



机械设计师必备用书

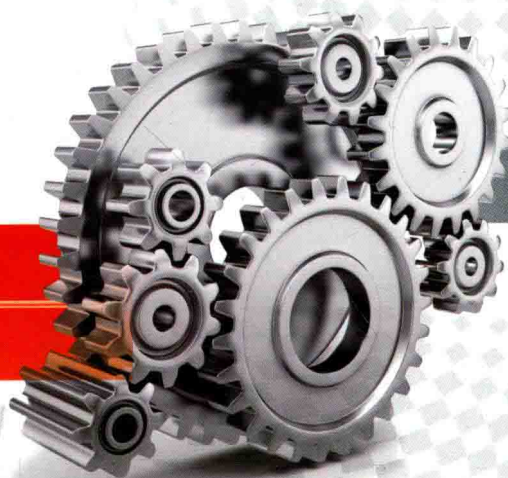
精密机械 工程学

Jingmi Jixie Gongchengxue

姚其槐 编著

26个设计原理 50个经验定则

畅游精密机械世界的捷径



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

精密机械工程学

姚其槐 编著



机械工业出版社

本书以涉及机械设计、加工与运用的精密机械工程学为主题,在这一相对狭窄的内容范围上进行整理归纳与总结提升。全书分成三部分内容:一是概论篇,介绍一些在技术上相对基础而敏感的话题,以及一些与市场变化前沿密切相关的精华内容;二是理论篇,精密二字应该包含精细、精确、精良、精华和周密、缜密、致密、机密等多层次的内容,不仅仅是零部件尺寸上的精密入微,更要围绕人们实现精良产品的中心目标展开讨论,力求建立理论思路清晰明了的体系;三是经验篇,把经验总结出来,记录下来,运用公开。本书不是传统意义上的机械原理、机械零件、机械加工工艺及其设备等教科书,而是一本侧重于机械设计与加工的、并为其提供基础和共性综合知识的辅助教材,一本联系市场变化与产业前沿信息的参考书,以及一本促进机械产业升级创新的专业基础书。

本书适合机械大类科研院所的研究人员,以及从事机械设计、汽车设计等相关人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

精密机械工程学/姚其槐编著. —北京:机械工业出版社, 2015. 8
ISBN 978-7-111-51789-4

I. ①精… II. ①姚… III. ①机械设计 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 241764 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 连景岩 杜凡如 责任编辑: 连景岩 杜凡如

责任校对: 佟瑞鑫

封面设计: 张 静

责任印制: 乔 宇

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2015 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 26.25 印张 · 2 插页 · 649 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-51789-4

定价: 109.00 元

电话服务

服务咨询热线: 010-88361066

读者购书热线: 010-68326294

010-88379203

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工官博: weibo.com/cmp1952

金书网: www.golden-book.com

教育服务网: www.cmpedu.com

前言

工学是工程学的简称,其英语为 engineering。在日本出版了许多机械工程学系列的书,例如传热工学、振动工学、计测工学、超声波工学等,其中就有精密工学方面的书。然而,相对于超声波、传热、振动、计测等比较具体的名词来说,精密二字的具体含义就抽象和复杂得多。

从广义上来说,精密二字是对人们研究的世间万物的定性、定量分析的精细与周密程度的评价。

从狭义角度来看,精密工程学的研究内容应根据研究对象的具体目标来定,在具体的专业范围内展开,成为一个具体工程领域的狭义精密工程学。与之对应的则是广义精密工程学,其研究范围广泛,不仅必须把工程领域的定性、定量分析研究的具有共性的成果进行整理归纳和总结提升,形成系统而井然有序的理论,而且必须对工程基础科学理论有更深层次的学习与思考,以期能解决问题,并进行创新,这无疑是一个庞大而艰巨的任务。

本书以涉及机械设计、加工与运用的精密机械工程学为主题,在这一相对狭窄的内容范围上整理归纳与总结提升。全书分成三部分内容:一是概论篇,二是理论篇,三是经验篇。通过理论和实践两个方面,提高从事精密机械设计的能力,进而运用到工程实践中,设计与制造出更新的、更精密的产品。本书不是传统经典意义上的机械原理、机械零件、机械设计、机械加工工艺及其设备等教科书,而是一本侧重于机械设计与加工的、并为其提供基础和共性综合知识的辅助教材,一本联系市场变化与产业前沿信息的参考书,以及一本促进机械产业升级创新的专业基础书。

