

从成组技术
到精益生产
向大规模定制前进



2002 年

从成组技术
到精益生产
向大规模定制前进



杨
光
美

2002 年

目 录

序	页码
前言	4
作者个人简介	5
第一部分 成组技术与数控、柔性制造系统、计算机集成制造系统	7
● 成组技术在英国的发展简介	9
● BB-140 会话式无后置数控两座标自动编程系统	12
● 柔性制造系统与成组技术	16
● 成组单元的作业排序	21
● 一种成组单元作业排序的新方法	27
● 成组技术 (GT) 在计算机集成生产系统 (CIMS) 中的应用	35
● 在国内应用 MRP 的初探	40
● 新天机械零件计算机辅助工艺过程设计 (XT-CAPP)	45
● CS-1 分类编码系统	48
● CAPP 专家系统中知识库设计方式初探	64
● 在第四届年会 CAPP 专题讨论会上的发言	68
● 关于对产生分类编码系统的专家系统的研究	69
● 高技术 CIMS 和成组技术 (GT)	74
● 成组作业排序专家系统的初探	85
● GT 的发展与 CIM 的关系	89
● HKY-CAPP 系统 介绍一个具有开发工具类型的 CAPP 系统	93
● 产生 CIM 环境下分类编码系统的专家系统研讨	99
第二部分 成组技术精益生产与技术改造	103
● 试论机械企业的技术改造	105
● 新成组技术为老企业的技术改造提供了正确有效的方法	109
● 计算机辅助生产管理技术的新动向	114
● 现代化生产模型机理	117
● 成组技术与生产现代化文集前言	122
● 成组技术与生产现代化—利用成组技术对企业的全面技术改造	124
● 九十年代世界级制造技术—精益生产	128
● 机械制造厂的精节生产	132

● JIT 模式下工艺规程及作业排序的并行设计	135
● 计算机辅助 JIT 方式的零件排序优化	140
● 如何实现车间级多品种中小批量情况下的精节生产	145
● 精节生产是制造工厂技术改造的正确道路	151
● 成组（相似）工程与精益生产方式专题报告	157
● 成组—相似工程和先进制造技术的结合	165
● 面向 21 世纪的精益生产	167
● 精益生产方式的初步总结	170
● 制造精良和精益生产	174
● 精益生产案例分析—贵州贵阳航空液件厂（501）	177
● 采用先进生产模式—“精益生产”对企业进行技术改造	181
● 精益生产在我国卫星生产集成化中的应用	184
● 面向并行工程的产品设计质量管理	187
● 企业精益改造的道路	191
● 准时生产与成组技术	196
● 准时生产与虚拟单元制造系统	199
● 制造生产的“催化剂”—成组技术	203
● 从精益生产走向大规模定制生产	207
● 数控机床的合理化工程设计方法	213
● 透视中国市场经济中的企业管理咨询	217
● 精益生产理论指导下的 CAPP 系统研究	220
● 结合大规模定制生产实施客户关系管理	225
● 在“跨世纪战略研讨会”上的发言	229
第三部分 参加国际会议论文选编	231
● A Production Scheduling Method For Group Technology Cell	234
● An Expert System For Development Classification & Coding System	247
● Lean Production-New Production Mode	251
● Primary Summary of Implement Lean Production	256
附录 1 参考论文及著作目录索引（1960—2000）	260
附录 2 研究生情况及合作人员概况	263
后记	

序

本书作者杨光薰教授 1952 年毕业于南京大学后又在北京航空学院读研究生，毕业后留校任教，现为北京航空航天大学教授。

1979 年杨光薰教授作为国家第一批派出去英国克兰菲尔德理工学院 (CIT) 进修，他以访问学者的身份主要研究数控技术 (NC Technique) 与成组技术 (Group Technology)，成组技术师从波切克博士 (G. Purcheck)，他是长期在英国工作的德国人，对成组技术不仅有丰富的生产实践经验，而且他有自己独创的理论。

