

# 焊接结构疲劳强度

---

〔德〕D. 拉达伊 著

---

郑朝云 张式程 译

---

机械工业出版社

378061

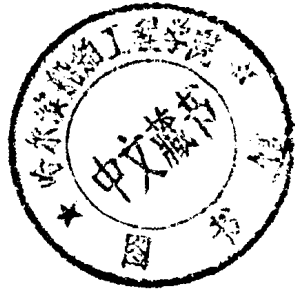
# 焊接结构疲劳强度

---

〔德〕 D. 拉达伊 著

戴姆勒-奔驰公司高级研究经理  
不伦瑞克工业大学机械工程学教授

郑朝云 张式程 译  
潘际炎 王兴铎 校



机械工业出版社

(京)新登字 054 号

**Authorized translation of the German language edition**

Dieter Radaj , Gestaltung und Berechnung von Schweisskonstruktionen  
— Ermüdungsfestigkeit

© 1985 by DVS-Verlag GmbH, Düsseldorf

**Authorized translation of the English language edition**

Dieter Radaj, Design and analysis of fatigue resistant welded structures

© 1990 by Woodhead Publishing Ltd, Abington, Cambridge

\*

**图书在版编目(CIP)数据**

焊接结构疲劳强度 / (德) 拉达伊 (Radaj,D.) 著; 郑朝云, 张式程译.-北京: 机械工业出版社, 1994

书名原文: Design and Analysis of Fatigue Resistant Welded Structures  
First Published 1990

ISBN 7-111-04133-X

I. 焊… II. ①拉…②郑…③张… III. ①焊接结构-疲劳强度②疲劳强度-焊接结构 IV. TG404

出版人: 马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码 100037)  
责任编辑: 方婉莹 版式设计: 霍永明 责任校对: 张媛  
封面设计: 姚毅 责任印制: 路琳  
机械工业出版社印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行  
1994年9月第1版·1994年9月第1次印刷  
850mm×1168mm<sup>1</sup>/<sub>32</sub>·13.75印张·2插页·351千字  
0 001-3 100册  
定价 35.00元

# 序

我国的现代焊接科学技术是从新中国成立之后才起步的，随着国民经济的发展，它的进步极为迅速。焊接技术已经越来越广泛地应用于各个工业领域，如国防、机械、石油、化工、冶金、建筑、铁路、交通、动力和原子能等工业领域都日益大量地采用焊接结构，运用焊接技术。焊接方法经济、灵活；采用焊接结构与铆接结构相比，能简化结构的构造细节，节约材料，提高生产效率，改善工人劳动条件。因此，目前船舶、机车、车辆、桥梁、锅炉等工业产品，以及能源工程、海洋工程、航空航天工程、石油化工工程、大型厂房、高层建筑等重要结构，无一不采用焊接结构。这些重要结构的安全都直接影响着工农业生产、人民生命财产的安全和改革开放的正常进行。所以提高这些结构的设计、制造质量，保证其安全可靠使用是大家极为关心的问题。许多动结构或承受动载荷的结构，在运营使用中，承受的外力多是重复循环的变载荷，容易使结构在低应力下产生疲劳断裂。优化设计，减轻或消除结构的疲劳断裂危害，提高或延长焊接结构的疲劳使用寿命，是继续发展焊接结构的重要研究课题。目前对焊接结构疲劳强度方面有系统论述的著作尚少。

本书作者德国 D·拉达伊教授是国际上有名望的焊接结构理论专家，长期从事焊接结构强度及其疲劳特性的研究和教学工作。他创导以缺口应力理论、断裂力学理论、有限元方法和边界元方法为基础进行结构分析，对焊接结构强度，在理论方面作出了很大贡献，学术理论及实践经验都很丰富。他编著的《焊接结构疲劳强度》一书，涉及的面很广，不仅对各种结构构造的疲劳强度有详细而又精辟的论述，并且还引证了各种试验研究资料及成果。本书为焊接结构抗疲劳设计提供了一个较完整的理论和实

