



2016年德阳市创新驱动系列 学术交流文集

上册
报告论文集

2016Nian DeYangShi ChuangXin QuDong XiLie
XueShu JiaoLiu WenJi (ShangCe)

四川科学技术出版社



2016年德阳市创新驱动系列 学术交流文集

上册
报告论文集

2016Nian DeYangShi ChuangXin QuDong XiLie
XueShu JiaoLiu WenJi (ShangCe)

主编：陈云彬

四川科学技术出版社
· 成都 ·

图书在版编目（CIP）数据

2016年德阳市创新驱动系列学术交流文集：上下册 /
陈云彬主编. -- 成都：四川科学技术出版社, 2016.10
ISBN 978-7-5364-8454-2

I. ①2… II. ①陈… III. ①科学技术 - 技术发展 -
德阳 - 文集 IV. ①G322.771.3-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第229153号

2016年德阳市创新驱动系列学术交流文集（上册）

主 编	陈云彬
副 主 编	郑家奎 张 林
出 品 人	钱丹凝
责任编辑	张湫湫
封面设计	思拓文化
责任出版	欧晓春
出版发行	四川科学技术出版社 成都市槐树街2号 邮政编码 610031 官方微博： http://e.weibo.com/sckjchs 官方微信公众号：sckjchs 传真：028-87734039
成品尺寸	210mm × 285mm 印张 16.25 字数 350 千
印 刷	西南交通大学印刷厂
版 次	2016年10月第一版
印 次	2016年10月第一次印刷
定 价	120.00元（上下册）

ISBN 978-7-5364-8454-2

■ 版权所有 侵权必究 ■

■ 本书如有缺页、破损、装订错误，请寄回印刷厂调换。
■ 如需购本书，请与本社邮购组联系。
地址/成都市槐树街2号 电话/（028）87734035 邮政编码/610031

2016年德阳市创新驱动系列 学术交流文集（上册） 编委会

主 编：陈云彬

副 主 编：郑家奎 张 林

编 委：喻晓钢 杨国彬 何 贵 欧阳俊杰
 李晓丽 钟辉蓉 程 义

前 言

党的十八大作出了实施创新驱动发展战略的决策部署，把创新摆在国家发展全局的核心位置。党的十八届五中全会强调创新是引领发展的第一动力，全国“科技三会”吹响了我国进军世界科技强国的号角。德阳作为中国科协创新驱动示范市和国家全面创新改革试验区的组成部分，组织科技工作者投入科技创新、为建设世界强国奋斗，需要营造创新环境、搭建创新平台。学术技术交流是科技工作者十分重要的创新活动，得到了市委、市政府高度重视。从2006年开始，由德阳市政府每两年举办一届德阳市学术大会，以激发科技工作者创新创造活力，繁荣学术技术交流，为科技工作者了解前沿信息、交流学术观点、启迪创新思维、发掘创新源泉、催生创新成果发挥了重要作用。为顺应新的形势和发展要求，按照市委、市政府意见，2016年，市政府将德阳市学术大会变更为德阳市创新驱动系列学术交流活动，旨在围绕实施创新驱动发展战略主题，推进德阳大型学术技术交流的常态化、系列化，其主题更加鲜明，包容性更为广泛，对于凝聚全市科技团体和广大科技工作者围绕“五大发展理念”献智出力，推动德阳全面创新改革驱动转型发展、促进创新驱动示范城市建设必将发挥重要作用。

2016年德阳市创新驱动系列学术交流活动包括5个产业高端技术研讨会和5个创新驱动转型发展学术交流会。主要围绕德阳高端装备制造暨智能制造、节能减排创新技术、高效高速电动机研发、绿色建筑施工技术发展、饲料工业科技发展、装备制造企业转型发展、加强知识产权保护、全面创新改革试点的金融创新、创新驱动助推农林产业生态发展等专题开展专题讨论和学术交流，为德阳市实施创新驱动发展战略建言献策，为促进德阳全面创新改革、驱动转型发展提供智力支撑。

本次系列学术交流活动共交流学术论文300余篇。经组织专家评审、推荐、编委会认真审核，收录学术报告论文76篇，学术交流论文120篇，分别编印为《2016年德阳市创新驱动系列学术交流文集（上册报告论文集）》和《2016年德阳市创新驱动系列学术交流文集（下册交流论文集）》以飨读者。

编 者

2016年9月

目 录

1 高端装备制造暨智能制造

离散制造企业数控程序网络化集成管理方法	陈 兵 刘伯兴 陈道全	1
基于Vericut Optipath的数控程序切削参数优化	陈道全 吴家奎 刘伯兴, 等	5
燃机部件变形下沉研究及通流间隙计算分析	白德斌 彭永会 白 龙, 等	8
燃气轮机透平动叶异型曲面喷涂程序开发研究	袁小虎 李定骏	17
基于生产流程规划的装配工艺设计	史苏存 钱红梅 崔晓明	21
加氢反应器E309L过渡层经PWHT后堆焊或焊接E347对基体材料的影响	王雪骄	23
CAP1400核电站锻造主管道研制	余江山 管红亮	27
汽轮机叶片型面加工进给速度优化策略研究	彭美武 吴 伟 武友德	29
基于自适应神经网络模糊推理系统的心电信号检测	盛维涛 张文君 袁宇鹏, 等	33
汽轮机叶片集成加工工艺研究与实践	杨 莉 赵松涛 吴 伟	36
三维动态仿真在产品研发及市场推广中的运用探讨	毛 勇	41
叶片智能制造过程集成管控信息系统研究	罗 兵 袁晓阳 郑成旭, 等	43
CAPP (计算机辅助工艺过程设计)软件在电线电缆行业的开发和应用	王林涛	45
激光熔覆Ni基合金涂层力学性能研究	邱星武	46
基于PSIM的异步电机无速度传感器矢量控制系统研究	陈 爽 段国艳 唐 伟	49
关于弱块对角占优矩阵和弱块H-矩阵的舒尔补	刘世红 苏 翊 黄卓红	52

2 节能减排创新技术应用

加热炉节能燃控新技术研究与应用	李安富	54
35kV动态无功补偿装置 (SVC) 在二重集团的应用研究	李 尧 谭 勇	56
页岩气压裂返排液无害处理	李泓杉 田 雨 谢朴伊	60
对湿法磷酸脱氟渣进行循环利用的实验研究	赵 东 吴生平 马永强, 等	62
加重钻井液回收技术优化	黄一林	65
垃圾分类难题如何破解	王平子	69
CH法半水物湿法磷酸工艺技术概述	赵 东 吴生平 马永强, 等	73

