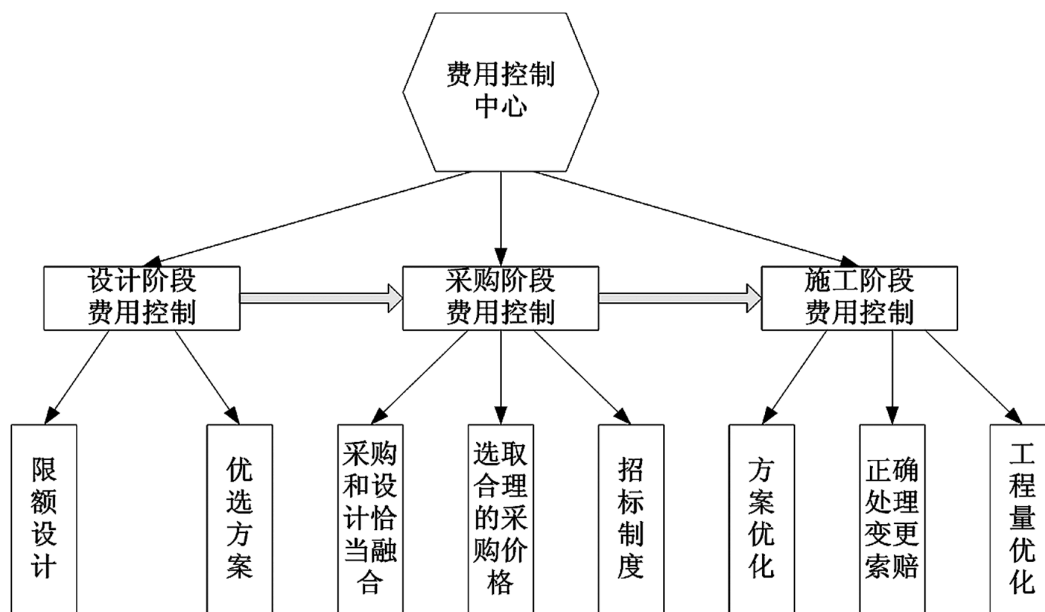


图2 EPC费用控制措施示意图

取、供货技术指标评审以及材料设备的实验检验工作，使采购工作更加具有目的性和系统性。

3.2 选取合理的采购价格

把好设备材料的采购关，尤其是材料的价格随地区、气候的不同差异较大，在采购阶段，充分利用科学信息和宏观环境，与买家充分协商，尽量降低采购费用，以最合理的价格购买符合要求的设备材料。同时要广泛收集信息和应对外部环境，了解市场行情，货比三家，及时对市场做出反应。

(1)加强市场预测，及时了解市场信息，准确把握设备材料的市场价格走势；

(2)由于在EPC总承包模式下，材料设备数量较多，采购环节多，采购面广，材料设备能否按期顺利交货，往往有着很大的不确定性，因此科学建立完善的供货队伍，确保设备材料按期交货，做好设备材料的质量验收工作是控制费用的有效措施；

(3)加强设备材料的计划管理，使采购工作具有前瞻性，及时预见各个环节可能出现的问题，提前做好应对措施，达到节约费用的目的^[5]。

3.3 招标制度

在采购阶段建议采用招标制度，建立采购招标体系，在符合要求的投标单位中选取信誉较好且有足够经验的单位中标，充分利用市场竞争降

低采购费用^[6]。

在EPC承包模式下，对设备材料的招标采购一般实行限额采购。即所采购的材料设备有一定的限度，避免材料过多浪费。同时，在购买设备时，对同类设备应集中采购，实行团购思想，对降低设备费用有很大效果，从而做好材料设备的价格控制工作。

4 施工阶段成本控制

4.1 方案优化

在施工阶段，对设计阶段的施工方案进行不断地优化和修改是降低工程费用的主要途径。施工方案合理、先进能提高项目工程的质量，缩短工期，能够合理的组织工程施工，能够直接有效的降低工程费用，提高承包商的利润。

在工程施工阶段，承包商应组织专家对设计方案进行优化修改，努力挖掘节约项目费用的潜力，从而达到费用控制优化的目的。在施工阶段引起设计变更的因素有很多，如设计偏差，地质勘查有误，设计遗漏等。

4.2 正确合理处理变更、索赔问题

业主提出的设计变更，材料设备分包商提出的费用变更要求，分包商提出的设计变更要求，国家、地方法律政策改变引起的设计变更问题等

都要在施工阶段主动或被动的暴露出来,这就涉及到了费用变动的问题。

从设计变更来看,严禁通过设计变更扩大建设规模,在设计阶段就严格把关,提高设计标准,设计变更费用控制的要点是减少现场的设计变更,依据合同标准,在合同期内顺利完成工程项目。对必须发生的设计变更,尤其是涉及到费用增减的设计变更,必须经现场设计单位代表、建设单位现场代表、监理工程师共同签字,而且应尽可能提前实现这类变更,便于减少损失^[7]。

从业主变更索赔来看,在工程进行到中后期,来自业主方面的修改需求会越来越多,对这些需求总承包方应正确看待。对于同业主的变更索赔,承包商要妥善处理与业主及第三方监理方的关系,建立友好的合作关系。对EPC总承包商来说,一方面,需加强自身的管理,严格按照合同约定履行合同义务,尽量避免业主提出索赔;另一方面,在业主提出变更索赔时,承包商要考虑所涉及的变更内容是否在合同约定的范围内,要有效地利用EPC合同条款维护自身的合理利益。

4.3 工程量优化

在EPC承包模式下,承包商对工程量进行优化是节约成本谋取利益的主要手段之一。但是,为了维护承发包双方的共同利益,一般在EPC承包合同中应对优化工程量有一个规定的幅度,这个幅度一般不超过10%,如果超过10%,则超过的部分应在合同总价中扣除。施工过程中,设计人员在总体设计不变原则的基础上,对工程量进行合理的优化设计和变更,可以在保证项目质量的前提下,降低工程费用,加快工程进度,实现工程效益,体现EPC总承包管理模式的优势。

通过成立EPC费用控制中心,将设计、采购、施工三阶段融合,针对各个阶段的费用控制的要点采取不同的控制措施(如图2所示),达到费用控制的目的。

5 结论和建议

EPC承包模式中,费用控制是工程项目成败的关键。EPC总承包模式的费用控制是一个动态、复杂的、相互影响系统过程^[8]。针对工程项目各阶段费用控制的特点,承包商建立EPC成本控制中心,系统考虑设计、采购、施工的三个环

节,重视设计阶段的费用控制,将采购、施工过程中费用控制与设计阶段费用控制结合起来,制定合理的应对措施,积极实现费用控制目标,最终使项目的整体效益达到最大化。

参考文献

- [1] 戴勇,贾仁甫,张炯. EPC项目经济分析与成本控制方法研究. 建筑经济,2009(09).
- [2] 王永宁. 火电厂EPC总承包工程费用控制探析[J]. 价值工程,2012(04).
- [3] 孔祥坤. EPC工程总承包设计阶段成本控制研究[J]. 基建管理优化,2010(01).
- [4] 周晶,王彬. 谈铁路EPC总承包商的工程造价管理[J]. 山西建筑,2012(14).
- [5] 梁永宽,董震. 试论EPC总承包项目采购成本控制. 建筑经济,2008(S2).
- [6] 瞿小江. 浅议EPC模式下工程造价的合理确定与有效控制[J]. 水利水电工程造价,2004(01).
- [7] 焦晋安,杜建军,韩建平,吕军. 浅谈工程总承包(EPC)项目的费用控制[J]. 甘肃科技,2008(04).
- [8] W. Edward Back and Karen A. Moreau. "Cost and schedule impacts of information management on EPC process" J. Manage. Eng. 2000.16:59-70.

北美航空工业发展概况与最新动态

■ 张波 「工艺」

摘要: 北美洲是全球航空工业最为发达的地区之一,了解北美三国航空工业发展概况与最新动态,探究其背后的原因与经验,将有助于我国航空工业的建设与发展。

关键词: 北美; 航空工业; 发展概况; 最新动态

北美洲的航空工业主要集中在美国、加拿大和墨西哥,它们的航空工业在水平和规模上处于不同的阶段,呈现出不同的特点。其中:美国实力雄厚,独占鳌头;加拿大量力而行,锐意进取;墨西哥借势发力,迅速崛起。了解上述国家航空工业发展概况与最新动态,探究其背后的原因与经验,无疑将有助于我国航空工业的建设和发展。然而篇幅有限,本文仅以管中窥豹的方式来对这些国家航空工业近几年的情况进行分析,不求系统全面,但求读者能见微知著。

1 美国

1.1 总体概况

美国是当今世界航空工业最为发达的国家,航空工业与航天工业作为一个整体在美国的国民经济中占据着十分重要的地位。根据普华永道(PWC)的分析,按照2011年航空航天业务的收入统计^[1],全球前100强的企业中,美国公司占

据了44家,它们的收入之和约占100强总收入的61%;其中最大的10家公司中美国占据了7家,约占10强总收入的71%。而根据美国航空航天工业协会(AIA)的统计^[2]:2012年美国航空航天工业的收入总额为2180亿美元,约占美国当年国内生产总值的1.4%;出口总额为960亿美元,约占美国当年出口总额的4.4%;人员规模总计62.9万人。

1.2 发展环境

紧张的财政支出困扰着美国的航空工业。为避免美国政府破产并加强对财政支出的控制,2011年美国通过了《预算控制法案》(Budget Control Act),该法案规定在提高美国国债上限的同时,美国政府必须在随后的10年内总计至少减少财政支出2.4万亿美元。如果共和、民主两党不能就财政支出削减方案在2011年12月23日之前达成一致,从2013年1月1日起,美国必须实施一刀切(across-the-board)的财政支出自动削减方案(Sequestration),即削减总量将在除社会保险、医疗救助等少数项目以外,包含国防开支在内的各项财政支出间同比例地分摊。财政支出自动削减构成了美国“财政悬崖”(Fiscal Cliff)的一部分,它反映了美国当前严峻的财政形势,尽管在多方力量的努力下,它被推迟到今

作者简介:张波,男,高级工程师,2006年毕业于北京航空航天大学制造工程专业,现就职于中航建发技术研究院。

表1 全球通用飞机用户地理分布(数据来源:美国通用航空制造商协会)

时间	活塞式					涡桨式					涡扇式				
	北美	欧洲	亚太	拉美	中东及非洲	北美	欧洲	亚太	拉美	中东及非洲	北美	欧洲	亚太	拉美	中东及非洲
2007	66.5	16.3	9.2	5.4	2.7	57.2	16.3	8.6	14.4	3.4	58.3	24.9	4.2	7.5	5.2
2008	68.1	15.2	7.5	7.3	2	57.3	21.9	6	7.4	7.4	53.8	25.9	4.7	9.4	6.3
2009	59.4	21.2	9.5	6.8	2.8	57.8	17.5	8.7	8.1	7.8	49.4	26.3	8.6	9.2	6.4
2010	53.4	18.6	13.7	8.8	5.5	43.2	15.2	16.8	14.7	10.1	42.1	22.8	11.8	14.3	9
2011	57.7	12	15.6	10	4.6	52.6	14.1	14.4	13.6	5.3	50	20.2	12.9	10.1	6.8
2012	50.4	19.6	16.3	9.7	4.1	48.6	12.6	17.4	14.5	6.9	49.7	20.8	11.8	11.6	6.1

年3月1日,与航空工业密切相关的政府部门,如国防部、国家宇航局、联邦航空管理局等,最终都必将面临预算资金减少的困难,从而对航空产品的采购和技术研发造成一定的影响。实际上,从2011年起,美国国防部就面临着未来10年共计减少支出4780亿美元的任务,如果自动削减方案被最终实行,它还将额外承担同期减少支出4920亿美元的任务^[3]。

新军事战略对美国政府和航空工业提出了调整的要求。2011年,美国政府发布了最新的《国家军事战略》(National Military Strategy)较为详细地论述了美国军方最新的建军思想、目标和方法。与2004年的《国家军事战略》相比,新版的《国家军事战略》更加重视对非政府武装、恐怖极端组织的打击,强调了国际军事合作的重要性,提出了要精简武装力量的规模,提高部队的精确打击能力、快速反应和应变能力,从而减轻部队后勤的工作。此外,新版的《国家军事战略》特别关注了公海、空间等国际公共领域(Global Commons)的开放和自由,破解对手的“反介入/区域阻止”(A2AD)战略成为美国新军事战略的一个重点。从总体来看,美国的新军事战略呈现为国防预算减少背景下的收缩态势,但是它要求美军在更为分散、复杂、危险的战区执行更加多变的任务,因此它对战区持续、实时的情报、监视和侦察(ISR)需求大大增加。对于政府而言,加大对军事合作的倚重,意味着必须为盟友提供必要的产品和技术——在战略层面上,这是建立军事互信的重要手段;在战术层面上,这是协调行动的必要条件。对于航空工业而言,这样的需求不仅仅意味着更多、更先进的ISR系统,还要求更快的产品研发速度,更加低廉的成本,以及更加及时、周到和密切的技术支持与服务。

新兴的经济体为美国的航空工业提供了广阔的市场。近年来发达国家尚未完全摆脱经济危机的影响,以中国、印度和巴西等国家为代表的新兴经济体正逐渐成为拉动美国航空工业发展的重要力量。波音公司的研究^[4]表明,2012-2031年间,全球共计需要34000架新的大型运输机,总价值大约4.5万亿美元。其中亚太地区的需求量最大,新增飞机12030架,价值1.7万亿美元,分别占机队规模和价值规模的35.4%和37.8%。如表1所示,美国通用航空制造商协会(GAMA)的统计^[5]表明,近年来北美在全球通用飞机的数量比例总体呈现为下降趋势,从2007-2012年,北美的三类通用飞机(活塞式、涡桨式和涡扇式)在全球总量中的比重分别从65.5%、57.2%、58.3%下降到了50.4%、48.4%、49.7%;而与此同时,亚太地区的比重却分别从9.2%、8.6%、4.2%上升到16.3%、17.4%、11.8%。近年来,中国、伊朗等国在军事航空领域取得的成就引发了周边国家的不安和猜忌,东亚、南亚和海湾地区的许多国家大量采购美国的军用飞机,在很大程度上弥补、甚至超过了欧洲国家订单减少的数量。

美国航空工业人才缺失的问题日益尖锐。近年来美国航空工业人才缺失的问题体现在三个方面:首先,有经验的老员工面临集体退休。据波音公司副总裁James Albaugh介绍^[6],到2015年,波音公司预计将有一半左右的工程师到达可以退休的年龄。其次,高素质的新员工难以获得。由于科技工程和数学(STEM)类工作的待遇偏低,许多优秀的美国高中毕业生偏向于选择其他专业,使得该类专业毕业的学生数量较少。据美国《航空周刊》^[7]报道,美国航空航天及国防企业2013、2014两年计划招收的工程师人数约为11000人,而美国每年毕业的工程师数量大约只有72000人。另外,国防预算的减少使得美国航空业人



图1 洛马公司研制的持续威胁探测系统 (PTDS)

才梯队建设陷入多重困难——其一，新研发项目大大减少，新员工缺少锻炼的机会，难以快速成长；其二，根据美国的法律，辞退老员工的成本远远高于新员工，当项目完成或中止时，企业往往倾向于辞退新员工；其三，为保住经验丰富的老员工阻碍了新员工的职业上升道路，迫使一些有能力的新员工另谋高就。

1.3 发展动态

为适应新的发展环境，美国政府和航空工业正力图从以下几个方面进行调整。

第一，工业界和军方创新工作方式和商业模式进一步密切双方的合作。为适应复杂多变的战争需要，近年来，工业界和军方常常打破常规的采办流程，尽力缩短急需武器装备的开发周期。例如，为满足军方的紧急订货需求，洛马公司在尚未与军方签订合同的情况下，自行垫资在11个月内把持续威胁探测系统（PTDS，如图1所示）的产能提高了8倍。为快速充分发挥武器系统的效能，同时也为开拓新的业务市场，包括航空企业在内的许多军工企业在转换业务模式的同时甚至直接参与到军事行动中。例如，随着无人机ISR系统的大量使用，从2009—2011年，无人机采集的视频信息量按时间计算从30年激增到1500年^[8]。庞大的数据量超出了军方的分析能力，一些无人机公

司由此开设了专门为军方提供视频信息分析的业务。不仅直接提供服务，武器制造商甚至还派人直接奔赴前线部队——据洛马公司宣称^[9]，最多时它有近2000人在前线负责操作和维护由其提供的武器系统。

