

# 休特工程师手册

## 物理

1

〔西德〕A.贝茨 等著

机械工业出版社

本书分两册出版。本册主要介绍力学的基础性理论。内容包括量和单位, 标准化, 相似论与模型技术, 刚体力学和系统力学, 可变形固体力学(材料强度学), 机械振动, 流体力学(气体和液体)和塑性成型力学等。各章后附有重要参考文献, 书末附有索引。

本书可供一般工程技术人员查阅使用, 也可供工科高等院校的师生参考。

HÜTTE  
DES INGENIEURS TASCHENBUCH  
PHYSIKHÜTTE BAND 1  
HERAUSGEBER: HÜTTE Gesellschaft für Technische  
Informationen mbH, Berlin 29., neubearbeitete Auflage  
1971

VERLAG VON WILHELM ERNST & SOHN  
BERLIN MÜNCHEN DÜSSELDORF

\* \* \*

休特工程师手册

物理 I

[西德] A. 贝茨 等著

张 维 等译

\*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 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·新华书店经售

\*

开本  $850 \times 1168 \frac{1}{32}$  · 印张  $22 \frac{1}{8}$  · 字数 577 千字  
1984 年 6 月北京第一版 · 1984 年 6 月北京第一次印刷  
印数 0,001-7,200 · 定价 4.80 元

\*

统一书号: 15033 · 5513

## 前 言

德国《休特工程师手册》是一部历史悠久的名著。第一版出版于 1857 年，距今已有一百余年。随着德国工业和科学技术的发展，该书不断修订、补充、再版，现在已出了 29 版，篇幅日益扩大，内容日趋丰富，成为包括数学、物理、机械、电机、材料、土木、冶金、交通等内容广泛的多卷集巨著。已有多种文种的译本。

本书是根据该手册第 29 版的物理卷翻译的，分为两个分册。原书编著者都是著名的学者和工程师。他们用精练的语言，从工程技术学的角度，概括地阐明了各个学科的基本概念和基本理论，给出了主要的公式、数据和图表，提供了重要文献的检索线索，对工程技术人员是一本很好的工具书，对于高等工科院校的师生是一本很好的教学参考书。

译文力求准确。对书中的名词术语，凡有国家标准规定的，原则上按标准名称翻译，暂无标准规定的，则尽可能参照国内习惯用法。书籍体例基本上保持了原书风格。对原书某些印刷上的错误或笔误，以及个别不易理解之处，已由译者改正或加必要的注释。

本书译文承北京航空学院陆士嘉教授、清华大学何成钧教授、卢谦副教授、史光筠副教授、李天铎副教授、北京大学陈耀松副教授、同济大学李明昭副教授、李梧令讲师、沈枋讲师、陈浩生讲师等大力协助，分别对有关部分进行了认真的审校，特此表示衷心的感谢。

由于时间仓促，译文难免有不当甚至错误之处，请读者指正。

张 维 杨津基

一九八二年三月

## 数学符号

<p> <math>+</math> 正号, 多, 加  <math>-</math> 负号, 少  <math>\cdot</math> <math>\times</math> 乘  <math>:/-</math> 除, 到  <math>\%</math> 百分比  <math>\text{‰}</math> 千分比  <math>\dots</math> 数字范围  <math>=</math> 等于  <math>\triangleq</math> 相当于  <math>\neq</math> 不等于  <math>\equiv</math> 恒等于  <math>&lt;</math> 小于  <math>&gt;</math> 大于  <math>\leq</math> 小于或等于, 最大等于  <math>\geq</math> 大于或等于, 最小等于  <math>\gg</math> 远大于  <math>\ll</math> 远小于  <math>\infty</math> 无穷大  <math>\parallel</math> 平行  <math>\uparrow\uparrow</math> 同方向平行  <math>\uparrow\downarrow</math> 相反方向平行  <math>\perp</math> 垂直  <math>\rightarrow</math> 趋于  <math>\sim</math> 正比于, 类似  <math>\approx</math> 接近, 近似等于  <math>\cong</math> 渐近等于  <math>\lim</math> Lims(极限)  <math>\equiv</math> 全同  <math>\text{sgn}</math> 正负号函数  <math> a </math> <math>a</math> 的数值                 </p>	<p> <math>\bar{a}</math> <math>a</math> 的平均值  <math>\hat{a}</math> <math>a</math> 的最大值  <math>\check{a}</math> <math>a</math> 的最小值  <math>\sphericalangle</math> 角  <math>\overline{AB}</math> <math>AB</math> 段  <math>\widehat{AB}</math> <math>AB</math> 弧  <math>\triangle</math> 三角  <math>n!</math> <math>n</math> 的阶乘  <math>\binom{n}{p}</math> 二项式系数  <math>\Sigma</math> 总和  <math>\Pi</math> 连乘  <math>i, j = \sqrt{-1}</math>  <math>\text{Re } z</math> <math>z</math> 的实部  <math>\text{Im } z</math> <math>z</math> 的虚部  <math>z^*</math> <math>z</math> 的共轭  <math>\langle \rangle</math> 张量  <math>  </math> 行列式  <math>\Delta f</math> 两个函数值的差  <math>d</math> 全微分  <math>\partial</math> 偏微分  <math>\int</math> 积分  <math>\oint</math> 边界线积分, 包面积分  <math>\log_a x</math> 以 <math>a</math> 为底的 <math>x</math> 的对数  <math>\ln x</math> <math>x</math> 的自然对数  <math>\lg x</math> 以 10 为底的 <math>x</math> 的对数  <math>\text{lb } x</math> 以 2 为底的 <math>x</math> 的对数  <math>\exp x = e^x</math> <math>x</math> 的指数函数                      (以 <math>e</math> 为底)                 </p>
--	--

