

高等学校教学参考书

GAODENG XUEXIAO JIAOXUE CANKAOSHU

机械制造中的自动生产线

談宗 吳汉榆 編

只限学校内部使用



机械工业出版社

高等学校教学参考书



机械制造中的自动生产綫

談 宗 吳 漢 榆 編

江苏工业学院图书馆
藏书章



机械工业出版社

本书系统地阐述了机器制造业中，有关自动生产线的根本问题。

全书共分八章：第一章从设计和使用各种设备的观点，分析影响自动线生产率的主要因素，以及提高生产率的途径；第二章较系统地阐明设计自动线的主要原则性问题；第三、四、六章介绍自动线所用的各种工艺设备，典型机构和操纵系统；第五章介绍检验过程的自动化；第七章介绍各类典型的自动线；第八章介绍装配工艺过程自动化的有关问题及装配自动线。

本书可作为高等工业学校机械制造工艺及设备专业的学生学习《机械制造工艺过程自动化》课程的数学参考书，也可作为机械制造工程技术人员从事设计自动线的参考书。

机械制造中的自动生产线

谈宗 吳汉榆 編

《根据中国工业出版社纸型重印》

*

第一机械工业部教材编审委员会編輯（北京复兴門外三里河第一机械工业部）

机械工业出版社出版（北京苏州胡同 141 号）

（北京市书刊出版业营业許可証出字第 117 号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ · 印張 19 · 插頁 4 · 字数 452 千字

1965 年 6 月北京新一版 · 1965 年 6 月北京第一次印刷

印数 0,001—2,000 · 定价（科五）2.30 元

（1964 年 6 月北京第一版）

*

統一书号：K15033 · 3924

前 言

本书系机械制造工艺及设备专业的《机械制造工艺过程自动化》课程教学参考书，书中阐述了有关机器制造自动生产綫的主要問題，同时对于单工序自动化的主要内容（如机床自动化改装、自动上料、自动檢驗等）也相应地作了介紹。編写时以本室所編讲义为基础，参考了国内外自动化方面的先进經驗和有关資料。

本书由談宗、吳汉榆同志負責主編。第四章部分內容是由朱启逯同志編写的。初稿完成后，曾由清华大学鄒致圻、罗延秀、駱君濤等同志以及第一机械工业部机床研究所馬开疆同志审閱，提出了不少宝贵的意見，在此謹致謝意。

但是，由于編写这本教材尚屬初次尝试，缺乏教学实践經驗，同时亦受編者水平所限，书中的錯誤和欠妥之处在所难免，希同志們提出批評和指正。

华中工学院机械制造工艺教研室

1961.12.

目次

前言

緒論	1
----------	---

第一章 自动綫生产率的分析

§1-1 自动生产綫的基本概念	3
§1-2 分析自动綫生产率的目的	5
§1-3 影响自动綫生产率的因素	6
§1-4 自动綫生产率的数学分析法	11
§1-5 提高自动綫生产率的途徑	18

第二章 自动綫設計原理

§2-1 設計和建立自动綫的指导思想	20
§2-2 設計自动綫的内容和步驟	20
§2-3 自动綫的总体設計	21
§2-4 自动綫工艺方案的設計	32
§2-5 成組加工自动綫的設計特点	44
§2-6 自动綫的加工精度	49

第三章 自动綫基本工艺設備的选择

§3-1 自动綫采用基本工艺設備的类型	53
§3-2 影响选择自动綫工艺設備的因素	55
§3-3 通用机床的自动化改装	56
§3-4 专用机床	84

第四章 自动綫的典型机构

§4-1 概述	95
§4-2 运输設備	95
§4-3 自动上料裝置	118
§4-4 儲料裝置	145
§4-5 定位和夹紧机构	152

§4-6 自动綫上刀具的更換与調整	166
-------------------------	-----

§4-7 排屑机构	178
-----------------	-----

第五章 檢驗过程自动化

§5-1 概述	183
§5-2 測量发送机构	185
§5-3 零件在加工过程中的自动檢驗	198
§5-4 檢驗自动机	213

第六章 自动綫的操纵系統

§6-1 概述	220
§6-2 自动綫的电气控制系統	222
§6-3 液压和气压裝置在操纵系統中的 应用	232
§6-4 自动綫中的連鎖保护与信号裝置	237

第七章 典型的自动綫

§7-1 組合机床自动綫	243
§7-2 齿輪加工自动綫	255
§7-3 电动机轉子軸加工自动綫	260
§7-4 旋轉型自动綫	264

第八章 装配过程自动化

§8-1 概述	274
§8-2 自动装配过程中零件的定向和 定位	274
§8-3 制訂自动装配工艺过程的主要 原則	280
§8-4 装配自动綫实例	283

参考文献	298
------------	-----

緒 論

在現代生产发展的过程中，随着工业技术水平不断的提高，在生产自动化方面已取得了很大的成就；同时，生产自动化的发展，对于不断提高劳动生产率和促进社会生产的发展，也起了重大的推动作用。

生产过程机械化使这一过程中的基本劳动（用于直接改变原材料使之变成产品的那部分劳动）得以用机器来代替；而实现生产过程自动化的結果，就进一步使工人从輔助性的劳动（装卸、測量、运输工件等）中解放出来；工人的劳动强度因而可以大为減輕。