对什绵地区低品位磷矿浮选利用的综合评价研究	赵 东 吴生平 马永强, 等	77
如何提高燃气炉天然气燃烧利用率	李安富	81
电感耦合等离子体质谱法监测德阳市地下水中矿物质元素污染情况	冯 吉 张竹阳 刘 欣, 等	83
能源计量监测	张旭东	86
无级节能气量调节方法在往复压缩机上的应用.....	李木林 洪伟荣	87
信息网络技术在能源计量管理中的应用	欧阳勃	90
浅谈工业企业节水措施——我公司节水措施及成效	黄 蔚	92
螺杆空压机余热回收节能技术	周昌林 黄 丹	95

3 加强知识产权保护 助推全面改革创新

德阳市科技服务体系现状分析及对策研究	李琴芬 杨 云	98
论专利领域创造性判断中“技术启示”的本质内涵	郑建华	101
实施创新驱动发展战略 打造现代农业发展原动力——德阳市农业科技创 新转化的现状、问题与对策研究	谢冈东	104
以专有之权 促专有之利——浅析企业专利运营	孙 杰	107
德阳市专利分析	王 波	110
科技创新为德阳市中小企业产业技术提供支撑体系的研究	胥 红 王 静	114
浅析中药的知识产权保护问题	叶世昕	117
商标维权的理论与实践——浅析企业专利运营.....	张苗苗	120
浅谈企事业单位专利管理中存在的问题及建议.....	罗贵飞 梁 鑫	124
创新型、科技型小微企业知识产权的困境及对策	周渝利	126
重视知识产权保护 为企业创新保驾护航	饶春红	128
基于创新驱动发展的企业专利战略探索	唐安明	132
创业与知识产权保护——对比小羽的创业故事和国产手机品牌的发展带 来的启示	刘童笛	134
创新知识产权服务 助力中小企业技术升级	陈明龙	137
从说明书撰写论专利代理人的工匠精神	杨永梅	139

4 全面改革创新试点的金融支持研究

关于对金融助推德阳装备制造创新升级的思考	陈小平 赵安全 李晓丽, 等	142
人民币汇率机制改革对涉外企业影响实证分析	陈 苏 谭明鹏	145

对僵尸企业处置的思考和建议——以德阳市为例高云龙 李 萌 王鑫玥 151

供给侧结构性改革下商业银行的信贷策略探究——以什邡市为例 谭珊珊 155

基于SWOT分析法对广汉经济金融运行分析研究 王泽燕 余佳佳 熊明欢,等 157

对推动银保合作解决中小微企业融资难题的思考 廖 骥 160

中小银行推动科技金融结合发展投贷联动探析——以德阳银行为例 夏佑涛 163

成德同城化过程中金融的配套支持研究 麻旭恒 165

浅谈金融助力德阳融入“一带一路”的举措 江前章 169

对农村信贷服务创新改革的思考 邓 斌 172

科技金融结合发展新途径探析——以德阳市为例 张 涛 175

关于对商业银行开展跨境人民币业务模式及途径的相关研究——基于“一带
一路”发展战略背景 唐玲玲 177

浅谈政府公共服务外包中的杠杆机制 刘云琳 邓和平 181

职业教育与区域经济协调发展路径研究——以德阳地区为例 张衍志 张映艳 183

经济转型和金融改革背景下的绿色债券发展 叶 智 肖 勇 腾 磊 185

5 创新驱动助推德阳农林产业生态发展

四川牧区现代草原畜牧产业发展存在的问题及对策、建议 谢天佑 刘遥鹏 喻晓钢,等 190

德阳市水产品质量安全存在的问题及对策、建议 倪 俊 刘遥鹏 喻晓钢 192

德阳市畜禽养殖污染防治现状及对策、建议 姜显琪 谢天佑 喻晓钢,等 195

德阳市林下经济开发存在的问题与对策 喻晓钢 谢天佑 姜显琪 197

德阳市农村宅基地利用存在的问题及对策 毛德坤 黄世鹏 喻晓钢,等 202

德阳市农业科技成果应用存在的问题及对策 李治国 喻晓钢 204

德阳市村级集体经济发展存在的问题及对策研究 叶 玲 杨泽露 喻晓钢,等 206

德阳市旌湖流域野生鸟类资源多样性研究 喻晓钢 郑 雄 李 涛,等 212

广汉市鸭子河流域野生鸟类资源调查研究 郑 雄 喻晓钢 阙品甲,等 224

浅析“极简主义”在现代景观设计中的运用 郑 重 233

德阳市猕猴桃发展中存在的问题及建议 王雅飞 林 琦 喻晓钢,等 236

德阳市耕地撂荒情况调查研究 杨泽露 喻晓钢 239

德阳市牛羊业产业发展存在的问题及对策 刘遥鹏 喻晓钢 姜显琪,等 241

德阳市无公害水产养殖发展存在的问题及对策 倪 俊 潘成清 喻晓钢,等 244

德阳市民众节水环保素质调查研究 原 宁 246



离散制造企业数控程序网络化集成管理方法

陈 兵 刘伯兴 陈道全 / 东方电气集团东方电机股份有限公司

关键词：离散制造 数控程序 网络化 集成管理

目前，大多数离散制造企业各个制造单元相对分散，生产数据多，标准程度低，成为车间内部一个个相互独立的“信息孤岛”。在数控机床应用越来越广泛的今天，许多企业不断地引入信息化技术，建立离散企业车间数字化制造工厂，力求实现信息共享，解决制造资源优化问题，但制造质量事故仍时有发生，例如数控程序中一个参数修改错误，即让价值千万的核电转子报废，给企业带来巨大经济损失。究其原因，除数控机床本身故障外，数控程序出错导致的质量事故占很大比例。数控程序管理混乱的问题在离散制造企业中非常突出，主要表现为：

- (1) 以手工程序管理为主，数控程序以物理文件形式存储于本地计算机的文件夹内，数据量大，出错率高，查询不方便。
 - (2) 数控程序转移或传输手段落后，仍大量以U盘或软盘为媒介，不但传输效率低、稳定性差，还容易造成数据丢失，导致质量事故无法追溯与查证等。
 - (3) 数控程序及相关制造信息无法实现共享，使相关单位及部门不能及时地进行生产安排，影响生产进度。
 - (4) 数控程序分散管理，其所蕴含的制造经验没有得到充分积累，通过师傅带徒弟的方式传授知识，结果造成生产经验越来越少，人员素质日渐下降。
 - (5) 数控程序编制主体和部门较多，出现各自为阵的局面，没有统一的标准化集中管理，无法有效减少制造质量事故和解决制造知识积累问题。
- 针对以上离散制造企业数控程序管理问题，本文就如何有效管控制造风险，减少数控程序错误，提出了一种数控