1981 年杨光薰回国后一方面从事教学，并且展开成组技术的科研工作 (开设成组技术课程，撰写这方面的教材，并且在航空部主项研究成组技术课题。) 另一方面积极地投入社会进行工业实践，同时积极参与了中国成组技术学术团体的组建工作，在很长一段时期内，他一直担任成组技术研究会的副理事长，直到现在还没有完全脱离成组技术学会。因为从他自身实践中，他深刻地领会到尽管时代在变化，科学技术在发展 (例如：数控、柔性制造系统，集成制造系统，精益生产，敏捷制造，大规模定制……)，而成组技术始终是项最为基础，而且十分重要的技术，它跻身于各高新技术之间继续发挥其作用，成组技术将随着其它科学一起不断地发展。

这本论文集记录了近二、三十年来杨光薰教授所发表过的文章、论文、或者书中的一些片断，其中多数是在我们学会主办的刊物“成组技术”、“成组生产系统”、“成组技术产现代化”上发表的，从中我们可以大体上看到成组技术在我国发展的过程和阶段：即成组技术的基础理论与应用—成组技术与数控、柔性制造系统、计算机集成制造系统等生产自动化结合的应用—成组技术与适时生产、并行工程、精益生产、敏捷制造、大规模定制生产等生产合理化结合的应用。应该指出，从国际国内成组技术发展来看，成组技术正是从成组技术作为单项技术的理论与应用逐步走向了成组生产工程这样一个大的跨越，正是这个跨越对国家的技术经济改造带来了深远的影响。

我们不认为象有人所说的“成组技术过时论”、“成组技术已由其它新技术所代替”等种种说法是正确的。相反，我们认为随着高新技术的发展，成组技术正在茁壮成长。通过这本论文集中的阐述的内容，正好可以清楚地说明这个问题。

我们相信本书的出版，将会受到广大从事于制造技术、管理技术的工程技术人员，以及从事这方面教学及学习的教师和学生的欢迎。

中国机械工程学会成组技术分会

名誉主席 李沛钰

二〇〇一年四月

前言

这本论文集收集了我近三十年产来的技术论文（不包括论著），大部分已正式发表于各种会议论文集、杂志、学报，只有极少数没有公开发表过。文章中有英文亦有中文，有论文亦有相关发言和文章，有只有一个人署名的，更多的是和我的同事、学生共同署名的，这些都并不重要，最重要的是我收集论文都围绕着一个中心思想：**从论文中可以看到制造技术过去的发展，从论文中能够找到有助于当今技术改造的办法，从论文中也可以看到今后技术发展的趋势。**

二十世纪五六十年代，人们认为制造技术发展有两条道路：一条是以美国为代表的发展数控自动化的道路，五十年代末，麻省理工学院研制出世界上第一台数控机床；另一条是以当时的社会主义阵营——苏联为代表的发展成组技术的道路。五十年代末，苏联的米脱洛方诺夫在列宁格勒工学院首次在一台立式六角车床上成功地作出成组技术的示范。在以后的发展中，这两方面技术即各自发展又相互渗透、相互结合，促使生产技术有了更大的发展。今天，当我们回顾这些历程，会很自然地发现数控自动化成为了生产现代化的标志，而成组技术则是一种生产合理化的根本性措施。

二十世纪七八十年代，由于计算机技术的发展，促使上述两方面都继续发展，而且在发展中也继续相互渗透与结合，CIMS的出现和进一步发展正好说明了这一事实。

二十世纪九十年代是制造事业大发展的年代。各种制造技术，如精益生产（Lean Production, LP）、敏捷制造（Agile Manufacturing, AM）、企业过程重组（Business Process Reengineering, BPR）以及大规模定制生产（Mass Customization, MC）的构想等等，纵横交错、互相包容和渗透，从各个不同层面反映出生产现代化和生产合理化发展到了一个新的高度，二十世纪的先进制造技术已经由工业化时代走向信息化时代。

在此世纪之交，展望二十一世纪，先进制造技术决不会后退，必然还会快速发展，但呈现在人们面前的仍将是一个五花八门多模式的复杂局面。这是因为世界经济虽然已开始出现全球化的趋势，但是各个企业仍然是千差万别，很难做到千篇一律，时间上一刀切，人们仍然在复杂的环境中求生存并且求进步，亦即是任何时候都还存在着先进和落后，然而，总的趋势是前进。