在社会主义制度下，实现生产自动化，可以使劳动生产率得以成倍，甚至几十倍地提高；稳定地提高产品的质量；降低产品的成本。因此，生产自动化的經濟效果是显而易見的。

生产自动化的意义，不仅表现在技术經濟方面，还体现在政治效果上。实现生产自动化可以加速社会生产力的发展，改善企业生产的技术面貌和工人的劳动条件，并为逐步消灭体力劳动和脑力劳动的差别創造条件。因此，生产自动化是社会主义工业化的必然趋向。

我国自解放以来，在党的英明领导下，在建立工业基础方面，不断地取得了偉大的成就。在第一个五年计划期間，建立了不少現代化的生产企业，从而为建立起自己的工业体系，为迅速地发展国民經济奠定了基础。在生产自动化方面，我国的若干机床制造厂已能生产多种类型的自动化与半自动化机床，并开始了組合机床与自动綫的設計和制造。同时，在生产中，广大职工不断地进行了技术上的革新和創造，开始应用了許多自动化机构和装置，并在一些工业部門內取得良好的經濟效果。

随着我国工农业的迅速发展，在党所提出的总路綫的光輝照耀下，許多工厂企业，科学研究部門以及高等工业学校大搞技术革新和技术革命；对生产自动化进行了广泛的試驗研究工作，从而取得了不少可貴的經驗，为今后大力发展生产过程自动化提供了有利的条件。

自动化的基本内容包括三个方面：用于成批及单件小批生产的单台机床自动化（包括数字程序控制机床）以及程序控制机床自动綫；建立大批大量及成批生产的自动生产綫；建立大量生产的綜合自动化車間和工厂。

目前，国外发展生产自动化的基本方法在于：研究設計由标准部件組成的自动綫，以增加自动綫的产量（組織成批生产）；集中精力将劳动量最大的工序及产品实现自动化生产；輔助设备（如自动上料、运输机构等）由专业部門設計及生产。为了完成这些工作，已經設立专业部門，分工进行。

就我国当前的生产技术水平和具体条件来看，在机械制造方面，自动化的重点宜首先放在单机自动化的发展上，以普遍提高生产的机械化和自动化水平；并在总结已有經驗的基础上，在有条件的工厂中建立一些自动綫，为今后进一步发展自动化創造技术前提。目前，在我国的汽車拖拉机制造业以及某些內燃机制造厂中，已經建立了一些組合机床自动綫，并在生产中收到了提高劳动生产率的显著效果；这些工厂正在繼續进行建立自动綫的

工作。同时，某些专业部門和工厂已建立了电动机轉子軸加工，滾珠軸承环加工等試驗性的自动綫；对組合机床和組合机床自动綫正不断进行研究和探討；在建立旋轉型装配自动机和自动綫方面，已有若干工厂取得了不少成就。从当前的一片大好形势中，可以清楚地瞻望到生产自动化在我国具有极其廣闊的发展前途。

自第二次世界大战結束后以来，資本主义国家（例如美国）的自动化技术水平，也有一定程度的发展。在主要的工业部門，如汽車制造业、航空工业、軸承制造业和仪表制造业中，都建立了不少自动生产綫，例如汽車制造业中的自动綫和机床制造业中的多品种可調整自动綫等，也都反映了具有一定的技术水平。尤其在机床的数字程序控制技术方面，較广泛地进行了研究，并已开始应用于生产之中。

尽管在資本主义国家中，自动化的发展在技术上已取得了一定的成就，但是还必须看到，在两种不同社会制度下，实现生产自动化的目的、方法和社会影响是截然不同的。資本主义社会制度的本质决定了，在它們发展生产自动化的过程中，包含了深刻的、不可調和的階級矛盾。

在資本主义国家里，实现生产自动化的后果是迫使大量的工人失业。例如，美国福特汽車工厂，自1950~1954年实行自动化生产的結果，裁减工人約22.5%。根据統計，“美国全部工业系統中，采用自动化的水平平均每年只要增加5%，那末就至少会有300万工人将被迫失业”^①。資本主义国家的生产自动化意味着掌握基本生产資料——机器和原材料等的大資本家财富大量增长，而劳动力的开支显著縮减。因此，資本主义的根本矛盾——生产的社会化和生产資料的私人占有制之間的矛盾，就更加尖銳化了。

其次，从技术发展的角度来看，生产自动化本来是改善工人的劳动条件、促进社会生产力发展的重要技术手段之一。但是，由于資本家所追求的是最大限度的利潤，他們是否采用自动化这一先进技术，也是以这一点为准则的。因此，資本主义的腐朽性，束縛了自动化的正常发展。在他們所采用的自动化生产设备上，工人不仅沒有減輕体力劳动和改善劳动条件，反而要担負更繁重的工作。因为此时資本家可以雇用少数工人整天緊張地照管着机器的工作，有时甚至把工人用体力劳动所完成的某些頻繁的操作，与机器自动工作系統相联，使工人变成了机器的附屬机构；而同时大多数的工人却被排挤在工厂的大門之外。

资产阶级的学者为了掩盖資本主义制度剝削的本质及其存在的不可克服的矛盾，涣散及麻痹工人階級的斗志，宣揚“階級斗争消亡論”，鼓吹“自动化可以消灭貧困”，“技术革命可以代替社会革命”。此外，他們还大力宣揚“劳动消灭”論，鼓吹机器可以全盘代替人的劳动，企图借以威吓工人就范，使之不敢向資本家进行斗争。

我們在研究生产过程自动化問題的同时，必須认清这些形形色色的反动的、修正主义的观点和論調的实质，并加以彻底的揭露和批判。

《机械制造工艺过程自动化》是一門綜合性的专业课程。其目的在于研究各种高生产率的工艺过程自动化的方法；探討实现这些方法最合理的方案及設計或选用实现这些方案的各种自动化設備和装置。