本书从美国克里斯·埃文斯(Chris Evans)著、蒋向前译的双语版《精密工程发展论》一书中受益匪浅。该书第25页有一个微妙的说法值得注意:“似乎没有理由表明为什么具有一定用途的机器结构不能像通常的问题一样简化成数学问题,从而采用直接和特定的方法得到所有需要的形式和布局,然后从中随意选择。”跟着这个妙想而来的评论就有一点悲观:“现在,解决这类问题只能靠精通这个学科的人的直觉和经验,但却无法与其他人进行交流。”

不仅在美国,而且在日本,以及大多数国家,也有学者面临同样的难题。

早在20世纪90年代初,笔者有幸阅读到了日本早稻田大学中泽弘教授的《通俗精密工学》一书。中泽弘教授在该书的前言中写道:“在日本虽然有精密工学会这样的大学会,但是精密工学这门学问究竟如何还是不明晰的,而且即使作为学问也还未建立体系。我在大学里教授精密工学,从这个角度,至今仍为究竟应该教授些什么感到烦恼,我十分羡慕像热力学、控制工学,这些建立了体系的理论清晰的学问……”

20世纪90年代初,笔者在日本读到《通俗精密工学》一书中的上述文字时,正是我面对诸多日本产业工程技术难题订单寻找解决答案的时候,确实感到精密机械工程学的内容极其广泛,原理分布在跨学科各个领域,且不易系统归纳与集中,由此产生了对“通俗精密工学”这一学问的肃然起敬。我不得不努力学习、研究、实践、思考、总结与归纳,一些

原理、法则、公理也就是在那个时期的实践经验中开始体会感悟出来的。我们需要进一步去发现、补充与完善新的原理，要把那些习以为常甚至于无意识的东西挖掘出来，把实践经验提升到理论层面。为将这一艰巨任务得以推进，笔者顾不上才疏学浅，而把这些体会感悟汇集成书，以期与大家交流。

关于书名，《精密工学》显然要比《精密工程学》的概念清晰，工学就是工业的学问，工程学的范围则要更广泛，可以是农业工程、艺术工程或者其他。不过，只要把《精密工程学》冠之以“机械”二字，写成《精密机械工程学》，简称《精密工学》，就相对准确了。

思索至此，正本清源，“精密学”更是普遍存在的大学问，世间万物，要想得更清楚，要做得更好，斟酌、衡量、吟味，怎能没有精细致密的理论指导呢？倘若人间有“精密学”，以此观察世界思考问题，可不得了，明知谈何容易，也只有奋力耕耘向前。

本书出版之际，得到许多前辈友人的指导帮助，引用了国内外许多学者的文献资料，在此谨致敬谢之意。

姚其槐
2015 年

目 录

前言 总论

第 1 篇 概 论 篇

第 1 章	目标设计过程 (IDP: innovation design process)	8
第 2 章	机械设计的基础	13
第 3 章	机械设计、装配和调整的系统均衡对称原理	19
第 4 章	机器人——最高意义上的自动化精密机器	28
第 5 章	机械与脑科学	37
第 6 章	实现高精度和高效率的精密定位机构设计	62
第 7 章	弹性系统刚度链原理	88
第 8 章	滚动轴承的新动向	103

第 2 篇 理 论 篇

第 1 章	绪论	130
1.1	实现高精度运动	130
1.2	精密量、正确量、微细	131
1.3	为什么要高精度	132
1.4	现在的技术水平	133
第 2 章	高精度化的基本评价项目	136

2.1 基本评价项目	136
2.2 测定原理	137
2.3 评价项目的测定	140
2.4 评价项目的关系	145
第3章 信息量最小的公理	147
3.1 概念化	147
3.2 实体化	148
3.3 评价	148
3.4 过去的评价法	149
3.5 信息计算法	150
3.6 满足度函数	152
3.7 评价实例	153
3.8 最少几何要素公理	155
第4章 机能独立性的原理	156
4.1 理论	156
4.2 应用实例	157
第5章 综合设计的原理	163
5.1 理论	163
5.2 应用实例	164
第6章 间隙为零的原理	172
6.1 理论	172
6.2 间隙为零的约束运动机构（弹性支持法）	172
6.3 拘束	173
第7章 理论上的阿贝原理	178
7.1 理论	178
7.2 适用阿贝原理的实例	179
7.3 激光干涉计的利用	181
第8章 柔度原理	184
8.1 理论	184
8.2 柔度和断面利用率	184
8.3 力线的最短化	186
8.4 用预压的方法使柔度最小化	187