我想我们作为科技工作者应该立足于当前，努力进取。在总结过去的经验和教训中使我们变得更聪明，至少可以不再重走过去的弯路，而是在当前现实生产面前积极投身到技术改造的洪流中去，让先进制造技术充分地发挥作用。不但要向人们宣传改造的必要性，而且通过亲身实践来说明改造的可行性和成效。如果有更多的人了解这个道理并参与实践，那么，整个社会改造的速度就会加快。

1979年，作为国家第一批派出留学生，我被派往英国进修学习数控技术和成组技术。学成回国后，正值我国酝酿成立全国性成组技术研究会，我积极投身于这项事业，从此，便与成组技术结下了不解之缘。这本论文集主要收集的内容应该说是从这段时间开始撰写的文章。从时间上算，二十年成组技术，十年精益生产，这便是论文集全部内容的概括。

我国正处于经济大发展时期，国家为我们提出了“两个转变”的战略目标：由计划经济向社会主义市场经济转变和由粗放式经济向集约式经济转变。为了实现上述目标，又提出了“三改一加强”：企业体制和机制的改革，生产合理化的改组，生产现代化的改造，加强管理。这本论文集中提到的许多技术措施正好体现了这些思想和内容，所以，我只有一个心愿——让这本论文集为祖国的社会主义建设贡献一点微薄之力。

杨光薰

2001年4月于北京

个人简历



杨光薰 男 江苏无锡人
1932年4月25日生
北京航空航天大学教授

简历:

- 1949年 考入南京中央大学(后改为南京大学)
1952年 南京大学机械系毕业,分配到北京航空学院
1952年 北京航空学院研究生(随苏联专家)
1954年 北京航空学院研究生毕业,留校教师(助教),进入北航发动机工艺教研室
1956年 组织上准备派往苏联学习,在留苏预备部学习一年,同年升为讲师
1958年 因专业问题苏方未接受,回北航工作(讲师)
1961年 被任命为教研室副主任
1979年 在教委系统考上第一批公派出国,去英国克兰菲尔德理工学院(现在改为克兰菲尔德大学)学习进修数控、成组技术,身份是访问学者
1981年 学成归国,回北航原系原专业,后升为副教授、教授至今。八十年代初,参加了中国成组技术研究会的组建工作,担任副理事长(现仍参加改名为中国机械工程学会成组技术分会的活动)。其间还参加了自动化专业学会的学术委员工作(分属机械工程学会和自动化学会两个学术组织)。其间还被聘为北京市人民政府专业顾问共十年(1984-1994年间,二年一届,连任1-5届)。
1987年 被国际信息联合会(International Federation of Information processing IFIP)聘为至今 计算机辅助生产管理专家工作组(WG5.7)中华人民共和国专家代表。

国际活动:

从1986年开始参加国际学术会议,以后,由于进入IFIP从此开始了和国际广泛交流的活动。曾先后去英、美、法、德、匈、加、芬、日等国开会及访问讲学,除上述国家外还在国内外和俄、丹麦、新加坡、泰国、韩国、印尼、沙特阿拉伯、阿曼、以色列、委内瑞拉、澳大利亚等国朋友进行技术交流。

主要业绩:

长期从事机械制造工程领域教学和科研工作,共先后培养了20余名研究生。70年代集中在数控编程系统的研究与开发,参加过这方面国家级的重点研究工作和组织领导工作,1978年因此获得国家科学大会奖。1979年作为第一批派往英国的访问学者,在成组技术领域是我国派出的第一人。1981年回国后即参加组建中国成组技术研究会,曾多年任副理事长。80、90年代用成组技术为我国机械制造的技术改造做了许多工作。90年代首先将成组技术与高新技术精益生产结合,研究有中国特色的精益生产,这项技术进一步为企业的“三改一加强”服务,使科学技术有可能在生产中再立新功。曾先后获得北京市科技进步三等奖,北京市高校优秀教学成果二等奖,著有:《数控自动编程入门》、《数控自动编程零件程序的编制》、《成组技术》、《成组技术与生产现代化》、《机械工程中的科学前沿》;翻译过数本俄、英著作;近二三十年来曾发表论文90多篇,多半与工业生产的技术改造密切相关。在国内是结合生产实际研究精益生产理论最早的人。北航提出的面向

大规模定制生产的精益生产层的理论在国家自然科学基金和前航空工业部的支持下在国内获得肯定。

第一部分

成组技术与数控、柔性制造系统、 计算机集成制造系统

.

