

工
序
自
动
化

工序自动化



机械工业出版社

8.113
528

电子学研究所图
78.113
528

高等学校交流讲义

工 序 自 动 化

机械工业出版社



3303634

3 机床最高生产率的分析	114
4 最有利的切削用量	117
第六章 减少第Ⅱ类时间损失的措施	124
1 概論	124
2 在刀夹内刀具的夹持方法	126
1) 刀柄截面为矩形的縱削車刀的夹持——2) 刀柄截面为矩形的割刀、端面車刀、成形刀及其他刀具的夹持——3) 鑽刀的夹持——4) 刀柄截面为圓形的軸類刀具的夹持——5) 盤形刀具的夹持——6) 稜形成形刀的夹持——7) 螺絲板牙、螺絲攻及螺紋切削头的夹持——8) 滾花輪的夹持	
3 刀具調整的方法	136
1) 刀柄截面为矩形的縱削車刀的調整——2) 刀柄截面为矩形的割刀、端面車刀、成形刀及其他刀具的調整——3) 鑽刀的調整——4) 刀柄截面为圓形的軸類刀具的調整——5) 盤形刀具的調整——6) 稜形成形刀的調整——7) 螺絲板牙、螺絲攻及螺紋切削头的調整——8) 滾花輪的調整	
4 加速刀具更換与調整的方法	144
1) 在机床上調整刀具——2) 在机床外快換刀夹(刀塊)上調整刀具	
5 不需調整的快換刀具与刀夹	147
1) 不需調整的盤形成形車刀刀夹——2) 不需調整的割刀刀夹——3) 不需調整的稜形成形刀刀夹	
6 自動補償磨損的裝置	151
第七章 自動檢驗	153
1 檢驗夾具	154
1) 槓桿机械式檢驗夾具——2) 电接觸式檢驗夾具	
2 自動分類机	157
1) 机械式自動分類机——2) 电接觸式自動分類机——3) 电感式自動分類机——4) 气動式自動分類机	
3 在加工过程中的檢驗自動化	163
1) 內圓磨工的自動檢驗——2) 外圓磨工的自動檢驗	
第八章 自動綫的基本原理	166
1 組合定律	166
2 机器組合的生產率分析	171
1) 串聯組合——2) 並聯組合——3) 混合(串聯 並聯)組合	
3 工序集中和分散程度的決定	178
4 自動綫中工段數目的決定	182
5 自動綫操作者的勞動生產率	184
6 自動綫利用係數	187
第九章 自動綫的構成及其实例	188
1 概論	188
1) 組合机床——2) 自動綫的類別	

2 自動綫的基本構件	206
1) 運輸機構——2) 定位和夾緊機構——3) 儲存零件及自動上料的機構——4) 零件轉位機構——5) 清除切屑機構——6) 自動化电气控制設備	
自動綫的实例	224
1) 伏耳柯夫自動綫——2) 奧斯特羅烏莫夫自動綫——3) 謝符留柯夫-諾伏齊洛夫自動綫——4) 非組合机床類型的專用机床自動綫——5) 伊諾奇金自動綫——6) 加工汽缸蓋的自動綫——7) 加工 3M 載重汽車汽缸體的自動綫——8) 其他結構的自動綫	
4 自動綫設備的排列	267
1) 組合机床自動綫的排列簡圖——2) 通用机床及特殊机床（非組合机床）自動綫的排列簡圖——3) 聯合机床簡圖	
5 自動綫的技術經濟指标	272
6 自動綫的优缺点	274
7 自動化車間和自動化工廠	275
参考文献	288

电子学研究所图
78.113
528

高等学校交流讲义

工 序 自 动 化

机械工业出版社



3303634

D. 1. 5

出版者的話

本書是由在清華大學進修的各高等工業學校進修教師根據蘇聯專家傑門節夫講課的內容集體編譯而成，並經清華大學機械製造工學教研組最後校對。

書中主要內容包括機器生產率的分析，万能機床改裝，機床自動上料機構，檢驗自動化，自動綫基本原理和機床自動生產綫及自動化工厂等部分。可供高等工業學校機械製造專業學生作為教材之用，也可供機器製造廠工程技術人員參考。