第二，努力推动与逐步放开军用航空产品的出口。工业界要求放宽对军用航空产品出口限制的努力由来已久，随着国防部预算的大幅度减少和财政支出自动削减法案可能的实施，工业界的此类呼声更加强烈。

2012年美国航空航天工业协会的年终报告^[2]特别指出，要求政府放宽对无人机的出口限制，“以避免重蹈卫星市场被竞争对手抢占的覆辙”。美国国防部对于放宽军用航空产品的出口限制给予了积极的响应，目前，国防部正在采取多项措施推动军用航空产品的出口，其中包括在设计阶段加入出口可行性考虑、加速审批流程等。在多方力量的推动下，美国政府决心将军用航空产品纳入进行中的出口控制改革（Export Control Reform），力图在确保美国空中军事优势的前提下，放宽对部分航空产品的出口限制。

2011年，奥巴马总统下令将部分航空发动机和飞机等航空产品从美国军火清单（USML）上划分到商业控制清单（CCL）上，从而降低了这

部分产品的出口审批难度，提高了审批的速度。2012年4月，美国和英国签订的防务贸易合作条约（DTCT）正式生效，该条约为双方认可范围内的企业（Approved Community）提供了无需为单独产品申报出口许可的便利，从而将大大方便两国企业的合作，降低供应链管理的难度，加速大型复杂系统的开发。除了加强与英国的合作，美国还试图与澳大利亚签署类似的条约。

第三，多种手段破解人力资源困境。针对人才缺失的问题，美国除了延续以往资助在校大学生学习工程技术、为大学开展工程研究提供资金支持、为企业开展研发活动提供税收优惠（R&D Tax Credit）、在海外开设工厂和研究中心等措施。近年来更加注重联合政府、学校、企业和协会等多方面的力量，打破行业的界限共同培育科技工程数学类的人才。

2010年6月，美国航空航天工业协会与美国国防工业协会（NDIA）合作，在美国国防部、航空航天管理局、科学基金会、劳动部等多个政府部门的支持下，联合了航空航天、机械制造、化工、生物、医药、能源、信息等多个行业的企业、协会共同创建了工商业STEM教育联盟（BISEC）。该联盟计划到2020年把美国科技工程数学类每年的本科毕业生数量从当前的20万提高到40万。为实现这一目标，该联盟将在全国范围内为学生提供具有现实工程背景（proven project-based）的、基于动手实验的学习机会；为教师提供更多的就业机会和培训机会，并改善他们的待遇；为雇主提供更多的帮助以将科技工程数学类的毕业生最终打造成为有用之才。

2 加拿大

2.1 总体概况与发展环境

加拿大航空工业的实力比较雄厚，具有一定的规模。据加拿大航空航天工业协会（AIAC）的统计^[10]，2011年加拿大航空航天工业的销售总额为220亿美元，从业人员达6.6万人。按销售收入计算，它在全球排名第五，位列美、法、德、英之后；按销售收入占GDP的比例来看，它仅次于美国。加拿大的航空航天工业体系较为完整，它拥有从零部件、结构件、起落架到飞机整机、发动机、模拟器等各个领域的研发制造能力，还能提供完善的保养、修理和大修（MRO）。

尽管拥有较为完整的航空工业体系，但是受到国力、市场等多方面因素的限制，加拿大在发展其航空航天工业时，坚持了务实的态度。加拿大政府2005年发布的《国家航空航天及国防战略框架》（National Aerospace and Defence Strategic Framework）宣称，加拿大的航空航天及国防工业应当“在选定的特定市场（niche market）超越全球其他国家，并保持总体前五名”。作为体现上述战略的重要措施之一，加拿大的航空工业特别注重开发专门技术（niche technology），希望凭借它们在全球航空工业转包市场上占据一席之地。

自上个世纪90年代末以来，波音、空客等主承包商加快了产品技术进步的节奏，推出了风险承包商的新商业模式，对分包商提出了更高的技术水平要求。加拿大在承接主承包商业务的竞争中开始遭遇到其他国家的有力挑战，从而在许多大型项目中失利。例如，据加拿大航空航天工业协会的一份研究报告表明^[11]，加拿大在波音787项目中承担的工作份额与其在757和767中的份额相比有了大幅度地降低。尽管政府给予了大力协助，加拿大航空工业在空客350也未能有太多表现。近年来，加拿大在巴宇航公务机转包业务中的竞标结果也不算理想，甚至在本国庞巴迪C系列飞机的转包业务中，加拿大航空工业的份额也大幅度减小了。

2.2 发展动态

为了扭转转包业务份额降低的不利局面，近年来加拿大航空工业界和政府力图主要从以下两个方面进行调整。

第一，大力加强与OEM的合作，提高技术研发的针对性。2008年，加拿大航空工业界发起了“未来主要平台”（FMP）计划，旨在建立起转包业与波音、空客、庞巴迪和巴宇航等四大主承包商的正式沟通平台与机制，梳理未来航空工业的关键技术，结合加拿大航空工业自身的优势和特点明确发展的重点，并力争启动国家级的技术演示计划。该计划得到了加拿大政府的大力支持，例如：为航空航天及国防战略计划（SADI）和工业研究资助项目（IRAP）分别增资2亿美元，以扩大受益企业的范围，满足相关研究的需要；为吸引国外的主承包商与国内的企业合作，修改了工业和区域利益（IRB）政策，放宽了对承担加拿大国防产品研制生产任务的外国企业对合

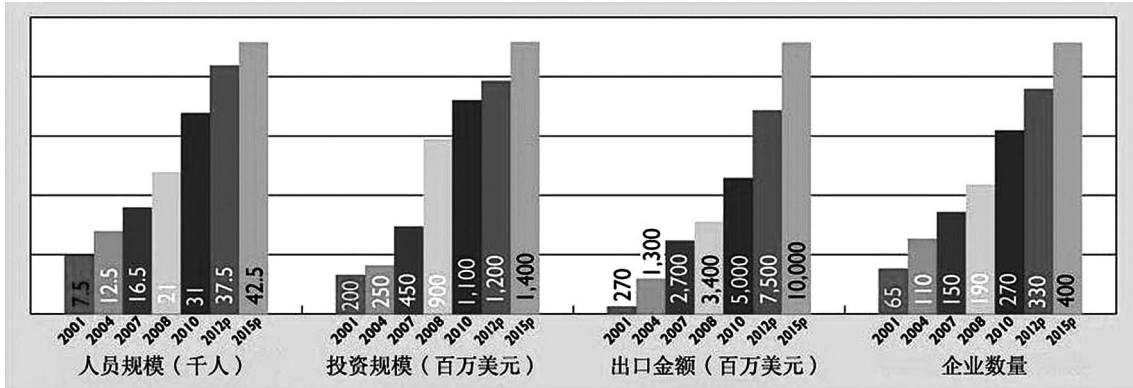


图2 墨西哥航空航天工业的部分统计情况(数据来源: MexicoNow Research)

同资金的使用限制。

第二, 航空企业大规模并购助推产业结构调整。面对主承包商把大量研发工作转包给系统承包商的新商业模式, 除了少数例外, 加拿大数量众多的航空企业普遍存在着规模小, 系统集成能力不够强的困难。近年来, 加拿大的许多航空航天企业都力图通过并购增强自身的实力。据普华永道的统计, 2002-2005年间, 加拿大航空航天及国防工业内每年的并购交易数量一般不超过2笔^[12]。然而, 据毕马威(KPMG)公司的统计^[13], 进入到2011年和2012年(截止到2012年10月), 加拿大航空航天及国防工业内的并购交易数量分别激增到12笔和22笔。尽管在这些并购交易中, 有相当一部分的并购方是海外的企业, 它们雄厚的资本为发展加拿大的航空航天工业同样注入了极大的活力。

3 墨西哥

3.1 总体概况与发展环境

墨西哥的航空航天工业发轫于上个世纪60、70年代, 但由于国力的限制, 最初只有少数几家飞机制造企业, 主要的产品是农用飞机。为了振兴经济, 从上世纪90年代开始, 墨西哥政府借鉴本土汽车工业的发展经验, 开始大量引进国外的航空企业。从2004年起, 墨西哥的航空航天工业开始步入发展的快行道, 年均出口额增长率达到了两位数, 航空企业的数量每年约新增30%, 如图2所示。2010年, 墨西哥吸引的航空航天工业海外投资超过了11亿美元, 连续第二年成为世界第一; 航空航天工业出口额50亿美元, 位于全球第12名。目前, 墨西哥的航空航天从业人数大约

为3.1万, 企业近270家, 其中80%从事制造和组装业务, 10%从事工程和设计业务, 10%从事MRO。其中著名的公司包括: 通用电气、庞巴迪、古德里奇、塞斯纳、霍克比奇等。

墨西哥吸引海外航空航天企业的优势主要包括五个方面: 第一, 低廉的劳动力成本。墨西哥的劳动力成本大约比美国便宜25%~30%, 比日本至少便宜30%。第二, 毗邻航空工业发达的美国和加拿大。物流周期短, 运费成本低; 此外, 没有时差, 便于工作协调。第三, 通货膨胀率低于中国和巴西。第四, 劳动力素质高。按人口比例计算, 墨西哥的工程专业毕业生数量是美国的3倍。第五, 2009年与美国签署了双边航空安全协议(Bilateral Aviation Safety Agreement), 零部件在本土而无需专门运往美国就可以进行认证。

然而, 墨西哥在吸引海外航空企业方面也有其弱势, 主要表现在三方面: 第一, 墨西哥航空航天工业最为集中的地区(Quer é taro)深陷内陆, 诸如高性能铝等原材料难以运达; 第二, 基础工业体系不够完整, 实力不够雄厚, 需要从别的国家(包括中国)进口一些机械设备, 费用高昂; 第三, 社会治安状况不佳, 团伙犯罪泛滥。

3.2 发展动态

总体而言, 墨西哥吸引海外航空航天企业的优势较为明显, 取得了巨大的成绩, 随着集聚效应的形成和发挥, 还会有更多的航空航天企业落户墨西哥。墨西哥政府预计, 到2015年, 墨西哥的航空航天企业将会达到400家。

值得指出的是, 许多航空航天企业落户墨西哥以后, 都看好其未来发展前景, 计划在此扩大规模。例如: 通用电气公司在墨西哥开设了一个到目前为止其在美国本土以外的最大的研究和设

计中心 (GE-IQ), 该中心的面积达8,000m², 目前有1,300名工程师, 负责设计、测试软件和部件, 服务于包括GEnx在内发动机和涡轮机械。到2015年, 通用电气公司还将投资2,000万美元, 以进一步扩大该设施, 容纳额外的1,000名工程师, 以便在新型生态环保发动机的研制中承担更多工作。庞巴迪公司2006年进驻墨西哥, 目前其Learjet 85型飞机使用的复合材料部件有85%都是由其位于墨西哥的工厂生产的, 未来庞巴迪公司还计划在此开设整机的组装线^[14]。

随着海外航天航空企业的大量涌入, 墨西哥本土的现代航空航天工业也正在逐渐形成。例如: 2002年, 11个曾为一家海外航空企业工作的墨西哥工程师成立了自己的公司Volare。Volare主要从事商业飞机的内饰设计、咨询和工程, 它的内饰设计可以减少飞机30%的死重, 它的产品被广泛地应用于波音的717、737、747、777和空客的320、340和330等^[15]。

参考文献

- [1] Flight International. Top 100 Special Report. September 2012.[OL] http://www.pwc.com/en_GX/gx/aerospace-defence/assets/pwc-aerospace-top-100-companies-2012.pdf.
- [2] American Institute of Aerospace. Year-end Review and Forecast 2012.[OL] http://www.aia-aerospace.org/assets/aia_yearender_web_2012.pdf.
- [3] Robert J. Stevens. Sequestration: The Wrong Solution, March 14, 2012.[OL] <http://www.lockheedmartin.com/us/news/speeches/031412-stevens.html>.
- [4] Boeing. Current Market Outlook 2012-2031.[OL] http://www.boeing.com/commercial/cmo/pdf/Boeing_Current_Market_Outlook_2012.pdf.
- [5] General Aviation Manufacturers Association. General Aviation Statistical Databook & Industry Outlook 2012.[OL] http://www.gama.aero/files/GAMA7233_AR_FINAL_LOWRES.pdf.
- [6] James Albaugh. Aerospace Leadership in the 21st Century. October 7, 2011.[OL] http://www.boeing.com/news/speeches/2011/albaugh_100711.html.
- [7] Carole Hedden. Worried A&D Workforce Braces For Defense Cuts. Aviation Week & Space Technology. [OL] [http://www.aviationweek.com/Article.aspx?id=/](http://www.aviationweek.com/Article.aspx?id=/article-xml/AW_08_20_2012_p38-480247.xml)
- [8] Deloitte. 2012 Global Aerospace and Defense Industry Outlook.[OL] <http://www.deloitte.com/assets/Dcom-Malaysia/Local%20Assets/Documents/Global%20A%26D%20outlook%202012.pdf>.
- [9] Marillyn Hewson. Supporting the Warfighter. AUSA's ILW Winter Symposium and Exposition Fort Lauderdale, Florida. 2/22/2012.[OL] <http://www.lockheedmartin.com/us/news/speeches/022212-hewson.html>.
- [10] Aerospace Industry Association of Canada, Canada Aerospace Review 2012 Vol.1.[OL] [http://aerospacereview.ca/eic/site/060.nsf/vwapj/Aerospace-e-online.pdf/\\$file/Aerospace-e-online.pdf](http://aerospacereview.ca/eic/site/060.nsf/vwapj/Aerospace-e-online.pdf/$file/Aerospace-e-online.pdf)
- [11] Aerospace Industries Association of Canada, Future Major Platforms Report, 2009.[OL] http://www.aiac.ca/uploadedFiles/Resources_and_Publications/Policy_Papers/FMP%20Report%20_%20June%202009%20Edition.pdf.
- [12] PWC. M&A activity in the Aerospace and Defence sector busiest in 30 years.[OL] <http://www.pwc.com/ca/en/media/release/2011-05-19-aerospace-defence-m-and-a.jhtml>.
- [13] KPMG, Canada Aerospace & Defense M&A Update: Set For Take Off.[OL] <http://www.kpmg.com/Ca/en/IssuesAndInsights/ArticlesPublications/Documents/canada-aerospace-and-defense-manda-update-web.pdf>.
- [14] Nicholas Casey. The New Learjet. Now Mexican Made. The Wall Street Journal, July 29, 2011.[OL] <http://online.wsj.com/article/SB10001424053111904233404576458561238682634.html>.
- [15] Negocios. Mexican Aerospace Industry: Reaching Higher Altitude, 2010.[OL] http://www.promexico.gob.mx/work/models/promexico/Resource/983/1/images/NE1010_Web%20Format.pdf.

