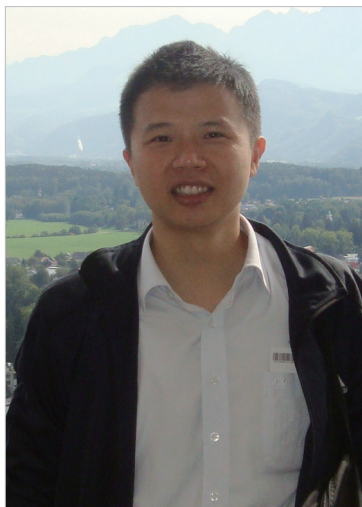


飞机移动装配线生产管理 系统研究

Research on Aircraft Production Management System of Moving Assembly Line

中国航空规划建设发展有限公司工程技术研究院 张超 孙元亮



张超

高级工程师,毕业于清华大学,现任中国航空规划建设发展有限公司工程技术研究院工艺研究室主任,主要从事启发式优化算法、计算机仿真、软件系统开发工作。

随着经济全球化的不断发展,市场竞争日益激烈,如何能快速地响应市场和满足客户需求,如何让飞机产品的生产方式更加灵活地适应变化莫测的市场环境,已成为企业赢得竞争的关键所在。飞机总装是飞机制造中的一个重要环节,其任务是将飞机各部件对接装配成完整的飞机,并在飞机上安装各种设备、装置和系

物联网技术作为一种新兴技术,以其泛在的、智能的自动化和信息化技术特点,可以很好地用于生产线的管理与控制。这一点在汽车工业已经得到了验证。本文提出的应用物联网技术的飞机移动装配线管理系统,能够有效提高飞机装配线管理效率,促进航空制造企业的快速响应能力。

统,进行调试和检测,是飞机装配工作的最终阶段。飞机总装的工作量大小及其复杂程度,主要取决于飞机的型别和结构,也和生产条件有很大关系。一般情况下,大中型飞机总装部分工作量占到飞机制造整体工作量的5%~20%,而总装周期占生产周期的25%~40%。它包含的价值最大,对整个生产周期起着决定性作用,是大中型飞机生产制造中的关键。波音公司、空中客车公司在打造全球供应链的同时,始终不放松飞机的设计和总装,可见飞机总装环节在航空制造企业中的地位。

国内飞机总装主要采用的是固定站式生产方式,工件在固定站位上执行装配操作时依靠的是手工加机械的非自动动作,工件在工序间的

传递主要依靠人工。在这种模式下,工人在固定位置逐步完成飞机从外到内的全部装配,活动范围大且作业交叉、移动距离长,存在较多的浪费作业,现场容易混乱。这种模式导致总装周期长、占用生产面积大、在线飞机多、在制品周转慢、库存量大和多组工人并行作业等缺点,而且必然存在各架飞机的作业不一致问题,使得产品质量和交付节点保障十分困难。

针对固定站式总装生产的这些缺陷,国外各大航空企业吸取了汽车流水线理念,在总装中采用了移动装配线,不仅能有效缩短周期和装配工时,而且能有效改善装配工作地的环境,使作业标准化,更易保证质量和生产安全。飞机移动装配线的效

率更高,对于提高飞机生产和制造效率具有重要的意义,有必要在国内推广建设及应用。

然而,要真正实施移动装配线的建设和运营,需要突破一系列关键技术。其中,飞机移动装配线管理技术是支撑整个生产线运行与管理的核心,它不仅要完成对装配辅助设施设备,如工装、检测设备、运输设备等的信息集成管理,而且要完成对飞机的整个装配过程的动态呈现和实时动态控制。因此,作为关键技术之一,飞机移动装配线管理技术已经成为研究工作的重点。本文提出将物联网技术作为一种先进的管理手段引入飞机移动装配线,可以为国内大型飞机移动总装生产线的实施应用提供有效的技术支撑。