8.5 静压运动约束的柔度最小化	189
8.6 柔度链概念	193
第9章 热变形最小化原理	195
9.1 理论	195
9.2 热源分离	195
9.3 防止热移动	196
9.4 零膨胀的材料	198
9.5 对称性的效果	200
第10章 运动圆滑化的原理	201
10.1 理论	201
10.2 导轨的种类	201
10.3 长滑台	204
10.4 抵抗力重心	207
10.5 平衡重物	207
10.6 爬行滑动(曲棍球杆滑动)	208
10.7 往复运动	209
10.8 直线运动和曲线运动上的速度与方向	210
第11章 辅正原理	211
11.1 理论	211
11.2 辅正法的分类	211
11.3 理论算法	212
11.4 静的模特法	213
11.5 动的模特法	216
11.6 反馈控制法	217
第12章 过滤效果的原理	222
12.1 理论	222
12.2 过滤要素的实例	223
第13章 缩小原理	229
13.1 理论	229
13.2 缩小机构的实例	229
13.3 扩大原理	231
第14章 加工精度的上限原理	232

14.1	理论	232
14.2	尺寸精度的上限值	232
14.3	形状精度的上限值	233
14.4	加工面表面粗糙度的上限值	233
14.5	加工变质层的上限值	234
第 15 章	要素技术的上限原理	235
15.1	理论	235
15.2	实现高精度平面的技术	235
15.3	实现高精度长度的技术	237
15.4	实现高精度圆柱的技术	237
15.5	实现高精度圆周分割的技术	238
15.6	实现高精度球、球面的技术	238
第 16 章	加工单位的原理	240
16.1	理论	240
16.2	加工单位和加工精度	240
16.3	小加工单位的加工方法实例	242
16.4	强制加工和加工单位的原理	243
第 17 章	母性原理	244
17.1	强制加工和母性原理	244
17.2	展成法和成形工具法	245
17.3	强制加工法的高精度化	245
第 18 章	研磨抛压的原理	248
18.1	选择压力加工法和研磨抛压的原理	248
18.2	研磨	249
18.3	抛光加工与超精加工	251
18.4	机械化学抛光	253
18.5	滚压加工	253
第 19 章	能量加工异方性原理	255
19.1	能量加工和异方性原理	255
19.2	物理的能量加工	256
19.3	物理化学的能量加工	258

19.4 电气化学的能量加工	259
19.5 化学的能量加工	259
19.6 热的能量加工	262
19.7 加工精度	263
19.8 放电加工的后续研磨加工原理	264
19.9 去毛刺技术原理	264
第 20 章 加工上的阿贝原理	266
20.1 理论	266
20.2 实例	266
第 21 章 被削材原理	269
21.1 理论	269
21.2 被削材的均质性	269
21.3 被削材的稳定性	271
21.4 量块的加工实例	271
第 22 章 无变形支承的原理	273
22.1 理论	273
22.2 无变形支承的实例	274
第 23 章 多阶段加工的原理	277
23.1 理论	277
23.2 形状误差和柔度	277
23.3 磨粒加工与前压误差	279
23.4 加工变质层	280
第 24 章 组装加工的原理	282
24.1 理论	282
24.2 自切	282
24.3 偶件法	284
第 25 章 滚动轴承装配精度进化原理	286
25.1 多联轴承的高精度装配方法	286
25.2 高精度机械要素母件进化原理	289