探索新型城镇化背景下的航空城规划 ——以珠海航空产业园规划为例

■ 李辉 胡赵征 李守旭 「规划」

摘要: 我国经过几十年高速发展,国家进入深度转型发展时期,十八大提出“新四化”要求,对于城镇发展重申“新型城镇化”要求。而正值全球进入航空时代,航空引领未来城市未来发展,国内各地掀起航空城规划建设浪潮。航空城建设对于实现新型城镇化有极为重要的作用。本文以珠海航空产业园为例,探讨航空城建设对于新型城镇化的重要促进作用,新型城镇化背景下航空城规划要点。

关键词: 新型城镇化; 航空城; 城乡统筹; 升级转型; 珠海航空产业园

0 引言

改革开放以来,我国城镇化水平迅速提高,由1978年的17.92%提高到2011年的51.2%,年均增长0.92%,进入21世纪年均增速达到了1.31%。但高速发展背后掩盖不了生态环境恶化、城乡差距扩大、区域发展不平衡、城镇夹心层扩大和农民工待遇差别化等问题,中国城镇化处在“发展与转型并存”的状态。在此背景下,十八大报告提出:“坚持走中国特色新型工业化、信息化、城镇化、农业现代化道路,推动信息化和工业化深度融合、工业化和城镇化良性互动、城镇化和农业现代化相互协调,促进工业化、信息化、城镇化、农业现代化同步发展。”“新四化”在未来城镇化发展方向上释放出了“转型”的“新信号”。

城镇发展驱动力呈现多元化,多种新兴驱动力促进城镇发展,如港口建设、高铁建设、高速公路建设、航空发展、园区建设、旅游经济兴起

等都促进了城镇发展。航空发展正成为提升城市竞争力的重要筹码,决定着城市未来发展方向。

随着全球一体化加快,掀起了航空城规划建设热潮,包括北京、上海、广州、天津、重庆、珠海、沈阳、青岛、南京在内的国内三十多个城市开始规划和建设航空城。近年出台的多项鼓励航空产业和民航发展政策,使地方政府大受鼓舞,使航空城建设热潮无法避免的到来。

1 新型城镇化概念

1.1 新型城镇化概念

“新型城镇化”提出已有10余年,十八大以来重新受到重视,并赋予新的解读。新型城镇化说法较多,本文认为的是:以城乡统筹、城乡一体、产城互动、节约集约、生态宜居、和谐发展为基本特征的城镇化,是大中小城市、小城镇、新型农村社区协调发展、互促共进的城镇化。

1.2 新型城镇化特征解读

相较传统城镇化,新型城镇化的本质是用科学发展观来统领城镇化建设,核心是以人为本,实现人的城镇化。具体来说,新型城镇化应具备

作者简介:李辉,男,工程师,2006年毕业于华中科技大学城市规划专业,现就职于中航建发规划咨询研究院。

以下特征和要求。

1.1.1 坚持以人为本、增强民众幸福感

新型城镇化不能仅仅是城镇面积扩张和人口增加，要以改善民生为目的。一是通过顶层设计消除制度障碍，打破户籍制度带来的“二元”差别；二是多渠道促进就业，增加居民收入；三是建立公平的分配机制，实现基本公共服务均等化，增强民众幸福感。

1.1.2 促进区域统筹、城乡一体化发展

推进新型城镇化仅仅依靠单个城镇无法做到，必须依托具有一定数量、一定差异性和互补性的城镇体系乃至区域网络体系。在区域中谋发展、在区域中求协调是新型城镇化的重要内容。新型城镇化全面推进区域统筹，改变城乡二元割裂的局面，促进城乡一体化发展，实现乡村公共服务水平与城镇的同步提升。

1.1.3 促进产业升级，实现转型发展

“新四化”明确提出要实现新型工业化与新型城镇化同步发展，互相促进。中国经过几十年高速发展，先污染再治理的思路已经落后，产业结构已经到了必须调整的时刻，产业发展亟待升级，低碳转型已是共识。

1.1.4 坚持生态文明、集约高效发展

生态文明对人类生存发展具有关键的影响，也是所有类型的城镇化不可忽视的因素。集约高效中国几十年探索中国社会主义道路的重要发展理念，是基于中国人地关系紧张、区域发展不平衡现状的现实对策。新型城镇化必然是集约高效，坚持生态文明的城镇化。

2 航空城基本概念及发展现状

航空城对于业界来说并非一个全新的概念，国外已研究多年，有许多成功的案例，概念体系也已十分成熟。国内专家于20世纪末展开系统研究，并提出了相关概念。

2.1 航空城概念界定

航空城，是指围绕机场出现的产业、空间、生活、服务聚集发展的城市化地区^[1]。地理位置主要强调在机场周边，是指机场红线外、半径在20km的范围内的一种重要的新型区域经济体系。

2.2 航空城发展一般规律

航空城在发展时序上大致经历了3个阶段：Airports（独立开发）、Airports Cities（机场城

市化）、Aerotropolis（空港都市区）。其空间规模和功能也随之迅速发展，由起初只是单一的交通功能，发展成具有城市服务功能和自我组织能力的经济区域，到以机场为核心，由航空产业吸附相关商务活动、休闲娱乐活动等协同发展，从而集聚人气形成的城市形态^[6]，航空城的发展正逐步显现出区域化、综合化、高端化的特点。

2.3 国内外航空城发展建设概况

速度经济下的机场不再是单纯客运和货运的转换地，围绕机场产生了相关产业的聚集，形成航空城。国外已有如孟菲斯机场、法兰克福机场、仁川国际机场、阿姆斯特丹史基浦机场周边的航空城发展的案例，这些机场及其临空区在区域经济的战略地位日益突出，不仅促进区域经济发展，还能使城市和国家最大限度的利用全球范围内的资源，提升国际竞争力。

截止2009年，全国共有34个机场所在地区先后提出发展44个临空经济规划或设想。这44个临空经济区总规划面积达到4,999km²，占我国全部国土面积的5.2%。中国旅客吞吐量在1000万以上的机场所在地区全部规划了临空经济，而中国旅客吞吐量在500万到1000万的机场中，有77%的机场所在地区规划了临空经济，规划临空经济的机场占到全国客货吞吐量的85%和95%。

对比国外发展历程，我国航空城建设存在以下问题：

- (1)对于区域经济的带动性不强，没有从全域角度来考虑；
- (2)仍处于传统临空产业区模式中，把航空城当作功能点，没有考虑产城融合；
- (3)产业类型上临空指向性不突出，与临空经济相关的高端服务产业有所欠缺；
- (4)生态环境考虑不足。

3 航空城建设对于新型城镇化意义重大

航空城在全国国土面积并不是太高，但在经济全球化背景下，航空城区域化、综合化、高端化的特点使得航空城建设在新型城镇化中有着不可估量的作用。

3.1 航空城建设能带动就业，促进城镇化发展

航空运输对区域经济有着非常重要的促进作用，航空运输业将使机场经济融入全球经济之中，发挥其规模经济、密度经济和范围经济及速

度经济的实效^[1]。航空运输将带来就业机会的增加,根据经验,机场每年每服务100万旅客就要提供大约1,000个直接工作,支持大约2,950个全国性职位、2,000个区域性职位、1,425个子区域职位。航空城的建设将促进就业在本地聚集,产业人口产生相应的乘数效应,带来城镇发展。

3.2 航空城建设能促进城乡统筹,区域协调,实现一体化发展

机场多处于城市边缘,区域结合部,周围多为乡村。中心城区功能外溢需求,临空经济吸引需求,围绕机场发展,带动周边城镇在临空经济的统筹下进行职能分工合作。空港枢纽作为区域的重大基础设施,将成为区域城镇网络空间格局中的关键节点,逐渐成为区域和城市重要的经济增长点。同时,机场作为综合交通枢纽,前期配套投入较大,通过大量为机场配套的交通和市政基础设施,可以为城乡一体奠定基础。

3.3 航空城建设能带动产业升级转型

航空城独特的区位优势将带来航空产业本身及与航空密切相关的产业在机场周边聚集。

航空产业本身就是高端产业,本身就促进了产业升级。而航线网络巨大的空间辐射能力,还可以为企业在全球范围内利用优质资源提供平台,将促进外向型企业在区域聚集,促进临空经济发展,促进区域传统产业的提升和高新技术、总部经济、旅游休闲等产业的发展。

3.4 航空城建设有利于生态文明建设

由于航空城规模较大,功能相对独立而可以远离城市中心,因此在环境上具有得天独厚的自然景观,“山、水、城”共同构成这些航空城的特有风貌,这从生态环境的角度有必要保持并完善其优势。机场建设本身存在大规模对生态本底的改变,如推山填海等,航空城建设应该对自然生态环境作出补偿。

4 珠海航空城规划

4.1 珠海航空城基本概况

珠海航空城又名珠海航空产业园,2007年由广东省发改委复函批准设立,并获得多项省部级认证。珠海航空城规划由来已久,早在1995年机场建设时就开始谋划,但由于特殊原因一直停滞不前。

项目位于珠海市金湾区,依托珠海三灶国际机场而建,总体面积约为99.02km²,建设用地65.2km²,可重点建设用地25.2km²。产业园背靠经济发达的珠江三角洲,是珠海连接香港、深圳等珠三角东部地区与台山、中山、江门等珠三角西部地区的纽带(见图1和图2)。

4.2 珠海航空城规划策略

4.2.1 差异化发展战略,以通航为特色,构建航空城发展体系

珠三角机场众多,方圆不足200km的范围内就有香港、广州、深圳、澳门、珠海5个大型机场,业务繁忙,空域紧张。由于珠海机场吞吐量上缺乏优势,航班少,临空聚集效应较差,仅航展具有一定知名度,因此航空城发展必须差异化。

2009年,世界经济形势由危机走向复苏,国家提出鼓励发展民用航空产业构想,酝酿加大对

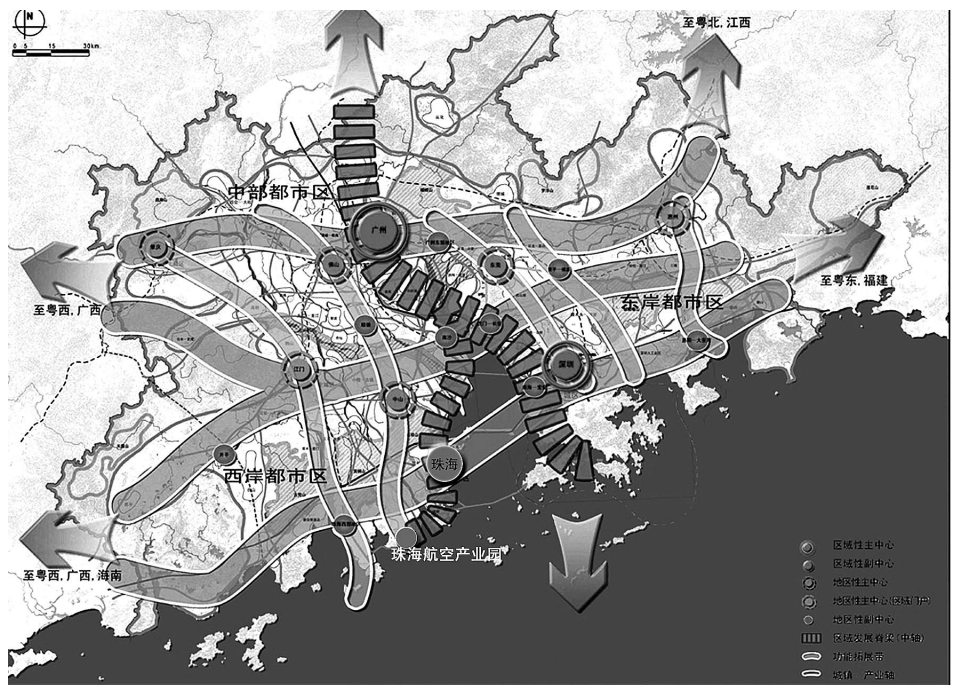


图1 区位图

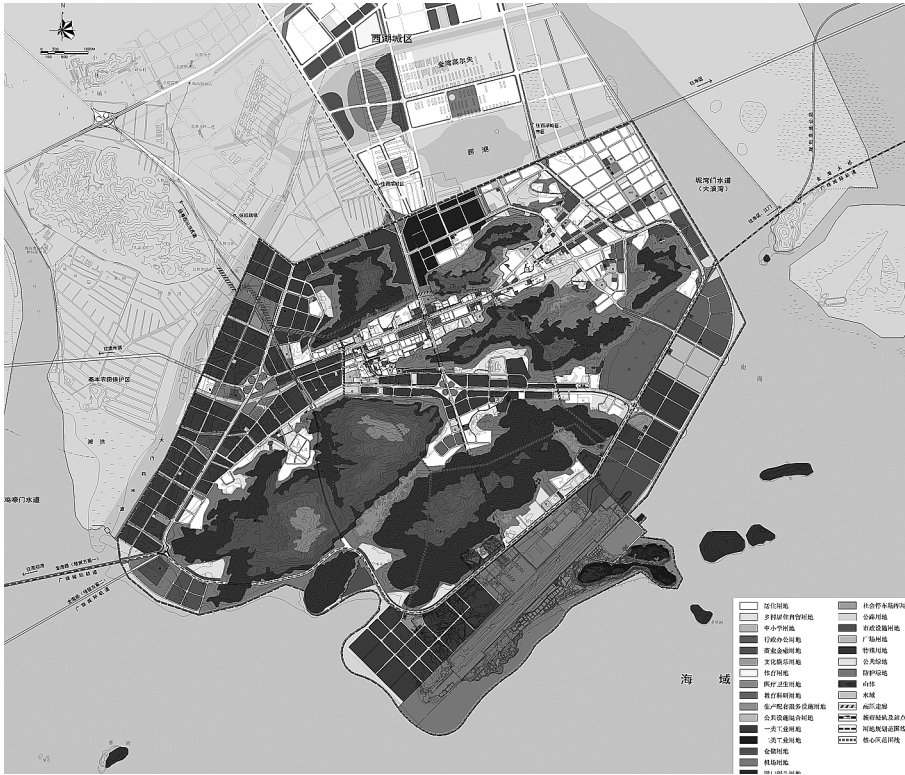


图2 规划总平面

通用航空产业的扶持政策。同时正值中国航空工业公司调整发展格局。规划提出差异化发展，必须紧抓中航工业通飞公司项目的契机，充分利用珠海航展的知名度，构建以通航为特色的产业体系，重点发展通用飞机制造、交付及服务。

4.2.2 以人为本，促进就业，实现城乡统筹，城乡一体发展

规划强调以人为本的理念，构建“一轴、两翼、三核、四区”的规划结构，以中心城镇化和空港小镇特色化实现区域城镇化，促进所在三灶半岛城乡和谐发展。改善城乡居民生活条件，推动市政基础设施、公共医疗、图书馆、绿地等公共资源的

城乡均等化、无差别共享(见图3)。

强化航空城人力资源造血输血功能，解决航空城居民(失地农民)再就业对职业培训的需求，推进职业教育培训，加强产业工人、机场运营相关人才等专业人才培养。同时，要根据市场需求，加强与高等院校、科研院所的合作，开展科研和“订单式”职业培训，培养高素质技能人才，为产业发展提供充足的劳动力资源和人才保障。

4.2.3 区域协调，以航空城促进珠海西部城区发展，与西部中心城区紧密联系，融入珠三角发展体系

通过“一个拓展，两个延伸，三区互动”，将航空城影响扩展到整个金湾区，通过航空产业发

展航空城影响扩展到整个金湾区，通过航空产业发

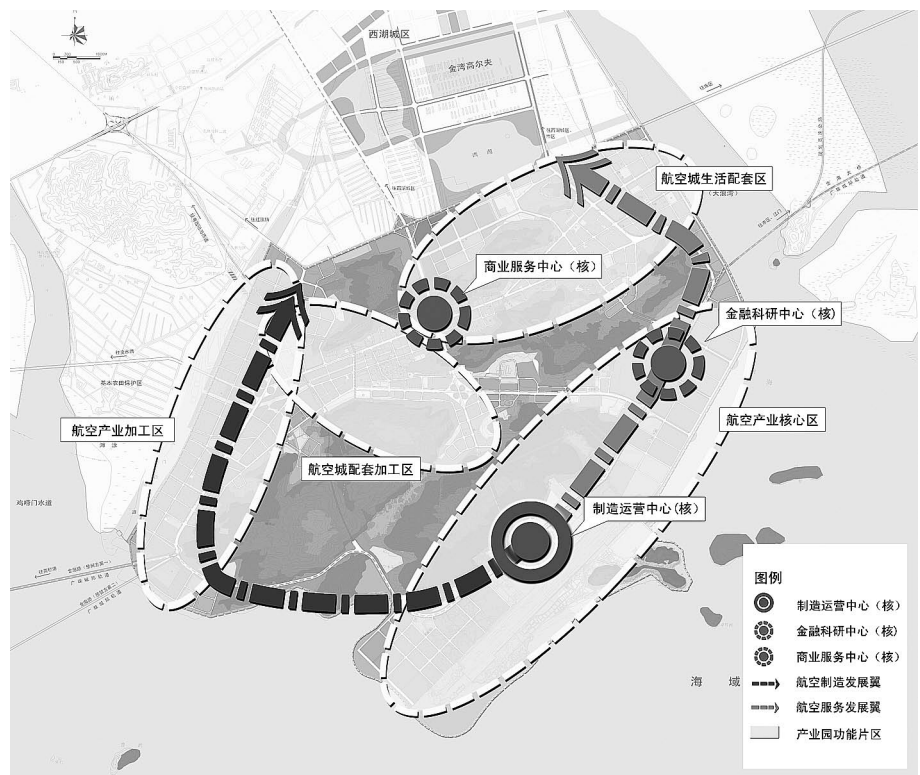


图3 规划结构图

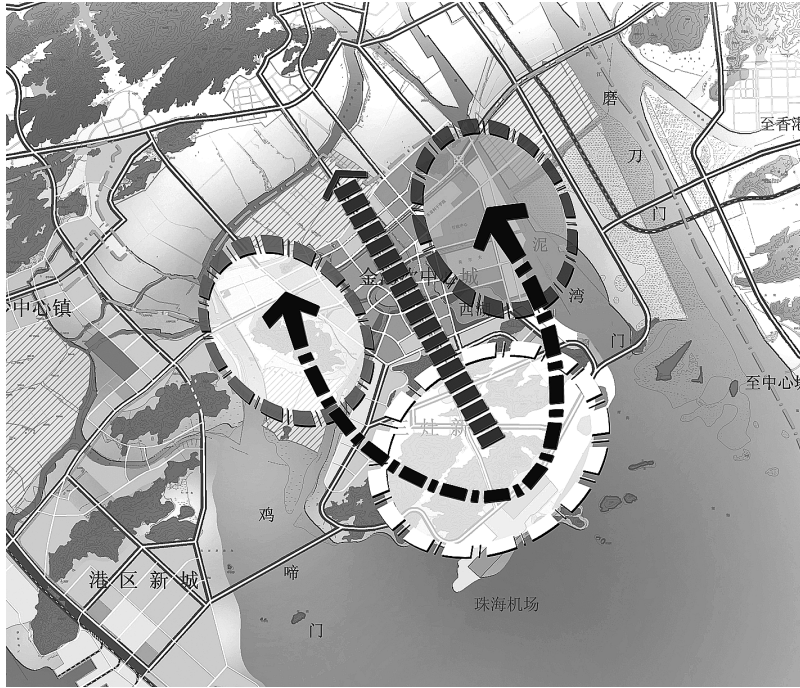


图4 拓展结构示意图

展带动金湾区的整体发展；以航空服务翼带动金湾区行政文教商务的发展；以航空制造翼带动金湾区电子、生物医药等产业的发展。

以临空经济产业发展为契机，增强临空经济区、航空总部区及行政文教区之间的联系，不断整合拓展产业链条，促进金湾区经济结构的升级；带动珠海西部地区经济发展，扩大西部中心城区在珠海西部，乃至整个珠江三角洲西岸的影