研究本課程必須具备《机械制造工艺学》、《机床設計》、《金屬切削机床电力設備》、《金屬切削机床液压傳动》及《刀具設計》等专业理論知識及生产实际知識。

① “自动化在帝国主义国家”，載《紅旗》杂志1959年第10期，45頁。

第一章 自动綫生产率的分析

§1-1 自动生产綫的基本概念

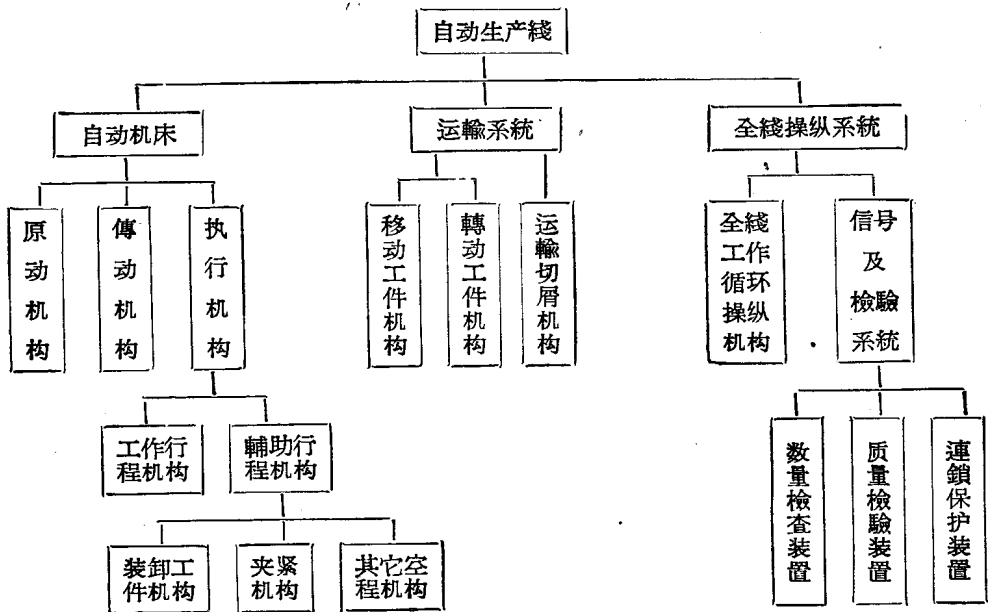
为了全面概括地分析自动綫生产率的一般規律，須先了解其基本类型和主要特点。

(一) 自动綫的一般特征

在一个自动机床的組合系統中，使毛坯或半成品(在装配时是零件)以一定的节拍，按工艺順序自动地經過各个工位，完成預定的工艺过程，最后成为合于設計要求的制品。則这种用运输設備联系起来的自动机床系統与其他各种設備(如檢驗裝置、儲料裝置、控制机构等)的有机組合体，称为自动生产綫。

自动生产綫(簡称自动綫)除了在工艺上具有流水生产的一般特征以外，还具有它自己的特点。例如在自动綫中，各工序的基本工艺操作和輔助操作以及工件在工序間的运输，都是不需要工人直接参予而自动进行的；全綫具有統一的自动操纵系統；它比流水綫具有更严格的生产节奏性等等。

組成自动綫的各主要部分，可以用下列系統图表概括地表示。



(二) 自动綫的类型

自动綫可以按不同的特征进行分类，例如，根据組成自动綫的机床类型可分为：通用机床自动綫、专用机床自动綫，組合机床自动綫等；根据工作性质可分为：切削加工自动綫、装配自动綫、热处理自动綫等等。

根据不同的特征将自动綫加以分类，是为了便于从某一方面，深入研究其內在的联系

和掌握其规律性。因此，从便于分析和了解其生产率规律这一角度出发，可以根据自动线工作的连续性，将它分为下述两大类型。

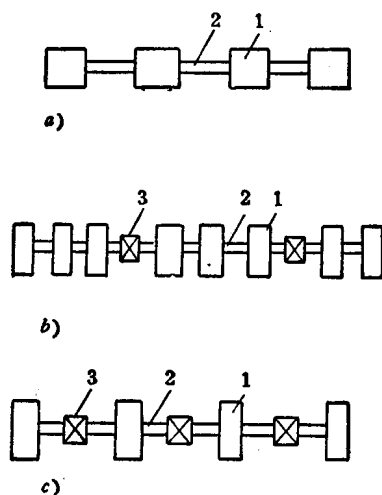


图 1-1 顺序组合的自动线

1—机床；2—运输设备；3—储料装置。

前，可以不影响其他机床或工段的工作。在图 1-1 c 中每台机床之间都设置了储料器；因此，当储料器中的备件有足够的数量时，各台机床的故障可以互不影响机床的连续生产。

2) 平行-顺序组合的自动线。这类自动线的基本形式如图 1-2 a、b 所示， p 条平行组合

I) 周期性工作的自动线。它的特点是当自动线对零件进行加工时不进行运输，而运输过程中不能同时进行加工；即零件的加工过程和运输过程在时间上截然分开，二者周期性地交替地进行。目前大部分的切削加工和装配自动线都属于此类。这一类型的自动线按其组合型式，又可以分为顺序组合和平行-顺序组合两种。

