

设计师丛书

现代机器设计的 基本原则

陀勃罗沃里斯基、埃尔里赫著

机械工业出版社

2014

現代機器設計の 基本原則

100

□ □ □ □ □ □ □

設計師小叢書

現代機器設計的基本原則

陀勃罗沃里斯基、埃里里赫著

唐子青譯



机械工业出版社

1954

出版者的話

本書敘述設計現代機器的基本原則，這些原則適用於整個的機器製造業，是設計師在創造新機器時應該加以注意的。這些原則是：①提高勞動生產率和改善勞動條件；②使用中的可靠性；③美觀的外形；④最小的重量；⑤利用各種的傳遞能量方法；⑥局部品質的原則；⑦部件式配置；⑧廣泛地應用標準化（規格化和通用化）的結構要素、零件和部件；⑨高度工藝性。它們對於不同的機器具有不相同的意義，因為各種機器的結構在發展上是不均衡的。本書用各個部門中的一些實例來說明這些一般性原則。

本書讀者對象為從事於機器製造業的技術員和設計師。

蘇聯В. А. Добровольский, Л. В. Эрлих著‘Основные
принципы конструирования современных машин’
(Машгиз 1956年第一版)

* * *

NO. 2062

1958年12月第一版 1958年12月第一版第二次印刷
787×1092¹/₃₂ 字數71千字 印張37/16 3,501—6,500冊
機械工業出版社(北京阜成門外百萬莊)出版
駐寧部隊印刷廠印刷 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)0.55元

目 次

前 言	4
一 提高劳动生产率和改善劳动条件	5
提高速度和其他参数	5
工艺过程进行的連續性	8
自动化	13
二 使用中的可靠性	19
机器的使用寿命	19
机器在使用中的可靠性	23
系統的可靠性和它的原件的可靠性之間的关系	25
三 美观的外形	30
机器的外表形状应该怎样?	32
塗漆	37
机器外表形状的設計和修飾的順序	38
四 最小的重量	42
重量对于苏联机器制造业的意义	42
机器重量的評比尺度	46
減輕机器重量的一些途徑	49
五 利用各种能量傳遞的方法	61
傳动簡圖的圖示原則	68
系統具有彈性元件时的研究特点	70
各种傳动的特性	71
六 局部品質的原則	76
七 部件式配置	84
部件式配置的必要性	84
划分成部件的方法	90
八 广泛地应用标准化、規格化和 通用化的結構元件、零件和部件	99
九 高度工艺性	102
工艺性概念的实質	102
对机器零件结构的工艺性要求	104

前 言

犁和挖掘机、汽車和飞机、渦輪机、机床以及其他机器的設計師們，遵循着許多專用于每种机器設計过程的观点和为数不多而适于一切机器設計过程的一般原則，力求达到优良的结果。

設計机器的一些原則不是永恒不变的。随着人們生活的社会条件变化、随着科学的进步、使用机器和生产机器的条件也在改变。当然，設計師們所遵循的原則也就随着改变。本書标题中所以冠用現代机器，就是为了強調这些原則的暂时性。

以下将講到的原則，对于不同的机器具有不相同的意义。这是由于各种机器的結構在發展上存在不平衡性，各个工业部門又各有它的特点。对于重量問題，航空發動机的設計師們早就認為必要而深入研究了，但其他机器的設計師們只是目前才开始考虑到這個問題；汽車設計師对于外形的美觀問題是随时随刻不忘記的，而机床設計師却只是間或才会想起這個問題，等等。但是正因为各种机器的結構在發展上有这样的不平衡性，用各个部門中的一些实例來說明一般原則就特別能够显出效果。

著者不企圖包括“一切”，而只限于討論現代机器制造业中著者認為最现实的一些基本原則。

本書分成九节，相应地說明九个与每节标题同名的原則。

每节的題目都能够扩展成为一篇独立的專題論文。其中有一些已經問世了，另一些却还在等待有关的著者們动手。然而，这点并不意味着对所有原則作一个簡短而共同的討論沒有益处。

一 提高劳动生产率和 改善劳动条件

大家知道，尽一切力量在工业、运输业和农业经济中提高劳动生产率，是使我们的国民经济继续全面发展的主要和有决定性的条件。

提高劳动生产率的途径，在国民经济的不同部门中是各种各样的。其中重要的途径是改进技术，而且特别是采用结构更加完善的机器，而生产率●就是这些机器基本的、并照例是最重要的参数。事实上，用新机器代替旧机器，大多是因为新机器能够保证更高的生产率和促进劳动条件的改善，达到这些目的是借助于：1）提高速度和其他参数；2）工艺过程的连续性；3）生产的自动化。