响力(见图4)。

4.2.4 整合三灶半岛及珠海现有产业，以航空制造和临空经济为驱动，促进地区产业升级

航空城所在的三灶镇工业基础较好，拥有琴石工业区，三灶科技工业园、青湾工业园等多个工业园区，形成了以医药、电器、医疗器械、精密制造为支柱产业的工业体系，但第三产业总体发展欠缺。

通过“两翼拓展”与原有产业实现融合。西翼通过大力发展现代制造业，特别是发展航空制造、航空维修以及临空高科技制造等具有临空特色的现代制造业，占据区域产业链、价值链的高端，引领区域制造业实现结构性升级。东翼大力发展高新技术产业，高端服务业，重点发展有保税需求和高临空指向的电子信息、生物医药、新材料等

产业，发展具有国际化水准的高端服务业，拓展FBO、航空博览及培训等业务。

4.2.5 强调产城融合，构建三级公共服务体系

按照“产城融合”的理念进行规划，针对原有区域公共配套服务设施落后的局面，规划统筹考虑各片区配套需求，规划构建三级公共服务体系：航空商务中心、片区公共服务设施中心、功能单元公共服务设施中心(见图5)。

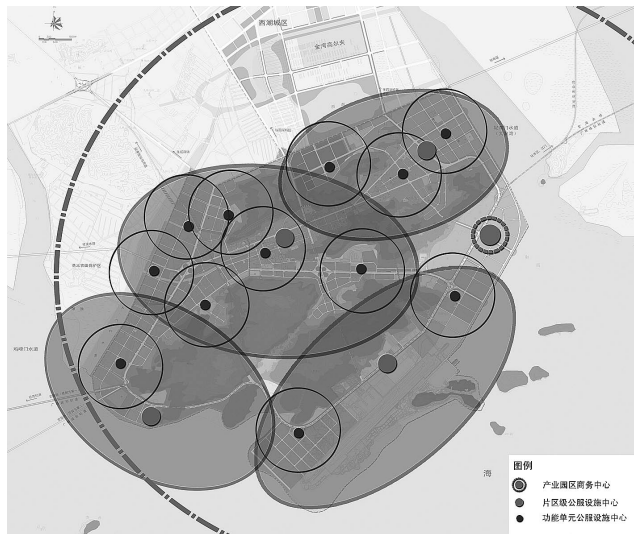


图5 公共设施规划图

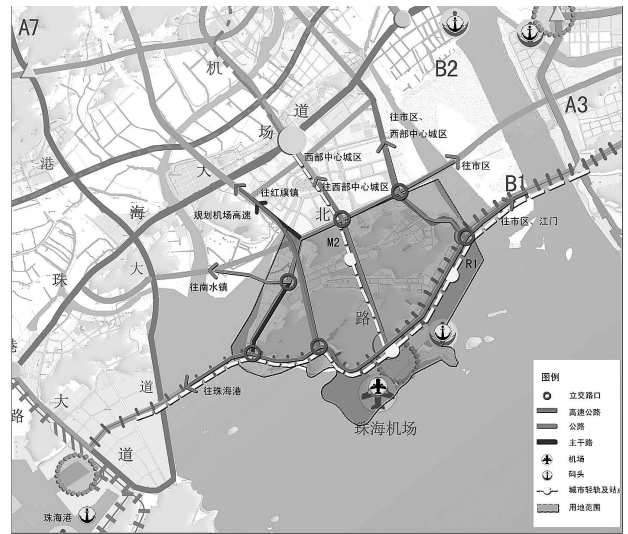


图6 对外交通分析图

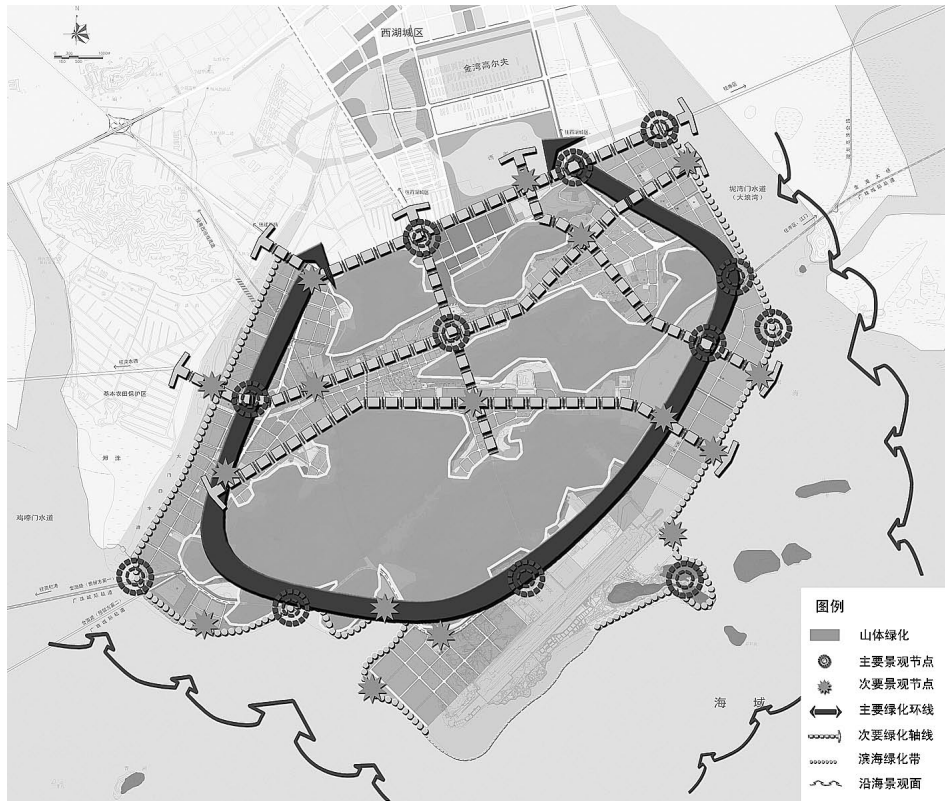


图7 绿地系统图

4.2.6 打造综合交通体系，带动区域一体化发展

构筑依托机场，以高速公路为骨干的综合交通运输系统。积极对接港珠澳跨海大桥，引入广佛轨道交通，融入珠三角交通体系中。规划联系高栏港高速公路，形成双港互动局面，全面实现“陆海空”一体化的交通格局，带动区域一体化发展。

建立以快速公交为主导的城市交通发展模式，形成以快速公交与常规公交密切衔接，各种交通工具协调发展的现代化交通体系。提倡和布局慢行系统，通过道路设计促进步行和自行车交通(见图6)。

4.2.7 依托良好生态本底，形成“靠山面海、山海辉映”的滨海生态格局

分析三灶半岛生态本底，确定山体、海滩、湿地范围。评估填海造地区域，修正填海造地的范围。以生态保护为原则，依托自然山体为生态绿地。以海—农田作为面状生态要素，通过绿道蓝道为纽带，将各自然生态要素联系起来，形成“靠山面海、山海辉映”的山—海—城相融的网络化滨海生态格局(见图7)。

5 结语

航空城作为近期热门的城镇建设类型受到越来越多的关注，其发展影响未来城镇发展格局。规划工作者应当审慎对待，按照新型城镇化要求，规划建设好航空城，促进区域统筹、城乡一体。珠海航空产业园规划是在新型城镇化背景下对航空城规划的探讨，以期达到抛砖引玉的效果。

参考文献

- [1] 胡锦涛在中国共产党第十八次全国代表大会上的报告[Z],2012.11.
- [2] 张俭. 航空“城”时代[J]. 中国物流与采购,2010,(12):41-43.
- [3] 单卓然,黄亚平. “新型城镇化”概念内涵、目标内容、规划策略及认知误区解析[J]. 城市规划学刊,2013,(02):16-22.
- [4] 沈清基. 论基于生态文明的新型城镇化[J]. 城市规划学刊,2013,(01):29-36.
- [5] JOHN K. an industrial/aviation complex for the future[J]. Urban Land.1991,91:16-20.
- [6] 周安伟. 对我国中心城市航空城规划建设的思考[J]. 城市规划汇刊,1996,(04):37-43.
- [7] 欧阳杰,李旭宏. 航空城发展的动力机制及其综合开发模式[J]. 规划师,2009,(11):96-101.
- [8] 曹允春,杨震. 航空运输对区域经济发展的影响分析[J]. 综合运输,2007.(03):43-47.
- [9] 中国航空规划建设发展有限公司. 珠海航空产业园产业发展规划[Z],2010,09.

中国商飞制造工程技术大楼结构设计

■ 樊钦鑫 景辉 贾洁 吕敬辉 王德刚 王亚曼 陈丽颖 「结构」

摘要: 中国商飞大型客机制造工程技术大楼在结构体系上为复杂连体结构,下部四个主体塔楼采用框架-剪力墙体系,上部屋盖采用网架及桁架体系将下部塔楼连为一体。介绍了结构体系、地基基础等设计要点的同时,重点介绍了该复杂结构设计中风荷载、温度作用等主要问题及解决方案。根据工程抗震超限情况提出了抗震性能化设计目标和方法。通过小震、中震整体计算、罕遇地震下弹塑性分析结果,表明针对本工程提出的性能化设计目标是合理的,结构安全性能能够得到保证。

关键词: 复杂连体结构; 结构体系; 风荷载; 温度作用; 抗震性能化设计

1 项目概况

该工程位于上海市浦东新区,根据中国商飞发展战略,拟建在规划建设“总部基地和三个中心”组成的民机产业园区内。从空中俯瞰,园区内的绿化景观与整个“C”建筑形态犹如中国传说中的凤凰的一根尾羽,她象征着中国民用航空事业虽几经磨难,但欲火重生的凤凰重新出现在人的面前,再次展翅飞翔。工程建筑面积64,544.52m²,其中地上62,087.55m²,建筑总长度约380m,宽约152m。建筑总高度21.6m(不包括出屋面网架),屋顶C型大屋盖上檐口建筑高度为28.1~38.9m,由8幢单体建筑组成。建筑地上5层(1号楼有局部地下室),首层层高约为4.8m,二至五层层高4.2m,出屋面柱高4.0~6.5m,基本柱网:

8.4m×8.4m。建筑效果见图1。

2 结构总体介绍

2.1 设计参数

主体结构设计使用年限为50年,安全等级为二级,建筑抗震设防类别为标准设防类,基本

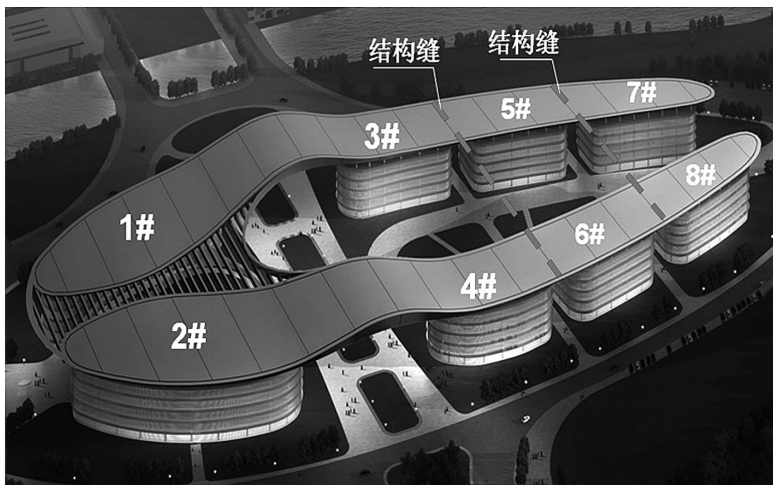


图1 建筑效果图

作者简介:樊钦鑫,男,工程师,2009年毕业于哈尔滨工业大学结构工程专业,现就职于中航建发建筑设计研究院。

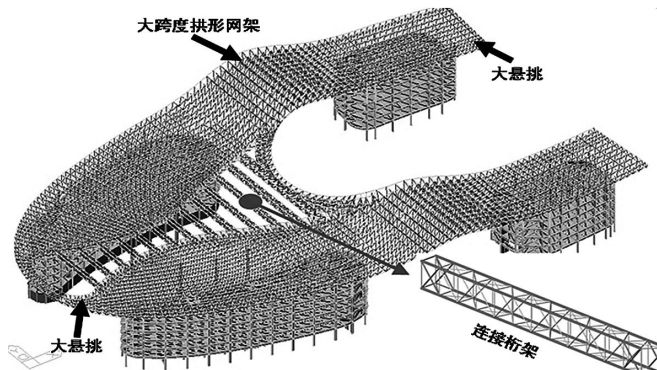


图2 MIDAS结构模型

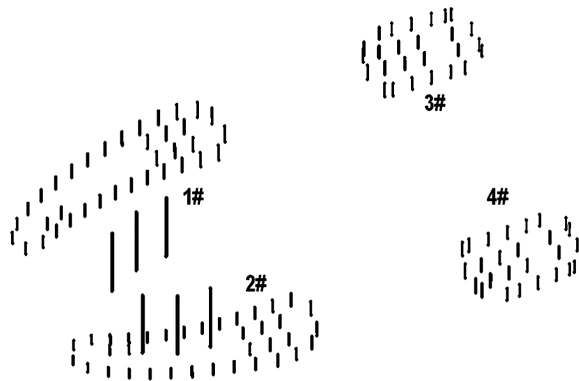


图3 出屋面钢骨柱布置图

表1 结构截面及材料

构件类型	主要截面	材料
框架柱 (出屋面柱)	800×800/Φ800、 700×700/Φ700 (800×800/Φ800 钢骨H400×300×20×30)	C30~C40 HRB400/d=25、22 (Q345B)
框架梁	400×600、400×700	C30 HRB400/d=28、25
剪力墙	250、300、350mm	HRB400/d=25、22
楼板	标准层120mm嵌固端180mm 屋顶虚拟嵌固端150mm	C30 HRB400/d=8、10
钢结构 网架	Φ114×4, Φ133×6, Φ159×6 Φ169×8, Φ180×8, Φ203×10	Q345B

雪压值：0.20kN/m²，50年一遇；基本风压值：0.55kN/m²(50年一遇)，0.6 kN/m²(100年一遇)，地面粗糙度：A类。根据上海市《建筑抗震设计规程》，本地区抗震设防烈度为7度，设计基本地震加速度值为0.10g，设计地震分组为第一组，场地类别为IV类，多遇地震特征周期T_g=0.9s，罕遇地震T_g=1.1s，阻尼比采用0.04。

2.2 结构体系

本工程装饰性大屋盖连接了下部八个塔楼，为使得结构设计更加合理，结构概念设计通过设置结构缝使得每个塔楼为一个独立单体，考虑5~8#连接跨度较小，故在周边设置结构缝，使其从主体脱离出来独立计算。但是1~4#塔楼之间由于大跨度拱形网架及连接桁架的存在(见图2)，同时周边都有20m以上的悬挑，无法利用结构缝形成独立的单体，故形成复杂连体结构。本文后续主要介绍复杂连体部分1~4#楼，对5~8#楼不做具体介绍。