4

.

.

成组技术在英国的发展简介*

· 杨光薰 ·

五十年代苏联成组工艺(简称GT)的发展及其理论基础的建立,带来以后欧洲的GT热。特别是计算机的应用,使成组工艺朝着纵深发展。现在成组技术的范围已经由机械加工迅速扩大到包括铸造、锻造、焊接和热处理等在内的各个领域。成组技术已经发展成为一门专门的科学。

当时英国也是热衷于成组工艺的欧洲国家之一。成组工艺在英国由它自己的发展历史和特点。英国在单元式生产方面进行了许多理论研究和实用研究工作。1960年以来,波尔别奇、爱德华滋、格拉森、格拉汉和郎逊等人在这方面均有所建树。

根据波尔别奇1973年的调查报告,全英国有150家公司采用了单元式生产,亦即成组技术。现在,有的已由单元式生产发展为更加完善的制造系统。

在英国,有人把成组工艺或单元式制造系统的发展分为三个阶段:

1. 单机系统(Single Machine System);
2. 单元系统或多机系统(Cell System or Multi-Machine System);
3. 全总系统或单元式制造系统(Cellular Manufacturing System)。

图1简要地说明了这三个发展阶段所涉及的内容及其相互之间的关系。

单机系统 单机系统是最后发展成为全总系统的第一个阶段,它是以一种工艺方法的成组为基础的,在同一组内的一批零件有相似的外形,尺寸大致相同,采用相同的加工方法,而且是在一台机床(如转塔车床)上完成加工的。在这种情况下,由于零件相似,可以使调整和换刀等工序简化,从而得到“成组利益”。

这个阶段的主要收益是由于简化了机床调整,节省了时间,从而增加了机床的输出。由图可见,它的面很窄,仅限于某些零

件家属成组,与之有关的人员也只是一小部分,可贵之处是它在生产中取得了初步经验,促进了成组工艺的发展。这一阶段的重要标志是建立了编码系统,这是进一步开展成组技术的基础。

单元系统 单元系统是由单机发展而成的多机系统,它大大扩充了原有单机的应用范围。“单元”的概念,有可能满足从原材料直到最后成品的整个零件族的制造,机床可调整成多产品的流水线。这就是说,成批生产由于组成了单元,亦获得了流水生产的好处。

单元系统比单机复杂得多,它涉及机床成组、车间或工段成组布局、成组工夹具、成组加工,以及单元以外的工序的成组处理等等。有人将单元系统的概念扩展到从原材料到成品的全过程,甚至完成日期等问题都可在单元组内讨论决定,这样可以加强单元组内成员对整体和产品前途的关心。

全总系统 这里指的是一个完整的单元制造系统,它不仅限于同类零件的成组安排,以及工具和设备的成组布局,而且还涉及到管理、环境和人。换句话说,全总系统不仅反映了生产特点,而且反映了组织管理特点。

发展中的问题

单元式生产是用成组技术组织生产的一种好形式,它可以给生产带来许多好处(见图2)。成组技术在英国的发展是自发的,取得了一些成果,但后来由于条件关系,在不同企业中的进展不尽相同。有的企业从单元式生产中获得了很大的收益,但有的企业却因条件不具备或其它因素不得不放弃使用成组技术。据调查发现,其主要原因是加工对象编码困难,或者是所选择的对象的成组性差,经济效果不明显。

据分析,仅仅是采用常规的单元式生

产,无法应付千差万别的加工对象变化和市场需求变化。只有采用计算机辅助才能应付这种复杂问题。近年来工程技术界特别注意将成组技术与计算机辅助制造相结合,这样不仅使成组技术的一些老问题迎刃而解,而且使他的应用范围进一步扩大了。

七十年代中期发现,英国的机械制造业落后于其他工业先进国家,从1976年7月起英国国家工程研究所(NEL)着手分析研究英国和其他国家在大批生产自动化方面的活动以及英国未来五年的发展需要。这项研究在同年11月完成,并提出一个所谓ASP计划,即小批生产自动化计划,同时成立了一个学术委员会,负责统筹规划全英国在小批生产自动化方面的技术发展工作。在1979年路易·西姆斯博士担任了该委员会的主席以后,他完成了两项工作:1.争取了英国政府在财政上的支持;2.把原先企图通过机床新结构设计来作为复苏机械制造业的方向,改变为着重抓计算机辅助制造并将管理的重点放在计算机软件上。所以,在最近两年内成组技术在英国的发展很快。

