

《国外机械工业基本情况》参考资料

金属切削机床

第三篇 国外机床产品分论

第三分册

《国外机床基本情况》编写小组

第一机械工业部情报所

出 版 说 明

在毛主席无产阶级革命路线指引下，在党的十大精神鼓舞下，我国机械工业形势一派大好。广大革命职工，高举毛泽东思想伟大红旗，深入开展批林批孔运动，狠抓革命，猛促生产，巩固和发展了无产阶级文化大革命的丰硕成果，毛主席关于“中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平”的伟大号召，正在胜利地实现。

“知彼知己，百战不殆”。为了介绍国外机械工业基本情况，我们组织有关单位，按机械工业各行业分别编写与出版一套《国外机械工业基本情况》参考资料。

毛主席教导我们：“……一切外国的东西，如同我们对于食物一样，必须经过自己的口腔咀嚼和胃肠运动，送进唾液胃液肠液，把它分解为精华和糟粕两部分，然后排泄其糟粕，吸收其精华，才能对我们的身体有益，决不能生吞活剥地毫无批判地吸收。”资本主义、修正主义国家的东西，必然打上资本主义的社会烙印和带有资产阶级的阶级偏见。因此，在参考国外情况的过程中，必须遵照伟大领袖毛主席的教导，采用分析、批判的态度。

国外机床行业基本情况资料汇编共三篇，分五册出版。第一篇为“国外机床行业情况综述”，第二篇为“国外机床制造技术概论”，第三篇为“国外机床产品分论”。其中第三篇分为三个分册。

本册为第三篇国外机床产品分论第三分册，由北京机床研究所主编，参加编写的单位有：天津齿轮机床研究所，重庆机床厂，青海第二机床厂，长沙插拉刨锯床研究所，湖南机床厂，抚顺机床厂，青岛生建机械厂，江苏电加工室，烟台机床附件研究所，内江机床电器研究所。

由于我们水平有限，编辑工作中定有不少缺点和错误，请读者批评指正。

第一机械工业部情报所

一九七四年

目 录

第一章 齿轮加工机床	1
第一节 概述	1
第二节 滚齿机	5
一、国外滚齿机生产概况	5
二、国外滚齿机的发展特点	10
三、滚齿机修正装置与测试技术的发展	16
四、国外切齿工艺和刀具发展动态	17
第三节 插齿机	20
一、插齿工艺的发展	21
二、国外主要厂家插齿机生产概况	21
三、代表性产品水平	25
四、机床结构布局型式的发展	27
五、新技术、新结构的应用和发展	28
六、产品主要规格	29
七、主要发展趋势	31
第四节 剃齿机与珩齿机	32
一、剃齿机	32
二、珩齿机	34
第五节 锥齿轮加工机床	35
一、锥齿轮加工概况	35
二、主要工业国家锥齿内轮加工机床的发展概况	37
第六节 花键轴铣床和螺纹铣床	68
一、花键和螺纹加工工艺的发展	69
二、四十至七十年代代表产品水平	69
三、机床总体布局 and 主要部件的发展情况	70
四、产品的主要性能	72
五、主要发展趋势	73
第七节 齿轮倒角机和噪音检查机	74
一、齿轮倒角机	74
二、齿轮噪音检查机	75
第二章 拉床、牛头刨床、插床和锯床	78
第一节 拉床	78
一、概述	78
二、拉削工艺发展概况	82
三、立式拉床	85
四、卧式拉床	96
五、连续拉床	99
第二节 牛头刨床	101
一、普通牛头刨床	103
二、仿形牛头刨床	113
三、移动式牛头刨床	114
第三节 插床	115

一、普通插床	116
二、键槽插床	128
三、龙门插床及移动式插床	130
第四节 锯床	130
一、概述	130
二、圆锯床	135
三、弓锯床	140
四、带锯床	142
五、主要发展趋势	146
第三章 特种加工机床	148
绪论	148
第一节 电火花加工机床	150
一、概述	150
二、国外电火花加工机床的品种、规格、性能	152
三、电火花加工机床的三化水平	175
四、电火花加工机床的新结构、新技术	177
五、电火花加工机床的发展趋势	179
第二节 电解加工机床	180
一、概述	180
二、电解加工机床的品种、规格、性能	186
三、电解加工机床新技术、新结构的应用	202
四、发展趋势	205
第三节 电子束加工	205
第四节 激光加工	206
一、概述	206
二、激光加工装置及其应用	207
第五节 超声波加工	209
一、高频发生器	209
二、加工头	209
三、加工液	210
第四章 机床附件	212
第一节 概述	212
一、国外机床附件的生产特点	212
二、国外机床附件的主要发展趋势	213
第二节 卡盘	213
一、概况	213
二、近几年来的发展趋势	213
第三节 工作台	214
一、概况	214
二、国外产品特点及发展趋势	214
第四节 分度头	215
一、概况	215
二、发展趋势	215
第五章 机床电器	216
第一节 概述	216
一、机床电器在机床工业中的作用及重要性	216

二、机床电器的主要类型	216
三、机床电器的特点	217
第二节 国外机床用电器的技术发展动向	217
一、国外机床用电器生产简况	217
二、国外机床用电器的技术发展动向	219
第三节 机床电器主要元件	220
一、小容量交流接触器	220
二、热继电器	223
三、小容量自动开关	223
四、中间继电器	224
五、时间继电器	226
六、微动开关及行程开关	229
七、接近开关	230
八、牵引电磁铁	232
九、电磁离合器	232