提高速度和其他参数

机器制造业所有部门的发展，就证实机器基本的结构和工艺参数是不断地提高的。按照下面所引用的机器制造业不同部门在各个发展阶段的数据（表1～8），就可判断出在这方面所达到的水平了。

● 应该指出，为了简略性而采用的〔有生产能力的机器〕或〔机器的生产率〕这个术语是有条件性的。工作机（生产设备）的生产率是指单位时间内所生产的，对于每种机器以各不相同的单位所计量的产品数量。

表1 历年来汽車行駛速度的变化

参 数	时 期				
	1895~1900	1900~1915	1915~1930	1930~1945	1945~1960 (估計)
已达到的最高速度 (公里/时)	105.9	210.9	372.4	594.8	850以上
实际使用的最高速 度(公里/时)	15~20	30~40	55~75	90~110	130~170 以上

表2 历年来在机床上加工鋼材时切削速度的变化

切削用量和 刀 具 材 料	年 份				
	1850年前	1864年	二十世紀初	1927年	1950年
刀具材料	碳 鋼	鉻鎢鋼	高速鋼	硬質合金	
切削速度 (公尺/分)	5	7~8	30	70~80	400以上

表3 历年来帶鋼冷軋速度的变化

参 数	年 份			
	1925~1930	1940	1945	1950
軋軋速度(公尺/秒)	0.3~0.5	5	20	30

表4 历年来縐褶紙版制造速度的变化

参 数	年 份						
	1895年	1916年	1920年	1930年	1940年	1946年	1950年
平均速度(公尺/分)	3	15.2	19.8	61.0	91.0	107.0	165

渦輪机和發電机的重要指标是一組成套設備的功率。提高这些机器的單元功率就会提高效率并使發電站每1千瓦功率所需基建費用降低。

表 5 历年来活塞式航空发动机基本参数的变化

参 数	时 期				
	1910~ 1925	1925~ 1936	1936~ 1946	1946~ 1950	增 長
單位功率(馬力/公升)	25	40.4	69.5	100	300%
平均有效压力(公斤/公分 ²)	7.5	11	16	20	167%
增压压力(公斤/公分 ²)	1	1.5	2	3	200%
平均活塞速度(公尺/秒)	10	11	13	15	50%
辛烷值	59	80	95	120	104%

表 6 历年来飞机纪录速度的变化

参 数	年 份										
	1906	1907	1909	1910	1911	1912	1913	1920	1921	1922	
速度(公里/时)	41	51	76	109	133	174	204	313	330	359	

参 数	年 份									
	1923	1924	1932	1933	1934	1935	1937	1939	1945	1948
速度(公里/时)	429	448	474	490	506	567	611	756	977	1080

表 7 历年来苏联工厂所制汽輪发电机最大功率的变化

参 数	年 份									
	1924	1925	1926	1927	1928	1929	1931	1938	1952	在拟 訂中
●功率(千瓦)	0.5 和 1.5	3	4	5	10	24	50	100	150	300

表 8 历年来苏联工厂所制水輪發电机最大功率的变化

参 数	年 份					
	1924	1927	1932	1939	1954	在拟訂中
功率(千瓦)	0.05~ 0.1	4	24~62	55	126	250

引用的这些数据不但表明了速度和其他动力参数的增長速度，还能够用来判断它們繼續提高的最近远景。

工艺过程进行的連續性

以上指出的各种工艺过程进行速度的显著的增長还不能說明机器生产率的实际增長。过程进行速度的增長只是說明这个增長的潜在可能性，后者在生产条件下一般是不会全部實現的。

事实上，如果工艺过程在一个延續時間例如工作班之內連續地进行，那么过程速度的增大就会使产品数量，因而即劳动生产率成正比地增加。但是在机器制造业中，大多数的工艺过程都因总的生产組織上的缺点、机器的結構特点和存在繁重的輔助操作而具有間断的特性，可是要达到最大的生产率却必須工艺过程尽可能是連續的。