程序网络化集中管理方法，利用信息化手段将制造部门、信息部门以及车间工段联系起来，使数控程序在企业局域网络中得到统一、分类、格式规范的集成管理，从而充分积累数控程序所蕴含的制造经验、及时共享制造信息，为相关单位及部门合理进行生产安排提供重要的基础数据。

一、数控程序网络化集成管理系统

数控程序网络化系统可实现一台计算机同时对多台数控机床进行程序管理和传输，满足企业高度自动化生产及资源共享需求，是数控程序网络化集成管理的基础。如图1所示，一般地，企业数控程序网络化系统采用三层架构，依次为客户端、网络服务器及CNC装置，其中网络服务器包括数控程序管理应用程序服务器和数据库服务器。

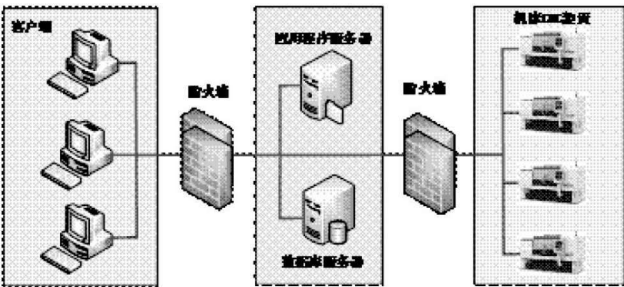


图1 数控程序网络化系统结构图

网络服务器是数控程序管理系统的核心，用于数控程序的及时管理和安全存储，其中应用程序服务器向上与所有网络连通的客户端无缝连接，向下通过交换机或无线通

信装置与所有CNC装置连通。应用程序服务器上安装有数控程序管理应用程序和机床通信服务程序，数控程序管理应用程序主要完成机床通信管理、数控程序传输和存储管理等，机床通信服务程序主要完成机床请求指令的翻译工作。当客户通过客户端将数控程序导入网络后，数控程序管理应用程序及时响应，显示数控程序的相关信息，并将数控程序存入数据库服务器，便于数控程序版本控制和全生命周期管理；机床通信服务程序协助数控机床上传和下载数控程序，当机床发送一个上传或下载程序指令给应用程序服务器后，机床通信服务程序及时响应，并告知数控程序管理应用程序机床的请求内容，接下来数控程序管理应用程序根据请求内容执行数控程序上传操作和数控程序下载操作。客户端作为数控程序进入网络的接口，一般布置在技术部门或车间工段，与应用程序服务器连接，主要完成数控程序的入网、校核、仿真、机床指派等工作。

二、数控程序网络化集成管理模式

对于涉及制造部门和车间的数控程序，在数控程序网络化集成管理系统基础之上，采用有效的集成管理模式将数控程序封闭在网络中，便于数据积累、错误查找及数控经验积累，这是数控程序网络化集成管理的重要方式。

1.三层程序管理模式

根据企业工作性质和岗位职能的不同，我们提出了三层数控程序管理模式，具体方案如图2所示，包括制造部门数控程序集中管理、信息中心数控程序集中管理及车间数控程序集中管理。

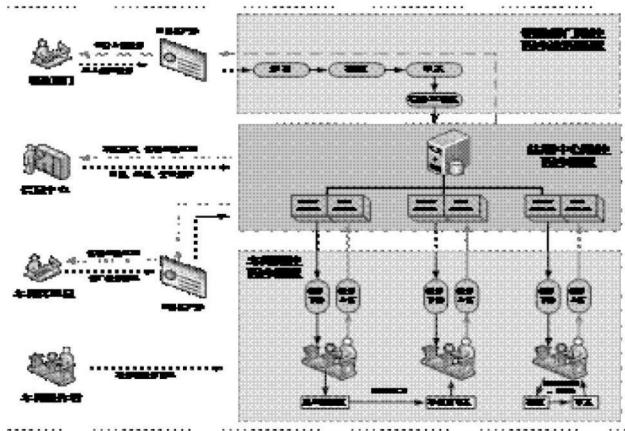


图2 数控程序网络化集成管理具体方案

2.制造部门数控程序集中管理

制造部门作为数控程序管理的主体，负责大部分数控程序的编制、校核、仿真、程序导入网以及指派机床等操作，主要采用以下方式对数控程序进行有效管理：

（1）编程人员编制的所有数控程序通过数控程序网络系统传输到加工机床，不使用其他存储介质拷贝数控程序。

（2）编程人员根据零部件分类在数控程序网络系统客户端的产品结构树下建立相应项目属性程序目录，并根据机床格式特殊要求编制数控加工程序。

（3）用于机床加工的数控程序需在数控程序网络系统客户端经小组人员编辑、校核及审查等3个基本步骤后指派到加工机床。

（4）定期检查与不定期抽查车间分厂操作者是否将典型的、重要的零部件试切加工数控程序上传至网络服务器备份。

3.信息中心数控程序集中管理

信息中心作为数控程序网络化系统维护的主要负责单位，应保证整条系统网络稳定通畅、通信可靠、安全机制完善，同时监控机床状态及传输过程是否满足工作要求。主要采用以下方式对数控程序进行有效管理：

（1）负责统一管理数控程序网络化管理系统的账户，合理分配角色、权限，优化程序传输点布局。

（2）监控数控程序网络化管理系统的网络状态，及时处理系统软、硬件故障，建立数控程序传输过程中对机床的安全保障机制，确保网络畅通。

（3）负责完善数控程序在数控程序网络化管理系统客户端的编辑、校核及审查基本流程，同时具有特殊时间段（如节假日值班情况下）程序管理的流程。

（4）组织车间进行DNC程序传输相关知识的培训。

4.车间数控程序集中管理

车间分厂作为使用数控程序的主体，也在编制大量简单数控程序，为把这部分数控程序利用信息化手段有效管理起来，需要在车间分厂培养良好的数控程序编制习惯，同时进行严格的工艺考核，主要采用以下方式对数控程序进行有效管理：

（1）车间分厂安排一名技术人员专项管理制造部门指派的数控程序和操作者使用的数控程序，对机床上传和下载数控程序过程进行监控。

（2）车间操作者编制或修改后的重要数控程序需经就近同类岗位的技术人员校核、审查，并上传至网络服务器后才可用于数控加工。

（3）车间操作者需将试切加工后典型的、通用的重要数控程序上传至网络服务器，便于数控程序的共享、备份、重用及规范管理。

（4）将数控程序网络传输操作作为基本技能，纳入车间分厂操作者评聘考核内容。

三、数控程序网络化集成管理主要技术

在上述数控程序网络化集成管理模式下进行数控程序的有效管理，涉及如图3所示的多项重要技术，包括数控程序分类管理、流程管理、版本管理、轨迹仿真、格式规范及搜索查询等。