№(內)71

1956 年 6 月第一版 1956 年 6 月第一版第一次印刷

787×1092 $\frac{1}{8}$ 字數 330 千字 印張 17 $\frac{1}{2}$ 0,001—6,000 冊

機械工業出版社（北京東交民巷 27 號）出版

機械工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 號 定價(10)2.50 元

序 言

本課程係清華大學蘇聯專家傑門節夫為教師、進修教師及研究生所講。講課時間約六十小時。

本講義的內容和系統基本上是按專家講課的精神，同時考慮到同學容易了解，故在有些部分中略加補充。文字方面主要是根據專家講課用的參考書翻譯的。

本講義在專家指導下由西北工學院張德孚、南京工學院吳天林、交通大學褚家麟、浙江大學朱學潤、大連工學院王小華、華東紡織工學院王繩武、重慶大學任廷樞、天津大學胡小中、太原工學院胡平格、成都工學院胡智容、華中工學院談宗、山東工學院謝秉華等十二位進修教師集體編譯，最後經清華大學機械製造工學教研組校對而成。

由於時間緊迫，未經專家詳細校閱及各校有關教研組審查，故錯誤由編譯人及校對人負責。

清華大學機械製造工學教研組



目 次

序言	3
第一章 緒論	7
1 生產自動化的意義	7
2 機械製造工業中生產自動化的現狀	8
3 生產過程自動化的優越性	8
4 工序自動化課程的內容和目的	9
5 工序自動化發展的趨向	10
第二章 機器生產率的分析	11
1 生產率的規律和時間損失的種類	11
2 勞動生產率	17
1) 提高勞動生產率的規律——2) 提高勞動生產率的斯達哈諾夫工作法——3) 多机床操作	
3 機器的有效係數	23
第三章 机床改裝	26
1 机床改裝的意義	26
2 机床停止送進的機械化及自動化	26
1) 縱向多位撥塊機構——2) 簡單自動停止送進機構——3) 多位自動停止送進機構	
3 机床自動化改進	33
1) 實現簡單自動循環的機構——2) 實現複雜自動循環的裝置	
4 車製螺絲的車床自動化	45
1) T4型車床的自動化——2) 主電動機不反轉的車床自動化	
第四章 自動上料	50
1 机床自動上料機構的種類	50
1) 帶料上料——2) 棒料上料——3) 料斗式上料——4) 彈倉式上料——5) 手上料	
2 棒料上料機構的分類	51
3 彈倉式及料斗式上料機構所用的基本構件	55
1) 送料槽——2) 上料器——3) 隔離器——4) 攪動器——5) 毛坯定向機構——6) 分路器——	
7) 減速器——8) 剔除器——9) 上料桿及推料桿	
4 彈倉式上料機構	68
1) 分類——2) 典型实例	
5 料斗式上料機構	79
1) 毛坯定向方法——2) 分類——3) 典型实例——4) 料斗式上料機構的技術指标	
6 自動操縱系統	100
第五章 第Ⅱ類時間損失对機器生產率的影响	103
1 切削用量、工藝生產率、刀具利用係數	103
2 刀具利用係數与机床生產率	107