第 26 章 金属组织对尺寸精度和力学性能的影响原理 290

第 3 篇 经 验 篇

定则 1：温度上升 10℃寿命减半定则 296

1.1 定则成立的根据 296

1.2 忽视该定则的危害 298

1.3 定则使用注意事项 298

1.4 定则使用效果 298

定则 2：配合间隙 1/5000 优化定则 299

2.1 定则成立的根据 299

2.2 忽视定则的危害 300

2.3 定则使用注意事项 301

2.4 定则使用效果 301

定则 3：硬度对疲劳强度的比为 18 的定则 301

3.1 定则成立的根据 302

3.2 忽视定则的危害 302

3.3 定则使用注意事项 303

3.4 定则使用效果 303

定则 4：切口 0.5mm 疲劳强度减半定则 303

4.1 定则成立的根据 304

4.2 忽视定则的危害 304

4.3 定则使用注意事项 305

4.4 定则使用效果 305

定则 5：抗拉强度与冲击强度成反比定则 305

5.1 定则成立的根据 305

5.2 忽视定则的危害 307

5.3 定则使用注意事项 307

5.4 定则使用效果 307

定则 6：疲劳强度最大 45HRC 定则	308
6.1 定则成立的根据	308
6.2 忽视定则的危害	309
6.3 定则使用注意事项	309
6.4 定则使用效果	309
定则 7：耐疲劳表面精加工有效定则	309
7.1 定则成立的根据	310
7.2 忽视定则的危害	310
7.3 定则使用注意事项	310
7.4 定则使用效果	311
定则 8：抗拉强度与疲劳强度之比 45 定则	311
8.1 定则成立的根据	311
8.2 忽视定则的危害	312
8.3 定则使用注意事项	312
8.4 定则使用效果	313
定则 9：腐蚀下的疲劳无抵抗定则	313
9.1 定则成立的根据	313
9.2 忽视定则的危害	314
9.3 定则使用注意事项	314
9.4 定则使用效果	314
定则 10：C 增加提高硬度有效定则	314
10.1 定则成立的根据	314
10.2 忽视定则的危害	315
10.3 定则使用注意事项	316
10.4 定则使用效果	316
定则 11：-60℃耐冲击无抵抗定则	316
11.1 定则成立的根据	316
11.2 忽视定则的危害	317
11.3 定则使用注意事项	318
11.4 定则使用效果	318

定则 12: 冲击强度与淬火深度的比例定则	318
12.1 定则成立的根据	318
12.2 忽视定则的危害	319
12.3 定则使用注意事项	319
12.4 定则使用效果	320
定则 13: 低温时热处理淬火程度对冲击强度的影响定则 ...	320
13.1 定则成立的根据	320
13.2 忽视定则的危害	321
13.3 定则使用注意事项	322
13.4 定则使用效果	322
定则 14: 硬度对抗拉强度的 $HBW \times 31\% + 18$ 定则	322
14.1 定则成立的根据	322
14.2 忽视定则的危害	323
14.3 定则使用注意事项	323
14.4 定则使用效果	324
定则 15: 高锰钢的低温耐冲击有效定则	324
15.1 定则成立的根据	324
15.2 如果不了解这个经验定则时可能出现的问题	325
15.3 在设计时对本经验定则适用上的注意要点	325
15.4 本经验定则适用时的效果	325
定则 16: 中压、中速接触时的耐磨 $C0.9$ 定则	326
16.1 定则成立的根据	326
16.2 如果不了解这个经验定则时可能出现的问题	327
16.3 在设计时对本经验定则适用上的注意要点	327
16.4 本经验定则适用时效果	327
定则 17: 高压低速接触时为保证耐磨性而要避免使用碳的质量分数为 0.9% 的钢材定则	328
17.1 定则成立的根据	328
17.2 如果不了解这个经验定则时可能出现的问题	329
17.3 在设计时对本经验定则适用上的注意要点	329

17.4 本经验定则适用时的效果	329
定则 18: 高压高速接触时含碳量与耐磨性的有效定则	329
18.1 定则成立的根据	330
18.2 如果不了解这个经验定则时可能出现的问题	330
18.3 在设计时对本经验定则适用上的注意要点	331
18.4 本经验定则适用时的效果	331
定则 19: 有切口的零件材料的回火温度与疲劳强度的关联定则	331
19.1 定则成立的根据	331
19.2 如果不了解这个经验定则时可能出现的问题	332
19.3 在设计时对本经验定则适用上的注意要点	333
19.4 本经验定则适用时的效果	333
定则 20: 回火温度与冲击强度的有关定则	333
20.1 定则成立的根据	334
20.2 如果不了解这个经验定则时可能出现的问题	334
20.3 在设计时对本经验定则适用上的注意要点	335
20.4 本经验定则适用时的效果	335
定则 21: 抗拉强度与切削表面缺口敏感度比例定则	335
21.1 定则成立的根据	335
21.2 如果不了解这个经验定则时可能出现的问题	336
21.3 在设计时对本经验定则适用上的注意要点	337
21.4 本经验定则适用时的效果	337
定则 22: 为确保耐冲击而回避 C0.7 以上的定则	337
22.1 定则成立的根据	338
22.2 如果不了解这个经验定则时可能出现的问题	338
22.3 在设计时对本经验定则适用上的注意要点	339
22.4 本经验定则适用时的效果	339
定则 23: 钢板拉伸限界比为 2 以下的定则	339
23.1 定则成立的根据	339
23.2 如果不了解这个经验定则时可能出现的问题	340

23.3	在设计时对本经验定则适用上的注意要点	341
23.4	本经验定则适用时的效果	341

定则 24：冲压成形切断时抗张力确保定则 341

24.1	定则成立的根据	341
24.2	如果不了解这个经验定则时可能出现的问题	343
24.3	在设计时对本经验定则适用上的注意要点	343
24.4	本经验定则适用时的效果	344