结构上部1~4#楼屋盖采用Q345B正四角锥网架结构形式，网架最大跨度为65.5m~90.7m，1#与2#塔楼之间连接立体钢桁架跨度为16~60m，周边悬挑跨度最大达25m，网架与桁架高度为2.1~4m。下部主体结构采用框架-剪力墙体系，出屋面仅部分框架柱铰接支承钢屋盖(见图3)。由于出屋面框架柱刚度与主体框剪结构层刚度发生突变，产生明显的鞭梢效应，故为提高安全性能采用延性较好的钢骨混凝土柱，出屋面钢骨柱下插一层。

2.3 地基基础设计

根据拟建场地的工程地质条件，场地虽有古河道，但土层起伏平缓，分布稳定，场地无滑坡，无全新世活动断裂等不良地质现象，属稳定场地，但所属设计地震分组为第一组，地基土属软弱土，场地类别为IV类，本场地属于抗震不利地段。场地平均高水位(抗浮水位)为-0.50m，低水位埋深为-1.5m，本场地内地下水样对混凝土有微腐蚀性；在干湿交替的状态下对钢筋混凝土结构中的钢筋有中腐蚀性；对钢结构有中腐蚀性。整个桩身设计避开干湿交替可不防护，处于干湿交替状态下的承台及拉梁采用聚合物水泥砂浆防护。

根据地质报告建议，本工程基础形式采用桩基。抗压桩、抗拔桩取71层粉砂层作为桩端持力层。2~8#楼桩顶标高约-1.8m。抗压桩选PHC-AB500-100，有效桩长为不小于31m，桩端进入持力层深度不小于2.0m，单桩竖向抗压承载力设计值1200kN。1#楼地下室部分抗拔桩选PHC-AB500-100，有效桩长为不小于31m，桩端进入持力层深度不小于2.0m，单桩竖向抗拔承载力设计值500kN。沉降计算最大值39mm，整体倾

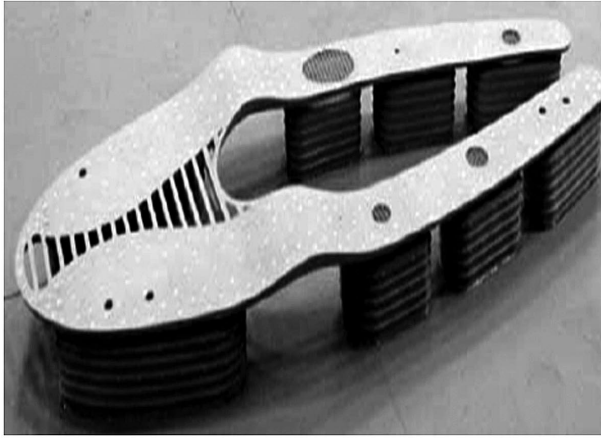


图4 风洞实验模型

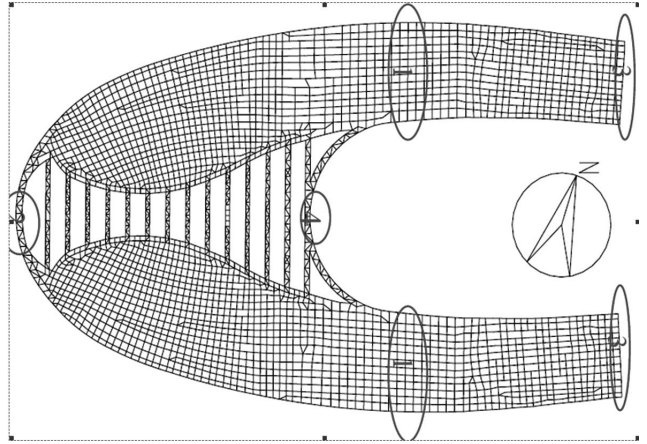


图5 风振响应最大点

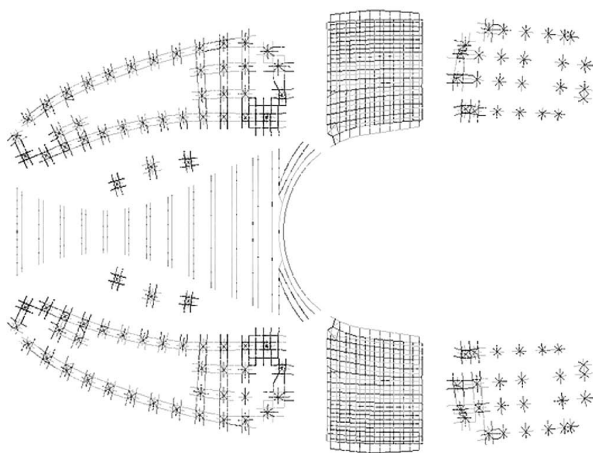
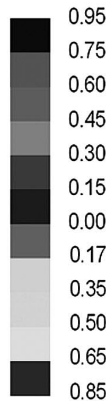


图6 钢结构关键杆件应力比

BEAM STRESS



生水平推力，罕遇地震下位移较大滑动支座都难以实现。而且连体结构宜采用刚性连接，所以最终确定不设置滑动支座，仍采用三向不动铰支座，让钢骨柱协同承担温度应力并通过水平变形释放。

通过屋面作法采用网架上下包轻质铝板，避免阳光的直接照射。考虑上海地区的月平均最高气温与月平均最低气温间的温差，网架的整体合拢温度假定为 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ ，验算温度变化 $\pm 35^{\circ}\text{C}$ 。

斜 0.0007 ，满足规范要求。

3 整体结构静力及风荷载设计

结构整体分析采用PMSAP和MIDAS Gen780计算软件，静力作用下设计目标：除地震作用外的所有荷载组合下，混凝土主受力构件、钢结构杆件及节点均处于弹性。结构优选后主要截面及材料见表1。

3.1 温度作用下设计

由于屋盖超长，温度应力不容忽视，首先概念上考虑采用多向滑动支座尽量释放水平约束，减小温度应力，但是释放水平力后在地震作用下必然会导致支座内力重分布，受力过于集中在几根框架柱上，下部塔楼在地震下的不规则运动又对钢骨柱形成双向受弯的不利状态，结构安全度较小。同时在风和竖向荷载作用下大跨度拱将产

3.2 四面开敞风荷载设计

屋面钢结构取100年一遇基本风压，为 $0.6\text{kN}/\text{m}^2$ ，地面粗糙类别A类，结构外形复杂，处于四面开敞，而且下部存在多个塔楼，处于不规则的风场中，特由业主委托建研科技股份有限公司进行风洞试验及风振分析来确定风压系数和风振系数，图4为风洞试验模型。

依据风洞试验结果，在进行整体结构设计时，向上体型系数通常约 -1.3 ，向下的体型系数大致可取 0.12 。根据风洞实验报告提供的等效静力风荷载，利用MIDAS对不同风向角下的结构风振响应分析得最大风振系数为 1.6 （竖向振动最大点见图5），并进行屋盖的内力组合计算。

3.3 各工况组合下分析结果

按照规范要求考虑各种荷载工况组合下结构承载力极限状态和正常使用状态下的性能。其中荷载工况包括恒荷载、活荷载、风荷载、屋面雪



图7 典型受力示意

荷载以及温度荷载。

3.3.1 强度验算

在荷载组合中，起控制作用的的基本组合为 $1.2D+1.4(0.7)L \pm 1.4$ 风 $\pm 1.4(0.6)$ 温度，钢结构关键杆件（网架支座、大跨网架跨中、连接桁架）应力比均小于0.85（见图6），其余杆件应力比均小于0.95。

混凝土柱、墙肢、约束构件最大轴压比、配筋要满足规范要求。特别强调整体计算中屋盖钢结构的存在对下部混凝土结构有直接的影响，风荷载控制下出屋面框架柱为拉弯构件(见图7)，与其相连的框架梁端部反向弯矩增大，故根据计算增大梁端上下纵筋，并加大箍筋直径提高延性。

3.3.2 刚度验算

结构的最大竖向向下位移出现在连接1~2#钢桁架连接部分（见图8），挠跨比为1/217，考虑到无使用功能，挠跨比适当放宽。结构的最大竖向向上位移出现在连接2~4#钢网架跨中部分（见图9），挠跨比为1/307，满足网架结构技术规程要求。

3.3.3 构件长细比

网架：压杆180(支座、桁架150)，拉杆200(支座180)；塔楼层间变形控制指标：层间位移角限值1/800；竖向挠度限值1/400。

4 结构超限情况及性能化抗震设计目标

按照上海市《超限高层建筑工程抗震设计指

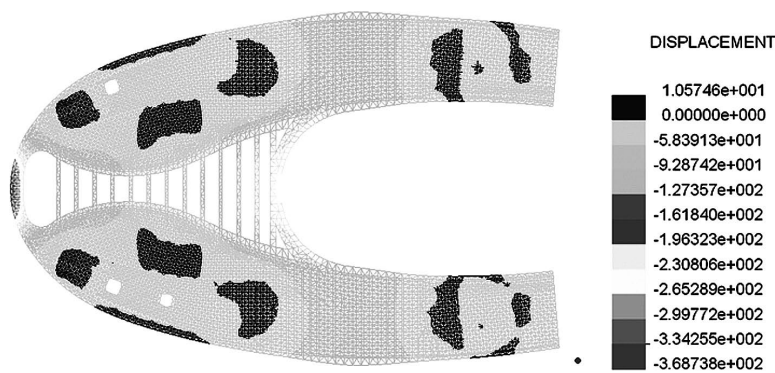


图8 结构位移等值线(恒+活)

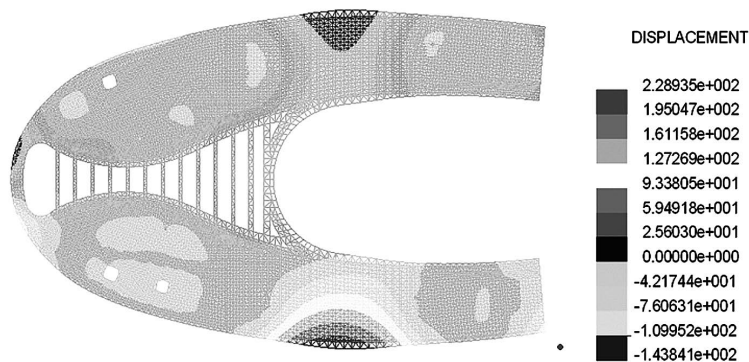


图9 结构位移等值线(恒+风吸)

南》(建质[2010]109号)规定^[1]，结构存在下列超限情况：偶然偏心影响的地震作用下，塔楼楼层的最大弹性水平位移（或层间位移）大于该楼层两端弹性水平位移平均值的1.2倍^[2]；出屋面竖向构件为框架柱刚度有突变；4个塔楼体型沿两个主轴方向的振动周期显著不同，塔楼各部分层刚度相差超过30%的复杂连体结构，故本工程判断为超限结构。针对超限类型提出在三水准地震作用下的抗震设计性能目标^[3]，见表2。

5 整体结构抗震分析

结构整体分析时采用MIDAS和PMSAP软件，采用弹性时程分析法对振型分解反应谱法进行小震下的补充验算^[4]，采用振型分解反应谱法考虑部分混凝土构件开裂后刚度折减对关键构件进行中震验算，采用静力弹塑性分析法进行罕遇地震下的承载力和变形验算。

5.1 反应谱分析

整体分析选取90个模态数量，以保证获得90%的振型参与质量。图10列出了两种软件主要振

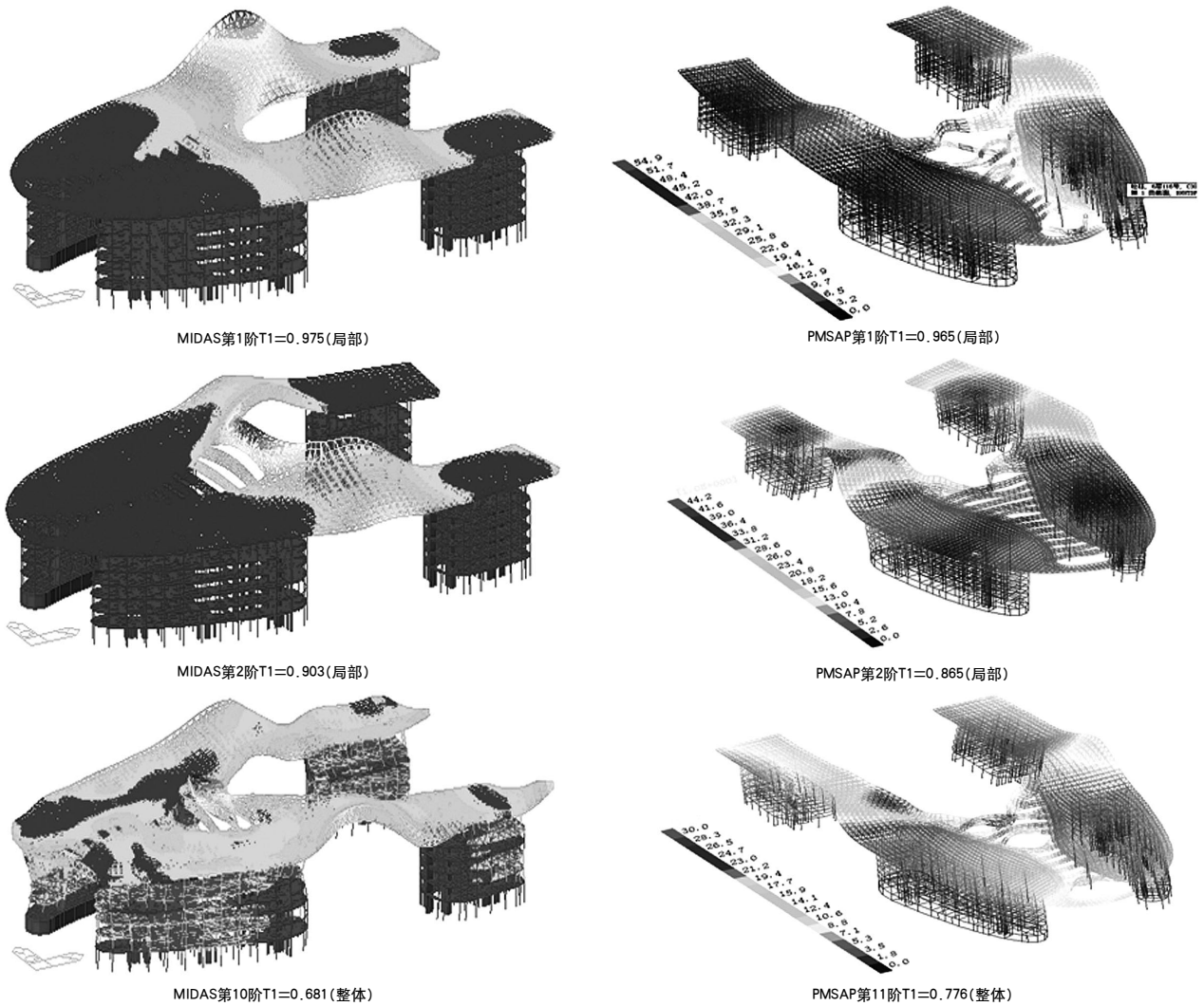


图10 结构主要振型及周期

表2 抗震设计性能目标

地震水准	小震	中震	大震
性能水准	完好无损	基本完好 轻微损坏	中度破坏
塔楼层间位移角	1/800	---	1/100
塔楼混凝土墙柱	弹性(抗震等级提高一级)	受剪不屈服	保证生命安全 $0 < LS$
塔楼混框架梁、连梁	弹性(抗震等级提高一级)	受剪不屈服	充分塑性 $0 < CP$
出屋面框架柱层间位移角	1/300	---	1/30
出屋面框架柱	弹性(抗震等级提高一级)	抗剪、抗弯弹性	保证生命安全 $0 < LS$
关键节点(网架支座, 连体桁架)	弹性	抗剪、抗弯不屈服	保证生命安全 $0 < LS$
主要计算方法	振型分解反应谱法; 弹性时程分析法	振型分解反应谱法(考虑刚度折减)	静力弹塑性

注: θ 为构件转角, 性能目标LS表示生命安全, CP为防止倒塌。

型及周期。

结构整体振型主要以下特点: ①频谱密集: ②前若干阶振型均以屋盖竖向和水平为主, 其刚度远小于下部塔楼刚度: ③第8~10阶出现整体振动趋势, 各方向参与振型的有效质量系数大于40%: ④局部振动较多, 主要振型出现在刚度较弱部位, 如网架跨中、连体桁架, 出屋面框架柱等位置。