1) 顺序组合的自动线。它由若干台机床串联组合而成，有不分段和分段的两种形式。图 1-1 a 所示为不分段的顺序组合自动线，这种自动线的主要缺点是：当某一台设备或个别机构发生故障时，会引起全线停歇。图 1-1 b 所示为分段的自动线，在每段之间设置储料器。假如由于故障使某一机床或某一工段停歇时，则在储料器中的备件未用完以

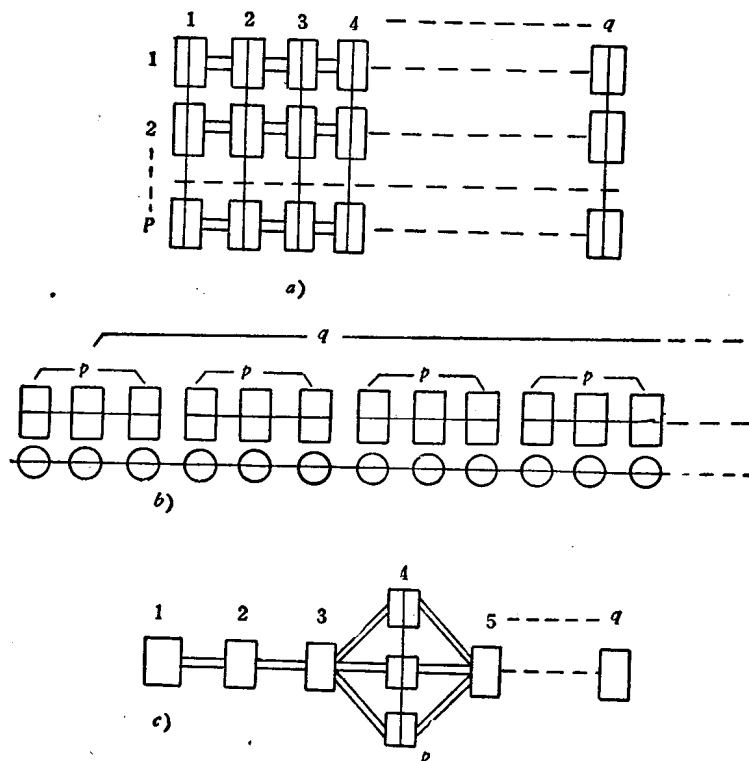


图 1-2 平行-顺序组合的自动线。

的自动线，每一条又以 q 台机床顺序组合。在某些情况下，这类自动线为平行组合与顺序组合的混合形式，如图1-2c所示，在顺序组合的自动线中，为了平衡机床的生产节拍，某些工序用 p 台机床平行组合，但这种自动线的生产率实际上是和顺序组合自动线一样的。

Ⅱ) 连续工作的自动线。零件在连续传送的过程中同时进行加工。例如滚压加工的自动线、通过式无心磨削加工自动线等。在这类自动线中，零件的传送速度就是工艺速度，两者有着直接的牵制关系。

有一种连续工作的旋转型自动线，其零件的传送速度与工艺速度没有直接的联系。如图1-3a所示为旋转型自动线的平面布置示意图；图1-3b为外观图。其中 P 表示工作转子， T 表示传送转子。在这种自动线的运转过程中，工具随着零件一同转动，并对零件进行加工^①。

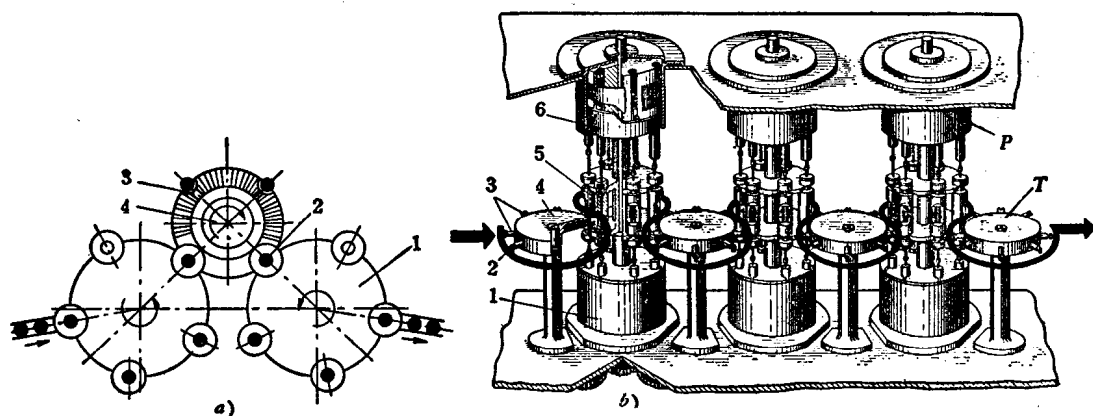


图 1-3 旋转型自动线

a) 平面示意图；b) 立体外观图。

1—工作转子；2—工件；3—机械手；4—传送转子；5—工作头；6—凸轮。

§1-2 分析自动线生产率的目的

在自动线中须自动地完成某一工艺过程，同时它所包括的各种设备和机构的类型、数量都很多，技术环节是多种多样的。因此影响自动线生产率的因素非常繁杂，而且各因素之间又常常会相互牵连影响。在设计、建立自动线以及使用过程中，了解影响自动线生产率的主要因素，掌握其生产率变化的规律是很重要的。

建立自动生产线使工艺过程自动化的主要目的之一，是为了有效地提高劳动生产率；因此，生产率是衡量自动线好坏的主要指标之一。在建立自动线时，对其生产率规律，系统地进行分析，是为了掌握主要的影响因素，从而找出保证和提高生产率的有效途径。