际知识体系，系统而全面地介绍了焊接结构抗疲劳设计方面的理论知识、研究方法和应用实例，并指明了各种不同分析方法的特点与局限性。在研究方法方面，除介绍了结构强度的传统整体分析方法外，还介绍了局部分析方法，局部分析方法包括有焊接构造细节处的结构应力分析方法、缺口应力分析方法和断裂力学的分析方法。涉及的内容有疲劳强度降低系数、疲劳抗力 S-N 曲线、疲劳强度图、疲劳载荷谱、疲劳累积损伤、焊接接头疲劳强度改善措施、疲劳强度及疲劳残余寿命评定等。疲劳局部应力分析法是近年发展起来的一种新方法，对深入细致地认识焊接结构抗疲劳性能，有很重要的意义，只有正确地认识了焊接结构的抗疲劳特性，才可能做得出优秀的焊接结构设计。

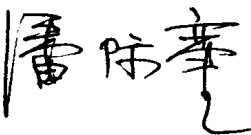
D·拉达伊教授编著的这本《焊接结构疲劳强度》专著，最初于 1985 年以德文在德国出版，经修订扩充后，于 1990 年翻译成英文在英国出版，现又将英文版翻译成中文在我国出版。这本书能在我国出版，是中德技术文化中的一次很好交流，不仅如此，更重要的是通过这本书，我国从事焊接结构的科研、设计、制造科技人员从中将能学到很多德国在焊接结构疲劳强度方面的理论与经验，从而可以加快我国在这个领域的科研进度，优化焊接结构设计，提高焊接结构的质量，对发展我国的焊接技术将会产生重大的影响。

D.拉达伊教授是我多年的朋友，他是一位学术造诣很深的学者，但是他谦虚热情，平易近人，给我很深的印象；他为了这本书能在中国出版，无偿提供了英文版书及制版用图，并且专门为中译本写了序言，我谨代表中国读者对他的友好热情表示衷心的感谢，同时我也为德国朋友能在中国出版自己的专著而感到万分高兴。

本书翻译稿承铁道部科学研究院潘际炎研究员及王兴铎副研究员校阅。潘际炎研究员是我国著名的桥梁专家，为我国铁路桥梁由铆接改造成为栓焊结构作出了卓越的贡献；他在铁路桥梁的疲劳强度方面做过大量深入的工作；他们两位的校阅工作对保证

本书中译稿的质量起了重要作用，特此表示感谢。

中国科学院院士  
清华大学 教授  
南昌大学 校长

Handwritten signature of Pan Fusheng in black ink, written in a cursive style.

1994年5月4日

## 中 译 本 序

这本最初于 1985 年以德文、1990 年修订扩充后以英文出版的关于焊接结构疲劳强度的专著现在又以中文出版了，对此我感到十分高兴。首先，在中国，由于提高工业产品质量的活动正持续开展，而焊接方法在许多工业部门的应用愈来愈广泛，故对焊接结构强度分析与优化设计的需求也在不断增长。此外，中国现今许多领域和部门都已具备了现代大型计算所需的计算机硬件与软件设备和技术，因而焊接结构数值分析方法及其在有关领域的应用也必将愈来愈引起人们的重视。本书内容正好能切合上述两个方面的需求。

与其他联接方法相比，焊接方法更灵活、更经济，因而具有一定优越性。焊接方法的灵活性使结构设计能多种多样，这对优化结构设计特别有利，但若不了解焊接结构的特殊性，也可能导致一些不良甚至错误设计。因此，正确设计焊接结构、准确评定焊接结构疲劳强度以及确保焊接结构安全性只能以完善的焊接结构理论分析和试验研究为基础。本书将介绍与此有关的知识和方法。

焊接结构疲劳强度问题是本书讨论的主要内容。疲劳强度问题对于承受与时间有关的载荷的构件来说至关重要，对于静载结构也有一定影响（例如，静载结构的设计质量可因采用有关抗疲劳设计措施而得以提高）。分析和评定焊接结构疲劳强度往往需要多方面、多学科的专门知识。

设计所有运动结构，如车辆、飞机、起重机和发动机等以及某种程度上也包括设计诸如桥梁、起重机轨道或发动机机座等支承动载结构时，均必须考虑疲劳问题。对于运动结构而言，为使其在服役中更为有效，宜采用轻型结构设计。但与静载情况相

比，疲劳载荷下随着结构重量的减轻其承载能力又往往有所下降。可见抗疲劳设计的原理与方法在实践中十分重要，故不仅应加强研究，而且应使其成为广大焊接工作者都能掌握的知识并逐步纳入有关设计标准之中。