图3 数控程序网络化集成管理主要技术

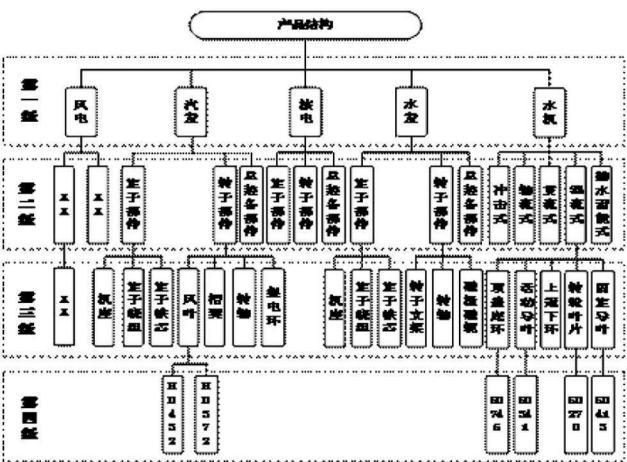


图5 程序分类结构图

1.程序分类管理

数控程序网络系统中采用产品树的形式对产品进行分类管理，如图4所示，这里采用4级数控程序分类方式，将程序的产品属性和项目属性结合起来建立产品结构，其中前3级为程序的产品属性级，第4级为程序的项目属性级。



图4 数控程序网络系统中的产品结构树

第1级为产品大类，第2级为产品，第3级为总装部件。据此原则将企业重要复杂曲面零件分为5个1级结构产品大类，即风电、核电、汽发、水发以及水机。第2、3级产品结构根据第1级产品大类的特性进行细分，例如汽发产品大类下面第2级产品结构细分为转子部件、定子部件及总装配部件，转子部件产品类下面第3级产品结构细分为风叶、槽楔、转轴和集电环等。第4级产品结构目的是添加每个工艺人员自己负责的项目信息与程序。详细程序分类结构图如图5所示。

2.程序流程管理

采用程序编制、校对及审批等3个基本流程实现程序流程管理，每一步需经各负责人网络签字确认，所有步骤通过后才能将程序指派到加工机床，借此强化程序风险管理。工作流程模块包括工作流定义、启动流程、流程监控以及任务箱等4项。

在数控程序网络系统中开发流程管理模块，数控程序进入网络系统后，没有经过编制、校对及审批等流程无法指派到加工机床。数控程序管理基本流程如图6所示，首先启动管理流程，经编程人员编制确认后传递给校对人员；校对人员进行在线刀轨仿真，并检查程序格式和内容是否正确，确认无误后再传给审批人员；审批人员对数控程序做整体把握，检查符合实际加工环境后将数控程序流转给编程人员；最后，由编程人员指派数控程序到具体加工机床。为明确负责人员的责任，设置负责人员对数控程序不同权重的责任，比如编程人员为50%，校对人员为30%，审批人员为20%。

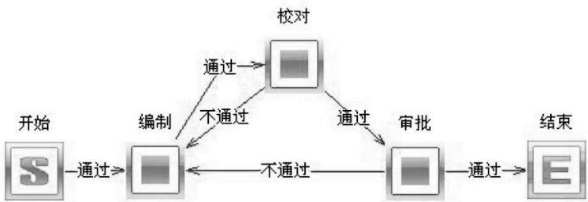


图6 数控程序管理基本流程

3.程序版本管理

企业生产过程中，数控程序修改在所难免，为使数控程序改动有据可循，需在网络系统中对数控程序进行版本管

理，即网络系统自动记录数控程序每次修改及最后保存的各个版本，用户可以根据需要查看任何一个版本。当用户需要对某个数控程序进行修改时，调出保存在网络上的数控程序并用指定的软件打开，即文档出库操作，此时系统会新建一个程序版本，并将新版本的数控程序下载到本机供用户操作，修改后再将数控程序保存回去，即文档入库操作，从而实现数控程序的版本改动及管理。出于安全考虑，一个数据程序仅允许单个用户在线操作，操作完保存后，其他有权限的用户才能进行相同程序的操作。目前，由于网络稳定性、通信可靠性等问题，车间数控程序实现在线读取和在线版本管理并不容易实现，而是采用下载到机床缓冲区再读取到内存的方式解决机床在线加工问题。数控程序出库和入库操作见图7。



图7 数控程序出库和入库操作

4.程序轨迹仿真

数控程序在层间下刀、进出刀、连刀等处容易出现问題，有时还容易发生过切，故数控程序网络系统一般要集成程序轨迹仿真模块，或调用第三方仿真软件，实现数控程序在线仿真。通过直观的刀轨仿真，找出数控程序有错误和有缺陷的地方，辅助数控程序流程管理，为相关技术人员提供校核依据。实际应用中，数控程序网络系统不仅能够接受标准的G代码程序，还能接受CAM软件生成的刀具轨迹程序，通过设置毛坯、夹具和刀具等加工环境，实现3至5轴的铣削加工和车削加工仿真，如图8所示。

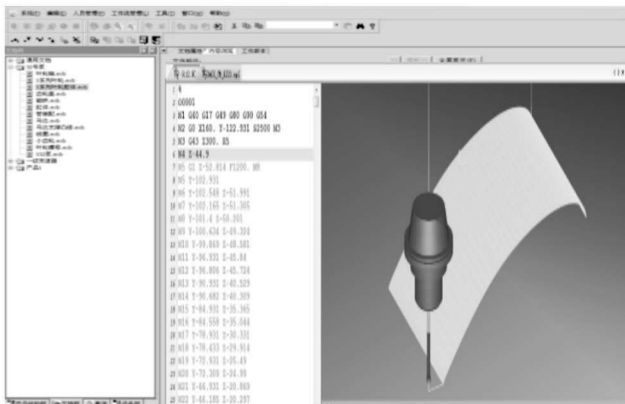


图8 数控程序在线轨迹仿真

5.程序格式规范

数控机床所使用的数控系统种类很多，比较典型的有Fanuc系统、Siemens系统及Fadal系统，每种数控系统相互兼容性很差，其控制代码、通信协议和操作界面均不相同，所以有必要规范数控程序的格式，便于机床传输通信与程序解析。规范内容主要为程序后缀、程序头及程序尾等，具体内容如表1所示。