第一章 齿轮加工机床

第一节 概 述

齿轮是机械中常用的重要零件。齿轮的直径小的只有几毫米，如手表、仪表上的小齿轮；大的到十几米，如船用减速齿轮。齿轮传递功率最大达4~5万马力，每分钟转速可达10万转以上，最高线速度可达150~200米/秒以上。在不同的使用条件下对齿轮提出不同的要求。用于汽轮机、航空器和高速机床的传动齿轮，不但线速度高，传动功率大，而且要有很高的传动平稳性，否则，将引起很大的动载荷，因而发生强烈的振动和噪音。用于轧钢机等的动力齿轮，速度低而扭矩大，要求齿面接触良好。用于测量仪器、随动系统以及分度装置等传动机构中的齿轮，要求有很高的传动精度。由于近代工业的发展，对于齿轮的精度、平稳性、接触质量以及强度等方面提出越来越高的要求，因而加工齿轮的方法和齿轮加工机床也随着不断向前发展。

国外齿轮轮齿的加工，大部分在齿轮加工机床上完成。在大量生产的工业部门，如汽车工业，齿轮的加工除大量使用齿轮加工机床外，还采用了不少新工艺、新技术。如采用滚轧成形、粉末冶金、模型铸造、喷射造型、失腊铸造，以及冷拉、热轧等方法，尤其是粉末冶金和滚轧成形应用比较广泛。本章叙述齿轮加工机床，而不包括这些新工艺。

齿轮加工机床，可分为圆柱齿轮加工机床和锥齿轮加工机床。一般常用的圆柱齿轮加工机床包括滚齿机、插齿机、剃齿机、珩齿机、倒角机、噪音检查机，还有花键轴铣床和螺纹铣床。锥齿轮加工机床，可分为直齿锥齿轮加工机床、弧齿锥齿轮加工机床及其辅助设备。

国外齿轮加工机床拥有量较多的国家是美国，1968年拥有齿轮加工机床34600台，占机床拥有量的1.6%。1968年美国齿轮加工机床拥有量及役龄构成见表1-1。

表1-1 1968年美国齿轮加工机床拥有量的构成比

齿轮机床拥有总数 (千台)	役龄10年以下 (千台)	10~20年之间 (千台)	20年以上 (千台)	数控齿轮机床 (台)
34.6	9.2	14.3	11.1	22

1971年英国拥有齿轮机床21682台，各类齿轮加工机床拥有量及役龄构成比见表1-2。

日本齿轮加工机床拥有量及役龄构成比见表1-3。

齿轮加工机床产量较多的国家有美国、西德、日本。1968年以后，美国的产量逐年下降，日本和西德都超过了美国。几个主要工业国家的齿轮加工机床生产情况见表1-4。西德和日本的齿轮加工机床的产量和产值以1970年为最高。1971年西德和日本齿轮机床产量分别为1769台和1766台，为美国产量的两倍多，同年西德产值也超过了美国，但日本的产值还不到美国的一半。

表1-2 1971年英国齿轮加工机床拥有量及役龄构成比

种 类	拥有量及构成比	拥有量 (台)	英国生产的比重 (%)	役 龄 构 成 比 (%)			
				5 年以下	6~9年	10~20年	20年以上
滚齿机		7927	61	16	19	40	25
插齿机		6694	84	14	15	41	30
锥齿轮机床		2503	22	15	15	40	30
磨齿机		912	43	22	18	33	27
研齿机		370	12	22	18	46	14
剃齿机		345	94	24	23	39	14
珩齿机		205	94	47	45	8	0
倒角机		1715	80	29	28	32	11
其它齿轮机床		1011	63	27	10	42	21
合 计		21682					

表1-3 日本齿轮机床拥有量及役龄构成比

种 类	1958年		1963年		1967年			
	台数 (台)	构成比 (%)	台数 (台)	构成比 (%)	台数 (台)	构成比 (%)	10年以下 (台)	10年以上 (台)
机 床	414424	100	670812	100	824247	100	519983 (63.1%)	304362 (36.9%)
齿轮加工机床	11118	2.7	17666	2.6	21020	2.5	13225	7795

表1-4 主要国家齿轮加工机床生产情况

国别	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972
美国							
产量(台)	1591	1556	1476	1252	1061	821	772
构成比(%)	0.66	0.66	0.65	0.54	0.56	0.52	0.38
产值(千美元)	59000	63900	68200	65630	66266	50148	
日本							
产量(台)	1003	1371	1830	2244	2317	1766	1256
构成比(%)							0.96
产值(千美元)	5953	11090	15929	20890	25050	21810	19330
西德							
产量(台)			1642	1895	1876	1769	1438
构成比(%)			1	0.9	0.8	0.8	0.7
产值(千美元)	27870		29510	39560	48030	54520	52630
英国							
产量(台)	809	555	498	516	441		
构成比(%)	1.3	1	0.9	0.9	0.8		
产值(千美元)	12737	9420	8860	9850	8320		
苏联							
产量(台)							
构成比(%)		1.7	1.7	1.7	1.7		
产值							

表1-5 日本齿轮机床产量内部构成比

年份	种类	齿轮加工机床			滚齿机			其它齿轮加工机床			齿轮精加工机床		
		数量 (台)	重量 (吨)	金额 (百万日元)	数量 (台)	重量 (吨)	金额 (百万日元)	数量 (台)	重量 (吨)	金额 (百万日元)	数量 (台)	重量 (吨)	金额 (百万日元)
1966		1003	2741	2518	616	1917	1640	234	521	552	153	303	326
1967		1371	3796	3994	867	2489	2478	310	809	968	194	498	548
1968		1834	5025	5733	1189	3572	3860	415	964	1233	230	489	640
1969		2244	6199	7521	1294	3870	4347	492	1192	1620	458	1137	1554
1970		2317	7346	8961	1397	4880	5576	457	1075	1447	463	1391	1938