3 机床最高生产率的分析	114
4 最有利的切削用量	117
第六章 减少第Ⅱ类时间损失的措施	124
1 概論	124
2 在刀夹内刀具的夹持方法	126
1) 刀柄截面为矩形的縱削車刀的夹持——2) 刀柄截面为矩形的割刀、端面車刀、成形刀及其他刀具的夹持——3) 鑽刀的夹持——4) 刀柄截面为圓形的軸類刀具的夹持——5) 盤形刀具的夹持——6) 稜形成形刀的夹持——7) 螺絲板牙、螺絲攻及螺紋切削头的夹持——8) 滾花輪的夹持	
3 刀具調整的方法	136
1) 刀柄截面为矩形的縱削車刀的調整——2) 刀柄截面为矩形的割刀、端面車刀、成形刀及其他刀具的調整——3) 鑽刀的調整——4) 刀柄截面为圓形的軸類刀具的調整——5) 盤形刀具的調整——6) 稜形成形刀的調整——7) 螺絲板牙、螺絲攻及螺紋切削头的調整——8) 滾花輪的調整	
4 加速刀具更換与調整的方法	144
1) 在机床上調整刀具——2) 在机床外快換刀夹(刀塊)上調整刀具	
5 不需調整的快換刀具与刀夹	147
1) 不需調整的盤形成形車刀刀夹——2) 不需調整的割刀刀夹——3) 不需調整的稜形成形刀刀夹	
6 自動補償磨損的裝置	151
第七章 自動檢驗	153
1 檢驗夾具	154
1) 槓桿机械式檢驗夾具——2) 电接觸式檢驗夾具	
2 自動分類机	157
1) 机械式自動分類机——2) 电接觸式自動分類机——3) 电感式自動分類机——4) 气動式自動分類机	
3 在加工过程中的檢驗自動化	163
1) 內圓磨工的自動檢驗——2) 外圓磨工的自動檢驗	
第八章 自動綫的基本原理	166
1 組合定律	166
2 机器組合的生產率分析	171
1) 串聯組合——2) 並聯組合——3) 混合(串聯 並聯)組合	
3 工序集中和分散程度的決定	178
4 自動綫中工段數目的決定	182
5 自動綫操作者的勞動生產率	184
6 自動綫利用係數	187
第九章 自動綫的構成及其实例	188
1 概論	188
1) 組合机床——2) 自動綫的類別	

2 自動綫的基本構件	206
1) 運輸機構——2) 定位和夾緊機構——3) 儲存零件及自動上料的機構——4) 零件轉位機構——5) 清除切屑機構——6) 自動化电气控制設備	
自動綫的实例	224
1) 伏耳柯夫自動綫——2) 奧斯特羅烏莫夫自動綫——3) 謝符留柯夫-諾伏齊洛夫自動綫——4) 非組合机床類型的專用机床自動綫——5) 伊諾奇金自動綫——6) 加工汽缸蓋的自動綫——7) 加工 3M 載重汽車汽缸體的自動綫——8) 其他結構的自動綫	
4 自動綫設備的排列	267
1) 組合机床自動綫的排列簡圖——2) 通用机床及特殊机床（非組合机床）自動綫的排列簡圖——3) 聯合机床簡圖	
5 自動綫的技術經濟指标	272
6 自動綫的优缺点	274
7 自動化車間和自動化工廠	275
参考文献	288

第一章 緒論

1 生產自動化的意義

建立共產主義社會的物質技術基礎，主要依靠生產的四個方面：機械化、化學化、電氣化和自動化，而自動化更是生產的最高綜合形式。生產自動化就是應用機器、儀器及其他裝備，使我們在生產過程中無需工人直接參加工作，而僅只需要監督和檢查。隨着機器生產的方法愈複雜，速度愈高，生產自動化就由於技術上的迫切需要而日益發展。

在資本主義制度下，生產自動化是無從想像的。在資本主義國家內使生產自動化的方法，也就像過去要使用先進的科學技術一樣，要受到壟斷資本家的阻礙和反對。斯大林同志說得很明確：「當新技術向資本主義預示着最大利潤的時候，資本主義就擁護新技術。當新技術不再預示着最大利潤的時候，資本主義就反對新技術，主張轉而採用手工勞動。」因此資本主義國家只在符合他最高利潤時才採用生產自動化。但自動化使生產率大大提高的結果，也必然會像其他技術改進一樣，促使工人的工資降低，同時增加失業工人的數量。

所以資本主義國家是不可能普遍實行生產自動化以提高生產率的。

在社會主義制度下，生產是怎樣的呢？斯大林同志說社會主義的基本經濟法則是「用在高度技術基礎上使社會主義生產不斷增長和不斷完善的辦法，來保證最大限度地滿足整個社會經常增長的物質和文化的需要。」莫洛托夫同志在蘇聯第十八次黨代表大會上也曾經着重的指出，要擴大自動機、半自動機和自動操縱器械的生產。所以自動化生產在社會主義制度下有着廣闊的前途。