# 目 录

1. 量和单位 .....	1
A. 定义 .....	1
A1 量, 单位, 数值 .....	1
A2 量的不变性 .....	1
A3 推荐的写法和公式符号 .....	2
A4 量的方程, 数值方程, 单位方程 .....	2
A5 量的系统 .....	4
A6 单位系统(单位制) .....	4
A7 国际单位制(SI) .....	5
A8 建议 .....	6
A9 其他单位 .....	6
B. 单位与单位制 .....	8
B1 几何学 .....	8
B2 运动学 .....	9
B3 力学、能量的一般单位 .....	10
B4 热力学 .....	13
B5 辐射 .....	15
B6 光度学 .....	15
B7 电学与电工学 .....	15
参考文献 .....	19
2. 标准化 .....	20
A. 德国的标准化工作 .....	20
B. 世界的标准化组织 .....	24
C. 区域性组织 .....	28
参考文献 .....	28
3. 相似论与模型技术 .....	29
A. 符号, 量和单位 .....	29

B. 原理	30
B1 相似性	30
B2 数学基础	31
B3 模型技术	32
C. 完全相似的例子	33
C1 静力学	33
C2 动力学	34
C3 热传递(传热)	37
C4 物质交换(物质输送过程)	39
D. 近似的相似性	39
D1 实现完全相似性的障碍	39
D2 理论基础	39
D3 测量技术中的具体问题	40
参考文献	41
4. 刚体力学和系统力学	42
4.1 符号, 量和单位	42
4.2 力学基础	47
A. 任务, 划分, 理想化	47
B. 力和力学应力	48
B1 力的概念	48
B2 应力, 反作用原理和截面原理	48
B3 应力张量	49
B4 力的分类	50
B5 力的可传性; 在刚体上二力系的平衡	51
B6 力的简化; 力矩; 力偶	52
B7 力螺旋和中心轴; 交叉力	53
B8 力和力矩的功; 势; 动力基本定律; 功率	54
4.3 刚体静力学	56
A. 力的简化和平衡条件; 力的分解	56
A1 力的简化	56
A2 平衡条件	57
A3 力的分解	58

B. 平面静力学	59
B1 力的简化计算; 平衡条件	59
B2 平面图解静力学; 索多边形	59
B3 图解静力学的平面平衡情形; 诸例	62
C. 平面桁架静力学	65
C1 稳定性和静定性	65
C2 克雷莫纳图; 里特尔截面法; 节点法	66
D. 平面悬索静力学	67
D1 一般特性; 悬链线微分方程	67
D2 特殊情形的解	68
E. 在摩擦力作用下的平衡	70
E1 静摩擦力	70
E2 摩擦圆锥	71
E3 静摩擦示例	72
F. 以功和能的概念为基础的静力法	78
F1 虚功原理	78
F2 托里拆利原理	80
F3 平衡的类型	82
4.4 物体和面积的几何	89
A. 质心和重心	89
A1 定义和一次矩	89
A2 关于重心的定理	91
A3 重心的确定	91
A4 均匀的旋转面和物体的重心	91
B. 转动惯量和离心转动惯量 (二次矩)	91
B1 转动惯量和离心转动惯量	91
B2 惯性矩和惯性积	94
C. 重心、转动惯量、惯性矩等的公式	97
C1 重心和转动惯量	97
C2 重心, 静矩, 平面惯性矩和截面系数	113
4.5 运动学	127
A. 点的运动	127
A1 动点的轨道、速度和加速度; 速端曲线	127