飞机移动装配线

1 移动装配线的特点及关键技术

按照飞机在装配线上的移动方式划分,移动装配线主要有2种:脉冲移动式 and 连续移动式。脉冲移动式是指根据总装工艺和节拍,依次在几个不同的站位由专门的小组进行专项生产,完成总装任务。脉冲移动式生产线强调“间断性”的均衡移动,对装配工人的专业技能要求较高,一条总装生产线配备一套总装工艺设备,根据各个站位的具体工作内容配套相应的装配工装、检测仪器及动力设施。而连续移动式是指在整个装配过程中,装配线上的飞机始终以平稳的速度从一个工作站缓慢移动到下一个工作站,每一项装配工序必须在一定时间内由专项工人完成,也形象地称为流水线式。这种工艺模式要求生产线连续布置,相邻工作区域内无缝连接,生产线没有截断或分流,它对工人的熟练程度、技术管理水平有较高的要求,强调工艺设备“灵活的移栽性能”,一次性投入要求也比较高。

飞机移动装配线主要包括如下

关键技术:总装生产价值流分析、移动生产线总体布局及仿真技术、拉动式生产看板可视化管理技术、单元化生产技术、生产线节拍设计技术、生产线移动及定位技术、物料准时化配送技术、移动生产线信息化管理技术等。遗憾的是,目前国内对这些关键技术的研究存在着明显的不足,这制约了移动装配线在我国的实施与应用。

飞机总装移动生产线是一种拉动式生产,总的来说具有以下技术特点:(1)飞机在总装配过程中是移动的;(2)飞机在总装配时依次经过各个装配工作小组的工段;(3)装配工作小组在规定的时间内和分段内完成规定的装配工作,一个小组的装配工作完成后,飞机会准时移动到下一个装配工段,由新的小组进行下一项装配;(4)为了在移动过程中进行装配工作,必要的工装也要同步移动;(5)飞机总装配的移动速度与客户需求有关;(6)飞机总装配的进度可以直接从飞机移动的距离得出;(7)飞机总装配过程中有专业团队提供技术支持以确保飞机能够连续移动;(8)如果发生问题,飞机总装配过程必须停止。

2 国外移动装配线发展现状

飞机移动装配线技术源于丰田生产方式和精益生产理论,该技术能实现飞机高质量、低成本和快速响应的制造,已成为波音、空客等西方航空业巨头提高核心竞争力的手段之一。目前,波音、洛克希德·马丁、空客等飞机制造公司分别在波音系列民机、F-35及A380等飞机生产中不同程度地采用了移动总装生产线,将传统的批量装配生产方式变革为单件流拉动式生产方式,从而大大缩短了飞机总装时间,降低了飞机制造成本,提高了装配质量^[1-3]。

波音公司最早于1998年进行了首次737机身结构移动式装配的原理认证,使用完全配套、向工作点配送和看板等方法,使生产周期缩短80%。美国精益航空创新计划

(LAI)称737移动线是“精益和高效率生产的模范”。波音公司波音757、波音767的总装移动生产线都是在2002年建成投入使用的。波音757飞机总装移动生产线以每天约7.31m的速度前进,可改善生产周期及部件库存水平30%以上。2006年初,波音公司的第一条现代移动装配线——波音717飞机总装线建成并投产。这条单件流、连续移动式装配线共有2个用于机体对接的固定站位和6个总装的移动站位。采用移动式飞机装配的直接效益是将20架在制飞机减少到8~10架,并缩短装配周期50%。

与波音717同时期建设的是武装直升机Apache的精益脉动装配线。从1998年到2008年的10年间,波音公司不断改进这条装配线,从直线形发展为U型,最后是J型;站位数从10变为15再回到10,终于获得了减少装配工时85%的示范性效果。2005年,Apache的U型精益脉动装配线被授予美国精益生产的最高成就奖——新乡奖。波音公司在这些成就的鼓励下,几乎将移动式装配扩展到了所有的商用飞机。777的U型移动线从2006年开始建设,并该移动装配线的建设分阶段进行,逐步让每个装配阶段“具备移动能力”,于2010年1月实现全线同步移动,这标志着该生产线的全部建成。它被确认为世界上最大的集成式移动装配线。波音公司777项目经理认为,移动生产线是识别和取消生产系统中浪费的强大工具,由于能够使问题容易发现并找出快速解决问题的根本原因,所以效率得到极大提高。该机在生产线上的移动是通过连接在前起落架的一条绳索实现的,该绳索带有可导向的光学传感器,能够使飞机沿着地板上的白线前行。正在试生产的787梦幻机,也建立了移动装配线。波音的P8A反潜电子侦察机预期总产量在100~200架之