社會主義生產自動化，使人真正成為生產的指揮者，他管理着複雜的製造過程，在那裏，機器自動地替人做着沉重的、累人的工作。因此，在社會主義條件下，廣泛地採用生產過程的自動化不僅減輕工人勞動與改善勞動條件，並且也大大提高勞動生產率、加快生產過程、提高產品質量、降低產品成本、促進勞動人民生活水平進一步的增長、逐步消除體力與腦力勞動間的重大差別。所以蘇聯共產黨與政府對於生產過程的自動化一貫予以極大的注意。在第四、第五個五年計劃中生產自動化是工業方面的中心任務之一，而且規定某些工業部門廣泛地貫徹生產過程自動化。這在馬林科夫同志在蘇聯第十九次黨代表大會上的報告中可以看出，他有力地強調「……必須堅決實現生產過程的全部機械化和自動化的計劃，必須在國民經濟的一切部門更廣泛地應用最新的科學和技術成就。」

因此生產自動化是社會主義工業化的主要趨向，是由社會主義過渡到共產主義

一系列措施中的主要技術環節。

2 机械製造工業中生產自動化的現狀

苏联机械製造工業在工藝过程自動化的領域中已獲得顯著的成就。苏联已創造並掌握了世界上第一个生產汽車活塞的綜合-自動化工廠；研究並建立了許多綜合-自動化工間及机床自動綫。此外在許多工廠中还設計並製造了成百的高生產率組合机以及用來对冰箱、脚踏車、發動机軸承等零件作机械加工、模鍛、鋸接、造型、檢驗和裝配的特殊型式的半自動机及自動机。

在鑄造工業中，有製造鑄件（如活塞）的自動綫，还有許多配砂与造型的半自動及自動組合机，离心澆鑄、压力澆鑄及清砂設備等等在工作着。

在許多工廠中已使用了自動冷鐵机及电加熱毛坯的自動鍛造机。在各种類型的零件上，应用自動电弧鋸及自動接觸电鋸的範圍之廣大，苏联佔世界第一位。

虽然金屬切削加工过程的自動化有着極大的困难，但却首先創造了机床自動綫。在汽車、拖拉機製造及其他工業部門已有五十条以上的特殊設計及構造的自動綫在成功地工作着，如加工汽缸体，汽缸盖，变速箱等自動綫。这些自動綫主要是組合机床的自動綫。但是还有相当大數量的自動綫及組合机是在已有設備的基礎上建立起來的。

此外，还創造了世界上獨一無二的自動化多尺寸檢驗及分類的設備、統計檢驗的自動儀器。並且还發展了控制零件製造过程的主動檢驗方法，改善了机器傳動、控制及調節的自動系統。

机器的傳動及控制，除了用电傳動外，还有液压、气動及複合自動系統在廣泛的应用。它們有可能把工作过程進行的速度在廣大範圍內進行均匀而远距离的調整。

中國在生產自動化方面也有一些成就，如輕工業方面的紡織、造紙、製灯泡……等工業。在机械製造工業中也已採用了各种單軸或多軸的自動机床，自動製螺絲釘机，製釘机等等自動机器。在苏联偉大無私的帮助下，正在建設着最先進的更高級型式的自動化生產企業。高效率的、連續生產的自動生產綫將不斷出現。

虽然机械製造过程自動化已經有了顯著的成就，但是新的自動化設備的应用仍舊落後於机械製造工業的任务，这当然与机械製造过程本身及其有關因素的複雜性是分不開的。

因此，擺在机械製造工作者面前的任务，不僅是要繼續提高所有机器工作过程的自動化程度，並且也要進一步提高这机器本身的生產过程的自動化程度。

3 生產过程自動化的优越性

为了明確顯示生產过程自動化所特有的优越性，在這裏我們舉一个用各种不同机床加工軸承环的例子。軸承环的車削加工在每班 1800 件的生產速率時，需用：

普通車床	44 台;
或 六角車床	28 台;
或 單軸自動機	5 台;
或 四軸自動機	2 台。

在圖 1 上，明白地表示了這一生產的特點，可見生產過程自動化，採用自動機器的結果，不僅大大地節省了設備，減少了生產面積，而且也減少了勞動力。

在自動綫中也具有同樣的優點。例如在加工箱形工作物的自動綫中，可節省工人 20~50%；又如在斯大林汽車工廠中，由於採用了 500 個自動檢驗夾具，不僅提高了檢驗質量，而且还節省了檢驗工作人員 2500 人。由此可見，生產自動化所表現的巨大的生產能力。共產主義分配原則「各取所需」的物質基礎，在廣泛採用生產自動化時，就能很快地建立起來。