表1-6 国外生产齿轮机床的重点厂家

国别 主要厂家 机床类别	瑞士	西德	英国	美国	日本	苏联	东德	捷克	意大利
大型、中型滚齿机	米克隆公司 (Mikron) S. 兰贝特公司 (S. Lambert) 施特劳沙克公司 (Strausak) 瓦赫里公司 (Wahli Frères)	莫拉特公司 (Morat) 柯普发公司 (Koeper)			浜井产业公司 盛和产业公司 第二精工舍公司				
	席士公司 (Schriess) 利布赫公司 (Liebherr) 劳伦茨公司 (Lorenz) 普福特公司 (Pfluter) 施特黑利公司 (Stachely)	戴维·布朗公司 (David Brown) 克雷文公司 (Craven) 邱吉尔公司 (Churchill) 赛克斯公司 (W. E. Sykes)	古尔德·埃贝纳罗特公司 (Gould & Eberhardt) 利斯·布雷德尼公司 (Lees Bradney)		东芝机械公司 札幌铁工所 日立制作所 日本工作机械制作所	共青团员机床厂 (3RC)	莫杜尔公司 (Modul)	托斯公司 (TOS)	
插齿机	马格公司 (Maag) 米克隆公司	劳伦茨公司 (Henschel) 亨舍尔公司 (Henschel) 席士公司	赛克斯公司 (Maxicut H. D.) 马克西卡特公司 (Maxicut H. D.)	费洛克斯公司 (Fellows)	佐野铁工所 东京机械制作所 丰精铁工业公司 唐津铁工业公司 坪井铁工所	共青团员机床厂	莫杜尔公司		帕马公司 (PAMA) 德姆公司 (Demm) 坦尔迪公司 (Daldi)

(续)

(续)									
国别 主要厂家 机床类别	瑞士	西德	英国	美国	日本	苏联	东德	捷克	意大利
剃齿机		胡尔特公司 (Hirth)	塞克斯公司 邱吉尔公司 戴维·布朗公司	精密齿轮机床工具公司 (Precision Gear Machine & Tools)	日立制作所	哈尔科夫机器厂	莫杜尔公司	托斯公司	德姆公司
珩齿机			邱吉尔公司	拉刀与机床公司 (National Broach & Machine)					
齿轮噪音检查机			邱吉尔公司	精密齿轮机床与工具公司	三菱公司				德姆公司
花键轴机床		普福特公司 万德埃公司 (Wanderer) 楚芬哈·乌森公司 (Zuffenhausen)	道丁·多尔公司 (Dowding & Doll)		津上制作所 横滨铁工所	中伏尔加机床厂	黑克尔特·弗里茨公司 (Fritz·Heckert)		(Ezio Pensotti)
圆锥齿轮加工机床	奥立康公司 (Oerlikon)	克林根贝格公司 (Klingelberg) 海德里希·哈尔贝克公司 (Heidenreich & Harbeck)		格里森公司 (Gleason Works)	丰精密工业公司	萨托托夫创齿机及重型铣齿机厂 (C33C ^{II} C3T3C)	莫杜尔公司		

表1-7 几个主要国家齿轮加工机床进出口情况

(单位: 百万美元)

国别	1968		1969		1970		1971		1972	
	出口	进口	出口	进口	出口	进口	出口	进口	出口	进口
美国	26.6	3.8	24.4	2.5	23.4	4.5	29.9	3.7	30	4.5
日本	1.7	25.5	1.8	19.1		21.3	2.8	17.2		16.7
西德			35.7		33.9		41.1		42.4	
英国	3.7	5.7	3.5	6.5	2.5	6.8				
法国					0.5	7.4	0.3	11.4		

从产量构成比看,美国较低。如1971年,美国齿轮机床产量为821台,机床产量为156976台,构成比为0.52%。同年,西德和日本的构成比为0.96%,苏联为1.7%。日本齿轮加工机床产量的内部构成比见表1-5。

国外生产齿轮机床的重点厂家见表1-6。

几个主要工业国家齿轮加工机床的进出口贸易情况见表1-7。从表中可看出,美国是齿轮机床出超的国家,而日本、英国、法国都是入超。日本由于汽车工业等部门的迅速发展,齿轮加工机床不能自给,故进口量很大,出口量很小。1970年美国、日本和英国的齿轮加工机床进出口率和自给率见表1-8。

表1-8 美、日、英齿轮加工机床进出口率及自给率

	进口率(%)	出口率(%)	自给率(%)
美国	15.5	59.7	209.6
日本	47.5	12.8	60.2
英国	53.9	30.1	65.9

以下分节叙述各类齿轮加工机床,其中第二节滚齿机主要介绍国外中型滚齿机,关于大型滚齿机和仪表滚齿机的情况详见第三篇第一分册第一章和第五章。

第二节 滚齿机

一、国外滚齿机生产概况

滚齿机可粗、精加工正齿轮、斜齿轮、蜗轮、花键及各种特殊齿形,加工范围从 $\phi 5 \sim 13000$ 毫米,在现代齿轮加工机床中,占有很重要的地位。如英国1971年拥有金属切削机床727856台,其中齿轮机床21682台,滚齿机占齿轮加工机床的38%,计7927台。自1856年世界上出现第一台直齿滚齿机后,一百多年来,滚齿机的发展是很突出的。目前全世界大约有15个国家生产滚齿机,品种繁多,产量以西德最多,其次是日本。美国滚齿机制造厂虽有多家,但产量不大,如1972年仅产100台,品种和数量均不能满足国内需要;英国的滚齿机制造业已一蹶不振,如创业于1860年以制造透平滚齿机闻名的载维·布朗公司曾经一度倒闭,现虽已重新开业,但未见有滚齿机产品。在上述英国滚齿机拥有量中,39%是从国外进口的。苏联从1933年开始生产滚齿机,尺寸范围从 $\phi 40 \sim 12500$ 毫米,生产小型滚齿机的是哈尔科夫厂,中型的是共青团员厂,大型的是科洛姆纳厂,从加工精度、效率和机床结构来看,苏联产品一般属中等水平。

