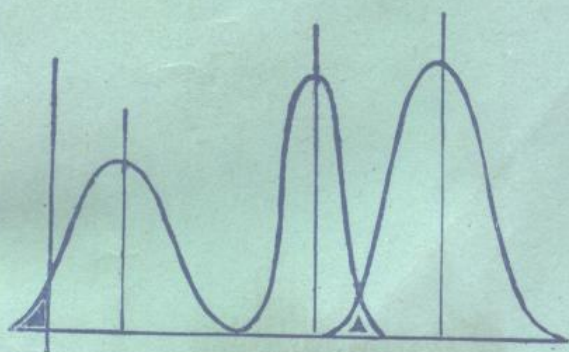


零件疲劳设计手册

美国汽车工程师学会钢铁技术
委员会第四组疲劳设计分委员会 编

孟 少 农 译



人民交通出版社

LINGJIAN PILAO SHEJI SHOUC

零件疲劳设计手册

美国汽车工程师学会钢铁技术
委员会第四组疲劳设计分委员会

编

J. A. 格兰汉 主 编

J. F. 米兰 副主编

F. J. 爱普尔 副主编

孟 少 农 译



人 民 交 通 出 版 社

零件疲劳设计手册

美国汽车工程师学会钢铁技术委员会第四组疲劳设计分委员会 编

J.A. 格兰汉 主 编

J.F. 米兰 副主编

F.J. 爱普尔 副主编

孟 少 农 译

人民交通出版社出版
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售
人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 1/32 印张: 9.875 字数: 188 千

1984年8月 第1版

1984年8月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—17,300 册 定价: 1.50 元

内 容 提 要

抗疲劳设计是任何新零部件发展中的主要工作，往往须搜集与此课题有关的大量而且使人困惑的研究资料。

编写本书的目的是提供一个常备且好用的疲劳设计程序。本书不是一本关于疲劳现象的入门，而是为对疲劳现象已具有某些知识的人编写的。

设计工程师使用本书可以轻而易举地一步一步跟踪产品的发展，从设计到试验发展，到生产和服役评价。

书中包括对于新老设计中疲劳问题的讨论、疲劳特性、载荷和应力求定、设计完善性的评定、疲劳寿命的考虑等，并附有对公式和定义的附录。这是一本对执业工程师有价值的手册。

ERS4/32

目 录

序.....	1
符号.....	3
第一章 产品发展的一般程序.....	7
1.1 设计阶段	7
1.1.1 几何估计	8
1.1.2 重量估计	8
1.1.3 载荷估计	8
1.1.4 工作应力	10
1.1.4.1 名义应力的估计	10
1.1.4.2 应力集中问题	10
1.1.4.3 应力周的估计	11
1.1.4.4 失效判据	11
1.1.5 材料强度估计	12
1.2 试验发展阶段	13
1.2.1 服役载荷求定	13
1.2.1.1 服役载荷的测量	13
1.2.1.2 服役载荷求定	15
1.2.2 工作应力求定	15
1.2.2.1 零件	15
1.2.2.2 总成	16
1.2.2.3 整车或整机	16

1.2.3	材料强度求定	16
1.2.4	设计完善性的评定	17
1.3	生产阶段	18
1.4	服役阶段	18
第二章	疲劳问题的类型	22
2.1	新设计	22
2.1.1	目标载荷-寿命试验	22
2.1.2	目标载荷-应力关系	23
2.1.3	选择已知疲劳寿命的零件	24
2.1.3.1	未知的载荷	24
2.1.3.2	部分载荷史	25
2.1.3.3	完整载荷史	26
2.1.4	材料的疲劳寿命已知	26
2.1.5	材料的 $S-N$ 曲线未知	27
2.2	设计修改	28
2.2.1	变更施加于零件的应力	29
2.2.2	变更零件的疲劳强度	29
第三章	疲劳特性	31
3.1	疲劳失效的识别	32
3.1.1	疲劳区的表面纹理	33
3.1.2	疲劳裂纹的多源点	38
3.1.3	扭转疲劳失效	41
3.1.4	板金件的失效	41
3.2	金属的疲劳特性	41
3.2.1	从静特性推测疲劳特性	42
3.2.1.1	疲劳曲线的预测	42
3.2.1.2	疲劳极限	49