必须指出，在分析自动线生产率的时候，不应单纯从一些数学公式上进行运算和推导；更重要的是要联系实际，对自动线具体的设备、结构、工作特点和工艺的复杂性等方面作全面的分析，而应用具有概括性的生产率公式，只是为了帮助我们了解和掌握其工作

① 关于旋转型自动线的工作原理和结构特点详见第七章。

規律，加深我們对自动綫工作特点的了解，有利于进行設計、調整和使用。

其次，在全面了解生产率規律的基础上，还須注意与实际条件的联系。在每一具体情况下作具体的分析；应当从各种影响因素中，找出主要的矛盾。只有首先针对主要問題，提出相应的解决办法，才能有效地达到保証和提高生产率的目的。

§1-3 影响自动綫生产率的因素

(一)自动綫工作循环的分析及時間損失的概念

在任何一台机床上，完成某一零件的加工循环時間，都是由基本工艺時間和空程輔助時間所組成的。即使是高生产率的自动化机床，其工作循环仍然也包括了加工和空程动作。例如在多軸自动車床上，除了加工時間之外，还有送料、主軸筒轉位、刀架快速引进和退出等空程輔助時間。

对于自动綫的工作循环也不例外；而且它还包括了更复杂的循环过程。分析其自动工作循环，系由下列一些单元动作所組成：

- (1) 自动上料；
- (2) 定位和夹紧；
- (3) 工艺执行机构(如刀架溜板、动力头等)快速趋近工件；
- (4) 加工零件；
- (5) 自动测量并發出訊号；
- (6) 执行机构快速回程；
- (7) 夹紧机构松开零件；
- (8) 卸料；
- (9) 自动运输零件至下一工位(机床)。

在上述的单元动作中，有的在時間上是可以重合(或重合一部分)的，有的則不能重合。不相重合的单元动作時間的总和就构成自动綫的工作循环時間，除了对零件进行加工的工艺時間以外，其余都是空程輔助時間。

如果不計其他時間因素，則自动綫的工作循环時間可以表示为

$$T_u = t_p + t_x, \quad (1-1)$$

式中 t_p ——基本工艺時間；

t_x ——空程輔助時間。

單純由工作循环時間所决定的生产率公式为

$$Q = \frac{1}{T_u} = \frac{1}{t_p + t_x} = \frac{K}{1 + K t_x}, \quad (1-2)$$

式中 $K = \frac{1}{t_p}$ ——工艺生产率(无空程輔助時間消耗的理想的生产率)。

显然，如果要依靠减少工作循环時間来提高生产率，則必須同时設法减少工艺時間 t_p 和空程輔助時間 t_x 。按照公式(1-2)可以繪出一組曲綫，如图1-4所示。从图中曲綫可以看出：

- (1) Q 的提高不与 K 的增长成正比例，只有同时减少 t_p 和 t_x 才能有效地提高生产率；
- (2) 当 t_x 愈小，增大 K 时， Q 的提高就愈显著；而当 K 愈大时，减小 t_x 对提高生产率的

收效愈大 (图中 $\Delta Q_2 > \Delta Q_1$)。由此可以知道, 二者是相互促进的。当 K 增大到一定程度时, 必须进一步提高自动化程度以减少 t_x , 生产率才能进一步提高; 而 t_x 的进一步减少, 又会促使我们从增大 K 这方面着眼来继续提高生产率, 即促使先进工艺的进一步发展。

以上所述, 表明了自动线工作循环本身的规律。但实际上, 在长时期工作过程中, 自动线常会因某些必然的或意外的原因而使自动循环中断, 即引起自动线停顿。除了基本工艺时间以外, 所有各种非生产性的时间消耗, 统称之为时间损失。

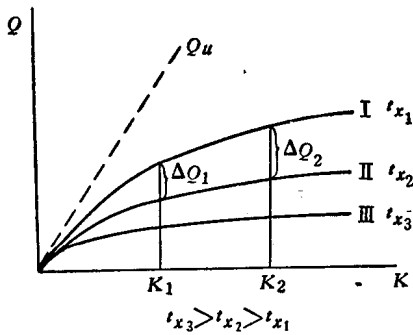


图 1-4 生产率与工艺生产率的关系

上述包括在工作循环以内的空程辅助时间消耗, 称为循环内的时间损失, 它在每加工一个零件时, 都要重复出现。自动线因故停顿所消耗的时间, 称为循环外的时间损失。自动线连续工作了某一段时间之后的循环外时间损失, 在计算生产率时, 必须分摊到在此期间所加工出的每一个零件上去。

循环内和循环外的时间损失, 可以分为下列六类。

(1) 第 I 类: 循环内的空程时间损失。它与工作循环所包括的空程辅助动作有关, 例如刀架的空回程, 装卸工件, 检验零件等。以 t_x 表之。

(2) 第 II 类: 与刀具使用有关的时间损失。例如因更换、调整刀具, 局部刃磨及微调整所消耗的时间。以 t_u 表之。

第 II 类时间损失可以用所有刀具因更换和调整所耗时间的总和来表示, 即:

$$t_u = \sum_{i=1}^n \left(\frac{t_p}{T_i} \cdot \frac{a_i}{t_p} \right) t_i = \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{T_i} t_i \quad (1-3)$$

式中 $\left(\frac{t_p}{T_i} \cdot \frac{a_i}{t_p} \right)$ ——分摊到每一零件上的换刀次数;

t_p ——单件基本工艺时间(分);

a_i ——第 i 把刀具在切削速度为 v 时加工一个零件实际参加切削的时间(分);