表1 数控程序格式规范

	Fanuc系统	Siemens系统	Fadal系统
程序后缀	txt	mpf	txt或mpf
程序头	% O0001(程序名) (Drawing name: 图号) (Project name: 项目名) (Program for: 机床编号 数控系统) (Program by: 编程人员) (Program date: 编程日期) (Tool name: 刀具名称) (Part stock: 毛坯余量) N1 G40 G17 G49 G80 G90 G54	%_N_ 程序名_MPF ;SPATH=_N_WKS_DIR/_N_图号名_WPD ;(Drawing name: 图号) ;(Project name: 项目名) ;(Program for: 机床编号 数控系统) ;(Program by: 编程人员) ;(Program date: 编程日期) ;(Tool name: 刀具名称) ;(Part stock: 毛坯余量) N1 G40 G17 G54 G00 G90 G64 Z400.	% NO.001O31 (Drawing name: 图号) (Project name: 项目名) (Program for: 机床编号 数控系统) (Program by: 编程人员) (Program date: 编程日期) (Tool name: 刀具名称) (Part stock: 毛坯余量) N1 G40 G17 G49 G80 G90 G54
程序尾	N98 M05 M09 N99 M30 %	N98 M05 M09 N99 M02	N98 M05 M09 N99 M30 %

6.程序搜索及查询

大量存储在数据服务器上的数控程序被查询和重复使用，可帮助技术人员快速生成新的数控程序，提高工作效率，促进企业资源的有效利用。数据查询在数控程序集中管理的基础上，实现对企业制造数据和信息的查找。输入查询条件，对程序文件进行模糊及复合的查找，可以按零件、工号、机床、客户等各属性进行交叉服务的任意查询，数据服务器上的并行数据库或分布式数据库按照一定的查询优化方法，最短时间将所有符合条件的结果返回客户端，查询结果可以直接利用，相关技术参见文献。

四、应用案例

以某大型混流式水轮机转轮叶片数控加工为例，利用上述数控程序网络化管理技术实现转轮叶片数控程序三层网络化管理，即在数控程序网络化系统中首先利用数控程序的产品属性和项目属性添加此项目目录，如图9所示。该数控程序的产品属性为水轮机、混流式、转轮叶片，该数控程序的项目属性为SD270-1-10；接着在项目属性下导入转轮叶片加工数控程序，进入流程管理过程，期间技术人员可进行刀具轨迹仿真，作为评判数控程序优劣的依据；然后由编制人员将流程管理后的数控程序指派到加工机床；最后，车间技术人员和操作者对数控程序进行详细确认，开始在线加工，如图10所示。此过程将数控程序有序地整理在一起，便于分享和查询重用，不但能使数控加工经验有效积累，还可显著增加数控加工效率、降低生产成本。



图9 转轮叶片数控程序管理

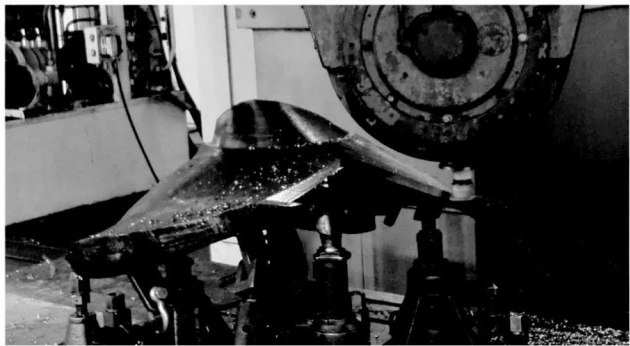


图10 转轮叶片在线数控加工

五、结语

数控程序的网路化集成管理是企业进行技术保密和经验积累的重要方式之一，随着数字化工厂车间工艺布局优化、设备升级改造、生产管理重构等过程不断深入，先进的信息化技术被不断引入离散制造业中，基于网络化手段的数控程序管理模式和手段将得到不断完善和加强，从而帮助企业减少质量事故，提高管理水平。

基于Vericut Optipath的数控程序切削参数优化

陈道全 吴家奎 刘伯兴 乔 杰 / 东方电气集团东方电机有限公司

关键词： Vericut Optipath模块 数控加工 切削工况分析切削参数优化

切削加工过程中，有30余种因素直接或间接影响切削加工效果，如毛坯余量的不均匀、材料硬度有别、刀具磨损、工件变形、工件各部位刚性不一致、机床热变形、机床的动态性能等。经分析，在这些影响切削平稳的因素中，毛坯余量的不均匀性以及刀具与工件接触状况的瞬时性是主要因素。数控程序中，切削参数对切削工况影响较大，所以刀具轨迹确定后，应根据切削工况实时地调整切屑参数，响应切削影响因素的变化，保证切削平稳。但事实上，数控程序的切削参数设置过于单一、保守，其合理性、正确性有待提升。实际加工过程中，机床操作人员根

据切削工况调整主轴转速和进给速率倍率旋钮，以保证切削处于平稳的切削状况。另一方面，当前CAM软件的刀具规划策略还仅局限于刀具和零件的几何意义上的相对运动宏观轨迹规划，未能涉及或者说未能全面涉及微观层面上切削点处的刀具与毛坯接触工况的几何分析和物理分析。尽管数控编程人员可以查阅资料获得切削刀具标准工况下的切削参数及特殊工况的切削参数调整方法和专家知识，然而应用CAM软件时却不能充分地将其融入数控程序规划之中。特别是复杂曲面零件切削工况复杂，数控程序数据量大，编程人员无法也不可能手动分析工况并修调切削

参数。这就需要仿真软件对数控程序的切削过程进行仿真分析，在此基础上对切削参数修调优化，保证切削过程平稳，弥补CAM软件的局限。

一、Vericut Optipath模块的介绍

Vericut软件是美国CGTech公司开发的一款专业数控机床加工仿真软件。它不仅能够真实地模拟数控切削过程的机床运动、分析切削工况、验证数控程序、分析成品零件的几何尺寸，还可以对切削参数进行优化，保证切削平稳，提高切削效率。

Optipath模块根据机床、刀具、材料、刀具和工件的几何接触状态等外部条件，对数控程序的进给速率、主轴转速进行修调，以保证切削过程平稳和工件的表面质量。切削参数优化来源于机械加工的实际生产需要。Optipath切削参数优化与实际生产完全统一，就是分析每个切削点的接触状况，计算每步程序的切削量，再将所得数值与切削参数经验值或刀具厂商推荐的刀具切削参数进行比较。当余量较大时，就降低速度；余量较小时，就提高速度，进而修改程序，插入新的进给速度，最终创建更安全、更高效的数控程序。优化只是根据切削量来优化数控程序的进给速度，而不改变程序轨迹。不过，当Optipath优化时，如果发现一步NC程序路径过长，且其切削余量是变化的，便需要优化调整切削速度，此时，Optipath就会按照设定的优化参数将原来一步的数控程序打断为多段，给每段插入新的进给，同样也不改变程序轨迹。这些多段程序的轨迹与原程序段一致，没有发生任何改变。