综观世界各国成组技术发展,基本上可将其分成两类,即欧洲型和美国型(见图3)。由图可见,虽然两种类型的发展过程不同,但最后均趋于一致,亦即最后均发展成为成组技术与数控技术、计算机技术相结合的制造系统。各个国家的财力不同,但最后的大方向是一致的。

柔性制造系统在英国的发展情况

柔性制造系统(FMS)这个字眼越来越引人注目。最近,在外国报刊上经常出现“柔性制造系统是机械制造业的方向,是八十年代的新技术”之类的报道。然而迄今许多单位关于FMS的具体材料和经验,均采取了严格的保密措施,在报刊上的报道也限制得很严格。前不久,英国的拉斯米尔教授在全英数值工程年会上作了题为“柔性制造系统在英国的发展”的报告。报告介绍了英国在这方面的研究和发展情况,并对英国的ASP计划作了比较详细的说明,但并没有透露任何实质性内容。

柔性制造系统是在批生产的条件下使生产系统高度集中。流水线上的机床、工作

设备、机器人(机械手)、传递系统、装卸夹持系统以及整个组织管理系统等等系统在计算机控制下动态地协调地进行有效工作。

毫无疑问,高度有效的柔性制造系统必须以成组技术作为其组织基础,这样才能充分发挥装备的作用。不少柔性制造系统的设计者往往是搞成组技术出身的,也有人说法是最高级的GT。

英国在设计FMS方面的经验与西德、日本以及美国以类似的,其特点是:

- (1) 资本雄厚,大量投资;
- (2) 有许多非标准的独特要求;
- (3) 系统内的相互依存性;
- (4) 高度的动态性。

这样一些特点使得在设计FMS时在最优优化方面必然引起工程师之间的竞争,并用计算机模拟技术进行柔性制造系统的方案优选和分析。

英国已经公布于众的柔性制造系统有两个,正预备公开和不公开的系统大约还有4-5个。

英国国家工程研究所和米尔利·布拉克斯通工厂合作,以一台KTM400加工中心机床为基础,搞成一个带自动工件运输装置的加工系统。这套系统先在国家工程研究所调试并验收后,移交给工厂使用,用于加工箱体零件。这是英国ASP计划中的一个展示系统。

英国另一个比较大的计划是由英国政府资助的600集团公司的SCAMP计划,它是从1976年开始制定的一个计算机辅助制造计划。这一系统主要用于加工旋转零件。

系统由十台机床组成;其中有两台车床、两台车削中心、一台齿轴轮、一台齿轴轮滚、一台圆柱外圆磨、一台床、一台齿边打光机和一台轮齿检查机。

SCAMP系统的最大特点是全部采用能自动装卸工件的夹持系统,它由四部分组成:

- (1) 固定在每个加工岗位上的工件喂料座或中间存储库;
- (2) 用Siemens-Fanuc产的Sirobot-1机器人装卸工件,即从货盘上将零件装到机床

BB-140 会话式无后置 数控两坐标自动编程系统

宝山钢铁总厂钢管厂 陈建国

北京航空学院 杨光薰

一、引言

从世界上第一台数控机床诞生后不久的五十年代起,就有人研究使用计算机的数控自动编程系统。三十多年来,随着计算机技术的不断完善和进步,特别是微型计算机的出现,使各种各样的编程系统应运而生。

传统的APT系统由前置处理和后置处理两部分组成。这是由于数控设备的多样化和输入信息尚未完全做到标准化而造成的。APT系统一般需要在大、中型计算机上才能运行。前置处理完成数学计算任务,它不针对某个控制机,只输出刀具运动轨迹的信息,因此具有通用性;后置处理部分主要将前置处理部分的输出结果转换成具体控制机所需要的指令代码。由于数控机床品种繁多,类型各异,使后置处理也变得五花八门。常常有这样的情况:一台数控机床就要专门配一个后置处理程序,这就给推广和普及自动编程系统带来了一定的困难。