苏联共青团员工厂生产万能滚齿机5K324和5K32型。另外有简易滚齿机5K324A和5K32A型,提高精度的滚齿机5K324П和5K32П型以及变型滚齿机5K324Y、5K32Y、5K324M和5K32M型等。东德只有莫杜尔公司一家生产滚齿机,1944年建厂,职工有1350人,生产的品种、规格较为齐全,尺寸范围从 $\phi 160 \sim 8000$ 毫米。该厂60年代中期起发展很快,现改进设计的有ZFWZ系列产品如ZFWZ 800 $\times$ 10/Ⅱ型滚齿机,其万能性广泛,自动化程度高,几何精度与加工精度均接近中间公差偏小,从低速到高速能正常运转,音响一般在85分贝内。该机床的床身壁厚只有苏联5K32型床身壁厚的2/3,即18毫米,但刚性很好。莫杜尔厂还生产ZFWXR1000 $\times$ 16型卧式滚齿机。该厂自制的 $\phi 3500$ 毫米蜗轮滚床

加机械修正装置,蜗轮的加工精度可达到 DIN 1 级。莫杜尔厂是适应控制技术在滚齿机上应用的首创者。捷克也只有托斯公司一家生产滚齿机,产品结构新颖,质量较高,近年来发展的 OF 新系列,如 OFE22 (220×M5), OF45AEC (450×M6) 和 OFA16 (160×M4) 型滚齿机均具有万能性广,精度高和使用硬质合金滚刀高速滚切的特点,它的产品主要供出口,在国际市场上有较高的声誉。

另外,美国利斯·布雷德尼公司生产 7HD 型 8"×20" 单轴、四轴、六轴等滚齿机。西德普福特公司生产 DRA 型双轴滚齿机。东德莫杜尔工厂生产 ZFWZ2×250×5 型双轴滚齿机。生产非圆齿轮滚齿机的有苏联和西德。苏联 3ΦH-01 型非圆滚齿机加工非圆齿轮的向径 12~200 毫米,模数 0.5~2.5 毫米,西德施特黑利公司 SHD-1 和 SHD-2 型非圆滚齿机加工非圆齿轮的最大向径为 350 毫米,模数为 3 毫米。

西德、日本、英国生产中型滚齿机的主要工厂的概况简介如下:

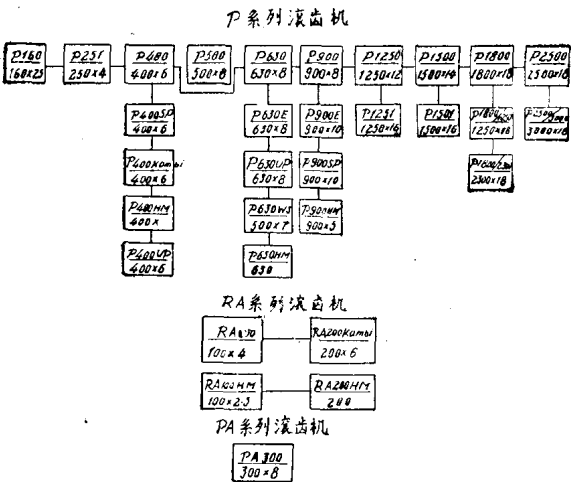
(一) 西德

西德是当前生产齿轮机床产量最大的国家。主要厂家有普福特、利布赫尔、席士、劳伦茨、斯特黑利和胡尔特等公司。这些厂家大都历史比较悠久,产品技术水平较高。

1. 普福特公司

普福特公司 1896 年试制成功第一台带差动的卧式万能滚齿机,自 1900 年建厂至 1970 年共生产了滚齿机 23000 台。现占地面积 53000 米²,其中,车间与办公室占 50%,年产量约 250 台。该公司在 1953 年前生产 RS 系列产品,约有 9 个品种,规格尺寸为 φ250~4000 毫米。还生产一种 DRA (250×M8) 型双轴滚齿机。1954 年生产 P 系列滚齿机,现已生产 29 个品种。与此同时,老产品已逐步淘汰。P 系列到 60 年代中期已趋完整, P 系列立式滚齿机的情况见表 1-9。

表1-9 西德普福特公司滚齿机发展型谱



注: E—简易型; WS—车齿; SP—高精度; VP—特高精度
HM—硬质合金滚刀滚切; Kombi—滚插两用

从上表可知:以 P 400、P 630 和 P 900 为基型分别发展了多种不同用途的变型产品。P 系列的特点是:无横梁、φ1250 毫米以下为固定立柱,工作台移动(但 1970 年生产的 P 1251 / P 1501 型为立柱移动),性能广泛,附件特多,如滚小锥度齿和用电器靠模加工鼓形齿,

用盘铣刀加工的手动或自动单分齿机构，万能刀架作对角滚切与切向滚切，双切削循环，主传动可无级调速，轴向，径向，切向走刀量能无级调速并可进行预选调整，自动排屑，大部分产品的小立柱上均装消震器，P 160~P 900 均可实现单机自动。

该公司 1963 年生产一种立柱移动式不带差动的滚插两用机床，简称 RA 系列。RA200 型可以斜向进给，用于加工圆柱齿轮、斜齿轮、链轮、短花键轴和棘轮。1970 年生产的 RA 300 又带差动，为避免混淆，RA300 型改为 PA300 型。