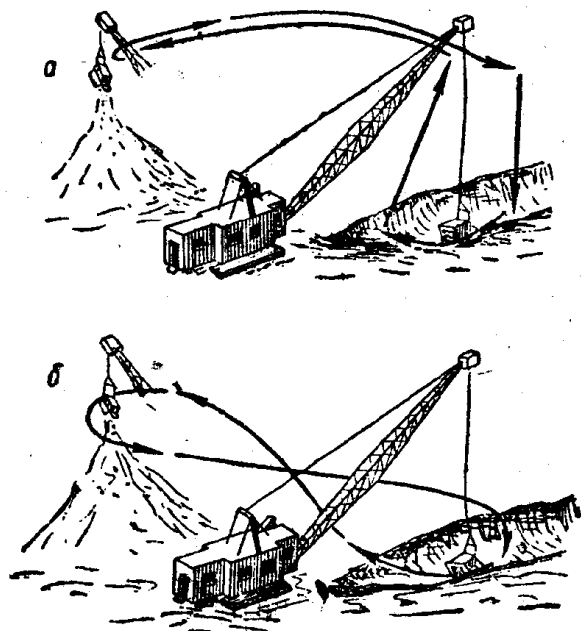
創造連續性的意圖——設計現代机器的最重要方向——首先表現在用均匀旋轉（或直綫）运动的机构来替代往复运动的机构。

在机器制造业的初期采用往复运动的机构是可以理解的：这是想仿效——借助于机构——人們在相似的劳动过程中两手所进行的动作。同时，往复运动是必然牽涉到空程和越程上的時間損失，以及显著的使运动速度的增大受到限制

的动力負荷。

因此，在一切現代機器中用連續旋轉的運動來替代往復運動是合乎規律的。這方面大家都知道的例子是：在高速度和高功率時汽輪機和氣輪機替代了活塞式發動機；離心泵、齒輪泵和翼輪泵，以及渦輪壓氣機排擠了活塞式的泵和壓氣機；旋轉式鑽探機替換了撞擊式鑽探機；旋轉式印刷機成功地替代了平版印刷機等。

然而結構在這一方向的發展還遠沒有完成。例如目前土方工作中的主要機器還是單斗式挖掘機，織造生產中的主要機器還是梭子進行往復運動的織機。但是各方面都已深切地体会到這個必要性：以別種連續作用的機器來替代這些具有



間斷工作性質的機器結構。特別在上述的兩個部門內，已有了工作循環比較連續的機器范例——掘土機和圓織機。

在挖掘機方面值得注意的是，很多挖掘機司機實際上已經克服了由於停頓和運動方向急劇變化所引起的間斷而不均勻運動的那些缺點（圖 1 a），這樣進行工作，使這種結構的挖掘機各個部分的運動不均勻性減小到可能的最低限度。

例如挖掘機的懸臂（圖 1 b）在傾倒斗時不加以停頓，使它繼續繞着機器的垂直軸均勻地旋轉。斗逐漸地完成升起運動，使與平穩的水平運動同時進行。

可以說，採用了這種目前已在蘇聯的新建工地上廣泛推行的工作法，就能夠節約力能，並同時提高挖掘機的生產率●。

顯然，只有改變挖掘機的結構原理本身，才能使間歇地制動機器零件時的力能損失和與之有關的工作時間損失極大地減少甚至完全消除。運動是間歇改變的工作循環方式必須用連續運動的循環方式來替代。這樣，土壤能夠連續地由帶着斗的鏈條來掘取，並由帶式運輸機來運輸。在掘土機的結構中就實現了這些理想。土壤和工作構件在這一機器中的連續運動，加上機器的一些其他優點，使得它的生產率同普通的挖掘機相比，是大大地增高了●。

使連續性受到破壞的另一個原因是各種輔助操作，這些

● [古比雪夫水利建設] 左岸機械化地區的挖掘機司機布達一和茲古拉兩人，當一次循環的定額是 24~28 秒時能夠按土壤的性質以 10~15 秒的時間完成循環。達到這點主要是由於重疊了掘取土壤、旋轉懸臂和傾倒三種操作（[真理報]，1954 年 4 月 21 日）。

● 波克羅夫斯基（Г. И. Покровский）所著的 [工程物理學——透于水工設施的建築]，[知識] 出版社（第三組，第 56 號）莫斯科，1953。

操作所需的时间有时会超过加工零件所需的基本工艺时间。

这点在金属切削机床的工作中特别突出。在本世纪初切削速度只达到 30公尺/分，每班的产量不大，工件的装卸和量尺寸所需的中断时间在一班总的延续时间所占的比重是比较低的。但是目前切削速度已达到 400公尺/分以上，这些中断时间所占的比重就变得很大了。