为了使数控自动编程系统变得简单、方便和实用,研制了BB-140会话式无后置数控两坐标自动编程系统。这是一个在微机上运行的系统。其最大的特点是没有后置处理部分,对于一般数控车、铣床均不需要专门去配备后置处理程序,且使用中也不需要类似APT那样的专用数控语言。系统用BASIC语言编写,采用会话式,充分利用了微机灵活、操作简便的特点,有一些手工编程基础的程序员,稍加熟悉,就能上机操作,适宜在中、小型企业中普及使用。

二、系统的结构

BB-140系统由两部分组成:BB-140-A主要解决零件轮廓几何元素的计算;BB-

140-B最终完成程序编制工作。此两部分可连在一起运行,也可按需要分开单独运行。

现将分别将两部分的工作原理介绍如下:

1. BB-140-A

这一部分的功能类似APT的前置处理,主要利用零件几何图形,求解出零件各轮廓点的坐标值。本系统是利用点的坐标作为数学计算和编程处理的基本依据的。在实现的方法上,舍弃了APT型系统的传统做法,即依靠专用的数控语言,由定义一条语句开始,经编译处理,再转去进行计算的方法,而采用人机交互对话,辅之以提供菜单由程序员选择的方式,使计算机在程序员意志的直接干预下进行工作。由此,简化了程序结构,缩短了程序运行时间,更主要是使操作使用变得直观而简单。

系统第一部分的工作过程如图1所示。程序启动后,计算机将先问程编号是读软盘上的数据文件(即修改或输出已存入的零件程序),还是一次新零件的计算输入。如要修改程序,计算机即打开数据文件,调出已存在盘上的原零件的各种数据,程序员按一般的操作步骤,可以进行种种修改。如果一次新的输入,则计算机直接显示一张菜单,上面罗列了本系统可供选择的求解四种几何元素的内容。其中P表示点、L表示线、C表示圆、T表示列表曲线。如程序员想求解零件轮廓线上某一点的坐标,只需选择P,按回车键后,屏幕上紧接着会显示P菜单,告诉程序员,本系统所具有的各种点的求解方法。程序员按已知条件,选择其一。按回车键后,系统即转入到数学软件包中相对应的部分,同时根据这一部分的计算要求,向程序员索取原始数据。在接到输入参数后,

计算机运行计算，在屏幕上显示计算结果，同时将计算结果送至输出部分暂存，供打印输出。

本系统配备求解点的方法有 11 种，线的方法有 10 种，圆的方法也有 11 种。各种求解法定义的基本格式和 APT 型系统类同，且尽量采用与 APT 相同的专用字。详见图 2 所列的菜单。

使用时，编程不必搬菜单的形式，只需在菜单的提示下键入一些必要的参数就可以了。

例如，圆的第一条定义方式为：

$C=RADIUS, R, CENTER, P1$

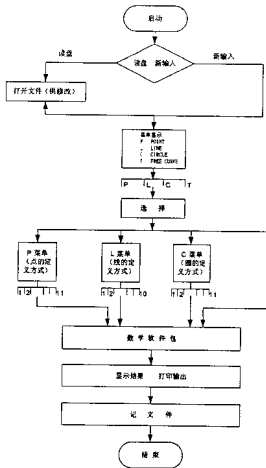


图 1 BB-140-A 工作过程

这一条所表示的意义是：C 是以 P1 点为圆心、R 为半径的圆。所以实际使用时，当在 C 菜单选择 1，并按回车键后，计算机发出要参数的问句“INPUT C, R, P1”，此时程序员只需要键入 C××（要求的圆的代号）、R（半径值）、P××（已知圆心点）就

可以了。

再如，直线第三条定义方式为：

$L=P1, TANTO, C1$

这一条表示 L 是过 P1 点与圆 C1 相切的直线。计算机在索取参数的问句中把 TANTO 改为 L (R)，提示程序员，有两种相切的可能，是左切 (L)，还是右切 (R)？程序员按零件图选择，如键入 L1, P1, L, C1，即可求得过 P1 点与已知圆 C1 左切的直线 L1。