间,也采用了移动总装配线生产。最引人瞩目的是2008年8月,波音宣布开通了有13个站位的卫星精益脉动装配生产线。在新的精益移动生产线上生产的第一颗卫星是为美国空军制造的GPS系统的IIF卫星。

波音冲破了传统的多品种小批量飞机生产不能采用移动式生产线的禁锢,它的成功经验带动了世界各大飞机制造商,空客、庞巴迪、巴西航空都开始为新机建立移动或脉动装配线^[4-8]。

洛克希德·马丁公司的F-35采用连续移动装配线生产,装配线上有120名工人,每架飞机在装配线上以1.22m/h的速度前移。采用移动生产线不仅可以提高生产率,节省装配空间,而且在整个项目寿命期内估计将节省3亿美元。

为了解决进度和重量问题,A380飞机的总装线还在不断向移动生产线的方向改进。空中客车英国公司将机翼生产线改进为脉动式移动生产线,节省了单通道飞机10%的时间和成本。其方法是:机翼慢慢移动通过全过程的14个工作站,每14h移动一次,每次移动7min,代替工人在厂区内移动。在每个工作站都有一个多功能小组进行燃油、电子、液压系统及可动面的安装和测试,包括所有工具和零件在内的“工具包”可直接交付给装配线上的功能小组,确保功能小组专心装配工作。位于汉堡的A380总装生产线采用了全自动容器RFID追踪解决方案,汉堡的单通道飞机(A318/A319/A321)总装生产线同样采用了该方案。

物联网技术在航空制造业的应用

物联网是20世纪兴起的新技术,它是通过信息传感设备,按照约定的协议,把任何物品与互联网连接起来,进行信息交换和通信,以实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管

理。由于物联网技术的泛在性,且具有强大的信息识别、采集、跟踪等功能,将物联网技术应用到飞机移动装配线管理系统中,能够为生产线管理提供快捷可靠的实时数据信息,实现装配站位识别、装配过程追踪及控制,以及装配现场设备、工装等资源的状态获取等,从而有效提高移动装配线的管理水平。

国外的航空公司也开始尝试在所有生产领域应用物联网技术^[9],其中对物联网技术的应用绝大部分集中在条码技术和RFID技术上。RFID技术是条码技术的重要升级,但条码技术以其低成本、易于部署实施的优势仍将长期存在。波音公司、空客公司这2大航空制造业巨头自20世纪90年代起,即开始了RFID技术应用的研究工作。

随着RFID技术的不断发展,早期许多阻碍RFID技术在航空制造业应用的缺陷得到了克服,如复杂金属环境干扰识别率问题、RFID标签存储容量问题、识读距离问题、成本问题等,更多高性能的、工业级的、廉价的RFID标签大量出现。随着过去的技术缺陷不复存在,RFID技术已经在国际航空制造业获得了广泛应用。

值得关注的是,空客公司成为第一家要求供应商在A350 XWB新机型上约3000个零部件上附加永久RFID标签的飞机制造商。在这些零部件的整个生命周期中,始终安装着RFID标签,实现了航空公司、供应商和MRO机构流程的自动化,增强了可见性。例如,当机械师用备用件替换掉飞机上的故障件时,他可以通过一个手持式移动RFID阅读器扫描故障件和备用件以确保替换的正确性。

应用物联网的飞机移动装配线生产管理系统

1 生产管理系统体系结构

飞机移动装配线生产管理系统

属于制造执行系统(MES),它将计划层与生产控制层紧密地联系在一起,形成一个实时的动态生产管理系统^[10],扮演装配线现场管理的角色,完成装配过程动态监测与控制,工装、物料配送指令下达,装配辅助设施信息管理等工作。

为了设计移动装配线生产管理系统,首先以某型号飞机的移动总装生产线为例(图1)对飞机移动装配系统的生产流程进行了分析。该装配线共分为4个站位。站位1是对接站位,主要完成中后机身、中机身、机翼、前机身等大部段对接;站位2用于完成平尾和襟翼、副翼、翼尖安装;站位3则主要负责安装电缆、空调、吊挂等系统并对这些系统进行测试;站位4则负责安装发动机、发动机系统、相关系统及各系统测试。站位1的主要装配工作如下:(1)中后机身、中机身、机翼、前机身等大部段运输到位;(2)利用可以沿着X、Y、Z轴方向移动的伺服定位装置和支撑,将各部件调姿对齐;(3)进行部段之间的铆接等工作;(4)以上所有工作完成之后,撤出所有工装和废料,准备进入下一站位。其他站位的装配工艺不再详述。可以看出,该移动装配线是典型的脉冲移动式装配,各站位的工作流程固定,而且必须保证站位库存中所需的物料有足够的供应。这些问题的解决都依赖于飞机移动装配线生产管理系统。