3.2.2	影响疲劳特性及行为的因素	50
3.2.2.1	材料因素	51
3.2.2.2	施加应力的因素	53
3.2.2.3	几何因素	55
3.2.2.4	残余应力	60
3.3	疲劳强度分析的工程处理法	63
3.3.1	单轴应力状态下的长寿命疲劳失效	64
3.3.2	主应力	69
3.3.3	屈服理论	71
3.3.4	一般应力状态下的长寿命疲劳失效	72
3.4	实验室疲劳试验方法	81
3.4.1	机械类型	81
3.4.1.1	机械式旋转弯曲机	82
3.4.1.2	机械式重复弯曲机	82
3.4.1.3	闭环轴向液力机	83
3.4.1.4	电磁共振重复弯曲机	83
3.4.1.5	机械式扭转共振机	83
3.4.1.6	轴向热疲劳机	83
3.4.2	疲劳机的控制	85
3.4.3	规划疲劳试验	86
3.5	疲劳数据的表达	87
3.5.1	疲劳的统计学性质	88
3.5.2	恒寿命疲劳图解	91
3.5.3	碳钢及合金钢的疲劳数据	95
3.5.4	铸钢的疲劳极限	100
3.5.5	石墨铸铁	102
3.5.5.1	灰铸铁	102

3.5.5.2	球墨铸铁	103
3.5.5.3	可锻铸铁	108
3.5.6	铝	108
3.5.6.1	疲劳比	108
3.5.6.2	应力比、温度及复杂载荷的 效应	113
3.5.6.3	铸件	115
3.5.6.4	应力升高因子及机械联结	123
3.5.6.5	焊接联结	123
3.5.6.6	铝的疲劳特性小结	127
第四章	载荷及应力求定	137
4.1	载荷的类型	137
4.1.1	机械上的载荷	137
4.1.2	零件上的载荷	139
4.1.2.1	发动机零件	139
4.1.2.2	齿轮	140
4.1.2.3	轴类	141
4.1.2.4	车架	142
4.1.2.5	车轮	143
4.1.2.6	链	145
4.1.3	残余应力	146
4.2	实验测量	147
4.2.1	载荷和应力测量的方法	147
4.2.2	记录数据的手段	153
4.2.2.1	静指示器	153
4.2.2.2	录波仪	153
4.2.2.3	波峰分布分析仪	157

4.2.2.4 磁带记录器	158
4.2.3 测量载荷及应力的试验条件	159
4.2.3.1 实际服役条件	160
4.2.3.2 模拟服役条件	160
4.2.3.3 实验室条件	161
4.3 载荷与应力数据的表达	161
第五章 设计完善性的评定	168
5.1 安全因数	169
5.2 失效概率	172
5.3 累积损伤理论	179
5.3.1 修正 $S-N$ 曲线的反斜率 d	181
5.3.2 应用累积损伤理论	184
第六章 对疲劳寿命的设计	188
6.1 从静特性预测疲劳性能之一例	190
6.1.1 全反复应变-寿命关系	190
6.1.2 平均应力的效应	192
6.1.3 缺口效应	193
6.1.4 尺寸效应	196
6.2 对高周次用途的设计	196
6.2.1 曲轴的设计	196
6.2.1.1 曲轴的分析法设计	197
6.2.1.2 曲轴的实验法设计	201
6.2.2 连杆的设计	204
6.2.2.1 载荷求定	205
6.2.2.2 疲劳强度求定	205
6.2.2.3 评定设计的完善性	209
6.3 对低周次用途的设计	211