整体考虑扭转效应的反应谱地震响应见表3。工程各项整体指标均满足相关规范要求

为了保证结构单体在屋顶钢结构破坏后仍然安全, 用SATWE对单体分别计算, 单体各项指标均满足相关规范要求, 计算结果见表4。

综合来看由于屋顶钢结构的连体作用, 整体计算塔楼的地震力与单独塔楼计算的结果略有差别, 但总体趋势一致。故在小震反应谱法中取结

表3 整体地震反应谱响应

分析结果		MIDAS		PMSAP	
		X向	Y向	X向	Y向
总质量 (t)		60097.607		60036.45	
基底剪力(kN)	1#	10037.7	9780.67	12340	11662
	2#	9553.05	9602.57	10330	10945
	3#	4690.28	5046.37	6324	5995
	4#	4651.63	4900.80	5138	6043
最小剪重比	1#	5.4%	4.6%	7.03%	6.65%
	2#	5.5%	5.6%	6.04%	6.40%
	3#	3.9%	3.9%	6.29%	5.96%
	4#	3.9%	4.8%	5.28%	6.21%
最大层间位移角 (所在层)	1#	1/1710 (3)	1/1817 (4)	1/873 (3)	1/1492 (4)
	2#	1/1654 (3)	1/1393 (4)	1/1370 (4)	1/1448 (4)
	3#	1/1769 (4)	1/1617 (4)	1/1033 (3)	1/1229 (4)
	4#	1/1760 (4)	1/1706 (4)	1/1361 (3)	1/1267 (4)
	出屋面	1/465	1/461	1/633	1/473
最大位移比	1#	1.05	1.39	1.10	1.17
	2#	1.07	1.39	1.11	1.27
	3#	1.30	1.28	1.09	1.21
	4#	1.23	1.38	1.10	1.11

表4 单体地震反应谱响应

塔楼 地震方向	1#		2#	
	X向	Y向	X向	Y向
总质量(t)	221836		177036	
基底剪力(kN)	11852	10708	11684	9873
最小剪重比	5.79%	4.51%	6.60%	5.58%
最大层间位移角(所在层号)	1/910 (4)	1/1089 (4)	1/1218 (3)	1/1333 (4)
最大位移比(偶然偏心)	1.08 (X-0.05)	1.38 (Y-0.05)	1.09 (X+0.05)	1.33 (Y-0.05)
塔楼 地震方向	3#		4#	
	X向	Y向	X向	Y向
总质量(t)	110860		109887	
基底剪力(kN)	6706	6495	6088	5543
最小剪重比	6.05%	5.86%	5.54%	5.04%
最大层间位移角(所在层号)	1/818 (4)	1/832 (4)	1/1158 (4)	1/1040 (4)
最大位移比(偶然偏心)	1.10 (X-0.05)	1.34 (Y-0.05)	1.13 (X-0.05)	1.39 (Y-0.05)

表5 弹性时程分析结果

分析方法		MIDAS		PMSAP	
		X向	Y向	X向	Y向
时程3条 包络/反 应谱(基 底剪力)	1#	1.07	1.05	1.08	1.06
	2#	0.87	0.96	0.83	0.84
	3#	0.99	0.95	0.84	0.90
	4#	1.04	1.12	1.12	0.84
	出屋面钢 骨柱	1.10	1.12	1.12	1.18

构整体与单体计算结果包络设计。

5.2 小震下弹性时程分析

在MIDAS中选用两条天然波(1976,Tianjing Hospital Tangshan Aftershock、1984,Parkfield Fault Zone 14, Coalinga, CA波)和一条

上海人工波。在PMSAP中选用两条天然波 (TH1TG090、TH4TG090) 和一条人工波 RH1TG090进行整体补充计算。所提供的每条地震波输入的计算结果不小于振型分解反应谱法计算结果65%，三条地震波的平均底部剪力不小于振型分解反应谱法计算结果的80%^[5]。满足在统计意义上相符的规范要求，地震波持时为结构基本周期6倍，弹性时程的分析结果见表5。

采用时程分析法结构基底总剪力同振型分解反应谱法计算结果进行比较，1#和4#塔楼响应略有增大10%左右，出屋面框架柱时程分析下鞭梢效应突出。故对1#、4#塔楼地震作用放大1.1倍

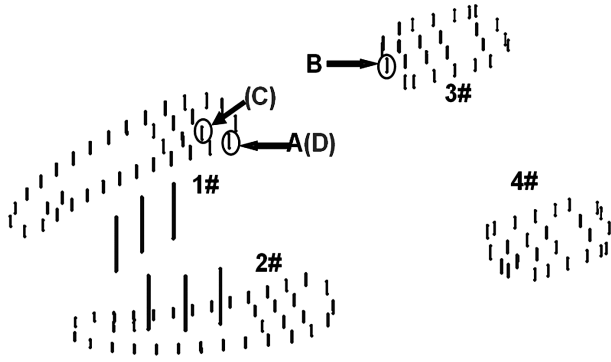


图11 屋面柱受力控制点

进行配筋设计，出屋面框架柱地震作用放大1.2倍进行配筋设计。

5.3 中震下分析

连体的设计不仅考虑其对塔楼的协调、约束作用，还要考虑连体本身由于四个塔楼变形不协调而产生的扭转作用，应采取措施以提高连体自身的整体刚度和承载能力。故在设防烈度地震(中震)作用下考虑双向地震作用的扭转效应对出屋面框架柱进行中震弹性的设计^[6]。在设计中考虑部分混凝土构件本身收缩、徐变开裂，以及中震作用下弹塑性变形对刚度的影响，故对弹性模量E取折减系数0.7、1.0包络设计。图11对比了小震和中震作用时屋面柱受力控制点，内力组合结果见表6。

在小震作用下，出屋面框架柱承受的水平力较小，控制组合为1.2恒+1.4活和1.0恒+1.4风。屋面框架柱为单向压弯或者拉弯构件。但是在中震作用下，控制组合为1.0恒+0.5活+1.0地震，屋面框架柱为双向受弯构件，扭转效应明显，为满足中震弹性设计，在柱内设置钢骨增加延性（双向受力较大点设置十字钢骨，其余单向设置），

表6 出屋面柱控制内力组合结果

包络值	A(D)	B	C
轴力N	-3229(-3628)	1187	996
剪力Fx	50(170)	53	88
剪力Fy	7(138)	317	202
弯矩Mx	48(956)	353	582
弯矩My	423(1183)	2116	1343

注：A和B点为小震、静力及风控制点，C和D为中震控制点。压力为负，拉力为正。

钢骨柱箍筋全高加密，下插一层。

在设防烈度地震（中震）作用下还要对钢结构关键杆件进行验算，选取网架的主受力部位（连接混凝土框架柱的支座）的弦杆及腹杆进行中震不屈服验算。杆件应力比均能控制在0.9以内，达到了抗震设计性能化目标。

5.4 罕遇地震弹塑性分析

静力弹塑性推覆分析基于地震反应仅受一个振型控制，针对本多塔结构整体频谱密集、振型复杂的特点，模式的选取尤为重要。本工程模式的选取主要能够真实反映屋顶侧向刚度突变后导致的鞭梢效应，故考虑到整体下部塔楼相对出屋面柱刚度较大，可以判定塔楼顶为虚拟嵌固端，这种概念的引入有助于对连体屋盖整体振动的判断。所以选取的X与Y方向屋顶以上结构（包括排架柱及连体网架）局部振型参与总质量达到90%以上，同时选取的X与Y方向整体振型满足沿结构振型方向参与总质量均大于40%。

采用MIDAS进行罕遇地震下的静力弹塑性分析^[7]，根据模态分布施加荷载，由FEMA356所建议的目标位移法计算来确定结构性能点的位置(见图12)。

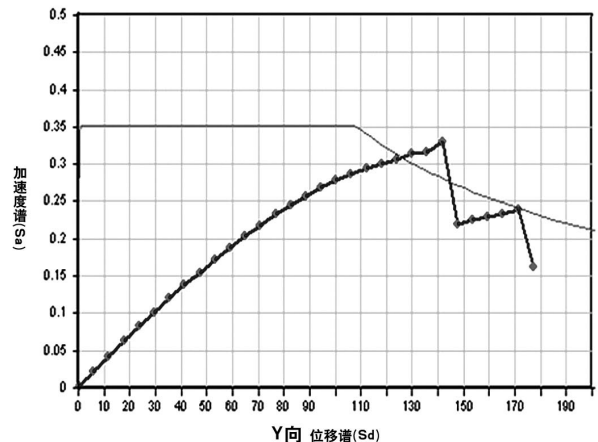
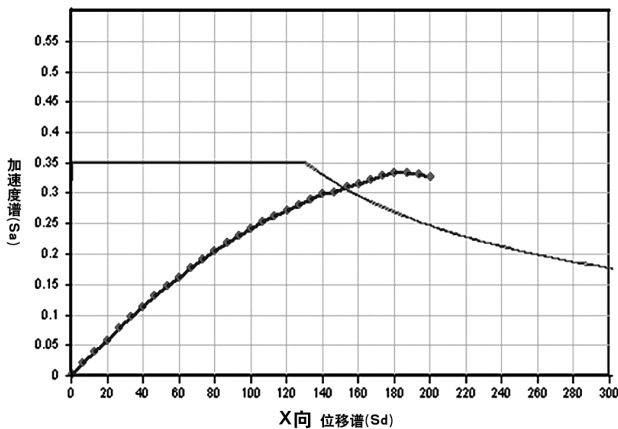


图12 结构能力谱与需求谱曲线

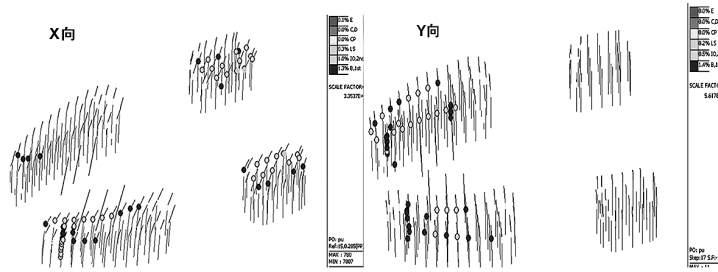


图13 结构塑性铰分布图

表7 罕见地震作用下层间位移角

位移角及方向		1#	2#	3#	4#
塔楼最大层间位移角(层)	X向	1/300 (5)	1/161 (5)	1/323 (5)	1/600 (5)
	Y向	1/240 (5)	1/110 (5)	1/1100 (5)	1/900 (5)
出屋面层间位移角	X向	1/66	1/45	1/48	1/69
	Y向	1/31	1/40	1/250	1/105

图中屋顶排架柱加钢骨及箍筋全高加密后，结构承载力谱与地震需求谱出现性能交点，整体结构具有一定的强度和变形能力，Y向达到极值点后承载力出现一定程度下降后趋于稳定，安全储备较少，结构延性同X向相比较差。

相比较而言，屋顶排架柱未采取构造加强措施前，需求谱与能力谱曲线无法相交，性能点不存在，结构体系强度和刚度较差。所以推覆分析法推出了结构的不安全的地方，给结构提供一定安全储备。

对结构构件抗震性能进行评估^[8]，性能点处对应的框架柱塑性铰分布情况（见图13）满足“防止倒塌CP”的性能目标，结构在X向塑性铰主要分布在1~4#楼，整体变形推覆，而Y向由于连体桁架作用塑性铰主要分布在1~2#楼，3~4#楼地震力在Y向无法传递，故无塑性铰。下部塔楼连梁塑性铰充分开展，形成耗能机制，满足“防止倒塌CP”的性能目标。剪力

墙及框架柱出现一定程度的钢筋屈服，塑性程度不高，满足“生命安全LS”的性能目标。对结构整体抗震性能进行评估，各个塔楼层间位移角限值（见表7）满足罕遇地震规范要求，屋顶钢骨柱刚度较弱，出现了薄弱层，但仍然满足罕遇地震下排架柱位移角1/30限值。因此，结构的抗震性能满足罕遇地震作用下不倒塌的抗震设计目标。

综合来看，本工程推覆分析中塔楼上部三层及屋盖体系振动比例较大，参与的质量较多，虽然不可能完全推覆出塔楼较多质量参与的整体振动情况，但是该方法计算出了结构不安全的地方，得出的结论对设计有一定的指导意义，故把它看作一种实用的设计工具是合理的。

6 关键部位设计

6.1 支座设计

出屋面框架柱与钢屋盖采用三向固定铰支座，见图14。支座设计整体上既要满足竖向荷载、风、温度等最不利组合，又要满足中震不屈服性能标准，构造上采用典型的带加劲肋的焊接

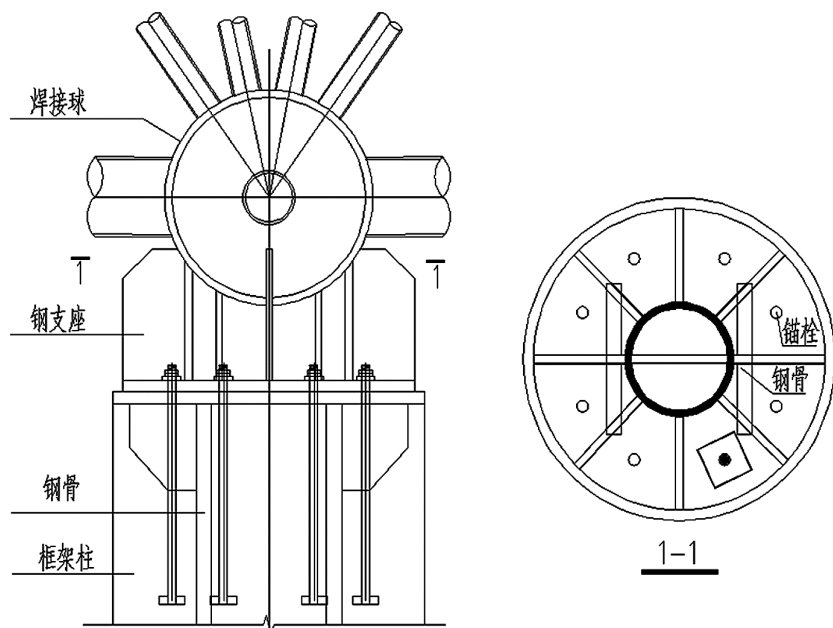


图14 抗震支座柱顶构造

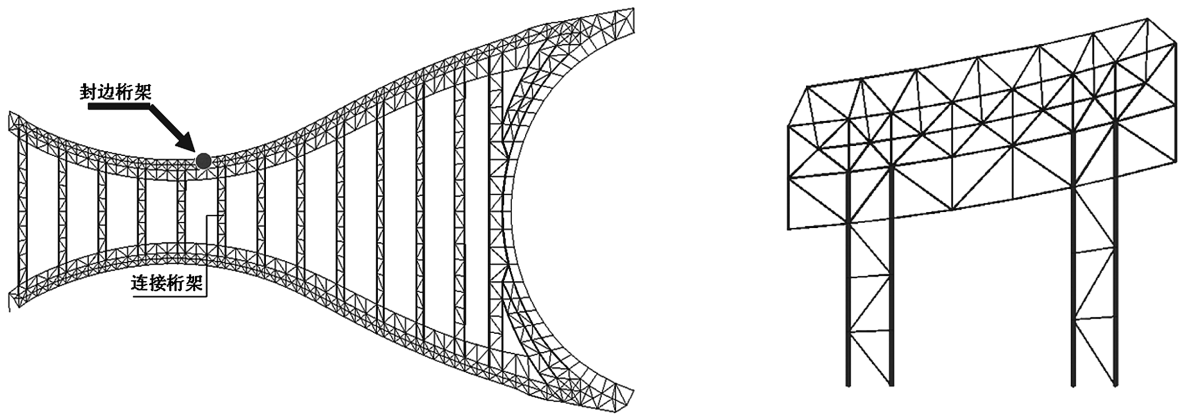


图15 优化网格示意

球节点，预埋件板与钢骨直接焊接，钢骨充当抗剪键。

6.2 网架网格划分

网格结构划分方式是异型网格结构设计的关键，结构出屋面的钢骨柱沿弧线布置，采用的正方四角锥网架下弦节点支承，根据柱间跨度等分网格，网格数不等时通过三角锥过渡，网格长度最大不超过5m。为使1、2#楼间的连接桁架传力直接，施工安装方便，需要优化设置封边桁架，见图15。

这种划分网格的方法增强了网格布置的规则性，提高连接桁架与网架连接节点的承载能力，同时连接桁架地震作用下传递水平力更加直接，同时改善了边界区域的杆件受力性能。

7 结论

(1)本文从概念上探讨了设计中的结构体系和网格划分，使结构设计更加合理。连体屋盖为四面开敞风敏感体系，并且处于不规则的风场中，应根据风洞试验结果进行设计；

(2)针对复杂连体结构，通过MIDAS、PMSAP两种有限元软件进行整体建模分析，表明连体屋盖对下部塔楼地震作用响应有一定的影响，薄弱部位为出屋面框架柱，鞭梢效应明显，应予以适当加强；

(3)针对结构平面不规则、复杂连体对构件和整体提出抗震性能化设计目标。通过小震、中震、罕遇地震分析结果，表明提出的性能化设计目标是合理的；

(4)通过对连体结构温度作用和抗震性能化的分析，结果表明，连体屋盖强连接体系可以满足在温度及地震作用下相关规范要求，可认为优于滑动支座。

参考文献

- [1] 上海市超限高层建筑工程抗震设计指南(第二版)[M]. 同济大学出版社,2010.
- [2] GB 50011-2010 建筑抗震设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社,2010.
- [3] 严仕基,姚永革,郑建东. 广晟国际大厦结构抗震超限设计[J]. 建筑结构,2011,41(8):29-33.
- [4] 陆道渊,江蓓,王经雨. 天津津门酒店结构设计[J]. 建筑结构,2012,42(5): 96-100.
- [5] 张聿,刘明国,芮明倬,汪大綏,钱鹏. 天津大剧院结构设计[J]. 建筑结构,2012,42(5):119-124.
- [6] 金来建,景辉,唐洪杰. 中国妇女儿童博物馆抗震超限设计[J]. 建筑结构,2009,39(10):119-121.
- [7] 扶长生,张小勇. 推覆分析的原理和实施[J]. 建筑结构,2012,42(11):1-10.
- [8] 樊钦鑫,刘茵. 中航直升机总部大楼基于Push-over的抗震性能化评估[J]. 建筑结构,2010,40(S):111-115.