飞机脉动移动式装配线强调计划平稳、不间断地执行,因此首要任务是确保配套的准确性,要求提前发现问题、及时解决问题。如果当计划无法执行时才去被动地调整计划,对计划重新排产,会造成对整个生产的冲击。要保证配套准确,首先必须实时掌握现场的装配进度信息,并与装配计划比对,保证该站位的装配工作是按照正常程序进行的;其次,有些装配过程比较复杂的,例如某些特殊垫片的安装等,因此需要对装配工人

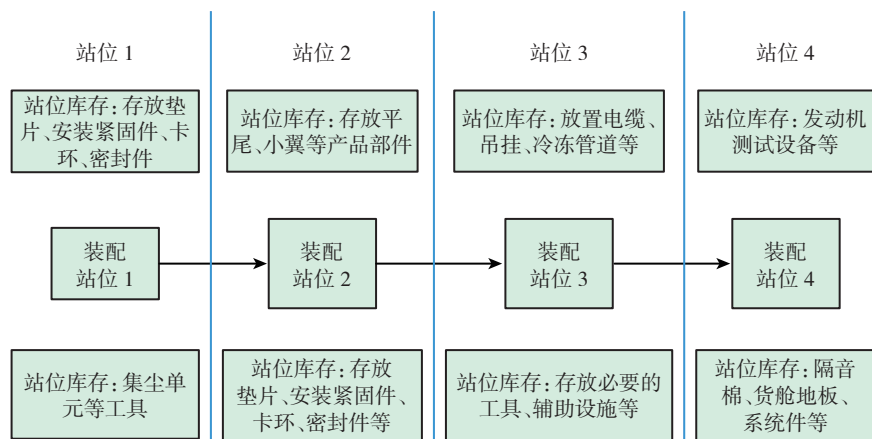


图1 移动总装生产线

进行工艺信息的实时提示,并且当发生错装或者漏装时能给出报警;更重要的是,装配过程中用到大量的资源,例如工具、辅助设施、产品零部件等,必须实时监测它们是否可用,并且应当保证每一个装配站位的装配工艺所需的装配资源是充足的,因此需要进行装配资源的实时配送。这需要采用看板管理、物流配送管理等先进管理手段。随着信息化技术的不断发展,将物联网技术引入移动装配线的管理将能发挥更大的作用,包括用物联网技术实现对装配现场的装配工序和指令、装配节拍、装配状态以及装配所需零部件、工具、设备设施等各种各样的信息进行采集,从而帮助管理人员开展生产计划与调度,实时掌握装配进度,实现装配资源的状态监管及实时配送等,以提升装配生产线的生产效率、过程控制、质量控制和智能化水平,同时减少库存,降低装配生产线运行成本。

针对大型飞机脉冲移动装配线生产管理的特点,建立了应用物联网技术的飞机移动装配线生产管理系统结构模型(图2)。该系统采用B/S结构,以物联网技术作为数据采集方法,进行物料识别管理、装配状态记录等操作,建立以飞机移动装配线动态实际数据模型为核心的集成管理平台^[11],通过数据总线实现与ERP系统和生产信息采集及控制系统的

数据共享,从而实现整个生产管理系统“计划—执行—现场”整体可视化功能。

2 模型功能分析

飞机移动装配线上的生产活动主要包括产品计划管理、现场管理、库存管理、站位配送、现场数据采集和应急救援等内容,可划分为计划层、车间执行层、现场控制层。在计划层,基于产品设计完成后生成CAD模型或MBD模型,PDM生成产品BOM,再由CAPP生成装配大纲,结合年度生产计划和生产工作日历形成总的生产计划,然后传递到装配厂房。在执行层,装配线收到详细生产计划后,经由库存管理、看板管理共同实施人员配置,安排详细工序计划。而对于现场控制层,主要是通过物联网等信息采集技术,将采集信息及时、准确地反馈到装配执行层,并将实际与计划相对比,为生产调度、计划是否做出调整提供足够的生产信息。整个系统实现了计划层管理系统和底层监测控制系统的集成,有效地将计划、生产与控制紧密联系起来,实现系统之间的数据共享。其中,执行层的主要功能分析如下:

(1) 计划管理模块。作为移动装配线管理系统的核心,主要负责实现装配计划的制定、变更、更新与存储等功能。根据实际的订单需求和生产节拍来制定生产工作日历和详

细的生产计划,并负责把装配指令下发到各装配站位。生产计划一般由系统产生,也可根据生产实际中出现的问题及时做出调整。确保配套的准确性是首要任务,提前发现问题、及时解决问题是计划顺利执行的基本要求。一旦等计划无法执行时才去被动地调整计划,会对整条生产线造成冲击;

(2) 库存管理。实现对零件、部件、标准件、工装、工具等生产信息资料的管理等。除随机体移动工装外,零部件、标准件和工具通过站位配送系统在指定的时间送达装配线指定位置。除此之外,库存管理以主动方式查询、预警、汇总打印及标准件库的主动预警管理等功能。库存管理可实现近零库存管理,确保生产均衡化进行;

(3) 看板管理^[12]。以计算机为平台建立的一种可视化看板,作为飞机装配线管理系统中的重要组成部分,除具有传统看板的功能,还具有传递生产指令、跟踪装配生产进度、质量信息监测等功能,是实现信息化、自动化的有效手段。生产作业计划由电子看板的方式下达生产指令到装配工位,操作员通过看板获得准确的操作指令,并按指令准时进行装配;同时电子看板是装配生产线的实时监控与跟踪的工具,记录装配线的各工位进度和状态,实现对移动装配线中架次、工位、工序的作业信息实时监控,与计划、质量、人员等其他系统紧密联系在一起。电子看板会将采集到的各工位实时作业数据反馈到执行层与计划层,为生产作业计划的调整和生产调度提供动态信息,从而确保生产作业计划的准确性。通过看板管理,能够跟踪整个装配生产线生产全过程,使装配过程透明化,能够清晰的揭示全线各站位运行状态,使生产人员能及时处理小故障,从而提高生产效率;