普福特公司在滚齿加工技术上有多项首创，如顺铣、径向切入、切向进刀、对角滚切等等，并先后取得专利。该公司于 1961 年试制成功带电子修正装置的滚齿机，它是继东德莫杜尔厂后，采用适应控制的第二个厂家。

P 系列的普通滚齿机的加工精度为 DIN 6 级，高精度滚齿机如 P 400SP 型为 DIN 4 级，特高精度滚齿机如 P 630UP 型、P 2000UP 型为 DIN 3 级。

滚齿机上用的分度蜗轮 $\phi 400$ 毫米以下的在 P 900SP 型上加工，直径大于 400 毫米的在 RS3V-SP 型 ($1800 \times M15$) 上加工，如果分度蜗轮精度要求更高，齿数更多则在 P 2000 SR-UP 型上加工。

渗碳钢分度蜗杆用西德林德纳 (Linder) 公司的高精度螺纹磨床加工，蜗杆一转和蜗杆全长的节距偏差在几微米内。切向进给丝杆由于比较短，又是空心结构，也可在该机床上磨出。轴向进给丝杆用林德纳公司磨削长度可达 2 米的精密螺丝磨床加工。所有这些设备均安在温度保持在 20°C ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$)、湿度 54~58% 的恒温车间内。

普通滚齿机用的正齿轮为 DIN 6 级，高精度机床为 DIN 5 级。

锥齿轮的回转均匀性偏差一般在 5~10 秒内。

该公司的测试仪器齐全，其中包括测量机床动精度的 UM180 型地震测量仪。

普福特公司的产品还有用于加工花键轴、小齿轮的 P 315H 和 P 400H 型卧式滚齿机，和用于加工蜗杆和大尺寸螺纹的蜗杆铣床。此外，滚刀的产量也很大，能根据用户要求随机床配套或单独供给。1953 年在美国芝加哥成立了普福特机床公司，1952 年与美国费洛斯插齿机公司达成了协议，费洛斯公司在普福特公司的技术援助下生产 P 系列产品，冠以“费洛斯·普福特”名称，但迄今为止只见到生产 P 400 一种产品。1966 年普福特公司又渗入印度，印度壳牌工程公司在它的技术帮助下生产 P 251 与 P 630 产品。

普福特公司还不定期出版一种工程通讯 (Engineering Letter)，专门报导滚齿机和滚齿工艺上的发展动态。

2. 利布赫尔公司

西德利布赫尔公司于 1948 年建厂，原生产空气压缩机，掘土机以及吊车起重机。当时，工厂对齿轮的需要量很大，但厂内只有一台老式切齿机，利布赫尔才决定自己生产，1952 年试成 S 500 型 ($500 \times M8$) 滚齿机，同年，在汉诺威机床博览会上展出后，影响很大，国内外订货接踵而来。1953~1955 年整个工厂设备均集中生产 3.2 米滚齿机。随着生产的发展，老厂已不敷生产需要，1955 年 9 月在开普顿另建新厂，专门生产滚插等齿轮加工机床，职工约 800 人，年产 L 系列滚齿机，WS 系列插齿机和 ET 系列单件加工滚齿机约 300 台，产值约 1 亿马克。新厂有金工，齿轮加工，热处理，大件加工，木模与装配车间，工夹具调整室和学徒培训车间等，占地面积共 100000 米²。金工车间大部分是通用设备，数控机床约有 5~6 台，计有皮特勒 (Pittler) 数控车床 1 台，普拉特·惠特尼 (Pratt & Whitney) 数控

O-matic tria X2640 型立式数控钻床 1 台、三座标数控成型磨床 1 台, 迪克西 (Dixi) 数控座标镗床 1 台, 还有一台自制的 NCS660 型三座标数控成型磨床, 这些设备对加速产品的试制, 对单件, 小批以及大批生产是极为有利的。此外还大大减少了工夹具样板。齿轮检查仪等有 6 台。

在离主厂 50 公里的林顿堡地方, 有生产自动化设备的工厂, 专门从事生产齿轮自动线, 转盘上下料装置和链式传动装置, 有职工 700 人。两厂共有职工 1500 人。设计人员 70 人, 占 4.7%。

该厂所用的氮化钢蜗杆粗加工采用万德埃专用螺丝铣床, 而后再用克林根贝格螺丝磨床加工, 保证蜗杆全长节距误差 3 微米。分度蜗轮是在一台高精度蜗轮母机上加工的, 累积误差为 6 微米/ $\phi 1500$ 毫米, 滚齿机的分度蜗轮与最大加工直径的比值偏高。滚齿机的加工精度一般为 DIN 5~6 级, 个别的为 DIN 4 级, 最高可达到 DIN 3 级。

利伯赫尔公司过去的产品均采用带横梁的框式结构, 这是它的产品的一个最大特色, 一直到 70 年代初期才突破这个框框, 如 L 305N 型与 LN350 型就不再有横梁了。机床均用电动发电机组无级变速, 具有各种自动循环, 可自动窜刀, 所带附件较多, 适应性大。L 900 型以下的均可以带自动上料装置, 其中还有一种能保证持续工作 8 小时的料仓。机床的刚度比较好, 它曾用轴向走刀量 20 毫米在 L 401 型上作过切齿试验, 证明机床的性能良好。

利布赫尔公司的老产品 S 系列有 12 个品种, 新 L 系列从 L 200~L 3200 共发展了 20 个品种, 产品主要是出口, 高档产品居多, 在全世界有 34 个国家有它的产品经销代理处。

利布赫尔公司为了扩大经营范围, 于 1967 年建立了工厂设计部, 专门承揽厂房与成套设备的设计。

(二) 日本

日本于 1972 年生产机床 164283 台, 其中滚齿机占 0.5%, 计 972 台。产量仅次于西德。日本有将近 20 家滚齿机制造厂, 生产中等尺寸滚齿机的主要厂家有桎藤、不二越、日立、清和、三菱重工、日本机械制作所, 大型的有东芝, 小型的有滨井等公司。