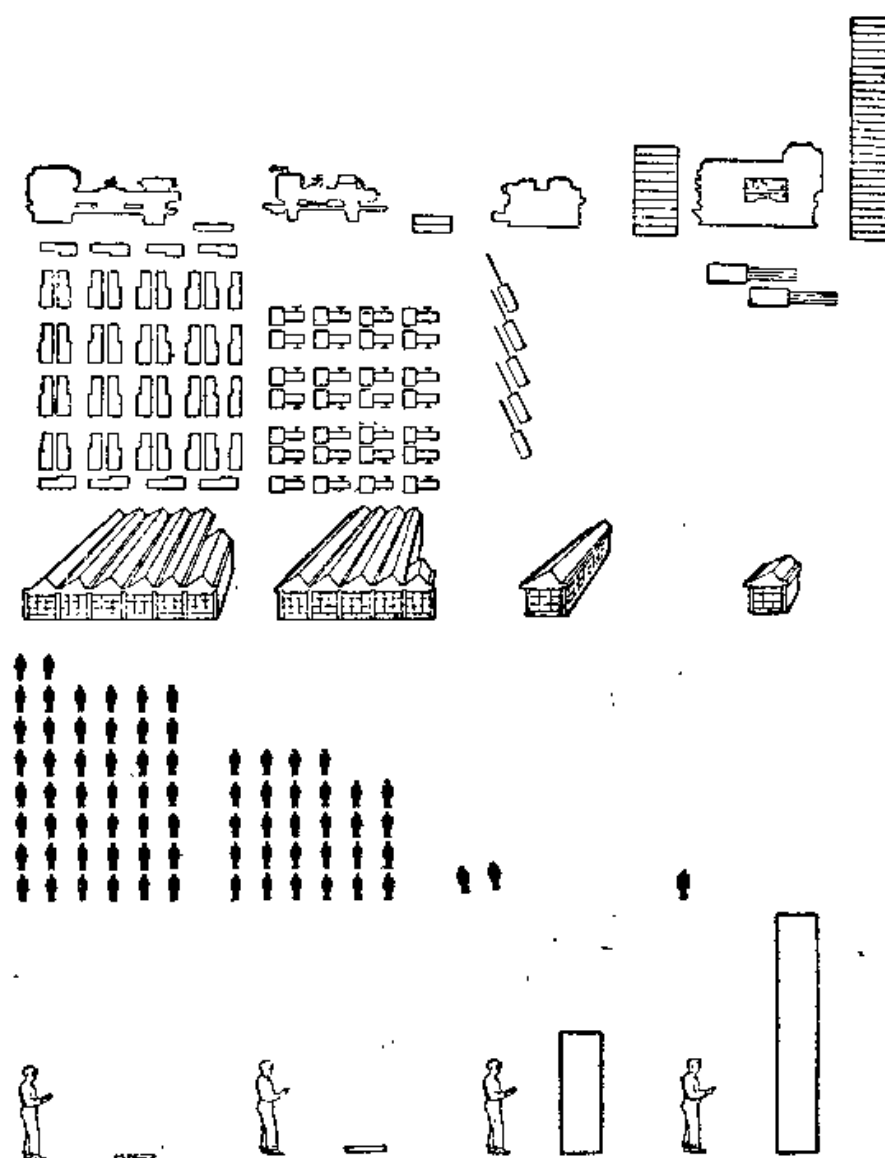


圖 1 應用普通車床、六角車床、單軸自動機、多軸自動機生產軸承時，對設備、生產面積及勞動力的需要量比較圖。

4 工序自動化課程的內容和目的

工序自動化就是工藝過程自動化，也可稱為生產過程自動化。其實它們之間是有區別的。工藝過程應屬於生產過程的一部分，換言之，生產過程可以包括一個或幾個工藝過程。例如一個鑄件，它在生產過程中有好幾個工藝過程，如熔化、造型、清砂等等。在機工車間中，零件不僅在車間加工，還要經過檢驗、熱處理、裝配等等。所以它的生產過程包括切削加工、檢驗、熱處理、裝配等四個工藝過程。