6.3.1	目标载荷-应力关系及目标载 荷-寿命试验的应用.....	212
6.3.1.1	轿车传动螺旋齿轮	212
6.3.1.2	推土设备的焊接车架构件	214
6.3.2	部分载荷史-尖峰载荷分析.....	217
6.3.2.1	载荷求定	219
6.3.2.2	强度求定	224
6.3.2.3	寿命预测	225
6.3.3	由服役应力或载荷预测寿命	228
6.3.3.1	载荷测量	229
6.3.3.2	齿轮的 $S-N$ 曲线.....	230
6.3.3.3	累积损伤概念	230
6.3.3.4	寿命计算	231
6.3.3.5	新设计应力的求定	235
6.3.3.6	试验台与现场的关联	235
6.3.4	谱载荷疲劳试验	236
6.3.4.1	谱载荷疲劳试验的一例	239
6.3.4.2	谱载荷疲劳试验各步骤小结	249
6.3.5	设计一族零件以抵抗疲劳载荷	249
6.3.5.1	弹簧金属在周期载荷下的强度	250
6.3.5.2	应力计算	250
6.3.5.3	环境效应	255
6.3.5.4	设计数据	256
6.4	提高零件的寿命	258
6.4.1	应力水平变化对服役寿命的效应	259
6.4.2	$S-N$ 曲线改变对服役寿命的效应	265
6.4.2.1	应力大小-频率分布函数 γ	265

6.4.2.2	从过去经验中估计 γ	266
6.4.2.3	影响 γ 的因素	267
6.4.2.4	标准产品的应用	268
6.4.2.5	例	275
附录 A	定义	283
附录 B	计算 $S-N$ 曲线的反斜率	286
附录 C	弹簧应力公式	287
附录 D	正态曲线下 X 后的面积	290
附录 E	单位换算表	291
译后记		303

序

本书是由于汽车工程师学会(SAE)的钢铁技术委员会(ISTC)为要对SAE手册增添有关零件疲劳强度的资料,以供车辆工程师及设计者之用而产生的。根据此目标,在1959年3月23日提出了一个简短的关于“疲劳”的报告,作为对SAE情报报告“钢的选择及使用”的补充。后来,认为这个材料需要一些扩充。

1959年8月19日在ISTC第四组会议上讨论了第四组可能对这一项目给予支援的问题。在1960年1月12日的会上,ISTC宣布它已要求第四组为SAE手册撰写一节有关疲劳的文章,其后为此成立了一个手册分委员会。经过一段时间后,大家认为,将这个题目从手册中分出单独出版要更好些,因而小组的名称也就改为疲劳设计分委员会。这一行动的副产物是在1962年9月在密尔沃基(Milwaukee)召开的SAE农业建筑及工业机械会议上组织了一次“疲劳及车辆设计”的节目。那次会上发表的资料有很多已包括在本书中。

本书的目的是提供程序,以使工程师和设计者在决定设计细节时能够运用材料和零件的疲劳性能的资料。针对工程师和设计者的需要,书中包含了许多涉及具体设计的资料。我们认为,设计者一方面需要广泛的知识背景,但又没有时间去详尽地查阅有关疲劳的大量而又时常使人困惑的文献。著者们为了表述疲劳设计的方法,尽量避免谈论各种疲劳理

论的长短得失。希望这本疲劳设计手册将为读者提供一个方便适用的疲劳设计程序。

工程师和设计者必须使他所选择的材料的疲劳性能及零件形状，适应于设计产品将会遭遇的服役载荷及应力。所以，关于施加的应力与零件疲劳性能的知识极为重要。当这些为已知时，就应当对设计是否完善做出评定。按照这个思路，对下列主要课题各写了一章：疲劳特性，载荷及应力计算，评定设计完善性的方法。其他章节讨论了产品发展的一般程序，疲劳问题的类型，以及疲劳设计问题的具体示例。

书中的大部数据都是在常温下得到的。少量铝的数据是在高温下得到的。读者应知道，高温或高温同时加腐蚀的有害效应不在本书讨论范围之内。这两个参量对疲劳寿命有显著的影响，而且二者都有时间性。当一个构件在这两个重要因素影响下受反复应力的作用时，对其所产生的复杂情况还不能找到为众所接受的定量分析方法。由于本书的主要目标是为示出一个疲劳设计的方法，所以只列举了少量的疲劳数据，并未打算对所有金属结构提供完整的资料。