在日本中等尺寸滚齿机制造业中, 有一定代表性的桎藤铁工所建于 1912 年, 资金 1 亿日元, 占地面积 19244 米², 其中建筑面积 12400 米², 恒温车间面积为 362 米²。职工 277 人, 其中技术人员 23 人。该厂拥有各种设备 194 台, 其中机床 171 台, 测试仪器 23 台。该厂设备的 80% 是 1959 年更新的, 齿轮车间以自制设备为主, 齿轮加工机床约有 30 余台。该厂建厂迄今生产滚齿机约有 15 个品种, 年产量 240 台。另外还生产滚刀磨床、花键铣床与珩齿机。产品主要外销西欧各国及美国等。就它的两种主要产品 KS-14 与 KR-1000 型来看, 其加工精度、累积周节差可达到 DIN 5 级以上。

该厂的关键零件的加工如下: 分度蜗轮在自制的蜗轮母机上加工, 该母机工作台的回转精度只有几秒; 蜗杆和丝杆用瑞士莱斯豪尔 NRK 型或 UL 型螺丝磨床加工; 滚刀和工作台驱动系统的齿轮切齿后, 用莱斯豪尔 NZA 型齿轮磨床磨; 箱体孔用瑞士迪克西 175 型座标镗床加工; 配对分度蜗轮蜗杆先经自制的啮合检查仪检查, 在啮合状态下用瑞士魏尔德 (Wild) 读数精度为 0.2 秒的经纬仪测量累积误差, 检定合格后才装到机床上, 在运转状态下用经纬仪复查, 保证分齿精度。

(三) 英国

英国生产滚齿机的主要厂家有邱吉尔、赛克斯、戴维·布朗和克雷文等公司, 其中较为

有名的是邱吉尔齿轮机床公司。该公司建于1946年，1956年增建了一个面积为865米²的加工车间。全厂职工300人，每月平均生产10台机床。1962年新建两层办公大楼，面积1500米²，1965年又增建装配和试验研究车间，面积6800米²，1972年全厂面积16950米²，职工800人，设计人员占职工总数的8%，每月平均生产齿轮机床20~27台，每年总产值约400英镑。

邱吉尔公司1946年开始生产齿轮机床，计有RH8系列滚齿机六种，HD85型高速滚齿机一种，PH系列高效滚齿机三种，其加工直径为178~915毫米，最大加工模数8毫米，另外还生产GS系列剃齿机三种，珩齿机二种。除齿轮机床外还生产自动车床和立车。

邱吉尔公司的PH系列滚齿机有PH1612、PH2415和PH3615型，其变型产品从性能分有万能滚齿机，全自动滚齿机和专用滚齿机；以精度分有普通精度滚齿机，精密滚齿机和高精度滚齿机。万能滚齿机具有滚刀主轴无级变速和进给变速，差动机构加工斜齿轮，单分度铣齿，轴向、径向切削，径向轴向顺铣刀切削以及两次切削循环（双方框循环）等性能。此外，滚刀的轴向窜刀和专门附件可用于加工鼓形齿、小锥度齿等。专用滚齿机具有皮带传动的固定变速，没有差动机构。普通精度机床的加工精度为DIN 7级，精密滚齿机精度为DIN 6级。

邱吉尔的滚齿机，与西德普福特的P系列和利布赫尔的L系列的普通滚齿机或精密滚齿机同类型产品相比较，精度都要低一级（DIN标准）。机床的主传动和进给变速机构的水平赶不上西德的P系列和L系列。机床的布局、主传动方式、减震器、加工鼓形齿的液压仿形机构等受西德P系列和L系列的影响较大。邱吉尔公司的滚齿机万能性和自动化程度都较高，附件多，高速切削性能和机床刚性也较好，三化程度也比较高。

英国赛克斯公司1970年生产H-150型自动滚齿机，采取卧式布局，可滚切直齿圆柱齿轮、斜齿圆柱齿轮和渐开线蜗杆，装上自动上料装置和循环装置即成为自动滚齿机。另外，还生产HV-14A和HV-24型滚齿机。

表1-10 是国外部分高效滚齿机主要参数。

表1-10 国外部分高效滚齿机主要参数

国别	制造厂家	参数名称 机床型号	最大加工直径 (毫米)	最大加工模数 (毫米)	最大加工宽度 (毫米)	滚刀尺寸 φ × L (毫米)	主轴转速 (转/分)	轴向走刀量 毫米/ 转(工件)	主电机功率 (千瓦)	机床重量 (公斤)
西	普福特公司	RA100	100	4						
		RA200	200	8		130 × 220	80-500		7.5	5800
		PA300	300	8	250	160 × 220	80-400	0.8~7.2	15	7800
		P630	630	10		192 × 215	62-390	0.4~6.8	7.5	8200
		P900	900	10		192 × 215	62-390	0.4~6.8	11	8500
德	利布赫尔公司	L401	480	8	300	186 × 180	30-280	0.23~6.35	10	7500
	劳伦茨公司	LF315	315	6	145	145 × 200	50-300	0.62~6	8	8000
		LF630	630	6	190		42-250		15	9500
	施特黑利公司	SH281	280	6	300	150 × 150	88-350		11.2	5800
		SHU400	400	8	300	160 × 220				6300
	胡尔特公司	WF7	140	4		105 × 150	120 × 400		7.5	5600
		WF10	250	6		145 × 180	80-500	0.5~8	7.5	7300

(续)