苏联首創的活塞自動化工廠就是使金屬的熔化、鑄造、開箱、加工……整個生產過程全部自動化了。

工序自動化所要討論的是機械加工及檢驗的工藝過程自動化，而不討論熱加工過程中工藝過程的自動化。本課程的內容，主要包括：万能機床自動化的改裝；機床自動上料機構；檢驗自動化；自動生產綫；自動化車間及自動化工厂。事實上在現階段討論機械加工和檢驗的自動化，已經是很複雜的了，當然在若干年後，我們必將會開出生產過程自動化的課程，它所討論的便是最高形式的綜合自動化了。

工序自動化是一門剛見於教學計劃的新課程，它的目的，就是研究怎樣把自動機有機地組織成自動生產綫，使它能保證生產過程的連續性。因此首先要瞭解利用自動機生產的特點，然後研究如何把它們組織成自動綫。至於如何把万能機床改裝成為自動化機床，也是本課程目的之一，這對中國目前的情況來說是非常切合而必需的。

5 工序自動化發展的趨向

今後製造技術發展的趨向是逐漸使各種金屬加工（如鑄工、冷衝壓、熱衝壓等）的自動化與機械加工連接起來。這種綜合自動化的發展，可以使製造過程的連續性達到最高的程度，製造活塞的自動化工廠就是一個例子。

至於檢驗自動化有兩種方式，第一種是在零件加工完成以後進行檢驗的被動檢驗方式；第二種是在加工過程中直接進行檢驗的主動檢驗方式。今後發展的方向是趨向於第二種方式。因為主動檢驗方式不僅有機地把生產過程與檢驗過程聯繫起來，並且還預先避免了廢品的產生。

關於實現自動作用的方式可有下列四個方面：

- 1) 利用機械方法來達到自動作用的目的，如用凸輪來控制各種運動。
- 2) 利用液壓傳動來達到自動作用的目的，即是利用液體的壓力或流量的改變來控制各個工作機構。
- 3) 利用壓縮空氣來達到自動作用的目的，它的基本原理與第二種方法相同。
- 4) 利用電氣設備來達到自動作用的目的。最近在這方面的成就是利用光電系統，經過電氣設備來控制各個工作機構。這在軋鋼中已經採用。利用光電系統應是將來發展的方向，因為它的結構比較緊湊，不需要某些直接接觸的綫路，因而減少了綫路發生故障的可能性及避免因觸頭磨損而引起的不良影響。同時它可以應用在高溫或不容許接觸的地方。

最後應指出，工序自動化是一門新的還很年輕的科學。在蘇聯，工業已達到相當高度的機械化和自動化，但作為一門科學來說，它是落後於實際的。不但關於這方面的論著很少，甚至有些理論在各方面的意見都還沒有一致。因此還有待於進一步地鑽研探討，來充實和發展這門正在成長的科學。