中关村国家自主创新展示中心 折线形布索预应力钢桁架结构设计研究

■ 黄季阳 聂悦 王树 张国军 葛家琪 沈斌 「结构」

摘要: 中关村国家自主创新展示中心采用折线形预应力大跨度空间桁架钢结构体系,该预应力体系在同类钢结构工程中应用很少,因此结构预应力体系选型及施工方法模拟分析对工程的安全性和可靠性具有重要的意义。采用不同计算模型,选取拉索布置形式、预应力度、桁架高跨比等几种主要参数,进行结构体系布局研究,总结预应力体系选型关键参数的合理取值范围;对相同承载力控制指标下预应力体系与非预应力体系进行了静力分析及静力弹塑性全过程分析,确认了预应力体系的有效性;应用单元生死法对结构预应力施工进行全过程模拟计算,分析了不同支撑安装方式对结构最终力学性能的影响,确定了合理的施工方案;同时进行了折线形转换节点的预应力损失分析及摩阻试验,通过对比位移、索力等关键参数的施工监测数据与理论计算值,验证了结构设计的安全性。

关键词: 折线形预应力体系; 静力弹塑性; 单元生死法; 施工模拟

1 工程概况

海淀展览馆改造工程结构形式为大跨度预应力空间钢桁架结构,桁架跨度75m(格构式钢管柱内弦杆中心线间距),高度2.9m,高跨比仅为1/26,桁架间距8m,从东至西共包括27榀空间钢桁架,平面尺寸202m×78m。为实现建筑造型及使用要求,保证结构安全、合理,设计采用如下措施:①结构充分利用建筑三角形空间桁架柱;②屋面结构计算跨度75m,设计采用预应力空间桁架结构增加大跨度结构刚度,调整结构内力分布,增强结构稳定性。通过以上设计措施,有效地

改善了结构体系受力性能,优化了结构用钢量,并且充分实现了优美、流畅的建筑屋面造型,满足了建筑空间使用要求。建筑效果见图1,结构布置见图2。



图1 建筑效果图

作者简介:黄季阳,男,工程师,2009年毕业于北京交通大学结构工程专业,现就职于中航建发技术研究院。

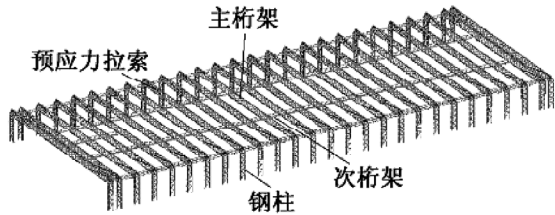


图2 结构布置图

表1 构件截面尺寸

构件	主要截面尺寸/mm
桁架弦杆	上弦: $\phi 351 \times 20$, $\phi 402 \times 35$; 下弦: $\phi 245 \times 12$, $\phi 299 \times 14$
桁架腹杆	$\phi 102 \times 4$, $\phi 121 \times 5$, $\phi 140 \times 6$
钢柱弦杆	内侧: $\phi 600 \times 30$, 外侧: $\phi 450 \times 30$
钢柱腹杆	$\phi 203 \times 8$, $\phi 219 \times 10$, $\phi 245 \times 12$

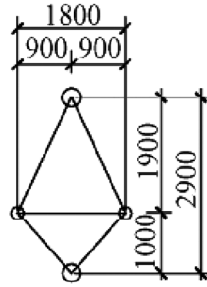


图3 桁架剖面图

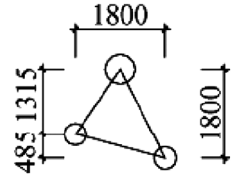


图4 钢柱剖面图

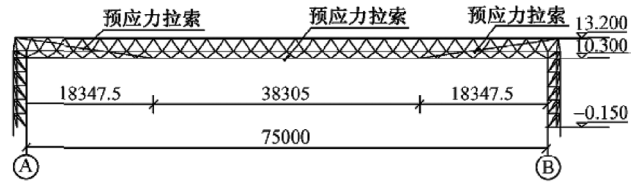


图5 结构布置图

2 结构预应力体系选型

2.1 屋盖结构布置

根据建筑造型及空间使用要求，工程主桁架为四肢空间钢桁架，桁架宽度1.8m，高度2.9m，剖面如图3、4所示。桁架弦杆从上至下分为3层，分别是上弦杆、中弦杆和下弦杆。主桁架均采用Q345B无缝钢管，构件主要截面见表1，腹杆与弦杆连接采用相贯焊接节点，主桁架与钢柱采用焊接球节点。

为降低主桁架在使用阶段的内力和变形，设计时在主桁架跨中下弦杆处设置预应力拉索一道，该拉索在主桁架跨中并托住主桁架，在距离主桁架下弦杆端部18.4m处弯折后锚固在主桁架上弦外侧。拉索材料采用外包双层PE高强度冷拔镀锌钢丝拉索，抗拉强度不小于1,670MPa，钢索抗拉弹性模量E不小于 1.9×105 MPa。下弦预应力拉索采用2根 $\phi 5 \times 73$ 拉索，单根索初拉力为725kN，两端采用冷铸锚头，两根拉索分别固定在下弦杆左右两侧，预应力拉索布置如图5所示。

2.2 预应力体系选型

本工程预应力加载方案为中张法，即主桁架与钢柱形成刚性固定连接后，再施加预应力，预应力主要用于降低使用荷载作用下构件的应力水平。为深入研究预应力体系对结构使用阶段力学性能的影响，选取拉索布置形式、桁架高跨比、预应力度等几种主要参数进行静力性能分析，分析各种参数的改变对结构刚度及主要受力杆件的

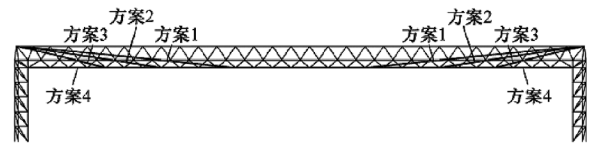


图6 拉索布置方案示意图

影响程度，根据计算结果进行合理的预应力体系选型。计算软件采用MIDAS780，桁架及钢柱弦杆采用梁单元，腹杆采用桁架单元，预应力拉索采用只受拉单元。本节所列计算结果中结构预应力起拱值均为预应力单工况下桁架跨中竖向位移，构件内力均为恒荷载+活荷载+预应力工况下的计算结果(负号为压力、正号为拉力)；结构屋面恒荷载为 1.1 kN/m^2 ，屋面活荷载取 1.4 kN/m^2 (包含展陈用临时吊挂荷载)。

2.2.1 拉索布置选型

分别选取三种不同折线形布索方案及一种直线形布索方案进行分析，并建立由5榀典型桁架组成的局部计算模型，方案2拉索折点位于桁架反弯点处，方案1、方案3拉索折点分别位于反弯点内侧、外侧，方案4为直线布索方案，各方案结构构件截面尺寸相同，不同方案拉索布置情况见图6。

限于篇幅，仅选取不同方案局部模型中间第3榀桁架进行分析，主要计算结果见表2。结构构件受力特性为柱弦杆内侧受压、外侧受拉，桁架上弦跨中受压、根部受拉，桁架下弦跨中受拉、根部受压；结构中弦杆受力较小，为构造杆件，因此计算结果中不列出中弦杆计算结果。

表2 各方案结构力学性能计算结果

方案		方案1	方案2	方案3	方案4
预应力起拱值/mm		42.3	41.3	34.5	20.6
关键构件轴力/kN	柱弦杆	2871, -6821	2700, -6502	3063, -7392	3230, -7925
	柱腹杆	790, -2657	743, -2526	859, -2899	921, -3051
	桁架上弦	1289, -4381	1206, -4582	1642, -5166	2877, -5392
	桁架下弦	1541, -3234	1717, -3081	2037, -3614	2147, -4429
	桁架腹杆	392, -372	363, -346	419, -429	634, -601

表3 不同预应力度模型计算结果

初拉力/kN		600	900	1200	1450
预应力度/%		11.90	17.85	23.80	28.76
预应力起拱值/mm		17.1	25.7	34.2	41.3
关键构件轴力/kN	柱弦杆	2861, -6819	2804, -6707	2747, -6595	2700, -6502
	柱腹杆	827, -2686	797, -2630	768, -2573	743, -2526
	桁架上弦	1996, -4432	1718, -4485	1438, -4538	1206, -4582
	桁架下弦	2104, -3308	1968, -3228	1831, -3148	1717, -3081
	桁架腹杆	417, -395	397, -377	379, -360	363, -346
初拉力/kN		1800	2100	2500	3000
预应力度/%		35.70	41.65	49.58	28.76
预应力起拱值/mm		51.3	59	70	84.1
关键构件轴力/kN	柱弦杆	2634, -6371	2577, -6259	2501, -6110	2407, -5923
	柱腹杆	708, -2460	679, -2403	639, -2328	590, -2233
	桁架上弦	880, -4644	601, -4697	228, -4767	-237, -4855
	桁架下弦	1556, -2987	1421, -2906	1239, -2799	1011, -2665
	桁架腹杆	341, -325	322, -308	297, -285	266, -271

(1)方案1、2起拱位移相差仅1mm，且明显大于方案3，方案4结构跨中起拱仅为方案1、2的50%，因此折线形布索方案对结构位移的改善明显优于直线形布索方案；

(2)方案2除桁架跨中弦杆构件内力略大于方案1外，其余构件内力均小于其他3个方案。

综上所述，方案2的布索方案最为合理，工程设计选取方案2为实际布索方案。

2.2.2 预应力度选型

预应力钢结构体系具有改善结构刚度及力学性能的优点，但同时增加了结构部分上弦构件的内力，因此合理的预应力度选择是结构最终受益程度的重要影响因素。选取方案2作为研究对象，分别选取初拉力为600~3,000kN不同预应力度进行分析，计算结果见表3。

(1)预应力度为初拉力与拉索破断荷载的比值，拉索破断荷载为5,042kN。根据上述计算结果可知，桁架跨中上弦杆压力随着预应力度的增加而增大，但增加幅度并不显著，每增加一级初拉力，压力增加平均为1.35%。桁架根部上弦杆拉力随预

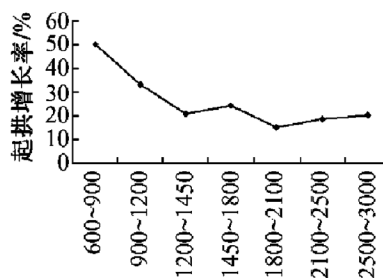


图7 起拱增长率变化规律

应力度的增加而减小，当初拉力达到3,000kN时，根部上弦杆受力状态由受拉变为受压，其余构件内力均随着预应力度的增加而减小；

(2)结构起拱值随着预应力度的增加而增大，但结构起拱增长率(即每增加一级初拉力所产生的起拱差与前一级初拉力所产生的起拱值的比值)逐渐降低，初拉力由600kN增加至1,450kN时，起拱增长率由50%逐渐减小至20%，之后每增加一级初拉力起拱增长率均接近20%。变化规律见图7。

综上所述，预应力度的增加改善了结构内

表4 不同高跨比模型计算结果

桁架高度/m	2.9	3.75	4.35	5	7.5	
高跨比	1/26	1/20	1/17	1/15	1/10	
预应力起拱值/mm	41.3	35.7	33.9	33.2	34.4	
有预应力体系关键构件轴力/kN	柱弦杆	2700, -6502	2506, -6227	2339, -5970	2179, -5775	1552, -4918
	柱腹杆	743, -2526	699, -2120	663, -1906	637, -1785	515, -1415
	桁架上弦	1206, -4582	368, -4213	-39, -4001	-376, -3919	-1071, -3495
	桁架下弦	1717, -3081	1506, -2453	1413, -2132	1387, -1929	1297, -1307
	桁架腹杆	363, -346	312, -304	317, -299	331, -310	338, -320
无预应力体系关键构件轴力/kN	柱弦杆	3024, -7132	2900, -6988	2779, -6819	2654, -6689	2158, -6078
	柱腹杆	915, -2846	887, -2471	862, -2285	846, -2194	763, -1953
	桁架上弦	2767, -4227	1885, -3898	1445, -3710	1090, -3649	325, -3284
	桁架下弦	2638, -3549	2408, -2937	2312, -2636	2283, -2450	2 200, -1897
	桁架腹杆	467, -438	431, -408	405, -404	421, -429	477, -463

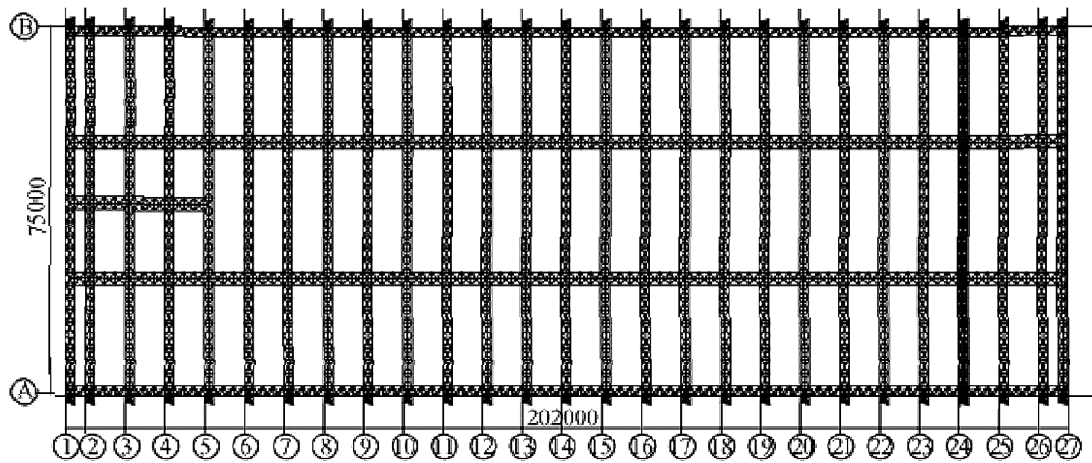


图8 典型位置桁架定位示意图

力分布，由于空间桁架内力重分布能力较好，初拉力的增加对桁架跨中上弦杆件压力的不利影响并不显著；根部上弦杆位于拉索锚固位置，受力状态的改变明显，设计时应重点关注；综合考虑经济效益及预应力增加对桁架上弦压力的不利影响，本工程的预应力度取30%~35%较为合理。

2.2.3 架高跨比分析

通过对比不同高跨比计算模型，研究预应力体系的合理高跨比。桁架跨度75m，取高跨比为1/10~1/26，布索形式同方案2，初拉力取1,450kN，同时按相同构件截面建立非预应力模型进行对比，计算结果见表4。