A 2 特殊运动 .....	129
B. 刚体的运动 .....	135
B 1 一般的空间运动 .....	135
B 2 点的位置变化的欧拉关系式, 由虚动原理导出的刚体 平衡条件 .....	140
B 3 刚体的平面运动 .....	141
C. 相对运动的运动学 .....	142
C 1 在刚体上或刚体内点的运动 .....	142
C 2 例. 考虑地球自转时的自由落体 .....	144
4.6 刚体动力学 .....	145
A. 纯平动动力学 (质点动力学) .....	145
A 1 动力学中参考系的选择; 惯性系统; 伽利略相对性原理 .....	145
A 2 纯平动和牛顿基本定律; 质点 .....	146
A 3 在牵连和相对运动中的牛顿定律 .....	150
A 4 冲量定理 .....	153
A 5 功能原理 .....	155
A 6 面积定理 .....	157
A 7 引力 .....	158
B. 刚体动力学 .....	163
B 1 质量元的欧拉力定律 .....	163
B 2 重心定理 .....	164
B 3 力矩定理 (动量矩定理或冲量矩定理) .....	165
B 4 刚体的空间旋转运动 .....	171
C. 力学的微分原理和积分原理 .....	176
C 1 达朗伯原理 .....	176
C 2 哈密顿原理 .....	180
C 3 拉格朗日运动方程 .....	182
参考文献 .....	186
5. 可变形固体力学 (材料强度学) .....	187
5.1 符号, 量和单位 .....	187
5.2 导论, 基本概念 .....	195
5.3 材料强度学基本原理 .....	197
A. 弹性理论 .....	197



A1 最简单受力状况; 应力和应变 .....	197
A2 平面和空间应力状态 .....	199
A3 平面应力状态的基本方程式 .....	202
A4 变形功 .....	204
B. 材料力学 .....	204
C. 强度理论 .....	209
D. 均匀和非均匀受力下的强度计算 .....	210
D1 静载荷下的结构强度 .....	210
D2 振动载荷下的结构强度 .....	217
E. 安全系数, 许用应力 .....	219
F. 焊接联接的结构强度 .....	221
G. 复合应力 .....	224
G1 静载荷 .....	225
G2 静载荷和交变载荷叠加时的计算 .....	226
H. 冲击应力 .....	229
I. 内应力 .....	230
I1 内应力的产生 .....	230
I2 内应力的确定 .....	232
I3 内应力的效果 .....	233
5.4 杆状支承结构 .....	233
A. 杆和梁的力的大小 .....	233
A1 求力的作用 .....	234
B. 拉杆的计算 .....	236
C. 受弯杆的计算 .....	236
C1 弯矩和剪力 .....	236
C2 受弯杆的应力 .....	276
C3 梁的挠度 .....	290
C4 受弯曲率杆 .....	303
D. 受扭杆件 .....	311
D1 概论 .....	311
D2 薄壁空心截面的扭转应力 .....	316
D3 弯扭 (截面翘曲受阻的扭转) .....	316
D4 大曲率杆 .....	318

# X

E. 压杆和屈曲杆 .....	318
E1 欧拉屈曲 .....	319
E2 恩格塞尔屈曲 .....	320
E3 扭转屈曲 .....	321
E4 $\omega$ 方法 .....	321
E5 变惯性矩和近似不变截面的压杆 .....	322
E6 法向力变化的压杆 .....	322
E7 特殊情况 .....	325
F. 复合应力 .....	326
F1 力的计算 .....	326
F2 弯矩与纵向力同时作用时应力的计算 .....	330
5.5 抗弯平板 .....	334
A. 弯曲应力和剪应力 .....	334
B. 板的弯矩 .....	334
C. 剪力 .....	335
D. 承受对称载荷的圆板 .....	335
D1 倾角的基本方程 .....	335
D2 挠度 .....	335
D3 弯矩 .....	335
E. 各种支承和载荷的平板 .....	336
F. 板的屈曲 .....	342
G. 法兰 .....	343
5.6 旋转壳体 .....	344
A. 不抗弯的壳体 .....	345
B. 可抗弯的壳体 .....	349
C. 壳体的屈曲 .....	349
C1 无限长空心圆筒 .....	349
C2 有限长空心圆筒 .....	349
C3 球壳 .....	350
C4 受内压的圆管 .....	350
5.7 旋转构件 .....	351
A. 自由旋转圆环 .....	351
B. 自由旋转臂 .....	351