由于采用了高速切削，金属切削机床实验科学研究所(ЭНИМС)曾对各种机床上工作时间消耗的组成进行了研究。表9中引用的就是这项研究的结果，表中前面的数字指在单件和小批生产时，后面的数字指在大批生产时。车床和铣床上机器时间所占的比重，同其他机床相比是最小。这是因为在这些机床上已广泛引用了高速切削，但没有同时采取必要的措施来保证降低辅助时间。

表9 各种机床上工作时间消耗的组成

机床类型	各种工作时间消耗(%)			
	机器时间	准备-结束时间	辅助时间	组织性服务时间
车床	35~45	30~12	32~20	8.5~6
六角车床	45~72	10~3	25~18	20~6.5
铣床	35~50	4~3.5	40~38	11~8
立式鑽床	50~70	6~3	30~20	14~7
外圆磨床	48~68	6.5~2.5	30~22	16~8

研究还指出了，在总的辅助工作时间中消耗于装上和固定零件的时间占着10%(在磨床上)到63%(在铣床上)。操纵机床所需的时间占着75%(在六角车床上)到25%(在铣床上)。量零件尺寸所需的时间在车床和磨床上约占辅助时间的25%。

显然，在工作時間消耗是这样組成的情况下繼續提高切削速度，甚至就是提高十倍，生产率的增高也不会大于半倍到一倍的。

在国民經济的其他部門中也存在有原則上类似的情况。

例如，铁路運輸工作的重要指标是对于現有能力——機車、車輛等的利用。初看起来，改善車輛利用率最簡捷的方法是增大列車的行駛速度。但是在总的周轉時間內，車輛停留在中間站的时间占10%，在区段站——10.5%，在編組站——28.8%，进行装卸工作的時間占30.3%[●]。这样，車輛停留在各个車站上占总的周轉時間的79.6%，而在路上行駛只占 $100 - 79.6 = 20.4\%$ 。在这种情况下，技术速度無論提高得多大，車輛周轉時間的压缩也不会大于20%。

显然，無論是铁路運輸或是机床工作，要在劳动生产率方面获得重大的成就，必需除了提高列車的技术速度、切削速度或一般地任何工艺过程的速度外，同时也得压缩基本过程在运动和運轉中的停頓時間。

一切工艺过程的連續性問題，即減縮各种輔助操作所需的时间，是所有工业、運輸业和农业部門中一个最尖銳和典型的問題。

这里順便还提一提，連續性受到破坏的一个原因是与生产組織中的缺点有关的，虽然这与机器的結構并不直接相关。工艺过程进行的速度愈高，即机器的可能生产率愈高，生产組織中各种缺点带来的損害也就愈大。机器生产率的水平愈高，相应地对生产組織水平的要求也就愈高。

● 这些数字取自卡岡諾維奇在全苏铁路運輸工作者積極分子大会上所作的講話，[真理报]，1954年5月24日。

自 动 化

当有效地利用这些工艺过程日益增长的速度时，还会遇到一个附加的障碍——操縱这些过程的人的生理特点限制了反应的速度。例如，对于金屬的軋軋过程、飞机的飞行、高射炮的瞄准、汽車的駕駛等等，这个障碍在今天已是一个现实問題了。

人的簡單的答复反应時間，就是从人感受任何一个感觉的时刻起，到他以簡單而預先知道的动作对这个感觉完成答复的时刻止所經過的時間，大約是等于 0.1 秒。复杂反应的時間通常是不少于 0.4 秒，所謂复杂反应就是同时存在几个刺戟，而且对每个刺戟應該分別給予一个选定的答复。虽然上述的数据还只是一些在航空計算中使用的最低限度，以这样的反应速度进行工作时仍是很易使人疲倦的。

对于速度 9 ~ 115 公里/时的輕型汽車和載重汽車所进行的許多研究是一个补充例子。这些研究指出，駕駛員的答复反应時間是在 0.2 ~ 1.5 秒的範圍內变化。絕大多數的制动是相当于 0.54 秒的反应時間。在这些實驗中駕駛員对于接受“制动”信号是預有准备的，所以上列的数值是相当于駕駛員全神貫注时的反应時間。就是在这样的条件下，反应時間由于各种偶然性也存在一些超过 1 秒的个别情况。駕駛員的答复反应時間对制动路程的長度和行駛的安全性具有直接的意义，因此作一个計算●来指出駕駛員能否及时地利住汽車是富有趣味的。設汽車是以 40 公里/时的速度行駛着，在离开汽