(1)由于高跨比的增加导致桁架刚度的增大，预应力起拱值逐渐降低；

(2)随着高跨比的增加，有预应力体系桁架根部上弦杆由受拉逐渐转变为受压，同一高跨比

取值，有预应力模型相对于无预应力模型，结构内力变化幅值相近，预应力对跨中下弦杆拉力减小平均值为38%，对腹杆最大内力减小平均值为24%；

(3)桁架腹杆内力先减小后增大，当高跨比为1/17时，腹杆内力最小。其余构件内力均随高跨比的增加逐渐减小；无预应力模型腹杆内力变化规律与有预应力模型变化规律相同。

根据上述分析结果，同时考虑经济性及建筑使用性要求，当高跨比为1/16~1/18时，折线形预应力体系结构力学性能改善最为明显。

2.3 预应力体系有效性分析

2.3.1 静力性能

为评价预应力体系对结构力学性能的真实改善程度，按方案2建立整体计算模型作为研究对象，同时建立与其承载力控制指标相同的非预应

表5 结构力学性能计算结果

模型		预应力模型	非预应力模型
跨中竖向位移/mm		256	287
构件轴力/ kN	柱弦杆	3196, -7765	3881, -8971
	桁架上弦	1718, -5390	3801, -6088
	桁架下弦	2363, -3688	4369, -4511
基础反力	竖向反力/kN	2274	2162
	水平剪力/kN	988	1427
	弯矩/kN·m	1936	2988
用钢量/t		2054	2473
拉索用量/t		50	-

力模型，通过调整构件截面，使非预应力模型关键构件应力比与预应力模型一致，选取典型位置(轴④)处主桁架及钢柱见图8，对结构变形、主要杆件内力、结构用钢量、基础反力等关键静力性能参数进行对比，分析预应力体系对结构受力性能的影响。

结构弦杆应力比控制标准均为0.85，腹杆应力比控制标准为0.9；经计算预应力模型满足控制标准，构件最大应力比为0.87，非预应力模型仅少量根部腹杆应力比达到0.92，基本满足要求。两模型构件应力比基本相同，具有结构经济性对比意义。

两种模型主要力学性能及结构用钢量计算结果见表5，其中跨中竖向位移为恒载+活载+(预应力)工况下计算结果，括号内预应力工况仅用于预应力模型，构件内力均为恒载+活载+预应力工况下的计算结果(负号为压力、正号为拉力)。

根据上述计算结果可知：

(1)当两种模型达到同样承载力控制标准时，预应力模型结构竖向位移减小31mm；预应力方案结构用钢量节省16.9%，拉索用钢量增加50t，结构整体经济性优于无预应力方案；

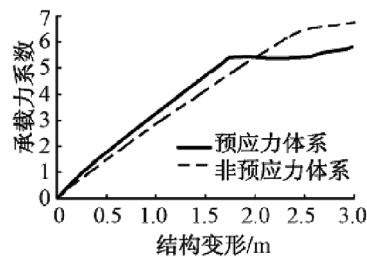
(2)由于结构自重减轻，预应力模型比非预应力模型柱弦杆及桁架上弦杆压力分别减小13.4%，11.5%；预应力对桁架下弦拉力影响显著，预应力模型比非预应力模型下弦拉力减小45.9%；

(3)整体结构基础反力得到明显改善，竖向反力相差很小，预应力模型水平剪力减小31%，弯矩减小35%。

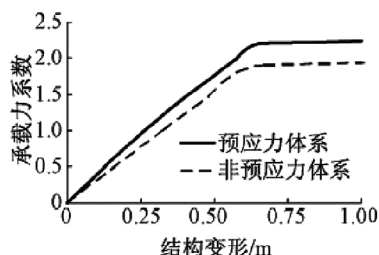
综上所述，预应力体系对结构力学性能及结构经济性均有较为明显的改善。

2.3.2 静力弹塑性性能

应用ANSYS软件对上述两种计算模型进行静力弹塑性全过程分析，研究两种体系的结构整



(a)几何非线性



(b)几何、材料双非线性

图9 结构稳定性分析全过程曲线

表6 结构静力弹塑性分析计算结果

结构体系	几何非线性分析				几何、材料双非线性分析			
	P_u	$P_{1/50}$	$D_{u/m}$	D_u/L	P_u	$P_{1/50}$	$D_{u/m}$	D_u/L
预应力体系	5.41	4.72	1.83	1/41	2.2	-	0.693	1/108
非预应力体系	6.51	4.17	3.55	1/21	1.9	-	0.681	1/110

注： P_u 为稳定承载力系数； $P_{1/50}$ 为桁架变形达到跨度的1/50时对应的稳定承载力系数； D_u 为结构失稳时最大变形。

体稳定性，桁架、柱弦杆采用Beam188单元，桁架、柱腹杆采用Link8单元，拉索采用Link10单元，进行双非线性计算时钢材采用强化型的双折线模型，材料强度取钢材的屈服强度。计算时考虑跨度的1/300作为初始几何缺陷，计算方法采用Newton-Raphson法，结构稳定性计算结果见表6和图9。

(1)主桁架及钢柱均为空间桁架结构形式，因此结构平面外刚度较好，整体结构失稳时以桁架竖向变形为主；

(2)仅考虑几何非线性时，由于构件截面较大而增加了结构刚度，非预应力体系稳定承载力系数为6.51，但结构极限变形较大，达到了跨度的1/21。预应力拉索索力随着结构变形的增加而增大，提供的等效荷载增加，有效地控制了结构的极限变形。当以结构极限变形达到跨度的1/50为控制指标时，预应力体系稳定承载力系数为

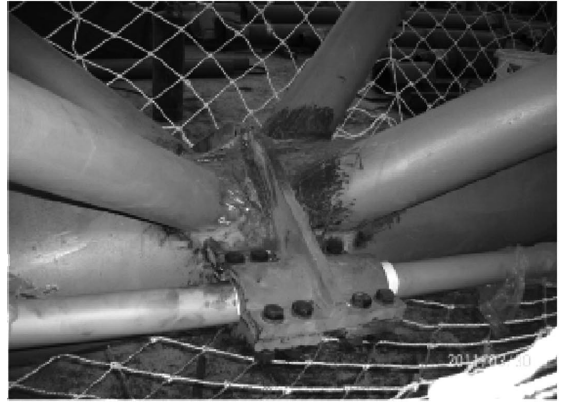


图10 转换节点构造图

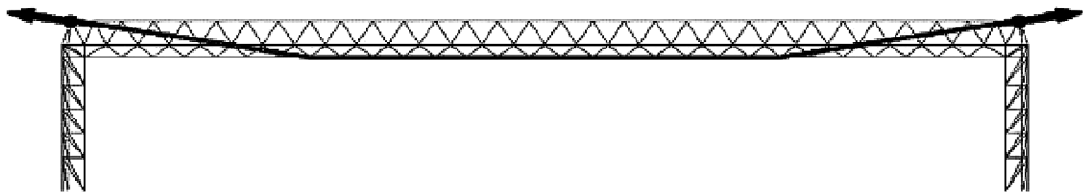


图11 张拉示意图

4.72, 非预应力体系仅为4.17;

(3)同时考虑几何、材料双非线性时, 结构稳定承载力系数明显降低, 预应力体系极限变形值与非预应力体系接近, 预应力体系稳定承载力系数大于非预应力体系。

综上所述, 预应力体系有效地控制了结构的极限变形, 改善了结构内力分布, 提高了结构的弹塑性承载能力。

3 预应力施工模拟分析及施工监测

由于在对钢结构施加预应力前后, 结构整体刚度及内力状态、形状变化较大, 因此, 必须应用有限元计算理论, 使用有限元计算软件进行预应力钢结构的施工模拟计算, 以保证结构施工过程中及结构使用期安全。同时在预应力施工过程中, 进行摩阻试验, 分析预应力损失对结构造成的影响。对施工实测数据与理论计算结果进行对比分析, 进一步确认预应力对结构力学性能的有效性。

3.1 预应力损失分析及摩阻试验

对于折线形预应力钢结构体系, 拉索折点处转换节点是实现预应力有效传递的关键节点, 转换节点构造见图10。为了验证拉索转角节点处的

摩擦阻力, 对结构进行摩擦阻力验证试验。

转换节点在钢结构索夹内部设置了垫层用以减小摩擦。首先在节点内侧放置一圈不锈钢钢板, 再加入一圈聚四氟乙烯垫层, 不锈钢钢板与聚四氟乙烯垫层之间涂抹润滑树脂, 在聚四氟乙烯内侧才是拉索索体, 因此在拉索与钢结构节点之间设置了3层滑动装置。

结构设计时根据经典库伦摩擦理论对转换节点处预应力损失进行估算, 拉索转折角度为 8° , 聚四氟乙烯片摩擦系数取0.03, 但参考其他预应力工程施工经验, 考虑节点构造等施工偏差, 最终索体与转换节点摩擦系数取0.1。单索初拉力为722kN, 根据式(1)计算可得: 摩擦力为19.82kN, 即预应力损失为2.7%, 因此, 设计时预应力损失取3%。

$$f = \frac{2T\mu}{(\mu/\cos\alpha) + (1/\sin\alpha)} \quad (1)$$

摩阻试验时, 在结构两侧分别安装好张拉千斤顶, 同时开启两侧千斤顶。然后让其中一侧千斤顶主动提升拉力, 另一侧千斤顶被动受力。这样主动受力的千斤顶拉力就通过索体传递到了被动受力千斤顶一侧, 两次千斤顶受力的差值就是一榀桁架中转换节点的摩擦损失, 张拉方式见图



图12 拉索锚固节点

11, 拉索锚固节点见图12。

每榀桁架有两根预应力钢索, 每榀桁架预应力拉索初拉力值为1450kN。试验时将预应力拉索张拉至初拉力的2/3, 即主动受力千斤顶拉力达到1000kN, 此时被动受力千斤顶读数为953kN, 差值为47kN。单榀桁架节点的摩擦损失即为4.7%, 由于每榀桁架有四个转角节点, 即单独转角节点摩擦损失为1.18%, 低于设计预估值3%。

3.2 施工模拟分析

施工模拟计算时采用MIDAS软件建立空间有限元分析模型, 应用单元生死法, 按钢结构施工方案及预应力张拉方法顺序进行施工阶段全过程分析。

钢结构吊装安装时, 由于展厅内部有地下室, 地下室与屋盖钢结构同时施工, 因此桁架中间位置无法增加支承点, 吊车只能在结构两侧吊装, 且单榀主桁架自重较大, 限制了吊车的吊装半径, 吊装时吊点只能设置在距离支座轴线约6m处, 如图13所示。

如果按以上吊装方法, 待桁架吊装到柱顶就位时, 桁架在自重作用下已发生一定变形, 且在构件内产生一定应力水平, 在这种情况下成形的状态将与设计状态产生差异, 因此需要对以上吊装成形过程对后续结构受力的影响进行分析。

根据实际情况分别提出如下三种施工方法。
方法一: 桁架吊装时中间有足够吊点, 吊装过程中架不产生变形, 在吊点位置架设支撑胎架, 张拉完成后撤除吊点; 方法二: 按目前的吊装方法, 在吊点位置架设支撑胎架, 张拉完成后撤除吊点; 方法三: 按目前的吊装方法, 在主桁架与柱之间形成铰接固定后撤除吊点, 且在吊点位置

表7 不同吊装方法与理论计算值对比

施工方法	吊装时最大竖向变形/mm	吊装完成后自重作用下竖向变形/mm	静力荷载最不利组合	
			桁架下弦最大应力/MPa	桁架上弦最大应力/MPa
一	—	-54	240	-237
二	-51	-70	249	-229
三	-51	-163	295	-248
设计模型	—	—	231	-229

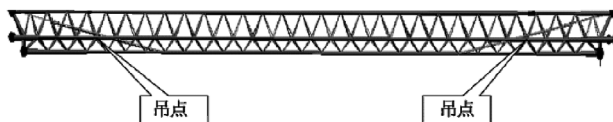


图13 钢结构桁架吊点定位图

不设置支撑胎架, 再进行预应力张拉。

根据三种不同施工方法分别建立计算模型, 并采用单元生死法进行施工全过程模拟分析, 与设计计算模型的结果进行对比, 结果见表7。

(1)方法一、二桁架下弦杆最大应力与设计模型计算结果最大偏差为7.8%, 方法三最大偏差达到28%, 三种方法上弦杆最大应力与设计模型计算结果最大偏差为8.3%;

(2)按方法一、二, 吊装就位时, 在吊点位置架设有效支撑胎架, 这时桁架由于自重产生的挠度相对较小, 故而对整个结构的受力影响较小; 如按方法三, 只将主桁架与柱之间做临时铰接固定, 就撤除吊点, 并且未设置支撑胎架, 将使主桁架产生较大的挠度, 对整体结构最终力学性能的影响较大。

因此, 按方法二进行主桁架吊装就位比较接近设计要求的状态, 实际施工方案采用此方法进行吊装, 现场施工过程见图14。

3.3 施工实测数据分析

为保证钢结构的安装精度以及结构在施工期间的安全, 并使钢索张拉的预应力状态与设计要求相符, 必须对钢结构的安装精度、张拉过程中钢索的拉力与变形等关键指标进行监测。

限于篇幅, 仅列出跨中下弦监测点位移监测结果, 下弦监测点实测值与理论值对比见图15, 实际施工过程中轴①与轴⑧桁架未进行位移监测, 因此不进行对比。索力实测值与理论值对比见图16。

对上述结果进行分析可知, 位移实测值与理



图14 施工方案实景图

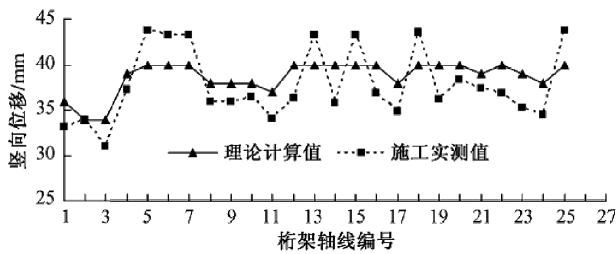


图15 位移实测值与理论值对比图

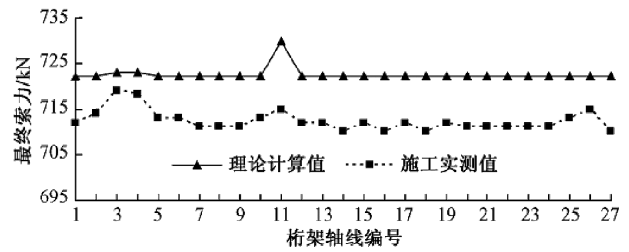


图16 索力实测值与理论值对比图

论值差距最大处位于轴⑩桁架，差值为11%；索力实测值与理论值差距最大处位于轴⑩桁架，差值为2%，预应力损失平均值为1.39%；监测结果偏差范围均满足设计要求，实际工程中为保证索力与设计一致，最终对拉索进行超张拉，超张拉值取5%。

4 结语

折线形预应力体系有效地改善了结构力学性能及经济性，有效地控制了结构的极限变形，从而提高了结构的静力弹塑性性能；通过对结构变形、内力分布、基础反力等结构主要力学性能的分析可知，折线形布索体系优于常规的直线形布索体系，预应力宜取30%~35%，高跨比宜取1/16~1/18，与常规预应力钢桁架工程相近。

进行了转折节点处摩阻计算，通过现场摩阻试验以及施工监测数据与理论值进行对比，最终验证了结构的安全性。同类折线形预应力钢结构设计过程中，为保证预应力的有效传递，应对转折处节点构造进行重点分析，进行摩阻计算，预应力损失范围宜取2%~4%，以保证结构的安全性。

根据施工模拟分析结果可知，预应力钢结构进行张拉施工前，结构构件自身的初始变形对钢结构最终力学性能的影响较为显著，施工方案制定时应尽量减少结构初始变形对其力学性能的影响。

参考文献

- [1] 葛家琪,张曼生,张玲等. 索网次结构-主体钢结构连接转换节点计算分析与试验研究[J]. 建筑结构,2008,38(12):23-27.
- [2] 王树,张国军,葛家琪等. 2008奥运会羽毛球馆预应力损失对结构体系影响分析[J]. 建筑结构学报,2007,28(6):45-51.
- [3] 黄季阳. 大悬挑钢屋盖结构预应力体系分析与抗震性能研究[D]. 北京:北京交通大学,2009.
- [4] 陆赐麟,尹思明,刘锡良. 现代预应力钢结构[M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [5] CECS 212:2006 预应力钢结构技术规程[S],2006.
- [6] JGJ 7—2010 空间网格结构技术规程[S],2011.

2013年第3期（总第109期）
2013年9月出版
准印证号：京内资准字9913-L0337号



西双版纳航站区改扩建工程