Optipath模块的应用可以达到以下优化目标：

- (1) 粗加工时，尽可能地发挥机床效率，提高加工效率。
- (2) 避免切削负荷尖峰的出现，防止损坏刀具和损伤机床。
- (3) 避免机床操作者时刻调整机床进给倍率开关，减小机床操作者劳动强度。
- (4) 将刀具制造商成熟的切削经验融入金属切削加工过程中提升刀具应用水平。

二、切削参数优化策略

Optipath提供恒定的材料去除率、恒定切削速度、恒定最大切屑厚度、坡走角-进给曲线插值、切深-进给曲线插值、切宽-进给曲线插值及特殊工况下的切削参数修调等多种策略，这些策略可以单独使用也可结合使用。

由金属切削原理可以得到主要的切削参数计算公式，这些公式是切削参数优化的基础。

切削线速度 (m/min) : $V_c = D_{cap} \times \pi \times n / 1000$ 式(1)

主轴转速 (rpm) : $n = V_c \times 1000 / (\pi \times D_{cap})$ 式(2)

金属材料去除率 (cm³/min) : $Q = a_p \times a_e \times v_f / 1000 = a_p \times a_e \times f_z \times n \times n_c / 1000$ 式(3)

切削净功率 (kW): $P_c = a_p \times a_e \times f_z \times n \times n_c / (60 \times 10^6)$ 式(4)

侧铣平均切屑厚度 (mm) :

$$h_m = \frac{360 \times \sin K_\gamma \times a_e \times f_z}{\pi \times D_{cap} \times \arccos \left(1 - \frac{2 \times a_e}{D_{cap}} \right)}$$
 式(5)

面铣削平均切屑厚度(mm):

$$h_m = \frac{180 \times \sin K_\gamma \times a_e \times f_z}{\pi \times D_{cap} \times \arcsin (a_e / D_{cap})}$$
 式(6)

1.恒定的材料去除率优化

金属材料去除率与切削所需净功率成正比，保持材料去除率恒定、主轴输出功率恒定、机床运行平稳，可最大限度地发挥机床潜能。

由金属材料去除率公式可知：当切削深度一定时，根据工件材料和刀具材料副可以确定切削速度，进一步确定主轴转速。实际切削过程切削宽度是变化的，为保持材料去除率恒定，可以根据实际切削宽度来修调每齿进给量。这种策略主要用于粗加工。粗加工常采用等高、型腔铣削、平面铣削等层切的刀轨规划方法，刀轨的切削深度保持一致，切削过程中切削宽度是变化的。此种优化策略可约束机床主轴的输出功率并保持其输出平稳，不会出现主轴尖峰载荷，对数控机床主轴是一种有效的保护，同时对刀具的寿命提高也有很大贡献。

2.恒定的最大切屑厚度优化

切削时，通过变化的进给率保持恒定最大切削厚度，追求一种连续的切削状态。当切宽大于刀具半径或切深大于刀具刀尖圆角时，最大切屑厚度等于每齿进给量，不用调整进给。当切宽小于50%刀具直径或切深小于刀具圆角半径时，通过增加进给速率来保持切屑厚度恒定。这种策略对于解决使用硬质合金刀具的高速铣削、半精加工、精加工切深或切宽变化引起切屑厚度变化的切削难题相当有效，主要应用于半精加工和精加工，以提高加工效率和零件表面质量。此策略可用于立铣刀、直刃面铣刀、球头刀、带圆角的面铣刀加工，适合于高速切削和应用硬质合金刀具进行半精、精加工且存在“薄切屑”问题的场合，特别适合于模具行业中硬材料型面半精、精加工场合。

最大切屑厚度对于高效可靠的铣削过程是一个关键参数，可靠有效的金属切削只有在与刀具匹配的最大切屑厚度下进行。切屑厚度过大，则会引起刀刃过载，从而导致刀刃破损；切屑厚度过小，会引起切削表面质量下降和低切削效率，同时加快刀具磨损，且对切屑形成起副作用，以下三种切削情形(图1)会引起切屑厚度偏薄，应增加每齿进给量。

- (1) 非90° 主偏角的直刃面铣刀。其最大切屑厚度，优化时，根据Kr调整fz保持hex恒定。
- (2) 应用圆刀片面铣刀或大的刀尖圆角的面铣刀铣削，其切深小于刀尖圆角的切削加工。此种情形变相减小了刀具的主偏角，导致切屑偏薄，应修正fz，保持hex恒定。
- (3) 侧铣时，切削宽度小于刀具的半径的情形。此时，理论的每齿进给量可以由式7计算，优化时，根据允许的最大切屑厚度和实际切宽优化fz。

$$f_z = \frac{h_{ex} \times iC \times D_{cap}}{4 \times \sqrt{a_p \times iC - a_p^2} \times \sqrt{D_{cap} \times a_e - a_e^2}} \quad \text{式 (7)}$$

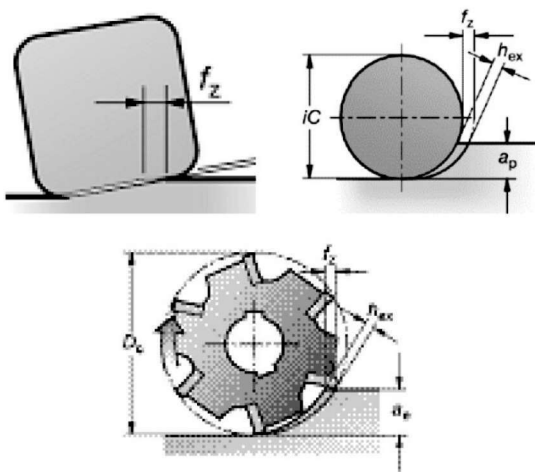


图1 “薄切屑效应”的三种情形

3.恒定的切削速度优化

曲面精加工时，刀具的切触点时刻变化，根据切削工况调整进给率和主轴转速，保持切削速度恒定，适用于球头刀、牛鼻刀精加工和高速切削。通过修调主轴转速，保持最大接触直径处的切削速度恒定（图2），同时对进给速度进行相应调整，以保持稳定的每齿进给率。值得注意的是，应用此种策略需要考虑主轴转速的跟随性能，否则会对机床主轴造成损伤。