T_i ——第 i 把刀具在切削速度为 v 时的耐用度(分);

t_i ——每次更换和调整第 i 把刀具所消耗的时间(分);

n ——刀具的数目。

为了使切削速度的变化也在公式 (1-3) 中得到反映, 我们可以设:

$$v = v_0 x, \quad (1-4)$$

由于工艺时间与切削速度成反比, 故有:

$$t_p = \frac{t_{p0}}{x} \quad (1-5)$$

$$a_i = \frac{a_{0i}}{x}, \quad (1-6)$$

式中 v_0 ——某一初选的切削速度(米/分);

x ——切削速度变化系数;

t_{p0} ——由切削速度 v_0 所决定的工艺时间(分);

a_{oi} ——第 i 把刀具在切削速度为 v_0 时实际参加切削的时间(分)。

又根据切削原理知:

$$T_i = \frac{A}{v^{z_i}} = \frac{A}{v_0^{z_i} x^{z_i}};$$

而

$$T_{oi} = \frac{A}{v_0^{z_i}},$$

故有

$$T_i = \frac{T_{oi}}{x^{z_i}}, \quad (1-7)$$

式中 T_{oi} ——第 i 把刀具在切削速度为 v_0 时的耐用度(分)。

将式(1-6)及(1-7)代入式(1-3)中, 最后得:

$$t_u = \sum_{i=1}^n \left(\frac{a_{oi}}{T_{oi}} \right) t_i x^{z_i-1} = \sum_{i=1}^n C_i x^{z_i-1}, \quad (1-8)$$

式中

$$C_i = \frac{a_{oi}}{T_{oi}} t_i.$$

(3)第Ⅱ类: 与工艺设备及辅助设备的使用有关的时间损失, 主要花费在修理设备和恢复正常工作的调整等方面。以 t_e 表示之。

(4)第Ⅳ类: 与劳动组织工作有关的时间损失。例如缺少加工材料; 工人缺勤; 换班等延误的时间。

(5)第Ⅴ类: 与产生废品有关的时间损失。例如因机床、刀具调整不好, 原材料或毛坯质量差而产生废品等。

(6)第Ⅵ类: 在转换生产另一批产品时所花费的准备——终结时间。

上述第Ⅱ、Ⅲ类时间损失在自动线的工作过程中总是会存在的, 只是随工艺设备、工艺装备、辅助设备及附加装置的完善程度不同, 存在量的差别而已。这些设备和装置的工作寿命愈短, 可靠性愈差则第Ⅱ、Ⅲ类时间损失就愈大。至于第Ⅳ类时间损失主要决定于生产组织管理工作完善与否, 而与生产技术及设备的工作条件无关; 第Ⅴ类时间损失在正常的生产情况下是不允许存在的; 在属于大量大批生产规模的自动线中, 第Ⅵ类时间损失所占比重极小。因此, 在以后的分析中主要只考虑与生产技术及设备条件有关的第Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类时间损失。

根据上面的分析可知, 对于在每台机床之间都设有储料装置的(即所谓柔性联接的)自动线(见图1-1c)而言, 由于工序间储料装置的作用, 各机床的循环外时间损失互不影响, 所以其生产率可用下式表示^①:

$$Q = \frac{1}{t_p + t_n + t_e}, \quad (1-9)$$

式中 $t_n = t_u + t_e$ ——分摊到每一个零件上的循环外时间损失。

我们如果再分析一下第Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类时间损失的性质便可看出, 所以引起这些时间损失, 总不外是由于工艺上的问题和设备上的缺点及故障。从这两个主要方面去认识影响自动线生产率的因素, 可以帮助我们从整体上正确了解自动线的工艺和设备的关系, 从而有助于进行设计工作以及解决调整和使用过程中所发生的问题。

① 关于各种类型自动线的生产率公式详见§1-4。

(二)影响生产率的工艺因素

首先,工艺上的问题是建立自动线的基础。自动线的工艺设备、工艺装备以及各种辅助装置都须根据已定的工艺方案进行设计或选择的,因此,工艺方面的因素往往对自动线的生产率起着根本的影响。这些影响可能直接反映在使用时的某些具体问题上(例如因切削用量选择不当而致降低了生产率);但也可能虽表现为具体结构上的问题,而实际上是由于工艺问题解决不好所带来的薄弱环节。

工艺问题最重要的一个方面是自动线的工艺方案。虽然在拟订工艺方案时首先须解决保证产品质量的问题,但无论是工艺过程的拟订、工序集中与分散的合理程度、工艺方法和工艺设备的选择等等,都对自动线的生产率有着重大的影响。例如,在选择零件的定位基准时,如果仅仅根据一般的工艺原则,而没有同时考虑自动安装的工作特点,就有可能使自动定位和夹紧机构显得比较复杂,并且由于工作的稳定性、可靠性较差而需要经常调整,以致增加自动线的停歇时间。

拟订合理的工艺路线,和选择先进合理的工艺方法及工艺设备,是消除自动线中的生产薄弱环节和提高其生产率的前提条件;它同时也可作为平衡工序的节拍、加强自动线的生产节奏性准备好必要的条件。

其次,对象产品结构的工艺分析,以及在某些情况下根据可能性对产品结构作适当的改进,也是重要的一方面。从自动线的工作特点和要求出发,将产品结构进行合理的改革,可以收到减少加工工序、缩短工艺路线及运输过程的效果,有利于自动地完成工艺过程,从而在提高自动线工作的可靠性和保证生产率方面,起着重要的作用。