在研究方法方面，评定结构强度的传统方法（整体分析方法）正愈来愈多地被局部分析方法补充甚至代替。在结构设计方面，基于简单经验公式的计算，现已发展为结构行为的有限元和边界元数值模拟，其目的在于为设计决策和优化设计提供可靠依据。数值模拟也是计算机辅助设计的一部分，已逐步纳入包含知识库、具有推理功能的有关专家系统之中。这些发展进一步要求焊接工作者具有系统而实用、严谨而准确的有关知识。同时，这种要求是与日俱新的。

本书系统而全面地介绍了焊接结构抗疲劳设计方面的理论知识、应用实例和研究方法（并着重指出了各种方法的特色及局限性），目的在于为焊接结构抗疲劳设计提供一个较完整的理论与实际知识体系。因此，本书可供从事焊接结构设计、分析、检验及制造的技术人员、研究人员和大专院校师生参考使用。由于这一学科领域——特别是所谓“局部分析方法”——仍然处于发展阶段，因此本书所述不可能是最终的定论。但我确信它已建造了一个基本构架，可供来日添砖加瓦、完善更新。

本书介绍的内容最早可追溯到两个早期的德国研究所所作的有关抗疲劳设计的开创性工作。A.Thum 的《形状强度原理》(Shape strength philosophy) 和 E. Gassner 的《工作疲劳强度原理》(Service fatigue strength philosophy) 两书对本书的内容有很大影响。此外，A. Neumann 及其同事们的研究工作在设计准则和名义应力分析方面为焊接结构的抗疲劳设计奠定了坚实的基础。

我是在 J.Ruge 的安排和推动之下致力于焊接结构强度研究工作的：在我早期的职业生涯中（1968 年），他曾请我在 Braunschweig 工业大学讲授这一专题。我自己对焊接结构强度



方面的科学贡献主要在理论方面，即以缺口应力理论、断裂力学、有限元方法和边界元方法为基础进行结构分析。此外，作为戴姆勒-奔驰公司 (Daimler-Benz AG, 包括奔驰汽车公司) 的高级研究员及高级科研经理，我的日常工作亦为我了解实际问题和设计需要提供了近水楼台之便。

本书翻译工作是由郑朝云 (重庆, 第 1~7、10~12 章) 和张式程 (哈尔滨, 第 8、9 章) 完成的。前者 1988~1989 年曾在戴姆勒-奔驰工作, 后者则从 1989 年起一直 (在此) 参与我的研究活动。此外, 陈文信先生 (重庆) 也曾为本书的翻译出版尽力。我对他们的细致工作表示感谢。

先期出版本书的两家出版社的 W. Asshauer (德国 DVS 出版社, Düsseldorf) 和 M. Woodhead (英国 Abington 出版社, Cambridge) 在不要求版权费的情况下, 由中国机械工业出版社以中文出版本书, 对这两位先生在版权转让方面的支持, 我表示感谢。

我特别感谢我的同行潘际銮教授, 他尽力促成本书 (中文版) 出版并接受我的邀请为其撰写序言。本书能由中国知名专家介绍给中文读者使我感到十分荣幸。

最后, 我对中国机械工业出版社, 特别是方婉莹女士、湛建辉先生、吴建华先生对我所给予的友好合作表示感谢。

*Dieter Radaj*

斯图加特, 1993 年 1 月

## 符 号 表

本书方程、图表和正文中所用符号按下述方式列出：先列拉丁字符（按字母顺序），再列希腊字符；先列大写字母，再列小写字母；每一字符群中，同量纲各量顺序排列；具有多种用途的字符，意义相近者同行相列，意义不同者另行列出；保留传统的应力符号  $\sigma_Y$ 、 $\sigma_{0.1}$ 、 $\sigma_U$ （不用新的标准符号  $R_c$ 、 $R_{p0.1}$ 、 $R_m$ ）；本书所用符号繁多，表中当有疏漏不计者，鉴谅。