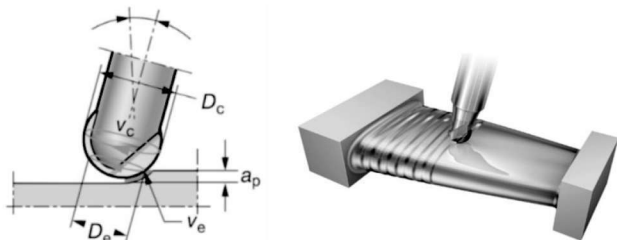


图2 有效切削速度计算

4.特殊工况的切削参数优化

特殊工况的优化策略包括：插铣、坡走铣（图3）、逆

铣、切入切出和空刀的系数修调、切深-进给曲线插值、切宽-进给曲线插值（图4）。这些策略可以根据具体情况启用。

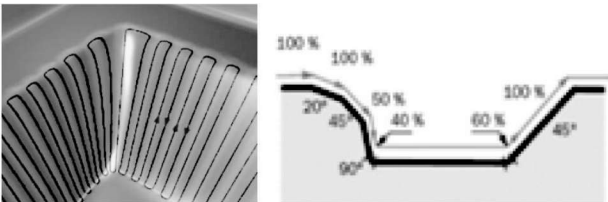


图3 坡走角-进给优化策略

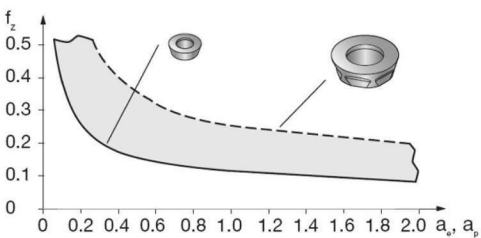


图4 某两款刀具的 α_p 、 α_e - F_z 曲线

三、Optipath优化功能的综合应用

商业的CAM软件常见的刀具轨迹规划方法包括：平面铣削、型腔铣削、等高铣削、定轴曲面轮廓铣削、变轴曲面轮廓铣削。前三种轨迹规划方法保持刀具的铣削深度恒定，用作粗加工轨迹规划方法，其刀轨的铣削宽度通常是变化的，若数控程序的F、S值恒定，切削过程的切削力大小和材料去除率会随着切宽的变化而变化。采用Optipath的恒定材料去除率策略，可保持切削力大小稳定和材料去除率恒定，从而避免尖峰载荷，有效保护机床和切削刀具。后两种刀具轨迹规划方法，用作半精或精加工轨迹规划方法，其假定的应用前提是毛坯余量均匀，但其刀触点会随零件局部几何形状的变化而变化，从而导致刀具的有效直径、最大切屑厚度、切削速度等切削参数的变化。切削工况的大幅度变化对于半精、精加工，特别是高速铣削是相当不利的，可能导致零件尺寸超差、表面粗糙度降级，甚至刀具或机床损坏。

汽轮发电机风叶属于典型的曲面零件，型面表面粗糙度要求高。毛坯材质为铝合金锻件，其生产模式为小批量生产。数控加工时，采用旋转工作台和“一卡一顶”的装夹方式（图5），旋转工作台仅能进行分度旋转，采用三轴定轴加工。粗加工采用Φ63R3.2的圆刀片面铣刀和型腔铣轨迹规划方法去除大部分余量，粗加工余量大且不均匀，切削不平稳。半精加工采用Φ40R5面铣刀定轴曲面铣削去除残余，保证精加工的余量均匀。精加工采用Φ20球头刀定轴

曲面铣削精加工，限于现有装备条件的约束，不能采用多轴铣削，切削工况变化大，机床运行不平稳，风叶型面表面粗糙度差。为解决此加工难题，我们采用Optipath切削参数优化模块，结合刀具轨迹特性和刀具应用的专家知识，对粗加工轨迹进行恒定的材料去除率和最大切屑厚度优化（图6），对精加工轨迹进行恒定的最大切屑厚度、坡走角-进给率综合优化（图7），成功解决了风叶粗精加工切削不平稳、精加工后表面粗糙度差的难题。表1为风叶叶面切削参数优化。

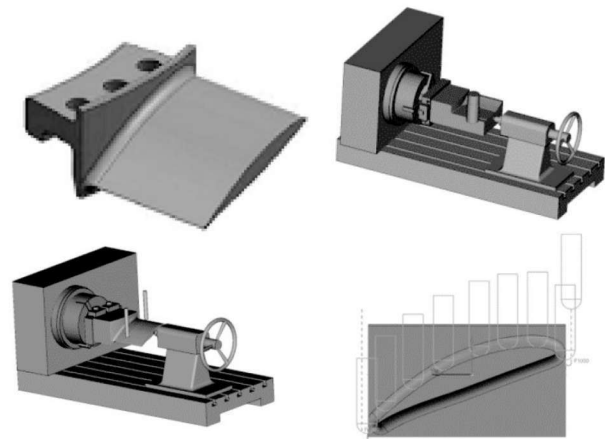


图5 风叶及叶面粗、精加工

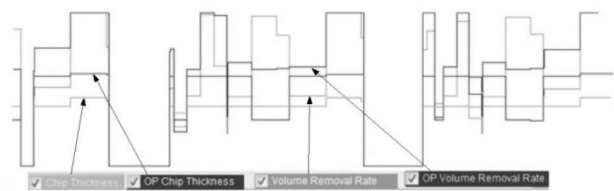


图6 粗加工优化前后的工况曲线

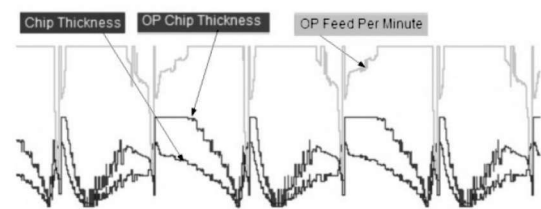


图7 风叶定轴精加工优化前后的工况曲线

表1 风叶叶面切削参数优化

序	优化方法	目标参数
粗加工	恒定的材料去除率、 恒定最大切屑厚度	$h_{ex}=0.2\text{mm}$ 、 $Q=210\ 108\text{mm}^3$
精加工	恒定的最大切削厚度 坡走角-进给曲线插值	$h_{ex}=0.15\text{mm}$ 、 $S=3\ 000\text{r/min}$ 坡走角-进给曲线如图3