至于合理地选择切削工具和加工用量,则是在研究自动线生产率的时候,必须直接解决的问题。

在第二章中,将对拟订自动线工艺方案中的各个主要问题,作进一步的分析和讨论。

(三)影响生产率的设备因素

在自动线中包含了大量的工艺设备,工艺装备和各种辅助设备及装置。前述的第I、II、III类时间损失,最终都直接反映为各种设备上的问题。循环内的时间损失主要与设备的设计有关;而循环外时间损失则与设备的设计、选择、使用(包括调整、管理和维修)等方面有关。

自动线中的各种设备、机构和元件,经过一定时间的使用,总可能会发生故障的。即使在正常良好的工作条件下,在一定的时间以后,这些设备、机构和元件也会失去工作能力。例如,刀具的磨钝,夹具中导向套筒磨损,电触头因烧蚀而接触不良等等。自动线因设备故障而停歇时,必须花费一定的时间来进行检修和调整。用以重新恢复自动线的工作能力所需的技术时间,称之为调整时间(或称调整劳动量)。

必须明确,“调整时间”不能与“停歇时间”混为一谈,因为后者还可能包含了不合理的组织工作因素在内,而我们主要研究与技术有关的时间损失。

为了便于分析和研究调整时间的性质和规律,可以将自动线中的设备、机构和元件归纳为下列十类,见表1-1。

调整时间一般都以调整时间系数(或称调整劳动量系数)来表示。如果在一段相当长的时间 Φ 内观察自动线的工作情况。在此时间内自动线实际工作时间为 R ,而花费的调整时间为 T ,则调整时间系数 B 表示为:

表 1-1

序号	自动綫設備的組別	調整時間系数的符号	引起自动綫停歇的原因	附 注
一	刀具	B_u	刀具磨損, 变鈍, 崩刃, 破坏了原始調整等。	在决定 B_u 的大小时, 考虑自动綫中所有的工艺和輔助工具及其調整。
二	夹具	B_n	定位元件弄脏, 定位不正确, 丧失了工作可靠性, 刀具引导元件磨損等。	在决定 B_n 的大小时, 只考虑夹具本身所有的定位, 夹紧, 导向等元件。
三	机械設備	B_m	各种类型的支承, 导轨, 傳动鏈等的故障。	在决定 B_m 的大小时, 考虑自动綫中所有各种設備(如机床, 夹具, 运输設備等)的机械傳动(儲料裝置的傳动除外)。
四	电气設備	B_e	仪表失調, 触头燒坏, 失灵, 电路故障, 保护装置跳开等。	在决定 B_e 的大小时, 考虑自动綫中所有各种設備的控制系統及电动机(儲料裝置的电气設備除外)。
五	液压設備	B_z	加注油液, 更换和調整液压元件, 管道故障等。	在决定 B_z 的大小时, 考虑自动綫中所有各种設備的液压傳动(儲料裝置的除外)。
六	气压設備	B_g	調整气压元件, 气缸及閥有水鏽, 气路故障等。	决定 B_g 的大小时, 考虑所有設備的气压傳动(除儲料裝置以外)。
七	热力設備	$B_{T.M}$	热元件工作失調, 炉內衬磚損坏等。	决定 $B_{T.M}$ 的大小时, 只考虑加热炉, 干燥器等本身的各組成部分。
八	檢驗設備	B_k	測量元件弄脏, 量杆变形, 元件磨損, 破坏了調整精度等。	决定 B_k 的大小时, 考虑所有檢驗設備, 包括各种自动調整的仪器。
九	运输設備	B_r	机构失灵; 工件歪斜, 卡住; “越程”等。	
十	儲料裝置	B_o		决定 B_o 的大小时, 考虑儲料裝置本身的各种机构及其傳动和电气設備。

$$B = \frac{T}{R}. \quad (1-10)$$

根据积累和分析大量的实际資料, 得出調整時間 T 和实际工作時間 R 之比, 这样的相对数值, 就可以作为評定自动綫完善程度和工作优劣的指标之一。

在研究調整時間系数时, 可以对表 1-1 中所列各类設備分別觀測和記錄其調整時間。例如对于液压設備可写为:

$$T_z = \sum_{i=1}^n T_{zi}, \quad (1-11)$$

$$B_z = \frac{T_z}{R} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{zi}}{R}, \quad (1-12)$$

式中 n ——液压元件总数。

全綫的調整時間系数 B_o 系自动綫中各类設備、机构、元件的調整時間系数之和, 即:

$$B_o = \sum_{i=1}^{10} B_i = \sum B_u + \sum B_n + \dots + \sum B_o \quad (1-13)$$

上述各类設備中, 除刀具的調整時間 T_u 中与磨損有关的一部分可以掌握其变化規律(可以用公式表示)外, 其余的都因实际条件的影响而变化无常。因此, 調整時間系数必須在对生产实践中运行的自动綫作大量觀測和分析歸納实测数据的基础上来决定。所觀測的時間間隔 ϕ 愈长, 积累的資料愈多, 則調整時間系数愈准确。对于刀具的調整時間系数

B_u , 由于主要与刀具的磨损规律有关, 故可根据式(1-8)近似地表示为:

$$\begin{aligned} B_u &\approx \frac{t_u}{t_p} = K \sum_{i=1}^n C_i x_i^{-1} = K_0 x \sum_{i=1}^n C_i x_i^{-1} \\ &= K_0 \sum_{i=1}^n \frac{a_{oi}}{T_{oi}} t_i x_i^{-1}. \end{aligned} \quad (1-14)$$