(4) 现场管理。该模块是实现

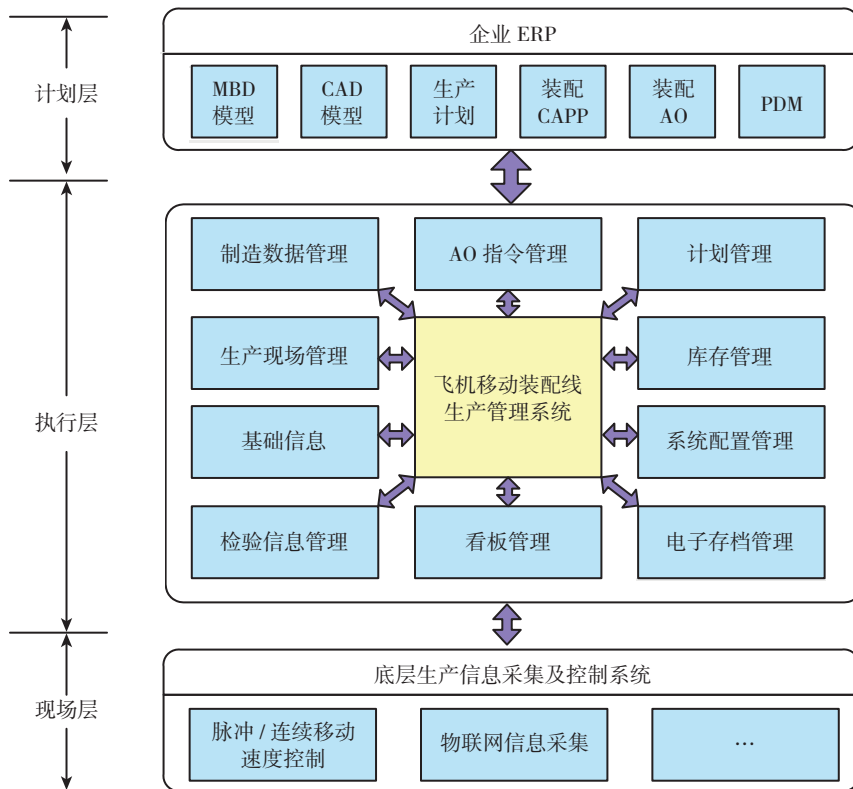


图2 应用物联网的飞机移动装配线生产管理系统架构

底层生产信息采集/控制层的数据和装配执行层信息交互的重要渠道,它运行在现场各个站点上,实现生产进度信息反馈、质量检验情况和延误事项的管理等功能。通过现场管理模块可得到最直接、最准确的生产数据,通过与作业计划比较,能适当调整装配线运行节拍,从而提高装配线的可靠性、连贯性,确保装配线平稳运行。现场管理模块还担负着另一个重要功能,即应急生产保障功能。应急保障对应两个等级的装配故障设计:①一般故障,通过应急小组的紧急抢修,能够在不装配线运行的情况下排除故障;②严重故障,即使采取应急措施,仍无法彻底排除故障,此时有两种处理方式,一种是放弃对当前架次飞机的所有后续装配工序,使其继续沿线移动,另一种则是将其调离装配线,并加快后续架次装配进度,使装配线重新平衡;

(5)其他模块主要包括:①检验

信息管理,主要实现对装配过程中数据录入、电子归档及检验结果的维护。检验信息管理是在装配指令完工后,系统通过信息提示检验员进行检验。②电子存档管理,需要编制、发布电子存档相关管理文件,确定存档内容、时间、位置、负责部门等信息。每架次装配完成后,固化该架次的所有装配指令信息,并根据管理文件要求进行归档。归档内容包括装配指令信息、装配指令目录信息等。③系统配置管理,完成系统初始化、基本设置、用户管理及对整个生产线信息的管理,其中包括站点定义、用户定义、角色定义、系统功能定义、系统监控、内部短信息管理等功能。

结论

综上所述,世界各国飞机生产向移动式装配发展的趋势对我国的航空工业来说是一次严峻的挑战。推广移动装配线不仅仅是着眼于缩短

制造周期和降低成本,更重要的是推动整个航空制造行业管理的进步。因此,对飞机移动装配线关键技术进行研究,在航空工业系统中更深入地推行精益生产的理念、方法和文化是中国飞机制造向世界先进水平迈进的契机。物联网技术作为一种新兴技术,以其泛在的、智能的自动化和信息化技术特点,可以很好地应用于生产线的管理与控制。这一点在汽车工业已经得到了验证。本文提出的应用物联网技术的飞机移动装配线管理系统,能够有效提高飞机装配线管理效率,促进航空制造企业的快速响应能力。

参考文献

- [1] 范玉青. 波音 787 飞机总装配线及其特点. 航空制造技术, 2011(23):38-42.
- [2] 于勇,陶剑,范玉青. 波音 787 飞机装配技术及其装配过程. 航空制造技术, 2009(14):44-47.
- [3] 王建华,陈文亮. 飞机移动生产线的条件和环境约束. 航空制造技术, 2014(1/2):71-74.
- [4] 郭恩明. 国外飞机柔性装配技术. 航空制造技术, 2005(9):28-32.
- [5] 任晓华. 新型飞机自动化装配技术. 航空制造技术, 2005(12):32-35.
- [6] 任晓华. JSF 制造技术综述. 航空制造技术, 2002 (2):43-48.
- [7] 任晓华. 洛克希德·马丁公司的 F-22 战斗机装配生产线. 航空制造技术, 2006(8): 36-38.
- [8] Lockheed Martin F-35 joint strike fighter automated electronic mate and assembly system [EB/OL]. 2012[201407010]. <http://www.aint.com/JSFProject.html>
- [9] 张超,李慧. 物联网技术在国内外航空制造业的应用. 航空制造技术, 2012(S1):93-96.
- [10] 初爱国,何刚,张开富. 飞机生产现场管理系统研究与应用. 航空科学技术, 2007 (4):20-22.
- [11] 杨晓云,王德权,张南,等. 基于 MES 的发动机装配生产线管理系统的开发. 计算机应用与软件, 2009,26(1):203-204.
- [12] 曹硕. 某通用飞机生产管理系统的看板技术研究与应用 [D]. 沈阳: 沈阳航空航天大学, 2012.

(责编 谷雨)