四、结论

Vericut通过对切削过程的几何仿真，实现对数控程序所有程序段和程序节点的接触工况分析。Optipath提供丰富的切削参数优化策略，并根据刀位点的切削工况优化切削参数，实现切削参数的优化目标。在分析各种优化策略的基础上，结合刀具轨迹规划方法和刀具应用的专家知识，综合应用Optipath优化功能于汽轮发电机风叶的数控加工中，保证切削过程平稳，提高风叶的数控加工效率和质量，减少机床操作人员的劳动强度，展示了切削参数优化的潜力，对于数控工艺准备的精益化和提升数控程序质量具有理论与现实意义。

燃机部件变形下沉研究及通流间隙计算分析

白德斌 彭永会 白 龙 白 哲 / 东方汽轮机有限公司

关键词：通流 变形 下沉 间隙计算

一、研究解决内容

1.确定了影响燃机通流间隙的因素

影响燃机通流间隙的因素很多，扣合、把紧气缸、持环、叶环、气封体的上半该部件都存在变形，并且同时存

在下沉，这就必然对燃机通流间隙和中心带来影响。我们将通过分析找出各种影响因素，找出主要因素，去除影响较微小的因素。

2.通过研究试验找出了各因素对通流间隙影响的关系式

对部分重要部件，通过做试验找出各因素对通流间隙影响的关系式以及各因素之间的干涉因子，以便建立计算通流的公式和程序。

3.研究出影响变形的因素并得出关系式

通过分析影响变形的因素并通过试验测量找出变形量与影响因素关系曲线（如气缸张口对气缸内孔椭圆度影响），使得变形量变得可控或可知，使得燃机一次磨转子变得可行，可使燃机总装节约15天的时间。

二、燃机通流间隙测量需要计算调整的部位

燃机通流间隙是燃机内部通流部件的间隙，主要是转子与静止部件（气缸、持环、叶环、轴承、气封体、气封）之间间隙，主要集中在压气机到透平缸一段（见图1），燃机通流间隙分轴向间隙和径向间隙，按部位分为透平部分（图2）、压气机部分（图3）、透平部分叶栅通道通流（见图4）、中间气封环（见图5）、透平叶栅通道通流又分叶根（图7）和叶顶（见图6）。压气机部分分为叶顶（见图8）和叶根（见图9、图10）。轴向通流只在半缸状态下实测不做修正，本文只涉及径向通流间隙的研究，其压气机的叶顶U值、叶根Z值和W值及透平的叶顶g值与叶根的j值的变化量研究及计算。

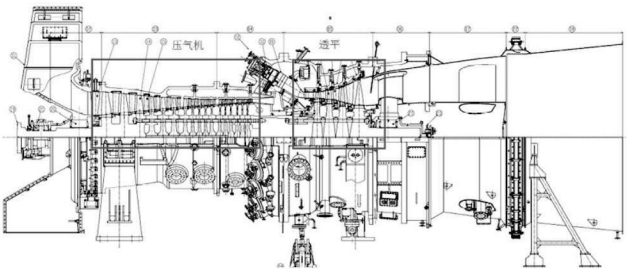


图1

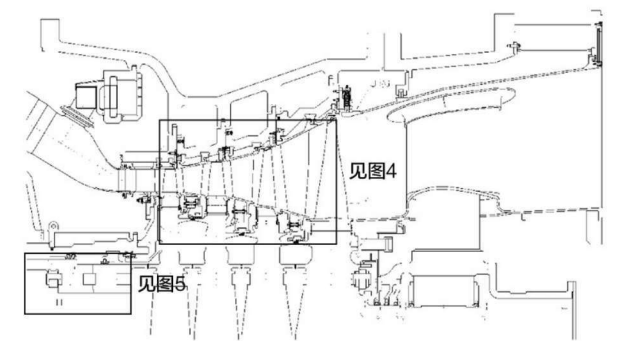


图2

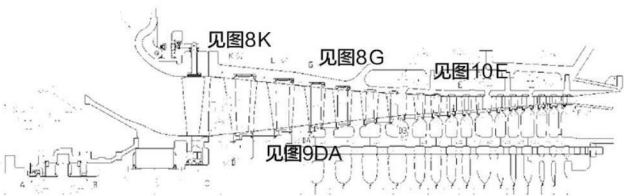


图3

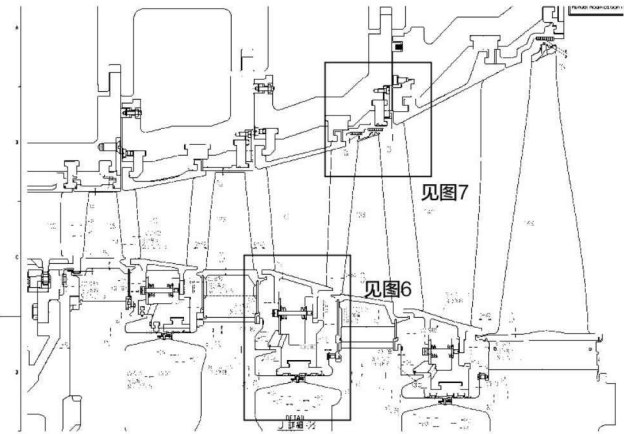


图4

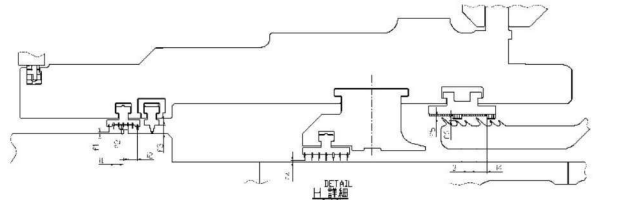
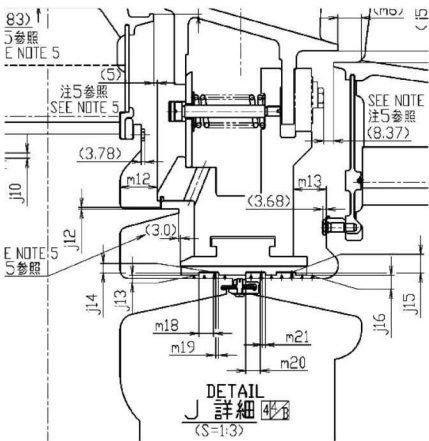


图5



$\langle j5 \rangle$	j6	$\langle j7 \rangle$	j8	j9	j10	j11
-	+1.30 -2.05	-	+1.45 -1.15	+1.45 -1.15	+0.50 -0.20	+0.50 -0.20
$\langle 11.50 \rangle$	8.25	$\langle 10.14 \rangle$	4.20	4.70	0.50	0.50

图6