第二章 机器生产率的分析

1 生产率的规律和时间损失的种类

要完成任何一项工作，都必须消耗一定的時間，这个時間可按公式 1 决定：

$$T = t_p + t_x, \quad (1)$$

式中 T ——加工材料上一定部分（或一个工件）所需要的時間；

t_p ——消耗在工作行程的時間，亦即直接消耗在加工一个零件上的時間（切削時間、在衝压中金屬变形的時間及弯曲金屬絲的時間等等）；

t_x ——在完成工件加工的整个循环中消耗在空程上的時間（進刀和退刀、送進材料，接上各个機構等等——循环內時間損失）。

因为在材料上一定部分的加工在時間 T 中結束，那末顯然，在工作已整備好的机

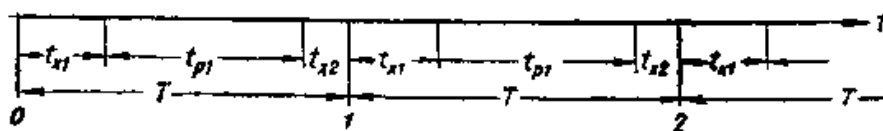


圖 2 机器工作循环的時間成分。

器上加工下一个材料的同样部分時，也需要同样的時間 T 。

研究了工作已整備好的机器後，並在橫坐标軸上标註出工作開始和結束的時間（圖 2），則得到表示这一台机器工作循环的特性圖。

在每个時間間隔 T 內，机器按一定次序完成了工作行程和輔助行程以後，就生產了一定數量的相同的產品。因而在每一个工作循环的週期內進行着相同的工作。

完成机器工作循环的所有工作行程和空程的時間間隔称为工作循环的週期。

知道了工作循环的週期以後，就可以很容易地决定工作循环重複的頻率，亦即机器的生產率：

$$Q = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_p + t_x} \text{ 件/分。} \quad (2)$$

在單位時間內已加工完的產品的數量称为机器的生產率。

顯然，隨着机器不同的用途和不同的加工種類，机器的生產率能用不同的單位來度量，以後就把計件生產率（即單位時間內已製成零件的數量）作为討論的基礎。

對於某些机器，我們称为「理想的机器」。它們沒有工作循环中的空程時間損失 ($t_x = 0$)，即在这些机器上工作过程是連續進行的。这些机器的生產率是：

$$Q_u = \frac{1}{t_p} = K \text{ 件/分,} \quad (3)$$

這時

$$T = t_p. \quad (4)$$

數值 K 被稱為機器的工藝生產率，它是任一台機器的假想生產率，在計算時不考慮空程時間損失 (t_x)。

將公式 3 中 $t_p = \frac{1}{K}$ 值代入公式 2 中，則得到

$$Q = \frac{K}{Kt_x + 1} \text{ 件/分。} \quad (5)$$

將公式 5 化為乘積的形式，則得到

$$Q = K \cdot \frac{1}{Kt_x + 1} = K\eta, \quad (6)$$

即機器的生產率是工藝生產率 K 與生產率係數 η 的乘積。

生產率係數決定於機器生產率與工藝生產率的比值，或工作行程時間與循環週期之比值：

$$\eta = \frac{1}{Kt_x + 1} = \frac{Q}{K} = \frac{Q}{Q_x} = \frac{t_p}{T} \quad (7)$$

生產率係數的數值表明了加工過程連續的程度，及從時間上來看機器被利用的程度。假定計算的結果表明，在刀具連續工作時，某一機床能出產 10 個零件，則它的工藝生產率 $K = 10$ 件/分。而實際上僅能出產 4 個零件 ($Q = 4$ 件/分)。

這時根據公式 7

$$\eta = \frac{Q}{K} = \frac{4}{10} = 0.4。$$

這就指出在該機床上只有 40% 的時間是消耗在加工零件本身上，而 60% 的時間是各種輔助時間（空程時間）。

顯然，研究已得的公式 7 可以看到，生產率係數同時由 t_x 和 K 值來決定。

實際上，由於 t_x 的存在，生產率係數在 $0 < \eta < 1$ 的範圍內變動。如果 $t_x =$ 常數，則 K 增加時，生產率係數 η 降低。在圖 3 上表示了 η 與 K 的關係，圖中三條曲線相當於三個不同的 t_x 值。隨着工藝生產率的增加，曲線漸近於 K 軸。若 t_x 值愈小，則曲線的斜度愈小，同時在一定的 K 值下，生產率係數也愈高。

這樣，在 $t_x =$ 常數時，提高工藝生產率，一方面提高了生產率，另一方面却使生產率係數減小（公式 7），因而降低了生產率增加的速度（公式 6）。綜上所述，可知提高生產率存在着辯證的矛盾，只有在同時考慮了上述兩個因素的相互作用後，才有可能提高生產率。