研究自动线的调整时间系数, 有助于我们了解自动线中各类设备、机构和元件的工作特性, 和对各种机构、元件的工作可靠性有足够的认识; 在建立新的自动线时, 用作设计的参考资料, 对于保证自动线的生产率和使用性能以及保证设计速度和质量方面, 可以起一定的作用。在这方面, 苏联金属切削机床科学实验研究所 (ЭНИМС) 已作了一定的研究工作^①。

§1-4 自动线生产率的数学分析法

在已经分析了影响自动线生产率有关因素的基础上, 可以进一步对自动线的生产率规律作概括性的数学分析。

前已述及, 在自动线的工作过程中, 除了消耗于完成基本工艺的时间 t_p 和空程辅助时间损失 t_x 以外, 还包括了由各种原因所引起的循环外时间损失 t_n 。由于循环外时间损失对各类自动线生产率的影响不同, 所以须对不同组合类型的自动线建立不同的生产率公式。

对于顺序组合而且每台机床之间设有储料装置的自动线, 其特性就如同各机床彼此独立工作且具有严格同期性的流水线一样, 故其生产率可按式(1-9)表示为:

$$Q_{n.s.} = \frac{1}{t_p + t_x + t_n}.$$

如果将 p 条这样的自动线平行组合起来, 则这种平行-顺序组合的自动线, 其生产率将提高到 p 倍, 故生产率公式为:

$$Q_{n.s.(pq)} = \frac{p}{t_p + t_x + t_n}. \quad (1-15)$$

在另一种情况下, 如果平行-顺序组合的自动线没有任何中间储料装置, 则当某一台机床因故停歇时就会引起全线停歇。此时, 由于 p 组并联, 其生产率本应提高到 p 倍, 但因循环外时间损失随之增加到 pq 倍, 所以生产率公式应表示为:

$$Q_{a.s.(pq)} = \frac{p}{t_p + t_x + pq t_n}. \quad (1-16)$$

至于以“刚性”相联系的顺序组合自动线(即相当于 $p = 1$ 的情况), 其生产率公式为:

$$Q_{a.s.(q)} = \frac{1}{t_p + t_x + q t_n}. \quad (1-17)$$

对于连续工作的旋转型自动线, 生产率公式则须用另一种形式表示:

$$Q_{por} = \frac{1}{\frac{1}{in} + q t_n}. \quad (1-18)$$

式中 i ——工作转子的工作头数目;

① 有关调整时间系数的概念及其决定方法, 详见参考文献[1][14]。

n ——工作轉子的轉速;

q ——工作轉子數。

为便于进一步分析,我們將式(1-15)(1-16)改写一下。設將工艺过程由一台机床(工位)分散到 q 台机床(工位)上加工时,基本工艺時間縮短至 $\frac{1}{q}$,因而工艺生产率相应地提高到 q 倍,即:

$$t_p = \frac{t'_p}{q} = \frac{1}{qK'} = \frac{1}{K_u},$$

式中 $K' = \frac{1}{t'_p}$ ——工序分散以前整个工艺过程的工艺生产率;

t'_p ——工序分散以前的基本工艺時間;

K_u ——工序分散以后单台机床(工位)的工艺生产率。

用 t_p 除公式(1-15)(1-16)右項的分子和分母,以 $\frac{1}{t_p} = qK'$ 代入,并考虑切削速度变化系数($K' = K_0x$)得:

$$\begin{aligned} Q_{n..(pq)} &= \frac{pqK_0x}{1 + qK_0xt_x + qK_0xt_n} \\ &= \frac{pqK_0x}{1 + qK_0x(t_x + t_e) + K_0 \sum_{i=1}^n C_i x^{z_i}}, \end{aligned} \quad (1-19)$$

$$\begin{aligned} Q_{a..(pq)} &= \frac{pqK_0x}{1 + qK_0xt_x + pq^2K_0xt_n} \\ &= \frac{pqK_0x}{1 + qK_0x(t_x + ppt_e) + pqK_0 \sum_{i=1}^n C_i x^{z_i}}, \end{aligned} \quad (1-20)$$

式中 $t_n = t_e + t_u$ 。

在式(1-19)和(1-20)中已假定工序分散后,全綫的刀具总数不变,总的第Ⅱ类時間損失 $\sum_{i=1}^n u_i$ 只与刀具数量有关而与工序的集中或分散程度无关。因此每台机床(工位)的第Ⅱ类時間損失为:

$$t_u = \frac{\sum_{i=1}^n u_i}{q} = \frac{1}{q} \sum_{i=1}^n C_i x^{z_i} - 1$$

以下我們着重分析順序組合的自动綫,即当 $p = 1$ 时,从式(1-19)和(1-20)得:

$$Q_{n..(q)} = \frac{qK_0x}{1 + qK_0x(t_x + t_e) + K_0 \sum_{i=1}^n C_i x^{z_i}}; \quad (1-21)$$

及

$$Q_{a..(q)} = \frac{qK_0x}{1 + qK_0x(t_x + qt_e) + qK_0 \sum_{i=1}^n C_i x^{z_i}}. \quad (1-22)$$

根据式(1-21)和(1-22)可以作出生产率图解曲綫。如图1-5所示,当工序的集中与分散程度变化(工位數 q 改变)时,自动綫的生产率也发生变化。对于沒有工序間儲料器的(所