$A_{11}$ , $A_{12}$ , $A_{22}$ , $A_{33}$	(—)	式(182)中的材料常数(无量纲)
$A$ , $A_0$ , $A_U$	( $\text{mm}^2$ )	初始横截面积, 断裂时横截面积
$A^*$	( $\text{mm}^2$ )	中空截面面积
$a$	( $\text{mm}$ )	角焊缝厚度
$a$ , $a_i$ , $a_0$	( $\text{mm}$ )	裂纹长度或深度, 裂缝长度, 初始裂纹长度或深度
$a$	( $\text{mm}$ )	图 157 中测试点到焊趾的距离
$b$ , $b_f$	( $\text{mm}$ )	试件宽度, 腹板间距, 翼缘宽度
$b$	(—)	式(108)中的疲劳强度指数
$b_1$ , $b_2$ , $b_3$	( $\text{mm}$ )	图 157 中测试点到焊趾的距离
$C$ , $C'$ , $C_0$	( $\text{N}, \text{mm}$ )	用于计算裂纹扩展的材料常数
$C$	(—)	Neuber 常数 (图 215)
$c$	( $\text{mm}$ )	裂纹宽度

X

$c$	(mm)	角焊缝的焊脚宽度
$c$	(-)	式(108)中的循环塑性指数
$c, c_{\perp}, c_{\parallel}$	(-)	式(77)、(78)、(79)中的系数
$D$	(mm)	弦管直径
$D$	(mm)	圆板直径
$d$	(mm)	焊点直径
$d$	(mm)	系管直径、管子直径、孔径、 容器直径
$d_1$	(mm)	管嘴直径
$d_A, d_E, d_N, d_{HAZ}$	(mm)	胶接面直径, 焊条直径, 焊点 熔核直径, 热影响区直径
$\Delta d$	(mm)	局部直径偏差
$E$	(N/mm <sup>2</sup> )	弹性模量
$E_p, E_c$	(N/mm <sup>2</sup> )	板和芯板的弹性模量
$e$	(mm)	中心线的偏心距
$e$	(-)	欧拉常数, 2.7183
$F$	(N)	力 (拉力或压力)
$F'$	(N)	贯通拉力
$F_{\parallel}, F_{\perp}$	(N)	拉伸切力, 横向拉力
$\Delta F, \Delta F_F$	(N)	切力范围, 作为疲劳极限的切 力范围
$F_f, F_{cr}$	(N)	弹簧力, 临界屈曲力
$F_A, F_{AF}$	(N)	有限寿命和无限寿命的持久切 力幅度
$f$	(-)	式(25)所示函数
$f$	(-)	力比 $F / F_{cr}$
$f_k, f_{k0}$	(-)	缺口系数, 表面系数
$f_{k1}, f_{k2}, f_{k3}$	(-)	设计标准中的焊缝修正系数
$f_{kl}$	(-)	式(159)所示函数
$f_T, f_m$	(-)	温度系数, 平均应力系数

$g$	(mm)	系管间间隙 (图 105)
$H_i$	(-)	应力水平 $i$ 上未断裂试件的 出现频率
$h$	(mm)	梁高、双底高、容器封头 高、联系梁高
$I$	(-)	不规则化因子
$i$	(-)	载荷水平数或应力水平数
$\Delta J, \Delta J_{en}$	( $N/mm^{3/2}$ )	J 积分, 持久 J 积分 (材料 常数)
$j$	(-)	载荷水平数或应力水平数
$K$	(-)	应力集中系数
$K_k, K_{nk}$	(-)	关于 $\sigma_n$ 和 $\sigma_{ns}$ 的缺口应力 集中系数
$K_s, K_{ns}$	(-)	关于 $\sigma_n$ 和 $\sigma_{ns}$ 的结构应力 集中系数
$K_f, \bar{K}_f$	(-)	关于 $\sigma_n$ 和 $\bar{\sigma}_n$ 的疲劳缺口系 数
$K_{keq}$	(-)	等效缺口应力集中系数
$K_{s0}, K_{cw}, K_{ch}$	(-)	结构应力集中系数[式(32), (33)]
$K_{sl}$	(-)	下缺口处的结构应力集中 系数 (图 118)
$K_{sa}, K_{sb}, K_{st}$	(-)	结构应力集中系数[式(45)]
$K_{0.2}^*$	( $N/mm^2$ )	与形状相关的应变极限
$K'$	( $N/mm^2$ )	循环硬化模量
$K_k^*$	(-)	修正的缺口应力集中系数
$K_{k1}, K_{k2}, K_{keq}$	(-)	用于 $\sigma_{k1}$ 、 $\sigma_{k2}$ 、 $\sigma_{keq}$ 的缺口 应力集中系数
$K_{k\perp}, K_{k\parallel}$	(-)	关于 $\sigma_{\perp}$ 或 $\sigma_{\parallel}$ 的缺口应力集 中系数