機器生產率的提高與工藝生產率的增加不成正比。採用新的工作機構、新的更完善的工具、新的高生產率的加工方法等等，並不能使機器的生產率按比例地提高。

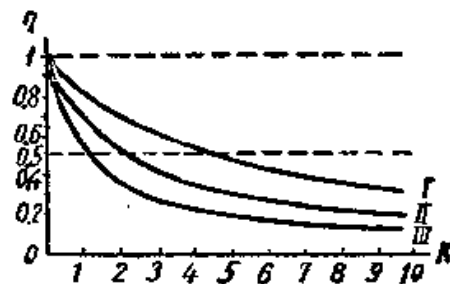


圖3 具有不同 t_x 值的機器生產率係數圖。

例如在机器上（礦山用截煤机、石油企業中的鑽探机或普通車床）用鑲有硬質合金的刀具來代替碳素鋼刀具，能使切削速度提高到10倍，因而似乎生產率亦將提高到10倍。但实际上用这种方法並不能使生產率提高10倍；在一般情況下，按照消耗在輔助行程上時間的多少，这种方法僅能使生產率提高到3~4倍，有時還更小。

如上所述，任意提高工藝生產率必然使机器的生產率係數降低。如果在採用能提高工藝生產率的新工具以前， $\eta = a$ ，而在採用这种工具以後， $\eta = b$ ，在所有其他条件不变時，則總是 $a > b$ 。

因而，要想提高生產率，就必須在提高工藝生產率的同時來提高生產率係數。而生產率係數的提高只有用減小 t_x 值的方法來達到，也就是要求根本改变勞動条件与重新組織勞動过程。

仍用橫坐标表示工藝生產率，並用縱坐标表示机器的生產率，我們就得到生產率的基本公式5的圖（圖4）。

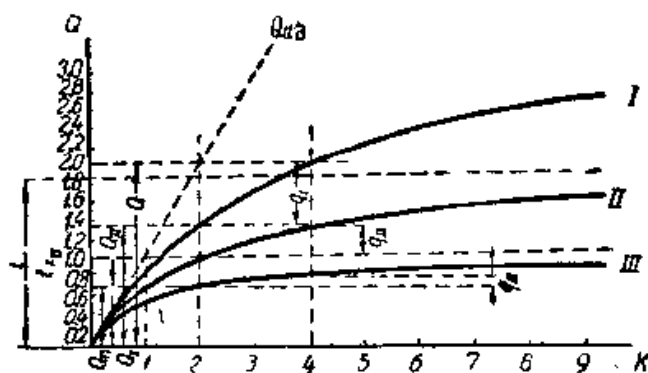


圖4 具有不同 t_x 值的機器生產率的曲線圖。

曲線 I、II 和 III 表示用途相同的三台不同的機器，它們的空程時間損失

分別為 t_{xI} 、 t_{xII} 、 t_{xIII} 。顯然，在相同的工藝生產率數值下，保證最高生產率的機器將為最完善的機器。在此情況下機器 I 是最完善的。

虛線 $Q_{\text{理想}}$ 表示沒有輔助行程時間損失的「理想」機器的生產率。

「理想」機器的生產率是直線增加的，如當 $K=2$ 時 $Q=2$ ，而每台機器的生產率僅是 Q_I 、 Q_{II} 、 Q_{III} ，皆小於 $Q_{\text{理想}}$ （圖4）。當 K 提高到2倍時，上述三台機器的任何一台都不能保證因工藝生產率的增高而使生產率直線地增加。這些機器生產率的提高是完全不同的。例如，機器 I 的生產率提高 q_I ，而機器 II 和 III 只分別提高 q_{II} 和 q_{III} ，僅有「理想」機器的生產率才提高到2倍。

現在我們來研究一下，當空程時間損失不变時，以及當空程時間損失縮短時，提高機器生產率是否是有極限的。

正如從圖上可看出（圖4），在一定 t_x 值時，每台機器的生產率在顯著地提高之後，漸近於某一極限，如圖4上虛線所表示的。此後繼續提高工藝生產率 K ，不能使生產率 Q 有本質上的變化，因為這時空程時間損失是保持不变的。

用生產率的基本公式5，在 $t_x = \text{常數}$ 時，我們來決定機器的最大生產率：

$$Q_{\max} = \lim_{K \rightarrow \infty} \frac{K}{K t_x + 1} = \frac{1}{t_x} \text{ 件/分。} \quad (8)$$

從公式8和圖4得到， t_x 值愈小，則生產率的極限愈高，藉提高工藝生產率 K 來提高生產率的可能性也就愈大。如果減少空程時間使其接近於零（ $t_x \rightarrow 0$ ），那