● 克魯才 (И. Л. Крузе) 著 [汽車的制动器]，軍事出版社，莫斯科，1947年。

車前面只有 20 公尺的路面上，出乎駕駛員的意料之外有一个行人想橫过馬路。

在反应時間等于 1 秒、制动系統的作用時間等于 0.4 秒和最良好的制动情況下（平坦干燥的瀝青路面、迹紋未磨灭的外胎），完全刹住汽車就需要路程（圖 2）。

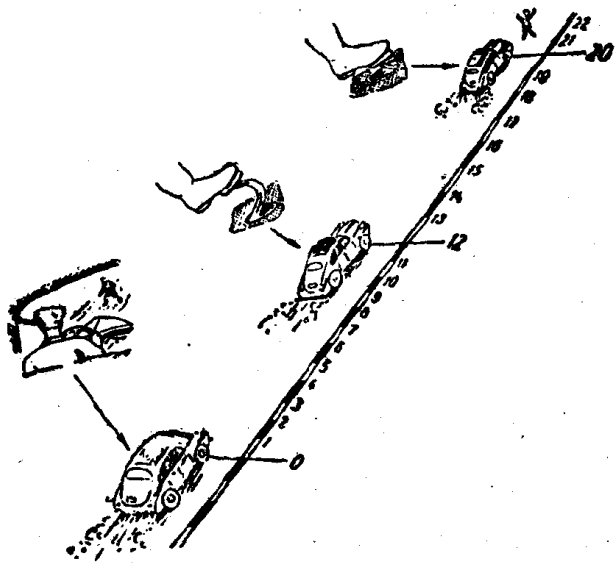


圖 2

11.1公尺 +4.4公尺 +10.4公尺 =25.9公尺
 (相当于駕駛員 (相当于制动系 (制动路程) (危險区)
 的反应時間) 統的作用時間)。

行人离开汽車只有 20 公尺的距离，因此，如果他自己不讓开或者如果駕駛員沒有能够繞过他，那么不幸事故就不可避免了。

另一个例子是在車床上加工零件。

設有一个阶級小軸在普通車床以迴轉速度2000轉/分和縱向进給 0.2公厘/轉进行切削。这样在反应時間甚至只等于0.5

種的情況下，~~能達到~~的最大加工精度在長度上是 $\frac{200}{60} \times 0.2$
~~40.5=3.3公厘~~，是远远不够的。

~~車工要獲得高~~精度，就必須及時地開脫機動進給而用手來操縱刀架。因而造成的生產率損失是顯然的。

在所有這類情況下的採用自動操縱，首先是借助於具有反應速度比人類高出不可計量的電子儀器能根本解決這些問題。因此操縱的自動化能夠大大地加速生產過程，並同時減輕操作人員的工作。

特別是制動路程能夠顯著減短，即因而防止汽車的肇禍，將有待於“自動駕駛儀”的創造成功[●]。

但是，自動化的意義，自然地不僅限於解決高速度的操縱問題。在必須實現機器工作狀況相協調的條件下，自動化的意義就特別大，例如在變化的環境下運轉的一個航空發動機，它的工作狀況取決於許多互相關聯的參數：增壓壓力、發動機的迴轉速度、燃料的混合組成、起燃的先期角、冷卻液（或氣缸蓋）的溫度、油的溫度、吸入氣缸中空氣的溫度等。因此要維持發動機的工作狀況不變或是使它按一定的規律變化，飛行員應該作用航空發動機上為數眾多的操縱構件，換句話說，必需調整工作狀況的各種參數。

看圖3上所示的照片就能對飛行員所需注意的儀器的數目和這一任務大為提高的複雜性得到一個概念。圖3a所示的是現代四發動機客運飛機的飛行員駕駛室，作為比較，圖3b是“伊里亞·慕羅密茨（Илья Муромец）”四發動機飛機的駕駛倉，這架飛機在1914年完成彼得堡-基輔之間的

● 關於這種儀器的順利試驗的報導可參看「保衛和平」雜誌1954年38期80頁。