B1 菱柱形臂 .....	351
B2 等拉应力( $\sigma_z$ )臂 .....	352
C. 旋转盘 .....	352
C1 等厚度盘 .....	352
C2 有轮缘和轮毂的盘 .....	352
C3 有轮缘和轮毂的等强度盘 .....	354
D. 旋转圆筒柱 .....	355
E. 有辐条的轮 .....	355
5.8 缺口构件的形状系数 .....	356
A. 概论 .....	356
B. 形状系数 .....	357
5.9 凸面之间的压力 .....	361
A. 赫兹方程的假设 .....	361
B. 球面与平板相挤压 .....	362
C. 两个球体表面相挤压 .....	362
D. 不同曲率的凸面与平板相挤压 .....	362
E. 两个任意凸面相挤压 .....	363
F. 轧辊和平板相挤压 .....	364
G. 两个平行轧辊相挤压 .....	364
H. 材料的最大应力 .....	365
5.10 构件的应力测量 .....	365
A. 应变测量法 .....	365
B. 曲率测量法 .....	367
C. 应变线测量法 .....	367
D. X射线测量法 .....	368
E. 光弹性测量法 .....	369
F. 比拟法 .....	371
F1 薄膜类比法 .....	371
F2 流动类比法 .....	372
5.11 金属材料的强度值 .....	372
参考文献 .....	383
6. 机械振动 .....	387
6.1 符号, 量和单位 .....	387

6.2 振动的运动学	391
A. 概念, 简单振动的解释	391
A1 名称	391
A2 简谐振动	392
A3 振动的速度与加速度	394
A4 简谐振动的功率和功	394
A5 正弦型振动	395
A6 拍	396
B. 多自由度振动	397
6.3 振动体的动力学	399
A. 单自由度振动体的动力学	399
A1 自由振动	399
A2 受迫振动	413
B. 多自由度振动体的动力学	421
B1 两自由度振动体	421
B2 多自由度振动体	427
C. 连续振动体的动力学	428
C1 无阻尼自由振动	428
C2 简谐激振时的无阻尼受迫振动	436
D. 临界转速	437
D1 扭转临界转速	437
D2 弯曲临界转速	442
参考文献	447
6.4 防振	447
A. 振动的描述、测量和判别	448
A1 振动的描述和说明	448
A2 振动的测量	450
A3 判别标准	450
B. 抗振系统及其方法的讨论	454
B1 等效系统	454
B2 措施	456
C. 材料特征值和结构元件	462
C1 定义	462

C2 金属 .....	464
C3 粘弹性材料 .....	464
C4 其他材料 .....	468
C5 土壤基础的底座 .....	469
C6 典型构件 .....	471
C7 紧固和支座 .....	473
参考文献 .....	474
<b>7. 流体力学 (液体和气体) .....</b>	<b>475</b>
7.1 符号, 量和单位 .....	475
7.2 物理基础 .....	481
A. 运动和应力状态 .....	481
A1 定常与非定常流动 .....	481
A2 速度, 迹线, 流线 .....	482
A3 旋度, 涡线 .....	483
A4 加速度 .....	484
A5 应力状态 .....	485
B. 压强 .....	486
B1 静压强 .....	486
B2 速压, 总压 .....	487
B3 蒸气压, 气穴 .....	488
C. 压缩性 .....	488
C1 密度 .....	488
C2 压力扰动的传播 .....	489
C3 马赫数 .....	491
C4 亚声速流和超声速流 .....	491
D. 重量, 毛细现象 .....	493
D1 重度, 体积力, 重力势 .....	493
D2 自由表面 .....	494
D3 弗劳德数 .....	496
D4 缓流和急流 .....	496
E. 摩擦 .....	496
E1 剪应力, 粘度, 湍流, 摩擦热 .....	496
E2 雷诺数 .....	499