图 2 菜单

P MENU

- 1 P=X, 2
- 2 P=L1, L2
- 3 P=C1, C2
- 4 P=L1, C1
- 5 P=P1, L1, FTTFERF
- 6 P=MODUL, D, Q, T, ANGL, O
- 7 P=C1, CENTER
- 8 P=P1, P2, MIDPOT
- 9 P=P1, SYMMET, L1
- 10 P=L1, P1, D
- 11 P=C1, ATANGL, G

L MENU

- 1 L=P1, P2
L=X1, 21, X2, 22
- 2 L=P1, ATANGL, G
- 3 L=P1, TANTO, C1
- 4 L=C1, TANTO, C2, TANTO
- 5 L=P1, PARLEL, L1
L=P1, PERPTO, L1
- 6 L=L1, LEFT (RIGHT), D
- 7 L=XEQUAL, X
L=2EQUAL, Z
- 8 L=P1, L1, ATANGL, G
- 9 L=TANTO, C1, L1, ATANGL, G
- 10 L=X (2), D, ATANGL, G

C MENU

- 1 C=RADIUS, R, CENTER, P1 (X1, 21)
- 2 C=CENTER, P1 (X1, Z1), P2
- 3 C=P1 (X1, Z1), P2 (X2, Z2), P3 (X3, Z3)
- 4 C=RADIUS, R, P1, P2
- 5 C=CENTER, P1, TANTO, L1
- 6 C=CENTER, P1, TANTO, C1
- 7 C=RADIUS, R, TANTO, L1, TANTO, L2
- 8 C=RADIUS, R, TANTO, L1, TANTO, C1
- 9 C=RADIUS, R, TANTO, C1, TANTO, C2
- 10 C=RADIUS, R, P1, TANTO, L1
- 11 C=RADIUS, R, CENTER, L1, TANTO, C1

为了扩大系统的使用范围，系统增加了用圆弧样条来处理列表曲线的功能。程序员只需键入列表曲线上的一组型值点和两个端点条件，系统即能给出逼近小圆弧段的各标准参数，并以此组织能控制机床加工的数控程序。

为了使用方便，系统还配置了一套编辑程序，程序员可随时纠正操作中的失误，或修改不正确的输入。计算结果可存入文件以备第二部分调用。

至第一部分结束，已求得零件所需轮廓点的数据，此时可直接调用系统的第二部分，开始编程工作。

2. BB-140-B

前面已介绍，用这一部分系统软件编制加工程序不需要专用的数控语言，程序员可使用控制机能直接接受的数控指令，并补充用一些几何元素符号，来比较直观地描述工件轮廓和刀具的运动轨迹。其间，按加工工艺的要求插入一些辅助功能指令和机床控制指令。计算机在系统软件的支持下，完成刀具运动过程中的全部计算（包括轮廓值、刀心轨迹及列表曲线上各插值点的计算等），最终以标准代码格式组织输出。

系统第二部分工作原理见图3。

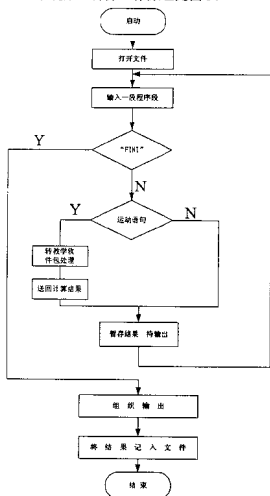


图3 BB-140-B 工作原理

输入的方式和手工编程时相同，以程序段为单位，即每次输入一个程序段。程序员只需给出第一个程序段的程序号及程序号的步长值，则每次输入时的程序号($N \times \times \times \times$)均由系统自动给出。按回车键后，由系统自动给输入的程序段添加 LF (CR) 标记，以符合控制机的要求。