国别	制造厂家	参数名称 机床型号	最大加工直径 (毫米)	最大加工模数 (毫米)	最大加工宽度 (毫米)	滚刀尺寸 $\phi \times L$ (毫米)	主轴转速 (转/分)	轴向走刀量 毫米/ 转(工件)	主电机功率 (千瓦)	机床重量 (公斤)
日本	桧藤铁工所	KP150	150	3	300	120×150	80~500	0.4~6	3.7	5000
		KS400	400	8	300	180×200	125~400	0.32~12.5	11	7500
	三菱重工公司	GH200	200	4	225	120×150	60~400	0.5~5	5.5	5000
		GH300	300	8	300	150×180	100~400	0.5~8	7.5	7600
英国	赛克斯公司	H6	178	4.2		127×190	190~500		5.5	
捷克	托斯公司	OFA16 OFE22	160 220	4 5	160 210				5.5	3550
东德	莫杜尔公司	ZFWZ 250×5/Ⅱ	250	5	275	145×165	50~400	0.2~6.3	7.5	5200
		ZFWZ 315×8	315	8	280	170×170	50~500	0.2~10	13/16	8000

二、国外滚齿机的发展特点

最近十年来,滚齿机的发展速度很快,其特点主要表现在以下几个方面:

(一) 提高切削用量, 加大功率

国外汽车工业中使用优质高速钢滚刀的切削速度在70~80米/分内,个别已达120米/分,而硬质合金滚刀的切削速度达300米/分,普福特公司的RA100HM型的设计切削速度甚至可达500米/分^[33]。P630系列的实用轴向走刀量,工件每转为6.8毫米;东德ZFWZ315×8型的容许轴向走刀量,工件每转高达10毫米,日本桧藤的RS-400型轴向走刀量高达12.5毫米。由于硬质合金滚刀高速和大走刀切削,功率比普通滚齿机加大2~3倍,如KP150H型机床的主电机功率由原来的3.7千瓦加大到7.5千瓦,WF10H由原来的7.5千瓦加大到18千瓦。

(二) 增加机床的静、动刚度

高效率切削的前提是加强刀具和工件间的刚度,即在外力影响下,刀具与工件间的相对位置不变。就机床的静刚度而言,起决定作用的是使立柱的偏移量和滚刀主轴与传动机构间的扭转变形量最小。而机床的动刚度,除了位置精度外,还应提到机床整个系统具有很高的自振频率,保证在加工过程中,工件或刀具没有振动,否则,会导致刀具提前磨钝。从图1-1可以明显地看出,随着机床刚性的增强,机床重量有加大的趋势。如RA系列的机床重量普遍超过其他系列同规格和性能的机床。而个别产品如LN350,

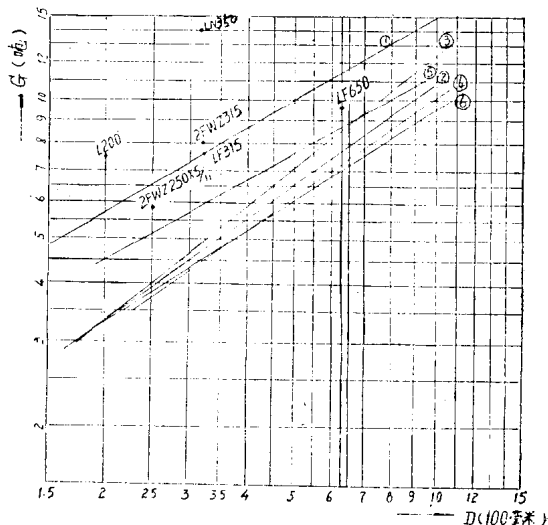


图1-1 滚齿机重量G与最大加工直径D的关系

- ①RA型 $G = 3.7D^{0.607}$; ②P系列 $G = 2.05D^{0.726}$
 ③L系列 $G = 1.98D^{0.8}$; ④F系列 $G = 1.98D^{0.68}$
 ⑤KS系列 $G = 3.02D^{0.76}$; ⑥ZFWZ $G = 2.14D^{0.887}$

如LN350, L200与ZFWZ315等型机床的重量比同规格性能的机床更重,目的均是出于提高刚性。

在提高刚度上采取以下措施

1. 床身：改进断面结构，适当加大横断面尺寸，采用双重壁等。如图 1-2 (b) 所示为改进后的结构，其特点是将其支持工作台导轨面的筋壁加厚，并且沿此筋壁一直通到床身外侧，切削力可直接由地基承受。RA200 的床身上部有“之”字形筋壁，L200 型的床身底部纵横方向有两道加固宽筋，以增加其扭转刚度。而 WF10 打破了常规的布局方式，将立柱与床身铸成一体，刀架滑板、工作台滑板及走刀箱等传动部件均装在床身外部，床身上只开了铸造所需的孔，刚性很好，但工艺性较差。

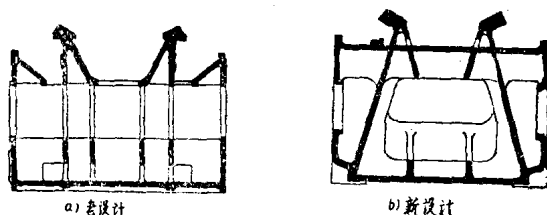


图1-2 邱吉尔公司两种不同床身断面结构比较

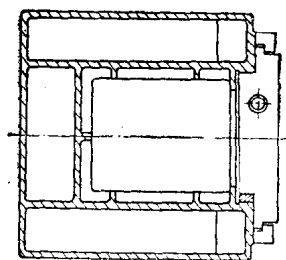


图1-3 P1501、P1251系列机床立柱断面图

2. 立柱：加大立柱导轨支承宽度，如图 1-3 所示。有的厂家立柱不采用三角形导轨，而采用矩形导轨，从而改善了加工工艺性，缩短了导轨的悬伸长度，增加了结构刚性，如 PA300 型。