$K_{\sigma}, K_{\varepsilon}$	(-)	弹塑性缺口顶端的应力集中与应变集中
$K_{s1}, K_{s2}$	(-)	用于 $\sigma_{s1}, \sigma_{s2}$ 的结构应力集中系数
$K_U$	(-)	极限载荷应力集中系数
$K_I, K_{II}, K_{III}$	( $N/mm^{3/2}$ )	I、II、III型裂纹的应力强度因子
$K_{eq}$	( $N/mm^{3/2}$ )	等效应力强度因子
$\Delta K, \Delta K_J$	( $N/mm^{3/2}$ )	应力强度因子范围, 由 $\Delta J$ 导出的应力强度因子范围
$\Delta K_{th}, \Delta K_{th0}$	( $N/mm^{3/2}$ )	应力强度因子门槛值, $R=0$ 时的应力强度因子门槛值
$\Delta K_{Ien}$	( $N/mm^{3/2}$ )	持久应力强度因子 (疲劳断裂韧度)
$K_u, K_l$	( $N/mm^{3/2}$ )	上限应力强度因子, 下限应力强度因子
$K_{Ic}, K_c$	( $N/mm^{3/2}$ )	临界应力强度因子, 断裂韧性
$k$	(-)	S-N 曲线的斜率指数
$k$	(-)	寿命曲线的斜率指数
$k$	(-)	式(31)中的系数
$k$	( $N/mm$ )	弹簧常数
$L$	(mm)	弦管长度
$l_0$	(mm)	距残余应力零点处的距离
$l, l_0, l_U$	(mm)	试件长度, 试件初始长度, 断裂时的试件长度
$\Delta l$	(mm)	试件长度增量
$l_f$	(mm)	翼缘的支承间距
$l_s$	(mm)	焊点间距
$M_b$	( $N \cdot mm$ )	弯矩
$M'_b$	( $N \cdot mm$ )	贯通弯矩

$M_t$	(Nmm)	扭矩
$M_{mc}$	(N)	单位长度上的经向弯矩
$M$	(-)	约束系数
$m$	(-)	半波数
$m$	(-)	裂纹扩展速率指数
$N$	(-)	循环次数
$N_f$	(-)	破坏时的循环次数
$N_j$	(-)	裂纹萌生时的循环次数
$N_i$	(-)	(信号)与载荷水平 $i$ 的交叉次数
$\bar{N}, \bar{N}^*$	(-)	平均载荷交叉次数
$\Delta N_j$	(-)	载荷水平 $j$ 的循环次数
$N_p$	(-)	峰值数
$N_F$	(-)	与疲劳极限对应的循环次数
$N_{Fj}$	(-)	载荷水平 $j$ 的持久循环次数
$N_{ci}$	(N/mm)	周向上单位长度的法向力
$N_{mc}$	(N/mm)	经向上单位长度的法向力
$n'$	(-)	应变循环硬化指数
$n_z$	(-)	载荷系数
$n_1 \cdots n_6$	(-)	式(31)中的指数
$P_f, P$	(-)	破坏概率
$P_s$	(-)	存活概率
$P_o$	(-)	出现概率
$P, P_{SWT}, P_{HL}$	(-)	损伤参数 (根据 Smith, Watson 和 Topper 或 Haibach 与 Lehrke)
$P, \Delta P$	(N)	载荷, 载荷范围
$P_u, P_l$	(N)	上限载荷, 下限载荷
$P_i, \Delta P_i$	(N)	$i$ 级载荷水平, 载荷水平 $i$ 的级宽 (载荷增量)

$\bar{P}_m$	(N)	平均载荷
$\bar{P}_a, \Delta P_{ai}$	(N)	最大载荷幅度, 载荷水平 i 的载荷幅度
$P_{Up}$	(N)	上限载荷疲劳强度
$\bar{P}_u, \bar{P}_l$	(N)	最大上限载荷, 最大下限载荷
$p$	(N/mm <sup>2</sup> )	内压力
$p$	(-)	载荷谱系数
$p$	(mm)	图 105 中系管重叠部分尺寸
$q$	(-)	载荷谱系数
$q$	(mm)	图 105 中系管重叠部分尺寸
$R$	(-)	应力比, 应力强度因子比
$R_c$	(-)	应力比(用于压应力范围)
$R$	(mm)	管子半径
$R, R_1$	(mm)	焊点半径
$R_2$	(mm)	胶接面半径
$r$	(mm)	至中心的径向距离
$r$	(mm)	至裂纹尖端或裂缝尖端处的径向距离
$r_c, r'_c$	(mm)	盖板或芯板的圆角半径
$S$	(-)	样本标准偏差
$S, S^*$	(-)	应力安全系数, 循环次数安全系数
$S, S^*$	(-)	总疲劳损伤, 总蠕变损伤
$S_j$	(-)	载荷水平 j 上的 (部分) 损伤
$s$	(mm)	裂缝长度
$s$	(-)	微观结构约束系数
$T$	(N)	横向力或横向载荷