E3 层流和湍流流动 .....	499
F. 热力学特性 .....	501
F1 热状态方程 .....	501
F2 热能状态方程 .....	502
F3 传热 .....	503
G. 传质 .....	504
7.3 流体力学的基本定律 .....	505
A. 质量守恒定理 .....	505
A1 连续方程 .....	505
A2 流束, 流管 .....	506
A3 流函数 .....	507
B. 动量定理 .....	508
B1 一般动量方程 .....	508
B2 角动量方程 .....	510
B3 纳维尔 斯托克斯运动方程 .....	511
B4 欧拉运动方程 .....	512
C. 能量定理 .....	513
C1 伯努利能量方程 .....	513
C2 一般能量方程 .....	514
C3 传热方程 .....	516
7.4 静止的液体和气体 .....	516
A. 欧拉基本方程 .....	516
B. 静止液体的压力 (流体静力学) .....	517
B1 流体静力学基本定律 .....	517
B2 连通器 .....	517
B3 固壁面上的压力 .....	518
C. 静止大气 (空气静力学) .....	520
D. 飘游和沉浮的物体 .....	522
D1 升力 .....	522
D2 平衡和静稳定性 .....	522
7.5 基本流动过程 .....	523
A. 不可压缩势流 .....	523
A1 基本方程 .....	523

A 2 基本解 .....	526
A 3 叠加 .....	529
A 4 镜面映象 .....	532
B. 可压缩气体流动 .....	533
B 1 无间断的等熵流动 .....	533
B 2 有激波的间断流动 .....	540
B 3 驻点流动 .....	544
B 4 可压缩势流 .....	546
C. 旋流 .....	548
C 1 涡管, 环量 .....	548
C 2 旋涡定理 .....	550
C 3 旋涡的速度场 .....	551
D. 边界层 .....	555
D 1 普朗特边界层方程 .....	555
D 2 边界层理论的积分定理 .....	557
D 3 来流纵向沿平板的流动 .....	559
E. 蠕缓运动 .....	562
E 1 一般情况 .....	562
E 2 绕球流动 .....	563
E 3 流体动力学的润滑理论 .....	563
E 4 黑莱-肖流动 .....	563
E 5 渗流 .....	563
7.6 内流物体 .....	564
A. 管道 .....	564
A 1 计算基础 .....	564
A 2 壁面摩擦的压强损失 .....	565
A 3 管道部件的压强损失 .....	569
A 4 涡轮和泵的安装 .....	577
A 5 管道中的液体流动 .....	577
A 6 管道中的气体流动 .....	586
B. 明槽 .....	589
B 1 过流速度 .....	589
B 2 体积流量 .....	590

B 3 水面位置 .....	591
B 4 水跃(涌浪) .....	593
C. 孔口出流, 溢流 .....	594
C 1 基本原理 .....	594
C 2 孔口出流 .....	595
C 3 溢流 .....	597
C 4 射流 .....	598
7.7 绕流物体 .....	599
A. 平板和圆盘 .....	599
A 1 平板阻力 .....	599
A 2 平板上的射流压力 .....	601
A 3 转动的圆盘和圆柱 .....	602
B. 单独机翼和翼剖面 .....	603
B 1 机翼理论基础 .....	603
B 2 单独翼剖面 .....	606
B 3 有限翼展机翼 .....	611
C. 翼系(流体机械) .....	614
C 1 翼栅 .....	614
C 2 螺旋桨, 风车 .....	617
C 3 喷气推进 .....	621
D. 旋成体 .....	621
D 1 轴向来流 .....	621
D 2 斜向来流 .....	624
D 3 垂向来流 .....	624
E. 交通工具 .....	625
E 1 陆上车辆 .....	625
E 2 船舶 .....	626
E 3 飞机 .....	626
F. 建筑物 .....	626
F 1 一般情况 .....	626
F 2 平面壁建筑物 .....	629
F 3 曲面壁结构体 .....	631
F 4 桁架建筑 .....	632



参考文献 .....	633
8. 塑性成型力学 .....	637
A. 符号、量和单位 .....	637
B. 基本理论 .....	639
B1 塑性状态的产生 .....	639
B2 成型阻力和成型能力 .....	640
B3 体积常数和变形 .....	644
B4 对比变形 .....	645
B5 在塑性状态下材料的流动 .....	645
B6 实现塑性变形所需的力和功 .....	646
B7 塑性变形时能量的转换 .....	646
C. 工程成型方法 .....	647
D. 在弹性 塑性过渡区的应力与力的作用 .....	647
D1 弯曲 .....	647
D2 扭转 .....	648
D3 压折 .....	650
D4 塑性成型后的残余应力 .....	650
参考文献 .....	658
索引 .....	659
外国人名译名对照 .....	685