3. 刀架滑板：尽量减小刀架悬伸长度。将滚刀主轴轴心相对于滑板中心向下偏离一个距离。这样可使刀架总悬伸量减小，还可使切削力作用于刀架滑板导轨面内；加大滑板伸入立柱内的长度，使刀架滑板重心落在垂直丝杠中心，这样可使滑板的重力更好的平衡切削力。利布赫尔公司 L 系列滚齿机就具备这个特点，L 系列不仅增加了刀架滑板伸入立柱内的长度，而且在立柱尾部增加一个辅助导向机构，从而对刀架滑板的振动能起到阻尼作用。劳伦茨的 LF 型将法兰盘式直流电机直接装在刀架滑板尾部也有这方面的原因。

4. 缩短主传动链。缩短经受重载荷的主传动链，除采用短而粗的传动轴外，把主电动机装在立柱顶上（如 L 系列和 PH 系列均为这种布局方式），它较之把主电动机安装在立柱下后方通过主传动箱传递运动要优越得多。这样不仅缩短了主传动链，而且提高了传动刚度。

5. 减小或消除传动副间隙。分度副普遍采用双导程蜗杆，以利经常保持很小间隙。PA300 采用双蜗轮副传动，其中一对蜗轮副是为消除分度副间隙而设的，但结构复杂；承受冲击载荷最直接和最影响滚齿机精度的刀架末端齿轮传动副，以及主轴花键联结处，都设有间隙消除机构。齿轮传动副采用双齿冠或小锥度齿等结构，也是为了消除间隙；垂直走刀丝杠结构，也有消除间隙装置，而且多数采用双螺母结构。PA300 型采用滚珠丝杠，其传动间隙为零。

6. 提高交换齿轮传动机构的刚度和精度。PA300 把交换齿轮的中间轴，由传统的移动式变成固定式，大大提高了传动轴的刚度。而且将交换齿轮改成鼓形结构，这可防止因轴歪斜而引起的齿面接触不良现象，因而，提高了传动精度，也减小了机床的噪音。

7. 设置必要的夹紧机构。滚刀切向滑板和工作台滑板都设置自动夹紧机构，在切削过程中可自动夹紧。

8. 设置减振器。除将转动惯量大的飞轮，装在靠近滚刀主轴的高速轴上，以期减小由于切削力产生的强制振动传递到传动系统中外，在滚齿机小立柱的顶部设置减震器。如英国邱吉尔公司、日本桎藤以及西德的普福特公司都采用这种措施。其中，尤以后者最突出。如普福特的 P1250 以下产品的小立柱上均设有减震器。

(三) 提高机床精度

西德阿亨工业大学对不同制造年份的 84 台滚齿机进行测试的结果证明：1958 年以后制造的滚齿机平均误差值较小，究其原因，在于机床零部件磨损较少、制造精度提高的关系。现代工业要求齿轮传动能传递很大的功率，转速高、运转时没有噪音，工作又要平稳，因之，对滚齿机精度提出了更高的要求。国外加工航空仪表、雷达装置以及宇宙飞船和导弹用小模数齿轮滚齿机的加工精度，已达 DIN 1 级^[34]，精密透平滚齿机的加工精度，也达 DIN 1 级^[32]。至于中等尺寸普通滚齿机的加工精度，普遍为 DIN 6 级，高精度的为 DIN 4~5 级，特高精度的则达 DIN 3 级以上。

提高滚齿机精度，有以下几个方面：

1. 提高分度链传动元件的精度

影响加工精度最大的是滚齿机的核心即分度蜗轮。

西德各滚齿机制造厂六十年代中期分度蜗轮的制造精度如图 1-4 所示^[35]。

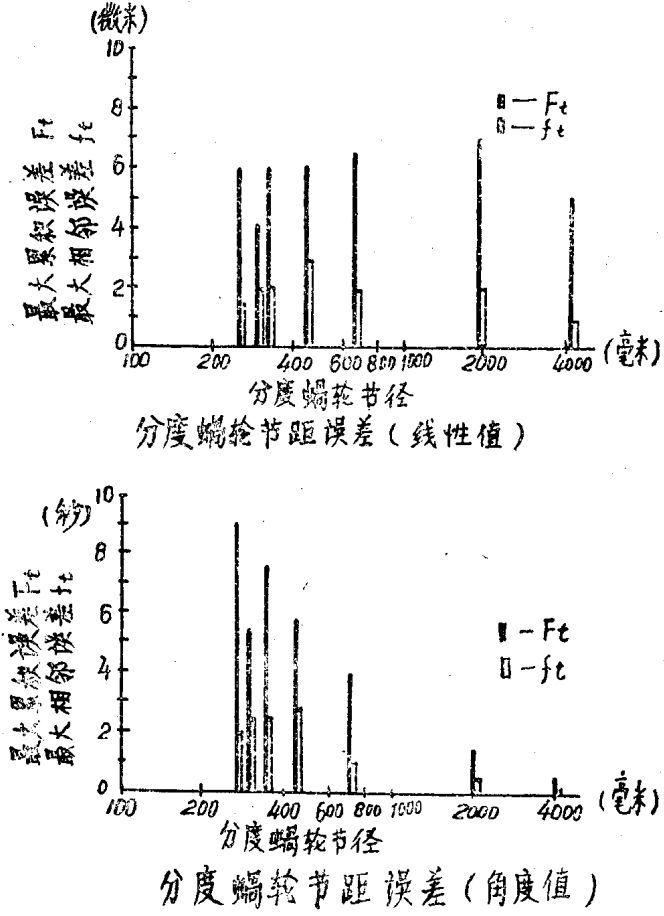


图1-4 西德各厂家60年代中期分度蜗轮加工精度