定则 25：成形切断时的飞边与配合间隙的关系定则 344

25.1	定则成立的根据	344
25.2	如果不了解这个经验定则时可能出现的问题	345
25.3	在设计时对本经验定则适用上的注意要点	346
25.4	本经验定则适用时的效果	346

定则 26：冲孔成形模具刀口轮廓线的过渡圆角半径 R 与板材厚度 t 的比值 R/t 大于 0.25 的定则 346

26.1	定则成立的根据	346
26.2	如果不了解这个经验定则时可能出现的问题	347
26.3	在设计时对本经验定则适用上的注意要点	348
26.4	本经验定则适用时的效果	348

定则 27：冲压成形冲孔加工时孔的尺寸精度和冲头外径与模具刀口的间隙配合大小有关定则 348

27.1	定则成立的根据	348
27.2	如果不了解这个经验定则时可能出现的问题	349
27.3	在设计时对本经验定则适用上的注意要点	349
27.4	本经验定则适用时的效果	350

定则 28：反弹量与弯曲成形比 R/t 的关系定则 350

28.1	定则成立的根据	350
28.2	如果不了解这个经验定则时可能出现的问题	351
28.3	在设计时对本经验定则适用上的注意要点	351
28.4	本经验定则适用时的效果	352

定则 29：最小冲压弯曲圆角半径 R 与板材厚度 t 的比值必须确保在 1.5 以上的定则 352

- 29.1 定则成立的根据 352
 - 29.2 如果不了解这个经验定则时可能出现的问题 353
 - 29.3 在设计时对本经验定则适用上的注意要点 354
 - 29.4 本经验定则适用时的效果 354
-

定则 30：箱形产品冲压成形时其尖角部位防止破裂的圆孔加工必要定则 354

- 30.1 定则成立的根据 354
 - 30.2 如果不了解这个经验定则时可能出现的问题 356
 - 30.3 在设计时对本经验定则适用上的注意要点 356
 - 30.4 本经验定则适用时的效果 356
-

定则 31：板材弯曲加工时必然出现弯曲棱线部位挠曲的定则 356

- 31.1 定则成立的根据 357
 - 31.2 如果不了解这个经验定则时可能出现的问题 357
 - 31.3 在设计时对本经验定则适用上的注意要点 358
 - 31.4 本经验定则适用时的效果 358
-

定则 32：冲孔间隔距离最小为板厚 2 倍的定则 359

- 32.1 定则成立的根据 359
 - 32.2 如果不了解这个经验定则时可能出现的问题 360
 - 32.3 在设计时对本经验定则适用上的注意要点 360
 - 32.4 本经验定则适用时的效果 361
-

定则 33：十字形角焊连接强度 70% 定则 361

- 33.1 定则成立的根据 361
 - 33.2 如果不了解这个经验定则时可能出现的问题 362
 - 33.3 在设计时对本经验定则适用上的注意要点 362
 - 33.4 本经验定则适用时的效果 362
-

定则 34：焊口对接处的开口距离确保 $1/2$ 定则 363

34.1	定则成立的根据	363
34.2	如果不了解这个经验定则时可能出现的问题	364
34.3	在设计时对本经验定则适用上的注意要点	364
34.4	本经验定则适用时的效果	364
定则 35：受焊接热影响区的抗冲击强度脆弱化定则		365
35.1	定则成立的根据	365
35.2	如果不了解这个经验定则时可能出现的问题	366
35.3	在设计时对本经验定则适用上的注意要点	366
35.4	本经验定则适用时的效果	367
定则 36：用记号和实际形状来防止焊接误差发生的定则 ...		367
36.1	定则成立的根据	367
36.2	如果不了解这个经验定则时可能出现的问题	368
36.3	在设计时对本经验定则适用上的注意要点	369
36.4	本经验定则适用时的效果	369
定则 37：提高焊接热影响部位的抗拉强度定则		369
37.1	定则成立的根据	369
37.2	如果不了解这个经验定则时可能会出现的问题	370
37.3	在设计时对本经验定则适用上的注意要点	371
37.4	本经验定则适用时的效果	371
定则 38：肋板与法兰焊接位置分散定则		371
38.1	定则成立的根据	372
38.2	如果不了解这个经验定则时可能出现的问题	373
38.3	在设计时对本经验定则适用上的注意要点	373
38.4	本经验定则适用时的效果	373
定则 39：回避焊接热影响的最小距离 2 倍于板厚的定则 ...		374
39.1	本经验定则的成立根据	374
39.2	如果不了解这个经验定则时可能出现的问题	375
39.3	在设计上对本经验定则使用时的注意要点	375
39.4	本经验定则使用时的效果	375
定则 40：防止焊接部位破坏必须同尺寸焊接定则		376