如输入是一句和计算有关的运动语句，则系统调出和运动语句有关的各种信息，转数学软件包作进一步处理。如不是运动语句，则直接送去输出表，准备输出。

在处理运动语句的过程中，计算机根据计算的需要向程序员索取一些必要的参数，如刀尖半径，刀具运动的走向等。各种信息的连续工作也由计算机完成。

下面来看一个具体的例子，图4为一轴类零件。如图按图给出的尺寸计算零件各轮廓点的座标，要作线圆相切和线圆相交等的计算，如要求刀心轨迹，那工作量就更大。

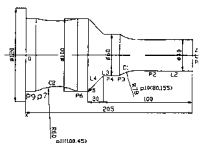


图4 零件例

利用本系统的第一部分，在计算机的帮助

```

JOB<PART NO.>NAME BC
THE DATA OF POINTS
P1=20 205
P2=20 155
P3=30 121.3338
P4=30 105
P5=50 85
P6=50 78.16625
P7=50 11.83375
P8=50 0
P9=60 0
P10=80 155
P11=100 45
THE DATA OF LINES
L1=0 1 -205
L2=1 0 -20
L3=1 0 -30
L4=-20 -20 2700
L5=1 0 -50
THE DATA OF CIRCLES
C1=80 155 60
C2=100 45 60
THE DATA OF SPLINE

```

图5 BC的轮廓值

助下,可以很方便地求出各轮廓点的座标值。现将系统第一部分的计算结果(轮廓值)打印列出(见图5)。P后面两个数是点的X和Z座标。L后面三个数是直线方程 $AX+BY+C=0$ 的系数A、B和C。C后面三个数是圆方程 $(X-XA)^2+(Z-ZA)^2=R^2$ 中的XA、ZA和R。零件名为BC。

```
JOB <PART NO.>NAME BC
N1000 G90 G94 S400 M04 T0001
N 1010 G30 P1 L2
N 1020 G01 P2 F300
N 1030 G02 C1 P3
N 1040 G01 P4
N 1050 P5
N 1060 P6
N 1070 G02 O2 P7
N 1080 G01 W P9
N 1100 G00 XO ZO
N 1110 M02
```

图6 输入的源程序

图6为上述零件按直接输入指令的方法输入的源程序。其中符号P表示点,L表示线段,C表示圆。G90、G94、S400、M04和T0001等均是程序员熟悉的一些机床的控制指令和辅助功能指令,其概念和用法与手工编程完全一样。

G00为快速进给指令,后续的P1点表示进给的终点。当G00后除PXX外还有LXX或CXX的标记时(见N1010程序段),表示这是一条走上轮廓语句,L或C表示PXX所在的轮廓线是直线或圆(此例中P1点位于L2线上)。

G01是直线插补指令,后续的PXX为直线插补的终点,FXXXX表示插补时的进给速度。

G02、G03表示圆弧插补,其含义同手工编程,后续的CXX表示要插补的这段圆弧,PXX圆弧插补的终点。

这些指令的基本概念和用法与手工编程是一致的。为了尽量符合手编的习惯,许多指令均采取了有续效的做法。例如:G90表示绝对座标编程方式,在表示相对座标编程方式的G91指令出现前,将一直有效。再如G01指令也有续效,当连续对G01编程时,G01只需书写一次,在后续的程序段中将续效有效(见N1050和N1060程序段)。

当刀具要退出轮廓线时,在G01(或G02、G03)指令加一个“W”字母(见N1090程序段),表示这一个程序段中刀具将走到轮廓加工的最后一点(对一把刀一次切削而言)。

采用以上这些符号,使源程序的书写变得非常直观、简单,很容易为一般的程序员接受和掌握。

计算机接受上述程序之后,最终的输出见图7所示(输出的是刀心轨迹,刀尖半径为1。)很显然,这就是机床控制机所需要的指令代码。如后接纸带穿孔机就能穿出加工纸带,或后接绘图仪,可画出零件形状,

```
N1000G90G94S400M04T0001LF
N1010G00X 21000Z 205000LF
N1020G01X 21000Z 155000F300LF
N1030G02X 31000Z 1221371 60000OLF
N1040G01X 31000Z 10541LF
N1050X 51000Z 85404LF
N1050X 51000Z 121370 50000K-33166LF
N1080G01X 51000Z 1000LF
N1090G01X 60000Z 1000LF
N1100G00X O2 OLF
N1110M02LF
```

图7 计算机输出

以检验程序的正确性。

三、结束语

由上述可知,本系统采用直接输入指令的方法,程序员用一些简单的符号将计算工作交给了计算机。虽然各种不同类型的数控机床对指令的格式和要求有些不同,但程编号可以有针对性地解决不同机床的一些不同的需要,使系统中不必要专门配置后置处理程序。这对促进自动编程的推广应用是非常有利的。用户只需配备一台微型机、一台纸带穿孔机和绘图仪,就可以开展自动编程工作。