$\Delta T_F$	(N)	横向拉力范围(疲劳极限)
T	(°C)	温度
T	(mm)	弦管壁厚
t	(mm)	浅缺口的深度
t'	(mm)	芯板厚度, 盖板厚度
t	(s)	时间
$\Delta t_j$	(s)	载荷水平 j 上的应力作用时间
$t_{Fj}$	(s)	载荷水平 j 上的蠕变时间
t	(mm)	板厚、壳厚、管子壁厚、系管壁厚
$t_{sh}, t_{pl}, t_l$	(mm)	壳厚, 管子壁厚, 管嘴壁厚
$t_0$	(mm)	初始挠度
x, y, z	(mm)	坐标轴
$\bar{\alpha}$	(-)	无量纲裂纹长度[式(129)]
$\alpha$	(-)	几何参数[式(26)]
$\beta$	(-)	几何参数[式(27)]
$\beta$	(-)	安全指数
$\gamma$	(-)	几何参数[式(28)]
$\gamma, \bar{\gamma}$	(-)	关于 $\sigma_n$ 和 $\bar{\sigma}_n$ 的疲劳强度降低系数
$\gamma_A, \gamma_P$	(-)	对称循环载荷下和脉动循环载荷下的疲劳强度降低系数
$\gamma_b, \gamma_c, \gamma_r$	(-)	翼缘、焊趾、焊缝根部的疲劳强度降低系数
$\gamma, \gamma_{max}$	(°)	焊点倾角
$\delta$	(mm)	裂纹张开位移
$\delta$	(-)	尺寸比, 厚度比
$\delta$	(-)	初始挠度与厚度之比



$\varepsilon_a, \varepsilon_A$	(-)	应变幅, 应变幅强度
$\Delta\varepsilon, \Delta\varepsilon_r$	(-)	应变范围, 径向应变范围
$\Delta\varepsilon_{en}, \Delta\varepsilon_{eff}$	(-)	持久应变范围, 等效应变范围
$\varepsilon_k, \varepsilon_{kel}, \varepsilon_{kpl}$	(-)	缺口应变, 弹性缺口应变, 塑性缺口应变
$\varepsilon_U$	(-)	断裂破坏时的应变 $l_U / l_0$
$\varepsilon'_U$	(-)	循环延性 <sup>⊖</sup> 系数
$\varepsilon$	(-)	几何参数[式(30)]
$\theta$	(-)	焊趾坡角, 弦杆-系杆夹角
$\kappa, \bar{\kappa}$	(-)	式(122)、(123)和(130)中的修正系数
$\kappa^*$	(-)	影响疲劳强度的表面(粗糙)系数
$\lambda$	(-)	式(7)中的修正系数
$\lambda$	(-)	双轴性系数 $\sigma_2 / \sigma_1$
$\nu$	(-)	泊松比
$\nu$	(-)	式(7)中的修正系数
$\rho, \rho_g, \rho_r$	(mm)	缺口半径, 坡口和焊缝根部处的缺口半径
$\rho^*$	(mm)	微观结构约束长度
$\rho_f$	(mm)	虚拟缺口曲率半径
$\rho^*$	(-)	半径-厚度比 $\rho_f / t$
$\sigma_{A0}, \sigma_{AW}$	(N/mm <sup>2</sup> )	对称循环疲劳强度, 焊接接头中母材的对称循环疲劳强度
$\bar{\sigma}_P$	(N/mm <sup>2</sup> )	局部脉动循环疲劳强度
$\sigma_P, \sigma_{PW}$	(N/mm <sup>2</sup> )	脉动循环疲劳强度, 焊接接头中母材的脉动循环疲劳强度

⊖ 原文为 ductility, 即延性, 但行业习惯俗称塑性。——编注