本书是为对疲劳问题具有一定知识的人写的。它不是一本疲劳入门。对疲劳知识有限的读者可以参阅第一章末所列的参考文献 11 至 19。

Iowa 大学的 Ralph I. Stephens 审阅了原稿，SAE ISTC 第四组对此表示谢忱，同时感谢下列人员，他们为本书提供了资料：

(人名略)

符 号

a	= 材料常数
$a_1, a_2, \dots, a_n$	= 在各应力水平 $S_1, S_2, \dots, S_n$ 下施加的周次占总周次数之比
A	= 面积
A_f	= 断裂后的面积
A_0	= 初始面积
b	= 疲劳强度指数
BHN	= 布氏硬度值
c	= 疲劳初度指数
c	= 中心至最外纤维之距离
d	= 修正 $S-N$ 曲线的反斜率
d'	= 恒幅 $S-N$ 曲线的反斜率
e	= 工程应变
E	= 弹性模数
I	= 惯性矩
J	= 极坐标惯性矩
K_f	= 疲劳缺口因数
K_t	= 理论应力集中因数
m	= 平均应力影响系数
M	= 弯曲力矩
n	= 标准差的数目
$n_1, n_2, \dots$	= 各载荷水平下观察到的载荷周次

N	= 疲劳寿命, 以周次计
N	= 每分转数
$N_t, N_1, N_2 \dots$	= 恒应力幅下失效前周次
N_x	= 谱载荷下失效前总周次
$2N_t$	= 失效前反复次数
$2N_i$	= 反复过渡寿命
P	= 轴向载荷
q	= 缺口敏感度
r	= 缺口根部半径
R	= 圆角半径
R	= 应力比
S	= 工程应力
S_a	= 名义交变应力幅
S_e	= 疲劳极限
S_{e0}	= 样件尺寸为 V_0 的疲劳极限
S_m	= 一周的平均应力
S_{max}	= 一周的最大应力
S_{min}	= 一周的最小应力
S_N	= 在 N 周次内的疲劳强度
S_{01}	= 在第一周末的残余应力
S_r	= 应力值域
S_{ty}	= 抗张屈服点
S_u	= 极限强度
S_{rc}	= 裂纹扩展的临界交变张应力
S_{ys}	= 屈服强度
S_1, S_2, S_3	= 主应力
$S_{1ta}, S_{2ta}, S_{3ta}$	= 交变主张应力

S_{a1}, S_{a2}, S_{a3}	= 交变主应力分力
S_{m1}, S_{m2}, S_{m3}	= 平均主应力分力
S_x, S_y, S_z	= 在 x 、 y 、 z 方向的法向应力
$\bar{S}_a$	= 施加应力分布的平均值
$\bar{S}_d$	= 差值分布的平均值
$\bar{S}_s$	= 强度分布的平均值
SF	= 安全因数
T	= 扭矩
V	= 样件尺寸
V_0	= 样件尺寸比值
x, y, z	= 右旋卡特座标轴
δ	= 挠度
ε	= 总真应变
$\Delta \varepsilon$	= 总真应变值域
$\frac{\Delta \varepsilon}{2}$	= 总真应变幅
ε_e	= 弹性应变
$\Delta \varepsilon_e$	= 弹性应变值域
$\frac{\Delta \varepsilon_e}{2}$	= 弹性应变幅
ε_p	= 真塑性应变
$\frac{\Delta \varepsilon_p}{2}$	= 塑性应变幅
$\Delta \varepsilon'_p$	= 塑性应变值域
ε'_t	= 疲劳初度系数
γ	= 应力大小-频率分布函数
σ	= 真应力或实际应力
σ	= 标准差

σ_t	= 真断裂强度
σ_s	= 施加应力分布的标准差 (第五章)
σ_{cr}	= 折合全反复真应力
σ_d	= 差值的标准差
σ_0	= 真平均应力
σ_{0r}	= 真残余应力
σ_s	= 强度分布的标准差
σ'_f	= 疲劳强度系数
τ	= 工程剪应力
τ_{oct}	= 八面体剪应力
$\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{xz}$	= 剪应力
%RA	= 面积缩小百分比